



تخمین طول عمر فرش‌های پشمی با رویکرد تغییرات ظاهر و رنگ

سید محمود طباطبایی هنزایی^{۱*}، محمد قانع^۲، حسین حسینی^۲، علی زینل همدانی^۳

۱- استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، صندوق پستی: ۸۹۱۶۷-۱۳۳۳۵

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

۳- استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، صندوق پستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۱ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰

چکیده

هدف اصلی این تحقیق ارائه رابطه‌ای برای تخمین طول عمر مفید فرش‌های پشمی با تمرکز بر تغییرات ظاهر و رنگ به روش آماری می‌باشد. چهار شاخص درصد افت ضخامت (TL)، میزان اختلاف رنگ نخ‌های پرز (ΔE)، تغییر مشخصات هندسی ساق پرزها (TS) و تغییر یکنواختی بافت سطحی نوک ساق پرزها (ET) از گروه خواص عملکردی مرتبط با دوام ظاهر و رنگ فرش‌ها مدنظر قرار گرفته شدند. ۱۸ نمونه فرش دستباف با گره متقارن (ترکی) با مشخصات ساختمانی متفاوت تولید شد. نمونه فرش‌ها با استفاده از دستگاه هگزایپاد تحت ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ دور چرخش، فرسایش داده شدند. مقادیر چهار گروه خواص فوق برای تمام نمونه‌ها در حالت فرش نو و پس از سه مرحله فرسایش به روش استاندارد و البته دو خواص TS و ET با استفاده از روش پردازش تصویر اندازه‌گیری شدند. در ابتدا با استفاده از آزمون چندمتغیره، متغیرهای مؤثر انتخاب شده و سپس با آنالیز واریانس چندمتغیره معنی‌داری مدل‌های حاصل ارزیابی شد. معادلات بهینه برای هر گروه خواص با استفاده از الگوی رگرسیون چندگانه چندمتغیره تعیین شد. مدل معکوس مربوط به عامل شدت فرسایش به‌عنوان رابطه مناسب برای تخمین طول عمر فرش‌ها، راستی‌آزمایی و معرفی شد.

واژه‌های کلیدی: فرش دستباف پشمی، طول عمر، دوام ظاهر و رنگ، پردازش تصویر، رگرسیون چندگانه چندمتغیره.

The Estimation of the Lifetime of Woolen Carpets Based on Changes in Appearance and Color

S. M. Tabatabaei Hanzaei^{1*}, M. Ghane², H. Hassani², A. Zeynal Hamadani³

¹ Art & Architecture Department, University of Science and Art, P.O.Box: 89167-13335, Yazd, Iran

² Textile Engineering Department, Isfahan University of Technology, P.O.Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

³ Industrial Engineering Department, Isfahan University of Technology, P.O.Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

Received: 11-04-2015

Accepted: 12-09-2015

Available online: 10-03-2016

Abstract

The main purpose of this study is to achieve a formula to estimate the lifetime of hand-knotted woolen carpets based on changes in the appearance and color of carpet using statistical techniques. Thickness loss of surface pile yarns (TL), color difference index of pile yarns (ΔE), tuft size index (TS) and evenness of texture index (ET) were considered as representative of the appearance characteristics. Eighteen hand-knotted woolen carpet samples (symmetric knot) with different structural specifications were produced. The carpet samples were subjected to 4000, 8000 and 12000 drum revolutions using a Hexapod tumbler tester and functional properties of samples were investigated in original and worn out carpet samples with standard methods and image processing technique. At first the effective variables selected by using multivariate test, and then multivariate analysis of variance was used for evaluating the significance of obtained models. Optimal separate equations of the functional properties on hand-knotted carpets were determined through multivariate multiple regression method. Reverse model of wear factor can be considered as a proper equation to predict the lifetime of carpets. *J. Color Sci. Tech.* 9(2016), 341-350. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Hand-knotted woolen carpet, Lifetime, Appearance and color durability, Image processing, Multivariate multiple regression.

۱- مقدمه

امروزه سیر تنوع و گستردگی تولید در بازار عرضه کفپوش‌ها دارای سرعت قابل ملاحظه‌ای است. لذا تولیدکنندگان جهت تداوم بازار فروش، بایستی خواسته یا انتظارات مشتریان را در تولید و در فروش آنها مد نظر قرار دهند. بدون شک، تضمین خواص عملکردی عمده فرش‌ها یک رویه مناسب جهت افزایش رضایت مشتریان در هنگام فروش می‌باشد. در چند دهه اخیر، نتایج مطالعات علمی حاکی از نقش بالای شاخص دوام یا میزان توانایی حفظ ظاهر سطحی اولیه فرش‌ها در تعیین طول عمر مفید آنها می‌باشد [۱، ۲]. خواص مهمی از جمله میزان افت ضخامت و درصد ارتجاعیت^۱ لایه پرزهای هر فرش متأثر از نحوه رفتار مکانیکی ساق پرزها تحت بارگذاری فشاری می‌باشند. پدیده‌هایی مانند تخت‌شدگی^۲ و خوابیدگی^۳ ساق‌های پرز سبب نزول خواص فشاری و در نتیجه تغییر ظاهر و کاهش طول عمر مفید فرش‌ها می‌شوند [۳، ۴].

برای تداوم استفاده و برآورده‌سازی انتظارات مصرف‌کننده، یک فرش بایستی حداقل کیفیت مشخصات ظاهر اولیه‌اش را حفظ کند. به طور کلی تغییرات ایجاد شده در ظاهر فرش در هنگام استفاده ترکیبی از اثرات چرک و لکه‌دارشدن، و همچنین تغییرات در رنگ، نمود طرح و نقوش، مشخصات هندسی ساق پرزها و شاخص نظم و آرایش بافت سطحی نوک ساق پرزها (Texture) می‌باشند. معمولاً میزان تغییرات رنگ و یا خواص انعکاسی لایه سطحی پرزها با تحلیل مؤلفه‌های رنگی و سایر شاخص‌های کمی حاصل از آزمون اسپکتروفتومتری^۴ نمونه‌ها و تغییرات مشخصات هندسی ساق پرزها و شاخص Texture فرش با استفاده از روش‌های آنالیز تصویر، بین نمونه فرش اولیه (فرش نو) و فرش فرسایش‌یافته بررسی و مطالعه می‌شوند [۵، ۶]. علاوه بر این جوانبی از این تغییرات به طور مخصوص تغییر خواص انعکاسی، ناشی از رفتار یا عملکرد مکانیکی لایه پرزهای فرش در معرض بارگذاری‌های فشاری، برشی و کششی در حین استفاده می‌باشند [۷، ۸، ۴].

اولین بار کیوسیگ و دابر^۵ شاخص دوام بلندمدت فرش را براساس نرخ کاهش ضخامت در لایه پرزها با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز قدم‌زدن؛ تتراپاد^۶ تعریف و مطالعه نمودند. در این تحقیق تعداد دور یا سیکل فرسایشی لازم برای حذف کامل ساق پرزهای نمونه فرش محاسبه شد [۹]. اینس و رایدر^۷ یک رابطه تجربی تحت عنوان فاکتور دوام برای فرش‌های پشمی ارائه نمودند که در آن شاخص چگالی پرز

(نسبت بین جرم پرزها در واحد سطح و ارتفاع پرز) نقش مؤثری در تخمین تعداد سیکل فرسایشی لازم برای حذف کامل ساق پرزهای نمونه فرش داشت [۱۰]. واضح است که تغییرات در مشخصات ظاهری فرش که سبب زشت و بدریخت شدن ظاهر بصری آن می‌شود بسیار مهم‌تر از تخمین دوام بلندمدت آن می‌باشد [۳، ۲]. در معدود مطالعات انجام شده در زمینه بررسی تأثیر برخی مشخصات ساختمانی فرش‌ها در میزان حفظ ظاهر آنها تحت شرایط مقایسه نتایج آزمون خواص مرتبط در نمونه فرش نو و فرسایش داده شده، اغلب جنس و خواص مواد اولیه مصرفی در تولید نخ پرز، تراکم و ارتفاع پرز را به‌عنوان عوامل ساختمانی عمده و مؤثر در دستیابی به طول عمر بالا معرفی نمودند [۶، ۴، ۱].

جهت دستیابی به اهداف این تحقیق، چهار گروه از خواص عملکردی فرش‌ها که بالاترین تأثیر را از نظر دوام ظاهر و رنگ در طول عمر مفید فرش‌های دستباف را دارند در نظر گرفته شده [۵] و در الگوهای آنالیز آماری به کار گرفته شدند. چهار گروه خواص عملکردی منتخب عبارتند از: درصد افت ضخامت (TL)، میزان اختلاف رنگ نخ‌های پرز (ΔE)، تغییر مشخصات هندسی ساق پرز (TS) و شاخص تغییرات یکنواختی بافت سطحی نوک ساق پرزها؛ (ET) Texture.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

اکثر خواص عملکردی فرش‌ها وابسته به مشخصات و عملکرد نخ‌های پرز می‌باشند، از این رو نخ پرز مهم‌ترین ماده اولیه تولید فرش‌ها محسوب می‌شود [۱۱، ۱۲]. در این تحقیق از الیاف پشم دو نژاد مختلف گوسفندان ایرانی (که از نظر ظرافت اختلاف داشتند)، جهت تولید نخ‌های پرز استفاده شد. مشخصات الیاف پشم مصرفی در جدول ۱ ارائه شده است. سپس تحت شرایط ریسندگی متناسب، سه نوع نخ با نمرات متریک به ترتیب ۴، ۶ و ۸ از آنها تهیه شد. نخ‌های پرز تولیدی پس از دولاتی، در کارگاه رنگرزی تحت شرایط یکسان با رنگزای طبیعی روناس رنگرزی شدند.

۲-۲- مشخصات نمونه فرش‌های تولیدی

برای دستیابی به اهداف این تحقیق، ۱۸ نمونه فرش دستباف با گره ترکی هرکدام بر روی دار فندکی کوچک^۸ و بدون طرح بافته شدند. تغییرات تراکم پرز (رج‌شمار) فرش‌ها در سه سطح مدنظر قرار داده و براساس این عامل، سایر مواد اولیه موردنیاز نمونه فرش‌ها (نخ تار و

- 1- Resilience
- 2- Flattening
- 3- Matting
- 4- Spectrophotometric test.
- 5- Cuasic & Dawber
- 6- Tetrapod
- 7- Ince & Ryder

۸- دار آزمایشگاهی با قابلیت چله‌کشی فارسی و ترکی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر مربع.

فشاری فرش‌های پرزدار [۴، ۸] ارتفاع پرز فرش‌های دستباف تولیدی در کارگاه پرداخت جهت دستیابی به سه ارتفاع پرز ۶، ۹ و ۱۲ میلی‌متر، به‌دقت روکارگیری شدند. مشخصات نهایی ۱۸ نمونه فرش دستباف تولیدی در جدول ۳ ارائه شده است.

نخ‌های پود نازک و ضخیم) بطور متناسب انتخاب شد [۱۳]. جزئیات مشخصات مواد اولیه مصرفی در تولید نمونه فرش‌های دستباف در جدول ۲ ارائه شده است. به‌واسطه تأثیر معنی‌دار عامل ارتفاع پرز در رفتار و عکس‌العمل

جدول ۱: مشخصات الیاف پشم مصرفی در تولید نخ‌های پرز.

نژاد لیف پشم	ظرافت (μm)		طول (mm)		تعدد در ۲٫۵ سانتی‌متر		درصد مدولایی الیاف*	
	میانگین	CV%	میانگین	CV%	میانگین	CV%	الیاف Hetro	الیاف Kemp
A	۲۹٫۴۳	۲۸٫۱۰	۹۸٫۹۰	۲۰٫۵۱	۴٫۴	۶٫۵۴	۹۲	۱
B	۳۵٫۲۸	۳۱٫۱۸	۱۰۳٫۴۳	۲۳٫۳۶	۴٫۸	۷٫۸۸	۸۸	۴

*الیاف پشمی که کانال مدولای مرکز آنها کمتر از ۵۰٪ قطر لیف باشد را الیاف Hetro و اگر بیش از دوسوم قطر لیف باشد را الیاف Kemp گویند.

جدول ۲: مشخصات مواد اولیه مصرفی نمونه فرش‌های دستباف تولیدی.

تراکم پرز (knot/dm^2)	نخ پرز		نخ تار		نخ پود نازک		نخ پود ضخیم	
	CV%	N _m *	CV%	N _e *	CV%	N _e *	CV%	N _e *
۳۹ × ۳۹	۲٫۲۳	۴٫۲	۱۵۲-۷۵	۳٫۱۲-۴٫۲۶	۳٫۸۷	۲۰٫۱۵	۳٫۷۲	۲۰٫۵
۵۴ × ۵۴	۳٫۵۶	۶٫۲	۱۶۷-۹۰	۳٫۱۷-۳٫۵۷	۲٫۵۷	۲۰٫۱۲	۲٫۷۳	۲۰٫۳
۶۹ × ۶۹	۲٫۱۸	۸٫۲	۱۸۴-۱۱۰	۲٫۱۴-۲٫۸۸	۳٫۱۱	۲۰٫۹	۲٫۱۸	۲۰٫۲

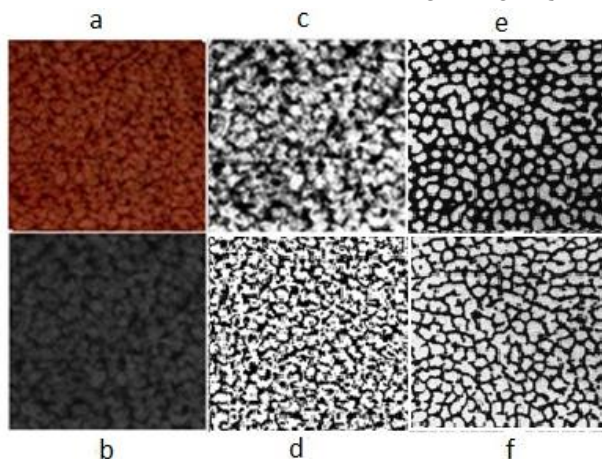
* نمره نخ چندلا

** تاب در متر نخ تکلا - چندلا.

جدول ۳: مشخصات نهایی ۱۸ نمونه فرش دستباف تولیدی.

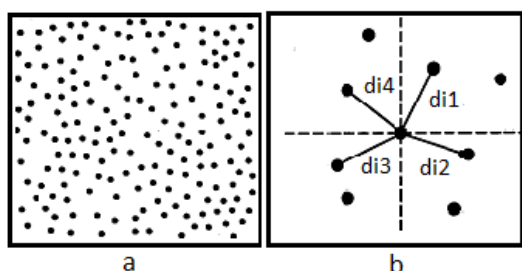
نژاد الیاف پشم مصرفی در نخ پرز: B:				نژاد الیاف پشم مصرفی در نخ پرز: A:			
شماره نمونه	تراکم	ارتفاع پرز (mm)	فرش	شماره نمونه	تراکم	ارتفاع پرز (mm)	فرش
۱	۳۹ × ۳۹	۶٫۱۰	۳٫۱۴	۱۰	۳۹ × ۳۹	۶٫۰۸	۲٫۹۶
۲	۳۹ × ۳۹	۹٫۰۸	۳٫۲۶	۱۱	۳۹ × ۳۹	۹٫۱۵	۳٫۱۲
۳	۳۹ × ۳۹	۱۲٫۱۳	۲٫۶۴	۱۲	۳۹ × ۳۹	۱۲٫۱۲	۲٫۵۵
۴	۵۴ × ۵۴	۶٫۰۶	۲٫۸۹	۱۳	۵۴ × ۵۴	۶٫۱۲	۳٫۷۸
۵	۵۴ × ۵۴	۹٫۱۱	۳٫۴۳	۱۴	۵۴ × ۵۴	۹٫۱۸	۳٫۴۵
۶	۵۴ × ۵۴	۱۲٫۱۶	۲٫۷۹	۱۵	۵۴ × ۵۴	۱۲٫۱۸	۳٫۰۵
۷	۶۹ × ۶۹	۶٫۰۵	۲٫۸۱	۱۶	۶۹ × ۶۹	۶٫۰۴	۲٫۳۸
۸	۶۹ × ۶۹	۹٫۱۲	۳٫۴۷	۱۷	۶۹ × ۶۹	۹٫۱۰	۲٫۸۴
۹	۶۹ × ۶۹	۱۲٫۲۱	۳٫۴۱	۱۸	۶۹ × ۶۹	۱۲٫۲۰	۳٫۱۹

پردازشی مناسب، تصویر سطح مقطع هر ساق پرز را به طور واضح تفکیک نموده و سپس مساحت نوک ساق هر پرز اندازه‌گیری شد. متوسط عددی مساحت نوک ساق پرزهای مشاهده‌شده در یک کادر 10×10 سانتی‌متر مربع برحسب پیکسل، به‌عنوان نمونه در نظر گرفته شد [۲۰، ۶]. برای اجرای کلیه مراحل پردازش تصویر و همچنین محاسبه شاخص TS، برنامه‌ای مناسب به کمک نرم‌افزار Matlab آماده و به کار گرفته شد. جهت محاسبه نمونه‌ای از مراحل فرآیند پردازش تصویر و فیلترهای به کار گرفته شده، در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: مراحل فرآیند پردازش تصویر و فیلترهای به کار گرفته شده؛ (a) تصویر اولیه، (b) فیلتر median، (c) فیلتر sharpening، (d) فیلتر opening، (e) تبدیل به تصویر باینری، و (f) فیلتر erosion.

(د) شاخص تغییر یکنواختی بافت سطحی نوک ساق پرزها (ET)؛ در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری کمی میزان اختلاف در Texture نمونه فرش در اثر فرسایش، مرکز ثقل سطح مقطع نوک هر ساق پرز تفکیک شده در مرحله قبل (شکل ۱-f) در یک کادر یا مساحت مشخص را انتخاب نموده و سپس نقشه استقرار مراکز ثقل مطابق شکل ۲-a استخراج شد.



شکل ۲: (a) نمونه نقشه توزیع استقرار مراکز ثقل نوک ساق پرزها، (b) محاسبه مشخصه یکنواختی توزیع و آرایش نوک ساق پرزها.

۲-۳- روش‌های آزمون و اندازه‌گیری هریک از خواص

در این تحقیق برای اجرای اندازه‌گیری هریک از خواص عملکردی، از رویه‌های آزمون استاندارد و یا روش‌های آزمون تجربی معتبر استفاده شد.

(الف) درصد افت ضخامت فرش (TL%): این آزمون مطابق با استاندارد ISO 3416؛ بارگذاری استاتیکی لایه پرزهای نمونه فرش انجام شد. درصد افت ضخامت فرش از رابطه ۱ قابل محاسبه می‌باشد [۸، ۱۴]:

$$\%TL = [(T_0 - T_{24}) / T_0] \times 100 \quad (1)$$

که در آن T_0 ضخامت اولیه (ضخامت فرش پیش از بارگذاری) و T_{24} ضخامت فرش پس از ۲۴ ساعت حذف بار می‌باشد.

(ب) شاخص اختلاف رنگ (ΔE): این آزمون مطابق با استاندارد ISO 105 J03 انجام شد [۱۵]. در سیستم فضا رنگ CIE Lab و با استفاده از دستگاه طیف‌سنج اختلاف رنگ بین نمونه فرسایش داده شده و نمونه اولیه مطابق رابطه زیر محاسبه شد. قبل از هر آزمون، لایه سطحی پرزهای هر نمونه (مخصوصاً نمونه پس از آزمون فرسایش)، با برس‌های مخصوص در جهت‌های مختلف هموار شده و پرزهای اضافی نیز جدا می‌گردید. در این تحقیق از دستگاه طیف‌سنج انعکاسی مدل Tex-Flash شرکت دیتاکالر استفاده شد. اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگی با تنظیم اندازه دریچه ۵ سانتی‌متر، محتوای UV برابر ۰/۵، طول موج اندازه‌گیری ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر با فواصل ۲۰ نانومتری، حذف انعکاس آینه‌ای، تحت منبع نوری استاندارد D65 و مشاهده‌کننده استاندارد ۲° درجه؛ از روی سطح لایه پرزهای نمونه فرش‌ها انجام گرفت (رابطه ۲).

$$\Delta E_{Lab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

که در آن ΔL^* اختلاف در میزان روشنایی، Δa^* میزان اختلاف در مؤلفه رنگی قرمز/سبز، و Δb^* میزان اختلاف در مؤلفه رنگی زرد/آبی بین نمونه فرسایش داده شده و نمونه اولیه می‌باشند [۱۶]. در این تحقیق از اثرات تغییر رنگ فرش ناشی از چرک و لکه‌دار شدن صرف‌نظر شده و تنها اثرات فرسایشی لایه پرزها مدنظر قرار گرفته شد.

(ج) شاخص هندسه ساق پرز (TS)؛ مطابق رویه اکثر مقالات علمی موجود، متوسط تغییرات در مساحت نوک ساق پرزهای قابل تفکیک در یک مساحت مشخص از نمونه فرش نو و نمونه پس از فرسایش مدنظر قرار گرفته شد. پس از تهیه تصویر دیجیتال از نمونه فرش توسط اسکنر، با استفاده از روش آنالیز تصویر و به کارگیری فیلترهای

- Roy's Greatest Root $=\lambda$, largest eigenvalue of $E^{-1}H$.

۲-۵- جمع آوری داده‌های آزمایشات

در این تحقیق برای ۱۸ نمونه فرش دستباف مختلف با گره ترکی، چهار گروه خواص عملکردی آنها در حالت نو و نمونه فرش‌ها پس از ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ دور چرخش استوانه دستگاه هگزپاد اندازه‌گیری شدند. خلاصه نتایج آزمایشات در جدول ۴ ارائه شده است. این نتایج در الگوی مدل‌سازی با استفاده از روش رگرسیون چندگانه چندمتغیره، داده‌های متغیرهای پاسخ (y_j) محسوب می‌شوند.

جدول ۴: خلاصه نتایج چهار گروه خواص عملکردی نمونه فرش‌های دستباف.

شاخص	انحراف استاندارد	بیشینه	کمینه	میانگین	خواص عملکردی
y_1	۲,۸۷	۱۶,۱۱	۴,۴۸	۸,۷۴	TL _{24h} (%)
y_2	۲,۲۵	۷,۳۱	۱,۱۱	۳,۹۴	ΔE (None*)
y_3	۱۲۴,۱	۶۲۹	۲۱۸	۴۲۰,۳	TS (Pixels)
y_4	۰,۰۷۵	۰,۴۸	۰,۱۷	۰,۲۹۵	ET (None)

* بدون بعد.

۳- نتایج و بحث

برای طراحی مدل‌های رگرسیونی، متغیرهای مستقل مدل‌ها (x_i) براساس تعداد سطوح تغییر اشاره شده در قبل عبارتند از: عامل فرسایش (شدت فرسایش برحسب هر هزار دور چرخش استوانه دستگاه هگزپاد؛ x_1)، و عامل‌های تولید یا بافت (ظرافت الیاف پشم برحسب میکرون؛ x_2 ، تراکم پرز برحسب تعداد گره در دسی‌متر؛ x_3 ، و ارتفاع پرز برحسب میلی‌متر؛ x_4). مراحل آنالیز آماری انجام‌شده بر روی داده‌ها، به‌ترتیب در زیر اشاره شده است.

۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

با اجرای آزمون ANOVA بر روی داده‌ها، مشخص شد که برخی از اثرات متقابل و حتی اثرات درجه دوم متغیرهای مستقل نیز بایستی در مدل‌ها بکار گرفته شوند. علاوه بر این برای بررسی کفایت مدل رگرسیونی بطور معمول از تحلیل باقی‌مانده‌ها و تأیید برقراری شرایط فرض‌های آماری مربوط به خطاها از جمله شرط نرمال بودن خطاها، استفاده می‌شود. با آنالیز اولیه و تحلیل باقی‌مانده‌ها، ضرورت انجام فرآیند تبدیل^۳ بر روی داده‌های سه گروه خواص ΔE ، TL و TS (کفایت مدل ET با داده‌های اولیه قابل قبول بود) تأیید شد. در این تحقیق از روش تبدیل Box-Cox برای اصلاح داده‌ها استفاده شد. در

میزان یکنواختی توزیع استقرار مراکز ثقل نوک ساق پرزها با استفاده از رابطه ۳ و برنامه تهیه شده در نرم‌افزار متلب، محاسبه شد.

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (3)$$

که در آن E_i بیان‌گر انحراف استاندارد فواصل di_1 تا di_n (شکل ۲-b) و n تعداد مراکز سطح ساق‌های پرز مجاور با فاصله کمتر از ۲۰ پیکسل از مرکز ثقل سطح مقطع مرجع می‌باشد [۳، ۶].

به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف فرسایش نمونه فرش‌ها (طول زمان استفاده از فرش) بر روی سه گروه خواص عملکردی مذکور، نمونه فرش‌ها توسط دستگاه شبیه‌ساز فرسایش؛ هگزپاد^۱، فرسایش داده شدند. این آزمون مطابق با رویه استاندارد ISO 10361 در سطوح ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ دور چرخش استوانه دستگاه، اجرا شد [۱۷]. در هر بار آزمون، چهار نمونه فرش $20 \times 22,5$ سانتی‌متر مربع استفاده شد. در تمام آزمون‌ها، تعداد تکرار آزمایشات سه مرتبه در نظر گرفته شد.

۲-۴- رویه‌های آماری

رگرسیون چندگانه چندمتغیره

به طور معمول رگرسیون چندگانه چندمتغیره جهت توصیف ارتباطات بین $p > 1$ متغیرهای وابسته یا پاسخ با q عامل یا متغیرهای مستقل مشترک بکار می‌رود. در این حالت، الگوی رگرسیون چندگانه چندمتغیره به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Y = X\beta + E \quad (4)$$

که در آن Y یک ماتریس $(n \times p)$ از متغیرهای پاسخ، X ماتریس $(n \times q)$ شامل متغیرهای مستقل، β نیز یک ماتریس $(q \times p)$ شامل ضرائب عامل‌ها و E هم ماتریس $(n \times p)$ مقادیر خطاها می‌باشند. معنی‌داری مدل‌ها با تشکیل جدول آنالیز واریانس چندمتغیره ($MANOVA^2$) برای هر مدل حاصل، قابل بررسی می‌باشد [۱۸، ۱۹].

در الگوی چندمتغیره اگر تغییرپذیری کل به صورت $H+E$ افراز گردد، که H ؛ ماتریس مجموع مربعات بین تیمارها و حاصل ضرب‌های متقاطع، و E ؛ ماتریس مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها و حاصل ضرب‌های متقاطع هستند، بطور معمول از چهار آماره آزمون چند متغیره زیر که همگی توابعی از مقادیر ویژه $E^{-1}H$ و $H(H+E)^{-1}$ هستند، برای بررسی معنی‌داری الگوی چندمتغیره استفاده می‌شوند [۱۸].

- Wilk's Lambda = $\det(E) / \det(H+E)$
- Pillai's Trace = $\text{trace}(H(H+E)^{-1})$
- HotellingLawley Trace = $\text{trace}(E^{-1}H)$

1- Hexapod tumbler

2- Multivariate Analysis of Variance

3- Data transformation

$$y_4 = 0,398 + 0,0001 x_1 - 0,003 x_3 - 0,010 x_4 + 0,00010 x_5 \quad (۸)$$

ضمناً نمودارهای تراز مقادیر پیش‌بینی در مقابل مقادیر آزمایشگاهی برای هر متغیر پاسخ، در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۸]. با مشاهده نمودارها، می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های پیشنهادی ۵-۸ با دقت قابل قبولی قابلیت پیش‌بینی چهار گروه خواص عملکردی فرش‌ها را دارند.

۳-۵- حل دستگاه روابط چندمتغیره برای دستیابی به معادلات معکوس

برای دستیابی به روابط معکوس، دستگاه روابط حاصل از پارامترهای مدل‌های ۵-۸ را به صورت فرم ماتریسی $AX=Y$ آماده شد که در آن:

$$A = \begin{bmatrix} -0,119 & -0,006 & -0,105 & 0,006 \\ 0,012 & -0,018 & -0,038 & 0,001 \\ 3,36 & -9,68 & 1,79 & -0,010 \\ 0,0001 & -0,003 & -0,010 & 0,0001 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 - 20,02 \\ y_2 + 0,686 \\ y_3 - 787,07 \\ y_4 - 0,398 \end{bmatrix}$$

۳-۴- رگرسیون چندگانه چندمتغیره برای تعیین روابط بهینه مطابق الگوی رگرسیون چندگانه چندمتغیره، مدل‌های بهینه بر روی داده‌های هر متغیر پاسخ y_1, \dots, y_4 به صورت مجزا برآزش گردید. خلاصه جداول ANOVA مربوطه، به تفکیک هر مدل در جدول ۷ ارائه شده است.

مشاهده می‌شود که مقادیر آماره F در جداول فوق برای همه مدل‌ها، معنی‌دار می‌باشند. علاوه بر این دامنه مقادیر ضریب تعیین R^2 آنها نیز بین ۸۷,۶٪ تا ۹۴,۲٪ است که خود گواه بر شایستگی و تأیید مدل‌ها در توصیف تغییرات در داده‌ها می‌باشد.

مدل‌های بهینه پیش‌بینی هر متغیر پاسخ (جهت نمایش بهتر مدل، متغیر مستقل $x_{۳۴}$ به صورت x_5 به کار گرفته شده است) به تفکیک چهار گروه خواص عملکردی عبارتند از:

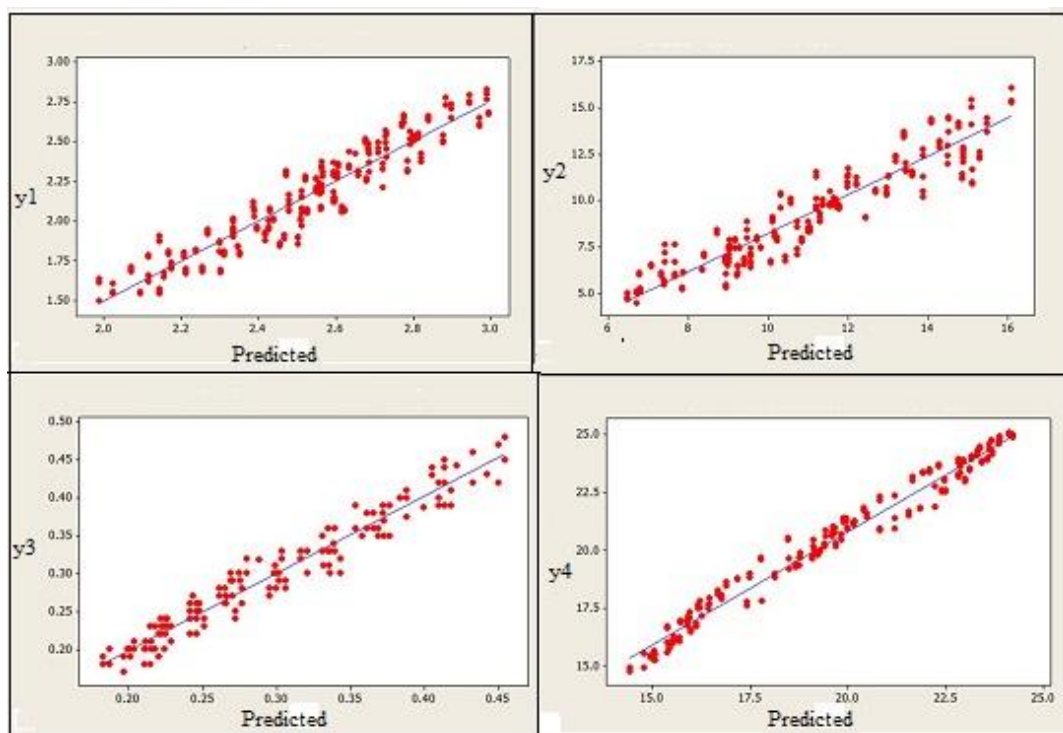
$$y_1 = 20,02 - 0,119 x_1 - 0,006 x_3 - 0,105 x_4 + 0,006 x_5 \quad (۵)$$

$$y_2 = -0,686 - 0,012 x_1 - 0,018 x_3 - 0,038 x_4 + 0,001 x_5 \quad (۶)$$

$$y_3 = 787,07 + 3,36 x_1 - 9,68 x_3 + 1,79 x_4 - 0,010 x_5 \quad (۷)$$

جدول ۷: خلاصه نتایج برآورد پارامترها برای چهار مدل y_1, \dots, y_4 .

مدل y_1				مدل y_2			
متغیرها	برآورد پارامترها	t- value	$P_r > t $	برآورد پارامترها	t- value	$P_r > t $	
Intercept	۲۰,۰۲	۹,۱۲	$0,0001 <$	-۰,۶۸۶	-۱,۰۹	$0,۰۸۹ >$	
x_1	-۰,۶۸۰	-۵,۴۰	$0,0001 <$	۰,۷۷۴	۱۱,۹۹	$0,0001 <$	
x_3	-۰,۰۰۶	-۰,۲۵	$0,۰۰۴ >$	-۰,۰۱۸	-۳,۵۷	$0,۰۰۱ <$	
x_4	-۰,۱۰۵	-۲,۶۳	$0,۰۰۹ >$	-۰,۰۳۸	-۱,۳۶	$0,۰۱۸ >$	
$x_{۳۴}$	۰,۰۰۶	۲,۸۲	$0,0001 <$	$0,001 <$	۱,۵۳	$0,۰۶۳ >$	
F = ۱۰۵, P < ۰,۰۰۰۱			$R^2 = 0,۸۷۶$	F = ۱۸۵۸, P < ۰,۰۰۰۱			$R^2 = 0,۹۴۲$
مدل y_3				مدل y_4			
Intercept	۷۸۷,۰۷	۲۸,۳۴	$0,0001 <$	۰,۳۹۸	۸,۷۰	$0,0001 <$	
x_1	۳,۷۵	۱,۳۵	$0,۰۶۸ >$	۰,۰۱۴	۳,۰۸	$0,۰۰۳ >$	
x_3	-۹,۶۸	-۳۳,۹۹	$0,0001 <$	-۰,۰۰۳	-۷,۱۱	$0,0001 <$	
x_4	۱,۷۹	۱,۱۱	$0,۰۸۹ >$	-۰,۰۱۰	-۳,۸۸	$0,0001 <$	
$x_{۳۴}$	-۰,۰۱۰	-۰,۳۶	$0,۰۷۱ >$	$0,0001 <$	۳,۲۳	$0,۰۰۲ >$	
F = ۱۷۳۵, P < ۰,۰۰۰۱			$R^2 = 0,۹۳۹$	F = ۲۰۴,۷, P < ۰,۰۰۰۱			$R^2 = 0,۹۱۶$



شکل ۳: نمودارهای مقادیر تجربی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده‌اشان برای هر مدل.

مقادیر حداقل استانداردها یا مقادیر تجربی مستند از چهار گروه خواص عملکردی در رابطه مذکور، حداکثر مجاز تعداد دور چرخش استوانه دستگاه هگزپاد ($x_1 \times 1000$) حاصل خواهد شد. با استفاده از برخی منابع تحقیقات تجربی موجود، تبدیل تعداد دور چرخش استوانه هگزپاد به معادل واحد زمان (ماه و سال) نیز ممکن می‌باشد. به‌عنوان مثال مطابق تحقیقات مؤسسه تحقیقات فرش استرالیا، ۸۰۰۰ دور چرخش استوانه هگزپاد تقریباً معادل ۳ تا ۴ سال فرسایش فرش در حین استفاده متعارف می‌باشد [۲۲]. علاوه بر این از روابط ۱۰ و ۱۱ نیز بطور مشابه می‌توان مقادیر بهینه فاکتورهای تولید فرش (تراکم و ارتفاع پرز) را نیز پیش‌بینی نمود.

۳-۶- راستی‌آزمایی مدل‌ها

برای تعیین صحت یا اعتبار مدل‌های پیش‌بینی حاصل، یک نمونه فرش دستباف پشمی جدید (با گره ترکی) ظرافت متوسط الیاف پشم ۳۰،۴ میکرون آماده شد. چهار گروه خواص عملکردی آن مشابه روش‌های قبل اندازه‌گیری شد که نتایج در جدول ۸ ارائه شده است. سایر مشخصات ساختمانی نمونه فرش موردنظر در جدول ۹، نشان داده شده است.

ماتریس A ؛ ماتریسی مربع بوده که دترمینان آن صفر نیست، پس ماتریسی معکوس پذیر می‌باشد (ماتریس معکوس؛ A^{-1}). بنابراین دستگاه روابط $AX = Y$ دارای جواب‌هایی به صورت $X = A^{-1}Y$ می‌باشد [۲۱]. در نتیجه روابط مدل‌های معکوس برای فاکتور فرسایش (x_1) و فاکتورهای تولید (x_2 و x_3) به صورت زیر حاصل می‌شوند:

$$x_1 = 32,87 + 2,77 y_1 + 1,49 y_2 + 0,31 y_3 - 257,07 y_4 \quad (9)$$

$$x_3 = -208,48 - 6,03 y_1 - 54,82 y_2 - 0,466 y_3 + 2895,33 y_4 \quad (10)$$

$$x_4 = -56,73 - 3,61 y_1 - 5,12 y_2 - 0,25 y_3 + 483,95 y_4 \quad (11)$$

رابطه ۹ ارتباط بین چهار گروه خواص عملکردی را با فاکتور فرسایش را ارائه می‌دهد. به‌عنوان یک نتیجه اصلی این تحقیق، رابطه ۹ را می‌توان به‌عنوان رابطه پیش‌بینی طول عمر مفید فرش‌های دستباف با رویکرد تغییرات ظاهر و رنگ معرفی نمود. با جایگذاری

۴- نتیجه‌گیری

تضمین طول عمر مفید فرش‌ها نقش قابل توجهی در ایجاد اطمینان و رضایتمندی مشتریان در هنگام خرید دارد. هدف اصلی این تحقیق، تخمین طول عمر مفید فرش‌های دستباف پشمی با استفاده از روش آماری و با رویکرد تغییر ظاهر و رنگ بود. با استفاده از الگوی رگرسیون چندگانه چندمتغیره، ابتدا مدل‌هایی برای پیش‌بینی متغیرهای پاسخ (چهار گروه خواص عملکردی فرش‌ها) در ارتباط با فاکتورهای عمده فرسایش و فاکتورهای ساختمانی فرش طراحی شدند. این مدل‌ها بعنوان نتایج فرعی تحقیق قابلیت تعیین شرایط ساختمانی بهینه فرش برای دستیابی حداکثری هر یک از خواص عملکردی فرش را دارند. با حل دستگاه معادلات حاصل از پارامترهای مدل‌های مذکور، معادلات معکوس حاصل شدند. مدل حاصل برای فاکتور فرسایش، به‌عنوان رابطه‌ای مناسب برای تخمین شدت فرسایش هر نمونه فرش دستباف با دقت قابل‌قبولی تعیین و راستی-آزمایی شد. حداکثر مجاز شدت فرسایش فرش دستباف پشمی با جایگذاری مقادیر حداقل کیفیت استاندارد و قابل قبول چهار گروه خواص عملکردی‌اشان در مدل فاکتور فرسایش قابل تعیین و سپس قابل تبدیل به مقادیر برحسب واحد زمان می‌باشد. علاوه بر این مدل‌های پیشنهادی مربوط به فاکتورهای تولید (تراکم و ارتفاع پرز) نیز قدمی مثبت در جهت ارائه الگوهایی مستند و معتبر برای طراحی مشخصات ساختمانی هر نمونه فرش دستباف متناسب با سفارش بازار می‌باشند که قطعاً دارای دقت بالاتری نسبت به الگوهای تجربی می‌باشند.

جدول ۸: نتایج چهار گروه خواص عملکردی نمونه فرش دستباف جهت تأیید اعتبار مدل‌ها.

خواص	Y _۱	Y _۲	Y _۳	Y _۴
عملکردی	٪۱۲,۴۰	۶,۵۰	۵۶۴ پیکسل	۰,۳۳

مطابق رویه استاندارد مربوطه، این نمونه تحت شدت ۱۰۰۰۰ دور چرخش استوانه دستگاه هگزپاد، فرسایش داده شد. چهار گروه خواص عملکردی آن نیز پس از اتمام فرسایش اندازه‌گیری شد. متوسط نتایج اندازه‌گیری شده و نتایج پیشگویی شده توسط مدل‌ها، برای عوامل فرسایش و تولید در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۹: مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و پیشگویی شده برای نمونه فرش دستباف جهت تأیید اعتبار مدل‌ها.

مقادیر محاسبه شده	شدت فرسایش (تعداد دور چرخش استوانه)		
	ارتفاع (mm) پرز	تراکم پرز (knot/dm)	ارتفاع (mm) پرز
	X _۴	X _۳	X _۱
آزمایشگاهی	۱۰,۲۰	۶۰	۱۰
پیش‌بینی شده	۱۰,۸۳	۵۳,۰۵	۹,۵۵

مطابق نتایج جدول ۹، مشاهده می‌شود که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای با مقادیر آزمایش‌شده، تطابق معنی‌داری دارند.

۵- مراجع

- P. C. Panti, R. K. Arora, R. S. Dhillon, D. L. Bapna, Influence of fiber and constructional parameters on functional properties of hand-woven carpet. *Indian. J. Fib. Text. Res.* 21(1996), 189-193.
- B. Xu, Assessing carpet appearance by image analysis. *Text. Res. J.* 64(1994), 697-709.
- E. J. Wood, Description and measurement of carpet appearance. *Text. Res. J.* 63(1993), 580-594.
- E. Onder, O. B. Berkalp, Effects of different structure parameters on carpet physical properties. *Text. Res. J.* 71(2001), 549-555.
- S. M. Tabatabaei, M. Ghane, H. Hasani, A. Z. Hamadani, To study and establish of effective properties to hand-knotted carpets' lifetime. *J. Text. Sci. Tech.* 4(2014), 19-26.
- Y. Wu, B. Pourdeyhimi, S. M. Spivak, Texture evaluation of carpets using image analysis. *Text. Res. J.* 61(1991), 407-419.
- M. J. Karamad, M. Latifi, M. Haghhatkish, Analysis of compressive behavior of handmade carpet's pile matting. *J. Goljam.* 8(2007), 9-22.
- Y. Korkmaz, S. DalciKocer, Resilience behavior of woven acrylic carpets under short- and long-term static loading. *J. Text. Inst.* 101(2010), 236-241.
- G. E. Cusick, S. P. K. Dawber, Loss of thickness of carpets in floor trials. *J. Text. Inst.* 55(1964), T531-T536.
- J. Ince, M. L. Ryder, The evaluation of carpets made from experimental wools. *J. Text. Inst.* 75(1984), 47-58.
- F. Dadashyan, M. Montazar, Sh. Rahimi, Gh. Baziyar, Improve the physical properties of Iranian woolen yarn using to hand made carpet by biocompatible treatment. *J. Goljam.* 6,7(2007), 143-154.
- M. Dayiary, S. Shaikhzadeh, M. Shamsi, An experimental verification of cut-Pile carpet compression behavior. *J. Text. Inst.* 101(2010), 488-494.
- S.A. Mojabi, Estimation and prediction of material's counts in hand made carpet proportional to knot density by statistical method. *3th Intern. Conf. Hand-knotted Carpet Res.*, Tehran, Iran, (2009), 1524.

14. Method for determination of thickness loss of textile floor coverings after prolonged heavy static loading, ISO Standard, ISO 3416, 1986.
15. Tests for colour fastness – Part J03: Calculation of colour differences, British Standard, BS EN ISO 105 J03, 2009.
16. S. Westland, C. Ripamonti, Computational color science using Matlab. John Wiley & Sons, England, 2004, 60-82.
17. Production of changes in appearance by means of Vettermann drum and Hexapod tumbler testers, British Standard, BS ISO 10361, 2000.
18. S. Fattahi, S. A. HoseiniRavandi, S. M. Taheri, Two-way prediction of cotton yarn properties and fiber properties using multivariate multiple regression. *J. Text. Inst.* 102(2011), 849-856.
19. G. A. F. Seber, Multivariate observations. John Wiley & Sons, New York, 2004, 44-62.
20. D. C. Montgomery, E. Peck, G. Vinning, Introduction to linear regression analysis (4th Ed.). Hoboken, NJ. John Wiley & Sons, USA, 2006, 32-84.
21. S. R. Searl, Matrix algebra useful for statistics (4th Ed.). John Wiley & Sons, New York, 2004, 110-154.
22. Carpet institute of Australia limited, Carpet standard and test methods. *The carpet classification scheme (ACCS)*, (1985),10.