# تأثير استيله كردن ذرات چوب بر انتقال حرارت در سيكل پرس و خواص مكانيكي تخته‌خرده‌چوب

مريم قرباني‌كوكنده*[١]، كاظم دوست‌حسيني[٢]، علي‌نقي كريمي[٣] و بهبود محبي[٤]
[١] استاديار گروه صنايع چوب و كاغذ، دانشگاه كشاورزي و منابع طبيعي ساري، ايران
[٢] استاد گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[٣] دانشيار گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران
[٤] استاديار دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي، دانشگاه تربيت مدرس، ايران
(تاريخ دريافت: ٨٦/١/٢٦، تاريخ تصويب: ٨٦/٤/٢٥)

## چكيده

اين پژوهش به منظور بررسي اثر شدت استيله كردن بر انتقال حرارت صفحه‌هاي پرس به مغز كيك خرده‌چوب در مرحله پرس گرم و ويژگي‌هاي مكانيكي تخته خرده‌چوب به‌دست‌آمده از خرده‌چوب‌هاي استيله شده گونه راش ايراني (*Fagus orientalis*) انجام گرفت. خرده‌چوب‌ها پس از ١٢ ساعت غوطه‌وري در انيدريد استيک، جهت رسيدن به ٣ سطح درصد افزايش وزن (WPG) ٥، ٩ و ١٦ درصد به مدت ٣٠، ٩٠ و ٢٤٠ دقيقه در اتو در دماي c °١٢٠ حرارت داده شدند. انتقال حرارت طي فرآيند پرس كيک خرده‌چوب توسط سيمهاي ترموكوپل متصل به ترمومتر اندازه‌گيري شد. نتايج نشان داد كه با افزايش شدت استيله كردن خرده‌چوب‌ها، سرعت انتقال حرارت كاهش مي‌يابد. به‌علاوه خواص مكانيكي تخته هاشامل MOR، MOE و IB نيز با كاهش مواجه مي‌شود.

واژه‌هاي كليدي: اصلاح شيميايي، استيله كردن، راش، تخته خرده‌چوب، انتقال حرارت، چرخه پرس، ويژگي‌هاي مكانيكي

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠٢٦١-٢٢٢٣٠٤٤ فاكس: ٠٢٦١-٢٢٤٩٣١١ Email: ghorbani_mary@yahoo.com

## مقدمه

مواد ليگنوسلولزي منابع تجديد شونده مهمي هستند كه چوب به‌عنوان ماده‌اي برتر در كاربرد مواد خام از موقعيت با اهميت‌تري برخوردار مي‌باشد. متأسفانه فرآورده‌هاي چوبي و ليگنوسلولزي داراي ويژگي‌هاي نامطلوبي چون نا پايداري ابعاد ناشي از جذب رطوبت، تخريب زيستي، قابليت اشتعال و تخريب بر اثر نور فرا بنفش، اسيدها و بازها هستند. در نتيجه چنان كه تحت شرايط نامطلوب بكار روند،كيفيت آنها كاهش و عمر مفيدشان محدودتر خواهد شد.

اصلاح چوب با نگرشي چند جانبه، نه تنها به بالا بردن مقاومت‌ها و بسياري از ويژگي‌هاي نامطلوب آن مي‌پردازد، بلكه به‌عنوان روشي نوين در صدد رفع اشكالات ناشي از فرآيندهاي زيان‌آوري چون حفاظت و اصلاح با مواد شيميايي سمي مي‌پردازد.

اصلاح شيميايي چوب، واكنش شيميايي بين برخي از بخشهاي فعال اجزاي تشكيل دهنده چوب (سلولز، همي سلولز و ليگنين) با يک ماده شيميايي ساده است كه در نهايت منجر به ايجاد پيوند بين چوب و ماده شيميايي مي‌شود (Rowell ,١٩٧٥ و Larsson ,١٩٩٨).

نتيجه اصلاح شيميايي چوب، واكنش جايگزيني گروه‌هاي هيدروكسيلي چوب با يک ماده شيميايي پايدار، پيوند پذير و داراي كمترين گروه‌هاي آبدوست مي‌باشد (Larsson ,١٩٩٨). در واقع، گروه‌هاي هيدروكسيل بدليل ايجاد پيوند هيدروژني با آب، در ناپايداري ابعاد چوب و انتشار آنزيم‌هاي عامل‌هاي مخرب زيست‌شناختي چوب مانند قارچها و ايجاد شرايط مساعد زيستي ميكروارگانيسم‌ها نقش مؤثري ايفا مي‌نمايند (Matsuda ,١٩٩۶).

بدين ترتيب، با اصلاح شيميايي شيمي پايه بسپارهاي سازنده ديواره سلولي تغيير مي‌يابد كه در نتيجه مي‌تواند ويژگي‌هاي مهمي مانندپايداري ابعاد، سختي و مقاومت در برابر اشعه فرا بنفش را هم افزايش دهد.

استيله كردن يكي از روشهاي پرطرفدار در زمينه اصلاح شيميايي مي‌باشد.اين فناوري به‌نسبت نوين، در اصلاح چوب، كاغذ و ساير مواد مركب چوبي مانند تخته خرده چوب، تخته لايه، MDF و غيره مورد توجه قرار گرفته است.اين روش، از نوع واكنش‌هاي استري كردن مي‌باشد و پايه‌ي آن جايگزيني گروه‌هاي هيدروكسيلي بسپارهاي سازنده ديواره سلولي با گروه‌هاي استيل مي‌باشد (محبي، ١٣٨٢). بدين ترتيب، اين گروه‌ها درعمل از بين مي‌روند. با از دست رفتن گروه‌هاي هيدروكسيلي، جايگاه‌هاي فعال واكنش‌هاي اين بسپارها در هنگام جذب آب، تخريب نوري و واكنش‌هاي آنزيمي از بين مي‌روند.

با توجه به نقش دما در تسريع واكنش، به منظور كاهش مدت زمان واكنش و افزايش كارايي آن و توزيع يكنواخت گروه‌هاي استيلي بر روي بسپارهاي ديواره‌هاي سلولي از اشعه‌هاي مايكروويو براي حرارت دادن چوب بهره گيري شده است (Larsson و همكاران a,b ١٩٩٩). بر اثر نفوذ امواج مايكروويو در درون چوب، حرارت مناسبي براي انجام واكنش در بخشهاي عميق‌تر ايجاد مي‌شود ودر نتيجه، واكنش به‌طور يكنواخت‌تري در درون چوب روي مي‌دهد .با افزايش دما و زمان واكنش، شدت واكنش افزايش مي‌يابد. در واقع در دماي بالاتر، انيدريد استيک، چوب را با شتاب بيشتري واكشيده كرده و قابليت دسترسي به مكان هاي رخداد واكنش شيميايي گسترش مي‌يابد. البته براي شتابدهي و افزايش كارائي واكنش مي‌توان از كاتاليست‌هايي چون پيريدين يا ۴- دي متيل آمينو پيريدين با غلظت ١% بهره گرفت (Hill و همكاران، ٢٠٠٠).

بر اثر استيله شدن و جايگزيني گروه‌هاي هيدروكسيلي با گروه‌هاي استيلي، وزن چوب يا ماده استيله شده نسبت به وزن اوليه‌اش افزايش مي‌يابد. بدين ترتيب، مي‌توان شدت استيله شدن مواد را از رابطه زير كه "درصد افزايش وزن" (WPG)[1] را نشان مي‌دهد، محاسبه كرد:

$$WPG\ (\%) = (W_1-W_0) / W_0 \times 100$$

WPG= افزايش وزن (%)

$W_1$= وزن پس از استيله شدن (گرم)

$W_0$= وزن قبل از استيله شدن (گرم)

١- Weight percentage gain

با افزايش شدت استيله كردن،گروه‌هاي استيلي بيشتر و با پراكنش يكنواخت‌تري بر روي بسپارهاي ديواره سلولي توزيع مي‌شوند.

پژوهش‌هاي متعددي در بررسي اثرات استيله كردن بر ويژگي‌هاي چوب و مواد ليگنوسلولزي انجام شده است. يكي از مهم‌ترين و شاخص‌ترين اثرهاي استيله كردن، تورم و افزايش حجم ماده استيله شده است. Sander و همكاران (٢٠٠٣) گزارش مي‌دهند كه ديواره‌هاي سلولي بر اثر استيله شدن متورم مي‌شوند و گاهي بر اثر شدت تيمار برخي از حفره‌هاي سلولي به‌طوركامل بسته مي‌شوند. از آنجايي كه افزايش حجم متعاقب واكنش با انيدريد استيک معادل حجم محاسبه شده ماده شيميايي اضافه شده به ساختار چوب مي‌باشد، درمي‌يابيم كه واكنش در ديواره‌هاي سلولي اتفاق مي‌افتد نه در فضاهاي خالي چوب. البته اين رابطه در مورد واكنش چوب با موادي مانند آكريلونيتريل درست نمي‌باشد زيرا دراين حالت ماده شيميايي درحفره هاي ساختار چوب قرار دارد (Rowell ,١٩٨٣).

بررسي‌هاي انجام شده نشان مي‌دهند كه با افزايش شدت استيلاسيون چوب، نقطه اشباع فيبر نيز كاهش مي‌يابد. پايين آمدن نقطه اشباع فيبر مبين افت بيشينه رطوبتي است كه مي‌تواند در ديواره‌هاي سلولي جاي بگيرد. ثمره اين امر، تثبيت ابعاد چوب و فرآورده‌هاي مركب چوبي است. استيلاسيون تراشه‌هاي چوبي با انيدريد استيک، تا اندازه زيادي پايداري ابعاد تخته تراشه صنوبر لرزان را بهبود مي‌بخشد. به‌طوريكه در آزمونهاي غوطه وري درآب، به صورت كاهش معني‌دار واكشيدگي ضخامت و جذب آب ديده مي‌شود (Youngquist ,١٩٨۶ و همكاران).

گروه‌هاي هيدروكسيلي نه تنها محل‌هاي جذب آب مي‌باشند، بلكه محلي براي بيشتر واكنش‌هاي آنزيمي نيز بشمارمي‌آيند. قارچ‌ها، موريانه‌ها و باكتري‌ها داراي سامانه‌هاي آنزيمي ويژه‌اي مي‌باشند كه مي‌توانند بسپارهاي ديواره‌هاي سلولي را به واحدهاي قابل جذب تبديل كنند. بنابراين، اگر ماده زمينه‌اي اين آنزيم‌ها از نظر شيميايي تغيير يابد، آنزيم‌هاي يادشده نمي‌توانند بر روي آن ماده تاثيري بگذارند (Takahashi ،١٩٩۶). بر اثر استيله شدن و جايگزيني گروه‌هاي هيدروكسيل با گروه‌هاي استيل، درعمل محل‌هاي فعاليت آنزيم‌ها حذف و امكان فعاليت تخريبي از آنها گرفته مي شود. البته كاهش و يا بسته شدن فضاهاي بين سلولي و حفره‌هاي سلولي نيز، عامل مؤثري در محدود كردن عامل‌هاي ويرانگر زيست‌شناختي است.

آزمونهاي مكانيكي تخته تراشه بدست‌آمده از تراشه‌هاي استيله شده صنوبر لرزان پس از هوازدگي تسريع شده نشان داد كه استيلاسيون، استحكام پيوند داخلي(IB )و مدول گسيختگي(MOR) را به ترتيب ٩٠ و ٨٠ درصد كاهش داد(Youngquist١٩٨۶ و همكاران). بررسي با ميكروسكوپ الكتروني نشان داد كه كاهش جريان و نفوذ چسب فنول فرم‌آلدئيد(PF[1]) در تراشه‌هاي استيله شده، علت چسبندگي ضعيف مي‌باشد (Rowell ,١٩٨٧).

از سوي ديگر، شتاب زياد واكنش در دماي ١٢٠ درجه سلسيوس طي يک ساعت اول و كاهش آن با گذشت زمان، به‌احتمال به‌علت توليد فرآورده فرعي واكنش يعني اسيد استيک مي‌باشد كه غلظت انيدريد استيک را كاهش داده و در نتيجه شتاب واكنش را كاهش مي‌دهد (١٩٩٠، Rowell).

بايد توجه داشت كه عامل‌هاي زيادي بر ويژگي‌هاي تخته خرده‌چوب تأثير مي‌گذارند و در بين آنها گونه چوبي، نوع ماده اوليه، نوع رزين و مقدار آن در لايه‌هاي مختلف كيک، مقدار رطوبت و توزيع آن در ضخامت كيک از اهميت بيشتري برخوردارند. در فرآيند توليد صفحه‌هاي فشرده چوبي، ذره‌هاي چوب يا مواد ليگنوسلولزي پس از مخلوط شدن با رزين، به‌صورت كيک خرده‌چوب آماده مي‌شوند. در فرآيند پرس گرم، كيک خرده‌چوب تا اندازه ضخامت نهايي تخته فشرده شده و رزين آن نيز پليمر مي‌شود. فشرده شدن كيک، انتقال گرما و رطوبت را شتاب بخشيده و شرايط لازم جهت افزايش دماي رزين و پليمر شدن آن را فراهم مي‌آورد و فشار اعمال شده در پرس موجب بهبود تماس خرده‌چوب‌ها با يكديگر و تماس بيشتر رزين با آنها مي‌شود (دوست حسيني، ١٣٨٠). دما، شاخص مهم كنترل عملكرد رزين در توليد تخته خرده‌چوب مي‌باشد. از

1. Phenol formaldehyde

آنجائيكه در پرس گرم، حرارت بايد از صفحه‌هاي پـرس بـه مغز كيک انتقال يابد، زمان پـرس طـولاني‌تـر، دمـاي مغـز كيک را بالا برده و گيرايـي رزيـن بـه‌صـورت كامـل انجـام مي‌شود (در واقع، آزمونهاي ضخامت و چـسبندگي داخلـي مبين همين امر مي‌باشد) (Kelly,١٩٧٧).

دانسيته ماده اوليه نيز، نه تنها تأثير قابـل ملاحظـه‌اي بـر ويژگي‌هاي فرآورده دارد، بلكه فرآيند توليد و فرآوري مـاده اوليه را هم تحت تاثير قرار مي‌دهد. به طور كلي، چوب‌هاي سبک، تخته‌هايي با دانسيته مناسب و ويژگي‌هاي كـاربردي بهتر از فرآورده‌هاي ساخته شده با چوب‌هاي سنگين توليـد مي‌كنند، زيرا گونه‌هاي سـنگين در مرحلـه پـرس گـرم بـه سـختي فـشرده شـده و بـه فـشار بيـشتري نيـاز دارنـد. Stegmann و Durst (١٩۶۵) درپژوهـشي نـشان دادنـد كه مقاومت خمشي تخته‌هايي با دانسيته ثابت، بـا افـزايش جرم ويژه ماده اوليه كاهش مي‌يابد. اين واقعيت ثابت شـده كه منحني اريب هدايت حرارتي، به عنوان تابعي از دانسيته چوب، محور دانسيته را در نقطه صفر كه معادل وجـود هـوا به صورت راكد (فاقـد جريـان) مـي‌باشـد، قطـع مـي‌كنـد (Narayanamurti & Ranganathan1941, Wangaard 1940, Maclean 1941) .

در فرآيند پرس، به محض بسته شدن پرس گرم و تمـاس صفحه‌هاي آن با كيـک، رطوبـت ذرات لايـه‌هـاي سـطحي تبخير شده و بخار آب به لايه ميـاني (مغـز) كيـک منتقـل مي‌شود. هم‌زمان با جابجايي رطوبت به لايه ميـاني، دمـاي صفحه‌هاي پرس نيز به مغـز كيـک منتقـل شـده و شـتاب گيرايي و پليمر شدن رزين لايـه ميـاني افـزايش مـي‌يابـد. تجمع بخارآب در لايه مياني تخته، به زمان بـيش‌تـر پـرس جهت خروج بخار اضافي نياز دارد تا امكان تبله شدن سطح تخته يا جدا شدن لايه‌هاي آن هنگام افت فشار و باز شـدن دهانه پرس كاهش يابـد. رطوبـت زيـاد همچنـين واكـنش پليمر شدن رزين‌هاي اوره فرمالدئيد را تحت تأثير قرار داده و آن را به تأخير مي‌انـدازد. بنـابراين، احتمـال مـي‌رود كـه انتقال گرما در چرخـه پـرس بـه‌دليـل تغييرهـاي ناشـي از استيله كردن با تغيير مواجه شود.

هدف از اين پژوهش، بررسي اثر شدت اسـتيله كـردن بـر انتقال حرارت صفحه‌هاي پرس به مغز كيک خـرده‌چـوب و مدول الاستيسيته ظاهري، مدول گسيختگي و چـسبندگي داخلي تخته خرده‌چـوب بدسـت‌آمـده از خـرده‌چـوب‌هـاي استيله شده گونه راش مي‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### تهيه ماده اوليه

گرده‌بينه گونه چوبي راش ايراني (*Fagus orientalis*) با ابعاد كاتين(قطر ١٠ الـي ٢٠ سـانتيمتر) از پارسـل ١١٢ سري پـاتم جنگـل خيرودكنـار، تهيـه و پـس از حمـل بـه آزمايشگاه فرآورده‌هـاي مركـب چـوبي مؤسـسه تحقيقـات جنگلها و مراتع كشور با بهره‌گيري از يک خردكن غلطكـي آزمايشگاهي از نوع Pallmann X 430-120 PHT بـه خرده‌چوب (Chips) و سپس با بهره‌گيري از يـک آسـياب حلقوي (Ring flaker) آزمايشگاهي از نوع Pallmann pz8 بـــه تراشـــه (Flake) تبـــديل شـــدند. رطوبـــت خرده‌چوب‌هاي تهيه شده در حدود ٣٠ درصـد بـود كـه بـا بهره‌گيري از يک خشک‌كن گردان با شتاب ٣ دور در دقيقه و دماي ١٢٠ درجه سلسيوس خشک شده و رطوبت آنها به حـدود صـفر درصـد كـاهش يافـت كـه پـس از تخليـه در كيسه‌هاي مقاوم و عايق رطوبت بسته‌بندي شد.

### اصلاح شيميايي

خرده‌چوب‌ها بدون حـضور كاتـاليزور و حـلال و فقـط در حضور دما با انيدريد استيک با درجه خلـوص ٩٩% و نقطـه جوش ١٢٠ درجه سلسيوس تيمار شدند. بايد توجه داشـت كه جهت انجام كارهاي اصلاح شـيميايي استريفيكاسـيون، دو عامل پايه‌اي داراي اهميت‌اند كه عبارتند از:

١- نفوذ مواد شيميايي به درون ديواره سلولي

٢- دماي مورد نياز جهت انجام واكنش

بدين منظور ابتدا خرده‌چوب‌هـاي خـشک شـده تـوزين و درون كيسه‌هاي پارچه‌اي از جنس چلوار كه بـدين منظـور تهيه شده بودند، قرار داده شد و در دسيكاتور خلاء محتوي

انيدريد استيک غوطه‌ور شد. جهت اطمينان از غوطه‌ور بودن کليه خرده‌چوب‌ها در انيدريد استيک، وزنه‌هايي روي کيسه‌ها قرار داده شد.نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در وضعيت فوق (غوطه‌ور در انيدريد استيک داخل دسيکاتور خلاء) نگهداري شدند. سپس خلاء قطع شده، کيسه محتوي خرده‌چوب‌ها داخل فويل آلومينيومي پيچيده شد به گونه‌اي که هيچ روزنه‌اي به بيرون نداشته باشد.

آنگاه بر پايه نتايج بدست‌آمده از پيش تيمارهاي انجام شده ، نمونه‌ها تحت دماي ۱۲۰ درجه سلسيوس در اتو در زمان‌هاي ۳۰ دقيقه،۹۰ دقيقه و ۲۴۰ دقيقه قرار داده شدند.

پس از پايان زمان واکنش، نمونه‌ها از اتو خارج شده و کيسه داراي خرده‌چوب استيله شده جهت خروج اسيد استيک و باقي‌مانده انيدريد استيک، به مدت ۲۴ ساعت در آب غوطه‌ور شدند. سپس طي ۲۴ ساعت در اتو و تحت دماي ۱۰۳ درجه سلسيوس به‌طورکامل خشک شدند. پس از پايان عمليات تيمار شيميايي و خشک شدن کامل، درصد افزايش وزن خرده‌چوب‌ها (WPG) محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- شرايط واکنش استيلاسيون

| زمان (دقيقه) | دما (سلسيوس) | شدت استيله شدن |
|---|---|---|
| ۳۰ | ۱۲۰ | ۵ |
| ۹۰ | ۱۲۰ | ۹ |
| ۲۴۰ | ۱۲۰ | ۱۶ |

ساخت تخته و چگونگي ثبت دما در ضخامت کيک خرده‌چوب

به منظور بررسي چگونگي انتقال حرارت در ضخامت کيک خرده‌چوب، در فرآيند پرس گرم، نياز به اندازه‌گيري مستقيم دما در ضخامت کيک خرده‌چوب مي‌باشد. بدين منظور از سيمهاي ترموکوپل دمايي از جنس کروم- نيکل که وظيفه آنها تبديل انرژي حرارتي به انرژي الکتريکي و انتقال آن به دستگاه‌هاي دماسنج مي‌باشد، بهره‌گيري گرديد. براي ثبت تغيير دما در لايه‌هاي مختلف کيک خرده‌چوب از ۳ دستگاه ترمومتر از نوع Autonics- T4WI بهره‌گيري شد. با توجه به قرينه بودن دو نيمه ضخامت کيک خرده‌چوب، ثبت تغيير دما در نيمه بالايي کيک مورد بررسي قرار گرفت .بدين منظور براي اندازه‌گيري دماي کيک خرده‌چوب در سه نقطه سطحي، بينابيني و مياني طي مرحله پرس گرم از سه رشته سيم ترموکوپل بهره‌گيري شد. سيم‌هاي ترموکوپل به قطعه‌هاي ۴۰ سانتي‌متري بريده و از يک طرف با بهره‌گيري از جوش آرگون به هم متصل شد. اين قسمت از سيم در داخل کيک قرار داده شده و سر ديگر به ترمومترها متصل شدند.

براي چسب‌زني از يک دستگاه چسب‌زن استوانه‌اي آزمايشگاهي بهره‌گيري شد و خرده‌چوب‌ها با چسب ملامين اوره فرمالدئيد (MUF[1]) چسب زني شدند که وزن چسب بکاررفته،۱۰% وزن کيک خرده چوب مي‌باشد. سپس در قالبي به ابعاد ۲۵ × ۴۰ × ۴۰ سانتيمتر ريخته و پس از گذاشتن سيم‌هاي ترموکوپل در ضخامت کيک، بين صفحه هاي پرس قرار داده شدند. جهت پرس از يک دستگاه پرس آزمايشگاهي هيدروليکي از نوع Burkle LA160 که ابعاد مفيد صفحه هاي آن ۵۰×۵۰ سانتيمتر مي‌باشد بهره‌گيري گرديد. ضخامت تخته به کمک شابلون هاي فلزي در ضخامت ۱۵ ميليمتر کنترل شد. رطوبت کيک ۱۲ درصد، دماي پرس۱۷۰ درجه سلسيوس، زمان پرس ۵ دقيقه، فشار پرس ۳۰ کيلوگرم بر سانتيمتر مربع و دانسيته تخته۰/۷ گرم بر سانتيمتر مکعب در نظر گرفته شد.

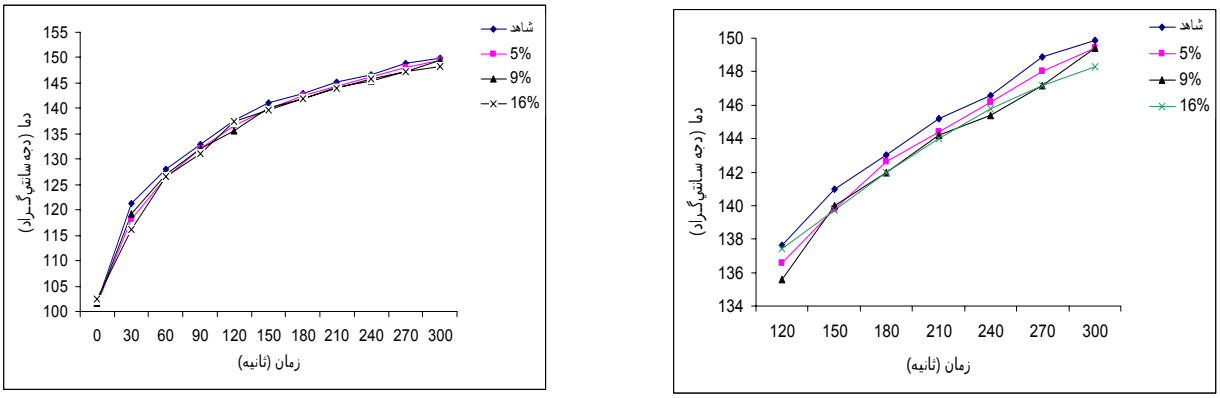
بعد از پايان مرحله پرس به منظور يکنواخت شدن رطوبت و همچنين متعادل‌سازي تنش‌هاي داخلي، تخته‌هاي ساخته شده به مدت دو هفته در شرايط آزمايشگاه (رطوبت نسبي ۱ ±۶۵ درصد و دما ۳ ± ۲۰ درجه سلسيوس) نگهداري شدند. سپس کناره‌بري شده و برابر استاندارد DIN- 52360 نمونه‌هاي مقاومت خمشي (MOR)، مدول الاستيسيته (MOE) و چسبندگي داخلي (IB) تهيه شدند. تجزيه و تحليل آماري نتايج بخش انتقال

۱- Melamine urea formaldeyde

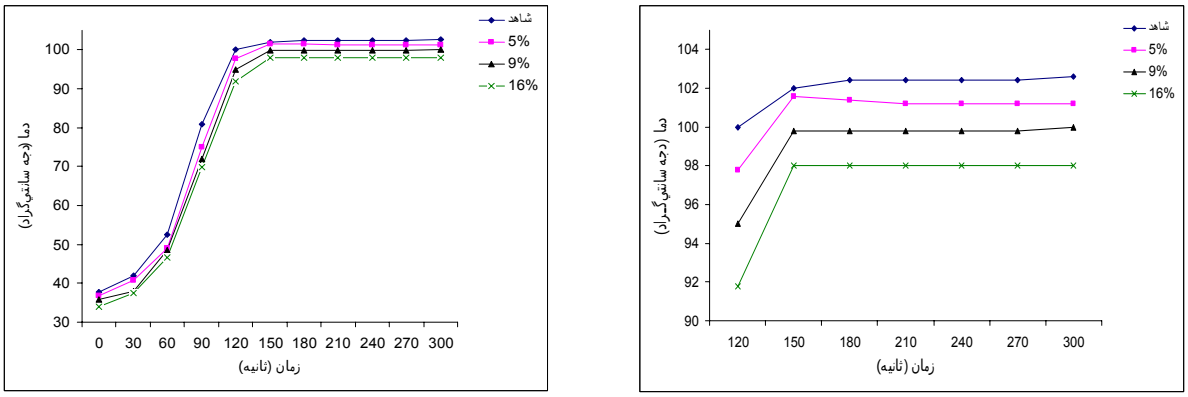
حرارت توسط تجزیه واریانس دو طرفه به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفي و بخش ویژگي‌هاي مکانیکي با تجزیه واریانس یک طرفه در قالب طرح کاملاً تصادفي نامتعادل(با تعداد تکرار ۲۰ عدد براي تیمار شاهد،۵و ۹ درصد و ۱۴ عدد براي تیمار ۱۶درصد)و گروه-بندي میانگین‌ها بر پایه آزمون دانکن انجام شده و در سطح ۱ درصد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## نتایج

نتایج بدست‌آمده از تأثیر استیله کردن بر انتقال دما صفحه‌هاي پرس به سطح و مغز کیک خرده‌چوب در شکل‌هاي ۱ و ۲ نشان داده شده است.




شکل ۱- اثر استیله کردن بر انتقال دما به سطح کیک




شکل ۲- اثر استیله کردن بر انتقال دما به مغز کیک

اثر شدت استیله کردن بر انتقال حرارت از پرس به سطح کیک معني‌دار نمي‌باشد که نتایج آن در جدول ۲ دیده مي‌شودلیکن اثر زمان معني‌دار مي‌باشد زیرا با گذشت زمان، انتقال حرارت از صفحه‌هاي پرس به سطح کیک افزایش مي‌یابد. همچنین اثر متقابل زمان و شدت استیله کردن،در سطح ۱ درصد معني‌دار نمي‌باشد.

جدول ٢-تجزيه واريانس دو طرفه آزمون فاكتوريل بر پايه طرح كاملاً تصادفي‌متعادل براي شاخص انتقال دما در سطح

| منابع تغييرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | ميانگين مربعات | مقدار F | عدد P |
|---|---|---|---|---|---|
| درصد استيلاسيون (A) | ٣ | ٥٧/٩٤١ | ١٩/٣١٤ | ٠/١٤٨٨ | ٠/٩٣٠٤ |
| زمان (B) | ١٠ | ٤١٩٩٩ | ٤١٩٩ | ٣٢/٣٤*** | ٠/٠٠٠١ |
| اثر متقابل (A*B) | ٣٠ | ٧١/١٠٩ | ٢/٣٧ | ٠/٠١٨٣ | ١/٠٠٠٠ |
| اشتباه | ١٧٦ | ٢٢٨٥١/٢ | ١٢٩/٨٣ | | |
| كل | ٢١٩ | ٦٤٩٨٠/١٥ | | | |

*** معني دار شدن در سطح ١ درصد نتيجه: درصد استيلاسيون معني‌دار نيست

اثر شدت استيله كردن بر انتقال دما از پرس به مغز كيك معني‌دار مي‌باشد. همان‌طور كه در شكل ٢ ديده مي‌شود، با افزايش شدت استيله كردن سرعت انتقال حرارت كاهش مي‌يابد به طوري كه دما در تخته‌هايي با شدت استيلاسيون ١۶ درصد، طي ۵ دقيقه به ١٠٠ درجه سلسيوس كه جهت گيرايي چسب لازم است نرسيده و از ٩٨ درجه سلسيوس بيشتر نشد. همچنين اثر زمان و اثر متقابل زمان و شدت استيله كردن نيز در سطح ١ درصد معني‌دار مي‌باشد نتايج در جدول ٣ نشان داده شده است.

جدول٣- تجزيه واريانس دو طرفه آزمون فاكتوريل بر پايه طرح كاملاً تصادفي‌متعادل براي شاخص انتقال دما در مغز

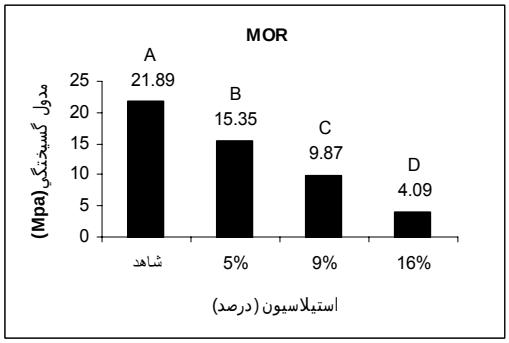
| منابع تغييرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | ميانگين مربعات | مقدار F | عدد P |
|---|---|---|---|---|---|
| درصد استيلاسيون (A) | ٣ | ٨٨۵/٩۴ | ٢٩۵/٣١ | ٢٣/٣١*** | ٠/٠٠٠١ |
| زمان (B) | ١٠ | ١٤۵٢۵٨ | ١٤۵٢۵ | ١١۴۶/۶۴*** | ٠/٠٠٠١ |
| اثر متقابل (A*B) | ٣٠ | ١٧٢/٢٠٩ | ۵/٧٤ | ٠/۴۵٣١*** | ٠/٩٩٣٩ |
| اشتباه | ١٧٦ | ٢٢٢٩/٦ | ١٢/٦٦ | | |
| كل | ٢١٩ | ١٤٨۵٤٦ | | | |

*** معني دار شدن در سطح ١ درصد نتيجه: هر دو عامل در سطح يك درصد معني‌دار است.

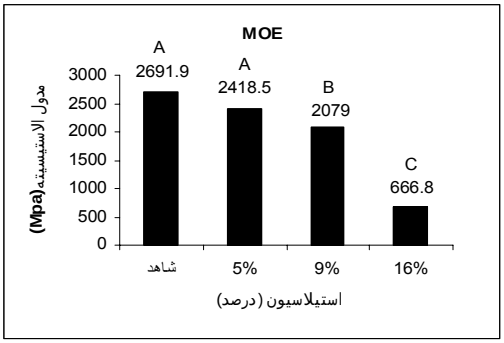
در بخش ويژگي‌هاي مكانيكي، همان‌طور كه در شكل‌هاي ٣ و ۴ و ۵ ديده مي‌شود، با افزايش شدت استيله كردن، هر سه ويژگي مكانيكي كاهش مي‌يابد.

با افزايش شدت استيله كردن، تفاوت بين MOR هر ۴ سطح معني‌دار بود. نتايج در جدول ۴ نشان داده شده است.

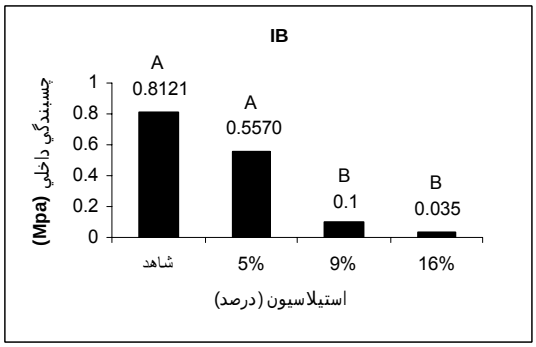
افزايش درصد استيلاسيون موجب كاهش MOE شد كه سطح ۵ درصد نسبت به شاهد در سطح ١ درصد تفاوت معني‌داري نداشت اما بين ۵ درصد و بقيه سطوح تفاوت معني‌دار مي‌باشد. نتايج در جدول ۵ ديده مي‌شود.




شکل ۳- اثر شدت استیله کردن بر مدول گسیختگي
و نتایج آزمون دانکن در سطح ۱ درصد




شکل ۴- اثر شدت استیله کردن بر مدول الاستیسیته
و نتایج آزمون دانکن در سطح ۱ درصد




شکل ۵- اثر شدت استیله کردن بر چسبندگي داخلي
و نتایج آزمون دانکن در سطح ۱ درصد

جدول ۴- تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفي نامتعادل براي شاخص مدول گسیختگي

| منابع تغییرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | میانگین مربعات | مقدار F | عدد P |
|---|---|---|---|---|---|
| تیمار | ۳ | ٤٤٥٦/٢٦ | ١٤٨٥/٤٢ | ٢٨٠/٢٧*** | ۰/۰۰۰۱ |
| اشتباه | ٩٦ | ٥٠٨/٧٩ | ٥/٢٩ | | |
| کل | ٩٩ | ٤٩٦٥/٠٦ | | | |

*** معني دار شدن در سطح ۱ درصد  نتیجه: تیمارها در سطح یك درصد معني‌دار هستند

جدول ۵- تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفي نامتعادل براي شاخص مدول الاستیسیته

| منابع تغییرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | میانگین مربعات | مقدار F | عدد P |
|---|---|---|---|---|---|
| تیمار | ۳ | ٦٤٨٤٠٣٠٤/٢٣ | ٢١٦١٣٤٣٤/٧٤ | ١٤٤/٦٢*** | ۰/۰۰۰۱ |
| اشتباه | ٩٦ | ١٤٣٤٧٣٩٢/٣٦ | ١٤٩٤٥٢/٠٠ | | |
| کل | ٩٩ | ٧٩١٨٧٦٩٦/٥٩ | | | |

*** معني دار شدن در سطح ۱ درصد  نتیجه: تیمارها در سطح یك درصد معني‌دار هستند

شدت استيله كردن موجب كاهش IB هم شد و ليكن تفاوت بين شاهد و تيمار ۵ درصد و بين تيمارهاي ۹ و ۱۶ درصد به لحاظ آماري معني‌دار نبوده و بين تيمارهاي ۵ و ۹ درصد، تفاوت در سطح ۱ درصد معني‌دار مي‌باشد. نتايج در جدول ۶ ديده مي‌شود.

جدول۶- تجزيه واريانس طرح كامل تصادفي نامتعادل براي شاخص چسبندگي داخلي

| منابع تغييرات | درجه آزادي | مجموع مربعات | ميانگين مربعات | مقدار F | عدد P |
|---|---|---|---|---|---|
| تيمار | ۳ | ۷/۲۵ | ۲/٤۱ | ٤۲/٤۵*** | ۰/۰۰۰۱ |
| اشتباه | ۶۱ | ۳/٤۷ | ۰/۰۵٦ | | |
| كل | ٦٤ | ۱۰/۷۲ | | | |

*** معني دار شدن در سطح ۱ درصد  نتيجه: تيمارها در سطح يك درصد معني‌دار هستند

## بحث

پس از واكنش چوب و جايگزيني گروه‌هاي استيل، ديواره‌هاي سلولي با افزايش حجم مواجه مي‌شوند(۲۰۰۳، Sander و همكاران). همچنين، به تناسب شدت استيله كردن و جايگزيني گروه‌هاي آب گريز استيل به جاي گروه‌هاي هيدروكسيل، ميزان جذب آب نيز كمتر مي‌شود و درعمل مي‌توان گفت استيله شدن ديواره‌هاي سلولي، منجر به آب گريز شدن آنها شده است.بررسي‌هاي Militz و Becker (۱۹۹۴)نشان داد كه با افزايش شدت استيله كردن،نقطه اشباع فيبر به‌شدت كاهش مي‌يابد و پائين آمدن نقطه اشباع فيبر مبين افت بيشينه رطوبتي است كه ميتواند در ديواره‌هاي سلولي جاي بگيرد. از آنجائي كه انتقال دما در چوب به ۲ روش هدايت (Conduction) و همرفت (Convection) انجام مي‌گيرد، به‌دليل آب گريز شدن اجزاء تشكيل‌دهنده ساختار چوب و محدود شدن حفره‌ها، شتاب انتقال حرارت كه به واسطه جريان بخار آب از سطح به مغز از راه ديواره و حفره‌ها سلولي انجام مي‌گيرد، كندتر مي‌شود. در واقع حركت بخار آب در ضخامت كيك پديده قابل توجهي است كه گرم شدن لايه مياني را تسريع كرده و به گيرايي رزين در اين لايه سرعت مي‌بخشد.

انتقال رطوبت و گرما نه تنها باعث پلي مريزاسيون رزين مي‌شود، بلكه ذرات چوب را نرم كرده و موجب كاهش يا از بين رفتن تنشهايي كه هنگام فشرده شدن كيك در آن ايجاد مي‌شود (تنشهاي باقي‌مانده) مي‌شود. آزادسازي اين تنشها موجب كنترل و كاهش برگشت ضخامت تخته بعد از پرس خواهد شد. همچنين در صورتي كه خرده‌چوب‌هاي مغز تخته به كندي گرم شوند، فشار زياد پرس منجر به شكسته شدن آنها و كاهش چسبندگي داخلي تخته مي‌شود (دوست حسيني، ۱۳۸۰).

استيلاسيون شمار پيوندهاي هيدروژني تشكيل شده بين چوب و چسب را كاهش داد، در نتيجه، در فرآيند چسبندگي كه مهم‌ترين عامل در توليد كامپوزيت چوبي است اختلال ايجاد ميكند.بررسي هاي Rowell و Vick (۱۹۹۰) نشان داد كه چسبندگي متناسب با شمار گروه‌هاي غيرقطبي و آبگريز استات در چوب استيله شده كاهش مي‌يابد. بنابراين منطقي است كه انتظار داشته باشيم كاهش گروه‌هاي هيدروكسيل در دسترس، موجب كاهش استحكام مي‌شود. استيلاسيون به طبيعت آب‌دوست چوب، آسيب رسانده، رطوبت‌پذيري آن را كاهش مي‌دهد و منتهي به نفوذ كم چسب و اتصال‌هاي ضعيف مي‌شود.Rowell (۱۹۸۶) يادآوري نمود كه اب گريز شدن پليمرهاي ديواره سلولي چوب متعاقب فرايند اصلاحي استيلاسيون،نفوذ رزين فنل فرمالدئيد محلول در آب را كاهش مي دهد.بررسي با ميكروسكوپ الكتروني نيز نشان داد كه كاهش جريان و نفوذ فنل فرمالدئيد در تراشه هاي

استيله شده، علت چسبندگي ضعيف مي باشد(Rowell و همكاران،۱۹۸۷). همچنين دانسيته چوب استيله افزايش مي‌يابد(۱۹۷۹، Kumar و همكاران). بنابراين در مرحله پرس گرم به سختي فشرده مي‌شود و تخته هايي با مقاومت خمشي پائين‌تر ارائه مي‌دهند. در واقع، مدول گسيختگي (MOR) و مدول الاستيسيته (MOE) تخته هايي با دانسيته برابر، به طور مستقيم با ميزان فشردگي خرده‌چوب‌ها در مرحله پرس كه باعث ايجاد سطح تماس بيشتر بين خرده‌چوب‌ها و ايجاد پيوندهاي قوي بين آنها مي‌شود ارتباط دارد و بنابه بررسي هاي دوست حسيني (۱۳۸۰) خرده چوب‌هاي سنگين از ضريب فشردگي پائيني برخوردار بوده و در مرحله پرس سطح تماس كافي با يكديگر نخواهند داشت.

بنابراين مي‌توان نتيجه گرفت كه جهت توليد تخته‌هاي استيله شده با ويژگي‌هاي مكانيكي مناسب بهتر است مدت زمان پرس را بيشتر از تخته‌هاي تيمار نشده كرد تا بدين ترتيب زمان لازم جهت انتقال حرارت به مغز كيك، گيرايي بهتر رزين و فشردگي مطلوب خرده‌چوب‌ها فراهم شود زيرا در غير اين‌صورت تخته‌ها به دليل گيرايي ناقص رزين و احياناً فشار زياد بخارآب با مشكل ويژگي‌هاي مكانيكي پائين و برگشت ضخامت تخته مواجه مي‌شوند.

## منابع


۱- دوست حسيني، كاظم،۱۳۸۰. فناوري توليد و كاربرد صفحه هاي فشرده چوبي، جلد اول، شماره انتشار ۲۴۸۷، انتشارات دانشگاه تهران

۲- محبي، بهبود. ۱۳۸۲. اصلاح چوب و مواد ليگنو سلولزي و فناوري‌هايشان؛ همايش ملي فرآوري و كاربرد مواد سلولزي، ۱۰-۹ مهر، رضوان شهر، ۴۰۵-۴۰۸/۱۲

3- Hill, C.A.S., N.S. Cetin & N. Ozmen, 2000. Potential catalysts for the acetylation of wood, Holz forschung, 54 (3), p.p 269- 272.

4- Kelly, M.W, 1977. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-10.Madison, WI:V.S. Department of Agriculture. Forest service. Forest products laboratory.

5- Kumar, S., Sp. Singh, M. Sharma & J. Timber Dev, 1979.Effect of acetylation on permeability of wood.Assoc.India.

6- Larsson, P.B.,1998. Acetylation of solid wood: Ph.D. thesis; Chalmers university of Technology, Göteborg; Sweden: P.67

7- Larsson, P.B., R.,Simonson & P.O.Risman, 1999 a. Acetylation of solid wood using microwave heating. Part I: studies of dielectric properties; Holz als Roh- und Werkstoff; 57: 259-263

8- Larsson, P.B, R.Simonson & P.O.Risman, 1999 b. Acetylation of solid wood using microwave heating. Part II: Experiment in laboratory scale; Holz als Roh- und Werkstoff; 57: 383- 389

9- Matsuda, H., 1996. Chemical modification of solid wood. In: D.N.S. Hon (ed.) chemical modification of lignocellulosic materials; Marcel Dekker, Inc. ; New York, Basel, Hong Kong: P. 159- 183

10- Maclean, J.D,1941. Thermal conductivity of wood. Heating, piping and air conditioning. 13: 380-391.

11- Militz, H. & E.P.J. Beckers, 1994 b, Process for acetylating solid wood, European paten application 85 02 68.5.

12- Narayanamurti, D. & V. Ranganthan,1941. The thermal conductivity of Indian timbers, Part I.Variation of conductivity with density in the air-dry condition at ordinary temperature. Repr. Proc. Indian Acad. Sci. 13A(4): 1-16.

13- Rosengvist, M., 2001. Acetyl group distribution in acetylated wood investigated by microautoradiography, Holzforschung, Vol. 55(3), P.P.270-275.

14- Rowell, R.M., 1975. Chemical modification of wood: Advantages and disadvantages; Proceeding Am. Wood preservers Association: 1-10.

15- Rowell, R.M, 1983. Chemical modification of wood: A review, common wealth Forestry Bureau, Oxford, England, 6(12): 363-382.

16- Rowell, R.M. & P. Kon kol, 1987. Treatments that enhance physical properties of wood, USDA Forest service, Forest prod. Lab- GTR-55.

17- Rowell, R.M. & R.J. Barbour (eds.), 1990. Archeological wood: Properties, Chemistry and preservation; Advances in chemistry series; No.225: P.472.

18- Sander, C., E.P.J. Beckers, H. Militz & W. Van Veenendaal,2003.Analysis of acetylated wood by electron microscopy;Wood Science & Technology;37:39-46.

19- Stegmann, G. & J. Durst,1964.Spanplatten aus BuchenHolz;Wilhelm-Klauditz-Institut.Fur Holzforschung an der Techn.Univ.

20- Takahashi, M, 1996. Biological properties of chemically modified wood. In: D. N. S. Hon (ed.) chemical modification of lignocellulosic materials; Marcel Dekker, Inc. ; New York, Basel, Hong Kong: P: 331-361.

21- Vick C.B.& R.M. Rowell,1990.Adhesive bonding of acetylated wood.INT.J.Adhesion and Adhesives Vol.10 No.4 october.USDA Forest Service,Forest Products Laboratory,USA.

22- Wangaard, F.F,1940. Transverse heat conductivity of wood. Heating, piping and air conditioning. (July): 459-464.

23- Ward, R.J., C. Skaar, 1963. Specific heat and conductivity of particleboard as a function of temperature. Forest prod. J. 13 (1): 31-38.

24- Youngquist, J. A. , A. Krzysik & R. M. Rowell, 1986. Dimensional stability of aspen flakeboard; wood and fiber science. 18 (1): 90-98.

# Investigation on the effect of wood particles acetylation on heat transfer during press and mechanical properties of particleboard

**M. Ghorbani Kookandeh[*1], K. Doosthoseini[2], A. N. Karimi[3] and B.Mohebby[4]**

[1] Assistant Prof., Wood and Paper Science and Technology Department, Agriculture and Natural Resources of Sari University, I. R. Iran

[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[3] Associate prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

[4] Assistant prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, I. R. Iran

(Received 15 April 2007, Accepted 16 July 2007)

## Abstract

This research was conducted to investigate the effect of acetylation on the heat transfer of pressing plate to the core of wood particles cake during hot pressing and mechanical properties in particleboard made of acetylated particles from *Fagus orientalis*. After 12 hours soaking in acetic anhydride, in order to achieving three weight gains, 5, 9 and 16%, particles were heated in oven at 120ºc for 30, 90 & 240 minutes, respectively. During pressing operation of particles, heat transfer was measured by thermocouple wires connected to thermometer. Results showed that by increasing the wooden paricles acetylation severity, heat transfer decreases. Also, by increasing acetylation percent, mechanical properties decrease.

**Keywords:** Chemical modification, Acetylation, *Fagus*, Particleboard, Heat transfer, Pressing time, Mechanical properties

* Corresponding author: Tel: +98 261 2223044 , Fax: +98 261 2249311 , E-mail: ghorbani_mary@yahoo.com