

تأثیر دما، رطوبت و زمان در خزش فشاری بخش تاخوردۀ فرش دستباف

دکتر سید علی مجابی

استادیار دانشکده هنر، معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

دکتر سعید شیخ زاده نجار

دانشیار دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیر کبیر

دکتر شاهرخ حسینی هاشمی

دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر سید جلال الدین بصام

استادیار مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی

چکیده

اگر حین عملیات انبارداری، نگهداری یا مصرف بر فرش دستباف فشار وارد شود؛ فرش ابتدا با یک کاهش ضخامت آنی مواجه شده و سپس با ادامه فشار، کاهش ضخامتش به آرامی شدت می یابد که بخشی از این کاهش ضخامت برگشت پذیر نمی باشد. این کاهش ضخامت وابسته به زمان، خزش نامیده می شود و متأثر از پارامترهایی چون دما و رطوبت بوده و می تواند در صورت عدم توجه عیوبی همچون شکستگی، ترکیدگی، کیسی، کوبیدگی و خط افتادگی را در فرش دستباف به وجود آورد. در نتیجه با شناسایی مدل خزشی فرش دستباف می توان رفتار آن را در زمانی که تحت فشار قرار می گیرد، پیش بینی کرد، از صدمات وارده بر قالی کاست و آثار ناشی از خزش را در فرش کاهش داد. در این تحقیق برای تعیین رفتار خزش فشاری فرش دستباف تاخوردۀ، نمونه آزمایشی فرش به صورت تاخوردۀ و زیر بار ۱۷۰ کیلوگرمی برای

۴۸ ساعت قرار گرفت و به صورت on - line میزان کرنش فشاری در آن ها و با شرایط دما و رطوبت مختلف محاسبه گردید. سپس بر روی داده های به دست آمده، مدل های آماری مختلفی برازش گردید و مشخص شد که تعمیم مدل خزشی Voight - Kelvin با در نظر گرفتن پارامترهای رطوبت و دما بهترین معادله جهت رفتار خزشی فرش دستباف تاخوردۀ است. آنالیز واریانس داده های حاصل از اندازه گیری کرنش فشاری نیز مشخص کرد که سطوح مختلف دما و رطوبت اختلاف معنی داری با یکدیگر دارند و این به معنی تأثیر مستقیم رطوبت و دما در معادله خزش می باشد؛ با این حال تأثیر رطوبت و دما در مقایسه با زمان بسیار ناچیز می باشد. در این تحقیق هم چنین مدول یانگ، ثابت خزش و ضریب ویسکوزیتی فرش دستباف تاخوردۀ محاسبه و ارائه گردید.

واژگان کلیدی: دما، رطوبت، خزش، فرش دستباف، تاخوردگی.

مقدمه

از دیدار کرنش با گذشت زمان و در هنگام اعمال تنش، ثابت خزش خوانده می شود. بنابراین خزش تابعی از زمان است. در حالت کلی زمانی که به یک منسوج نیرویی وارد می شود، پس از یک افزایش طول آنی (که اصطلاحاً کشیدگی آنی نامیده می شود)، ازدیاد طول به صورت تابعی از زمان و با سرعتی کم تر از تندی اولیه افزایش می یابد که خزش نامیده می شود. خزش از دو قسمت خزش اولیه که برگشت پذیر است و خزش ثانویه که برگشت پذیر نیست، تشکیل می گردد (نورپناه، ۱۳۷۷: ۱۸۹-۱۷۷).

خزش در الیاف و منسوجات با جنس های مخالف، متفاوت است. میزان رطوبت، درجه حرارت و میزان تنش اعمالی بر منسوج از پارامترهایی است که بر رفتار خزشی الیاف یا منسوجات اثر می گذارد (همان).

در این خصوص و در تحقیقی جداگانه، نخ های مختلفی از جنس ویسکوز ریون، استات، ابریشم و نایلون با طول مساوی و در ۶۵٪ رطوبت نسبی با ۲۱ درجه سانتی گراد حرارت تحت تنش ثابت و یکسانی قرار گرفتند و میزان خزش در آن ها اندازه گیری شد. نتایج مشخص کرد که مقدار افزایش طول ناشی از خزش اولیه با افزایش طولی که ناگهان رخ داده، قابل مقایسه است. هم چنین مشخص شد که منحنی های برگشت ویسکوز ریون و استات دقیقاً منطبق با منحنی های خزش شان ولی به صورت وارونه هستند. در مورد نخ های ابریشمی نیز منحنی بازگشت به شکل منحنی خزش است (Morton, 1975).

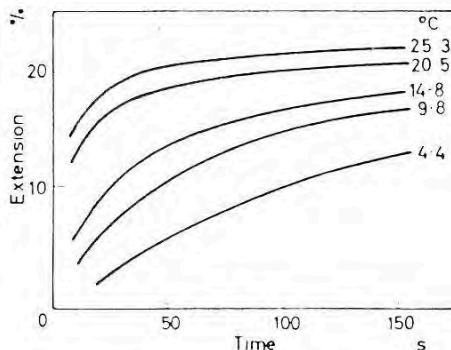
گزارش دیگری مشخص کرد که خزش الیاف استات با افزایش رطوبت، افزایش می یابد. بر این اساس تغییرات خزش در رطوبت پایین تر از ۴۰٪ کمتر است، ولی با افزایش رطوبت تغییرات به صورت قابل توجهی بیشتر

می شوند (کریمی، ۱۳۸۲: ۱ و ۵).

نتایج تحقیقات انجام شده در این خصوص نیز رفتارهای نامنظمی را در تأثیر میزان رطوبت بر خزش اولیه و ثانویه نایلون نشان داد. در این گزارش مشخص شد که با افزایش رطوبت، کشیدگی آنی نیز افزایش می یابد (همان: ۸-۶). تحقیقات دیگری نشان داد که خزش الیاف استات با بالا رفتن دما، افزایش می یابد (Morton, 1975). تحقیقات تکمیلی بیشتر که خزش الیاف پشم را در داخل آب و با دماهای مختلف بررسی کرد نشان داد که خزش الیاف پشم تحت نیروی ثابت ۸/۵۸ میلی نیوتن و در درون آب از رابطه (۱) پیروی می کند.

$$\frac{1}{T} = \frac{a}{t} + b \quad (1)$$

در این رابطه T: میزان کرنش، t: زمان و a و b ضرایب ثابتی هستند که در دماهای مختلف متفاوت می باشند (توانایی، ۱۳۷۶: ۲۶۷-۲۵۹). شکل ۱ تأثیر حرارت بر خزش الیاف پشم را در داخل آب نشان می دهد.



شکل ۱: تأثیر حرارت بر خزش الیاف پشم در داخل آب (۳)

اساساً الیاف طبیعی در رطوبت نسبی زیاد، قابلیت ارتجاع بیشتری پیدا کرده و در نتیجه باعث ازدیاد طول می شود.

ذاتاً غیر خطی استفاده شد تا در نهایت و از این طریق بتوان ثابت خزش و ضریب ویسکوزیتی فرش دستباف تاخورد را محاسبه کرد.

مواد و روش ها

مشخصات فیزیکی نمونه فرش آزمایشی

در این تحقیق از یک قطعه فرش دستباف با تار و پود پنبه ای و پرز پشمی استفاده شد. مشخصات فرش استفاده شده در جدول ۱ مشاهده می شود. فرش مورد نظر دارای گره متقارن و بافت دو پود در هر رج بود. ابعاد فرش با دقت ۰/۵ میلی متر، تعداد گره در ۱۰ سانتی متر، نمرات نخ های تار و پرز، وزن بر متر مربع و طول ساق گره (ارتفاع پرز) بر اساس روش های استاندارد اندازه گیری گردید (استاندارد ملی شماره ۱۱۴۳-۱۷۲۰-۴۵۶-۱۲۴۰-۸۸۶-۴۵۳-۵۰۰).

جدول ۱: خصوصیات فرش آزمایشی

میزان	CV %	خصوصیت اندازه گیری شده
۱۲۶x ۷۴/۹	۰/۲۷ x ۰/۴۲	ابعاد فرش دستباف (سانتیمتر)
۶۱/۶ x ۶۴/۸	۲/۰۷ x ۰/۴۴	تعداد گره در ۱۰ سانتیمتر
۳۶۲/۲۷ x ۱۸	۳/۸۶۱	(لا- Tex) نمره نخ تار
۳۵۰/۲۶ x ۳	۵/۱۴۲	(لا- Tex) نمره نخ پرز
۲/۳۳	۳/۷۱	وزن بر متر مربع (g/m ²)
۴/۶۲	۴/۲۳۱	ارتفاع پرز (mm)



شکل ۲: نمونه فرش آزمایشی

به غیر از پنبه و سایر الیاف سلولزی طبیعی، استحکام و مدول اولیه الیاف در رطوبت نسبی بالا کاهش می یابد (حقیقت کیش، ۱۳۷۷: ۱۲۸ و ۱۳۰).

با کاهش مدول اولیه و افزایش ازدیاد طول به واسطه جذب رطوبت، مقاومت خمشی الیاف نیز کاهش می یابد. این در حالی است که افزایش درجه حرارت نیز تأثیری مشابه بر مدول اولیه و استحکام الیاف و در نتیجه مقاومت خمشی الیاف دارد (توانایی، ۱۳۷۶: ۲۶۷-۲۵۹؛ حقیقت کیش، ۱۳۷۷: ۱۴۱). با این حال مرتبط ترین تحقیق در خصوص رفتار خزشی فرش دستباف در اقلیم های جداگانه (شامل محدوده ای از تغییرات دما و رطوبت معین) مشخص کرد که در شرایط محیطی مختلف، خزش اولیه انواع فرش دستباف با جنس های متفاوت، از مدل خزشی Eyring و به صورت معادله شماره (۲) پیروی می نماید که در آن t زمان بر حسب ثانیه، y میزان کرنش فشاری، Ln لگاریتم در پایه عدد نپرین و b میزان ثابتی است که از برازش در اقلیم های جداگانه حاصل گردیده است (مجبایی، ۱۳۸۵: ۱۱۷-۱۱۳).

$$y = a \ln(t) - b \quad (2)$$

این تحقیق مشخص کرد که با افزایش رطوبت، کرنش فشاری در معادله خزش افزایش می یابد. در این زمینه فرش های تمام ابریشمی تغییرات شدیدتری را از خود نشان دادند. هم چنین رطوبت سبب افزایش شیب منحنی معادلات خزشی و همبستگی کرنش تحت فشار و رشد زمان شد (همان).

موضوع این تحقیق بررسی تغییرات دما، رطوبت و زمان به صورت متقابل در کرنش فشاری فرش دستباف تاخورد است. برای این کار از آنالیز واریانس سه طرفه استفاده گردید. سپس برای شبیه سازی مدل خزشی فرش دستباف تاخورد تحت فشار، از رگرسیون غیر خطی

نحوه اندازه گیری خزش فشاری نمونه فرش آزمایشی برای تعیین ضخامت اولیه نمونه فرش آزمایشی از دستگاه ضخامت سنج شرلی استفاده شد (The Catalogue, 2005: No.8). تغییرات ضخامت در دما و رطوبت های مختلف نیز توسط دستگاهی که پیش از این طراحی و ساخته شده بود، اندازه گیری گردید (Goljaam, 2006: No.3). اندازه گیری تغییرات ضخامت متناسب با زمان در فرش تاخوردده در دما و رطوبت مشخص، در منطقه مشخص شده در شکل ۳ صورت پذیرفت. هر آزمایش ۲ بار تکرار گردید.

تغییرات ضخامت در نمونه فرش آزمایشی در ۴ سطح از رطوبت (۲۵٪، ۳۲٪، ۴۰٪، ۵۵٪) و ۴ سطح از تغییرات دما (۶°C، ۱۲°C، ۲۰°C، ۳۰°C) جهت ایجاد بلوک کامل ۴x۴ تصادفی شده اندازه گیری گردید.

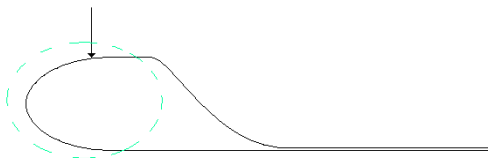
بر روی نتایج به دست آمده و برای مقایسه اثرات متقابل سطوح مختلف دما، رطوبت و زمان در کرنش فشاری فرش دستباف، آنالیز واریانس سه عاملی صورت پذیرفت. برای انجام این کار میزان کرنش هر یک از آزمایشات در ۸ سطح مختلف از زمان (۳۰ ثانیه، ۶ ساعت یا ۲۱۶۰۰ ثانیه، ۱۲ ساعت یا ۴۲۶۰۰ ثانیه، ۱۸ ساعت یا ۶۴۸۰۰ ثانیه، ۲۴ ساعت یا ۸۶۴۰۰ ثانیه، ۳۰ ساعت یا ۱۰۸۰۰۰ ثانیه، ۳۶ ساعت یا ۱۲۹۶۰۰ ثانیه و ۴۲ ساعت یا ۱۵۱۲۰۰ ثانیه) قرائت گردید و اثر هر یک از عوامل دما، رطوبت، زمان و اثرات متقابل هر یک از آن ها بر روی کرنش فشاری مورد بررسی قرار گرفت.

برای دست یابی به مدل آماری مناسب توصیف سهم رطوبت و دما در خزش فشاری فرش، بر روی ابر پراکنش کلیه داده ها که از ۱۶ شرایط مختلف محیطی در نظر گرفته شده در بلوک کامل ۴x۴ تصادفی شده حاصل می شوند، مدل های آماری مختلفی برازش شد و از بین آن ها

بهترین مدل آماری انتخاب گردید. هم چنین روی داده های به دست آمده بهترین منحنی های غیرخطی ذاتاً غیر خطی چند عاملی برازش گردید و اثرات متقابل دما و رطوبت بر روی میزان کرنش، با استفاده از آنالیز واریانس دو عاملی تعیین و بررسی شد.

طرح بلوک تصادفی وقتی به کار می رود که به جز اثرات مربوط به تیمارها، منبع تغییرات دیگری نیز وجود داشته باشد. در بسیاری از موقعیت ها از قبل مشخص است که بعضی از واحدهای آزمایشی، هنگامی که به طور مشابهی تیمار شوند، رفتار متفاوتی را بروز خواهند داد؛ لذا در موقعیت هایی که بخشی از رفتار افراد یا نمونه های آزمایشی قابل پیش بینی یا طبقه بندی است، طرح آزمایشی را می توان به طریقی سازمان داد که بخشی از تغییرات مربوط به منبع ناشناخته قابل اندازه گیری باشد و در نتیجه، اشتباه آزمایشی حذف گردد. در عین حال اختلاف بین میانگین تیمارها سهمی از تغییرات مربوط به منبع ناشناخته شده را در بر نخواهد گرفت. پس در صورتی که بتوان واحدهای آزمایشی را به طور معنی داری گروه بندی کرد، از طرح بلوک کامل تصادفی استفاده می شود. طرح آزمایشاتی که در آن ها تیمارهای رطوبت یا دما به کار رفته باشد، عموماً از نوع بلوک های تصادفی شده هستند (FTEE, 2008: No.1(66)).

در این مقاله معنی دار بودن کلیه آزمایشات در سطح $p \geq 0,05$ بررسی می شود.



شکل ۳: شماتیکی از تصویر منطقه اندازه گیری کرنش

نتایج

بررسی تأثیر زمان بر کرنش فشاری

جدول ۲ طبقه بندی سطوح مختلف زمان متناسب با کرنش را که از طریق آزمون Duncan به دست آمده است، نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که سطوح مختلف زمان را می توان در چهار سطح جداگانه قرار داد. بر این اساس مشاهده می شود که کرنش های فشاری در زمان های بالا در یک گروه قرار می گیرند. به بیان ساده تر، با افزایش زمان، سطوح مختلف کرنش در یک گروه طبقه بندی شده و اختلاف معنی دار آماری را با یکدیگر نشان نمی دهند.

این در حالی است که در زمان های ابتدایی، سطوح مختلف کرنش با یکدیگر اختلاف معنی دار آماری داشته و در گروه های مختلف طبقه بندی می گردند. لذا می توان گفت که تغییرات کرنش در ساعات ابتدایی ناگهانی و شدید بوده و پس از مدتی این تغییرات آرام تر شده و در نهایت با عبور از یک منطقه بحرانی (از ۴۲۶۰۰ ثانیه تا ۸۶۴۰۰ ثانیه)، در حدودی معین در یک گروه باقی می ماند. برای تحلیل بهتر و طبقه بندی مناسب تر سطوح مختلف زمان متناسب با کرنش، یک بار دیگر نیز این سطوح با آزمون Tukey گروه بندی می شوند. نتایج حاصل از این گروه بندی در جدول ۳ مشاهده می شود.

جدول ۲: بررسی اختلاف بین سطوح مختلف زمان و طبقه بندی آن ها بر اساس آزمون دانکن

کرنش (%) - گروه ها				تعداد داده ها	زمان (ثانیه)	
۴	۳	۲	۱			
			.425769	32	30	Duncan(a,b)
		2.3702659		32	21600	
	2.5969736	2.5969736		32	42600	
2.7632278	2.7632278			32	64800	
2.8558218	2.8558218			32	86400	
2.9432067				32	108000	
3.0106752				32	129600	
3.0489757				32	151200	
.067	.079	.104	1.000		Sig.	

جدول ۳: بررسی اختلاف بین سطوح مختلف زمان و طبقه بندی آن ها بر اساس آزمون توکی

کرنش (%) - گروه ها				تعداد داده ها	زمان (ثانیه)	
۴	۳	۲	۱			
			.4257691	32	30	Tukey HSD(a,b)
		2.3702659		32	21600	
	2.5969736	2.5969736		32	42600	
2.7632278	2.7632278	2.7632278		32	64800	
2.8558218	2.8558218			32	86400	
2.9432067	2.9432067			32	108000	
3.0106752	3.0106752			32	129600	
3.0489757				32	151200	
.442	.064	.094	1.000		Sig.	

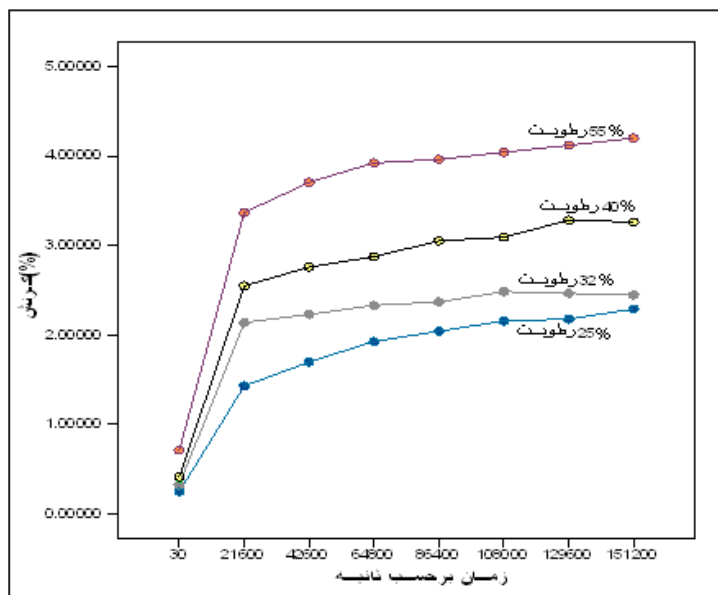
بودن میزان Sig. گروه دوم نسبت به گروه سوم است. در نتیجه می توان سطح زمانی ۴۲۶۰۰ را تنها در گروه دوم در نظر گرفت. به این ترتیب سطوح مختلف زمان متناسب با کرنش در سه طبقه به صورت جدول ۴ اصلاح می شوند. میانگین تغییرات کرنش بر حسب زمان در یک سطح مشخص از دما و رطوبت به صورت شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴: طبقه بندی اصلاحی سطوح مختلف زمان

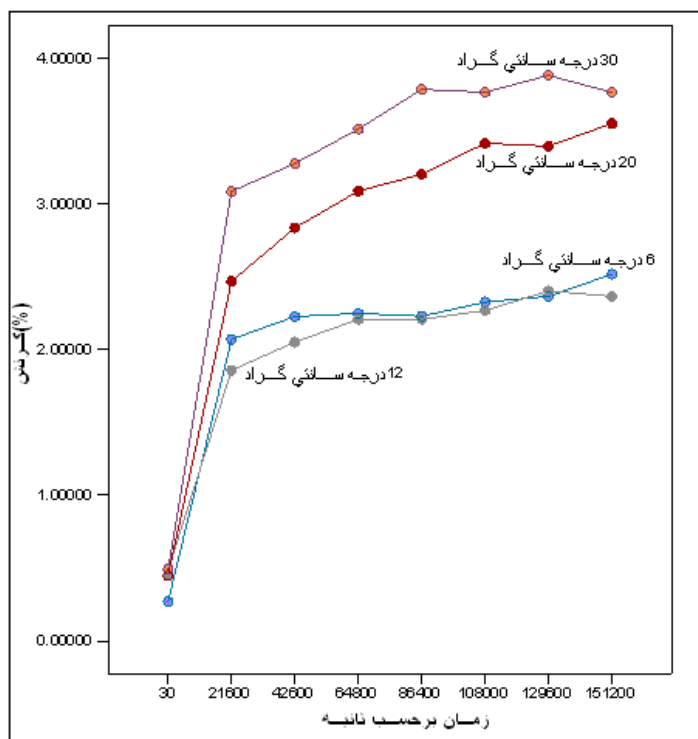
زمان (ثانیه)	۱	۲	۳
30	.4257691		
21600		2.3702659	
42600		2.5969736	
64800	2.7632278		
86400	2.8558218		
108000	2.9432067		
129600	3.0106752		
151200	3.0489757		

مقایسه طبقه بندی صورت پذیرفته با آزمون توکی و گروه بندی حاصله از آزمون دانکن بیانگر آن است که نتیجه طبقه بندی در گروه های اول و چهارم مشابه یکدیگر است و تفاوت عمده در قرارگیری سطوح متفاوت در گروه های دوم و سوم می باشد.

بر این اساس و با توجه به سطح معنی دار بودن بالاتر گروه چهارم در آزمون توکی، می توان سطوح زمانی ۶۴۸۰۰ تا ۱۲۹۶۰۰ ثانیه را متعلق به این گروه دانست و وجود آن ها را در گروه سوم نادیده گرفت. از سویی دیگر، مقایسه سطح معنی دار بودن بین گروه دوم و سوم حاکی از برتری گروه سوم بر گروه دوم است؛ لذا می توان سطح زمانی ۴۲۶۰۰ ثانیه را نیز تنها متعلق به گروه دوم دانست و از وجود آن در گروه سوم چشم پوشی کرد. انجام همین مقایسه (مقایسه گروه دوم با گروه سوم) در گروه بندی حاصله از آزمون دانکن نیز بیانگر بالاتر



شکل ۴: میانگین تغییرات کرنش متناسب با زمان در سطوح مختلف رطوبت



شکل ۵: میانگین تغییرات کرنش متناسب با زمان در سطوح مختلف دما

شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که متوسط تغییرات کرنش متناسب با زمان را می‌توان در سه سطح جداگانه طبقه‌بندی کرد. بر این اساس مشاهده می‌شود که متوسط تغییرات کرنش در زمان ۳۰ ثانیه، با متوسط تغییرات کرنش در سایر زمان‌ها اختلاف فاحشی دارد. بررسی شکل ۴ نشان می‌دهد که متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف رطوبت از زمان ۲۱۶۰۰ تا ۶۴۸۰۰ ثانیه اختلاف محسوسی با متوسط سایر تغییرات در زمان‌های بالاتر و پایین‌تر از خود دارد. این امر به ویژه در سطوح اولیه و نهایی (۲۵٪ و ۵۵٪) در مقایسه با سطوح میانی رطوبت (۳۲٪ و ۴۰٪) بارزتر است. متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف رطوبت در زمان‌های بالاتر

از ۶۴۸۰۰ ثانیه اختلاف محسوسی با یکدیگر نشان نمی‌دهند، همچنین این شکل نشان می‌دهد که متوسط تغییرات کرنش متناسب با زمان در سطوح مختلف رطوبت اختلاف مشخصی با یکدیگر دارند. با بررسی شکل ۵ متوجه می‌شویم که متوسط تغییرات کرنش در سطوح فوقانی دما، از زمان ۲۱۶۰۰ تا ۸۶۴۰۰ ثانیه (۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد) و متوسط تغییرات کرنش در سطوح پایینی دما (۶ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد)، از زمان ۲۱۶۰۰ تا ۶۴۸۰۰ ثانیه اختلاف محسوسی با متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف دما در زمان‌های بالاتر و پایین‌تر از خود دارد؛ اما متوسط تغییرات کرنش در زمان‌های بالاتر از ۶۴۸۰۰ ثانیه برای سطوح پایینی دما

۶ و ۱۲ درجه سانتی گراد) و متوسط تغییرات کرنش در زمان های بالاتر از ۸۶۴۰۰ ثانیه برای سطوح پایینی دما (۶ و ۱۲ درجه سانتی گراد) این اختلاف محسوس را با یکدیگر نشان نمی دهند. همچنین این شکل نشان می دهد که متوسط تغییرات کرنش متناسب با زمان در سطوح پایینی دما (۶ و ۱۲ درجه سانتی گراد) اختلاف مشخصی با یکدیگر ندارند.

دما حاکی از قرار گرفتن کرنش فشاری در سه سطح مختلف از دما است. بر این اساس، میزان کرنش در دماهای پایین با یکدیگر اختلاف معنادار آماری ندارند. این در حالی است که میزان کرنش در درجه حرارت بالا در گروه های متفاوت و جداگانه ای طبقه بندی می شود. نتایج حاصل از شکل ۵ نیز نشان داده بود که متوسط تغییرات کرنش متناسب با زمان، در سطوح پایینی دما (۶ و ۱۲ درجه سانتی گراد) اختلاف مشخصی با یکدیگر ندارند.

بررسی تأثیر دما بر کرنش فشاری

جدول ۵ طبقه بندی سطوح مختلف دمای متناسب با کرنش را که از طریق آزمون Duncan به دست آمده است، نشان می دهد.

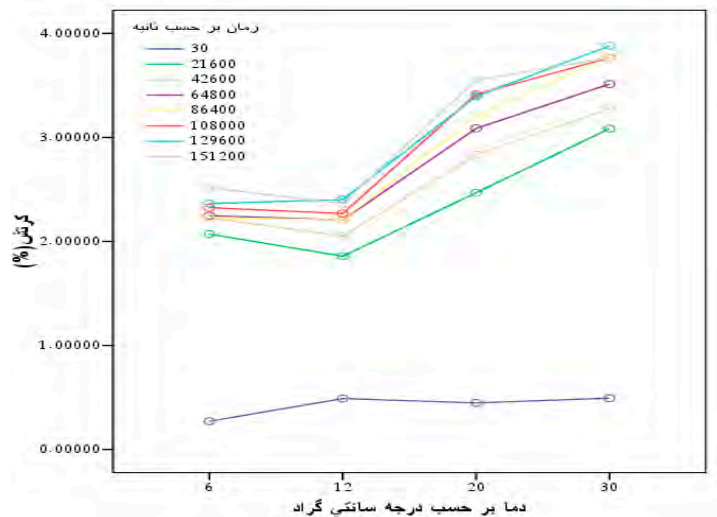
جدول ۶ متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف دما را برای زمان های جداگانه نشان می دهد. شکل ۶ نیز منحنی حاصل از رسم میانگین داده های هر سطر جدول ۵ را در سطوح مختلفی از زمان نشان می دهد.

جدول ۵: بررسی اختلاف بین سطوح مختلف دما و طبقه بندی آن ها بر اساس آزمون دانکن

کرنش (%)-گروه ها			تعداد داده ها	دما (درجه سانتی گراد)	Duncan(a,b)
۳	۲	۱			
		1.9808250	64	12	
		2.0312803	64	6	
	2.8000977		64	20	
93.195254			64	30	
1.000	1.000	.607		Sig.	

جدول ۶: متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف دما و در زمان های جداگانه

زمان (ثانیه)	دما (درجه سانتیگراد)			
	6°C	12°C	20°C	30°C
30	0.2713	0.4899	0.4482	0.4936
21600	2.0704	1.8577	2.4681	3.0847
42600	2.2265	2.0507	2.8346	3.276
64800	2.2473	2.2061	3.0869	3.5126
86400	2.2289	2.2074	3.2024	3.7845
108000	2.3249	2.2678	3.4149	3.7651
129600	2.364	2.4025	3.3952	3.881
151200	2.5168	2.3643	3.5503	3.7644



شکل ۶: متوسط تغییرات کرنش متناسب با دما در سطوح مختلف زمان

در جدول ۷ مشاهده می گردد.

جدول ۷: بهترین برازش های انتخابی بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات دما در سطوح مختلف از زمان

زمان (ثانیه)	بهترین برازشهای انتخابی بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات دما در سطوح مختلف از زمان
30	$y = 0.2985x^{0.4121}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.7544$
21600	$y = 1.6067e^{0.1488x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.7438$
42600	$y = 1.7616e^{0.1482x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.7856$
64800	$y = 1.781e^{0.1676x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.8689$
86400	$y = 1.7023e^{0.196x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.8847$
108000	$y = 1.8044e^{0.1856x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.845$
129600	$y = 1.86e^{0.1833x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9026$
151200	$y = 1.9946e^{0.1614x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.7787$

مطابق با نتایج حاصل از جدول ۷، از هشت برازش صورت پذیرفته در زمان های مختلف تنها یک برازش از مدل آماری نمایی پیروی نمی کند. از این رو می توان

بر اساس شکل ۶، متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف زمان حاکی از یک رفتار غیر خطی با تغییرات دما است. به غیر از منحنی متوسط تغییرات کرنش در سطح زمانی ۳۰ ثانیه، باقی منحنی های استخراج شده از یک فرم معین پیروی می کنند؛ ضمن این که اختلاف آشکاری بین سطح تغییرات کرنش در زمان ابتدایی (۳۰ ثانیه) با سایر سطوح زمانی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات دما مشاهده می گردد. بر این اساس متوسط تغییرات کرنش ابتدا با یک شیب نسبتاً آرام تا رسیدن به سطح دما $12^{\circ}C$ کاهش یافته و سپس با یک شیب تند با افزایش دما فزونی می یابد.

جهت تبیین سهم تغییرات دما در خزش فشاری فرش دستباف تاخورد، بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات دما در سطوح مختلف زمان (داده های هر سطر از جدول ۶)، بهترین برازش ممکن صورت پذیرفت. بهترین برازش های انتخابی برای متوسط تغییرات کرنش با تغییرات سطوح مختلف رطوبت در زمان های متفاوت

عنوان کرد که بین متوسط تغییرات کرنش با تغییرات دما در سطوح مختلف از زمان، تابعی نمایی به شکل رابطه (۳-۱) جهت پیش بینی سهم تغییرات دما در کرنش برقرار است. در این رابطه T متوسط تغییرات دما بر حسب درجه سانتی گراد و y متوسط تغییرات کرنش بر حسب درصد است. 2α و $2B$ در این رابطه ضرایب ثابتی هستند که از طریق انجام برازش غیر خطی ذاتاً خطی حاصل می شوند. e در این رابطه برابر با عدد نپرین (۲,۷۱۸۲) است.

$$y = \alpha_2 e^{\beta_2 T} \quad (3-1)$$

بررسی تأثیر رطوبت بر کرنش فشاری

جدول ۸ طبقه بندی سطوح مختلف رطوبت متناسب با کرنش که از طریق آزمون Duncan به دست آمده است

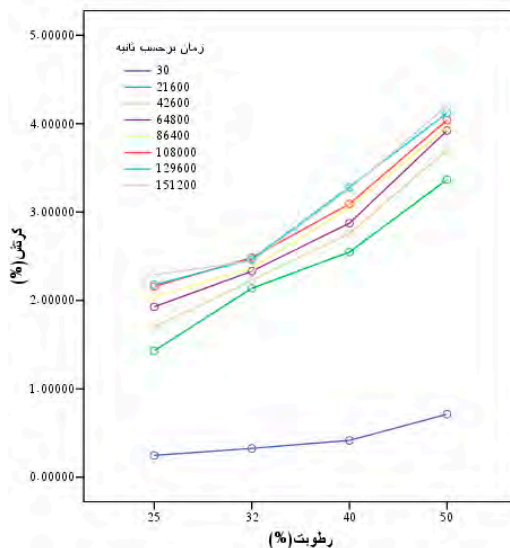
جدول ۹ متوسط تغییرات کرنش را در سطوح مختلف رطوبت و برای زمان های جداگانه نشان می دهد. شکل ۷ نیز منحنی حاصل از رسم میانگین داده های هر سطر جدول ۹ را در سطوح مختلف از زمان نشان می دهد.

جدول ۸: بررسی اختلاف بین سطوح مختلف رطوبت و طبقه بندی آن ها بر اساس آزمون دانکن

کرنش (%)-گروه ها				تعداد داده ها	رطوبت (%)	Duncan(a,b)
۴	۳	۲	۱			
			1.7460558	64	25	
		2.0983616		64	32	
	2.6601160			64	40	
3.5029244				64	50	
1.000	1.000	1.000	1.000		Sig.	

جدول ۹: متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف از رطوبت و در زمان های جداگانه

زمان (ثانیه)	رطوبت (%)			
	25%	32%	40%	55%
30	0.2475	0.3261	0.4164	0.713
21600	1.4299	2.1376	2.5467	3.3669
42600	1.6975	2.2293	2.7577	3.7035
64800	1.9275	2.33	2.874	3.9213
86400	2.0425	2.3687	3.0511	3.961
108000	2.1571	2.484	3.0915	4.0401
129600	2.1762	2.4651	3.2822	4.1191
151200	2.2902	2.446	3.2613	4.1984



شکل ۷: میانگین تغییرات کرنش متناسب با رطوبت در سطوح مختلف زمان

جدول ۱۰: بهترین برازش‌های انتخابی بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات رطوبت در سطوح مختلف از زمان

زمان (ثانیه)	بهترین برازش‌های انتخابی بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات رطوبت در سطوح مختلف از زمان
30	$y = 0.1674e^{0.3419x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9631$
21600	$y = 1.414x^{0.5917}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.984$
42600	$y = 1.317e^{0.2553x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9965$
64800	$y = 1.4858e^{0.234x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9856$
86400	$y = 1.5795e^{0.224x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9856$
108000	$y = 1.6914e^{0.2101x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.982$
129600	$y = 1.6835e^{0.22x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9795$
151200	$y = 1.7481e^{0.2106x}$
ضریب همبستگی	$R^2 = 0.9486$

بر اساس شکل ۷، متوسط تغییرات کرنش در سطوح مختلف زمان، یک رفتار غیر خطی با تغییرات رطوبت را نشان می دهد. به غیر از منحنی متوسط تغییرات کرنش در سطح زمانی ۲۱۶۰۰ ثانیه، سایر منحنی های استخراج شده از یک فرم معین پیروی می نمایند؛ ضمن این که اختلاف آشکاری بین سطح تغییرات کرنش در زمان ابتدایی (۳۰ ثانیه) با سایر سطوح زمانی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات رطوبت مشاهده می گردد. بر این اساس متوسط تغییرات کرنش ابتدا باید با یک شیب آرام تا رسیدن به سطح رطوبت ۳۲٪ افزایش یافته و سپس با یک شیب تند، متناسب با افزایش میزان رطوبت فزونی بیشتری یابد.

جهت تبیین سهم تغییرات رطوبت در خزش فشاری فرش دستباف تاخورده، بهترین برازش ممکن بر روی متوسط تغییرات کرنش با تغییرات رطوبت در سطوح مختلف زمان (داده های هر سطر از جدول ۹) صورت پذیرفت. بهترین برازش های انتخابی برای متوسط تغییرات کرنش با تغییرات سطوح مختلف رطوبت در زمان های متفاوت در جدول ۱۰ نشان داده شده است. مطابق با نتایج حاصل از جدول ۱۰، از هشت برازش

صورت پذیرفته در زمان های مختلف تنها یک برازش از مدل آماری نمایشی پیروی نمی کند. از این رو می توان بیان داشت که بین متوسط تغییرات کرنش با تغییرات رطوبت در سطوح مختلف از زمان، تابعی نمایشی به شکل رابطه (۳-۲) جهت پیش بینی سهم تغییرات رطوبت در کرنش برقرار است. در این رابطه H متوسط تغییرات رطوبت بر حسب درصد و y متوسط تغییرات کرنش بر حسب درصد است. α و β ضرایب ثابتی هستند که از طریق انجام برازش غیر خطی ذاتاً خطی حاصل می گردند. e در این رابطه برابر با عدد نپرین (۲,۷۱۸۲) است.

$$y = \alpha_1 e^{\beta_1 H} \quad (3-2)$$

بررسی اثرات متقابل دما، رطوبت و زمان در خزش فشاری فرش دستباف تاخورده
جدول ۹-۱۹ تأثیر سطوح مختلف از دما، رطوبت و زمان و اثرات متقابلشان بر روی کرنش فشاری فرش دستباف را که از آنالیز واریانس سه عاملی حاصل شده است، نشان می دهد.

جدول ۱۱: تأثیر سطوح مختلف از دما، رطوبت و زمان و اثرات متقابل آن ها بر روی کرنش فشاری فرش دستباف

Sig.	F	Mean Square	D _f	Type III Sum of Squares	Source
.000	10.450	3.196	127	405.900	Corrected Model
.000	5239.206	1602.387	1	1602.387	Intercept
.000	78.966	24.151	7	169.060	Time
.000	74.123	22.670	3	68.011	Temputer
.000	122.849	37.573	3	112.718	Humidity
.044	1.671	.511	21	10.732	temputer ×time
.072	1.551	.474	21	9.964	humidity ×time
.000	9.875	3.020	9	27.182	humidity ×Temputer
1.000	.427	.131	63	8.232	×temputer ×time
		.306	128	39.148	humidity Error
			256	2047.436	Total
			255	445.049	Corrected Total

مقدار معنی دار بودن در ستون انتهایی جدول ۱۱، سطح معنی داری فاکتورهای دما، رطوبت و زمان را نشان می دهد. بر اساس مقادیر محاسبه شده، سطح معنی دار زمان، رطوبت و دما برابر با صفر است؛ لذا فرض یکسان بودن سطوح مختلف زمان، دما و رطوبت را با اطمینان ۰,۹۹۹ می توان رد کرد. هم چنین با توجه به سطح معنی داری متناظر با اثر متقابل «دما × رطوبت»، فرض یکسان بودن سطوح مختلف اثر متقابل دما × رطوبت بر روی تغییرات کرنش فشاری فرش دستباف را نیز با اطمینان ۰,۹۹۹ می توان رد کرد. با این حال فرض یکسان بودن سطوح مختلف اثر متقابل «دما × رطوبت × زمان» بر روی تغییرات کرنش فشاری فرش دستباف را نمی توان رد کرد.

مقادیر معنی داری برای اثر متقابل زمان × دما و هم چنین زمان × رطوبت در جدول ۱۱ نشان می دهد که فرض برابری سطوح مختلف اثرات متقابل آن ها را می توان به ترتیب با اطمینان ۰,۹۵۶ و ۰,۹۲۸ رد کرد.

۳-۵- تعیین مدل آماری تبیین کننده رفتار خزش فشاری فرش دستباف متناسب با تغییرات دما، رطوبت و زمان
برای تبیین مدلی آماری جهت توصیف تغییرات خزش فشاری بر حسب تغییرات دما، رطوبت و زمان، با توجه به روابط (۱-۳) و (۲-۳) و استفاده از روش های عددی، بهترین معادله برازش یافته برای پیش بینی تغییرات کرنش فشاری متناسب با زمان، دما و رطوبت به صورت رابطه (۴) می باشد.

$$y = -b_1 \times e^{b_2 H} \times e^{b_3 S} \times e^{b_4 T} + d \quad (4)$$

در این رابطه T دما بر حسب درجه سانتی گراد، H رطوبت نسبی بر حسب درصد، S زمان بر حسب ثانیه، y میزان کرنش فشاری بر حسب درصد و b1، b2، b3، b4، d، ضرایب ثابتی هستند که از طریق برازش حاصل می گردند.

رابطه (۴) را می توان به صورت (۵) ساده کرد.

$$y = -b_1 \times e^{(b_2 H + b_3 S + b_4 T)} + d \quad (5)$$

با برازش این رابطه بر داده های حاصل شده از بلوک کامل ۴×۴ تصادفی شده، ضرایب b1، b2، b3، b4، d به صورت جدول ۱۲ ارائه می گردند.

در این جدول انحراف از معیار ضرایب ذکر شده و فاصله اطمینان آن ها در دو ستون آخر نشان داده شده است. جدول ۱۳ نیز همبستگی بین ضرایب مدل را نشان می دهد که حاکی از همبستگی کامل این ضرایب با یکدیگر است.

جدول ۱۲: برآورد پارامترهای مدل برازش یافته بر تغییرات کرنش متناسب با زمان، دما و رطوبت

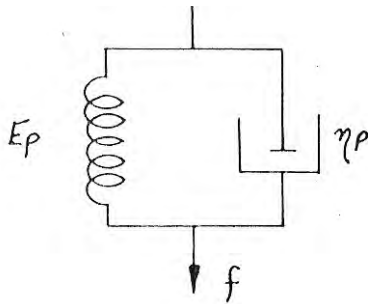
پارامترها	میزان برآورد شده	انحراف از معیار میزان برآورد شده		95% فاصله اطمینان	
		کرن پایین	کرن بالا	کرن پایین	کرن بالا
b ₁	436.304	2797.411	-5047.300	5919.907	
b ₂	.000	.001	-.002	.002	
b ₃	-1.53E-008	.000	-2.12E-007	1.81E-007	
D	434.771	2797.539	-5049.083	5918.625	
b ₄	.000	.001	-.002	.002	

جدول ۱۳: همبستگی بین پارامترهای مدل برازش یافته بر تغییرات کرنش متناسب

با زمان، دما و رطوبت

	b ₄	d	b ₃	b ₂	b ₁	
B ₁	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
B ₂	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
B ₃	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
D	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
B ₄	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	

برآورد ضرایب در جدول ۱۲ نشان می دهد که ضرایب b2 و b4 با یکدیگر مساوی شده و به سمت صفر میل می کنند. از سویی دیگر ضریب b1 و d از انحراف معیار تقریباً یکسانی برخوردار بوده و تقریباً در یک حدود قرار می گیرند. جهت اطمینان از صحت مدل می بایست ضریب R2 را برای مدل آماری برازش یافته محاسبه کرد. جدول ۱۴ آنالیز واریانس مدل آماری برازش یافته را نشان می دهد که بر اساس آن می توان ضریب R2 را برای مدل



شکل ۸: مدل مکانیکی Voigt-Kelvin (۲)

بر این اساس و با توجه به برآورد ضرایب رابطه (۵)، می توان آن را به صورت رابطه (۹) نوشت:

$$y = -436.304 \times e^{(-1.5 \times 10^{-8} S)} + 434.771 \quad (9)$$

در صورتی که در رابطه (۹) از اختلاف ناچیز بین ضرایب b_1 و d صرف نظر گردیده و $d = b_1$ فرض شود، می توان رابطه (۹) را به صورت (۱۰) نوشت.

$$y = -436.304 \times (1 - e^{(-1.5 \times 10^{-8} S)}) \quad (10)$$

از تطابق رابطه (۱۰) با (۷) می توان نتیجه گرفت که:

$$b_1 = \frac{f_0}{E} \quad (11)$$

و هم چنین:

$$b_3 = \frac{-1}{\partial} = \frac{E}{\gamma} \quad (12)$$

لذا بر اساس روابط (۱۱) و (۱۲) می توان میزان عددی ∂ و γ را محاسبه کرد. مقادیر محاسبه شده در جدول ۱۵ مشاهده می-گردند.

جدول ۱۵: مقادیر محاسبه شده مدول الاستیسیته، ضریب ویسکوزیتی و ثابت خزشی نمونه فرش آزمایشی تاخورد

ضرایب	میزان محاسبه و برآورد شده
∂	$10^8 \times 0.5$
γ	۴۵۵.۳۴۴۱۰,۳
E	۶,۸۲۵۵

برآزش یافته به صورت رابطه (۶) محاسبه نمود.

$$R2 = 1 - (\text{مجموع مربعات اصلاح شده} / \text{مجموع مربعات مانده ها}) = 0.9999$$

جدول ۱۴: آنالیز واریانس مدل آماری برآزش یافته بر تغییرات کرنش متناسب با زمان، دما و رطوبت

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	متوسط مربعات
برآزش	67422.185	5	13484.437
مانده ها	4898.291	8532	.574
مجموع اصلاح نشده	72320.476	8537	
مجموع اصلاح شده	12443.323	8536	

بنابراین با توجه به داده های جدول ۱۴ و بر اساس رابطه (۶) می توان نوشت:

$$R2 = 1 - (4898.291 / 12443.323) = 0.606$$

در نتیجه میزان همبستگی به دست آمده برای یک مدل آماری غیر خطی ذاتاً غیر خطی، قابل توجه و مناسب می باشد (۰,۶۰۶).

۳-۶ محاسبه و برآورد ضرایب ویسکوزیتی، مدول الاستیسیته و ثابت خزشی فرش دستباف تاخورد خزش در مدل موازی به صورت رابطه (۷) محاسبه می شود:

$$\varepsilon = \frac{f_0}{E} \left(1 - e^{(-t/\partial)} \right) \quad (7)$$

که در آن ε کرنش، f_0 تنش ثابت، E مدول یانگ، t زمان و ∂ ثابت خزش مواد است که عبارتست از:

$$\partial = \frac{\gamma}{E} \quad (8)$$

γ نیز در این رابطه ضریب ویسکوزیتی محسوب می شود. شکل ۸ مدل موازی مکانیکی تعریف شده برای توصیف رفتار خزشی در مواد ویسکو الاستیک را نشان می دهد.

نتیجه گیری

بر این اساس و با توجه به تأثیر مستقیم حرارت و رطوبت در میزان کرنش فشاری فرش دستباف تاخورد، می توان انتظار داشت که افزایش رطوبت و افزایش دما هر دو سبب افزایش کرنش فشاری می شوند. سهم هر یک متناسب با ضریب پارامترهای θ و θ متفاوت است و همواره بسیار کم تر از سهم زمان می باشد.

با شناسایی مدل خزشی فرش دستباف می توان رفتار آن را در زمانی که تحت فشار قرار می گیرد، پیش بینی کرد. در نتیجه زمانی که فرش تحت فشار ناشی از بارهای مختلف حین انبارداری، نگهداری یا مصرف قرار بگیرد، می توان با آگاهی از تأثیرات منفرد و متقابل زمان، دما و رطوبت که هر یک سهم مهمی را در معادله خزش فشاری فرش بازی می کنند، از صدمات وارده بر فالی کاست و آثار ناشی از خزش را در فرش کاهش داد.

فهرست منابع:

۱. نورپناه، م. (۱۳۷۷)؛ «فیزیک نساجی»، چاپ دوم، نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۱۸۹-۱۷۷.
2. Morton, W.E.; Hearle, J.W.S. (1975); "Physical Properties of Textile Fibers", Second Published, the Textile Institute, London, pp. 431,349-352,465,466,461.

پیش تر از این، در مقاله ای دیگر (۱۵) با بررسی همبستگی بین کرنش و زمان در دما و رطوبت ثابت و برازش بر روی داده ها نتیجه گیری شد که بهترین مدل جهت توصیف رفتار یک فرش تاخورد، مدل Eyring به صورت معادله (۲) می باشد.

$$y = a \ln(t) - b \quad (2)$$

۳. کریمی، ح. (۱۳۸۲)؛ «بررسی خزش نخ های مخلوط پنبه/ پلی استر»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صفحات ۱ و ۵ و ۸-۶.

لیکن با لحاظ کردن پارامترهای دما و رطوبت و مدل سازی آماری بر اساس روش های عددی (Numerical Method)، به شکل قابل قبولی تعمیم مدل Voight - Kelvin با استفاده از پارامترهای دما و رطوبت می تواند تفسیرگر مناسبی از رفتار خزش فشاری فرش دستباف تاخورد باشد (به صورت معادله ۷). هم چنین بررسی و آنالیز واریانس سطوح مختلف دما و رطوبت نشان داد که اختلاف معنی دار قابل ملاحظه ای بین آن ها وجود دارد و نمی توان تأثیر آن ها بر روی کرنش را یکسان در نظر گرفت. آنالیز واریانس این را نیز مشخص کرد که سطوح مختلف ۱۶ گانه دما و رطوبت، که کرنش در آن ها متناسب با رشد زمان اندازه گیری شده است، با یکدیگر برابر نبوده و هر یک در سطحی جداگانه قرار می گیرند. این مسئله نشان دهنده تأثیر مستقیم دما و رطوبت بر میزان کرنش فشاری فرش دستباف تاخورد است.

۴. توانایی، ح. (۱۳۷۶)؛ «فیزیک الیاف»، چاپ اول، انتشارات ارکان، اصفهان، ص ۲۶۷-۲۵۹.
۵. حقیقت کیش، م؛ افشار، م. (۱۳۷۷)؛ «نظریه ها و مسائل خواص فیزیکی الیاف»، چاپ اول، نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۱۳۰، ۱۲۸ و ۱۴۱.
۶. مجابی، س.ع. (زمستان ۱۳۸۵)؛ «اثر عملیات تاخوردگی و بسته بندی بر خواص فیزیکی و مکانیکی فرش دستباف در شرایط محیطی مختلف»، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ص ۱۱۷-۱۱۳.
۷. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (خردادماه ۱۳۷۱)؛ استاندارد ملی شماره ۵۰۰، چاپ سوم.

۸. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (آذر ماه ۱۳۶۴)؛ استاندارد ملی شماره ۴۵۳، چاپ سوم.
۹. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (تیر ماه ۱۳۷۳)؛ استاندارد ملی شماره ۸۸۶، چاپ دوم.
۱۰. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (آذر ماه ۱۳۵۴)؛ استاندارد ملی شماره ۱۲۴۰، چاپ دوم.
۱۱. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (آبان ماه ۱۳۷۲)؛ استاندارد ملی شماره ۴۵۶، چاپ چهارم.
۱۲. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (آذر ماه ۱۳۷۵)؛ استاندارد ملی شماره ۱۷۲۰، چاپ دوم.
۱۳. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (خردادماه ۱۳۷۱)؛ استاندارد ملی شماره ۱۱۴۳، چاپ اول.
14. Shirley Development Ltd. (2005); "The Catalogue, catalogue No.8", England.
15. Mojabi, S.A.; Shikhzadeh Najjar, S.S.; Hosseini Hashemi, S.; Rashidi, A.; Bassam, S.J. (2006); "Silk Persian Carpet under Loading in Different Environmental Conditions", GOLJAAM, No.3, pp.91-104.
16. Mojabi, S.A.; Shikhzadeh Najjar, S.S.; Hosseini Hashemi, S.; Rashidi, A.; Bassam, S.J. (2008); "Investigation of Creep Behavior of Persian Hand-woven Carpet During Simulated Storage under Different Environmental Conditions", FTEE, Vol.16, No.1(66), pp. 57-62.