

ارائه مدل عددی جهت شبیه‌سازی رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی

مظفری شمسی، وجیهه^۱، پیوندی، پدram*^۲

^۱دانشگاه یزد، دانشکده نساجی، mozafary_v_66@yahoo.com

^۲دانشگاه یزد، دانشکده نساجی، peivandi@yazd.ac.ir

peivandi@yazd.ac.ir*

چکیده

لول خوردگی یک خاصیت منحصر به فرد پارچه‌های حلقوی یکروسیلندر است که می‌تواند کاربردهایی در صنعت مد و طراحی لباس داشته باشد. دلیل وجود لول خوردگی، ساختار نامتعادل حلقه در کناره‌های پارچه و گشتاورهای خمشی نخ در پارچه‌های حلقوی یکروسیلندر است. در پارچه‌های حلقوی دوروسیلندر به دلیل اینکه از دو سری حلقه استفاده می‌شود، هر سری حلقه‌ها تمایل به لول شدن در جهت مخالف را دارند که منجر به ظاهر طبیعی و بدون لول خوردگی در این نوع پارچه‌ها می‌شود. هدف از این مقاله ارائه مدلی برای شبیه‌سازی رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی بر اساس مدل فیزیکی جرم و فنر می‌باشد. بدین منظور ابتدا ممان‌های خمشی و پیچشی که بر روی لبه‌های پارچه اعمال شده و منجر به لول خوردگی می‌شود، تعیین گردید. سپس با استفاده از مدل ارائه شده، شکل لول خوردگی چند نمونه پارچه حلقوی در جهت رج و ردیف شبیه‌سازی گردید. برای نشان دادن میزان کارایی مدل ارائه شده، پارامترهای لول خوردگی از جمله قطر و فاصله لول خوردگی در مدل شبیه‌سازی شده و پارچه واقعی با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده قادر است شکل لول خوردگی پارچه‌های حلقوی را با دقت ۸۸ درصد پیش‌بینی نماید.

کلید واژه- پارچه حلقوی، شبیه‌سازی، لول خوردگی، مدل جرم و فنر.

۱- مقدمه

برخی از محققان رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی را به صورت تئوری و تجربی بررسی کرده‌اند. والکر^۱ در سال ۱۹۵۲ [۱]، رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی را بررسی کرد و نشان داد که سختی کششی، خمشی پارچه بر روی میزان لول خوردگی تاثیر گذار هست. همیلتون^۲ و همکارش در سال ۱۹۷۴ [۲]، یک روش اندازه‌گیری کوپل پیچشی و لول خوردگی برای پارچه‌های حلقوی ارائه دادند. پاکان^۳ و همکارش در سال ۱۹۹۵ [۳]، اثبات کردند که لول خوردگی تحت تاثیر عملیات تکمیل و استراحت پارچه‌های حلقوی است. یوکار^۴ در سال ۲۰۰۰ [۴]، ممان‌های خمشی و پیچشی که منجر به لول خوردگی در پارچه‌های حلقوی می‌شود، را با استفاده از تئوری کاستیلیونا اندازه‌گیری کرد. کورباک^۵ در سال ۲۰۰۸ [۵]، یک مدل هندسی برای رفتار

¹ Walker

² Hamilton

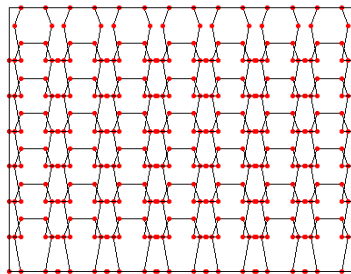
³ Phukan

⁴ Ucar

⁵ Kurbak

لول خوردگی پارچه‌های حلقوی ارائه داد. باسیری^۱ در سال ۲۰۱۰ [۶]، رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی میکروسیلندر پنبه‌ای را بررسی کرد و نشان داد که نیرو و انرژی بازکردن لول خوردگی با فاصله لول خوردگی از لبه پارچه رابطه غیرخطی دارد. میناپور^۲ در سال ۲۰۱۳ [۷]، تاثیر پارامترهای نخ و پارچه از جمله نسبت مخلوط، تاب و نمره نخ، ساختار و تراکم پارچه و زمان استراحت را بر روی میزان لول خوردگی پارچه‌های حلقوی بررسی کرده است. حسنی^۳ در سال ۲۰۱۴ [۸]، تاثیر حلقه نیم بافت، نبافت و تاب نخ را بر روی لول خوردگی پارچه‌های حلقوی تحلیل کرد. اگر چه تعدادی از محققان رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی را با استفاده از روش‌های فیزیکی و هندسی بررسی کرده‌اند، اما شبیه‌سازی رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. کالدور^۴ در سال ۲۰۰۸ [۹]، یک مدل جدید برای شبیه‌سازی رفتار لول خوردگی پارچه حلقوی به نام مدل میله ارائه داده است. مدل وی بر اساس حرکت نخ در حلقه است. کیریو در سال ۲۰۱۵ [۱۰]، یک روش برای شبیه‌سازی پارچه حلقوی در سطح نخ با استفاده از تماس حلقه‌های مجاور ارائه داد. مدل وی می‌توانست رفتار لول خوردگی پارچه حلقوی را پیش‌بینی کند. در کارهای انجام شده در زمینه شبیه‌سازی رفتار پارچه حلقوی، ارتباط بین مدل و پارامترهای پارچه از جمله خواص حلقه بررسی نشده است. بنابراین در این مقاله مدلی بر اساس جرم و فنر برای پیش‌بینی رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی بر اساس پارامترهای پارچه ارائه شده است.

در مدل جرم و فنر، پارچه به صورت شبکه‌ای از نقاط جرم و فنر (مش) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به نحوه اتصالات بین ذرات و فنرها، انواع مختلفی از مش‌بندی توسط محققین ارائه گردیده است. با در نظر گرفتن ساختار پارچه حلقوی مناسبترین مش برای شبیه‌سازی رفتار پارچه حلقوی، مش حلقه می‌باشد. مش حلقه بر اساس ساختار حلقه در پارچه‌های حلقوی تعریف شده است. مزیت این مش‌بندی نسبت به سایر مش‌هایی که برای پارچه حلقوی ارائه شده این است که انتخاب نقاط جرم در مش حلقه و تعیین فواصل بین آن‌ها بر اساس تئوری‌های هندسی موجود برای شکل حلقه می‌باشد [۱۰]. بنابراین در این مقاله از مش حلقه برای شبیه‌سازی رفتار پارچه حلقوی استفاده شده است. ساختار مش حلقه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: ساختار مش حلقه

در این تحقیق برای مدل کردن نیروی لول خوردگی از مدل تئوری ارائه شده توسط یوکار استفاده شد [۴]. یوکار برای تعیین نیروی لول خوردگی در پارچه حلقوی، ابتدا ممان اعمال شده بر حلقه را در جهت رج و ردیف محاسبه کرد. وی برای تعیین ممان‌ها، ابتدا حلقه نخ را به هفت ناحیه تقسیم کرد و تعادل ممان را برای هر ناحیه با استفاده از قضیه کاستیلیونا به دست آورد. برطبق تئوری کاستیلیونا، تعادل ممان برای هر ناحیه می‌تواند محاسبه شود و در نهایت معادله کلی تعادل به صورت معادله زیر محاسبه می‌شود.

¹ Basiri

² Minapoor

³ Hasani

⁴ Kaldor

$$E I . \delta_z = F_z . \left[\frac{5}{6} \times \frac{R}{c} \times \left(\frac{2l}{3} \right)^3 \right] + F_z . \left[\left(\frac{4l}{3} \times \frac{R}{c} \times \frac{2l}{3} \times \left(c - \frac{4l}{3} \right) \right) + \frac{4l}{3} \times \frac{R}{c} \times \frac{1}{2} \times \left(c - \frac{4l}{3} \right)^2 \right] - \left(c \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{2l}{3} \right)^2 \right) \quad (1)$$

$$+ F_z . \left[\left(\frac{4l}{3} \times \frac{R}{c} \times \frac{2l}{3} \times c \right) - \left(\frac{4l}{3} \times \frac{R}{c} \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{2l}{3} \right)^2 \right) + \left(\frac{1}{6} \times \left(\frac{2l}{3} \right)^3 \right) \right] + F_z . \left[\left(\frac{1}{2} \times R \times \left(\frac{2l}{3} \right)^2 \right) - \left(\frac{1}{6} \times \left(\frac{2l}{3} \right)^3 \right) \right]$$

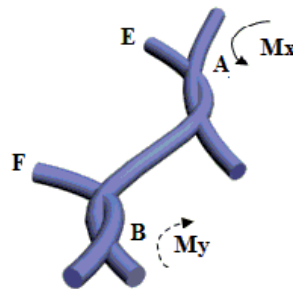
که در معادله (۱)، C, W فضای رج و ردیف به ترتیب $(C=1/W, w=1/W)$ تعداد رجها و ردیفها در واحد طول پارچه). R : شعاع دایره‌ای قسمت حلقه، d قطر نخ و L طول قسمتی از حلقه که نیرو به آن اعمال می‌شود، است که با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$l = d . \left(d - \frac{w}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{w^2 + 4d^2 + 4wd + \frac{8wc^2}{d}} \right) / 2 \left(\frac{d^2}{c} + c \right) \quad (2)$$

ممان برآیند حول محور ردیف M_y و حول محور رج M_x که تمایل دارد حلقه‌ها را در جهت ردیف و رج خم کند، به ترتیب با استفاده از معادلات (۳) و (۴) محاسبه می‌شود. این ممان‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$M_y = \sqrt{(F_z d)^2 + (F_z |GW|)^2}, \quad GW = 2 \times \left(\frac{d}{2} - \left[\frac{d^3 - \frac{d^2 w}{2} + \frac{d^2}{2} \sqrt{w^2 + 4d^2 + 4wd + \frac{8wc^2}{d}}}{2d^2 + 2c^2} \right] \right) \quad (3)$$

$$M_x = F_z |AB| \quad (4)$$



شکل ۲: تاثیر ممان‌ها در رفتار لول خوردگی

۲- تجربیات

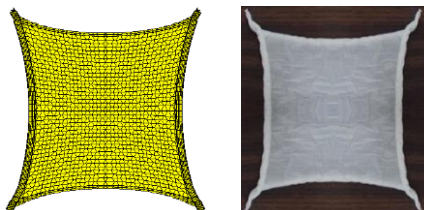
در این تحقیق از ۱۲ نوع پارچه حلقوی میکروسیلندر از جنس پنبه و پلی استر و بافت ساده استفاده شده است. سایر مشخصات نمونه پارچه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات نمونه پارچه‌ها

شماره نمونه	جنس	نمره نخ (تکس)	تراکم حلقه (1/Cm ²)	وزن (g/m ²)	شماره نمونه	جنس	نمره نخ (تکس)	تراکم حلقه (1/Cm ²)	وزن (g/m ²)
۱	پنبه	۲۹	۲۴۰	۱۷۸/۷۸	۷	پلی استر	۱۱	۱۴۴	۱۵۶/۸۵
۲	پنبه	۲۹	۴۰۰	۲۰۳/۴۴	۸	پلی استر	۱۱	۱۴۴	۱۵۷/۴۴
۳	پنبه	۱۹	۵۶۰	۲۰۷/۱۸	۹	پلی استر	۱۶	۲۸۰	۱۷۶/۴۸
۴	پنبه	۲۹	۲۸۰	۱۷۹/۷۷	۱۰	پلی استر	۱۶	۲۴۰	۱۷۲/۳۹
۵	پنبه	۲۹	۴۰۰	۲۱۳/۴۰	۱۱	پلی استر	۱۱	۶۰۰	۲۱۷/۸۵
۶	پنبه	۱۹	۳۳۶	۱۸۶/۰۹	۱۲	پلی استر	۱۱	۳۰۸	۱۷۵/۸۵

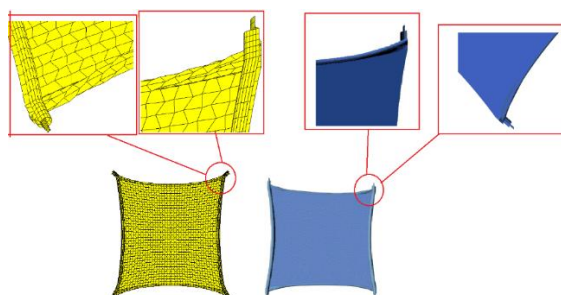
بعد از تهیه نمونه‌ها، با اندازه‌گیری خواص نمونه پارچه‌ها، ضرایب مدل جرم و فنر تعیین گردید [۱۰]. بعد از تعیین پارامترهای مدل، رفتار لول خوردگی پارچه‌های میکروسیلندر با استفاده از مش حلقه شبیه‌سازی شد. شکل لول خوردگی در نمونه پارچه ۱ و

همچنین مدل شبیه‌سازی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۴، شکل لول خوردگی با بزرگنمایی زیاد در گوشه‌های پارچه برای نمونه پارچه ۱ و شکل رندر شده پارچه با استفاده از نرم افزار 3D Max را نشان می‌دهد.



ب الف

شکل ۳: لول خوردگی در الف) پارچه واقعی ب) مدل شبیه‌سازی شده



شکل ۴: شکل لول خوردگی در گوشه‌های پارچه برای نمونه پارچه ۱

۳- بحث و نتایج

در این مقاله، قطر و فاصله لول خوردگی نمونه پارچه‌های حلقوی یکروسیلندر به عنوان یک معیار برای میزان لول خوردگی محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری فاصله لول خوردگی نمونه‌ها به ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتیمتر مربع بریده و به مدت ۲۴ ساعت روی سطح صاف پهن شد و پس از استراحت خشک هر یک از یک نمونه‌ها در هر دو جهت رج و ردیف در ۱۰ نقطه در هر طرف علامتگذاری شد. قطر لول خوردگی و فاصله لول خوردگی آن‌ها تا لبه بر حسب سانتیمتر اندازه‌گیری شد، این عمل برای هر نمونه ۵ بار تکرار گردید.

برای بررسی میزان دقت مدل در پیش‌بینی رفتار لول خوردگی، قطر و فاصله لول خوردگی در مدل شبیه‌سازی شده و پارچه واقعی با هم مقایسه گردید. نتایج مقایسه قطر و فاصله لول خوردگی در مدل شبیه‌سازی و پارچه واقعی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقایسه پارامترهای لول خوردگی در پارچه واقعی و مدل شبیه‌سازی شده

شماره نمونه	جهت	خطا (%)		شماره نمونه	جهت	خطا (%)	
		قطر لول خوردگی	فاصله لول خوردگی			قطر لول خوردگی	فاصله لول خوردگی
۱	رج	۱۷	۹	۷	رج	۱۰	۲۱
	ردیف	۱۳	۱۰		ردیف	۸	۲۳
۲	رج	۱۵	۱۵	۸	رج	۱۱	۳
	ردیف	۱۲	۱۰٫۵		ردیف	۷٫۵	۸٫۵
۳	رج	۷٫۵	۸٫۵	۹	رج	۶	۴

۶,۵	۴,۵	ردیف	۶	۸	ردیف	
۸	۵,۵	رج	۷	۱۱	رج	۴
۶	۴	ردیف	۹	۱۲	ردیف	
۱۱	۵,۵	رج	۷,۵	۵,۸	رج	۵
۱۲	۷	ردیف	۹,۵	۶	ردیف	
۴,۵	۸,۵	رج	۱۵	۱۷,۵	رج	۶
۵	۱۰	ردیف	۱۲	۱۴,۵	ردیف	
۹,۱۲	۱۶,۷۵				رج	میانگین
۹,۸۳	۸,۸۷				ردیف	

نتیجه گیری

لول خوردگی لبه‌ها یک خاصیت مهم در پارچه‌های حلقوی است، بنابراین هدف از این مقاله ارائه یک مدل جدید بر اساس جرم و فنر جهت شبیه‌سازی رفتار لول خوردگی پارچه‌های حلقوی یکروسیلندرمی باشد. بدین منظور ابتدا ممان‌های خمشی و پیچشی اعمال شده به لبه‌های پارچه تعیین گردید، سپس این ممان‌ها در مدل جرم و فنر لحاظ گردید. به منظور اثبات کارایی مدل ارائه شده رفتار لول خوردگی ۱۲ نوع پارچه حلقوی یکروسیلندر با خصوصیات متفاوت با استفاده از مدل ارائه شده شبیه‌سازی گردید و با پارامترهای لول خوردگی (فاصله و قطر لول خوردگی) در جهت رج و ردیف در پارچه واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میزان خطای مدل ارائه شده در پیش‌بینی شکل لول خوردگی پارچه‌های حلقوی یکروسیلندر تقریباً ۱۲ درصد می‌باشد.

مراجع

- [1] E.M. Walker, F.T.I. Doyle and P.J.J. Doyle, "Some Fundamental Properties of Hosiery Yarns and their Relation to the Mechanical Characteristics of Knitted Fabrics" *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 43, No. 1, pp. 19-35, 1952.
- [2] R.J. Hamilton and R. Postle, "Bending and Recovery Properties of Wool Plain-Knitted Fabrics" *Textile Research Journal*, Vol. 43, No. 5, pp. 19-35, 1974.
- [3] A.R. Phukan and V. Subramaniam, "Degree and Stability of the Flat Set of Plain. Weft Knitted Fabrics, Part I: Effect of Finishing Treatments" *Textile Research Journal*, Vol. 65, No. 8, pp. 471-477, 1995.
- [4] N. Ucar, "Prediction of Curling Distance of Dry-Relaxed Cotton Plain Knitted Fabrics. Part 1: Theoretical analysis of moments on the loop that force the fabric to curl" *Journal of Textile Engineering*, Vol. 46, No. 6, pp. 109-117, 2000.
- [5] A. Kurbak and O. Basic, "Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curling of Plain Knitted Fabrics" *Textile Research Journal*, Vol. 78, No. 3, pp. 198-208, 2016.
- [6] M.R. Basiri, S.S. Najari, M.E. Yazdan-Shenas and M.M. Najafizadeh, "A new Approach to de-curling Force of Single Jersey Weft-knitted Fabric" *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 101, No. 11, pp. 941-949, 2010.
- [7] S.H. Minapoor, S. Ajeli, H. Hasani and M. Shanbeh, "Investigation into the Curling Behavior of Single Jersey Weft-knitted Fabrics and its Prediction using Neural Network Model" *The Journal of the Textile Institute*, Vol. 104, No. 5, pp. 550-561, 2013.
- [8] H. Hasani, S. Ajeli, P. Kheirkhah and A. Pasandidehpour, "An Investigation into the Effect of Fabric Structure and Yarn Twist Direction on the Curling Behavior of Single Jersey Weft Knitted Fabrics" *Journal of Fashion Technology and Textile Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-6, 2014.
- [9] J.M. Kaldor, D.M. James and S. Marschner, "Simulating Knitted Cloth at the Yarn Level" *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 1-8, 2008.
- [10] G. Cirio, J.L. Moreno and M.A. Otaduy, "Efficient Simulation of Knitted Cloth Using Persistent Contacts", *Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, Los Angeles, California, pp. 55-61, 2015.

[۱۱] مظفری، وجیهه، "ارائه مدل عددی برای شبیه سازی رفتار اویزش پارچه حلقوی پودی با در نظر گرفتن پارامترهای ساختاری"، پایان نامه جهت دریافت درجه دکترا، دانشگاه یزد، دانشکده نساجی، ۱۳۹۶.