

A Review on the Compression Properties and Feet Feeling Comfort of Hand-Knotted Carpet

Milad Sadeghi-Sadeghabad, Aliasghar Alamdar-Yazdi*, Hasan Mashroteh,
and Nadia Tehrani-Dehkordi

Department of Textile Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, P.O. Box 8915818411, Yazd, Iran

Received: 11 March 2022, Accepted: 1 August 2022

Abstract

The hand-knotted carpet can be considered the most artistic human product, and Iranians have a great contribution in the creation and production of this precious art throughout history; as the world recognizes the carpet with Iran and Iran with its hand-knotted carpet. The compression-recovery behavior and feet feeling comfort are the most important properties of hand-knotted carpet. This review presents a brief look at the hand-knotted carpet structure, importance of compression and recovery properties, compression-recovery measurement methods, and methods of carpet feet feeling evaluation. Given that hand-knotted carpets are generally three-dimensional textiles that consist of two zones, namely base and pile, the effects of base zone and pile zone, i.e., pile materials, pile yarn structure, and carpet construction parameters on the compression-recovery properties have been also explored. To study the effect of the base zone, a new type of carpet named Double-Base Persian (DBP) carpet has been introduced, which is one of the important innovations in the basis of hand-knotted carpet production and improving the compression-recovery properties and feet feeling comfort. DBP carpets are similar to conventional carpets with two sets of warp sheets, which an adjustable gap is created between them. Generally, the major structural difference between conventional and DBP carpets is the presence of a gap between the two sets of warp sheets in the base, which can be filled with fillers. The employed apparatus, method, and structure of DBP carpets have been introduced. In addition, the relation between compression properties and feet feeling comfort have been discussed.

Keywords: hand-knotted carpet, double-base persian carpet, compression, recovery, feet feeling comfort

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: aalamdar@yazd.ac.ir

مروری بر خواص فشردگی و راحتی زیرپای فرش دستباف

میلاذ صادقی صادق آباد، علی اصغر علمدار یزدی*، حسن مشروطه، نادیا طهرانی دهکردی
یزد، دانشگاه یزد، پردیس فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۱۰

چکیده

همچنین، می‌توان انواع پرکننده را در فاصله ایجادشده در بخش بستر به‌کار برد. دستگاه استفاده‌شده برای تولید فرش بستردویل، ساختار و خواص آن و نیز رابطه میان خواص فشردگی و راحتی زیرپای فرش دستباف مرور شده است.

واژه‌های کلیدی: فرش دستباف، فرش بستردویل، فشردگی، بازگشت، راحتی زیرپا

۱ مقدمه

فرش دستباف ایرانی، نشانگر تاریخ ارزشمند هنر ایرانی است. قدیمی‌ترین نمونه فرش دستباف در سراب یافت شده است (منطقه‌ای در شمال غرب ایران) که تأییدی بر این حقیقت است. طی حفاری‌هایی که در سال ۱۹۴۹ در کوهستان‌های سیبری انجام شد، فرش دستباف ایرانی با نام پازیریک یافت شد [۱، ۲]. فرش دستباف را می‌توان یکی از هنرمندانه‌ترین فرآورده‌های بشر دانست که ایرانیان در خلق و تولید این هنر ارزشمند در طول تاریخ سهم عظیمی داشته‌اند. به‌طوری که جهان، فرش را با ایران و ایران را با فرش دستباف آن می‌شناسد و این شهرت جهانی را باید در ویژگی‌های مطلوب آن جست‌وجو کرد.

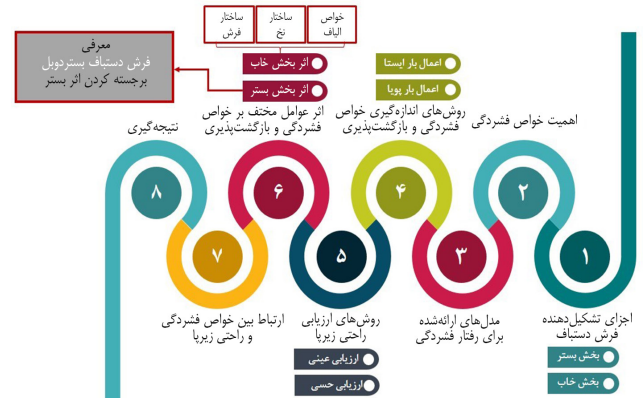
فرش دستباف را می‌توان یکی از هنرمندانه‌ترین فرآورده‌های بشر دانست که ایرانیان در خلق و تولید این هنر ارزشمند در طول تاریخ سهم عظیمی داشته‌اند. به‌طوری که جهان، فرش را با ایران و ایران را با فرش دستباف آن می‌شناسد. این شهرت جهانی را باید در ویژگی‌های مطلوب آن جست‌وجو کرد. رفتار فشردگی-بازگشت و راحتی زیرپا، از مهم‌ترین خواص فرش دستباف است. در این مقاله، ساختار فرش دستباف، اهمیت خواص فشردگی و روش‌های ارزیابی آن و بازگشت بررسی شده و روش‌های ارزیابی راحتی زیرپای فرش نیز مرور شده است. با توجه به اینکه فرش دستباف از دو بخش بستر و خاب تشکیل شده است، تأثیر بخش خاب، شامل مواد اولیه به‌کاررفته در نخ خاب، ساختارهای نخ خاب و بخش خاب (تراکم، نوع گره و ارتفاع خاب) بر خواص فشردگی و بازگشت فرش دستباف بررسی شده است. برای بررسی تأثیر بخش بستر، اخیراً نوعی فرش جدید به‌نام فرش بستردویل معرفی شده است. این فرش، یکی از ابداعات مهم در زمینه تولید فرش دستباف و بهبود خواص فشردگی، بازگشت و راحتی زیرپا به‌شمار می‌رود. فرش بستردویل از نظر بخش بستر با فرش دستباف متداول تفاوت دارد. به‌طوری که فرش جدید شامل دوبستر بوده که فاصله میان آن‌ها قابل تنظیم است.

دار قالی نام دارد. کشیدن تارها بر چهارچوبی که فرش دستباف روی آن بافته می‌شود به چله‌کشی شهرت دارد. کلیه تارها به‌طور یک در میان جلو و عقب روی دار قرار می‌گیرند. به کلیه تارهایی که در عقب قرار می‌گیرند، تارهای زیر و به آن‌هایی که در ردیف جلو هستند، تارهای رو گفته می‌شود. برای گره‌زدن روی تارها، یک جفت از تار زیر و رو را باید با هم گرفت و اقدام به گره‌زدن کرد. نخ پود فرش دستباف عبارت از رشته‌هایی است که به‌طور افقی و در عرض فرش دستباف تکرار می‌شوند و تا انتهای عرض ادامه می‌یابند. فرش دستباف دارای دو پود است: ۱- پود زیر (پود ضخیم یا اولیه) و ۲- پود رو (پود نازک یا ثانویه).

یکی دیگر از اجزای فرش دستباف که در واقع آن را از سایر زیراندازها مانند جاجیم، گلیم، گبه و سایر متمایز می‌سازد، خاب فرش دستباف است. درحقیقت خواصی چون فشردگی، بازگشت و نیز طرح، نقش و زیبایی یک فرش به‌وسیله نخ‌های خاب آن تعیین می‌شود. به چگونگی پیچش نخ خاب به دور جفت نخ تار زیر و رو، گره و به طول آزاد نخ خاب که پس از گره‌زنی از سطح فرش دستباف بیرون می‌زند، ارتفاع یا طول خاب گفته می‌شود. به‌طور کلی، در قالی‌بافی ایران دو نوع گره ترکی و فارسی متداول است. گره ترکی بیشتر در مناطق ترک‌نشین به‌کار می‌رود. اما گره ترکی اصطلاحی است فاقد پشتوانه فنی که به غلط جایگزین معادل ایلمک شده است و باید به جای آن از خود واژه ایلمک استفاده شود. گره فارسی یا سنه، گره‌ای است که توسط قالی‌بافان فارس‌نژاد و فارسی‌زبان مناطقی چون اراک، مشهد، بیرجند، کرمان، اصفهان، نائین، کاشان و قم به‌کار می‌رود.

۳ اهمیت خواص فشردگی

فرش یکی از کف‌پوش‌های مصرفی در مکان‌های مسکونی است. از کاربردهای فرش، افزون بر زیباسازی محیط، آسان‌سازی فعالیت‌های انسانی از قبیل ایستادن و راه‌رفتن از طریق کاستن ضربه و ضربات ناشی از افتادن است [۴]. بسیاری از افراد شاغل در مجال‌هایی نظیر مشاغل تولیدی و خدماتی و همچنین زنان خانه‌دار، مجبور هستند تا مدت زمانی طولانی را در یک مکان محدود بایستند و راه بروند. مشکلاتی نظیر خستگی و ناراحتی استخوان، بسیار رایج است. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد، مشکلات پزشکی حادی همراه با ایستادن طولانی‌مدت وجود دارد [۵،۶]. ایستادن طولانی‌مدت می‌تواند به بسیاری از مشکلات جسمانی شامل خستگی و ناراحتی



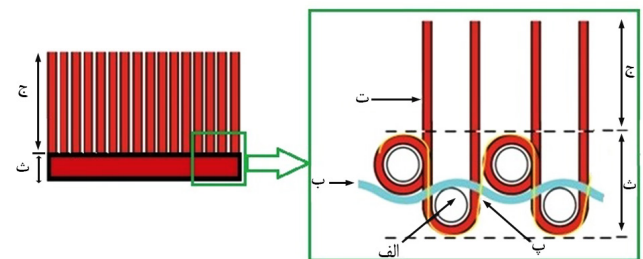
شکل ۱- اطلاع‌نگار روند بررسی خواص فشردگی و راحتی زیرپای فرش دستباف.

با توجه به اهمیت فرش دستباف و نیز خواص فشردگی و راحتی زیرپای آن، در این مقاله خواص فشردگی و راحتی زیرپای فرش، مطابق اطلاع‌نگار (infograph) نشان‌داده‌شده در شکل ۱ مرور می‌شود.

۲ اجزای تشکیل‌دهنده فرش دستباف

به‌طور کلی، فرش دستباف منسوج سه‌پسی است که از دو بخش بستر (base) و خاب (pile) تشکیل شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بخش بستر شامل نخ‌های تار و پود بوده و بخش خاب شامل گره و ارتفاع خاب است [۳].

درواقع نخ‌های تار، اسکلت و ساختار اصلی فرش دستباف را تشکیل می‌دهند. نخ‌های تار فرش دستباف، رشته‌های موازی هستند که از ابتدا تا انتهای فرش دستباف امتداد دارند و گره‌ها روی آن‌ها قرار می‌گیرند. هر گره با استفاده از دو تار هم‌جوار زده می‌شود. ابزاری که برای نگهداری نخ‌های تار فرش دستباف به‌کار می‌رود،

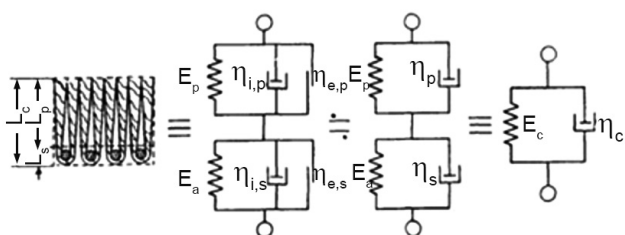


شکل ۲- ساختار فرش دستباف: (الف) نخ تار، (ب) نخ پود ضخیم، (پ) نخ پود نازک، (ت) نخ خاب، (ث) بخش بستر و (ج) بخش خاب [۳].

۴ مدل‌های ارائه‌شده برای رفتار فشردگی

برای تعیین رفتار منسوجات در برابر فشردگی، کارهای مختلفی انجام گرفته است. Hoffman و Beste [۱۱]، Bogaty [۱۲]، Larose [۱۳] و Van Wyk [۱۴] معادلاتی را برای مدل‌کردن رفتار فشردگی منسوجات مختلف به‌کار گرفته‌اند. مدل‌هایی برای بررسی رفتار فشردگی فرش نیز ارائه شده است، البته باید گفت، این مدل‌های ارائه‌شده برای فرش‌های ماشینی است و تعمیم آن به فرش دستباف با گره فارسی یا ترکی باید مورد توجه قرار گیرد. شیخ و همکار [۱۵] نیز در سال ۱۹۷۰، مدلی را برای ارزیابی رفتار فشردگی فرش پرزبریده پیشنهاد کردند. آن‌ها از روش انرژی استفاده و انرژی کشسانی ذخیره‌شده را محاسبه کردند. آن‌ها در مطالعه خود فرض کردند، تغییرشکل نخ خاب، تنها به پدیده خمش وابسته است. چنین به‌نظر می‌رسد، به‌دلیل اثر سرخوردگی و جفت اصطکاکی (frictional couple) میان الیاف درون نخ، رفتار خمش نخ غیرخطی باشد. اثر اصطکاک به‌دلیل سرخوردگی نخ‌های خاب با نخ‌های کناری آن‌ها نیز از اهمیت بسیاری برخوردار است. یکی از دلایل اصلی زیادبودن مقدار خطای مدل ارائه‌شده توسط شیخ و همکار، در نظر نگرفتن پدیده سرخوردگی و اصطکاک است.

در سال ۱۹۷۱، Horino و همکاران [۱۶] رفتار گران‌روکشسان فرش را مطالعه کردند. آن‌ها فرش پرزبریده را شامل دو بخش دانستند: بخش بستر به طول LB و بخش خاب به طول LP که به‌طور متوالی به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۳ الف). آن‌ها بیان داشتند، رفتار هر بخش به حالت گران‌روکشسان است. یکی از روش‌های تحلیل، استفاده از مدل مکانیکی شامل فنر کشسان ایده‌آل، پیستون و لغزنده اصطکاکی است. فنر از قانون Hooke، پیستون از قانون Newton و لغزنده نیز از قانون Columb پیروی می‌کند. Horino و همکاران در هر بخش فرش، فنر، پیستون و لغزنده را به‌طور موازی با یکدیگر قرار دادند و این دو بخش را به‌طور متوالی با یکدیگر فرض کردند (شکل ۳ ب).



شکل ۳- مدل مکانیکی فرش پرزبریده [۱۶].

اندام تحتانی (lower extremity) و تورم و کاهش جریان خون در سیاهرگ آن، درد در ناحیه تحتانی کمر و خستگی کلی بدن منجر شود [۷].

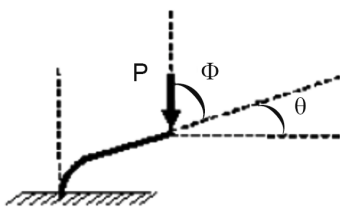
طی چند دهه اخیر، این مشکلات جسمانی به‌وسیله مطالعات مورد توجه قرار گرفته‌اند. ناراحتی، درد و خستگی در اندام تحتانی، رایج‌ترین مشکلی است که هنگام ایستادن طولانی‌مدت گزارش شده است. در ادامه به برخی از مطالعات انجام‌شده در این زمینه، پرداخته می‌شود. Ryan [۸] در سال ۱۹۸۹ دریافت، کارگران سوپرمارکت‌ها، به‌ویژه مسئولان کنترل کالای خروجی بیشتر با درد و ناراحتی اندام تحتانی مواجه هستند. خستگی و ناراحتی ساق پا نیز در میان کارگران کنترل کیفیت رایج است. در سال ۱۹۹۳، Cook و همکاران [۹] شغل‌های خاصی را مانند پرستاری و دندان‌پزشکی شناسایی کردند که کارکنان آن‌ها با درد ساق پا مواجه بودند. کارکنان این مشاغل، امور کاری خود را عموماً در یک دوره زمانی طولانی‌مدت به حالت ایستاده انجام می‌دهند. کارکنان بخش خدمات بیمارستان‌های آلمان نیز ۸۰٪-۷۰٪ زمان کار خود را ایستاده انجام می‌دهند. در سال ۱۹۹۶ Krijnen و همکاران [۱۰] دریافتند، داشتن شغل‌هایی که به ایستادن نیاز دارد، به تورم ساق پا منجر می‌شود. آن‌ها همچنین گزارش کردند، تغییر زیاد حجم ساق پا با احساس خستگی و ناراحتی همراه است. از دیگر مشکلات جسمانی که با ایستادن طولانی‌مدت همراه بوده، درد در ناحیه تحتانی کمر است. در بیمارستان‌ها، ایستادن طولانی‌مدت کارکنان بیمارستان به‌عنوان یکی از دلایل اصلی درد در ناحیه تحتانی کمر شناسایی شده است. زنان خانه‌دار نیز که برای انجام امور مربوط به منزل مجبورند زمان بسیار زیادی در روز را بایستند و راه بروند، سر و کار زیادی با فرش و کف‌پوش و در نتیجه با ناراحتی و خستگی ناشی از آن دارند [۵].

از روش‌های کاهنده این مشکلات، تغییر دادن فرش و کف‌پوش است. این روش اصلاح، راه‌حل ارگونومیک است. ارگونومی، شاخه‌ای از علم مهندسی است که به طراحی ابزار و لوازمی برای حفظ سلامت فیزیکی بدن، هنگام کار می‌پردازد. ولی با این حال، اطلاعات علمی کمی درباره سودمندی این روش وجود دارد. در اغلب مطالعات، معیارهای ذهنی (subjective) خستگی و ناراحتی تجربه‌شده توسط فرد، هنگام ایستادن در شرایط آزمایشگاهی کنترل‌شده، مورد توجه قرار گرفته است. در برخی مطالعات نیز معیارهای عینی (objective) را که با خستگی و ناراحتی مرتبط هستند، شامل الکتروماهیچه‌نگاری (electromyography, EMG)، تغییرات حجمی ساق پا و جابه‌جایی‌های هنگام ایستادن بررسی شده‌اند.

به وجود می‌آید (شکل ۴).

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، مرحله اول، شروع بارگذاری است که برای فرش‌های نو یا فرش‌های پانخورده، مطابق شکل ۴الف و برای فرش‌های پانخورده مطابق شکل ۴ب است. در ادامه بارگذاری در مرحله دوم، تغییرشکل خاب فرش، ابتدا در تمام طول آن به شکل انحنای کلی مشاهده می‌شود. با ادامه بارگذاری، خاب به‌گونه‌ای تغییرشکل می‌دهد که به تغییرشکل ۲ قسمتی موسوم است. یک قسمت خمیده در بخش پایینی پرز و یک قسمت صاف در بخش بالایی آن است. این حالت موسوم به شیوه تراکمی (jamming mode) است. چنانچه خاب فرش (پرزبریده) به شکل یک تیر یک‌سر گیردار عمودی فرض شود، تغییرشکل نهایی آن به صورت شکل ۵ خواهد بود.

این شکل به‌وضوح نشان می‌دهد، پرز تغییرشکل یافته به ۲ قسمت تفکیک‌پذیر است. پژوهشگران پیشین نیز چنین تغییرشکلی را تأیید کرده‌اند. همان‌طور که گفته شد، شیخ و همکار بر این باورند که تغییرشکل خاب، تنها ناشی از خمش است. با در نظر گرفتن همین تغییرشکل و به‌کارگیری روش انرژی، مقدار انرژی ذخیره‌شده در خاب، حین بارگذاری و همچنین انرژی‌های مقاوم در برابر بازگشت خاب را محاسبه کرده‌اند. اما به‌نظر می‌رسد، تغییرشکل خاب نمی‌تواند تنها ناشی از پدیده خمش محض باشد. افزون بر این، پدیده اصطکاک میان الیاف موجود در ساختار نخ خاب نیز مؤثر است. بنابراین Dayiary و همکاران با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از مفروضات و به‌کمک تحلیل نیرو و نیز به‌کارگیری روش انرژی، انرژی کل ذخیره‌شده در پرز فرش را محاسبه کردند. آن‌ها افزون بر در نظر گرفتن نخ خاب به‌صورت میله‌ای کشسان، سطح مقطع آن را دایره‌ای فرض کردند و بخش بستر فرش را سفت و انعطاف‌ناپذیر در نظر گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد، انرژی کل تغییرشکل نخ خاب تحت نیروی فشاری به شاخص‌های هندسی (طول نخ خاب و شعاع خمش نخ خاب)، مکانیکی (سفتی خمشی نخ خاب و اصطکاک میان نخ‌های خاب) و نیز نیروی فشاری اعمالی، وابسته است.

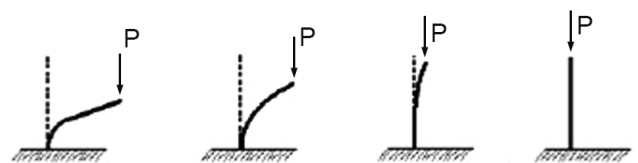


شکل ۵- شکل نهایی نخ خاب و زوایای آن در حالت تراکمی [۱۷].

سپس، فنر و پیستون همراه با اصطکاک داخلی و خارجی را در هر بخش به‌طور موازی قرار دادند و دوباره این دو بخش را به‌طور متوالی با یکدیگر در نظر گرفتند (شکل ۳پ). اگر مدل مکانیکی این دو بخش فرش، به‌صورت مدل Voigt فرض شود، مدل مکانیکی فرش را می‌توان با استفاده از مدل Voigt تحلیل کرد. مدل Voigt، می‌تواند با یک دمپر و فنر کاملاً کشسان نشان داده شود که به‌طور موازی به هم متصل شده‌اند (شکل ۳ت).

آن‌ها به‌منظور اندازه‌گیری رفتار فشردگی پویای فرش، دستگامی را طراحی کردند که خواص گران‌روکشسان دینامیکی فرش را در مقدار کرنش بسیار کم و درون ناحیه خطی نمودار تنش-کرنش اندازه‌گیری می‌کرد. همچنین، Horino و همکاران با مقایسه بخش‌های خاب فرش و بستر فرش، تفاوت‌هایی از نظر ساختار و تراکم میان این دو بخش فرش، قائل شدند. در نتیجه، مقادیر مدول‌های پویای مختلط بخش‌های بستر (E_B^*) و خاب (E_P^*) را متفاوت دانستند و برای تعیین مقدار تفاوت این دو مدول، مدول پویای بخش بستر را پس از بریدن و جداکردن نخ‌های خاب اندازه‌گیری کردند. آن‌ها بدین نتیجه دست یافتند، اثر بخش خاب فرش بر رفتار گران‌روکشسان فرش تحت کرنش ایستا کمتر از ۵٪ است. به‌طور کلی، Horino و همکاران دریافتند، برخی عوامل شامل نوع الیاف، میزان فرم‌موج الیاف، شکل سطح مقطع الیاف و نخ، تاب نخ و ساختار بستر فرش بر مدول پویای مختلط فرش اثر گذارند.

Dayiary و همکاران [۱۷، ۱۸] نیز در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰، مدلی برای رفتار فشردگی فرش پرزبریده ارائه دادند. بدین منظور، رفتار نخ خاب را تحت نیروی فشاری ارزیابی و سازوکار تغییرشکل نخ خاب را نیز گزارش کردند. برای نشان دادن تغییرشکل نهایی نخ خاب، مدل مکانیکی تحلیل نیرو و انرژی تغییرشکل نخ خاب را توسعه دادند. آن‌ها انرژی کشسان ذخیره‌شده بر اساس تغییرشکل خمشی غیرخطی را به‌دست آوردند و اثرهای اصطکاک ناشی از سرخوردگی نخ‌های خاب با نخ‌های مجاور آن‌ها را نیز در نظر گرفتند. آن‌ها بیان داشتند، چنانچه پرزهای فرش تحت بارگذاری فشاری قرار گیرند، تغییرشکل سه‌مرحله‌ای در آن‌ها



شکل ۴- نحوه تغییرشکل نخ خاب در اثر نیروی وارد شده P [۱۷].

۵ روش‌های اندازه‌گیری خواص فشردگی و بازگشت

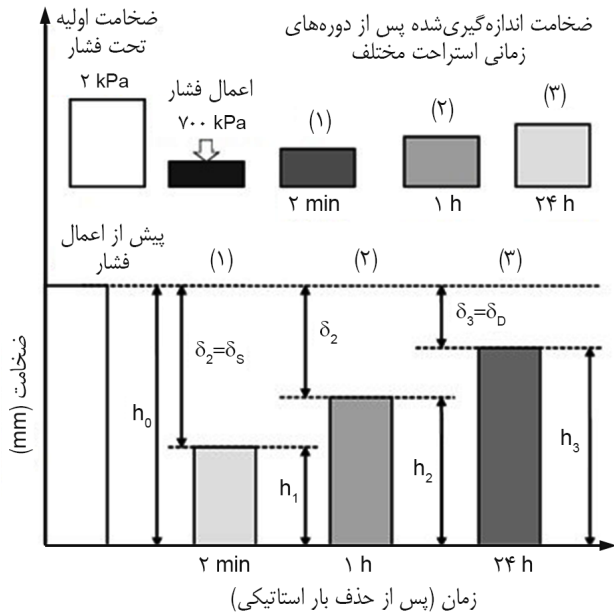
هنگامی که یک فرد روی سطح نرمی قدم می‌زند، آن سطح در اثر فشار پاها فشرده می‌شود. پس از عبور، سطح فشرده شده دوباره به حالت اول بازمی‌گردد. هنگامی که در اثر فشار کف پا، نیرو بر سطح فرش وارد می‌شود، از طرف فرش نیز نیرویی به کف پا وارد می‌شود. هر چه این نیرو کمتر باشد، پا احساس راحتی بیشتری دارد. این موضوع در مقایسه با سطوح سفتی مثل بتن و چوب، با توجه به واکنش نیرو به پا، احساس خوشایندی را به انسان می‌دهد [۱۹]. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد، خواص فشردگی فرش، اثر درخور توجهی بر ناراحتی و خستگی ناشی از ایستادن دارد. به طوری که با تغییر خواص فشردگی فرش، می‌توان ناراحتی و خستگی را کاهش داده و در نتیجه درد اندام تحتانی و کمر را کاهش داد و حتی از بین برد. بنابراین می‌توان گفت، خواص فشردگی فرش از مهم‌ترین خواص آن است که افزون بر تعیین دوام و کارایی فرش، نقش مستقیمی در سلامتی انسان دارد، چرا که با قلب دوم انسان در ارتباط است. همه این موارد لزوم بررسی خواص فشردگی فرش را می‌رساند.

قابلیت فشردگی فرش عبارت از کاهش ضخامت اولیه است که با افزایش مناسب نیروی فشاری رخ می‌دهد. ضخامت اولیه در واقع ضخامتی است که منسوج اشغال می‌کند، بدون آنکه نیروی درخور توجهی بر آن اعمال شود. خاصیت کشسانی نیز یکی از خواص فشردگی مهم فرش‌هاست و میزان بازگشت فرش را پس از برداشت نیروی فشاری تعیین می‌کند [۲۰]. نیروهای فشاری وارد شده به فرش طی مصرف به دو دسته تقسیم می‌شوند: نیروهای ایستا و پویا. نیروهای ایستا، در طول زمان تغییر نمی‌کنند و به طور ثابت باقی می‌مانند، مانند نیروی وارد شده از سمت پایه‌های مبلمان روی فرش. نیروهای پویا در طول زمان تغییر می‌کنند، مانند نیروی ناشی از راه رفتن روی فرش [۲۱].

۵-۱ روش‌های اندازه‌گیری خواص فشردگی و بازگشت تحت بار ایستا

به طور کلی، برای بررسی کاهش ضخامت فرش تحت بار ایستای کوتاه مدت یا طولانی مدت، ضخامت فرش پیش از اعمال بار و پس از دوره‌های زمانی استراحت مختلف، اندازه‌گیری می‌شود.

در سال ۲۰۰۵، Koc و همکاران [۲۲، ۲۳] برای بررسی کاهش ضخامت فرش تحت بار ایستای طولانی مدت، ضخامت فرش را پیش از اعمال بار و پس از دوره‌های زمانی استراحت مختلف،

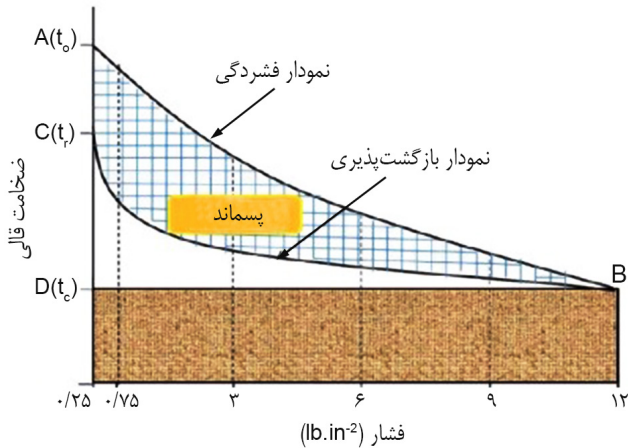


شکل ۶- روش اندازه‌گیری ضخامت توسط Koc و همکاران [۲۲].

اندازه‌گیری کردند. آن‌ها مطابق استاندارد ISO 3416 ضخامت نمونه فرش‌هایی به ابعاد $100 \times 100 \text{ mm}^2$ را پیش از اعمال بار، تحت فشار $2 \pm 0.2 \text{ kPa}$ اندازه‌گیری کردند و پس از آن به مدت ۲۴ h تحت فشار 700 kPa قرار دادند. سپس، اعمال بار را حذف و دوباره ضخامت فرش را پس از دوره‌های زمانی استراحت ۲ min و ۱ h و ۲۴ h اندازه‌گیری کردند. شیوه انجام آزمایش و مراحل اندازه‌گیری ضخامت در شکل ۶ نشان داده شده است.

Korkmaz و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۱۰، به منظور سنجش تغییرات ضخامت فرش‌ها تحت تأثیر نیروهای ایستای درازمدت و کوتاه مدت، نخست ضخامت اولیه نمونه فرش‌ها را با دقت 0.1 mm اندازه‌گیری کردند. برای مطالعه تأثیر نیروهای کوتاه مدت، نمونه فرش را به مدت ۲ h تحت فشار 156 kPa قرار دادند. پس از برداشت این نیرو، ارتفاع بازیابی شده میان فواصل زمانی ۱۵، ۳۰ و ۶۰ min را اندازه‌گیری کردند. همچنین، آن‌ها به منظور مطالعه تأثیر نیروهای بلندمدت، نمونه فرش را به مدت ۲۴ h در معرض نیروی ایستای 156 kPa قرار دادند. پس از برداشت این نیروی ایستای بلندمدت، میزان ارتفاع بازیابی شده پس از ۱ h و ۲۴ h را اندازه‌گیری و میزان کاهش ضخامت فرش را محاسبه کردند.

در سال ۲۰۱۲، Erdoğan [۲۴] مساحت نمونه تحت آزمایش را 400 cm^2 و مساحت سطح فشارنده را 325 mm^2 در نظر گرفت. آن‌ها برای هر نمونه فرش، پنج مرتبه ضخامت فرش را اندازه‌گیری کردند و میانگین آن را مدنظر قرار دادند. در همه آزمایش‌ها، نخست ضخامت اولیه نمونه‌ها (t_0) تحت فشار استاندارد $2 \pm 0.2 \text{ kPa}$ مطابق



شکل ۸- نمودار فشار-ضخامت ارائه شده توسط اشتیاق [۲۵،۲۷].

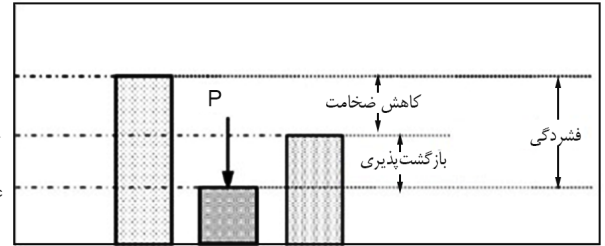
را به عنوان قابلیت فشردگی فرش در نظر گرفتند. همچنین، برای اندازه گیری بازگشت فرش در شرایط ایستا، نمونه فرش را تحت بار ایستا در فشارهای ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ g.cm⁻² قرار دادند و ضخامت فرش را حین بارگذاری و پس از برداشت نیرو، تحت هر یک از این فشارها اندازه گیری کردند. سپس، آنها نمودار فشار-ضخامت را رسم کردند (شکل ۸) و مطابق معادله (۴)، نسبت مساحت زیر نمودار بازگشت به مساحت زیر نمودار فشردگی را به عنوان میزان کشسانی فرش در نظر گرفتند:

$$\text{Carpet resiliency} = \frac{\text{ar CBD}}{\text{ar ADB}} \quad (4)$$

در سال ۲۰۱۴، جاویدپناه و همکاران [۲۸] کاهش ضخامت فرش را تحت بار ایستا به دست آوردند. آنها مطابق استاندارد ISO 3416، ابعاد نمونه فرش را ۱۰×۱۰ cm² در نظر گرفتند و پنج نمونه از هر فرش را آزمایش کردند. بدین منظور، ضخامت اولیه فرش را تحت فشار ۲±۰/۲ kPa اندازه گیری کردند و سپس نمونه فرش ها را به مدت ۲۴ h تحت فشار ۷۰۰ kPa قرار دادند. این پژوهشگران پس از حذف فشار وارد شده، ضخامت فرش را پس از ۱ و ۲ min و ۲۴ h و ۱ هفته استراحت اندازه گیری کردند. آنها متوسط درصد کاهش ضخامت فرش را پس از مدت زمان استراحت معین (TL) با استفاده از معادله (۵) محاسبه کردند:

$$\text{TL} (\%) = \frac{h_0 - h_x}{h_0} \times 100 \quad (5)$$

به طوری که، h_0 متوسط ضخامت اولیه فرش پیش از اعمال بار ایستا و h_x متوسط ضخامت اندازه گیری شده پس از دوره زمانی استراحت معین است.



شکل ۷- نمایی از دوره های مختلف اندازه گیری ضخامت Erdoğan [۲۴].

استاندارد ISO 1765 اندازه گیری و سپس فشار معین ۲۲۰ kPa روی فرش اعمال شد. سپس به منظور ارزیابی رفتار بازگشت فرش ها، Erdoğan از دو نیروی ایستای کوتاه مدت و دراز مدت استفاده کرد. وی نمونه های آزمایش نیروی ایستای کوتاه مدت را به مدت ۲ h و نمونه های آزمایش نیروی ایستای بلند مدت را به مدت ۲۴ h در معرض این نیرو قرار داد. پس از این مدت، نیروها برداشته شده و ضخامت فرش بی درنگ پس از برداشت این نیروها دوباره اندازه گیری شد (t_e). سپس ضخامت فرش ها را پس از دوره های زمانی مختلف، پس از برداشتن نیرو اندازه گیری و ثبت شد (t_r) (شکل ۷). در نهایت با استفاده از معادلات (۱) تا (۳)، به ترتیب فشردگی، کاهش ضخامت فرش ها و بازگشت به دست آمد:

$$\text{Compression} (\%) = \frac{t_i - t_e}{t_i} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Thickness loss} (\%) = \frac{t_i - t_r}{t_i} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Recovery} (\%) = \frac{t_r - t_e}{t_i - t_e} \times 100 \quad (3)$$

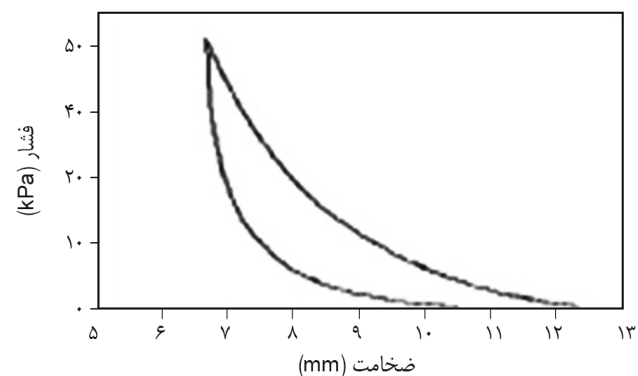
که در این معادلات، t_i ضخامت اولیه فرش، t_e ضخامت فرش بلافاصله پس از برداشت نیروی فشاری و t_r ضخامت فرش پس از دوره های زمانی استراحت مختلف هستند.

اشتیاق [۲۵-۲۷] و همکاران در سال های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵، به منظور ارزیابی اثر ساختار نخ خاب بر عملکرد فشردگی فرش، قابلیت فشردگی و بازگشت فرش را اندازه گیری کردند. آنها ابتدا ضخامت اولیه فرش را تحت نیروی ۳۹۰ g (۲۰ g.cm⁻²) اندازه گیری کرده و سپس ضخامت فرش را تحت نیروی ۱۸/۷۸ g (۱۰۰۰ g.cm⁻²) ثبت کردند. این پژوهشگران سرعت اعمال نیرو را به روشی انتخاب کردند که فاصله زمانی رسیدن تا این دو نیرو ۳۰ s باشد. نسبت ضخامت فرش فشرده شده به ضخامت اولیه فرش

به فرش هنگام راه رفتن، به کار می‌رود. آن‌ها براساس استاندارد، ضخامت فرش را پس از ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ضربه و برای اطمینان بیشتر، تحت ۲۰۰۰ ضربه نیز اندازه‌گیری کردند. سپس، برای محاسبه درصد کاهش ضخامت فرش‌ها (TL) از معادله (۶) استفاده کردند.

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی خواص فشردگی و بازگشت فرش تحت بار پویا، ارزیابی نمودار فشردگی و بازگشت حاصل از دستگاه کشش‌سنج در اثر اعمال بار فشاری است. به‌طور مثال، Dubinskaite و همکاران [۳۱] در سال ۲۰۰۸ آزمایش فشردگی را با دستگاه کشش‌سنج انجام دادند. آن‌ها سرعت سطح فشارنده را 20 mm.min^{-1} و بیشینه نیروی اعمالی را برابر 100 N در نظر گرفتند. پس از رسیدن به نیروی 100 N ، فرش به مدت 1 min تحت همین نیرو نگهداری و سپس نیرو با همان سرعت، حذف شد. آن‌ها این روند را در ۳ چرخه متوالی انجام دادند.

در سال ۲۰۱۲، شیخی و همکاران [۳۲] برای اندازه‌گیری شاخص‌های فشردگی، ابتدا نیروی واردشده از پای انسان به فرش را محاسبه کردند. وزن متوسط انسان را معادل 75 kg و سطح کف پا را به‌طور متوسط معادل $9 \times 20 \text{ cm}^2$ (180 cm^2) در نظر گرفتند. با این فرضیات، فشاری معادل $0.416 \text{ kgf.cm}^{-2}$ از طرف پای انسان به فرش وارد می‌شود که معادل $40/75 \text{ kPa}$ است. در این مرحله، پایه دایره‌ای شکلی به قطر 54 mm را برای دستگاه Instron طراحی کرده و برای اعمال چنین فشاری به فرش (با استفاده از پایه تولیدشده) نیرویی معادل $9/52 \text{ kgf}$ در دستگاه تنظیم کردند. این نیرو با سرعت 0.4 mm.s^{-1} به فرش وارد و دوباره نیرو به آرامی برداشته شد تا به صفر برسد. واکنش نمونه فرش‌ها به شکل نمودار رسم شد که یک نمونه از آن در شکل ۹ نشان داده شده است. آن‌ها دریافتند، برای داشتن تحلیل خوبی از رفتار فشارپذیری نمونه فرش‌ها، باید ابتدا ضخامت نمونه‌ها را پیش از اعمال نیرو



شکل ۹- نمودار نیرو-تغییرات ضخامت فرش [۳۲].

۲-۵ روش‌های اندازه‌گیری خواص فشردگی و بازگشت تحت بار پویا

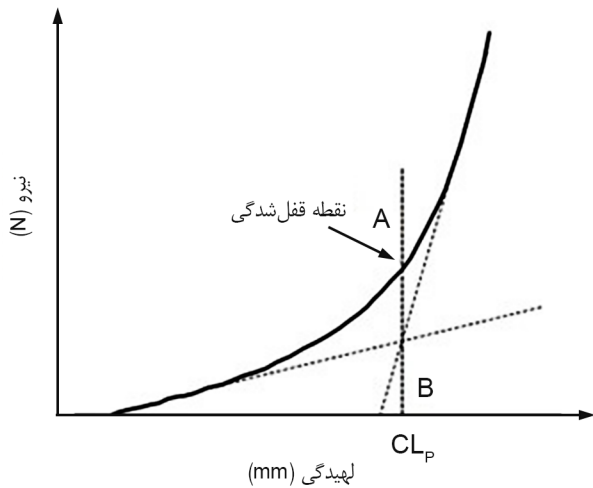
به‌طور کلی در آزمایش اثر بار پویا بر فرش، دو نوع نیروی اعمالی به فرش بر اثر راه رفتن شخص روی فرش، شبیه‌سازی می‌شود. یک نوع نیروی واردشده بر اثر وزن فرد و دیگری نیروی برشی که به خاطر لبه کفش به فرش وارد می‌شود. دستگاه اعمال بار پویا دارای وزنه‌ای است که در هر 1 min ، 15 بار به نمونه ضربه وارد می‌کند. این وزنه به وسیله اهرمی بالا برده شده و سپس رها می‌شود. ابعاد نمونه $125 \times 125 \text{ mm}^2$ در نظر گرفته شده و ضخامت اولیه آن اندازه‌گیری می‌شود. سپس، ضخامت فرش پس از ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۵۰۰ ضربه اندازه‌گیری شده و پس از اتمام آزمایش اعمال بار پویا، باز هم ضخامت نمونه‌ها پس از ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و 240 min و 48 h اندازه‌گیری می‌شود [۲۹،۳۰].

Nihat و همکار [۲۹] در سال ۲۰۱۰، کاهش ضخامت فرش تحت نیروی پویا را بررسی کردند. آن‌ها مطابق استاندارد ISO 2094، مساحت نمونه فرش‌ها را برابر $125 \times 125 \text{ mm}^2$ در نظر گرفتند و در ابتدا ضخامت اولیه فرش را تحت فشار 2 kPa اندازه‌گیری کردند. سپس مطابق استاندارد، فرش را تحت بار پویا قرار دادند و بلافاصله ضخامت را پس از ۵۰ ضربه اندازه‌گیری کردند. دوباره آزمایش را برای تعداد ضربه بیشتر یعنی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ضربه تکرار کردند و هر بار ضخامت فرش را اندازه گرفته و ثبت کردند. آن‌ها این آزمایش را برای هر فرش، ۵ مرتبه تکرار کرده و متوسط درصد کاهش ضخامت فرش را پس از تعداد ضربه معین (TL%)، با استفاده از معادله (۶) محاسبه کردند:

$$TL (\%) = \frac{h_0 - h_x}{h_0} \times 100 = \frac{\delta}{h_0} \times 100 \quad (6)$$

به‌طوری که، h_0 ضخامت اولیه فرش و h ضخامت فرش پس از تعداد ضربه مشخص، δ تفاوت میان ضخامت اولیه و ضخامت فرش پس از تعداد ضربه مشخص و h_L درصد کاهش ضخامت پس از تعداد ضربه مشخص است.

در سال ۲۰۱۵، جاویدپناه و همکاران [۳۰] به منظور ارزیابی اثر اصلاح نخ خاب بر خواص فشردگی فرش، افزون بر اثر نیروی ایستا، اثر اعمال نیروی پویا را نیز ارزیابی کردند. آن‌ها براساس استاندارد ISO 2094، ابعاد نمونه فرش‌ها را $125 \times 125 \text{ mm}^2$ در نظر گرفتند. پس از قراردادن نمونه در شرایط استاندارد، ضخامت اولیه فرش تحت فشار 2 kPa اندازه‌گیری شد و پس از آن تحت بار پویا قرار گرفت. این کار برای شبیه‌سازی ضربه‌ها و نیروهای واردشده



شکل ۱۰- چگونگی به دست آوردن نقطه لهیدگی [۳۳، ۳۴].

مقاومت در برابر فشردگی کمی نشان می‌دهند. ولی با افزایش فشردگی، نخ‌های خاب فشرده‌تر می‌شوند، فضاهاى خالی بین آنها کاهش می‌یابد و نخ‌ها و الیاف درهم‌گیر می‌شوند. این پدیده باعث افزایش یک‌باره مدول فشردگی می‌شود. این رفتار را می‌توان در شکل ۱۰ نیز مشاهده کرد، به طوری که نقطه درهم‌گیری نیز در آن نشان داده شده است. از این رو، این ناحیه انتقال می‌تواند به عنوان شاخص فشردگی قابل اندازه‌گیری دیگر فرش مورد توجه قرار گیرد.

۶ روش‌های ارزیابی راحتی زیرپا

۶-۱-۱ ارزیابی عینی

یکی از دلایل قابلیت‌های متفاوت کف‌پوش‌ها در کاهش ناراحتی ناشی از ایستادن، تفاوت فیزیولوژیکی آنهاست. برخی آزمایش‌های فیزیولوژیکی و زیست‌مکانیکی قابلیت تشخیص اثر کف‌پوش‌های مختلف را بر ناراحتی ناشی از ایستادن دارند. در زیر به برخی از این پارامترهای فیزیولوژیکی و زیست‌مکانیکی پرداخته می‌شود.

۶-۱-۱-۱ نوار ماهیچه‌ای (الکتروماهیچه‌نگاری)

در حدود قرن ۱۸ میلادی، دانشمند ایتالیایی به نام Galvani به ۲ دستاورد جالب در زمینه ماهیچه‌های اسکلتی دست یافت:

- ۱- با تحریک الکتریکی ماهیچه می‌توان در آن تنش ایجاد کرد،
- ۲- با اعمال تنش در ماهیچه می‌توان جریان یا ولتاژی در آن ایجاد کرد، به ویژه اگر تنش به شکل تحریک عصبی باشد.

(T_{0C}) اندازه‌گیری کنند. آن‌ها برای این کار از ضخامت‌سنج دیجیتال Shirley استفاده کردند و آزمایش را مطابق استاندارد ASTM تحت فشار ۲ kPa انجام دادند. برای بررسی رفتار فشارپذیری نمونه فرش‌های تولیدشده، تعداد ۱۰ آزمایش فشارپذیری بر هر نمونه فرش انجام شد. این پژوهشگران، با توجه به میانگین نتایج حاصل، شاخص‌های انرژی فشردگی (WC)، انرژی بازگشت (W'C)، بازگشت (RC) و قابلیت فشرده‌شدن (EMC) را اندازه‌گیری کردند (معادلات (۷) تا (۱۰)):

$$WC = \int_{T_{0C}}^{T_m} P dt \quad (7)$$

$$W'C = \int_{T_m}^{T_{0C}} P dt \quad (8)$$

$$RC (\%) = \frac{W'C}{WC} \times 100 \quad (9)$$

$$EMC = 1 - \frac{T_m}{T_{0C}} \quad (10)$$

در این معادلات، T_{0C} ضخامت اولیه فرش، T_m ضخامت فرش تحت فشار بیشینه، T_{0r} ضخامت فرش پس از حذف نیرو، P فشار اعمالی و dt تغییرات ضخامت است.

طباطبایی و همکار [۳۳، ۳۴] در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، حین بررسی خواص فشردگی فرش‌های دستباف ایرانی، شاخصی به نام چقرمگی را تعریف کردند. آن‌ها آزمایش فشردگی را با استفاده از دستگاه کشش‌سنج در شرایط استاندارد انجام دادند. سرعت آزمایش 50 mm.min^{-1} و بیشینه نیروی اعمالی برابر 680 N (متوسط وزن انسان) در نظر گرفته شد و نمودار نیرو-لهیدگی (crush) نمونه فرش‌ها به دست آمد. آن‌ها انرژی تغییرشکل خاب را تحت فشردگی، به عنوان شاخص چقرمگی در نظر گرفتند و با محاسبه مساحت زیر نمودار فشردگی، آن را به دست آوردند.

طباطبایی و همکار، مفهوم دیگری به نام نقطه قفل شدگی لهیدگی (locking crush) را معرفی کردند. آن‌ها با توجه به نمودار نیرو-لهیدگی بیان داشتند، در مرحله اول فشردگی، با افزایش تغییرشکل، نیرو نیز به آرامی افزایش می‌یابد. بنابراین، مدول فشردگی فرش در این ناحیه، کم است. آن‌ها مشاهده کردند، پس از نقطه خاصی، نیروی فشردگی تمایل به افزایش زیاد با شیب تند دارد، به طوری که فرش مدول فشردگی زیادی را نشان می‌دهد. دلیل این رفتار را می‌توان این‌گونه بیان داشت که در مرحله اول فشردگی، نخ‌های خاب دارای آزادی حرکت در تمام جهات هستند و

تغییر شرایط کمتر از $7/5$ s بود، آن را در نظر نمی‌گرفتند. معیار تعداد انتقال وزن بین دو پا طی ایستادن روی کفپوش می‌تواند در گروه معیارهای خستگی عینی زیست‌مکانیکی قرار بگیرد. دلیل اصلی استفاده فرد از انتقال وزن از یک پا به پای دیگر حین ایستادن کاستن ناراحتی ناشی از افزایش خستگی طی ایستادن طولانی مدت است که به افزایش تعداد انتقال وزن بدن بین پاها منجر می‌شود [۳۷].

۶-۱-۳ تغییر مرکز فشار (COP) روی یک پا

معیار تعداد دفعات تغییر مرکز فشار وزن بدن روی یک پا طی ایستادن، از عوامل عینی زیست‌مکانیکی بوده که به منظور بررسی اثر کفپوش بر ناراحتی ناشی از ایستادن، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تعداد دفعات زیاد تغییر مرکز فشار روی یک پا نشانگر تلاشی است که فرد برای کاهش دادن فشار حاصل از وزن بدن و در نتیجه کاهش خستگی و ناراحتی انجام می‌دهد [۳۷].

۶-۱-۴ تورم ساق پا

از دیگر معیارهای عینی فیزیولوژیکی، تورم ساق پا بوده که به دمای پوست وابسته است و اغلب همراه با آن، دمای پوست نیز ثبت می‌شود. روش‌هایی که به وسیله آن‌ها تورم ساق پا اندازه‌گیری می‌شود، در مطالعات مختلف، متفاوت است [۵]. Konz و همکار [۳۸] در مجموعه‌ای از آزمایش‌ها، اثرهای کفپوش را بر ابعاد ساق پا (طول، عرض و مساحت) و حجم پا بررسی کردند. در حالی که Madeleine [۳۶] محیط ساق پا را ارزیابی کرد. در مطالعه Cham و همکار [۳۹]، حجم ساق پا به‌عنوان متغیر بررسی شد. در برخی از مطالعات، تورم ساق پا حین آزمایش ایستادن و طی دوره‌های زمانی منظم ۱ min تا ۲۰ min مورد توجه قرار گرفت. درحالی که در سایر مطالعات، تورم ساق پا پیش و پس از آزمایش ایستادن مقایسه شده است. در اکثر مطالعاتی که حجم ساق پا اندازه‌گیری شده، دمای پوست نیز ثبت شده است. بدین منظور، دو نوع فناوری گرماسنجی شامل سامانه‌های زیرقرمز غیرتماسی و تماسی مثل ترمیستور استفاده شده است [۵]. Konz و Rys [۳۸] از جمله کسانی هستند که در پژوهش خود از فناوری ترمیستور تماسی استفاده کردند. Cham و همکار [۳۹] دمای پوست روی چهار ماهیچه پا شامل سولئوس، عضله قدامی درشت‌نی، عضله چهارسر و همسترینگ را ثبت کردند. همچنین، آن‌ها دمای زانو را کنترل کردند تا هر گونه تغییر دمای ایجادشده به‌واسطه تغییر دمای محیط را متوجه شوند.

تا اوایل قرن بیستم، که دسترسی به تجهیزات پیشرفته برای اندازه‌گیری جریان‌های الکتریکی بسیار کم امکان‌پذیر نبود، چنین اکتشافاتی از ارزش کاربردی چندانی برخوردار نبود. امروزه، به روش ثبت فعالیت‌های الکتریکی که توسط ماهیچه‌ها انجام می‌شود، الکتروماهیچه‌نگاری گویند. با کمک الکتروماهیچه‌نگاری می‌توان عملکردهای عصبی-ماهیچه‌ای عضلات بدن را بررسی کرد. برای مثال، شناسایی ماهیچه‌هایی که در اثر حرکت دچار تنش شده یا حرکت‌هایی که سبب ایجاد تنش کمتر یا بیشتر در یک عضله یا دسته‌ای از عضلات می‌شوند. در روش الکتروماهیچه‌نگاری، مبدلی به نام الکتروود قابلیت حس کردن یا تشخیص سطح فعالیت الکتریکی ماهیچه را در یک زمان خاص دارد. با توجه به نیاز پژوهشگر یا پزشک، می‌توان از الکتروودهای سطحی یا الکتروودهای سیمی نازک استفاده کرد. الکتروودهای سطحی به‌شکل صفحات رسانای کوچکی هستند که روی پوست یک ماهیچه یا یک گروه از ماهیچه‌ها، برای ثبت فعالیت‌های الکتریکی آن‌ها قرار می‌گیرند. هرگاه نیاز به ثبت جریانات مربوط به ماهیچه خاصی باشد، می‌توان با استفاده از الکتروودهای سوزنی که به‌طور مستقیم درون ماهیچه مدنظر قرار می‌گیرند، اطلاعات لازم را ثبت کرد. خروجی الکتروودها را پس از تقویت، می‌توان به‌شکل گرافیکی یا عددی نمایش داد و در رایانه ذخیره و پردازش کرد [۳۵].

برای ارزیابی اثر کفپوش بر خستگی موضعی ماهیچه، نوار الکتروماهیچه‌نگاری در چند مطالعه به‌کار برده شد. در اکثر این پژوهش‌ها، داده‌های الکتروماهیچه‌نگاری ماهیچه‌های کمر و ساق پا طی دوره زمانی ایستادن جمع‌آوری شده است. در برخی مطالعات نیز، الکتروماهیچه‌نگاری ماهیچه‌ها پیش و پس از ایستادن انجام شده است [۵،۳۶].

۶-۱-۲ انتقال وزن بین دو پا

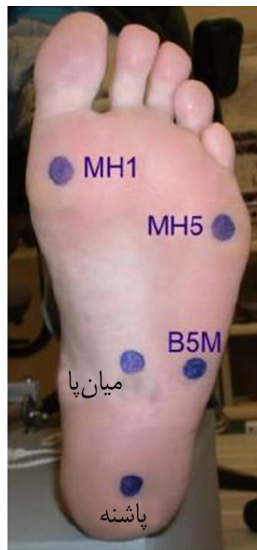
انتقال وزن بین دو پا به‌عنوان تغییر توزیع نیرو میان دو پا تعریف می‌شود و از تغییر حالت بین یکی از سه شرایط زیر تشکیل شده است:

۱- بیش از ۸۰٪ وزن بدن روی پای چپ باشد،

۲- بیش از ۸۰٪ وزن بدن روی پای راست باشد و

۳- حداقل ۲۰٪ از وزن بدن روی هر پا باشد.

Wiggermann و همکاران با استفاده از حسگرهای فشاری تعبیه‌شده درون کفش شرکت‌کنندگان، انتقال وزن بین دو پای فرد را طی ۱۰ min پایانی چهارمین ساعت آزمایش بررسی کردند. آن‌ها هر یک از این تغییر شرایط را به‌عنوان یک تغییر ثبت کردند، ولی اگر



شکل ۱۱- نواحی مختلف کف پا برای بررسی فشار آستانه درد در آزمایش Wiggermann [۳۷].

(PPT-CP)، ارزیابی کرد. وی فشار ثابت را برابر با فشار وارد بر پاشنه پا طی ایستادن در نظر گرفت و زمان متناظر با مشاهده اولین درد را ثبت کرد. بدین منظور، پنج سطح فشار ثابت ۹۸، ۱۴۷، ۲۲۱، ۲۹۴ و ۳۹۲ kPa را به کار برد و پنج ناحیه کف پا را مطابق شکل ۱۱ بررسی کرد. طی این آزمایش، شرکت کنندگان با آرامش نشسته و پای خود را روی سطح صافی قرار می دادند که داخل آن یک سوراخ وجود داشت. یک فشارنده با مساحت سطح مقطع 1 cm^2 به طور عمودی در سوراخ حرکت کرده و به پا فشرده می شد. زمانی که شرکت کنندگان به آستانه درد می رسیدند، طناب متصل به اهرم را می کشیدند که به فشارنده متصل بود. برای اندازه گیری نیرو و جابه جایی فشارنده طی هر آزمایش از سلول بار و پتانسیل سنج خطی استفاده شد. فشار آستانه درد تحت فشار ثابت با اندازه گیری زمان، میان لحظه ای که پا تحت فشار معین قرار می گیرد و لحظه کشیدن طناب توسط شرکت کننده، تعیین شده است.

۲-۶ ارزیابی حسی

زیرپا حسی است که راحتی ایستادن و راه رفتن را نشان می دهد. به طور کلی، راحتی فرش دستباف ترکیب پیچیده ای از پاسخ های روان شناختی و فیزیولوژیکی شخص و خواص فیزیکی مواد تشکیل دهنده فرش است. راحتی زیرپای فرش به کمک شاخص های فیزیکی که با روش های ارزیابی عینی اندازه گیری می شود، به طور کامل و جامع قابل توصیف نیست. ارزیابی حسی، روشی است که به وسیله آن می توان راحتی زیرپای فرش را بررسی کرد.

۵-۱-۶ جذب اکسیژن، فشار خون و ضربان قلب

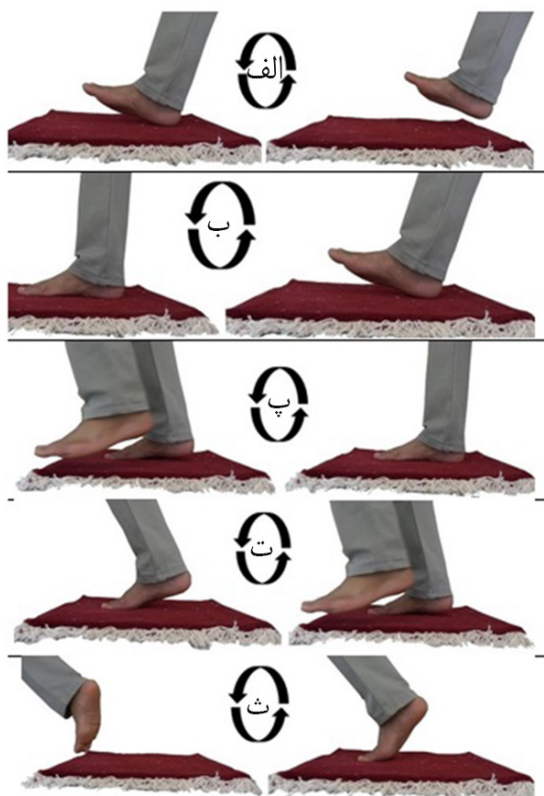
افزون بر عوامل زیست مکانیکی، سایر متغیرهای عینی شامل جذب اکسیژن، فشار خون و ضربان قلب نیز در برهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. Hansen و همکاران [۴۰]، این متغیرهای فیزیولوژیکی را یک بار پیش از آزمایش، یک بار در شروع آن و سه مرتبه طی آزمایش ۲ h خود ثبت کردند. همچنین، Rys و Konz فشار خون و ضربان قلب را هر ۲۰ min یک بار طی ایستادن ثبت کردند.

۶-۱-۶ فشار آستانه درد (PPT)

شواهد فیزیولوژیکی نشان می دهد، فشار وارد شده به سطح کف پا می تواند باعث ناراحتی شود. فشار وارد شده بر کف پا به فشردگی ماهیچه ها، اعصاب و استخوان های پا منجر می شود و زیاد بودن این فشار، درد پا و ناراحتی را در پی دارد. حین ایستادن به صورت پابرنه، فشار وارد بر کف پا به طور متوسط برابر با ۷۰ kPa با بیشینه فشار ۱۷۵-۱۴۰ kPa بوده که بسیار بیش از فشاری است که به آسیب دیدگی پوست، ماهیچه و عصب منجر می شود. این فشار بسیار بیش از ۴-۴/۷ kPa بوده، از فشار مویرگ بیشتر است و باعث کاهش جریان خون در بافت می شود [۳۷]. از روش های تعیین رابطه درد و فشار، تعیین فشار آستانه درد است. فشار آستانه درد نشانگر فشاری است که در آن اولین بار، به هنگام فشار دادن یک میله با سرعت افزایشی به پوست، درد احساس می شود. معمولاً فشار آستانه درد در دومین انگشت پا بررسی می شود. Messing بیشترین فشار آستانه درد را در پاشنه پا و کمترین آن را در وسط کف پا مشاهده کرد. بنابراین مطابق آزمایش وی، وسط کف پا نسبت به پاشنه پا در برابر فشار حساس تر است [۳۷].

در حالی که نتایج آزمایش فشار آستانه درد، شاید اطلاعات خوبی را پیرامون حساسیت نواحی مختلف پا در برابر درد در اختیار بگذارد، ولی شرایط این آزمایش کاملاً با شرایط ایستادن متفاوت است. Messing فشار آستانه درد ۵۵۰ kPa را در پاشنه پا مشاهده کرد که تقریباً ۴ برابر بیش از پیک فشار متداول مشاهده شده طی ایستادن بود. نرخ افزایش فشار به کاررفته در آزمایش فشار آستانه درد نیز بیانگر فشار وارد شده بر پا طی ایستادن نیست. نرخ افزایش فشار بر فشار آستانه درد اثرگذار است، به طوری که در نرخ های بیشتر، آستانه فشار درد نیز افزایش می یابد. بنابراین می توان بیان داشت، آزمایش آستانه فشار درد نمی تواند روش اندازه گیری دقیقی برای بررسی اثر فشارهای ایستا بر درد باشد [۳۷].

Wiggermann [۳۷] اثر فشار وارد شده بر کف پا را بر آستانه فشار درد، با معرفی روش آزمایش آستانه فشار درد در فشار ثابت



شکل ۱۲- تصویری از شیوه ارزیابی حسی راحتی زیرپای فرش با شبیه‌سازی مراحل: (الف) ضربه پاشنه پا بر زمین، (ب) تماس کف پا با زمین، (پ) میان‌ایستایی، (ت) جداسدن پاشنه پا از زمین و (ث) جداسدن پنجه پا از زمین [۴۱].

۸- از داوطلب درخواست شد تا به‌طور معمول، متداول و پیوسته روی فرش راه برود.

۹- از داوطلب درخواست شد تا مشابه راه‌رفتن روی تردمیل روی فرش راه برود.

۱۰- برای هر نمونه فرش، مراحل ۱ تا ۹ به‌ترتیب انجام شد. برای ارزیابی راحتی زیرپای فرش از مقیاس رتبه‌بندی نامتعادل ۷ نمره‌ای استفاده شد که در جدول ۱ نشان داده شده است [۴۱]. با استفاده از این مقیاس می‌توان قضاوت شرکت‌کنندگان درباره حس زیرپای فرش را به عددی که نشانگر میزان درک حس زیرپا تبدیل کرد که توسط شخص تجربه شده است.

برای جلوگیری از به‌وجود آمدن خطای ناشی از ترتیب آزمایش، نمونه‌ها ۵ مرتبه و هر مرتبه به‌طور کاملاً تصادفی ارزیابی حسی شد. با توجه به این نکته که حس کردن پیوسته فرش توسط پا موجب کاهش حساسیت و دقت می‌شود، دوره استراحت ۶۰ s میان نمونه‌های متوالی، برای بازیابی حسی پای شخص در نظر گرفته شد. همچنین، به داوطلبان اجازه داده شد تا با احساس ناراحتی و

صادقی و همکاران [۴۱] نوعی روش حسی برای ارزیابی راحتی زیرپای فرش معرفی کردند. به‌منظور ارزیابی حسی نمونه از ۳۰ شرکت‌کننده شامل ۱۵ زن و ۱۵ مرد با محدوده سنی ۱۸ تا ۵۵ سال دعوت شد که پیشینه‌ای درباره این‌گونه ارزیابی نداشتند.

ارزیابی راحتی زیرپای فرش به روش زیر انجام شده است:

۱- از داوطلب درخواست شد تا با استفاده از چشم‌بند، چشمان خود را بپوشاند.

۲- نمونه فرش دستباف روی سطح صاف غیرفلزی قرار گرفت.

۳- از داوطلب درخواست شد تا به‌صورت ضربه‌ای چند مرتبه پاشنه پای خود را روی فرش فشار دهد و دوباره از روی آن بردارد. درحقیقت، از داوطلب درخواست شد تا مرحله ضربه پاشنه راه‌رفتن است (شکل ۱۲الف). مرحله ضربه پاشنه مرحله آغازین چرخه راه‌رفتن بوده و آن هنگامی است که پاشنه پای که در جلو قرار دارد با سطح تماس می‌یابد [۴۲].

۴- در ادامه، بلافاصله از داوطلب درخواست شد تا پس از تماس پاشنه پا با فرش، تمام کف پا را روی سطح فرش قرار دهد. درحقیقت، با این کار، داوطلب مرحله تماس کف پا با زمین (foot-flat) را شبیه‌سازی می‌کند که از مراحل چرخه راه‌رفتن است (شکل ۱۲ب). این مرحله، بلافاصله پس از تماس پاشنه پا با زمین انجام می‌شود و هنگامی است که تمام کف پا به‌طور کامل با زمین در تماس باشد [۴۲].

۵- پس از آن بلافاصله، از داوطلب درخواست شد تا مرحله میان‌ایستایی (mid-stance)، یکی دیگر از مراحل چرخه راه‌رفتن، را شبیه‌سازی کند (شکل ۱۲پ). مرحله میان‌ایستایی وقتی است که وزن بدن به‌طور مستقیم از روی پای متکی عبور می‌کند. این حالت هنگامی آغاز می‌شود که پای مقابل از زمین جدا شود و تا موقعی ادامه می‌یابد که بدن به‌طور مستقیم روی این پا قرار گیرد [۴۲].

۶- از داوطلب درخواست شد تا پاشنه پای خود را از سطح فرش جدا کند و درحقیقت، مرحله جداسدن پاشنه از زمین (heel-off) را شبیه‌سازی کند که از مراحل چرخه راه‌رفتن است (شکل ۱۲ت). این مرحله هنگامی است که پاشنه پای مربوط از زمین جدا می‌شود [۴۲].

۷- در این مرحله از داوطلب درخواست شد تا پنجه پای خود را از سطح فرش جدا کند. درحقیقت، از داوطلب خواسته شد تا مرحله جداسدن پنجه پا از زمین (toe-off)، یکی دیگر از مراحل چرخه راه‌رفتن را شبیه‌سازی کند (شکل ۱۲ث). این مرحله هنگامی است که پنجه پا از زمین جدا می‌شود [۴۲].

جدول ۱- مقیاس رتبه‌بندی نامتعادل ۱-۷ استفاده شده برای ارزیابی حس راحتی زیرپای فرش [۴۱].

راحتی زیرپای فرش						
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ضعیف‌ترین		←————→			قوی‌ترین	

نیازهای پوششی بشر هم نیستند. افزون بر این، استفاده از فرش‌ها در زمینه‌های صنعتی مانند خودرو و هواپیما در نیمه دوم قرن بیستم آغاز شد و به سرعت افزایش یافت. از سوی دیگر، ابداع و پیشرفت الیاف مصنوعی، که خواص منحصر به فردی در کاربردهای متنوع نساجی دارند، نیازهای جنبه‌های مختلف زندگی بشر را برآورده کرده است. امروزه، الیاف مصنوعی مانند پلی‌پروپیلن، پلی‌آمید و آکرلیک از جمله مواد اصلی نخ خاب فرش ماشینی هستند.

در سال ۲۰۰۵، Koc و همکاران [۲۲،۲۳] مطالعه تجربی را درباره کاهش ضخامت فرش‌های رویه به رویه با جنس نخ خاب متفاوت، تحت بار ایستای طولانی مدت، انجام دادند. آن‌ها فرش‌هایی از جنس نخ خاب پشمی، آکرلیک و پلی‌پروپیلن را بررسی و مشاهده کردند، فرش‌های از جنس خاب آکرلیک، کمترین مقاومت را در برابر فشار ایستای اعمالی دارند. ضخامت ثبت شده توسط Koc و همکاران پس از ۲۴ h استراحت فرش تحت بار ایستا نشان داد، ضخامت فرش‌ها با افزایش دوره زمانی استراحت افزایش می‌یابد، ولی هرگز به ضخامت اولیه خود باز نمی‌گردند. از نقطه نظر تغییر ضخامت ماندگار در فرش نتایج نشان داد، فرش‌های پشمی بهترین عملکرد را دارند. اما، فرش‌های آکرلیکی بیشترین تغییر ضخامت ماندگار را نشان دادند. آن‌ها، درصد کاهش ضخامت فرش را با قابلیت فشردگی آن در ارتباط دانسته و آن را به میزان جذب انرژی فرش هنگام اعمال نیروی ایستا نیز وابسته دانستند. آن‌ها از این نظر مشاهده کردند، فرش‌های پشمی بهترین عملکرد را دارند، البته

خستگی، استراحت کنند. افزون بر این، برای جلوگیری از خطاهای بصری ناشی از نور، رنگ و نقش نمونه فرش، از داوطلب درخواست شد، چشمان خود را با استفاده از چشم‌بند مخصوص بپوشاند. از این رو، آزمایش از نوع نابیناست.

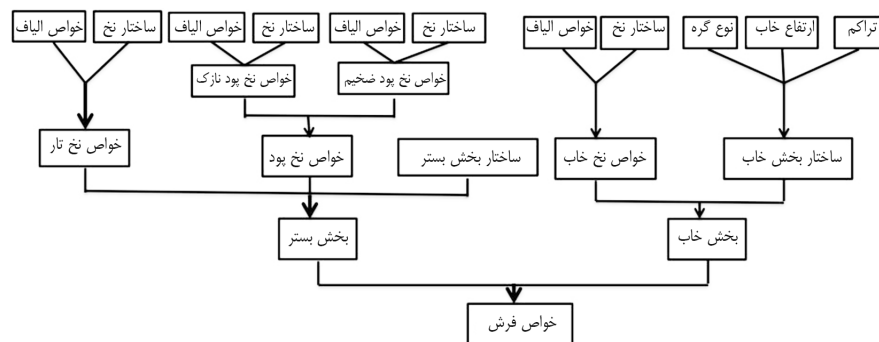
۷ اثر عوامل مختلف بر خواص فشردگی و بازگشت

همان‌طور که گفته شد، به‌طور کلی فرش از دو بخش بستر و خاب تشکیل شده است، بنابراین، خواص آن نیز متأثر از این دو بخش تشکیل‌دهنده فرش است. هر دو بخش بستر و خاب از عوامل سازنده آن‌ها تأثیر می‌پذیرند. بخش بستر متأثر از الیاف تشکیل‌دهنده نخ‌های تار و پود و ساختار آن‌ها و نیز ساختار بخش بستر است. بخش خاب نیز از الیاف تشکیل‌دهنده نخ خاب و ساختار آن و ساختار بخش خاب تأثیر می‌پذیرد. عوامل اثرگذار بر خواص فرش در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

۷-۱ اثر بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت

۷-۱-۱ اثر خواص الیاف بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت

الیاف طبیعی مثل پشم و ابریشم از جمله مواد اولیه‌ای هستند که معمولاً در فرش دستباف استفاده می‌شوند. در نتیجه افزایش جمعیت جهان در قرن ۲۰، منابع تولیدکننده الیاف طبیعی حتی جابجایی



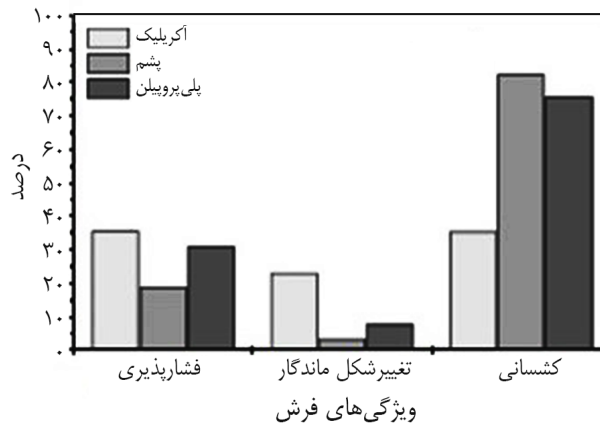
شکل ۱۳- عوامل اثرگذار بر خواص فرش.

پلی‌پروپیلن بازگشت خوبی دارند. بدین ترتیب Koc و همکاران پیشنهاد دادند، فرش‌های با جنس خاب پشم و پلی‌پروپیلن برای محل‌هایی مناسب‌ترند که اشیای سنگین، حجیم و غیرمتحرک روی آن‌ها قرار داده می‌شود. برخلاف این نوع فرش‌ها، فرش‌های با جنس خاب آکرلیک برای این موارد مناسب نیستند، زیرا بازگشت ضعیفی در برابر بارهای ایستا نشان می‌دهند.

در سال ۲۰۰۷، Koc و همکار [۲۹] در پژوهش دیگری، کاهش ضخامت این نوع فرش‌ها را تحت بار پویا بررسی کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد، با افزایش تعداد ضربه‌ها میزان کاهش ضخامت فرش افزایش می‌یابد. برخلاف نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش ایستا، نتایج آزمایش پویا نشان داد، فرش‌های با جنس خاب آکرلیک در مقایسه با فرش‌های پشمی و پلی‌پروپیلن، بازگشت بیشتری در برابر اعمال نیروی پویا دارند.

Grover و همکاران [۴۳] در سال ۱۹۹۳، خواص مکانیکی پویای الیاف نایلون ۶ کشیده‌شده و نشده را با استفاده از دستگاه Rheovibron بررسی کردند. این روش، براساس اصول تحلیل مکانیکی پویا بوده و مواد با اندازه‌گیری ویژگی‌های تغییرشکل آن‌ها تحت بارهای ارتعاشی توصیف می‌شوند. هنگامی که مواد گران‌روکشسان مانند نخ و الیاف تغییرشکل پیدا می‌کنند، مقداری از انرژی ذخیره و مقداری نیز به علت اصطکاک داخلی به شکل گرما تلف می‌شود. اصطکاک داخلی بیشتر باعث اتلاف گرمای بیشتر و بازگشت‌پذیری کمتر می‌شود. دستگاه Rheovibron در مواد، کرنش ایجاد می‌کند و سپس تنش ایجادشده در آن‌ها بررسی می‌شود. نتایج Grover و همکاران نشان داد، الیاف کشیده‌نشده بازگشت ضعیفی دارند. کشش باعث ایجاد پیوندهای مولکولی بیشتر می‌شود و خواص کشسانی الیاف را افزایش می‌دهد. آن‌ها بیان داشتند، نسبت کشش، شاخص بسیار مهمی در بهینه‌سازی ساختار الیاف و در نتیجه بهینه‌سازی عملکرد فرش است. همچنین، برای بررسی اثر درصد فرّوموج الیاف بر خواص مکانیکی پویای الیاف پلی‌پروپیلن، آن‌ها دو نوع از این الیاف را با درصد فرّوموج متفاوت با استفاده از دستگاه Rheo-vibron آزمودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد، الیاف با درصد فرّوموج بیشتر در دمای محیط، مدول پویای کمتری نسبت به الیاف با درصد فرّوموج کمتر دارند، در نتیجه نرم‌تر هستند. همچنین نتایج نشان داد، در دمای زیاد الیاف با درصد فرّوموج بیشتر، اتلاف انرژی کمتر و در نتیجه بازگشت بیشتری دارند. آن‌ها به‌طور کلی نشان دادند، درصد فرّوموج الیاف شاخص مهمی در بهینه‌سازی بازگشت و نرمی فرش به‌شمار می‌رود.

در سال ۲۰۰۵، میرجلیلی و شرزه‌ای [۴۴،۴۵] اثر نژاد گوسفند و



شکل ۱۴- مقایسه خواص فشرده‌گی فرش‌های با جنس متفاوت [۲۲].

فرش‌های با جنس خاب آکرلیک دارای بدترین عملکرد هستند. بررسی انعطاف‌پذیری این فرش‌ها نشان داد، باز هم بهترین عملکرد را فرش‌های پشمی دارند و فرش‌های آکرلیکی بدترین عملکرد را نشان دادند. مقایسه خواص فشرده‌گی این فرش‌ها در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

Koc و همکاران [۲۲،۲۳]، بازگشت این فرش‌ها را نیز مطالعه کردند. تغییرات بازگشت فرش‌ها طی دوره‌های زمانی استراحت مختلف نشان داد، فرش‌های پشمی در مقایسه با سایر فرش‌ها، بازگشت بیشتری دارند و فرش‌های با جنس خاب آکرلیک، کمترین مقدار بازگشت را نشان می‌دهند. آن‌ها تمام این نتایج را با ساختار الیاف تشکیل‌دهنده نخ خاب مرتبط دانستند. الیاف پشم از مولکول‌های پروتئینی و زنجیرهای بلند مولکولی پروتئینی از لیفچه‌ها تشکیل شده‌اند. این سلول‌ها انعطاف‌پذیری بسیار زیادی را فراهم می‌کنند. افزون بر این، خواص فیزیکی پشم نیز شامل ظرافت، طول، قابلیت کشسانی ذاتی و فرّوموج، عوامل مؤثری بر انعطاف‌پذیری و بازگشت هستند. همه این‌ها از دلایل استفاده زیاد الیاف پشم در بخش خاب فرش است. به‌طور کلی، الیاف آکرلیک دارای بازگشت بوده و زیردستی شبیه به پشم دارند. الیاف آکرلیک گرمانرم بوده و دارای چگالی کم و مقاومت در برابر چروک‌پذیری زیاد هستند. ولی این الیاف در برابر تغییر شکل در بخار آب و آب گرم، حساس‌اند. این الیاف در دمای محیط، در برابر لهیدگی مقاوم بوده و پس از برداشت نیروی فشاری، به‌شکل اولیه خود بازمی‌گردند. این خواص، الیاف آکرلیک را برای استفاده در فرش مناسب کرده است. الیاف پلی‌پروپیلن، شفاف و میله‌مانند بوده و دارای ساختاری ساده هستند. شکل سطح مقطع این الیاف می‌تواند متفاوت باشد، ولی معمولاً دایره‌ای است. الیاف

این نمونه بیشترین بازگشت پذیری را نیز داراست.

شکل سطح مقطع الیاف، اثر مستقیم بر خواص فیزیکی و مکانیکی الیاف دارد و همچنین بر انسجام و حجیم بودن ساختارهای تولیدی از الیاف اثرگذار است. Debnath و همکاران [۴۶]، مطالعه‌ای را درباره چگونگی اثر شکل سطح مقطع الیاف بر خواص بازگشت پارچه‌های بی‌بافت انجام دادند. بررسی‌ها نشان می‌دهد، شکل سطح مقطع الیاف بر خواص بازگشت فرش نیز اثرگذار است.

در سال ۲۰۱۲، Erdoğan [۲۴] در پژوهشی اثر شکل سطح مقطع الیاف را بر خواص فشردگی فرش‌های پلی‌پروپیلن در اثر اعمال نیروهای کوتاه‌مدت و درازمدت با ثابت نگهداشتن سایر شاخص‌های ساختاری فرش ارزیابی کردند. در این پژوهش، نمونه فرش‌ها با استفاده از دستگاه رویه به رویه Wilton تولید شدند. ایشان از نخ‌های حجیم پیوسته (bulked continuous filament, BCF) پلی‌پروپیلن با دو سطح مقطع مختلف مثلثی و توخالی به‌عنوان نخ خاب فرش استفاده کردند. نمونه فرش‌ها در شرایط یکسان و در یک دستگاه تولید شدند. بدین وسیله، شاخص‌های ساختاری مانند تراکم تار و پود و ارتفاع خاب در همه فرش‌ها ثابت نگهداشته شد. وی مشاهده کرد، ضخامت اولیه و ضخامت‌های اندازه‌گیری شده بلافاصله پس از برداشت نیرو و پس از دوره‌های زمانی مختلف، در نمونه فرش‌های دارای نخ خاب از الیاف با سطح مقطع توخالی بیش از نمونه فرش‌هایی است که نخ خاب آن‌ها از الیاف با سطح مقطع مثلثی تشکیل شده است. هر چند شاخص‌های ساختاری فرش‌ها ثابت نگهداشته شده و یکسان است، ولی ضخامت اولیه فرش‌های حاصل از نخ خاب تولیدی از الیاف با سطح مقطع توخالی با مثلثی متفاوت است. می‌توان گفت، رفتار فشردگی فرش حاصل از نخ خاب تولیدی از الیاف با سطح مقطع توخالی و مثلثی در فشار استاندارد اعمالی، متفاوت است. ضخامت کمتر فرش دارای نخ خاب تولیدی از الیاف با سطح مقطع مثلثی نشانگر این است که مقاومت این نوع فرش در برابر نیروهای فشاری، نسبت به فرش دارای نخ خاب از الیاف با سطح مقطع توخالی کمتر است. خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین انجام شده درباره اثر خواص الیاف بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت در جدول ۲ نشان داده شده است.

۷-۱-۲ اثر ساختار نخ خاب بر خواص فشردگی و بازگشت

Grover و همکاران [۴۳] در سال ۱۹۹۳ با استفاده از دستگاه Rheovibron، اثر تاب را بر بازگشت نخ نایلون ۶ مصرفی در فرش بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، با افزایش میزان تاب، بازگشت نخ

نیز چگونگی جداسازی الیاف پشم از بدن آن را بر خواص فشردگی فرش‌های دستباف ایرانی تحت نیروهای ایستا، بررسی کردند. آن‌ها الیاف پشم دو نوع نژاد از نواحی مختلف ایران، شامل سیرجان و کرمانشاه را استفاده و به دو روش دباغی و چیدن، پشم را از بدن گوسفند جدا کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، حین اعمال بار ایستا، کاهش ضخامت فرش سیرجان، بیش از کاهش ضخامت فرش کرمانشاه است. این پژوهشگران، دلیل این رفتار را تفاوت ظرافت الیاف پشم این دو نژاد دانستند. نتایج گزارش شده در این مقاله نشان می‌دهد، برخلاف دیدگاه عموم، کیفیت فرش‌های بافته شده از پشم دباغی شده در مقایسه با فرش‌های بافته شده از پشم معمولی، نه تنها پایین‌تر، بلکه در برخی موارد یکسان است.

معمولاً نخ خاب فرش ماشینی از مخلوط الیاف آکرلیک با ظرافت‌های ۷، ۱۰ و ۱۵ den تولید می‌شود. با توجه به اینکه پژوهش مدونی برای بررسی اثر کاهش یا افزایش درصد هر یک از این الیاف در نخ خاب (در شرایطی که ظرافت متوسط الیاف در همه نمونه‌ها ثابت بماند) انجام نشده بود، شیخی و همکاران [۳۲] را بر آن داشت تا اثر درصد مخلوط الیاف آکرلیک با ظرافت‌های مختلف (۷، ۱۰ و ۱۵ den) را بر خواص فرش تولیدی، تجزیه و تحلیل کنند. آن‌ها از الیاف آکرلیک با سه ظرافت مختلف (۷، ۱۰ و ۱۵ den) برای تولید نخ خاب فرش ماشینی استفاده کردند. برای بررسی اثر افزایش یا کاهش درصد این الیاف در نخ خاب بر فشارپذیری فرش ماشینی، ۱۰ نمونه نخ با ترکیب‌های متفاوت از این ۳ لیف تولید و با استفاده از آن‌ها، نمونه فرش‌هایی به‌صورت پرزبریده و به روش رویه به رویه تولید کردند. پس از تولید نمونه فرش‌ها، میزان فشارپذیری آن‌ها را با استفاده از دستگاه Instron اندازه‌گیری کردند. شیخی و همکاران، با توجه به نتایج حاصل از نمودار فشارپذیری نمونه فرش‌ها اعلام کردند، انرژی‌های فشردگی و بازگشت، بازگشت و قابلیت فشرده شدن نمونه فرش‌ها با افزایش درصد الیاف با ظرافت ۱۵ den تا ۱۵٪، روند افزایشی دارند. ولی با افزایش بیشتر الیاف با ظرافت ۱۵ den، این شاخص‌ها روند کاهشی می‌یابند. بنابراین با در نظر گرفتن نتایج حاصل از آزمایش‌های عملی و خواص مورد انتظار فرش، می‌توان درصد الیاف با ظرافت ۱۵ den به‌کاررفته در نخ خاب فرش ماشینی را با توجه به هدف نهایی تولید، تعیین کرد. برای مثال، اگر حفظ زیبایی ظاهری و طول عمر زیاد مدنظر باشد، پیشنهاد می‌شود تا از نخ‌های با درصد بیشتر از الیاف با ظرافت ۱۵ den استفاده شود. اما اگر هدف، تولید فرش نرم‌تر باشد که در تماس با بدن احساس راحتی بیشتری ایجاد کند، می‌توان درصد الیاف با ظرافت ۱۵ den را تا حد ۱۵٪ کاهش داد.

جدول ۲- خلاصه پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر خواص الیاف بخش خاب بر خواص فشرده‌گی و بازگشت.

نتایج	هدف	پژوهشگران
<p>۱- فرش‌های از جنس نخ خاب آکرلیک، کمترین مقاومت را در برابر فشار ایستای اعمالی دارند.</p> <p>۲- از نقطه‌نظر تغییر ضخامت ماندگار در فرش در اثر اعمال فشار ایستا، فرش‌های پشمی بهترین عملکرد را دارند، ولی فرش‌های آکرلیکی بیشترین تغییر ضخامت ماندگار را نشان می‌دهند.</p> <p>۳- فرش‌های پشمی در مقایسه با سایر فرش‌ها، پس از حذف بار ایستای اعمالی، بازگشت بیشتری دارند و فرش‌های با جنس خاب آکرلیک، کمترین مقدار بازگشت را نشان دادند.</p> <p>۴- فرش‌های با جنس خاب پشم و پلی‌پروپیلن برای مکان‌هایی که اشیای سنگین، حجیم و غیرمتحرک روی آن‌ها قرار می‌گیرند، مناسب‌ترند.</p>	<p>مقایسه خواص فشرده‌گی و بازگشت فرش‌های متفاوت از نظر جنس نخ خاب (پشم، آکرلیک و پلی‌پروپیلن) تحت بار ایستا و پویا</p>	Koc و همکاران
<p>۱- مقایسه خواص مکانیکی پویای الیاف نایلون ۶ کشیده‌شده و نشده نشان داد، الیاف کشیده‌نشده دارای بازگشت کمتری هستند.</p> <p>۲- الیاف با درصد فرّوموج بیشتر، اتلاف انرژی کمتر و در نتیجه بازگشت بیشتری دارند.</p>	<p>بررسی اثر ساختار مولکولی الیاف و درصد فرّوموج الیاف بر خواص فشرده‌گی و بازگشت نخ خاب</p>	Grover و همکاران
<p>۱- کاهش ضخامت فرش‌های بافته‌شده از الیاف پشم دباغی‌شده، در مقایسه با فرش‌های بافته‌شده از الیاف پشم چیده‌شده بیشتر است، زیرا فرایند دباغی، انعطاف‌پذیری و به‌طور کلی کیفیت الیاف پشم را کاهش می‌دهد.</p>	<p>اثر چگونگی جداسازی الیاف پشم از بدن گوسفند بر خواص فشرده‌گی فرش دستباف ایرانی</p>	میرجلیلی و شرزه‌ای
<p>۱- انرژی‌های فشرده‌گی و بازگشت، بازگشت و قابلیت فشرده‌شدن نمونه فرش‌ها با افزایش درصد الیاف ۱۵ den تا ۱۵٪، روند افزایشی دارند. ولی با افزایش بیشتر الیاف با ظرافت ۱۵ den، این شاخص‌ها روند کاهشی می‌یابند.</p> <p>۲- با در نظر گرفتن خواص فرش مورد انتظار، می‌توان درصد الیاف با ظرافت ۱۵ den استفاده‌شده در نخ خاب فرش ماشینی را با توجه به هدف نهایی تولید، تعیین کرد. برای مثال، اگر حفظ زیبایی ظاهری و طول عمر زیاد مدنظر باشد، بهتر است از نخ با درصد بیشتر از الیاف ۱۵ den استفاده شود. اما اگر هدف تولید فرش نرم‌تر و با راحتی بیشتر باشد، می‌توان درصد الیاف با ظرافت ۱۵ den را تا حد ۱۵٪ کاهش داد.</p>	<p>بررسی اثر درصد مخلوط الیاف آکرلیک با ظرافت‌های مختلف (۷، ۱۰ و ۱۵ den) بر خواص فشرده‌گی و بازگشت فرش</p>	شیخی و همکاران
<p>۱- مقاومت فرش حاصل از نخ خاب تولیدی از الیاف با سطح مقطع مثلثی در برابر نیروهای فشاری، نسبت به فرش حاصل از نخ خاب تولیدی از الیاف با سطح مقطع توخالی کمتر است.</p>	<p>بررسی اثر شکل سطح مقطع الیاف بر خواص فشرده‌گی فرش</p>	اردوغان

اشتیاق و همکاران [۲۷-۲۵] در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵، اثر ساختار نخ خاب بر عملکرد فشرده‌گی فرش دستباف را بررسی کردند. آن‌ها از سه نوع الیاف پشم Malpura, Magra و Chokla استفاده کردند. این الیاف از نظر ظرافت و درصد مدولا با یکدیگر تفاوت دارند. الیاف Malpura دارای بیشترین قطر بوده و درصد مدولای زیادی را دارا هستند. الیاف Chokla نیز بیشترین ظرافت را

افزایش می‌یابد. همچنین، آن‌ها اثر چندلاسازی و تثبیت گرمایی نخ خاب را بر خواص کشسانی نخ بررسی کرده و دریافتند، عملیات چندلاسازی و تثبیت گرمایی نخ به کاهش مدول آن نسبت به نخ تک‌لا، منجر می‌شود. در نتیجه، فرش نرم‌تر می‌شود، در حالی که بازگشت آن کاهش نمی‌یابد و تغییری نمی‌کند. عملیات تثبیت گرمایی شاخص بسیار مهمی در بهبود بازگشت نخ چندلاست.

می‌دهد. بنابراین انتظار می‌رفت که قابلیت فشردگی کمتری را نشان دهد. ولی با توجه به اینکه فرش حاصل از آن دارای کمترین چگالی ساختاری در مقایسه با دو نوع فرش دیگر است، از این رو فرش تولیدی از نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی بیشترین قابلیت فشردگی را نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان گفت، اثر چگالی ساختاری فرش بر دو عامل دیگر، یعنی تراکم ساختاری نخ و نیز مقاومت خمشی نخ برتری دارد. اثر ساختار نخ بر ویژگی کشسانی فرش نیز توسط اشتیاق و همکاران بررسی شد. آن‌ها دریافتند، ساختار داخلی نخ، به‌ویژه تراکم شعاعی ساختاری نخ، اثر بسزایی بر رفتار بازگشت فرش دارد. باید توجه داشت که بازگشت نخ خراب زمانی رخ می‌دهد که انرژی خمشی ذخیره‌شده در نخ، بیشتر یا مساوی انرژی مقاوم در برابر بازگشت مانند اصطکاک نخ-نخ و اصطکاک لیف-لیف باشد. آن‌ها مشاهده کردند، فرش تولیدی از نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی بیشترین بازگشت را داراست. سرخوردن الیاف در نخ حاصل از ریسندگی پشمی به دلیل داشتن ساختار باز، طی فشردگی خیلی بیشتر از کرنش الیاف است. بنابراین، نخ طی فشردگی حداقل انرژی را ذخیره می‌کند. افزون بر این، با افزایش قطر نخ انرژی خمشی ذخیره‌شده کاهش می‌یابد. چون نخ حاصل از ریسندگی پشمی دارای بیشترین قطر است، بنابراین نسبت به دو نوع نخ دیگر، انرژی کمتری طی فشردگی در آن ذخیره می‌شود. همچنین، با توجه به اینکه نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی از تغذیه دو نیمچه‌نخ به مثلث ریسندگی تولید می‌شود، الیاف موجود در اضلاع کناری مثلث، کشش بیشتری را متحمل می‌شوند. اگر نخ با چنین الیاف و ساختاری دچار فشردگی شود، انرژی بیشتری در آن ذخیره می‌شود و در نتیجه بازگشت بیشتری نشان می‌دهد.

در سال ۲۰۱۴، جاویدپناه و همکاران [۲۸] اثر شرایط تثبیت نخ‌های رشته‌ای پلی‌استر تکسچره با جت هوا (air-jet textured, ATY) را بر رفتار فشارپذیری فرش تحت بار ایستا ارزیابی کردند. آن‌ها فرش‌هایی از نخ‌های پلی‌استر تکسچره با شرایط تثبیت متفاوت و نیز فرش‌هایی با استفاده از نخ پلی‌استر تکسچره معمولی تولید و ارزیابی کردند. برای تثبیت نخ‌ها، از سه روش فریز (frieze) نخ، تثبیت گرمایی نخ و تاب استفاده کردند. ایشان مشاهده کردند، درصد کاهش ضخامت فرش تولیدی از نخ فریز شده، بیش از فرش حاصل از نخ پلی‌استر تکسچره معمولی است. به عبارت دیگر، بازگشت فرش تولیدی از نخ فریز شده، کمتر از بازگشت فرش تهیه‌شده از نخ معمولی است. تحلیل آماری نشان داد، فرایند فریز نخ، اثر درخور

دارند. اشتیاق و همکاران برای مقایسه فرش‌های تولیدی با نخ‌های حاصل از فرایندهای ریسندگی متفاوت، نخ‌هایی را با فرایند ریسندگی پشمی و فاستونی تولید کردند. همچنین، آن‌ها نخ‌هایی را در فرایند ریسندگی فاستونی با تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی، تولید کردند. این پژوهشگران، نخ‌هایی با نمره و تاب یکسان را به‌گونه‌ای تولید کردند که در همه آن‌ها، نسبت مخلوط الیاف Malpura، Magra و Chokla به ترتیب ۱:۴:۵ باشد. پس از تولید این سه نوع نخ متفاوت از نظر ساختاری، سه نوع فرش دستباف با مشخصات یکسان تولید و خواص فشردگی فرش‌های حاصل بررسی شد.

اشتیاق و همکاران [۲۷-۲۵] طی آزمایش دریافتند، پس از چرخه‌های اولیه فشردگی، ارتفاع خاب فرش کاهش می‌یابد و پس از این فشردگی اولیه، سایش در فرش اتفاق می‌افتد. آن‌ها همچنین دریافتند، بیشترین فشردگی بازگشت‌ناپذیر فرش طی چرخه‌های اولیه فشردگی رخ می‌دهد. بر این اساس، فرایند ریسندگی و ساختار نخ خاب را بر کاهش ضخامت فرش طی اعمال بار پویا، بسیار اثرگذار دانستند. مقایسه فرش‌های حاصل از نخ‌های تولیدی به‌وسیله فرایندهای ریسندگی متفاوت نشان داد، طی اعمال بار پویا درصد کاهش ضخامت فرش تولیدی از نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی بیش از دو نوع نخ دیگر است. آن‌ها دلیل این رفتار را بیشتربودن تراکم ساختاری نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی دانستند و بیان داشتند، در یک فرش با تراکم معین، فاصله بین نخ‌های خاب مجاور با کاهش قطر نخ افزایش می‌یابد. بنابراین، تنش فشاری باعث جابه‌جایی جانبی نخ خاب، پس از فشردگی اولیه می‌شود، به طوری که نخ خاب تا زمانی که نخ‌های مجاور نیز در مقاومت در برابر نیروی فشاری اعمالی شرکت کنند، خم می‌شود. اما به دلیل بیشتربودن فضای میان نخ‌ها، جابه‌جایی جانبی بیشتر می‌شود، بنابراین نخ‌های مجاور در مقاومت در برابر نیروی فشاری اعمالی دیرتر مشارکت می‌کنند و در نتیجه باعث کاهش ضخامت فرش و کوبیده‌شدن آن می‌شوند.

از دیگر خواص فشردگی فرش بررسی‌شده توسط اشتیاق و همکاران، قابلیت فشارپذیری آن بود. آن‌ها مشاهده کردند، نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی بیشترین قابلیت فشردگی را در مقایسه با دو نوع نخ دیگر داراست. نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ماشین رینگ سامانه ریسندگی فاستونی بیشترین فشردگی ساختاری را در مقایسه با دو نوع نخ دیگر داراست و بیشترین مقاومت خمشی را نیز نشان

نتایج آزمایش فرش‌های تولیدی به وسیله نخ‌های تثبیت تاب‌شده با دماهای متفاوت نشان داد، درصد کاهش ضخامت فرش تهیه‌شده از نخ تثبیت تاب‌شده در دمای کمتر، بیش از نمونه فرش حاصل از نخ تثبیت تاب‌شده در دمای بیشتر است. بنابراین به‌طور کلی مشاهده کردند، عملیات تثبیت نخ خاب اثر درخور توجهی بر ویژگی بازگشت فرش تحت شرایط اعمال بار ایستا و پویا ندارد. خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر ساختار نخ خاب بر خواص فشردگی و بازگشت در جدول ۳ نشان داده شده است.

۷-۱-۳ اثر ساختار بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت

Laughlin و Cusick [۴۷] در سال ۱۹۶۸، طی ارزیابی عملکرد فرش با استفاده از آزمایش راه‌رونده چهارپا، اثر نسبت وزنی خاب بر عملکرد فشردگی فرش را بررسی کردند. آن‌ها در ابتدا مشاهده کردند، با افزایش تعداد دور سایش، درصد کاهش ارتفاع خاب افزایش می‌یابد. آن‌ها دریافتند، با افزایش نسبت وزنی خاب از شیب نمودار حاصل کاسته می‌شود. همچنین این پژوهشگران اثر نسبت وزنی خاب بر درصد کاهش ارتفاع آن را بررسی کردند و دریافتند، با افزایش میزان خاب، از درصد کاهش ارتفاع آن کاسته می‌شود.

همچنین Laughlin و Cusick [۴۸]، رفتار تنش-کرنش فرش را تحت بار فشاری ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده کردند، با افزایش

توجهی بر بازگشت فرش پس از ۲ min استراحت دارد. همچنین تجزیه و تحلیل آماری نشان داد، فرایند فریز نخ اثر شایان توجهی بر بازگشت فرش پس از مدت زمان استراحت طولانی ندارد. آن‌ها بیان داشتند، فرایند فریز نخ خاب فرش قابلیت بهبود خاصیت بازگشت‌پذیری فرش را ندارد. جاویدپناه و همکاران مشاهده کردند، درصد کاهش ضخامت فرش تهیه‌شده از نخ تثبیت‌شده گرمایی بیش از فرش حاصل از نخ پلی‌استر تکسچره با جت هوای معمولی است. بنابراین بدین نتیجه رسیدند که فرایند تثبیت گرمایی نیز نمی‌تواند خاصیت بازگشت فرش را بهبود بخشد. همچنین، فرایند تثبیت تاب در دمای بیشتر خاصیت بازگشت فرش را بهبود می‌بخشد.

همچنین، جاویدپناه و همکاران [۳۰] در سال ۲۰۱۵، اثر عملیات تثبیت نخ خاب بر خواص فشردگی فرش تحت بار پویا را نیز بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، عملیات فریز نخ اثری بر درصد کاهش ضخامت فرش ندارند و فرش حاصل از این نوع نخ با فرش حاصل از نخ پلی‌استر تکسچره با جت هوا تفاوتی از نظر درصد کاهش ضخامت پس از اعمال بار پویا نشان نمی‌دهد. بنابراین آن‌ها بدین نتیجه رسیدند، فرایند فریز نخ اثری بر درصد کاهش ضخامت فرش در شرایط اعمال بار پویا ندارد. همچنین آن‌ها مشاهده کردند، درصد کاهش ضخامت فرش حاصل از نخ پلی‌استر تکسچره با جت هوای تثبیت‌شده گرمایی بیش از درصد کاهش ضخامت فرش حاصل از نخ پلی‌استر تکسچره با جت هواست.

جدول ۳- خلاصه پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر ساختار نخ خاب بر خواص فشردگی و بازگشت.

پژوهشگران	هدف	نتایج
Grover و همکاران	بررسی اثر تاب نخ، تعداد لایه در نخ چندلا و عملیات تثبیت گرمایی بر خواص فشردگی و بازگشت نخ خاب	۱- با افزایش میزان تاب نخ، بازگشت نخ افزایش می‌یابد. ۲- عملیات چندلاسازی و تثبیت گرمایی نخ به کاهش مدول نسبت به نخ تک‌لا منجر شده و در نتیجه فرش، نرم‌تر می‌شود. در حالی که بازگشت آن کاهش نمی‌یابد و تغییری نمی‌کند. عملیات تثبیت گرمایی، شاخص بسیار مهم در بهبود بازگشت‌پذیری نخ چندلاست.
اشتیاق و همکاران	مقایسه فرش حاصل از نخ‌های خاب تولیدی با فرایندهای ریسندگی مختلف (ریسندگی پشمی و فاستونی و نیز ریسندگی فاستونی با تغذیه دو نیمچه‌نخ)	۱- درصد کاهش ضخامت فرش حاصل از نخ تولیدی از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ریسندگی فاستونی بیش از دو نوع نخ دیگر است. ۲- نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ریسندگی فاستونی بیشترین قابلیت فشردگی را داراست. ۳- فرش تولیدی از نخ حاصل از تغذیه دو نیمچه‌نخ به ریسندگی فاستونی بیشترین بازگشت را داراست.
جاویدپناه و همکاران	بررسی اثر عملیات تثبیت نخ خاب بر خواص فشردگی فرش تحت بار ایستا و پویا	۱- به‌طور کلی، عملیات تثبیت نخ خاب، اثر درخور توجهی بر ویژگی‌های بازگشت فرش در شرایط اعمال بار ایستا و پویا ندارد.

اثرگذارند. آن‌ها مطابق نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه و تحلیل واریانس مشاهده کردند، ارتفاع و تراکم خابِ فرش اثر معنی‌دار و درخور توجهی بر ضخامت فرش پس از اعمال نیروی ایستای کوتاه‌مدت دارند. آن‌ها مشاهده کردند، معمولاً فرش‌های با تراکم خاب کمتر، درصد کاهش ضخامت بیشتری نسبت به فرش‌های مترکم‌تر نشان می‌دهند. همچنین دیده شد، فرش‌های مترکم با ارتفاع خاب بیشتر، هنگام اعمال نیروهای کوتاه‌مدت و بلندمدت بازگشت ضخامت بهتری نشان می‌دهند. دلیل این رفتار شاید به‌خاطر کم‌تر بودن آزادی حرکت در فرش‌های با ساختار مترکم باشد. در نتیجه در این فرش‌ها، فشار وارد شده به‌سرعت پخش‌پذیر نیست. در حالی که کاهش تراکم خاب، خم شدن راحت‌تر نخ‌های خاب را در پی دارد. پس از برداشت فشار، نخ‌های خاب بیشتری یکدیگر را پشتیبانی می‌کنند که باعث افزایش بازگشت طی دوره بازیابی (استراحت) نمونه فرش‌های با تراکم بیشتر می‌شود. از سوی دیگر، نمونه فرش‌های با تراکم خاب کمتر، از نخ خاب کمتری برخوردارند تا یکدیگر را در هنگام اعمال نیروی درازمدت پشتیبانی کنند. در این پژوهش، Korkmaz و همکاران با استفاده از رفتار کاهش ضخامت فرش مشاهده کردند، ارتفاع و تراکم خاب به‌عنوان شاخص‌های ساختاری فرش آکرلیکی بر خواص ظاهری فرش اثرگذارند.

Dubinskaite و همکاران [۳۱] در سال ۲۰۰۸، اثر ارتفاع و تراکم خاب را بر خواص فشردگی فرش بررسی کردند. آن‌ها مشاهده کردند، طی مراحل اولیه تغییر شکل حاصل از فشردگی، تنها سطح نخ‌های خاب تغییر شکل یافته‌اند. به‌طوری که نخست، نخ‌های خاب به‌طور مجزا تغییر شکل یافته‌اند، سپس به‌دلیل افزایش تغییر شکل، سطح نخ‌های خاب فشرده شده و نیرو به بخش بستر فرش منتقل می‌شود. آن‌ها بیان داشتند، ۱۰٪ تا ۲۰٪ تغییر شکل حاصل از اعمال نیروی فشاری، تنها پس از ۱ min استراحت از بین می‌رود. سپس، فرایند از میان رفتن تغییر شکل کاهش می‌یابد. تحلیل تغییر شکل کلی انجام گرفته طی فشردگی نشان داد، تغییر شکل به تعداد چرخه‌های بارگذاری وابسته است. به‌عبارتی، زنجیره‌های درشت مولکولی ماتریس الیاف در همان چرخه نخست، آرایش الیاف را تغییر می‌دهند. تغییر شکل پلاستیک نیز در همان اولین چرخه رخ می‌دهد و نخ خاب، پس از حذف نیرو به‌طور کامل به حالت اولیه باز نمی‌گردد و ارتفاع خاب به‌طور شایان توجهی کاهش می‌یابد. آن‌ها مشاهده کردند، تغییر شکل کلی اغلب هنگامی که ارتفاع خاب کم باشد، مستقل از ارتفاع خاب بوده، ولی در ارتفاع خاب زیاد، تغییر شکل کلی به ارتفاع خاب وابسته است. آن‌ها مشاهده کردند، تغییر شکل

نسبت وزنی خاب، درصد کوبیدگی فرش کاهش یافته و قابلیت فشردگی آن نیز کاهش می‌یابد. آن‌ها میزان کار فشردگی فرش را تحت بارگذاری چرخه‌ای طی پنج چرخه بارگذاری فشاری بررسی کردند و دریافتند، با افزایش نسبت وزنی خاب، کار فشردگی فرش افزایش می‌یابد. این پژوهشگران قابلیت بازگشت فرش را نسبت کار بازگشت به کار فشردگی تعریف کردند و دریافتند با افزایش نسبت وزنی خاب، درصد بازگشت فرش افزایش می‌یابد. Laughlin و Cusick نتیجه گرفتند که به‌طور کلی، عملکرد فشردگی فرش به نسبت وزنی خاب وابسته است و عملکرد فرش با افزایش نسبت وزنی خاب بهبود می‌یابد.

Aroara [۴۹] و همکاران در سال ۱۹۸۹، اثر عوامل ساختاری را بر خواص فشردگی فرش‌های دستباف هندی بررسی کردند. آن‌ها نیز همانند Laughlin و همکاران مشاهده کردند، قابلیت بازگشت فرش به‌طور معکوس با ارتفاع خاب رابطه دارد و با افزایش تراکم خاب، قابلیت بازگشت فرش نیز افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین دریافتند، با افزایش ارتفاع خاب قابلیت فشردگی فرش افزایش یافته و با افزایش تراکم خاب، قابلیت فشردگی فرش حاصل کاهش می‌یابد.

Korkmaz و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۱۰، اثر ارتفاع و تراکم خاب را بر رفتار بازگشت فرش آکرلیکی تحت نیروهای ایستای درازمدت و کوتاه‌مدت ارزیابی کردند و پی بردند، عوامل ساختاری مثل ارتفاع و تراکم خاب، اثر درخور توجهی بر خواص ظاهری فرش دارند. نخ خابِ فرش، معمولاً در معرض تنش‌های برشی است که در اثر راه‌رفتن یا کشیدن جسمی روی فرش یا قرار گرفتن آن به‌مدت طولانی روی فرش به‌وجود می‌آید. این نیروها ممکن است در طول دوره زمانی کوتاه‌مدت یا در یک دوره زمانی درازمدت بر فرش اعمال شود. کوبیدگی نخ‌های خاب، کاهش شفافیت، سایه-انداختن، رنگ‌رفتگی و غیره از جمله عوامل اثرگذار بر طول عمر فرش است. Korkmaz و همکاران برای بررسی عوامل ساختاری فرش و نقش این عوامل بر خواص فشردگی و بازگشت فرش‌ها، پژوهشی را انجام دادند. آن‌ها نمونه فرش‌هایی را به‌وسیله دستگاه رویه به رویه Wilton تولید کردند. نخ‌های خاب را در وسط دو فرش برش دادند تا دو فرش مجزا به‌دست آید.

دو عامل ارتفاع و تراکم خاب برای بررسی ساختار فرش انتخاب و نمره نخ خاب برای نمونه‌ها Tex ۱۲۰۰ در نظر گرفته شد. Korkmaz و همکاران با تغییر دو شاخص ساختاری فرش یعنی ارتفاع و تراکم خاب، این موضوع را بررسی کردند که نیروهای ایستای کوتاه‌مدت و بلندمدت چگونه بر دوام فرش آکرلیکی

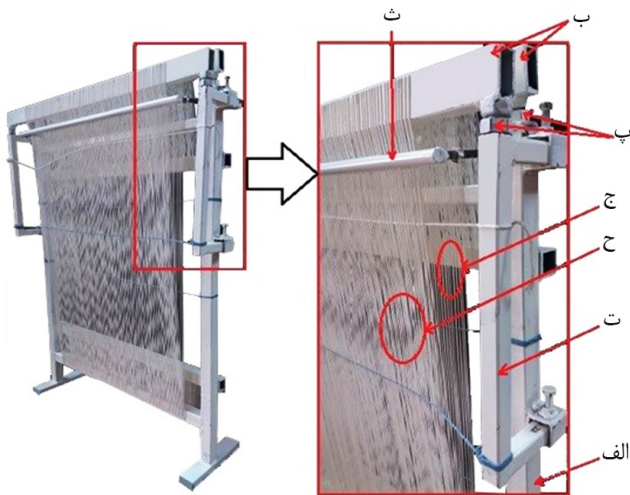
۱۶ نمونه فرش مختلف تولید کردند. نتایج آزمایش‌های حاصل از این نمونه فرش‌ها نشان داد، درصد فشارپذیری نمونه فرش‌های با گره ترکی نسبت به نمونه فرش‌های با گره فارسی کمتر است. این رفتار می‌تواند ناشی از متقارن بودن گره ترکی باشد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند، با افزایش تراکم خاب فرش‌های با هر دو نوع گره ترکی و فارسی، درصد فشارپذیری فرش مربوط کاهش می‌یابد. طباطبایی و همکار [۳۳،۳۴] در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵، اثر نوع گره بر شاخص طاقت فرش دستباف را نیز بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، نوع گره بر خواص طاقت فرش اثرگذار است. آن‌ها مشاهده کردند، فرش‌های دستباف تولیدی با گره فارسی، عملکرد فشردگی بهتری نسبت به فرش تهیه‌شده از گره ترکی نشان می‌دهد. فرش تهیه‌شده با گره ترکی، طاقت فشردگی بیشتری نسبت به فرش تهیه‌شده با گره فارسی دارد. البته این رفتار را در فرش‌های نو مشاهده کردند، ولی با افزایش تعداد ضربات واردشده بر فرش و

کلی به تراکم خاب وابسته است، به طوری که با افزایش تراکم خاب، مقاومت در برابر فشردگی افزایش می‌یابد. آن‌ها دلیل این رفتار را بیشتر شدن سطح تماس با سطح فشارنده دانستند. بنابراین به طور کلی بیان داشتند با افزایش تراکم خاب و کاهش ارتفاع خاب، تغییر شکل کلی فرش تحت فشردگی کاهش می‌یابد. نتایج آن‌ها نشان داد، با افزایش تراکم خاب، بازگشت فرش بیشتر می‌شود و تغییر شکل ماندگار در فرش کاهش پیدا می‌کند. همچنین، تغییر شکل بازگشت‌ناپذیر، اغلب زمانی که ارتفاع خاب زیاد باشد، مستقل از تراکم خاب بوده، ولی هنگامی که ارتفاع خاب کم باشد، به تراکم خاب وابسته است.

همه بر این باورند، فرش دستباف بیانگر تاریخچه طولانی هنرهای ایرانی است که بیشتر شاخصه‌های ساختاری آن از جمله نوع گره در عملکرد فرش مؤثر است. طباطبایی و همکاران به بررسی اثر دو نوع گره فارسی و ترکی بر فشردگی فرش دستباف پرداختند. آن‌ها

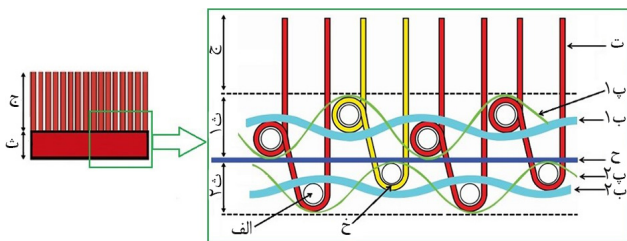
جدول ۴- خلاصه پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر ساختار بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت.

پژوهشگران	هدف	نتایج
Laughlin و همکاران	بررسی اثر نسبت وزنی بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت	۱- با افزایش نسبت وزنی خاب، درصد کویدگی فرش کاهش یافته و قابلیت فشردگی فرش نیز کاهش می‌یابد. ۲- با افزایش نسبت وزنی خاب، درصد بازگشت فرش افزایش می‌یابد. ۳- به طور کلی، عملکرد فشردگی فرش به نسبت وزنی خاب وابسته است و عملکرد فرش با افزایش نسبت وزنی خاب بهبود می‌یابد.
Arora و همکاران	بررسی اثر ارتفاع و تراکم نخ خاب بر خواص فشردگی و بازگشت	۱- قابلیت بازگشت فرش به طور معکوس با ارتفاع خاب رابطه دارد و با افزایش تراکم خاب، قابلیت بازگشت فرش نیز افزایش می‌یابد. ۲- با افزایش ارتفاع خاب، قابلیت فشردگی فرش افزایش یافته و با افزایش تراکم خاب، قابلیت فشردگی فرش حاصل کاهش می‌یابد.
Korkmaz و همکاران	بررسی اثر ارتفاع و تراکم خاب بر بازگشت فرش آکرلیک تحت نیروهای ایستا	۱- معمولاً فرش‌های با تراکم خاب کمتر، درصد کاهش ضخامت بیشتری نسبت به فرش‌های متراکم‌تر نشان می‌دهند. ۲- فرش‌های متراکم با ارتفاع خاب بیشتر، بازگشت ضخامت بهتری نشان می‌دهند.
Dubinskaite و همکاران	بررسی اثر ارتفاع و تراکم خاب بر خواص بازگشت فرش	۱- با افزایش تراکم خاب، بازگشت فرش بیشتر می‌شود و تغییر شکل ماندگار در فرش کاهش می‌یابد. ۲- به طور کلی با کاهش تراکم خاب و افزایش ارتفاع آن مقدار فشارپذیری فرش افزایش می‌یابد.
طباطبایی و همکاران	بررسی اثر دو نوع گره فارسی و ترکی بر فشردگی فرش دستباف	۱- درصد فشارپذیری نمونه فرش‌های با گره ترکی کمتر از درصد فشارپذیری نمونه فرش‌های با گره فارسی است. ۲- فرش تهیه‌شده با گره ترکی، چقرمگی فشردگی بیشتری نسبت به فرش تهیه‌شده با گره فارسی دارد.



شکل ۱۵- دستگاه استفاده شده برای تولید فرش بستر دویل: (الف) میله عمودی تشکیل دهنده پایه و اساس دستگاه، (ب) میله‌های افقی بالایی استفاده شده برای تنظیم کشش نخ‌های تار چله جلو و عقب، (پ) پیچ‌های تنظیم، (ت) میله بازویی نگه‌دارنده چله جلو، (ث) میله تنظیم‌کننده فاصله بین ۲ چله، (ج) بستر عقب و (چ) بستر جلو [۳].

در نخستین پژوهش انجام شده درباره فرش بستر دویل، دستگاه به کاررفته در تولید این نوع فرش، روش تولید و ساختار آن معرفی شده و رفتار فشردگی و بازگشت فرش‌های بستر دویل و دستباف متداول تحت بار ایستا ارزیابی و مقایسه شده است. بدین منظور، ۷ نمونه فرش شامل یک نمونه فرش دستباف متداول به عنوان مبنای مقایسه و ۶ نمونه فرش بستر دویل مختلف تولید شد. تراکم گره در تمام نمونه‌های فرش تولیدی یکسان در نظر گرفته شد. تفاوت اصلی نمونه فرش دستباف متداول و نمونه فرش‌های بستر دویل تولیدی، ایجاد فاصله میان چله‌های عقب و جلو در فرش‌های بستر دویل و به کارگیری انواع مختلف پرکننده در این فضای خالی است. از



شکل ۱۶- ساختار فرش بستر دویل: (الف) نخ تار، (ب) و (پ) نخ پود ضخیم در بخش بستر جلو و عقب، (پ) و (ب) نخ پود نازک در بخش بستر جلو و عقب، (ت) نخ خاب، (ث) و (ا) و بخش بستر جلو، (ث) بخش بستر عقب، (ج) بخش خاب، (چ) گره فارسی و (ح) پرکننده [۳].

در نتیجه کهنه‌تر شدن آن، تفاوتی از این نظر بین فرش حاصل از این دو نوع گره مشاهده نکردند.

خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین انجام گرفته درباره اثر ساختار بخش خاب بر خواص فشردگی و بازگشت در جدول ۴ نشان داده شده است.

۲-۱ اثر بخش بستر بر خواص فشردگی و بازگشت

تا سال ۲۰۱۹، درباره اثر بخش بستر فرش بر خواص فشردگی آن کار درخور ملاحظه و مکتوبی یافت نشد. تنها Barach [۵۰] در سال ۱۹۴۹، در بخشی از مقاله خود، به اهمیت بستر فرش اذعان کرد. Feather [۵۱] نیز در سال ۱۹۶۷ استفاده از زیرانداز در زیر فرش را مورد توجه قرار داد.

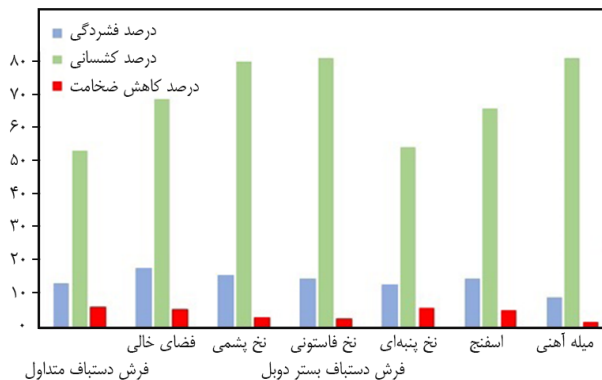
Barach [۵۰]، ضریب سفتی بخش بستر نسبت به بخش خاب فرش (ضریب K) را در نیروهای فشاری مختلف، به دست آورد. وی مشاهده کرد، در نیروهای کم، جایی که تغییر شکل بخش خاب فرش شروع می‌شود، مشارکت بخش بستر فرش در برابر نیروی فشاری، شایان توجه نیست. به طوری که با بارگذاری، این ضریب به سرعت افزایش می‌یابد به طوری که بخش بستر، ۹ مرتبه سفت‌تر از بخش خاب می‌شود. اما پس از لهیدگی بخش خاب، این ضریب تا مقدار ثابت ۲/۳ کاهش می‌یابد. این نتیجه، کاملاً برای نویسنده تعجب برانگیز بود، چرا که تصور می‌شد، بخش بستر اثر بسیار کمی بر عملکرد کشسان فرش دارد. در حالی که این آزمایش نشان داد، بخش بستر تنها دو برابر بخش خاب، سفت‌تر است. Barach پیشنهاد داد، تغییر خواص فرش، بدون هیچ‌گونه تغییری در بخش خاب فرش می‌تواند امکان‌پذیر باشد. به طور کلی، وی به اهمیت نقش بستر فرش بر عملکرد کشسان فرش، اذعان کرد، ولی کسی به این موضوع بسیار مهم اهمیتی نداد و بعدها بررسی دقیق و جامعی در این زمینه انجام نشد.

در مقایسه با پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه اثر بخش خاب، به اثر بخش بستر بر رفتار فرش توجه خاصی نشده بود. تا اینکه اخیراً با معرفی نوعی فرش دستباف جدید به نام فرش بستر دویل، اثر بخش بستر بر خواص فشردگی و بازگشت و راحتی زیرپای فرش، اهمیت یافت [۳، ۴۱، ۵۲]. فرش بستر دویل از نظر بخش بستر با فرش دستباف متداول تفاوت دارد. به طوری که فرش جدید شامل دو بستر بوده که فاصله بین آن‌ها قابل تنظیم است و می‌توان انواع پرکننده را در فاصله ایجاد شده در بخش بستر به کار برد. دستگاه استفاده شده برای تولید فرش بستر دویل و ساختار این فرش به ترتیب در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است.

بستر فرش بستر دوبل یا با استفاده از موادی با حجم مخصوص زیاد در فضای خالی ایجادشده در بخش بستر این فرش به عنوان پرکننده، می توان میزان فشارپذیری فرش را افزایش داد.

در ادامه نتایج نشان داد، بیشترین درصد کشسانی در نمونه های بستر دوبلی مشاهده شد که در فاصله ایجادشده بین دو بستر آن از نخ فاستونی، میله فلزی یا نخ پشمی استفاده شده است. این در حالی است که کمترین کشسانی، در فرش دستباف متداول و نیز در فرش بستر دوبلی مشاهده شد که در فاصله ایجادشده بین دو بستر آن از نخ پنبه ای به عنوان پرکننده استفاده شده است. به طور کلی به نظر می رسد، زیادبودن تراکم ساختاری بخش بستر در نمونه بستر دوبلی که از میله فلزی به عنوان پرکننده صلب و بی حرکت در بخش بستر آن استفاده شده، موجب افزایش کشسانی این نوع فرش شده است. همچنین می توان گفت، استفاده از نخ های فاستونی و پشمی به عنوان پرکننده پویا و محرک در بخش بستر فرش های بستر دوبل، موجب بهبود درصد کشسانی فرش نسبت به فرش دستباف متداول می شود. بدیهی است، خواص خاص الیاف پشم باعث چنین رفتاری شده است. بنابراین، با معرفی فرش بستر دوبل می توان گفت که بخش بستر فرش، اثر درخور توجهی بر میزان کشسانی فرش دارد. به طور کلی می توان اظهار کرد، با استفاده از موادی با خواص کشسانی زیاد در فاصله ایجادشده در بخش بستر فرش بستر دوبل به عنوان پرکننده، می توان کشسانی فرش را نیز بهبود داد.

نتایج مربوط به درصد کاهش ضخامت نشان داد در نمونه های بستر دوبلی که از میله آهنی، نخ فاستونی یا نخ پشمی در بخش بستر آن به عنوان پرکننده استفاده شده، درصد کاهش ضخامت در اثر بار ایستا از سایر نمونه های تولیدی کمتر است. از آنجا که درصد فشردگی نمونه فرش بستر دوبل حاوی میله آهنی در بخش بستر آن به عنوان پرکننده در اثر اعمال بار ایستا بسیار کمتر از سایر نمونه های تولیدی بوده و نیز مقدار فشردگی ساختاری بخش بستر آن بیش از سایر نمونه هاست، بنابراین کم بودن مقدار درصد کاهش ضخامت کلی آن در اثر اعمال بار ایستا، قابل انتظار است. برای نمونه های بستر دوبل با پرکننده از نوع نخ های پشمی و فاستونی نیز می توان گفت، خواص کشسانی مناسب الیاف پشم تشکیل دهنده این نخ ها موجب بهبود خواص بازگشت و کشسانی فرش و در نتیجه کمتر شدن درصد کاهش ضخامت کلی فرش شده اند. به طور کلی با معرفی فرش های بستر دوبل نشان داده شد، بخش بستر اثر درخور توجهی بر بهبود درصد کاهش ضخامت فرش دارد. درحقیقت، با استفاده از موادی با خواص کشسانی و



شکل ۱۷- خواص فشردگی و بازگشت فرش دستباف متداول و انواع فرش بستر دوبل با پرکننده متفاوت [۳].

نخ های پشمی، فاستونی و پنبه ای و نیز اسفنج به دلیل خواص ذاتی مواد تشکیل دهنده هر یک از آن ها، به عنوان پرکننده در فرش بستر دوبل استفاده شده است. همچنین، از فضای خالی و میله آهنی برای دستیابی به کمترین و بیشترین فشردگی در ناحیه بستر فرش بستر دوبل، استفاده شده است. در شکل ۱۷، نتایج مربوط به خواص فشردگی و بازگشت فرش دستباف متداول و انواع فرش بستر دوبل با پرکننده متفاوت نشان داده شده است.

همان طور که در شکل مشاهده می شود، بیشترین درصد فشردگی مربوط به نمونه های بستر دوبلی است که در بخش بستر آن ها، فضای خالی وجود دارد یا از نخ پشمی به عنوان پرکننده در فضای خالی استفاده شده است. در مقابل، کمترین درصد فشردگی در نمونه بستر دوبلی مشاهده شد که در بخش بستر آن از میله فلزی به عنوان پرکننده استفاده شده است. دلیل این رفتار را می توان به حجم مخصوص بخش بستر فرش مربوط دانست. به طور کلی می توان نتیجه گرفت، افزایش حجم مخصوص بخش بستر فرش بستر دوبل از طریق ایجاد فضای خالی در بخش بستر یا به کار بردن نخ پشمی با حجم مخصوص زیاد به عنوان پرکننده در بخش بستر، موجب کاهش مقاومت فرش در برابر نیروی ایستای اعمالی می شود. در نتیجه، درصد فشردگی فرش افزایش می یابد. از سوی دیگر، با کاهش حجم مخصوص بخش بستر از طریق استفاده از میله آهنی یا نخ پنبه ای به عنوان پرکننده در بخش بستر فرش بستر دوبل یا تولید فرش دستباف متداول که به طور ذاتی دارای حجم مخصوص بستر کمی است، مقاومت فرش در برابر نیروی ایستای اعمالی افزایش یافته و در نتیجه، درصد فشردگی فرش کاهش می یابد. بنابراین، با معرفی فرش بستر دوبل می توان گفت، بخش بستر فرش، اثر درخور توجهی بر درصد فشردگی در اثر اعمال بار ایستا دارد. به طور کلی می توان گفت، با استفاده از ایجاد فضای خالی در بخش

فشرده‌شدن کاهش می‌یابد. درحقیقت، وجود فضای خالی میان دو بستر، تغییرشکل (فشرده‌شدن) اولیه فرش را در نیروی معینی افزایش می‌دهد. درنتیجه، فرش به انرژی کمتری برای فشرده‌شدن نیاز دارد. همچنین، مقایسه شیب اولیه نمودار فشردگی فرش‌های بستر دوبل نشان داد، با افزایش فاصله میان دو بستر از ۱ mm به ۴ mm، شیب اولیه نمودار فشردگی کاهش می‌یابد. درحقیقت، با افزایش این فاصله، میزان مشارکت نخ‌های خاب در مقاومت به بار فشاری اعمالی، کاهش مضاعف دارد و درنتیجه، مقدار فشردگی اولیه فرش، افزایش می‌یابد.

مساحت زیر نمودار فشردگی نشانگر انرژی کشسان فشردگی بوده و درحقیقت، میزان کار انجام‌شده بر فرش در اثر اعمال بار فشاری است. فرشی که مقدار بیشتری انرژی جذب کند، قابلیت فشارپذیری بیشتری دارد. نتایج نشان داد، مساحت زیر نمودار فشردگی فرش‌های بستر دوبل، بیش از مساحت زیر نمودار فرش دستباف متداول تولیدی است. به‌عبارت دیگر، ایجاد فاصله خالی میان دو بستر در فرش‌های بستر دوبل، موجب افزایش انرژی کشسان ذخیره‌شده به‌وسیله فرش شده و درنتیجه باعث افزایش قابلیت فشارپذیری می‌شود. همچنین، با افزایش فاصله بین دو بستر از ۱ mm به ۴ mm، مساحت زیر نمودار فشردگی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان بیان کرد، انرژی کشسانی جذب‌شده به‌وسیله فرش و نیز قابلیت فشارپذیری فرش دستباف جدید، با افزایش فاصله میان دو بستر از ۱ mm به ۴ mm بهبود می‌یابد. خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر بخش بستر بر خواص فشردگی و بازگشت در جدول ۵ نشان داده شده است.

بازگشت زیاد به‌عنوان پرکننده در بخش بستر فرش‌های بستر دوبل می‌توان درصد کاهش ضخامت فرش در اثر اعمال بار ایستا را کاهش داد.

در پژوهش دیگری، اثر اندازه فاصله میان دو بستر در فرش‌های بستر دوبل با پرکننده از نوع فضای خالی بر شاخص‌های فشردگی استخراجی از نمودار فشردگی به‌دست‌آمده از دستگاه استحکام‌سنج منسوجات، از جمله شیب اولیه و مساحت زیر نمودار فشردگی ارزیابی و با فرش دستباف متداول مقایسه شده است. بدین منظور، ۴ نمونه فرش بستر دوبل (که در بخش بستر آن فضای خالی تعبیه شده است) با فاصله بین دو چله متفاوت (۱، ۲، ۳ و ۴ mm) و نیز فرش دستباف متداول، با شرایط یکسان تولید شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد، با ایجاد فضای خالی در بستر فرش، مقدار شیب اولیه نمودار فشردگی کاهش می‌یابد. در شروع فرایند بارگذاری فرش‌های بستر دوبل، فضای خالی ایجادشده میان دو بستر به مقاومت کمتر بخش بستر جلو در برابر بار فشاری اعمالی منجر می‌شود.

بدین معنی که به‌دلیل وجود این فضای خالی، بخش بستر جلو و نیز نخ‌های خاب متصل به آن مشارکت کمتری در مقاومت به بار فشاری اعمالی دارند. اما در فرش دستباف متداول، بخش بستر فرش ساختار فشرده و سفت داشته و تمام نخ‌های خاب موجود در فرش، رفتار تقریباً مشابهی در برابر بار فشاری اعمالی دارند و مقاومت تقریباً یکسانی نشان می‌دهند. در مجموع، در فرش بستر دوبل در مقایسه با فرش دستباف متداول، به‌دلیل کم‌تر بودن سفتی ساختاری بخش بستر فرش جدید، مقاومت اولیه فرش در برابر

جدول ۵- خلاصه پژوهش‌های پیشین انجام‌شده درباره اثر بخش بستر بر خواص فشردگی و بازگشت.

پژوهشگران	هدف	نتایج
Barach	بررسی نسبت ضریب‌های سفتی بخش بستر به بخش خاب	۱- تغییر خواص فرش، بدون هیچ‌گونه تغییری در بخش خاب فرش امکان‌پذیر است.
صادقی و همکاران	بررسی اثر بخش بستر بر خواص فشردگی و بازگشت	۱- معرفی فرش بستر دوبل. ۲- با استفاده از ایجاد فضای خالی در بخش بستر فرش بستر دوبل یا با استفاده از موادی با حجم مخصوص زیاد در فضای خالی ایجادشده در بخش بستر فرش بستر دوبل به‌عنوان پرکننده، می‌توان میزان فشارپذیری فرش را افزایش داد. ۳- با استفاده از موادی با خواص کشسانی زیاد، در فاصله ایجادشده در بخش بستر فرش بستر دوبل به‌عنوان پرکننده، می‌توان کشسانی فرش را نیز بهبود داد. ۴- ایجاد فاصله خالی بین دو بستر در فرش‌های بستر دوبل، موجب افزایش انرژی کشسان ذخیره‌شده به‌وسیله فرش شده و درنتیجه به افزایش قابلیت فشارپذیری فرش منجر می‌شود.

۸ ارتباط خواص فشردگی با راحتی زیر پا

جدول ۶- ضریب همبستگی بین نتایج راحتی زیرپای فرش و خواص فشردگی آن [۴۱].

راحتی زیرپای فرش		خواص فشردگی فرش
Sig(2-tailed)	ضریب پیرسون	
۰/۰۰۰	۰/۹۹۸**	ضریب فشارپذیری
۰/۰۳۰	-۰/۹۱۵*	شیب اولیه نمودار فشردگی
۰/۰۹۷	-۰/۸۱۰	شیب انتهایی نمودار فشردگی
۰/۰۰۲	۰/۹۸۷**	مساحت زیر نمودار فشردگی

* $p < ۰/۰۵$ و ** $p < ۰/۰۱$

سطح سفت افزایش یافته و با ایستادن روی سطح کفپوش، کاهش می‌یابد. آن‌ها طی ۴ h آزمایش خود دریافتند، نوع کفپوش تأثیر درخور توجهی بر تغییر دمای پوست دارد [۳۶].

صادقی و همکاران [۴۱] راحتی فرش‌های بستر دابل با پرکننده از نوع فضای خالی و با اندازه فاصله بین دو بستر مختلف (۱، ۲، ۳ و ۴ mm) و نیز فرش متداول را با استفاده از شیوه‌های ارائه‌شده در بخش ۵ ارزیابی کردند. همچنین، رابطه بین نتایج حاصل از ارزیابی حسی راحتی زیرپای نمونه‌ها و نتایج حاصل از ارزیابی عینی خواص فشردگی حاصل از نمودار به‌دست‌آمده از استحکام‌سنج Shirley را ارزیابی کردند.

همبستگی میان نتایج ارزیابی حسی راحتی زیرپای فرش و خواص فشردگی آن در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد، بین راحتی زیرپای فرش با فشردگی، ضریب فشارپذیری و مساحت زیر نمودار فشردگی، ضریب همبستگی زیادی وجود دارد. همان‌طور که در قسمت‌های پیشین نیز اشاره شد، این سه شاخص یعنی، مقدار فشردگی، ضریب فشارپذیری و نیز مساحت زیر نمودار فشردگی، نشانگر قابلیت فشارپذیری فرش هستند. بنابراین، می‌توان گفت، با افزایش این سه شاخص یعنی مقدار فشردگی، ضریب فشارپذیری و مساحت زیر نمودار فشردگی، قابلیت فشارپذیری فرش افزایش و مقاومت فرش در برابر بار فشار اعمالی از طرف پا کاهش می‌یابد. در نتیجه، احساس راحتی زیرپای فرش، بهبود پیدا می‌کند.

همچنین، نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد، ضریب همبستگی بین راحتی زیرپای فرش و شیب اولیه نمودار فشردگی، منفی است. این بدین معنی است که با کاهش شیب اولیه نمودار فشردگی، راحتی زیرپای فرش افزایش می‌یابد. مطابق آزمایش فشردگی انجام‌گرفته، ناحیه اولیه نمودار فشردگی نشانگر زمان تماس کف پا با فرش است. طبیعتاً، رفتار فشردگی فرش در این ناحیه، رفتار فشردگی

معمولاً درجه‌بندی حسی و معیارهای عینی شامل متغیرهای زیست‌مکانیکی و فیزیولوژیکی برای درک رابطه کفپوش و ناراحتی استفاده می‌شود. به‌طور کلی، ایستادن روی کفپوش در مقایسه با ایستادن بر سطح سفت، ناراحتی و خستگی را کاهش می‌دهد. این رفتار ابتدا در اندام تحتانی مشاهده و سپس در ناحیه تحتانی کمر نیز مشاهده شده است [۵۷، ۵۳، ۳۹، ۵۷].

در سال ۲۰۱۰، Wiggermann [۵۷] گزارش کرد، مدت زمان ایستادن و نوع کفپوش به‌کاررفته بر تعداد انتقال وزن بین دو پا هنگام ایستادن اثرگذار است. همچنین، این شاخص عینی زیست‌مکانیکی با افزایش مدت زمان ایستادن افزایش می‌یابد. آن‌ها مشاهده کردند، تعداد انتقال وزن بین دو پا هنگام ایستادن روی سفت‌ترین کفپوش در مقایسه با ایستادن روی کفپوش‌های نرم‌تر، بیشتر است. Wiggermann بیان کرد، معیار تعداد انتقال وزن بین دو پا می‌تواند متغیر پاسخ مؤثری برای ارزیابی کفپوش‌ها باشد. زیرا، احتمالاً با سازوکارهای فیزیولوژیکی ناراحتی در ارتباط است. برای مثال به‌نظر می‌رسد، انتقال وزن بین دو پا، به‌طور موقت از فشار وارد بر پا می‌کاهد، جریان خون در رگ‌ها را افزایش داده و انباشت خون در سیاه‌رگ اندام تحتانی را کاهش می‌دهد.

اثر کفپوش بر تعداد دفعات تغییر مرکز فشار طی ایستادن توسط پژوهشگران ارزیابی شده است. به‌نظر می‌رسد، تعداد دفعات تغییر مرکز فشار روی یک پا، نشان از خستگی بیشتر است. در سال ۱۹۹۸، Madeleine [۳۶] گزارش کرد که این متغیر هنگام ایستادن روی سطح سفت در مقایسه با سطح نرم‌تر افزایش می‌یابد. Redfern و همکار [۵] در سال ۲۰۰۰ طی ۴ h آزمایش دریافتند، تعداد دفعات تغییر مرکز فشار، تنها در چهارمین ساعت آزمایش، بین کفپوش‌ها متفاوت است.

متغیر فیزیولوژیکی دیگری که در مطالعات پیرامون کفپوش‌ها در نظر گرفته می‌شود، کاهش جریان خون در اندام تحتانی به‌دلیل ایستادن طولانی‌مدت است. این پدیده با خستگی ساق پا در ارتباط است. کاهش جریان خون در اندام تحتانی به‌وسیله اندازه‌گیری تغییرات حجمی ساق پا، قابل ارزیابی است. Madeleine و همکار، محیط ساق را به‌عنوان معیاری از تورم ساق پا در نظر گرفتند. آن‌ها مشاهده کردند، زمانی که شخص روی سطح سفت می‌ایستد، محیط ساق پا بیشتر است. مشاهدات نشان می‌دهد، دمای پوست با دمای ماهیچه و در نتیجه خستگی آن در ارتباط است. Madeleine و همکار گزارش کردند، دمای پوست اندام تحتانی با ایستادن روی

فشردگی و بازگشت متفاوتی نسبت به فرش دستباف متداول نشان می‌دهد. نتایج مطالعات انجام‌شده درباره فرش دستباف بستر دوبل نشان می‌دهد، این فرش جدید، از قابلیت‌های بسیاری برخوردار است. پیشنهاد می‌شود تا مطالعاتی در زمینه استفاده از این ساختار جدید در تولید فرش ماشینی، انجام گیرد. نتایج مطالعات انجام‌گرفته نشان می‌دهد، از نظر تولیدکننده، مصرف‌کننده و حتی پژوهشگران، خواص زیبایی و دوام فرش از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. همچنین، حس راحتی زیر پای فرش شناخته‌شده نیست و کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. زیرپای حسی است که راحتی ایستادن و راه رفتن را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، راحتی فرش ترکیب پیچیده‌ای از پاسخ‌های روان‌شناختی و فیزیولوژیکی شخص و خواص فیزیکی مواد تشکیل‌دهنده فرش است. در این پژوهش، روش‌های ارزیابی راحتی زیرپای فرش جمع‌آوری و ارائه شده است. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد، خواص فشردگی فرش، اثر درخور توجهی بر ناراحتی و خستگی ناشی از ایستادن دارد. به‌طوری که با تغییر خواص فشردگی فرش، می‌توان ناراحتی و خستگی را کاهش و در نتیجه درد اندام تحتانی و کمر را کاهش داد و حتی از میان برد. بنابراین می‌توان گفت، خواص فشردگی فرش، یکی از مهم‌ترین خواص فرش است که افزون بر تعیین دوام و کارایی آن، نقش بسزایی در راحتی زیرپای فرش دارد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد، بین خواص فشردگی و متغیرهای حسی و عینی وابسته به خستگی و ناراحتی ناشی از ایستادن رابطه وجود دارد. با این حال، حس راحتی زیرپای فرش یکی از موضوعات مهمی است که توجه لازم به آن نشده است. پیشنهاد می‌شود، پژوهشگران اهمیت این ویژگی را برجسته کرده تا مصرف‌کننده و تولیدکننده نیز مورد توجه قرار دهند.

مراجع

- [1] S.M. Ishtiaque, K. Sen, and A. Kumar, "Influence of yarn structures; part A: on carpet compressional performance under static and dynamic conditions", *J. Text. Inst.*, vol. 106, no. 11, pp. 1190-1202, 2015.
- [2] S.M. Ishtiaque, K. Sen, and A. Kumar, "New approaches to engineer the yarn structure; part A: for better carpet performance", *J. Ind. Text.*, vol. 44, no. 4, pp. 605-624, 2013.
- [3] M. Javidpanah, S. Shaikhzadeh Najar, and M. Dayiary, "Study on thickness loss of cut-pile carpet produced with heat process-modified polyester pile yarn. Part

آن را در مرحله ضربه پاشنه را که اولین مرحله از مراحل چرخه راه رفتن است، در ذهن تداعی می‌کند. یادآور می‌شود، مرحله ضربه پاشنه شروع مراحل چرخه راه رفتن بوده و هنگامی است که پاشنه پای که در جلو قرار دارد، با فرش تماس حاصل کند. بنابراین می‌توان بیان کرد، با کاهش شیب اولیه نمودار فشردگی، مقدار فشردشدن فرش در نیروی معینی افزایش می‌یابد. این رفتار حاکی از کاهش مقاومت فرش در برابر بار فشاری اعمالی از طرف پا، در شروع چرخه راه رفتن است. در نتیجه، بهبود حس راحتی زیرپای فرش را به‌ویژه در شروع چرخه راه رفتن، در پی دارد.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد، رفتار فشردگی فرش، راحتی زیرپای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، می‌توان از شاخص‌های استخراجی از نمودار فشردگی همچون، مقدار فشردگی، ضریب فشارپذیری، مساحت زیر نمودار فشردگی و نیز شیب اولیه نمودار فشردگی، برای بررسی خواص فشردگی فرش و نیز حس راحتی زیرپای آن استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ساختار فرش دستباف، اهمیت خواص فشردگی و روش‌های ارزیابی آن‌ها و بازگشت مرور شد. با توجه به اینکه فرش دستباف از دو بخش بستر و خاب تشکیل شده است، اثر بخش خاب شامل مواد اولیه به‌کاررفته در نخ خاب، ساختارهای نخ خاب و بخش خاب (تراکم گره، ارتفاع خاب و نوع گره) بر خواص فشردگی و بازگشت فرش دستباف بررسی شد. اخیراً نوعی فرش دستباف جدید به نام فرش دستباف بستر دوبل با استفاده از تغییر در بستر فرش دستباف متداول، معرفی شده است که خواص

I: static loading", *J. Text. Inst.*, vol. 105, no. 12, pp. 1265-1271, 2014.

- [4] N. Celik and E. Koc, "Study on the thickness loss of wilton-type carpets under dynamic loading", *Fiber. Text. East. Eur.*, vol. 18, no. 1, pp. 54-59, 2010.
- [5] M. Javidpanah, S. Shaikhzadeh Najar, and M. Dayiary, "Study on thickness loss of cut-pile carpet produced with heat process modified polyester pile yarn. Part II: dynamic loading", *J. Text. Inst.*, vol. 106, no. 3, pp. 236-241, 2015.
- [6] K. Dubinskaite, L.V. Langenhove, and R. Milasius,

- “Influence of pile height and density on the end-use properties of carpets”, *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 16, no. 3, pp. 47-50, 2008.
- [7] H. Sheikhi, S. Najar, S.M. Etrati, and M. Dayiary, “Effect of the acrylic fibre blend ratio on carpet pile yarn compression behaviour”, *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 20, no. 93, pp. 77-81, 2012.
- [8] S.M. Tabatabaei and M. Ghane, “Effect of traffic exposure on toughness characteristics of hand-knotted carpets”, *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 23, no. 3, pp. 111, 2015.
- [9] S.M. Tabatabaei, “Modeling the performance properties on woolen hand-knotted carpets using response surface methodology”, *J. Fash. Technol. Text. Eng.*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [10] S.J. Hall, *Basic Biomechanics*, 8th Ed., McGraw-Hill, 2019.
- [11] P. Madeleine, M. Voigt, and L. Arendt-Nielsen, “Subjective, physiological and biomechanical responses to prolonged manual work performed standing on hard and soft surfaces”, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, vol. 77, pp. 1-9, 1998.
- [12] M.S. Redfern and R. Cham, “The influence of flooring on standing comfort and fatigue”, *AIHAJ-Am. Ind. Hyg. Assoc.*, vol. 61, no. 5, pp. 700-708, 2000.
- [13] N. Wiggemann, *The Effect of Flooring Surface Compliance on Plantar Pressures and Discomfort During Prolonged Standing*, Michigan, 2011.
- [14] S. Konz and M. Rys, “Standing on concrete vs. floor mats”, *Adv. Ind. Ergon. Saf.*, pp. 991-998, 1990.
- [15] R. Cham and M.S. Redfern, “Effect of flooring on standing comfort and fatigue”, *Hum. Fact.*, vol. 43, no. 3, pp. 381-391, 2001.
- [16] L. Hansen, J. Winke, and K. Jørgensen, “Significance of mat and shoe softness during prolonged work in upright position: based on measurements of low back muscle EMG, foot volume changes, discomfort and ground reactions”, *Appl. Ergon.*, vol. 29, pp. 217-224, 1998.
- [17] M. Sadeghi-Sadeghabad, A.A. Alamdar-Yazdi, M.R. Fazel, and H. Mashroteh, “Subjective evaluation of the rug feet feeling comfort”, *J. Text. Inst.*, vol. 111, no. 8, pp. 1089-1096, 2020.
- [18] Vaughan, B.L. Davis, and J.C. O'Connor, *Dynamics of human gait*, Cape Town, South Africa: Kiboho Publishers, vol. 2, 1999.
- [19] N. Celik and E. Koc, “An experimental study on thickness loss of wilton type carpets produced with different pile materials after prolonged heavy static loading. Part 2-energy absorption and hysteresis effect”, *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 15, no. 3, pp. 87-92, 2007.
- [20] E. Koc, N. Celik, and M. Tekin, “An experimental study on thickness loss of wilton-type carpets produced with different pile materials after prolonged heavy static loading. Part 1, characteristic parameters and carpet behaviour”, *Fibre. Text. East. Eur.*, vol. 4, no. 52, pp. 56-62, 2005.
- [21] G. Grover, S. Zhu, and I.C. Twilley, “Dynamic mechanical properties of carpet yarns and carpet performance”, *Text. Res. J.*, vol. 63, no. 5, pp. 257-266, 1993.
- [22] S.A. Mirjalili and M. Sharzehee, “An investigation on the effect of static and dynamic loading on the physical characteristics of handmade Persian carpets: part I - the effect of static loading”, *J. Text. Inst.*, vol. 96, no. 5, pp. 287-293, 2005.
- [23] S.A. Mirjalili and M. Sharzehee, “A study and investigation on the influence of static and dynamic loading on the properties of handmade persian carpet (I)”, *Fiber. Polym.*, vol. 6, no. 2, pp. 139-145, 2005.
- [24] S. Debnath and M. Madhusoothanan, “Compression properties of polyester needlepunched fabric”, *J. Eng. Fibre. Fabr.*, vol. 4, no. 4, pp. 14-19, 2009.
- [25] Ü.H. Erdoğan, “Effect of pile fiber cross section shape on compression properties of polypropylene carpets”, *J. Text. Inst.*, vol. 103, no. 12, pp. 1369-1375, 2012.
- [26] S.M. Ishtiaque, K. Sen, and A. Kumar, “Influence of yarn structures; part B-on performance and functional properties of carpets”, *J. Text. Inst.*, vol. 106, no. 11, pp. 1-13, 2015.
- [27] K.C. Laughlin and G.E. Cusick, “Carpet performance evaluation part I: the tetrapod walker test”, *Text. Res. J.*, vol. 37, no. 7, pp. 608-612, 1967.
- [28] K.C. Laughlin and G.E. Cusick, “Carpet performance evaluation part II: stress-strain behavior”, *Text. Res. J.*, vol. 38, no. 1, pp. 72-80, 1968.
- [29] P.C. Patni, R.K. Arora, R.S. Dhillon, and D.L. Bapna, “Effect of fiber and constructional parameters on the functional properties of Indian hand-knotted carpets”, *Indian J. Text. Res.*, vol. 14, no. 2, pp. 77-79, 1989.
- [30] Y. Korkmaz and S.D. Kocer, “Resilience behaviors of woven acrylic carpets under short- and long-term static loading”, *J. Text. Inst.*, vol. 101, no. 3, pp. 236-241, 2010.
- [31] J.L. Barach, “Dynamic studies of carpet resilience”, *Text. Res. J. Text. Res. J.*, vol. 19, no. 6, pp. 355-362, 1949.
- [32] D.G. Feather, “Compression of carpets and underlays”, *J. Text. Inst.*, vol. 58, no. 11, pp. 573-583, 1967.
- [33] M. Sadeghi-Sadeghabad, A.A. Alamdar-Yazdi, M.R. Fazel, and H. Mashroteh, “Highlighting the base zone effect on the compression and recovery properties of the rugs with innovating double-base Persian rug”, *J. Text. Inst.*, vol. 110, no. 10, pp. 1475-1483, 2019.
- [34] M. Sadeghi-Sadeghabad, A.A. Alamdar-Yazdi, M.R.

- Fazel, and H. Mashroteh, "A comparison of the compression-recovery behavior of conventional and double-base persian rugs: compression behavior", *Fiber. Polym.*, vol. 21, no. 6, pp. 1387-1394, 2020.
- [35] J. Brownie and B.J. Martin, "Muscle fatigue and discomfort associated with standing and walking: Comparison of work surfaces", in *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA*, Melbourne, 2015.
- [36] M.S. Redfern, "Influence of Flooring on Standing Fatigue", *Hum. Fact.*, vol. 37, no. 3, pp. 570-581, 1995.
- [37] M.A. Norton, J.R. Fiest, and T.A. Orofino, "A technical approach to characterizing perceived walking comfort of carpet", *Text. Res. J.*, vol. 65, no. 9, pp. 527-532, 1995.
- [38] I. Halim and A.R. Omar, "A review on health effects associated with prolonged standing in the industrial workplaces", *IJRRAS*, vol. 8, no. 1, pp. 14-21, 2011.
- [39] J. Aghazadeh, M. Ghaderi, M.-R. Azghani, H.-R. Khalkhali, T. Allahyari, and I. Mohebbi, "Anti-fatigue mats, low back pain, and electromyography: an interventional study", *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, vol. 28, no. 2, 2015.
- [40] N.E. Wiggermann and W.M. Keyserling, "Effect of flooring on discomfort and behavioral responses to prolonged standing", *Proc. Hum. Fact. Erg. Soc. An. Meet.*, vol. 54, no. 11, pp. 783-787, 2010.
- [41] M. Sadeghi-Sadeghabad, A. Alamdar-Yazdi, M.R. Fazel, and H. Mashroteh, "Subjective evaluation of the rug feet feeling comfort", *J. Text. Inst.*, vol. 111, no. 8, pp. 1089-1096, 2020.
- [42] C.L. Vaughan, B.L. Davis, and J.C. O'connor, *Dynamics of Human Gait*, Cape Town, South Africa: Kiboho Publishers, vol. 2, 1999.
- [43] G. Grover, S. Zhu, and I.C. Twilley, "Dynamic mechanical properties of carpet yarns and carpet performance", *Text. Res. J.*, vol. 63, no. 5, pp. 257-266, 1993.
- [44] S.A. Mirjalili and M. Sharzehee, "An investigation on the effect of static and dynamic loading on the physical characteristics of handmade Persian carpets: part I - the effect of static loading", *J. Text. Inst.*, vol. 96, no. 5 pp. 287-293, 2005.
- [45] S.A. Mirjalili and M. Sharzehee, "A study and investigation on the influence of static and dynamic loading on the properties of handmade persian carpet (I)", *Fiber. Polym.*, vol. 6, no. 2, pp. 139-145, 2005.
- [46] S. Debnath and M. Madhusoothanan, "Compression properties of polyester needlepunched fabric", *J. Eng. Fibre. Fabr.*, vol. 4, no. 4, pp. 14-19, 2009.
- [47] K.C. Laughlin and G.E. Cusick, "Carpet performance evaluation part I: the tetrapod walker test", *Text. Res. J.*, vol. 37, no. 7, pp. 608-612, 1967.
- [48] K.C. Laughlin and G.E. Cusick, "Carpet performance evaluation part II: stress-strain behavior", *Text. Res. J.*, vol. 38, no. 1, pp. 72-80, 1968.
- [49] R.K. Arora, D.L. Bapna, P.C. Patni, and H.S. Batra, "Effect of fiber and constructional parameters on the functional properties of Indian hand-knotted carpets", *Indian J. Text. Res.*, vol. 14, no. 2, pp. 77-79, 1989.
- [50] J.L. Barach, "Dynamic studies of carpet resilience", *Text. Res. J.*, vol. 19, no. 6, pp. 355-362, 1949.
- [51] D.G. Feather, "Compression of carpets and underlays", *J. Text. Inst.*, vol. 58, no. 11, pp. 573-58, 1967.
- [52] M. Sadeghi-Sadeghabad, A. Alamdar-Yazdi, M.R. Fazel, and H. Mashroteh, "A comparison of the compression-recovery behavior of conventional and double-base persian rugs: compression behavior", *Fiber. Polym.*, vol. 21, no. 6, pp. 1387-1394, 2020.
- [53] M.S. Redfern, "Influence of flooring on standing fatigue", *Hum. Factors*, vol. 37, no. 3, pp. 570-581, 1995.
- [54] M.A. Norton, J.R. Fiest, and T.A. Orofino, "A technical approach to characterizing perceived walking comfort of carpet", *Text. Res. J.*, vol. 65, no. 9, pp. 527-532, 1995.
- [55] I. Halim, A.R. Omar, A.M. Saman, and I. Othman, "A review on health effects associated with prolonged standing in the industrial workplaces", *IJRRAS*, vol. 8, no. 1, pp. 14-21, 2011.
- [56] J. Aghazadeh, M. Ghaderi, M.R. Azghani, H.R. Khalkhali, T. Allahyari, and I. Mohebbi, "Anti-fatigue mats, low back pain, and electromyography: an interventional study", *Int. J. Occup. Med. Env. Health*, vol. 28, no. 2, 2015.
- [57] N. Wiggermann and M. Keyserling, "Effect of flooring on discomfort and behavioral responses to prolonged standing", *Proc. Hum. Fac. Erg. Soc. Ann. Meet.*, vol. 54, no. 11, pp. 783-787, 2010.

