

# بررسی و امکان استفاده از نخ بامبو در لایه‌ی زمینه فرش دستباف با تأکید بر خصوصیات فیزیکی - مکانیکی

فاطمه عزیز عربی<sup>۱\*</sup>، هما مالکی<sup>۲</sup>، سعیده رفیعی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجو کارشناسی ارشد فرش گرایش مواد اولیه و رنگرزی دانشکده هنر، دانشگاه بیرجند، ایران.

<sup>۲</sup>استادیار گروه فرش دانشکده هنر، دانشگاه بیرجند، ایران.

<sup>۳</sup>استادیار گروه فرش دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر شیراز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

## چکیده

پژوهش حاضر، با هدف معرفی نخ بامبو به‌عنوان ماده اولیه جدید در تولید فرش دستباف ایرانی انجام شده است. با توجه به اهمیت کیفیت بالای فرش دستباف، به‌ویژه در لایه زمینه، برای جلب اعتماد مشتریان و رقابت در بازار جهانی، این مطالعه بر بررسی خواص مکانیکی نخ بامبو و امکان استفاده از آن به‌عنوان پرز و چله فرش تمرکز دارد. نتایج نشان داد که نخ بامبو به‌تنهایی به دلیل لفت‌زدگی سطحی، خواص مکانیکی مطلوبی مشابه پنبه، پشم و ابریشم ندارد. برای رفع این مشکل، از دو روش تکمیل با پلاسما سرد و آرد گندم استفاده شد که روش دوم، استحکام و ازدیاد طول بهتری را در نخ بامبو ایجاد کرد. آزمون‌های بارگذاری ثابت و متحرک بر روی نمونه‌های بافته‌شده نشان داد که استفاده از نخ بامبو اصلاح سطح شده به‌عنوان پرز و چله، قابلیت فشارپذیری فرش را افزایش می‌دهد و از کاهش ضخامت آن در اثر فشارهای مکرر یا مداوم جلوگیری می‌کند. با این حال، استفاده از چله بامبو با پرز پشمی به دلیل عدم اصطکاک کافی بین چله و پرز و باز شدن آسان گره‌ها، مناسب تشخیص داده نشد. بنابراین، استفاده از نخ بامبو به‌عنوان پرز در کنار چله پنبه‌ای، گزینه‌ی بهینه‌تر برای تولید فرش دستباف با این ماده اولیه جدید معرفی می‌شود.

کلمات کلیدی: فرش دستباف، نخ بامبو، ضخامت، بارگذاری متحرک، بارگذاری ثابت

## Evaluation of Bamboo Yarn in Handmade Carpet with Emphasis on Physico-Mechanical Properties

Fatemeh Aziz Arabi<sup>1\*</sup>, Homa Maleki<sup>2</sup>, Saeideh Rafiei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master's student in Carpet, Raw Materials and Dyeing, Faculty of Arts, University of Birjand, Iran.

<sup>2</sup>Assistant Professor, Carpet Department, Faculty of Arts, University of Birjand, Iran.

<sup>3</sup>Assistant Professor, Carpet Department, Faculty of Applied Arts, Shiraz University of Arts, Iran.

### Abstract:

This research introduces bamboo yarn as a novel raw material for Iranian handwoven carpets. Given the crucial role of high-quality warp yarns in consumer confidence and global market competitiveness, this study focuses on the mechanical properties of bamboo yarn and its feasibility as both warp and weft in carpet production. Initial findings revealed that untreated bamboo yarn, due to its inherent surface slipperiness, exhibits inferior mechanical properties compared to cotton, wool, and silk. To address this limitation, two surface modification treatments – cold plasma and wheat flour finishing treatment – were employed. The wheat flour treatment yielded superior improvements in tensile strength and elongation compared to the plasma treatment. Static and dynamic load testing of woven samples incorporating modified bamboo yarn demonstrated enhanced carpet resilience and resistance to compaction under repeated or sustained pressure. However, samples with bamboo warp and wool weft exhibited inadequate knot security due to insufficient friction between the warp and weft yarns. Therefore, the optimal application of bamboo yarn is proposed as weft, in conjunction with a cotton warp, in handwoven carpet manufacturing.

Keywords Handwoven carpet, Bamboo yarn, Thickness, Dynamic loading, static loading

## ۱- مقدمه

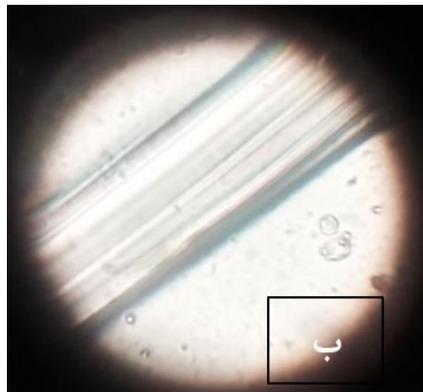
ضرورت توسعه فناوری‌های نوین در تولید نخ، همراه با حفظ سلامت محیط زیست، دانشمندان را به بررسی استفاده از منابع تجزیه‌پذیر مانند الیاف طبیعی گیاهان و پلیمرهای زیستی مشتق‌شده از منابع گیاهی و زیستی سوق داده است. روش‌های موجود برای تولید این نوع نخ‌های جدید، عوامل اصلی و تعیین‌کننده‌ای مانند هزینه، زمان، طول عمر و تأثیرات زیست‌محیطی محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از موادی که در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته و روند رو به رشدی را تجربه می‌کند، نخ بامبو است [۱]. استفاده از بامبو در صنایع مختلف به ویژه در کشورهای آسیای شرقی، مانند چین و ژاپن، قدمتی طولانی دارد. این گیاه از قرن‌ها پیش به عنوان یکی از منابع اولیه برای تولید منسوجات در چین و ژاپن شناخته شده می‌باشد. با گذشت زمان و پیشرفت فناوری‌های تولید، استفاده از الیاف بامبو در صنایع مختلف از جمله صنعت نساجی به سایر نقاط جهان گسترش یافته است. امروزه، این الیاف به عنوان یکی از مواد خام طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در تولید الیاف و پارچه‌های سازگار با محیط‌زیست در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو روش مکانیکی و شیمیایی برای تولید الیاف بامبو وجود دارد. روش شیمیایی آن شامل تولید خمیر بامبو و انجام عملیات شیمیایی شامل مراحل موم‌زدایی، لیگنین‌زدایی و هیدرولیز قلبایی جهت خالص سازی سلولز و سپس ریسندگی به روش تر ریزی است که فرآیند تولید و فرآوری

آن اساساً شبیه ویسکوز است [۳] در روش مکانیکی با استفاده از روش های استخراج غیر سلولزی، الیاف چوب خرد شده بامبو با یک آنزیم طبیعی قبل از شستشو عمل شده و سپس به فرم نخ ریسیده می شوند. ساختار شیمیایی این لیف شامل (۷۴-۷۰)٪ سلولز، (۱۴-۱۲)٪ همی سلولز، (۱۰-۱۲)٪ لیگنین، (۳-۲)٪ مواد استخراجی مانند پروتئین، پکتین و موم می باشد [۴]

گیاه بامبو می‌تواند تا حدود ۹۰ سانتی‌متر در روز رشد کند، که آن را به یکی از سریع‌ترین گیاهان در حال رشد تبدیل می‌کند. این رشد سریع به کاهش نیاز به زمین‌های زراعی و منابع آبی کمک کرده و بامبو با جذب حداکثری دی‌اکسید کربن، در کاهش آثار ناشی از تغییرات آب و هوایی مؤثر است. همچنین، بامبو معمولاً نیازی به کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها ندارد که این امر به حفظ اکوسیستم کمک می‌کند. از سویی دیگر، الیاف بامبو، مشابه الیاف پنبه، سبک، نرم و لطیف بوده، جذب رطوبت بالایی دارد و احساس راحتی زیادی را برای مصرف‌کننده فراهم می‌آورد. با این حال، الیاف بامبو در مقایسه با پنبه به آب و زمین زراعی کمتری برای رشد نیازمند است [۵]. براقیت و درخشندگی الیاف بامبو مزیت دیگر آن بر الیاف پنبه است که این الیاف را بی‌نیاز از فرایندهای تکمیلی از جمله مرسیزاسیون می‌کند [۶]. علاوه بر این، صاف بودن سطح الیاف بامبو هنگام تماس با پوست بدن، موجب عدم تحریک پوست بدن به ویژه پوست‌های حساس می‌گردد [۷]. از طرفی دیگر، خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی قابل توجه [۸] و مقاومت بالای الیاف بامبو در برابر اشعه ماوراء بنفش

الیاف بامبو ۲ الی ۳ درجه سانتی‌گراد کمتر از دمای محیط باشد که آن را گزینه‌ای مناسب برای البسه تابستانه کرده و مانع از تخریب و پوسیدگی این الیاف می‌گردد [۱۲]. بنابراین با توجه به ویژگی‌های مثبت ذکر شده، کاربرد این گیاه که در شکل ۱ آورده شده است، در صنایع مختلف من جمله نساجی می‌تواند نقش مهمی در ایجاد محصولاتی پایدار و دوستدار محیط زیست ایفا کرده و به توسعه پایدار کمک نماید.



[۹] نیز از دیگر ویژگی‌های اثبات شده این الیاف بوده که در کنار استحکام کششی، دوام و پایداری بالا، آن را به یک ماده اولیه منحصر به فرد سازگار با محیط زیست در قرن بیست و یکم تبدیل نموده است [۱۰]. رنگرزی سریع و جذب آب بالا در لیف بامبو به واسطه ترک‌های بسیار ریز و شیارهای موجود بر سطح لیف، سبب تسهیل فرآیند رنگرزی و افزایش ثبات رنگی این الیاف می‌گردد [۱۱]، همچنین نفوذپذیری هوا و ایجاد تعادل حرارتی بیشتر این الیاف نسبت به پنبه و حتی کنف، سبب می‌شود که دمای

شکل ۱- گیاه بامبو: الف) تصویری از ساقه گیاه بامبو قبل از استخراج الیاف، ب) برش طولی نمونه الیاف بامبو با بزرگنمایی

x100

اغلب این روش‌ها شیمیایی بوده و با مصرف مقادیر زیادی آب، مواد شیمیایی و انرژی همراه هستند. بنابراین نه تنها هزینه‌های جانبی تولید منسوج، اعم از مواد اولیه و انرژی بالا می‌رود، پسماند شیمیایی و مضر نیز به محیط زیست و آب‌های زیر زمینی وارد می‌کند [۱۴].

یکی از روش‌هایی که به تازگی برای اصلاح خواص سطحی منسوجات مورد توجه قرار گرفته است، فناوری پلاسما سرد می‌باشد. پلاسما می‌تواند خواص سطحی الیاف را بدون تاثیر بر ساختار و خواص داخلی تغییر دهد. زیرا عمق نفوذ

در کنار مزایای ذکر شده برای الیاف بامبو، این الیاف دارای معایبی نیز می‌باشند که کاربری آنها را برای استفاده در نساجی و بخصوص فرش دستباف کاهش می‌دهد. یکی از مهمترین این معایب این است که نخ بامبو سطح صافی دارد و بسیار لغزنده و دارای تاب اندک است. لذا نیاز به روشهای کاربردی جهت کاهش لغزندگی سطحی این الیاف در راستای بهبود کارایی آن وجود دارد [۱۳]. در صنعت نساجی روش‌های مختلفی برای اصلاح خواص الیاف در راستای تولید منسوجات با کارایی ویژه قابل انجام است.

پلاسمای معمولاً کمتر از ۱۰mm بوده و تنها لایه های سطحی لیف تحت تاثیر قرار می گیرند [۱۵]. یکی دیگر از روش های اصلاح معایب سطحی، کاهش لغزندگی لیاف، افزایش استحکام کششی و بهبود تاب خوردگی لیاف، روش تکمیل و اصلاح سطح با آرد گندم است [۱۶]. این روش کاملاً سنتی بوده و از گذشته تا کنون در شهرستان زاوین (در منطقه کلات نادر واقع در خراسان رضوی) برای از بین بردن صمغ ابریشم و اصلاح سطح آن استفاده می شده است (مصاحبه میدانی با مردم شهرستان).

از سوی دیگر، علیرغم اهمیت فرش دستباف ایران در حوزه های فرهنگی و اقتصادی، تا کنون تحقیقات مختصری به تاثیرات مواد اولیه بر کیفیت فرش نهایی پرداخته اند. فتح الله تبار و همکاران به تحلیل کمی الگوهای راحتی مصرف فرش دستباف و روش های متفاوت اندازه گیری کیفی و کمی شاخص راحتی مصرف فرش پرداخته است [۱۷]. ملکان نیز منحصراً تاثیر خواص فیزیکی و شیمیایی پشم را در کیفیت فرش دستباف مورد مطالعه قرار داده است [۱۸]. در پژوهشی دیگر، شاخص درصد برگشت پذیری پرز فرش، ثباتهای عمومی نخ های پرز و دوام نمود طرح و نقش فرش به عنوان مهمترین عوامل بر طول عمر فرش دستباف معرفی شده است [۱۹]. تحلیل رفتار فشار پذیری خاب فرش دستباف، تشخیص ساختمان داخلی فرش دستباف به روشی غیر مخرب و تاثیر آن بر دوام فرش نیز موضوع بررسی برخی دیگر از مقالات علمی بوده است.

اگرچه مقالات متعددی به بررسی ساختار شناسی لیاف بامبو و کاربرد آن در صنایع مختلف اعم از نساجی و پوشاک

پرداخته اند، اما بررسی و امکان سنجی استفاده از لیاف بامبو به عنوان ماده اولیه در فرش دستباف تا کنون مورد بررسی و پژوهش قرار نگرفته است.

با توجه به مزایای زیست محیطی، مکانیکی و ضد باکتریایی ذکر شده برای لیاف بامبو، بررسی و بهینه سازی کاربرد این لیاف در صنایع مختلف از جمله فرش دستباف حائز اهمیت است. این پژوهش با هدف ارزیابی امکان استفاده از نخ بامبو به عنوان ماده اولیه سازنده فرش دستباف و استحکام منسوج نهایی صورت گرفته است. از سوی دیگر، نظر به اینکه چالش اصلی در استفاده از نخ بامبو در صنایع نساجی، لغزندگی سطحی و کمبود تاب آن است، در این تحقیق تاثیر فرایندهای پلاسمای سرد و تکمیل سطح با آرد گندم بر بهبود خواص سطحی، تسهیل فرایند بافت و ارتقا استحکام فرش دستباف می پردازد.

در شکل ۱ تصویری میکروسکوپی از لیاف بامبو توخالی مورد استفاده در این تحقیق دیده می شود.

## ۲- تجربیات

### ۲-۱- مواد و دستگاه ها

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش عبارت اند از نخ بامبو خریداری شده از بنگلادش، نخ پشمی ایرانی تولید شده توسط شرکت ایران مرینوس، لیاف ابریشمی صمغ گیری شده تولید شده در گیلان و نخ پنبه ای تهیه شده در بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی که ویژگی های آنها در جدول ۱- ذکر شده است. همچنین آرد گندم مورد استفاده در این تحقیق، آرد مورد استفاده در نانوائی ها است که از بیرجند تهیه گردید.

از میکروسکوپ دو چشمی بیولوژی ساخت شرکت آلمانی کرن ۱ جهت ارزیابی بصری نمونه ها با بزرگنمایی ۱۰۰ استفاده گردید. استحکام نخ های مورد استفاده بوسیله دستگاه استحکام سنج ساخت شرکت کاردوتک<sup>۲</sup> با استفاده از استنداردهای ملی ۴۵۶، ۶۱۴۱، ۱۶۶۰ و ۶۱۴۰ صورت گرفت. دستگاه پلاسما ساخت شرکت بسافن آوران نصیر جهت اصلاح سطح نخ های مورد استفاده در این پژوهش و با استفاده از سیستم های مبتنی بر پلاسمای اتمسفری انجام گرفت.

جهت اندازه گیری ضخامت پرز فرش، از دستگاه ضخامت سنج تولید شرکت نوین ریس سنج مطابق با شرایط استاندارد شماره ۸۸۹ ملی صورت گرفت. در این آزمون، نمونه ها به مدت حداقل یک روز در شرایط محیطی میلی متر در دقیقه انجام گرفت. علاوه بر این، نمره دقیق هر نخ با استفاده از سیستم مستقیم تکس ۳ محاسبه گردید. میانگین نمره ۵ ناحیه از هر نخ در جدول ۱- گزارش شده است.

آزمایشگاه قرار گرفتند و بسته به نوع آزمایش، به قطعاتی بریده شدند. اندازه گیری بسته به نوع آزمون ۶-۸ بار تکرار و میانگین آنها گزارش گردید. (اطلاعات کامل داده ها و همینطور تحلیل آماری صورت گرفته در پیوست قابل ملاحظه می باشد).

دستگاه بار گذاری استاتیکی و دینامیکی شرکت ریس سنج با استفاده از استانداردهای ۳۴۱۶ و ۲۰۹۴ مورد بهره برداری قرار گرفت و در نهایت از دستگاه استحکام سنج پرز فرش ساخت ریس سنج با قابلیت اندازه گیری نیروی بیرون کشیدن پرز فرش برحسب سانتی نیوتن با استفاده از استاندارد ملی ایران به شماره ۸۸۵ برای نمونه برداری و استاندارد ۸۸۶ برای اندازه گیری ضخامت قبل از اعمال نیرو استفاده گردید.

#### ۲-۲- روش کار

##### ۲-۲-۱- استحکام سنجی نخ های مورد مطالعه

در مرحله نخست، استحکام نخ های مورد مطالعه با استفاده از دستگاه استحکام سنج بررسی و مقایسه شد. این آزمون در شرایط محیطی استاندارد و با سرعت حد متقاطع ۰/۵

جدول ۱- نمره نخ های مورد استفاده در این پژوهش

نمره (Tex)	وزن (gr)	طول (m)	تعداد لا	نخ بامبو
410	0.41	1	9	
450	0.45	1	14	نخ پنبه. پود ضخیم و چله
390	0.39	1	12	نخ پنبه. پود نازک
310	0.31	1	-	نخ پشم
250	0.21	1	-	نخ ابریشم

<sup>3</sup> Tex

<sup>1</sup> KERN

<sup>2</sup> kardotek

را روی سطوح منسوجات ایجاد کند. نتایج تحقیقات نشان داده است که در هر روش پلاسما، بسته به گروه‌های عاملی ایجاد شده سطحی قادر است خواص سطحی از جمله جذب رطوبت، جذب رنگ و لغزندگی سطحی را تغییر داده و اصلاح کند [۲۲]. در این پژوهش در ابتدا، گاز اکسیژن و آرگون در محفظه تحت فشار پایین قرار گرفته و با استفاده از یک منبع انرژی (مانند تخلیه الکتریکی) به حالت پلاسما تبدیل شده و به یون‌ها و رادیکال‌های آزاد تبدیل گردید. سپس، الیاف بامبو به محفظه وارد شده و با پلاسما در تماس قرار گرفت. رادیکال‌های آزاد و یون‌های اکسیژن با سطح الیاف واکنش نشان داده و گروه‌های اکسیژن دار از جمله کربوکسیل و هیدروکسیل را بر روی سطح ایجاد نمودند. این اصلاح سطحی باعث ایجاد زبری در سطح الیاف می‌شود که موجب افزایش چسبندگی و کاهش لغزندگی سطحی می‌گردد که به بهبود خواص مکانیکی و فیزیکی نخ بامبو کمک می‌کند. در این پژوهش، پلاسما نخ بامبو با استفاده از دستگاه پلاسما در شرایط استاندارد (ولتاژ ۶۰ با فرکانس ۱۸ و در زمان ۶۰ دقیقه) در حالت خلاء عمل شد و مجدداً عملیات سنجش استحکام نخ انجام شد [۲۳].

۲-۲-۳- فرآیند اصلاح سطح نخ بامبو به روش آردگندم همانطور که ذکر شد، فرایند تکمیل با آرد گندم، روشی است که به طور سنتی در خراسان جنوبی به صمغ گیری ابریشم با خمیر آرد می‌پردازد. مطالعات نشان داده است که در اثر تخمیر و رشد میکروارگانیسم‌ها در خمیر آرد گندم (آهار) آنزیم‌هایی همچون آکلاز، سریسیناز، پروتئاز،

سپس، الیاف جهت سنجش استحکام، روی یک قابی با طول ۷/۵ سانتی متر چسبانده و توسط فک های دستگاه استحکام سنج کشیده شدند. در این آزمون، میزان مقاومت تا حد پارگی برای هر نمونه الیاف ۱۲ بار تکرار گردید و میانگین این تکرارها در جدول ۳ گزارش شد.

شایان ذکر است که در طی این آزمون، لغزندگی بالا و تاب کم نخ بامبوی مورد پژوهش، سنجش استحکام این الیاف را دشوار کرد. لذا با فرض بر اینکه این لغزندگی سطحی، کاربرد این الیاف را در تولید فرش دستباف، به ویژه به عنوان چله، محدود می‌نماید، از دو روش اصلاح سطح با روش پلاسما و آهار آرد گندم، جهت بهبود این نواقص استفاده گردید که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۲-۲-۲- فرآیند اصلاح سطح نخ بامبو به روش پلاسما پلاسما عبارت است از گازی که تا حدی یونیزه شده و شامل اتم‌ها، مولکول‌ها، یونها و رادیکال‌های فعال شده باشد. فرایند اصلاح سطحی پلاسما به این صورت است که با القای نیروی الکترومغناطیس در یک محیط گازی، تغییرات ساختاری در گاز ایجاد کرده و آن را یونیزه میکند. ساختار جدید گازی شامل الکترون‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها و رادیکال‌های آزاد میباشد که امکان ایجاد گروه‌های عاملی مختلف را بروی سطح منسوجات و الیاف فراهم می‌آورد.

پژوهش‌های بسیاری در زمینه بررسی اثر عملیات پلاسما روی خواص فیزیکی، شیمیایی و کاربردی الیاف مختلف انجام شده است. این عملیات میتواند بسته به نوع گاز مصرفی، توان، زمان و سایر شرایط عملیات اثرهای متفاوتی

سلولاز و اگزناناز ایجاد میگردد. این آنزیم ها قادر هستند سطوح الیاف طبیعی را اصلاح نموده و سبب کارایی بالاتر الیاف گردد. در روش تکمیل آنزیمی، برای صمغ گیری ابریشم از آنزیم سریسیناز و تکمیل ضدنمدی کردن پشم از آنزیم پروتئاز و از سلولازها و اگزنانازها برای نرم کردن جوت بهره می‌برند [۲۴].

به علت شباهت فیزیکی الیاف بامبو با ابریشم از نظر برایت و صافی سطح، امکان کاربرد این فرایند جهت اصلاح لغزندگی سطحی بامبو بررسی شد. در این روش ابتدا آرد گندم به مقدار کمی آب افزوده می‌شود تا به حالت خمیر تبدیل گردد. سپس این خمیر به‌طور مداوم ورز داده می‌شود تا خاصیت چسبندگی آن به‌طور کامل کاهش یابد. پس از آن، خمیر تهیه شده در مقدار بیشتری سنجش خصوصیات مکانیکی هر آزمونه، بر مبنای استاندارد های سنجش استحکام، علامت گذاری و بریده شد. جدول ۳ تصاویر رو و پشت چهار آزمونه و نحوه علامت گذاری را نشان می‌دهد.

آب غوطه‌ور شده و مجدداً ورز داده می‌شود تا آرد به‌طور کامل در آب حل شود. در این مرحله، با خارج کردن خمیر از آب، تنها مایع سفید و غلیظی باقی می‌ماند که به که با حرارت دهی کم (عملیات پخت)، تبدیل به ماده ای با غلظت بالا میگردد که "آهار" نامیده میشود. نخ‌های بامبو به حمام حاوی آهار افزوده شده و به مدت ۲ ساعت در آن استراحت می‌کنند. سپس شسته شده و در معرض هوای آزاد خشک می‌شوند. بعد از انجام مرحله‌ی تکمیل نخ بامبو با آرد گندم، استحکام نخ‌های اصلاح سطح شده به هر دو روش اندازه‌گیری و با نخ بامبوی عمل نشده، پشم، ابریشم و پنبه مقایسه گردید. نتایج در جدول ۴ گزارش شده است.

#### ۴-۲-۲- بافت نمونه فرش ها

در این بخش از پژوهش، تعداد چهار نمونه فرش (آزمونه) با ارتفاع پرز نیم سانتی‌متر، رجشمار ۴۰ و روش ترکی باف در ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتی متر بافته و بر مبنای الیاف اولیه سازنده کد گذاری و در جدول ۲ گزارش شدند. برای

جدول ۲- مشخصات آزمونه های بافته شده جهت سنجش استحکام

مواد اولیه			
کد نمونه	نخ پود	نخ چله	نخ پرز
Cw	پنبه	پنبه	پشم
Cs	پنبه	پنبه	ابریشم
Cb	پنبه	پنبه	بامبو
Bw	پنبه	بامبو	پشم

جدول ۳- تصاویر فرش های بافته شده جهت ارزیابی های مکانیکی

تصاویر چهار آزمون بافته شده:			
Bw	Cb	Cw	Cs
			
نحوه علامت گذاری هر آزمون جهت آزمونهای استحکام سنجی:			
			
راهنمای علامتگذاری آزمون:			
(A) جهت آزمون با دستگاه بارگذاری استاتیکی			
(B) جهت آزمون با دستگاه بارگذاری دینامیکی			
(C) جهت آزمون با دستگاه استحکام سنج پرز فرش			

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- تعیین استحکام نخ های مورد استفاده در این

#### پژوهش

نتایج حاصل از ارزیابی استحکام نمونه ها به صورت نمودار نیرو - ازدیاد طول (تنش - کرنش) در شکل ۲ مشاهده می شود. در این نمودار محور عمودی میزان فشار یا نیروی وارد بر نخ های مورد پژوهش و محور افقی میزان کشش و ازدیاد طول تا حد پارگی را نشان می دهند. علاوه بر این، خواص مکانیکی نمونه نخ های مورد استفاده در این پژوهش در

جدول ۴ گزارش گردیده است.

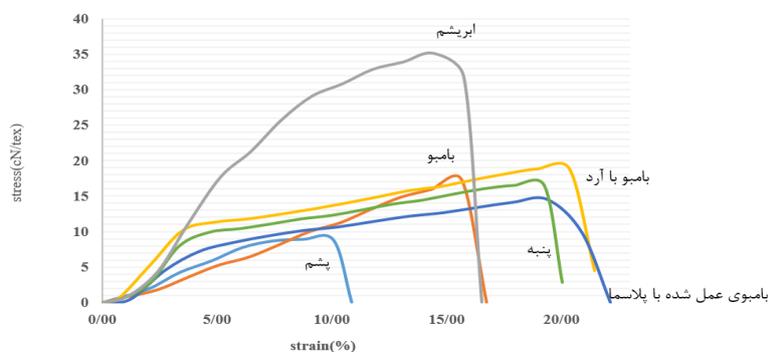
همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، فشار در تمام نمونه نخ ها، در ابتدای کشش با شیب قابل توجهی افزایش یافته است. ماکزیمم فشار تحمل شده به ترتیب متعلق به نخ ابریشم، بامبوی عمل شده با آرد و پنبه می باشد. نخ پنبه به دلیل استحکام بالا، ماده اولیه در نخ چله اغلب فرش های دستباف است. یکی از مهمترین اهداف این پژوهش امکان استفاده از نخ بامبو به عنوان نخ چله فرش

است. از سویی دیگر از بین سه نخ بامبوی خام، تکمیل شده با پلاسما و آرد، نخ های اصلاح سطحی شده به هر دو روش افزایش استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی بالایی نشان دادند. از این بین نخ بامبوی عمل شده با آرد گندم ازدیاد طول تا حد پارگی بالاتری را نشان داده است. توجه به این نکته ضروری است که کم بودن ازدیاد طول مشخصه مکانیکی لیف بابو است و با عملیات های اصلاح سطح تغییر چندانی از خود نشان نمی دهد. اما طبیعی بودن لیف، زیست تخریب پذیر بودن و سازگاری بیشتر آن با بدن انسان از مهمترین دلایل استفاده از این نخ در تولید فرش می باشد.

دستباف به جای پنبه است. بنابراین استحکام تا حد پارگی نخ بامبو معیار مهمی جهت این کاربرد و جایگزینی می باشد. بر اساس نتایج حاصل از شکل ۲ اصلاح سطحی با آرد گندم به میزان قابل توجهی سبب بهبود کیفیت نخ بامبو در هر دو بخش استحکام و ازدیاد طول آن شده است و این الیاف را به گزینه ی مناسبی جهت کاربرد در لایه ی زمینه فرش میدل کرده است. این در حالیست که نخ بامبو اصلاح شده به روش پلاسما استحکام قابل قبولی ارائه نکرد و این عملیات تنها قابلیت کشسانی لیف را بهبود بخشیده است. داده های جدول ۴ نیز نتایج بدست آمده را تایید می نماید. همانطور که در این جدول مشاهده می شود، بیشترین استحکام و ازدیاد طول تا حد پارگی متعلق به الیاف ابریشم

جدول ۴- خواص مکانیکی نمونه نخ های مورد استفاده در این پژوهش

نوع نخ	بیشترین استحکام (cN <sup>1</sup> .Tex) <sup>1</sup>	ازدیاد طول تا حد پارگی (%)	مدول اولیه (cN.Tex)
پشم	8.84±0.70	10.99±1.33	
ابریشم	29.52±3.03	15.31±2.03	83.57±12.13
پنبه	16.92±1.13	19.73±4.29	51.98±12.90
بامبو	بامبو خام	18.51±0.55	68.37±23.50
	بامبو عمل شده با پلاسما	19.33±1.36	52.13±23.48
	بامبو عمل شده با آرد	18.98±0.81	24.02±2.33
			41.45±9.05



شکل ۲- منحنی تنش - کرنش نمونه نخ های مورد مطالعه

## ۳-۲- تعیین ضخامت آزمون‌ها تحت بارگذاری

## متحرک (دینامیکی)

در این بخش از مطالعه، چهار نمونه فرش با ترکیب‌های مختلف مواد در چله و پرز شامل نمونه فرش با چله پنبه و پرز پشمی (CW)، فرش با چله پنبه و پرز ابریشم (CS)، فرش با چله پنبه و پرز بامبو (CB) و فرش با چله بامبو عمل شده با نشاسته آرد گندم و پرز پشم (BW) طبق استاندارد ۸۸۵ برش خورده و جهت تعیین میزان تغییرات ضخامت و استحکام تحت بارگذاری دینامیکی قرار گرفتند. در این آزمون، یک وزنه به طور پی‌درپی و آزادانه روی هر آزمون فرود آمده (هر فرود مطابق با یک ضربه در نظر گرفته شده است) و نیروهای برش عمودی که به وسیله لبه‌های زیرین وزنه ایجاد می‌شود، روی سطح معینی از آزمون عمل میکند. این نیرو پس از حذف، بسته به نوع مواد اولیه و تعداد ضربات مورد آزمایش بر روش ضخامت پرز آزمون‌ها تاثیر می‌گذارد.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در ابتدای فرایند بارگذاری متحرک، پرز فرش مشابه فنر با سختی فشار پذیری کم‌تر عمل نموده و به راحتی فشرده شده است. اما با ادامه بارگذاری، رفتار مکانیکی پرز فرش تغییر نموده و مشابه فنر با سختی زیاد عمل کرده است. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که در این آزمون هر چه تعداد ضربات بیشتر شده است، مدت فشار پذیری فرش نیز طولانی‌تر شده و پرز پشمی آزمون برگشت پذیری قابل توجهی را نشان می‌دهد. دلیل این امر ماهیت فیزیکی و شیمیایی متفاوت الیاف پشم نسبت به سایر الیاف مورد استفاده می‌باشد. چرا که

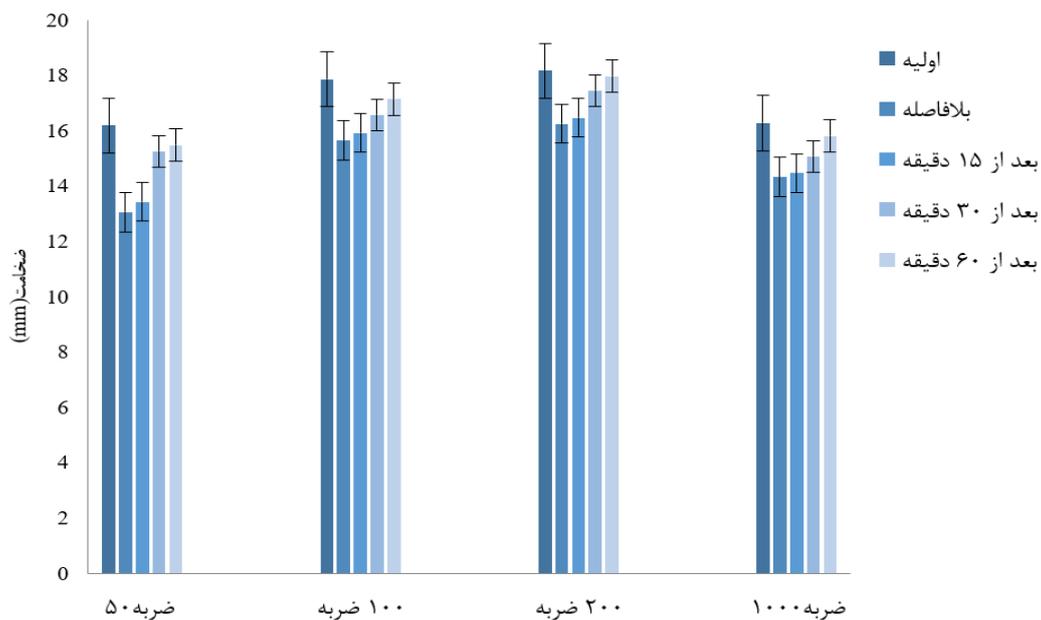
بنابراین، ضخامت اولیه پرز فرش و همچنین ضخامت بلافاصله بعد از اعمال ۵۰ الی ۱۰۰-۲۰۰ و ۱۰۰۰ ضربه، برای هر کدام از آزمون‌ها مطابق با استاندارد ۸۸۹ اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های صورت گرفته برای هر آزمون ۶-۸ بار تکرار و میانگین آنها گزارش گردید. علاوه بر این، میزان برگشت‌پذیری ضخامت آزمون‌ها، بلافاصله، ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه و ۶۰ دقیقه پس از برداشتن بار اندازه‌گیری شد.

میانگین ضخامت آزمون پشمی (CW) پس از اعمال از اعمال ۵۰ الی ۱۰۰-۲۰۰ و ۱۰۰۰ ضربه و گذشت زمان ۰ (بلافاصله)، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه بعد از حذف نیرو محاسبه و در جدول ۵ گزارش شده است. علاوه بر این، مقایسه میزان افت ضخامت فرش بعد برای آزمون با پرز پشمی در شکل ۳ نشان قابل مشاهده است. در این شکل، محور عمودی ضخامت پرز فرش را بر اساس میلی‌متر و محور افقی تعداد ضربات را نشان می‌دهد.

نحوه قرار گیری لایه‌های اورتو و پاراکورتکس نخ سبب تجعد و الاستیسیته منحصر به فرد این لیف شده است. اما علیرغم برگشت پذیری بالای پشم، پرز این آزمون در همه تعداد ضربات و مدت زمانهای مختلف پس از حذف نیرو به طور کامل به طول اولیه برگشته و میزانی تغییر ضخامت دائم نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در تعداد ضربات بالاتر این تغییر ضخامت به حداقل رسیده است. محاسبات آماری نیز نتایج معنا داری را نشان می‌دهد (جدول پیوست ۱-۲ و ۵-۱).

جدول ۵- میانگین ضخامت آزمونه‌ی پشمی (Cw) تحت بارگذاری متحرک در تعداد ضربات و مدت زمانهای متفاوت

تعداد ضربات	Cw	ضخامت پرز پشم				
		اولیه	بلافاصله	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
۵۰ضربه	Average(mm)	16/18	13/06	13/43	15/25	15/74
	SD(mm)	0/21	0/74	0/84	0/28	0/4
	CV(%)	1/31	5/86	6/26	1/82	2/57
۱۰۰ضربه	Average(mm)	17/86	15/64	15/92	16/57	17/14
	SD(mm)	0/85	1/13	1/01	1/03	0/94
	CV(%)	4/73	7/22	6/35	6/23	5/47
۲۰۰ضربه	Average(mm)	18/16	16/25	16/46	17/45	17/97
	SD(mm)	0/56	0/78	0/85	0/68	0/61
	CV(%)	3/07	4/78	5/14	3/92	3/41
۱۰۰۰ضربه	Average(mm)	16/28	14/32	14/46	15/07	15/81
	SD(mm)	0/52	0/79	0/73	0/58	0/55
	CV(%)	3/21	5/52	5/02	3/85	3/48



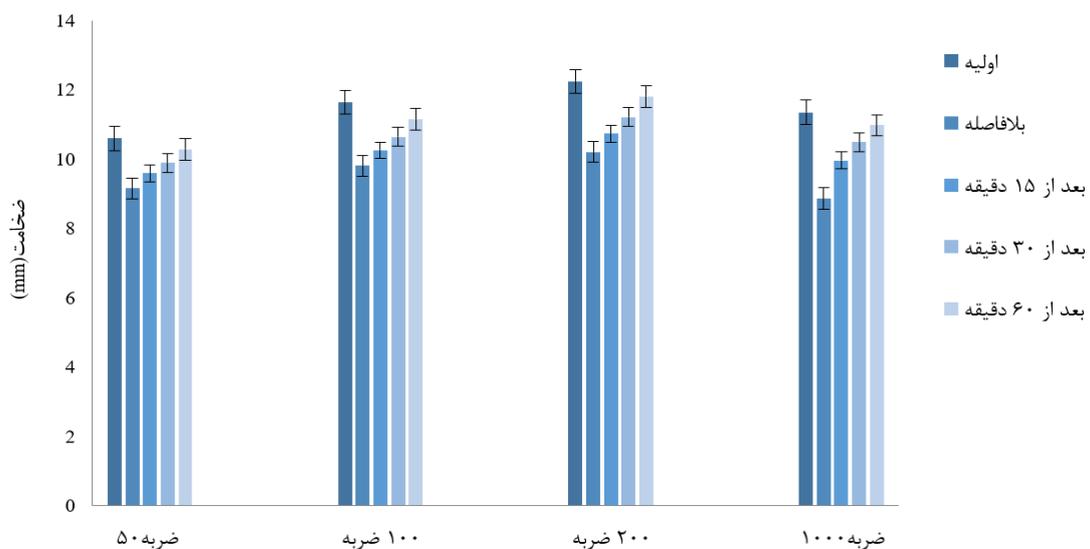
شکل ۳- ضخامت (mm) آزمونه‌ی پشمی (Cw) تحت بارگذاری متحرک

است. در نتیجه ضخامت اولیه آزمون با پرز ابریشمی نیز بالاتر از ضخامت اندازه گیری شده پس از هر تعداد ضربه می باشد.

جدول ۶ و شکل ۴، میزان تغییرات ضخامت آزمون با پرز ابریشمی را تحت بارگذاری متحرک نشان می دهد. همانند آزمون با پرز پشمی، در این آزمون نیز هر چه تعداد ضربات بیشتر شده است مدت فشار پذیری فرش نیز طولانی تر شده

جدول ۶- میانگین ضخامت آزمون ابریشمی (Cs) تحت بارگذاری متحرک در تعداد ضربات و مدت زمانهای متفاوت

تعداد ضربات	Cs	ضخامت پرز ابریشم				
		اولیه	بلافاصله	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
۵۰ ضربه	Average(mm)	10/6	9/16	9/6	9/9	10/29
	SD(mm)	1/43	1/27	1/41	1/4	1/14
	CV(%)	13/48	13/82	14/68	14/12	13/14
۱۰۰ ضربه	Average(mm)	11/65	9/81	10/26	10/65	11/15
	SD(mm)	2/55	3/24	3/24	3/01	2/93
	CV(%)	21/88	33/04	31/55	28/29	26/24
۲۰۰ ضربه	Average(mm)	12/25	10/21	10/74	11/22	11/81
	SD(mm)	2/36	2/36	2/31	2/25	2/3
	CV(%)	19/3	23/12	21/55	20/07	19/45
۱۰۰۰ ضربه	Average(mm)	16/28	14/32	14/46	15/07	15/81
	SD(mm)	0/52	0/79	0/73	0/58	0/55
	CV(%)	3/21	5/52	5/02	3/85	3/48



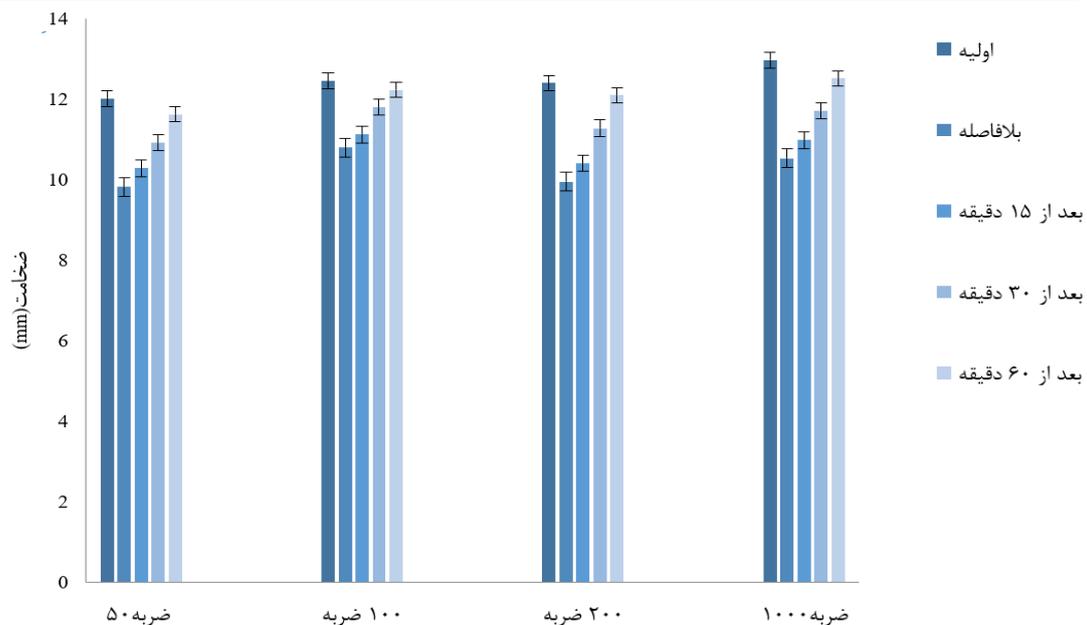
شکل ۴- تغییرات ضخامت (mm) آزمون ابریشمی (Cs) تحت بارگذاری متحرک

علاوه بر این، در این آزمون ضخامت پرز بعد از گذشت زمان‌های مورد مطالعه همچنان کوتاه‌تر از ضخامت اولیه بوده و برگشت پذیری به کندی صورت گرفته است. اما با افزایش تعداد ضربات به ۱۰۰۰ ضربه شاهد بزرگ‌گشت پذیری بهتر پرز بامبو در آزمون هستیم.

تغییرات ضخامت آزمون با پرز بامبو نیز تحت بارگذاری متحرک ارزیابی و در جدول ۷ و شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد. در این آزمون نیز، با افزایش تعداد ضربات دستگاه از ۵۰ تا ۱۰۰۰ ضربه، مدت زمان برگشت فشار پذیری نیز طولانی‌تر شده است.

جدول ۷- میانگین ضخامت آزمون‌های بامبو (Cb) تحت بارگذاری متحرک در تعداد ضربات و مدت زمانهای متفاوت

تعداد ضربات	Cb	ضخامت پرز بامبو				
		اولیه	بلافاصله	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
۵۰ ضربه	Average(mm)	12/02	9/82	10/29	10/92	11/63
	SD(mm)	2/68	2/39	2/8	2/68	2/53
	CV(%)	22/33	24/35	27/22	24/57	21/77
۱۰۰ ضربه	Average(mm)	12/45	10/8	11/13	11/8	12/23
	SD(mm)	2/07	1/61	1/72	2/05	2/17
	CV(%)	16/65	14/92	15/48	17/37	17/73
۲۰۰ ضربه	Average(mm)	12/4	9/95	10/41	11/28	12/1
	SD(mm)	1/64	1/78	1/79	1/63	1/58
	CV(%)	13/26	17/88	17/23	14/42	13/3
۱۰۰۰ ضربه	Average(mm)	12/97	10/53	9/99	11/71	12/52
	SD(mm)	2/11	1/23	1/24	1/48	1/62
	CV(%)	16/25	11/64	11/28	12/65	12/91



شکل ۵- تغییرات ضخامت (mm) آزمون‌های بامبو (Cb) تحت بارگذاری متحرک

همانطور که ذکر شد، برای شناخت بهتر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی الیاف بامبو، این الیاف در آزمون‌های دیگر به عنوان چله استفاده و با پرز پشم بافته شدند (Bw). این آزمون‌ها نیز همانند آزمون‌های قبلی تحت بارگذاری متحرک با تعداد ضربات متفاوت قرار گرفت و ضخامت اولیه و نهایی پرز فرش بلافاصله پس از قطع ضربات و بعد از مدت زمانهای ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمون در جدول ۸ و شکل ۶، قابل مقایسه است. توجه به این نکته ضروری است که الیاف بامبو اصلاح شده به روش تکمیل با آرد در این آزمون به عنوان پرز مورد استفاده قرار گرفته است.

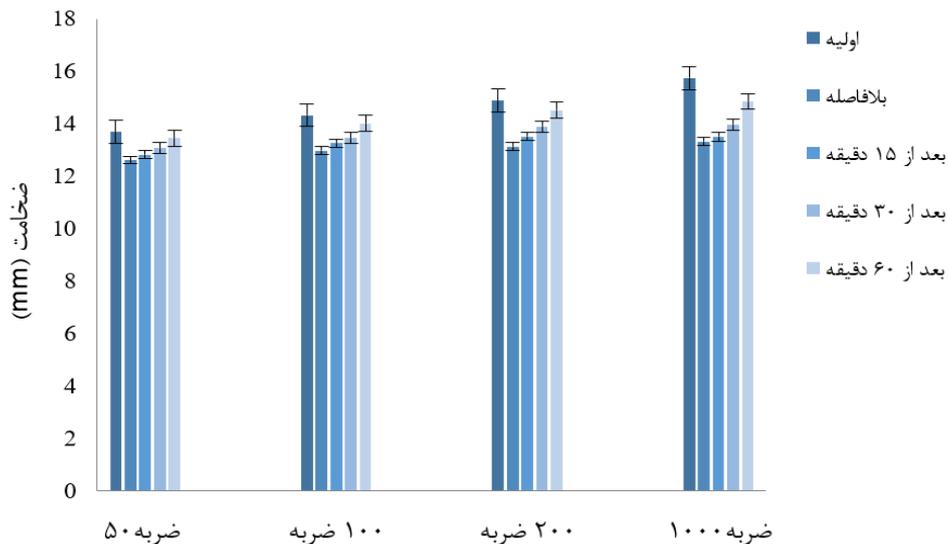
با توجه به داده‌های به دست آمده برای نمونه‌های بافته شده با چله بامبو، هر چه تعداد ضربات بیشتر شده فشار پذیری نیز طولانی‌تر شده است. مقایسه دو آزمون بافته شده با پرز یکسان پشمی شکل ۳ و ۵، نشان می‌دهد که علی‌رغم

الاستیسته بالای پشم، در آزمون با چله بامبو میزان برگشت پذیری پرز فرش کمتر از آزمون با چله پنبه است. یکی از دلایل احتمالی این امر این است که عمل‌آوری نخ بامبو با آرد گندم سبب افزایش سختی و ضخامت بامبو شده و درگیری بیشتری با پرز پشمی ایجاد شده که بر الاستیسته آن تاثیر گذاشته است. بنابراین، تکمیل نخ بامبوی چله سبب کاهش انعطاف‌پذیری کلی فرش شده است. به این صورت که که پرز فرش در مقابل نیرو مقاومت بیشتری از خود نشان داده و در نتیجه پرزها کمتر فشرده میشوند. با این حال، اگر فشار بیش از حد باشد، پرزها به سختی به حالت اولیه خود باز می‌گردند.

این خصوصیت میتواند منجر به کاهش سایش پرزهای پشمی بشود. این بدان معنی است که پرزها کمتر دچار حرکت و ساییدگی دچار آسیب شده و حساسیت کمتری به ایجاد فرسودگی خواهند داشت.

جدول ۸- میانگین ضخامت آزمون‌های بامبوی عمل شده با آرد (Bw) تحت بارگذاری متحرک در تعداد ضربات و مدت زمانهای متفاوت

تعداد ضربات	Bw	ضخامت پرز				
		اولیه	بلافاصله	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
۵۰ضربه	Average(mm)	13/69	12/62	12/83	13/07	13/46
	SD(mm)	0/16	0/19	0/15	0/22	0/13
	CV(%)	1/2	1/52	1/19	1/71	0/99
۱۰۰ضربه	Average(mm)	14/33	12/98	13/26	13/45	14/02
	SD(mm)	0/35	0/62	0/52	0/46	0/09
	CV(%)	2/47	4/77	3/94	3/41	0/63
۲۰۰ضربه	Average(mm)	14/89	13/13	13/52	13/9	14/51
	SD(mm)	0/5	0/51	0/26	0/48	0/42
	CV(%)	3/33	3/88	1/96	3/47	2/86
۱۰۰۰ضربه	Average(mm)	15/74	13/33	13/51	13/98	14/85
	SD(mm)	0/69	0/44	0/39	0/54	0/41
	CV(%)	4/39	3/27	2/87	3/84	2/74



شکل ۶- ضخامت (mm) آزمونه با نخ چله بامبو عمل شده با آرد (Bw) تحت بارگذاری متحرک

پشمی با چله بامبو اصلاح شده با آرد بوده است. علاوه بر این، آزمون دانکن برای ارزیابی نوع نمونه نشان داد نوع پرز و چله آزمونه‌ها در هر تعداد ضربه بر رفتار پرز فرش تاثیر معنا داری دارد (جداول پیوست ۲-۱ و ۴-۱). بین سه آزمونه با چله یکسان پنبه، بیشتری مقاومت و فشار پذیری متعلق به آزمونه با چله پنبه‌ای با پرز ابریشمی (Cs) بوده است که با توجه به استحکام بالای نخ ابریشم نسبت به سایر مواد اولیه مورد پژوهش بدیهی به نظر میرسد و با نتایج بدست آمده در جدول ۴ همخوانی دارد. از طرفی دیگر، آزمونه با چله پنبه‌ای و پرز بامبو (Cb) نیز نسبت به آزمونه با چله پنبه‌ای و پرز پشمی (Cw) از نظر استحکام مقاومت بیشتری نشان میدهد. توجه به این نکته ضروری است که الیاف بامبو اصلاح شده به روش تکمیل با آرد در این آزمونه به عنوان پرز مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصله با رفتار نخ های اولیه در جدول ۴ مطابقت دارد. در مقایسه دو آزمونه بافته شده با پرز یکسان پشم، Cw و Bw، آزمونه

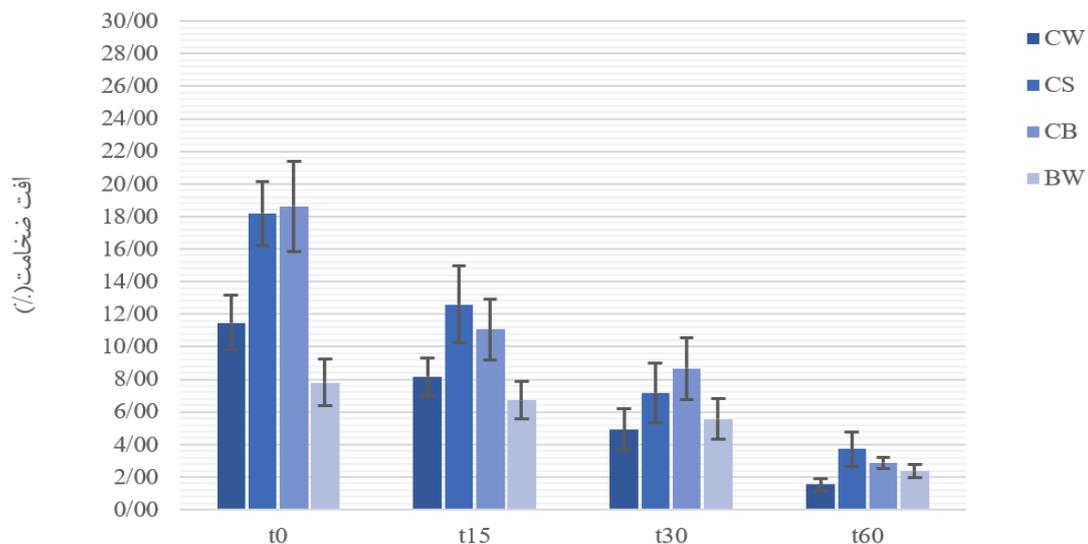
ارزیابی میزان افت ضخامت هر آزمونه در آزمون بار گذاری متحرک در تعداد ضربات متفاوت و مدت زمانهای مختلف در جدول ۹ و شکل ۷ قابل مشاهده است.

آزمون دانکن نشان داد که تمام زمان‌های اندازه‌گیری تفاوت معنی داری با یکدیگر دارند (جداول پیوست ۳-۱ و ۶-۱). بررسی روند تغییرات زمانی، در هر تعداد ضربه، نشان می دهد که بیشترین افت ضخامت در لحظه اعمال بار (زمان صفر) اتفاق می افتد و با گذشت زمان، نمونه‌ها بخشی از ضخامت خود را بازیابی می کنند. این روند بازیابی در نمونه‌های مختلف متفاوت است. از طرفی دیگر تعداد ضربات نیز در روند بازیابی تاثیر قابل توجهی داشته به این صورت که برای تمام نمونه‌ها با افزایش تعداد ضربات از ۵۰ به ۱۰۰۰ ضربه، درصد افت ضخامت نیز بیشتر شده است. در این بین در پایان ۶۰ دقیقه، آزمونه CW در تعداد ضربات کم و آزمونه Cb در تعداد ضربات بالا بهترین رفتار بازیابی را نشان داد. بیشترین افت ضخامت نیز متعلق به آزمونه

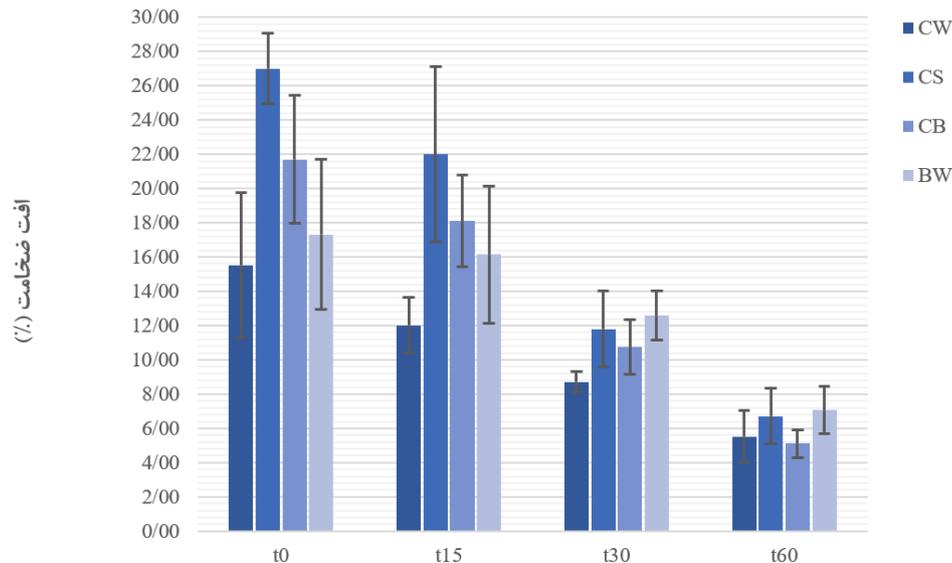
با چله‌ی بامبو عمل شده با آرد گندم و پرز پشم (BW) در تعداد ضربات بالا میزان مقاومت و فشارپذیری بهتری نسبت به آزمون‌ها با چله پنبه‌ای و پرز پشمی (CW) داشته است، اما در تعداد ضربات کم‌تر بلعکس رفتار کرده است. این موضوع به کاهش انعطاف پذیری عمومی فرش در چله تکمیل شده با آرد نسبت داده شد.

جدول ۹- میزان افت ضخامت (%) آزمون‌ها تحت بارگذاری متحرک

آزمون ه	تعداد ضربات	ضخامت				انحراف معیار			
		بلافاصل ه	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه	بلافاصل ه	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
CW	50	11.49	8.17	4.91	1.55	1.66	1.17	1.29	0.37
	100	12.02	10.38	7.63	3.25	1.45	1.44	1.12	0.47
	200	13.65	11.02	8.21	4.52	1.89	0.84	1.01	1.19
	1000	15.54	12.01	8.72	5.53	4.22	1.62	0.60	1.51
CS	50	18.18	12.60	7.18	3.72	1.95	2.35	1.85	1.07
	100	20.41	13.22	8.39	5.48	4.68	3.88	0.96	0.95
	200	21.94	16.33	11.60	5.36	1.88	4.03	1.94	0.72
	1000	27.02	22.01	11.79	6.72	2.08	5.13	2.21	1.62
CB	50	18.62	11.06	8.67	2.89	2.77	1.87	1.91	0.35
	100	20.97	13.94	9.95	4.43	3.69	1.86	2.08	0.31
	200	21.25	17.47	10.88	4.77	3.71	2.76	1.87	1.24
	1000	21.71	18.09	10.75	5.10	3.73	2.68	1.57	0.83
BW	50	7.79	6.72	5.55	2.36	1.42	1.16	1.25	0.41
	100	13.39	9.39	7.75	4.00	1.90	2.16	1.52	0.97
	200	15.70	11.27	9.80	3.76	3.17	1.75	1.89	0.65
	1000	17.32	16.14	12.59	7.05	4.39	4.02	1.42	1.37



شکل ۷- میزان افت ضخامت (%) آزمون‌ها تحت بارگذاری متحرک در ۵۰ ضربه



شکل ۸- میزان افت ضخامت (%) آزمونه‌ها تحت بارگذاری متحرک در ۱۰۰۰ ضربه

گرفت که استفاده از الیاف بامبو به عنوان پرز فرش دستباف، همانند زمانی که در چله مورد استفاده قرار می‌گیرد، قادر است تا حد قابل توجهی درصد افت ضخامت را در تعداد ضربات کم کاهش دهد. اما زمانی که تعداد ضربات بیشتر شود افت ضخامت افزایش می‌یابد.

### ۳-۳- تعیین ضخامت آزمونه‌ها تحت بارثابت (استاتیکی)

بارگذاری ثابت و درجه برگشت‌پذیری پس از آن یکی از عوامل مهم در ارزیابی دوام و کیفیت فرش دستباف محسوب می‌شود. هدف استفاده از آزمون اندازه‌گیری میزان کاهش ضخامت فرش دستباف، تعیین میزان تاثیر بارثابت، سبک و کوتاه مدت (مانند اثر پایه‌ی صندلی) و همچنین بار سنگین و بلند مدت (مانند اثر پایه‌ی کمد) می‌باشد که ثبات بوده و ضرباتی به فرش وارد نمی‌کنند [۲۵-۲۷].

در این مطالعه، چهار نمونه فرش با ترکیب‌های مختلف مواد در چله و پرز شامل نمونه فرش با چله پنبه و پرز پشمی

شکل های ۷ و ۸، میزان افت ضخامت هر چهار آزمونه را به ترتیب در حداقل و حداکثر تعداد ضربات در مدت زمانهای متفاوت مقایسه می‌کند.

بر اساس این نمودارها، از بین آزمونه‌هایی با پرز یکسان پشمی، آزمونه BW در تعداد ضربات کمتر و آزمونه CW در تعداد ضربات بالاتر بیشترین برگشت پذیری را نشان داده است که با نتایج جدول ۹ مطابقت دارد. همچنین، بین دو نمونه با چله یکسان پنبه و پرزهای پشم و بامبو، آزمونه CW در تعداد ضربات بالاتر بعد از ۶۰ دقیقه درصد افت ضخامت کمتری را نسبت به BW نشان می‌دهد. این در حالیست که در تعداد ضربات کمتر آزمونه BW بهتر عمل کرده است.

لذا میتوان نتیجه گرفت که استفاده از نخ بامبو به جای پنبه به عنوان چله فرش دستباف قادر است تا حد قابل توجهی درصد افت ضخامت را در تعداد ضربات کم کاهش دهد. از طرفی دیگر، باتوجه به نتایج بدست آمده میتوان نتیجه

رابطه (۲)  $Cp\% = [(h_0 - h_1) \cdot h_0] \times 100$   
 رابطه (۳)  $Rc\% = [(h_t - h_1) \cdot (h_0 - h_1)] \times 100$   
 که در این روابط،  $h_0$  ضخامت اولیه آزمون و  $h_1$  ضخامت بلافاصله بعد از برداشتن نیرو می‌باشد. از طرفی دیگر،  $Cp$  میزان فشردگی آزمون،  $RC$ ، میزان فشارپذیری بعد از زمان  $t$  و  $h_t$  ضخامت بعد از گذشت زمان  $t$  می‌باشد.

(CW)، فرش با چله پنبه و پرز ابریشم (CS)، فرش با چله پنبه و پرز بامبو (CB) و فرش با چله بامبو عمل شده با نشاسته آرد گندم و پرز پشم (BW) مورد بررسی قرار گرفتند. میزان برگشت‌پذیری ضخامت آزمون‌ها، بلافاصله، ۱۵ دقیقه، ۳۰ دقیقه و ۶۰ دقیقه پس از برداشتن بار اندازه‌گیری شد. درصد افت ضخامت آزمون‌ها با استفاده از روابط ۲ و ۳ به ترتیب محاسبه شد.

جدول ۱۰- ضخامت (mm) آزمون‌ها تحت بارگذاری ثابت در مدت زمانهای مختلف

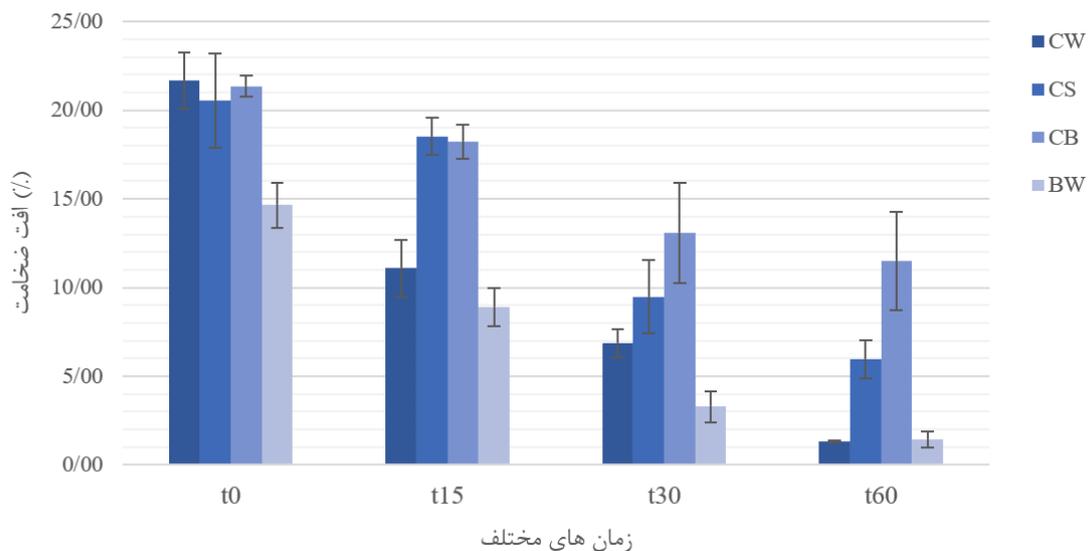
آزمونه	ضخامت اولیه	ضخامت بلافاصله	ضخامت بعد از ۱۵ دقیقه	ضخامت بعد از ۳۰ دقیقه	ضخامت بعد از ۶۰ دقیقه
<b>Cw</b>					
average	16.33	13.44	15.19	15.95	16.42
sd	1.41	1.72	1.86	1.94	1.62
cv%	8.66	12.83	12.28	12.16	9.89
<b>Cb</b>					
average	12.66	10.32	11.13	11.09	12.07
sd	2.08	1.00	1.56	0.93	0.31
cv%	16.41	9.70	14.05	8.40	2.57
<b>Cs</b>					
average	11.07	9.87	10.41	11.23	11.12
sd	1.46	0.33	0.61	0.82	0.62
cv%	13.18	3.35	5.85	7.34	5.55
<b>Bw</b>					
average	14.10	12.04	12.85	13.64	13.90
sd	1.29	1.00	1.32	0.93	1.13
cv%	7.23	9.83	10.05	9.16	8.81

درصد افت ضخامت نمونه‌ها پس از برداشتن بار ثابت در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد، که روند بازیابی ضخامت در نمونه‌های مختلف قابل مشاهده است.

ضخامت (mm) آزمون‌ها تحت بارگذاری ثابت و میزان درصد افت ضخامت هر چهار آزمون مورد تحقیق تحت بار استاتیکی در زمانهای مختلف پس از برداشتن بار به ترتیب در جداول ۱۰ و ۱۱ گزارش شده است. همچنین شکل ۹

جدول ۱۱- میانگین و انحراف معیار درصد افت ضخامت نمونه‌های فرش در زمان‌های مختلف پس از برداشتن بار ثابت

نوع نمونه	زمان			
	بلافاصله	بعد از ۱۵ دقیقه	بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۶۰ دقیقه
CW	21.69 ± 1.58	11.09 ± 1.60	6.87 ± 0.80	1.32 ± 0.06
CS	20.56 ± 2.66	18.52 ± 1.03	9.49 ± 2.07	5.96 ± 1.08
CB	21.36 ± 0.58	18.23 ± 0.94	13.08 ± 2.81	11.51 ± 2.78
BW	14.66 ± 1.27	8.89 ± 1.09	3.28 ± 0.88	1.45 ± 0.45



شکل ۹- تغییرات درصد افت ضخامت نمونه‌های فرش در زمان‌های مختلف پس از برداشتن بار ثابت

شده با نشاسته و پرز پشمی (BW)، بهترین عملکرد را نشان داد. پس از آن، نمونه فرش با چله پنبه و پرز پشمی (CW) در رتبه دوم قرار گرفت. نمونه‌های فرش با چله پنبه و پرز بامبو (CB) و چله پنبه و پرز ابریشمی (CS)، ضعیف‌ترین عملکرد را نشان دادند (جدول پیوست ۲-۲).

آزمون دانکن نشان داد که تمام زمان‌های اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند و در چهار گروه مجزا قرار می‌گیرند (جدول پیوست ۳-۲). بررسی روند تغییرات زمانی نشان می‌دهد که بیشترین افت ضخامت در لحظه اعمال بار (زمان صفر) اتفاق می‌افتد و با گذشت زمان، نمونه‌ها بخشی

با توجه به نتایج تحلیل واریانس انجام شده بر روی داده‌های افت ضخامت نمونه‌های فرش تحت بارگذاری استاتیک، مشخص شد که هم نوع نمونه و هم زمان اندازه‌گیری تأثیر معنی‌داری بر میزان افت ضخامت دارند ( $P < 0.001$ ) (جدول پیوست ۱-۲) که نشان می‌دهد روند تغییرات زمانی افت ضخامت در نمونه‌های مختلف از الگوی مشابهی پیروی می‌کند.

مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که نمونه‌ها از نظر عملکرد در برابر بارگذاری استاتیک به سه گروه متمایز تقسیم می‌شوند. نمونه فرش با چله بامبو عمل

الیاف پشم به دلیل ساختار مجعد، قابلیت فشرده شدن و بازیابی بهتری دارند [۲۸]. در حالی که نمونه‌ها با پرز ابریشم و بامبو عملکرد ضعیف تری نشان دادند. از نظر کاربردی، این نتایج پیشنهاد می‌کنند که برای فرش‌های با کاربرد سنگین و در معرض بارگذاری مداوم، استفاده از ترکیب چله بامبو عمل شده با پرز پشمی می‌تواند گزینه مناسبی باشد. در صورت استفاده از چله پنبه‌ای، پرز پشمی عملکرد بهتری نسبت به گزینه‌های دیگر خواهد داشت. نمونه‌های با پرز ابریشمی یا بامبو برای مناطق کم‌تردد مناسب‌تر هستند. (جهت مقایسه اماری به فایل پیوست ۲ مراجعه گردد).

### ۳-۴- اندازه‌گیری نیروی بیرون کشیدن پرز فرش

در این بخش از پژوهش، نیروی لازم جهت بیرون کشیدن پرز فرش بر مبنای استاندارد ۸۸۵ جهت نمونه برداری و ۸۸۶ جهت آزمون با استفاده از دستگاه استحکام سنج پرز فرش اندازه‌گیری شد.

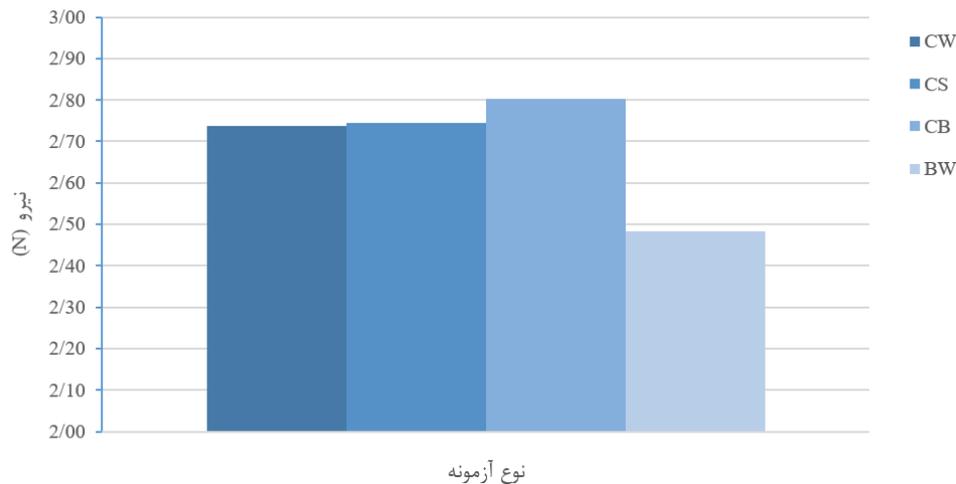
شایان ذکر است که آزمون‌های انجام شده در این بخش با ۳۰ بار تست بیرون کشیدن نخ پرز از هریک از آزمون‌های بافته شده صورت گرفته و میانگین نیروی لازم در هر آزمون در جدول ۱۲ گزارش شده است. علاوه بر این، در شکل ۱۰ مقایسه این نیرو برای هر ۴ آزمون قابل مشاهده است.

از ضخامت خود را بازیابی می‌کنند. این روند بازیابی در نمونه‌های مختلف متفاوت است. نمونه BW با افت ضخامت اولیه ۱۴/۶۶ درصد و رسیدن به افت ضخامت ۱/۴۵ درصد در پایان ۶۰ دقیقه، بهترین رفتار بازیابی را نشان داد. نمونه CW علی‌رغم افت ضخامت اولیه بیشتر (۲۱/۶۹ درصد)، بازیابی خوبی داشت و به افت ضخامت نهایی ۱/۳۲ درصد رسید. در مقابل، نمونه‌های CB و CS با وجود افت ضخامت اولیه مشابه (حدود ۲۰-۲۱ درصد)، بازیابی کمتری نشان دادند و افت ضخامت نهایی قابل توجهی (به ترتیب ۱۱/۵۱ و ۵/۹۶ درصد) داشتند.

این نتایج را می‌توان از چند جنبه مورد بحث قرار داد. اول اینکه عملکرد برتر نمونه BW نشان می‌دهد که عمل‌آوری نخ بامبو با نشاسته آرد گندم می‌تواند خواص مکانیکی آن را به طور قابل توجهی بهبود بخشد. این بهبود احتمالاً به دلیل افزایش سختی و استحکام الیاف در اثر عمل‌آوری است. خصوصیات الاستیسیته و برگشت‌پذیری الیاف بامبو، ابریشم و پشم باعث می‌شود که رفتار آن‌ها در برابر بارگذاری متفاوت باشد. عملکرد بهتر پرز پشمی در مقایسه با پرز ابریشمی و بامبو (در نمونه‌های با چله پنبه‌ای) را می‌توان به ساختار منحصر به فرد الیاف پشم نسبت داد.

جدول ۱۲- میانگین و انحراف معیار نیروی بیرون کشیدن پرز فرش‌ها

کد نمونه فرش	نیروی بیرون کشیدن پرز (cN)	Cv%
Cw	2737.24±372.87	13.62
Cs	2743.68±373.93	13.63
Cb	2769.85±321.98	11.49
Bw	2066.97±556.71	22.41



شکل ۱۰- نیروی بیرون کشیدن پرز فرشها

فراهم می‌کند. الیاف پنبه دارای سطح پیچ‌خورده هستند که می‌تواند به افزایش اصطکاک و در نتیجه استحکام گره کمک کند [ ۲۹ ]. عدم تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌های با چله پنبه‌ای و پرزهای مختلف نشان می‌دهد که در صورت استفاده از چله پنبه‌ای، نوع الیاف پرز تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر استحکام گره ندارد. استفاده از نخ بامبو به عنوان چله، منجر به کاهش مقاومت در برابر بیرون کشیدن پرز شده است. این کاهش مقاومت می‌تواند ناشی از خصوصیات سطحی الیاف بامبو باشد. علی‌رغم عمل آوری نخ‌ها با نشاسته آرد گندم، به دلیل سطح صاف الیاف، اصطکاک و درگیری مکانیکی مؤثر بین چله و پرز کم بوده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

فرش‌ها در طول عمر خود معمولاً تحت تأثیر دو نوع فشار دینامیکی (نظیر راه‌رفتن که متحرک هستند) و استاتیکی (نظیر بار ناشی از پایه‌ی مبلمان که ثابت هستند) قرار می‌گیرند. از این رو، در آزمون‌های اندازه‌گیری خواص مکانیکی فرش، مطابق با استاندارد ملی، این فشارها شبیه‌سازی شده و استحکام فرش بر این مبنا سنجیده می‌شود. این پژوهش

نتایج آزمون نیروی بیرون کشیدن پرز نمونه‌های مختلف فرش دستباف مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر نوع نمونه بر نیروی بیرون کشیدن پرز معنی‌دار است ( $P = 0.020$ ) (جدول پیوست ۳-۱). مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (جدول پیوست ۳-۲) نشان داد که نمونه‌ها در دو گروه متمایز قرار می‌گیرند. نمونه BW (چله بامبو عمل شده-پرز پشمی) با میانگین نیروی  $0/38 \pm 2/48$  کیلوگرم نیرو، کمترین مقاومت را در برابر بیرون کشیدن پرز نشان داد. در گروه دوم، نمونه‌های CW (چله پنبه-پرز پشمی)، CS (چله پنبه-پرز ابریشم) و CB (چله پنبه-پرز بامبویه ترتیب با میانگین نیروی  $0/38 \pm 2/74$ ،  $0/38 \pm 2/74$  و  $2/80 \pm 2/80$  کیلوگرم نیرو قرار گرفتند که تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. استفاده از چله پنبه‌ای، صرف نظر از نوع پرز مورد استفاده (پشم، ابریشم یا بامبو)، منجر به مقاومت بیشتر در برابر بیرون کشیدن پرز شده است. این موضوع می‌تواند به دلیل ساختار الیاف پنبه و خصوصیات سطحی آن باشد که امکان درگیری فیزیکی بهتر با گره‌های پرز را

به بررسی و امکان سنجی کاربرد نخ بامبو در لایه ی زمینه فرش دستباف پرداخته است. علاوه بر این، با بررسی رفتار دینامیکی فرش تولید شده با نخ بامبو، طبق استانداردهای مذکور، تحت بارگذاری متحرک و ثابت، نگرشی جدید در به کارگیری مواد اولیه متفاوت و بعضاً با استحکام و خواص مکانیکی مناسب تر در فرش دستباف سنتی، گامی به سوی تولید فرش هایی با تنوع بالاتر همسو با سلیقه نسل جدید خریداران فرش دستباف برداشته شد.

بدین منظور، در ابتدا استحکام نخ بامبو با نخ های پنبه، پشم و ابریشم تحت شرایط یکسان مقایسه گردید. نتایج بدست آمده استحکام نخ بامبو را در حالت خام جهت استفاده در فرش دستباف تایید نکرد، علاوه بر این سطح لغزنده این نخ نیز ایجاد مشکلاتی در فرایند بافت می نمود، لذا از دو روش اصلاح سطحی پلاσμα و تکمیل با آرد گندم جهت بهبود کیفیت نخ بامبو استفاده کرده و سپس نخ های بامبوی اصلاح شده به هر دو روش مجدداً تحت استحکام سنجی قرار گرفتند. بر اساس این آزمون، نخ ابریشم و نخ بامبو اصلاح شده بیشترین میزان استحکام را در این آزمون نشان داده اند. از سویی دیگر، عملیات تکمیل با آرد گندم، استحکام و پیچ و تاب مطلوبی به نخ بامبو داد که آن را مناسب برای نخ چله کرد. با مقایسه ی این دو روش اصلاح سطح نتایج نشان داد که بر خلاف روش پلاσμα، روش تکمیل با آرد گندم قادر به افزایش استحکام و ازدیاد طول نخ بامبو می باشد که آن را به گزینه ای مناسب جهت استفاده به عنوان نخ چله فرش دستباف تبدیل کرد.

پس از بافت آزمون ها، تست بارگذاری متحرک و ثابت بر

روی آن ها صورت گرفت. نتایج ثابت کرد که، در آزمون بار گذاری متحرک، آزمون فرش با چله بامبو تکمیل شده با آرد در تعداد ضربات بیشتر دستگاه (۵۰۰-۱۰۰۰ ضربه)، فشارپذیری بیشتر و بهتری را نسبت به ضربات کمتر (۵۰-۲۰۰ ضربه) نشان داده است. دلیل این امر این است که در ابتدای بارگذاری نخ های پرز نمونه فرش، در جهت های مختلف آزادتر بوده اند و مقاومت کمتری در برابر فشردگی از خود نشان داده اند. اما به تدریج با افزایش فشردگی (با افزایش تعداد ضربات)، نخ های پرز بیشتر درهم تنیده و فشرده شده اند، در نتیجه با کاهش فضای آزاد بین نخ ها، مقاومت در برابر فشردگی در تعداد ضربات بیشتر نیز، افزایش یافته است.

از سویی دیگر، در آزمون بارگذاری ثابت، آزمون فرش با چله بامبوی اصلاح شده با آرد، میزان فشارپذیری بیشتری نسبت به سایر نمونه فرش ها داشته اند. به این معنا که با عمل آوری بامبو با آرد میزان ضخامت نخ افزایش یافته که منجر به افزایش فشارپذیری آن شده است.

همچنین، آزمون نیروی بیرون کشیدن پرز فرش در آزمون ها نشان داد که چله ی بامبو عمل شده با آرد کمترین میزان مقاومت را داشته است. این امر اثبات می کند که چله ی بامبو با نخ پرز پشمی قادر به ایجاد اصطکاک لازم نبوده و گره راحت تر از آزمون های دیگر باز و بیرون کشیده شده است. این در حالی است که آزمون بافته شده با پرز بامبو استحکام بسیار خوبی در مقابل بیرون کشیدن پرز نشان داده است.

## ۵-مراجع

- [1] Jais, F.N.M. (2023), Bamboo fiber for textile applications, in Multifaceted bamboo: engineered products and other applications., Springer. P.280.
- [2] Yang, X., Wang, K., Tian, G., Liu, X. E., & Yang, S. (2018). Evaluation of chemical treatments to tensile properties of cellulosic bamboo fibers. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76, 1303.
- [3] Vaisi, R., Kar, N., & Salarian, M. (2016). Investigation and comparison of the properties of newspaper paper obtained from chemically-mechanically pulped orange wood and sparrow language. *Iranian Journal of Wood and Paper Science*, 31(4), 569.
- [4] Wu, Y., Zheng, Y., Yang, F., & Yang, L. (2021). Preparation process and characterization of mechanical properties of twisted bamboo spun fiber bundles. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 2131.
- [5] Shen, Q., Liu, D. S., Gao, Y., & Chen, Y. (2004). Surface properties of bamboo fiber and a comparison with cotton linter fibers. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 35(3-4), 193-195.
- [6] Jais, F.N.M., et al., Bamboo fiber for textile applications, in Multifaceted bamboo: engineered products and other applications. 2023, Springer. p. 275-290.
- [7] Fuentes, C., Tran, L., Dupont-Gillain, C., Vanderlinden, W., De Feyter, S., Van Vuure, A., & Verpoest, I. (2011). Wetting behaviour and surface properties of technical bamboo fibres. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 380(1-3), 89.
- [8] Ali Zadeh, A., Kalhori, K., Fahim Javad, M., & Zahdi, A. (2019). Investigation of mechanical property changes in carbon-aluminum hybrid nanocomposites under bending load by biomimetic imitation of bamboo fiber structure.
- [9] Xi, L. X., & Qin, D. C. (2012). The antibacterial performance of natural bamboo fiber and its influencing factors. Paper presented at the Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology.
- [10] Gao, X., Zhu, D., Fan, S., Rahman, M. Z., Guo, S., & Chen, F. (2022). Structural and mechanical properties of bamboo fiber bundle and fiber bundle reinforced composites: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1162.
- [11] Othman, H., Ebrahim, S. A., Reda, E. M., Mamdouh, F., Yousif, A. R., & Hassabo, A. G. (2024). Focus on bamboo and its physical, chemical properties, and dyeing methods. *Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science*, 21(2), 293.
- [12] Li, L.-J., Wang, Y.-P., Wang, G., Cheng, H.-T., & Han, X.-J. (2010). Evaluation of properties of natural bamboo fiber for application in summer textiles. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 3(2), 94.
- [13] Yamuna Devi, S. Y., Indran, S., & Divya, D. (2021). Futuristic Prospects of Bamboo Fiber in Textile and Apparel Industries: Fabrication and Characterization. *Bamboo Fiber Composites: Processing, Properties and Applications*, 189
- [14] Mousavi, A. K., Khatami, H., & Mousavi, T. (2022). The effect of oxygen plasma on dyeing wool fibers to improve surface properties and reduce environmental impacts of dyeing wastewater. *Human and Environmental Studies*, 20(1), 273.
- [15] Haji, A., & Mousavi Shoushtari, A. (2015). An introduction to plasma treatment and its applications in surface modification of polypropylene fibers. *Journal of Apparel and Textile Science and Technology*, 4(4), 45-54.
- [16] Serpanahi, R., Tavakoli, M. (2019). A review on the effect of surface modification on the

mechanical properties of polymer composites reinforced with natural fibers.

[17] Tabrmaleshah, F. A., Samieh, Tabatabai, & Seyed Mahmoud. (2015). Quantitative analysis of comfort patterns in handmade carpets.

[18] Malekan, Farzaneh. (2013). Investigating the characteristics of raw materials used in handmade carpets. Tehran, Iran: Governmental Organizations and Centers. <https://sid.ir/paper/786393/fa>

[19] Tabatabaei hanzaei, S. , ghane, M. , hasani, H. and zeinal hamadani, A. (2014). To Study and Establish the Effective Properties in Hand-knotted Carpets' Lifetime. *Journal of Textile Science and Technology*, 4(1), 19-26.

[22] Haji, A. D. (2015). A review on the surface modification of wool fibers using plasma technology and its effects on the dyeing properties of this fiber. *Journal of Apparel and Textile Science and Technology*, 5(3), 35.

[23] Bashar, M. M., & Khan, M. A. (2013). An overview on surface modification of cotton fiber for apparel use. *Journal of Polymers and the Environment*, 21, 181-190.

[24] Mahbubul Bashar, M., & Khan, M. A. (2013). An overview on surface modification of cotton fiber for apparel use. *Journal of Polymers and the Environment*, 21, 181-190.

[25] Karamad M J, Latifi M, Haghghat Kish M. Analysis of Compressibility Behavior of Hand-Knitted Carpet Pile. *goljaam* 2008; 3 (8) :9-22

[26] Liu, D., Song, J., Anderson, D. P., Chang, P. R., & Hua, Y. (2012). Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. *Cellulose*, 19, 1449.

[27] Yang, X., Wang, K., Tian, G., Liu, X. E., & Yang, S. (2018). Evaluation of chemical treatments to tensile properties of cellulosic bamboo fibers. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76, 1303.

[28] Karami, M., Lotfi, M., Kish, H., & Mohammad, A. (2008). Analysis of the compressive behavior of handmade carpets. *Goljam; Scientific Journal of Handmade Carpets*, 3(8), 9.

[29] Caspian, M. (2014). Dimensions of fibers and chemical properties of bamboo (*Phyllostachys pubescens*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science*, 29(2), 335.