



## استفاده از مدل جرم و فنر در شبیه‌سازی رفتار آویزش پارچه حلقوی براساس سیستم اندازه‌گیری فست

وجیهه مظفری\*<sup>۱</sup>، پدram پیوندی<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه یزد

### چکیده

در این مقاله یک مدل جرم و فنر برای شبیه‌سازی رفتار آویزش پارچه‌های حلقوی پودی ارائه شده است. پارامترهای تاثیر گذار بر روی آویزش پارچه شامل خواص کششی، برشی و خمشی با استفاده از سیستم ارزیابی فست اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج آزمایشات فست، روابط کشش، برش و خمش در مدل ارائه شده برای ۹ نمونه پارچه حلقوی به صورت غیر خطی درجه ۲ حاصل شد. سپس شکل آویزش پارچه در حالتی که از چهار گوشه ثابت تحت وزن خود آویزان است شبیه‌سازی گردید. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده قادر است رفتار آویزش پارچه حلقوی را با خطای ۵٫۷ درصد پیش بینی کند.

### مقدمه

برای شبیه‌سازی پارچه‌های متنوعی توسط محققین ارائه گردیده است. امروزه به طور کلی می‌توان این روش‌ها را به سه دسته تقسیم بندی کرد: روش‌های هندسی، روش‌های فیزیکی و روش ترکیبی. از میان این روش‌ها، مدل فیزیکی جرم و فنر به دلیل سرعت بیشتر و تطابق بیشتر با واقعیت مورد توجه محققین قرار گرفته است. اولین بار Provot در سال ۱۹۹۵ مدل جرم و فنر را برای شبیه‌سازی شکل سه بعدی آویزش پارچه ارائه داد [۱]. بعد از آن مدل جرم و فنر توسط محققان دیگر برای شبیه‌سازی رفتار انواع پارچه‌ها از جمله تار و پودی و حلقوی توسعه و بهبود یافت [۲-۴].

یکی از مسائل مهم در شبیه‌سازی پارچه با مدل جرم و فنر انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای مدل می‌باشد. تعدادی از محققان از روش‌های بهینه‌سازی برای تعیین پارامترهای مدل جرم و فنر با توجه به نتایج تجربی استفاده کرده‌اند [۵-۷]. یک تکنیک برای به دست آوردن نیروهای داخلی پارچه شامل کشش، برش و خمش و در نتیجه ضرایب سختی فنر در مدل جرم و فنر، استفاده از داده‌های آزمایشی حاصل از روش کاواباتا است. تعدادی از محققان با استفاده از منحنی‌های کشش، برش و خمش، پارامترهای مدل جرم و فنر را تعیین نمودند [۸-۱۲].

هدف از این مقاله ارائه مدل جرم و فنر در شبیه‌سازی رفتار آویزش پارچه‌های حلقوی پودی می‌باشد. برای تعیین

پارامترهای مدل جرم و فنر، از نتایج آزمایشات فست بر روی پارچه حلقوی استفاده شد. بدین منظور روابط بین نیروهای کشش، خمش و برش با جابه‌جایی به صورت معادلات غیرخطی درجه ۲ از نتایج تجربی تخمین زده شده است.

### مدل جرم و فنر

مدل جرم و فنر، شامل یک شبکه از نقاط جرم می‌باشد که توسط فنر به یکدیگر متصل شده‌اند. با توجه به نحوه اتصالات بین ذرات و فنرها، انواع مختلفی از مش‌بندی توسط محققین ارائه گردیده است. در این تحقیق از ساختار مش مستطیلی استفاده شده است. در این نوع مش‌بندی، مدل پارچه شامل یک شبکه چهارگوش از ذرات با دو جهت اصلی مطابق با جهت تار و پود می‌باشد. هر ذره با همسایه‌اش توسط یک فنر اتصال دارد که این فنرها بر حسب نوع اتصال به سه دسته تقسیم می‌شوند: (۱) فنرهای کششی (۲) فنرهای برشی (۳) فنرهای خمشی. ساختار مش مستطیلی در شکل ۱ نشان داده شده است [۱].

در مدل جرم و فنر، حرکت هر ذره به مجموع نیروهای داخلی و خارجی اعمال شده بر آن ذره بستگی دارد. با استفاده از قانون دوم نیوتن می‌توان موقعیت این ذرات را تعیین کرد. این قانون به صورت معادله ۱ بیان می‌شود.

$$F_i = m_i a_i \quad (1)$$

جمله‌ای برازش شده با رنگ قرمز و موقعیت مرجع با رنگ آبی مشخص شده است.

### نتایج و بحث

همانطور که گفته شد آزمایش فست شامل آزمایش کشش، برش و خمش می‌باشد. در منحنی نیرو-ازدیاد طول، در ابتدا با نیروی بسیار کم ازدیاد طول زیادی مشاهده می‌شود، تا زمانی که نخ‌ها کاملاً در راستای نیرو قرار بگیرند. بعد از آن، افزایش ناگهانی و شدید در شیب منحنی نیرو-ازدیاد طول مشاهده می‌شود. در این پژوهش، هدف شبیه‌سازی رفتار آویزش پارچه حلقوی تحت وزن خود می‌باشد. چون نیروی وزن پارچه، نیروی کمی می‌باشد، بنابراین برای تعیین خواص پارچه، از قسمت اولیه منحنی نیرو-ازدیاد طول (تحت نیروی کم) استفاده شده است. برای همه نمونه پارچه‌ها در جهت رج، ردیف و ۴۵ درجه، منحنی نیرو-ازدیاد طول در قسمت ابتدای آن، با یک معادله درجه ۲ برازش شد. معادله برازش شده برای ۹ نمونه در جدول ۲ نشان داده شده است.

فرایند شبیه‌سازی با استفاده از برنامه Matlab2014 انجام شد. جدول ۳ تصاویر شبیه‌سازی شده توسط مدل بهینه شده برای ۹ نمونه و مقایسه چندجمله‌ای برازش شده برای لبه پارچه در تصویر واقعی پارچه و تصویر شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

خطای شبیه‌سازی برای نمونه‌ها با استفاده از معادله ۲ محاسبه گردید. و مقادیر آن در جدول ۳ نشان داده شده است.

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (P_{ei} - P_{si})^2}{5}} \times 100 \quad (2)$$

که در معادله ۲،  $P_{ei}$  ضرایب معادله تصویر واقعی پارچه و  $P_{si}$  ضرایب معادله تصویر پارچه شبیه‌سازی شده توسط مدل و  $E$  مقدار خطا می‌باشد.

همانطور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، میانگین خطای شبیه‌سازی برابر با ۵٫۷ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از مدل جرم و فنر می‌توان رفتار آویزش پارچه حلقوی را به خوبی شبیه‌سازی نمود.

که در معادله ۱،  $m_i$  جرم ذره  $i$  ام،  $a_i$  شتاب وارد بر ذره  $i$  ام و  $F_i$  مجموع نیروهای داخلی و خارجی وارد بر ذره  $i$  ام می‌باشد.

نیروهای داخلی تعیین کننده خواص مکانیکی پارچه می‌باشند. این نیروها به طور عمده شامل نیروهای کشش، خمش و برش می‌باشند. نیروهای خارجی مطابق با نوع محیطی که برای شبیه‌سازی پارچه در نظر گرفته می‌شود، متفاوت است. نیروهای خارجی در نظر گرفته در این تحقیق نیروی گرانش و نیروی دمپینگ می‌باشد.

### تجربیات

در این تحقیق رفتار آویزش ۹ نمونه پارچه حلقوی بررسی گردید. پارچه‌های حلقوی از جنس پلی استر و بافت ساده بر روی ماشین یکرو سیلندر حلقوی پودی تهیه گردید. مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱ درج شده است.

آزمایشات فست شامل آزمایش کشش، برش و خمش بر روی نمونه پارچه‌های حلقوی انجام گردید و نتایج آن ثبت گردید. مطابق با روش موجود در استاندارد ASTM-D5035 [۱۳]، آزمایش کشش برای نمونه پارچه‌ها در جهت رج، ردیف و ۴۵ درجه انجام شد. محاسبه سختی خمشی با اندازه گیری طول خمش و با استفاده از دستگاه اندازه گیری طول خمش شرلی طبق استاندارد ASTM-D1388 [۱۳] انجام شد.

برای انجام آزمایش آویزش مراحل زیر انجام شد:

۱. نمونه‌ها در ابعاد  $50 \times 50$  سانتیمتر مربع بریده شد.  
۲. نمونه‌ها از چهار گوشه ثابت تحت وزن خود آویزان گردید.

۳. با استفاده از دوربین Nikon Coolpix P80 10 M pixel از شکل پارچه آویزان یافته تصویربرداری شد.

۴. جهت کاهش خطا مراحل ۲ و ۳ برای هر نمونه پارچه ۵ بار تکرار شد.

۵. شکل آویزش پارچه از تصویر پارچه در لبه‌ها استخراج گردید. بدین منظور با توجه به موقعیت تعدادی نقاط در لبه‌های پارچه، معادله درجه ۴ به نقاط برازش شد.

شماتیکی از آزمایش آویزش برای یک نمونه پارچه (نمونه شماره ۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل چند



and Skirt Based on KES Testing, The 7th International Conference on Computer Science & Education, Melbourne, Australia, 2012.

- 12) Zhenfang C and Bing H., *Research of Fast Cloth Simulation Based on Mass-Spring Model*, National Conference on Information Technology and Computer Science, 323-327, 2012.
- 13) Annual Book of ASTM Standards, Textiles, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, U.S.A, 1997.

جدول ۱- مشخصات نمونه پارچه ها

شماره نمونه	وزن (گرم)	ضخامت (میلیمتر)	بافت	تراکم طولی	تراکم عرضی	جنس	نمره (دنبیر)
۱	۴۱، ۶۵	۱،۱	ساده	۲۰	۲۰	پلی استر	۱۰۰
۲	۴۴، ۱۴	۱	ساده	۱۳	۱۴	پلی استر	۱۵۰
۳	۴۶، ۷۶	۰،۷۱	ساده	۱۲	۱۴	پلی استر	۱۵۰
۴	۴۴، ۶۳	۰،۶۱	ساده	۱۲	۱۴	پلی استر	۱۵۰
۵	۴۹، ۶۲	۰،۴۹	ساده	۳۲	۲۲	پلی استر	۱۰۰
۶	۲۷، ۶	۰،۶	ساده	۱۲	۱۲	پلی استر	۱۰۰
۷	۵۱، ۱۶	۰،۴۲	ساده	۳۴	۲۲	پلی استر	۱۵۰
۸	۵۴، ۴۱	۰،۵۴	ساده	۳۲	۲۲	پلی استر	۱۵۰
۹	۵۸، ۲۶	۰،۵	ساده	۱۴	۲۲	پلی استر	۱۵۰

جدول ۲- معادله برازش شده برای منحنی کشش و برش نمونه ها

شماره	جهت	معادله درجه ۲ برازش شده
۱	رج	$f = -88.9x^2 + 33.3x + 0.67$
	ردیف	$f = -166x^2 + 114x + 16.7$
	۴۵ درجه	$f = 229x^2 + 40x + 2.7$

## نتیجه گیری

در این مقاله رفتار آویزش پارچه های حلقوی از چهار گوشه ثابت با استفاده از مدل جرم و فنر شبیه سازی شده است. خواص کششی، برشی و خمش پارچه حلقوی با استفاده از نتایج آزمایشات فست اندازه گیری شد. پارامترهای مدل شامل ضرایب فنرهای غیر خطی کششی و برشی با استفاده از منحنی کشش و برشی پارچه حاصل شد. بدین منظور معادلات درجه ۲ به منحنی های کشش و برش نمونه پارچه ها برازش شد. ضریب فنر خمشی نیز با استفاده از طول خمش پارچه ها در جهت رج و ردیف به صورت مدول خمشی محاسبه گردید. پس از تعیین پارامترهای مدل، رفتار آویزش ۹ نمونه پارچه حلقوی با مدل ارائه شده شبیه سازی و با رفتار واقعی آویزش پارچه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده با خطای ۵،۷ درصد قادر به پیش بینی رفتار آویزش پارچه های حلقوی که از چهار گوشه ثابت تحت وزن خود آویزان می باشند را دارا می باشد.

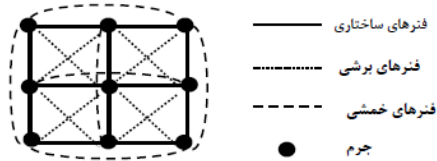
## مراجع

- 1) Provot X., *Deformation Constraints in a Mass-spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior.*, Proceeding of Graphics Interface, Quebec, 147-155, 1995.
- 2) Baraff D and Witkin A., *Large Steps in Cloth Simulation.*, Computer Graphics, Orlando, 43-54, 1998.
- 3) Vassilev TI and Spanlang B., *Visual Computer*, 17, 147-157, 2000.
- 4) Dai X., Li Y and Zhang X., *Textile. Res. J.*, 73(12): 1091-1099, 2003.
- 5) Louchet J., Provot X and Crochemore D., *Evolutionary identification of cloth animation models*, Proceedings of the Euro graphics Workshop in Maastricht, The Netherlands, 44-54, 1995.
- 6) Han F., Stylios GK and Watt H., *3D modelling, simulation and visualization techniques for drape textiles and garments*, Woodhead Publishing, 2009.
- 7) Mongus D., Repnik B., Mernik M and Zalik, B., *Applied Soft Computing*, 12, 266-273, 2012.
- 8) Ji F., Li R and Qiu Y., *Textile. Res. J.*, 76, 12-17, 2006.
- 9) Meng N and Zhang R., *Shandong Textile Sci-Tech*, 53, 23-27, 2012.
- 10) Chen Y., Thalmann Nm and Allen BF., *Visual Computer*, 28, 765-774. 2012
- 11) Zhang R., Wang H., Ma L and Meng N., *Modeling and Simulation Process for Fabric*

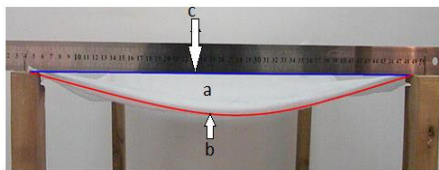
۷٪			۳
۵٪			۴
۵,۷٪			۵
۶,۷٪			۶
۶,۱٪			۷
۵,۸٪			۸
۷,۵٪			۹

$f = -73.3x^2 + 10.2x + 0.07$	رج	۲
$f = -272x^2 + 35x + 13.9$	ردیف	
$f = 265x^2 + 16x + 0.24$	۴۵ درجه	۳
$f = -61x^2 + 43x + 0.08$	رج	
$f = -122x^2 + 106x + 0.29$	ردیف	۴
$f = 117x^2 + 19.6x + 0.25$	۴۵ درجه	
$f = -46.9x^2 + 35x + 0.04$	رج	۵
$f = -107x^2 + 112x - 0.28$	ردیف	
$f = 137x^2 + 29.6x + 0.25$	۴۵ درجه	۶
$f = -162x^2 + 28.5x + 0.29$	رج	
$f = -201x^2 + 43x + 0.13$	ردیف	۷
$f = 201x^2 + 35x + 0.11$	۴۵ درجه	
$f = -94x^2 + 17.6x + 0.04$	رج	۸
$f = -119x^2 + 17x + 0.16$	ردیف	
$f = 225x^2 + 18.3x + 0.12$	۴۵ درجه	۹
$f = -178x^2 + 39x + 0.23$	رج	
$f = -177x^2 + 35x + 0.21$	ردیف	۱۰
$f = 210x^2 + 38x + 0.49$	۴۵ درجه	
$f = -207x^2 + 44x + 0.39$	رج	۱۱
$f = -200x^2 + 37x + 0.27$	ردیف	
$f = 217x^2 + 38x + 0.28$	۴۵ درجه	۱۲
$f = -71.6x^2 + 37.8x + 0.22$	رج	
$f = -169x^2 + 53x + 0.08$	ردیف	۱۳
$f = 203x^2 + 43.7x + 0.4$	۴۵ درجه	

جدول ۳- تصاویر شبیه‌سازی شده برای ۹ نمونه پارچه حلقوی



شکل ۱- مش مستطیلی برای مدل‌سازی رفتار پارچه



شکل ۲ آزمایش آویزش پارچه از چهار گوشه ثابت (آ) نمونه پارچه (ب) منحنی معادله برازش شده (پ) موقعیت رفرنس

شماره نمونه	تصویر پارچه شبیه سازی شده	منحنی چندجمله ای برازش شده	خطا (%)
۱			۴٪
۲			۳,۵٪