



شبیه‌سازی رفتار غیر خطی خشک شدن منسوج حلقوی پودی با استفاده از مدل جرم-فنر-دمپر و روش بسط مستقیم

وجیهه مظفری^۱، پدارم پیوندی^{۲*}، محمدمهدی جلیلی^۳

۱- دانشجوی دکترا، مهندسی نساجی (تکنولوژی)، دانشگاه یزد، یزد
 ۲- استادیار، مهندسی نساجی، دانشگاه یزد، یزد
 ۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد
 * peivandi@yazd.ac.ir ۸۹۱۹۵-۷۴۱-۷۴۱ صندوق پستی

چکیده

در این پژوهش رفتار جمع شدگی پارچه‌های حلقوی پودی در هنگام خشک شدن، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا مدلی برای پیش‌بینی تغییرات طول پارچه حلقوی با بافت ساده طی فرایند خشک شدن ارائه گردیده است. به‌منظور مدل‌سازی از یک جرم متمرکز، فنر و دمپر خطی استفاده شده است. با توجه به خیس بودن منسوج، جرم به‌صورت متغیر با زمان در نظر گرفته شده و معادلات غیرخطی حرکت با استفاده از روش بسط مستقیم درجه سه حل شده‌اند. نتایج حاصل از مدل با نتایج آزمایش‌های تجربی برای پنج نمونه با تراکم‌های طولی متفاوت مقایسه گردیده است. نتایج حاصل نشان داده است که در تراکم‌های طولی زیاد (طول حلقه کوچک) مدل ارائه شده قابلیت پیش‌بینی تغییرات طولی مرکز جرم پارچه در طی فرایند خشک شدن و بعد از آن را به‌خوبی دارا می‌باشد. میزان خطا برای نمونه‌ها با طول حلقه کم حدود ده درصد می‌باشد. اما با افزایش طول حلقه، میزان خطا افزایش می‌یابد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
 دریافت: ۰۲ مرداد ۱۳۹۲
 پذیرش: ۰۷ مهر ۱۳۹۲
 ارائه در سایت: ۲۶ بهمن ۱۳۹۲
 کلید واژگان:
 پارچه حلقوی پودی
 جمع شدگی
 مدل جرم فنر و دمپر
 روش بسط مستقیم

Non-linear behavior simulation of the drying of weft knitted fabric by using mass- spring-damper model and straight forward expansion

Vajihe Mozafary¹, Pedram Peyvandy^{2*}, Mohamad Mahdi Jalili³

1- Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.
 2- Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.
 3- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.
 *P.O.B. 89195-741 Yazd, peivandi@yazd.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
 Received 25 July 2013
 Accepted 29 September 2013
 Available Online 15 February 2014

Keywords:

Weft knitted fabric
 Shrinkage
 Mass-Spring-Damper Model
 Straight Forward Expansion

ABSTRACT

In this study, the shrinkage behavior of knitted fabrics during drying is studied. To this end, a model is presented to predict the knitted fabric length changes during the drying process. In order to model the shrinkage behavior, a 1DOF model consisting of a mass, a linear spring and a linear dashpot was used. Considering that the fabric is wet, mass is time dependent and Three-order Straight Forward Expansion method is used to solve nonlinear equations of motion. The results of the model were compared with the experimental results of five samples with different courses density. The results show that the proposed model is capable to predict the length changes of the center of the mass during the process of drying and after that. Error rate is about ten percent for the samples with less Loop length. But by increasing the length of the loop, error rates increases.

۱- مقدمه

ماشین^۱، طول حلقه^۲، کشش بافندگی^۳، تاب نخ، روش‌های شست و شو و خشک شدن را بر جمع شدگی پارچه‌های حلقوی از طریق اندازه‌گیری تغییرات هندسی حلقه مورد بررسی قرار داد. یک و ناپتون^[۲] ثبات ابعادی پارچه‌های پنبه‌ای را به روش استراحت‌های مکانیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها همچنین تأثیر نوع الیاف و نمره نخ را بر میزان تغییرات ابعادی پارچه‌های حلقوی بررسی نمودند. امیربیات و همکارانش^[۳] تأثیر

پارچه‌های حلقوی عموماً به‌دلیل انعطاف‌پذیری، کشسانی و توانایی خود در شکل‌پذیری‌های گوناگون هنگامی که در قسمت‌های مختلف بدن پوشیده می‌شوند و نیز به‌سبب راحتی کلی، دارای کاربرد فراوانی در صنعت پوشاک هستند. با این وجود، چنین پارچه‌هایی به سادگی تغییر شکل داده و ابعاد آن‌ها در نتیجه جمع شدگی تحت فرآیندهای مختلف شست‌وشو، پایدار نمی‌باشد.

تثبیت ابعادی پارچه‌های حلقوی همواره موضوع تحقیق بسیاری از محققین بوده است. وان سا^[۱] تأثیر فاکتورهایی چون خواص الیاف، گنج

1- Mashin gauge
 2- Loop length
 3- Tension

Please cite this article using:

V. Mozafary, P. Peyvandy, M.M. Jalili, Non-linear behavior simulation of the drying of weft knitted fabric by using mass- spring-damper model and straight forward expansion, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 123-130, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

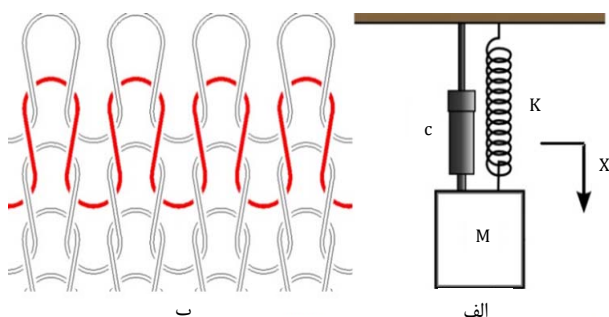
شده است، اثر عوامل مختلف ریسندگی، بافندگی، تکمیل و... بر میزان تغییرات ابعادی منسوجات، به‌صورت تجربی بررسی شده است. اما تاکنون مدلی جهت پیش‌بینی تغییرات ابعادی پارچه حلقوی با میزان رطوبت متفاوت ارائه نشده است. مدل ارائه شده در این تحقیق قابلیت پیش‌بینی تغییرات طولی پارچه خیس با هر میزان رطوبت طی گذشت زمان را دارا می‌باشد. این نکته از این نظر حائز اهمیت می‌باشد که پوشاک درحین مصرف ممکن است به‌دلایلی چون باران یا عرق کردن، مرطوب شده باشند.

۲- مدل‌سازی

در این تحقیق از یک مدل جرم، فنر و دمپر به‌منظور شبیه‌سازی رفتار خشک شدن و تغییرات ابعادی پارچه حلقوی تحت وزن خود استفاده شده است. مدل ارائه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. از آنجا که سختی پارچه تقریباً ثابت می‌باشد و همچنین تنها تغییرات قائم پارچه مد نظر می‌باشد، پارچه به‌صورت یک درجه آزادی مدل‌سازی گردید.

۱-۲- فرضیات

- به‌منظور ساده‌سازی در تجزیه و تحلیل و ارائه مدل تعدادی فرضیات در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از:
- (۱) فنر و دمپر به‌صورت خطی فرض شدند.
 - (۲) جرم به‌صورت متمرکز و در مرکز جرم پارچه در نظر گرفته شده است.
 - (۳) خروج آب از پارچه حین فرایند خشک شدن با دبی ثابت در نظر گرفته شده است.
 - (۴) ضریب میرایی با تغییر رطوبت، تغییر نمی‌کند.



شکل ۱ الف) مدل ارائه شده برای پیش‌بینی تغییرات ابعادی پارچه، ب) ساختار پارچه حلقوی با بافت ساده

۲-۲- تحلیل مدل

همان‌طور که گفته شد مدل شامل یک جرم متمرکز، فنر و دمپر خطی می‌باشد. با در نظر گرفتن مبدا مختصات قائم در موقعیتی که تغییر طول فنر صفر می‌باشد، معادله کلی مطابق شکل ۱ به‌صورت معادله (۱) می‌باشد.

$$M\ddot{X} + c\dot{X} + kX = Mg \quad (1)$$

که در آن M جرم پارچه و سیال موجود در آن، C ضریب میرایی پارچه، K ضریب سختی پارچه و X موقعیت مرکز جرم پارچه می‌باشند.

با توجه به اینکه پارچه در ابتدا خیس می‌باشد و با گذشت زمان خشک می‌گردد جرم در نظر گرفته شده به‌صورت متغیر با زمان است. در نتیجه:

$$M = m - \bar{m}(t) \quad (2)$$

در رابطه فوق m جرم پارچه مرطوب و $\bar{m}(t)$ جرم سیال خارج شده از پارچه در طول زمان می‌باشد و به‌صورت معادله (۳) تعریف می‌گردد:

تنظیمات ماشین بافندگی از جمله سرعت و تنظیمات کشش بر میزان جمع شدگی پارچه‌های حلقوی در هنگام دوخت را با استفاده از روش انرژی آنالیز نمودند. هیگنز و همکارانش [۴] تأثیر زمان شست و شو، درجه حرارت شستشو و رطوبت را بر درصد جمع شدگی پارچه‌های حلقوی بررسی کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که بیشترین جمع شدگی در سیکل اول خشک شدن رخ داده و همچنین درجه حرارت تأثیر قابل توجهی بر میزان جمع‌شدگی ندارد. انال و همکارانش [۵] تأثیر جنس، درصد مخلوط الیاف و ضخامت پارچه‌های حلقوی را بر میزان جمع شدگی بررسی کردند و نشان دادند نوع بافت، ضخامت پارچه و درصد مخلوط تأثیر زیادی بر تغییرات ابعادی پارچه دارند. همچنین ضخامت پارچه با عرض جمع شدگی نسبت مستقیم دارد در حالی که با طول جمع شدگی نسبت عکس دارد. چن و همکارانش [۶] تأثیر نمره نخ، طول حلقه، فاکتور پوششی^۱، میزان تاب و قطر الیاف را بر میزان جمع شدگی پارچه‌های حلقوی پشمی با استفاده از آنالیز رگرسیون بررسی کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که فاکتور اساسی تأثیرگذار بر میزان جمع شدگی، طول حلقه و فاکتور پوششی می‌باشد و همچنین قطر الیاف و تاب نخ نیز تأثیر قابل توجهی بر میزان جمع شدگی دارند. آکار و همکارانش [۷] تأثیر نوع پایل، نوع الیاف، ضخامت پارچه و نوع استراحت را بر روی خواص فیزیکی پارچه‌های حلقوی پایل‌دار از جمله تغییرات ابعادی (جمع شدگی)، افتایش^۲ و سایش^۳ بررسی کردند. وای و همکارانش [۷] تأثیر رزین را بر تغییرات ابعادی پارچه‌های حلقوی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که با افزایش میزان رزین درجه ست^۴ نخ افزایش یافته و درصد جمع شدگی پارچه نیز کاهش می‌یابد. میکویانین و لارکین [۹] رفتار پارچه‌های حلقوی در طول خشک شدن در شرایط مختلف خشک شدن و تأثیر این شرایط بر میزان جمع شدگی را بررسی کردند. سوزا و همکارانش [۱۰] تغییرات ابعادی پارچه حلقوی را با توجه به نوع بافت، نمره نخ، طول حلقه، فاکتور شکل حلقه^۵ و گیج ماشین پیش‌بینی کردند. ربکا و همکارانش [۱۱] اثر شش سیکل شست و شو و درجه حرارت را بر خواص پارچه حلقوی از جمله تغییرات ابعادی و ضخامت بررسی کردند.

پارچه‌های حلقوی پس از تولید با کاهش ابعاد یا جمع شدگی مواجه می‌شوند در واقع تمایل به رسیدن به وضعیت با ثبات و پایدار را دارند. این تغییرات تا زمانی که به ساختار کاملاً فشرده منتهی شود رخ می‌دهد. عامل عمده این تغییرات، وجود کشش در نخ، موقع تغذیه و برداشت پارچه می‌باشد. از دیگر عوامل جمع شدگی عملیات شست و شو می‌باشد. جذب رطوبت، الیاف متورم شده و قطر آن‌ها افزایش یافته، در نتیجه قطر نخ‌ها نیز افزایش می‌یابد. با افزایش قطر نخ، نخ‌ها در پارچه به یکدیگر نزدیک شده و به‌همین جهت ابعاد پارچه کاهش می‌یابد [۱۲]. با توجه به اهمیت پیش‌بینی تغییرات ابعادی پارچه‌های حلقوی و با توجه به اینکه این تغییرات پس از تولید، باعث ایجاد مشکلات زیادی در دوزندگی پارچه می‌شود، هدف از این مقاله ارائه مدلی برای پیش‌بینی تغییرات ابعادی پارچه حلقوی طی فرآیند خشک شدن تحت وزن خود می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات عرضی در این حالت نسبت به تغییرات طولی بسیار ناچیز است؛ تنها تغییرات طولی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. در تحقیقاتی که تاکنون انجام

1- Cover factor
2- Spirality
3- Abrasion
4- Degree of set
5- Loop geometry factor

جایگذاری پارامترهای فوق در رابطه (۱۳) معادله را می‌توان به صورت معادله (۱۶) بازنویسی نمود:

$$(1 - \varepsilon^2 \beta t) \ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = -\lambda \varepsilon^2 t \quad (16)$$

که در آن ε ضریب تقریب می‌باشد.

پاسخ مسأله به صورت یک سری نامتناهی از ضریب ε به صورت معادله (۱۷) فرض می‌گردد.

$$x(t) = \varepsilon X_1(t) + \varepsilon^2 X_2(t) + \varepsilon^3 X_3(t) + \dots \quad (17)$$

در این مطالعه از روش بسط مستقیم درجه ۳ برای حل معادله دیفرانسیل غیرخطی استفاده گردیده است. بنابراین پاسخ سیستم به صورت معادله (۱۸) در نظر گرفته شده است (قابل ذکر است که بررسی‌ها نشان داد، حل معادلات بالاتر ε^4 و ... تأثیر بسیار کمی در پاسخ دارد).

$$x(t) = \varepsilon X_1(t) + \varepsilon^2 X_2(t) + \varepsilon^3 X_3(t) \quad (18)$$

با جایگذاری معادله (۱۸) در معادله (۱۶)، معادله (۱۹) حاصل می‌گردد:

$$(1 - \varepsilon^2 \beta t) (\varepsilon \ddot{X}_1 + \varepsilon^2 \ddot{X}_2 + \varepsilon^3 \ddot{X}_3) + 2\zeta \omega_n (\varepsilon \dot{X}_1 + \varepsilon^2 \dot{X}_2 + \varepsilon^3 \dot{X}_3) + \omega_n^2 (\varepsilon X_1 + \varepsilon^2 X_2 + \varepsilon^3 X_3) = -\lambda \varepsilon^2 t \quad (19)$$

از آنجا که ضریب تقریب ε می‌تواند به طور دلخواه انتخاب گردد، باید ضرایب توان‌های ε معادل با صفر باشد. بنابراین می‌توان معادلات (۲۰) تا (۲۲) را نوشت:

$$\varepsilon^1: \ddot{X}_1 + 2\zeta \omega_n \dot{X}_1 + \omega_n^2 X_1 = 0 \quad (20)$$

$$\varepsilon^2: \ddot{X}_2 + 2\zeta \omega_n \dot{X}_2 + \omega_n^2 X_2 = -\lambda t \quad (21)$$

$$\varepsilon^3: \ddot{X}_3 + 2\zeta \omega_n \dot{X}_3 + \omega_n^2 X_3 = +\beta t \ddot{X}_1 \quad (22)$$

برای حل معادله (۲۰)، X_1 به صورت معادله (۲۳) در نظر گرفته می‌شود:

$$X_1 = C e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \quad (23)$$

که در آن فرکانس میرایی سیستم و به صورت $\omega_d = \omega_n (1 - \zeta^2)^{1/2}$ می‌باشد. و ضرایب C و φ_0 از شرایط اولیه سیستم محاسبه می‌گردد. حل معادله (۲۱) به صورت معادله (۲۴) می‌باشد.

$$X_2 = -\frac{\lambda}{\omega_n^2} \left(t - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \right) \quad (24)$$

با جایگذاری رابطه (۲۳) در معادله (۲۲)، پاسخ مطابق با معادله (۲۵) حاصل می‌شود.

$$X_3 = -C \zeta \omega_n \beta t^2 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \quad (25)$$

در پایان، با جایگذاری معادلات (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) در معادله (۱۸)، پاسخ کل سیستم مطابق با معادله (۲۶) محاسبه می‌گردد:

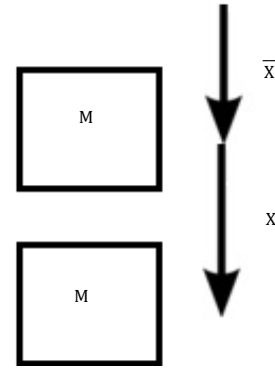
$$x = \varepsilon C e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) - \frac{\lambda \varepsilon^2}{\omega_n^2} \left(t - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \right) - C \varepsilon^3 \zeta \omega_n \beta t^2 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \quad (26)$$

با در نظر گرفتن $\varepsilon C = A$ می‌توان معادله ۲۷ را نوشت:

$$x = A e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) - \frac{\gamma}{\omega_n^2} \left(t - \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \right) - A \alpha \zeta \omega_n \beta t^2 e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \varphi_0) \quad (27)$$

حال می‌توان دو مجهول A و φ_0 را با توجه به شرایط اولیه سیستم، یعنی $x_0(t) = 0$ و $\dot{x}_0(t) = 0$ محاسبه نمود که به صورت معادله (۲۸) می‌باشد:

$$A = -\frac{\gamma}{\omega_n^2 \sqrt{1 - \zeta^2}}, \varphi_0 = 0 \quad (28)$$



شکل ۲ موقعیت جابه‌جایی مرکز جرم پارچه

$$\bar{m}(t) = a \times t \quad (3)$$

که a دبی سیال خروجی می‌باشد.

با در نظر گرفتن معادله (۴):

$$\bar{x} + x = X \quad (4)$$

که در آن \bar{x} مکان تعادل استاتیکی اولیه پارچه و x جابه‌جایی مرکز جرم پارچه نسبت به مکان تعادل استاتیکی اولیه آن است که در شکل ۲ نشان داده شده است. در نتیجه معادله (۵) را می‌توان نوشت:

$$k \bar{x} = mg \quad (5)$$

با جایگذاری معادله (۴) در معادله (۱) و تقسیم دو طرف معادله بر m معادله (۱) را می‌توان به صورت معادله (۶) نوشت:

$$(1 - \frac{a}{m} t) \ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} (x + \bar{x}) = 1 - \frac{a}{m} t g \quad (6)$$

با جایگذاری معادله (۵) در معادله (۶)، می‌توان معادله (۷) را نوشت:

$$(1 - \frac{a}{m} t) \ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = -\frac{a}{m} t g \quad (7)$$

با تعریف پارامترهای α ، ζ ، ω_n و γ به صورت معادلات (۸) تا (۱۲):

$$\alpha = \frac{a}{m} \quad (8)$$

$$\omega_n^2 = \frac{K}{m} \quad (9)$$

$$\gamma = \frac{a}{m} g \quad (10)$$

$$\zeta = \frac{c}{c_0} \quad (11)$$

$$2\zeta \omega_n = \frac{c}{m} \quad (12)$$

که در آن ω_n فرکانس طبیعی سیستم خطی و C_0 ضریب میرایی بحرانی سیستم می‌باشد، معادله (۷) را می‌توان به صورت معادله (۱۳) نوشت:

$$(1 - \alpha t) \ddot{x} + 2\zeta \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = -\gamma t \quad (13)$$

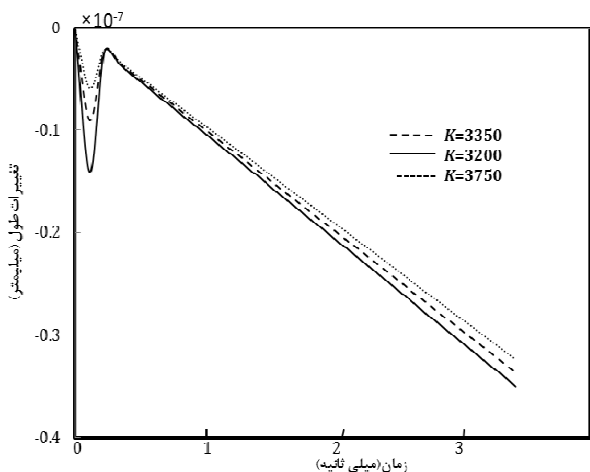
برای حل معادله از روش بسط مستقیم^۱ استفاده شده است [۱۳]. برای حل مسأله به این روش، پارامترهای جدید β و λ به صورت معادله (۱۴) و (۱۵) تعریف می‌شوند:

$$\beta = \frac{\alpha}{\varepsilon^2} \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{\gamma}{\varepsilon^2} \quad (14)$$

از آنجا که مطلوب حل، ظاهر شدن پارامترهای β و λ در معادلات دوم (ε^2) و سوم (ε^3) می‌باشد، این روابط از مرتبه ۲ تعریف شده‌اند. با

1- Straight forward expansion

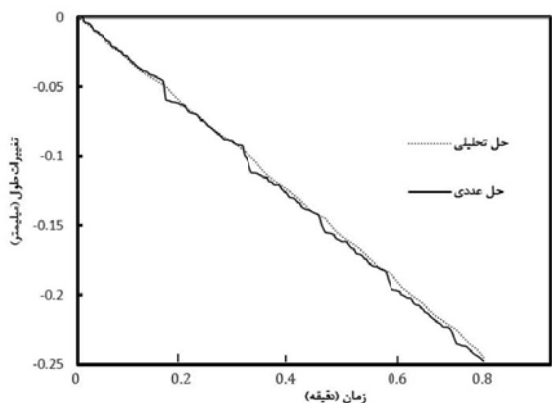


شکل ۴ تاثیر تغییرات سختی فنر بر پاسخ مدل

نتایج مدل با حل عددی نیز مقایسه گردید. بدین منظور معادله (۱۶) توسط برنامه مطلب و به صورت عددی حل گردید. شکل ۵ مقایسه بین این دو روش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تطابق خوبی بین روش حل عددی و تحلیلی وجود دارد.

۳- بررسی تجربی

نمونه‌های پارچه در ابعاد ۶۰ در ۶۰ سانتیمتر (ابعاد نمونه‌ها تقریباً برابر با ابعاد پارچه مصرفی در پوشاک انتخاب گردیده است) با نخ اکریلیک و نمره ۸/۲ انگلیسی بر روی ماشین یکرو سیلندر حلقوی پودی با گیج ۶ تهیه گردید. مشخصات نمونه‌های تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. بعد از تولید، نمونه‌ها تحت استراحت خشک^۱ قرار گرفت. استراحت خشک بدین صورت می‌باشد که پارچه پس از خروج از ماشین به مدت ۲۴ ساعت در شرایط اتاق (رطوبت ۶۰±۲ درصد و درجه حرارت ۲۰±۲°C) برای آزاد شدن تنش‌های بافت قرار می‌گیرد. بعد از استراحت، تراکم طولی و عرضی تعیین گردید. برای اندازه‌گیری تراکم طولی و عرضی شمارش در نمونه‌هایی به ابعاد ۲۵×۲۵ سانتیمتر و طبق روش استاندارد BS5441:1988 صورت گرفت [۱۵]. برای استراحت‌تر^۲ نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب ۴۰ درجه سانتیگراد قرار گرفته و پس از آب‌گیری ملایم با دست در شرایط اتاق خشک گردید و تغییرات طولی نمونه‌ها با گذشت زمان ثبت گردید.



شکل ۵ مقایسه بین حل عددی و حل تحلیلی

بعد از خشک شدن نمونه، دیگر تغییرات جرم وجود ندارد. بنابراین در معادله (۱)، جرم ثابت شده و معادله به صورت معادله خطی (۲۹) تبدیل می‌شود:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (29)$$

حل معادله (۲۸) به صورت معادله (۳۰) می‌باشد:

$$x = Ae^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \phi_0) \quad (30)$$

می‌توان با جایگذاری شرایط مکانی و سرعت سیستم در لحظه بعد از خشک شدن، دو مجهول معادله (۳۰) را محاسبه نمود.

معادلات (۲۷) و (۳۰)، تغییرات طول پارچه را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. با استفاده از این مدل می‌توان رفتار جمع‌شدگی پارچه‌های حلقوی را پیش‌بینی نمود.

۲-۳- تحلیل مدل با رفتار منسوجات

رفتار ویسکوالاستیک توصیف‌کننده خواص مکانیکی وابسته به زمان می‌باشد. از آنجا که منسوجات هم رفتار الاستیک و هم رفتار ویسکوز را دارا می‌باشند به‌عنوان مواد ویسکوالاستیک شناخته می‌شوند. خواص مکانیکی منسوجات وابسته به نرخ کرنش می‌باشد. با افزایش نرخ کرنش منسوج نرم‌تر می‌شود. بنابراین لازم است در آزمایش‌ها نرخ کرنش نیز ثبت و گزارش گردد. زمانی که پارچه تحت نرخ کرنش ثابت کشیده می‌شود و سپس ثابت نگه داشته می‌شود تنش با زمان کاهش می‌یابد این پدیده استراحت تنش نامیده می‌شود. و زمانی که پارچه تحت تنش معین کشیده می‌شود، کرنش با زمان افزایش می‌یابد که این پدیده خزش نامیده می‌شود. منسوجات نرم هیستریزس قابل توجهی در یک سیکل بارگذاری دارند، یعنی منحنی تنش-کرنش دارای دو مسیر می‌باشد (شکل ۳). به دلیل رفتار ویسکوالاستیک پاسخ تنش در هر لحظه زمانی نه تنها بستگی به کرنش دارد بلکه بستگی به تغییر شکل نیز دارد [۱۴].

مدل ارائه شده با داشتن ضریب فنریت و ویسکوزیته، برای مدل‌سازی رفتار ویسکوالاستیک منسوج مناسب می‌باشد. همان‌طور که گفته شد با افزایش نرخ کرنش منسوج نرم‌تر می‌شود، یعنی به‌ازای نیروی ثابت، ازدیاد طول بیشتری را دارد این رفتار می‌تواند معادل با تغییرات ضریب سختی فنر در مدل باشد. شکل ۴ مقایسه تغییرات ضریب سختی فنر و تأثیر آن بر پاسخ سیستم در مدل ارائه شده را نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش سختی فنر، میزان ازدیاد طول زیاد می‌شود. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، در چند میلی‌ثانیه اول، نوسانات خیلی کوچک (در حد 10^{-7} میلی‌متر) وجود دارد که ناشی از خاصیت الاستیک منسوجات می‌باشد و به علت ضریب میرایی بالای منسوج، این نوسانات به سرعت میرا می‌گردد.

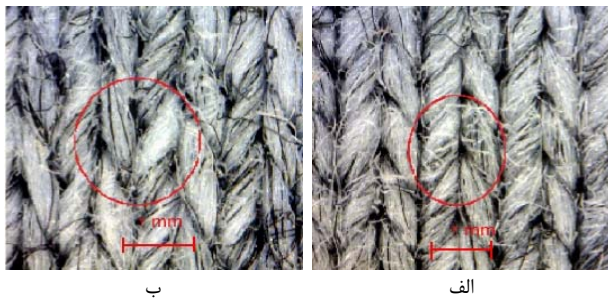


شکل ۳ منحنی تنش-کرنش پارچه (هیستریزس) [۱۴]

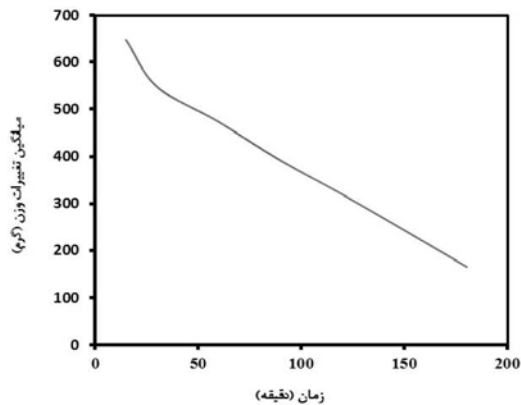
1- Dry relaxed state
2- Wet relaxed state

یک بار تغییرات طول و وزن نمونه گزارش گردید تا زمانی که نمونه‌ها کاملاً خشک گردیدند (۱۸۰ دقیقه). هر نمونه ۳ بار مورد آزمایش قرار گرفت و میانگین نتایج در نظر گرفته شد. نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

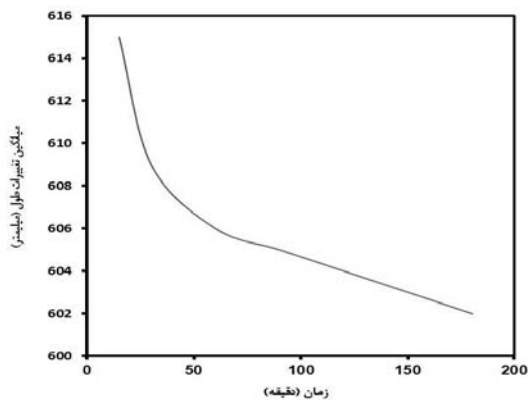
شکل ۷ نمودار میانگین تغییرات وزن پنج نمونه برحسب زمان و شکل ۸ نمودار میانگین تغییرات طول پنج نمونه برحسب زمان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات طول و وزن نمونه در ابتدا زیاد می‌باشد و با گذشت زمان و کم شدن رطوبت پارچه این تغییرات نیز کم می‌شود. مطابق با شکل ۷ می‌توان دبی را به صورت دو مقدار ثابت فرض نمود، در ۲۵ دقیقه اول دبی مقدار ثابتی داشته که بیشتر از مقدار دبی در زمان‌های دیگر می‌باشد. در زمان‌های بعدی نیز می‌توان مقدار دبی آب را تقریباً مقدار ثابتی فرض نمود. از آنجا که مقدار زمان ۲۵ دقیقه در فرآیند خشک شدن پارچه نسبت به کل زمان خشک شدن منسوج زمان کمی می‌باشد، در حل این معادله از دبی قسمت دوم استفاده گردیده است که قاعدتاً مقدار کمی خطا در پاسخ ایجاد می‌کند.



شکل ۶ نمایی از شکل حلقه با بزرگنمایی ۵۰ برابر، الف) نمونه خشک ب) نمونه خیس



شکل ۷ میانگین تغییرات وزن نمونه‌ها نسبت به زمان



شکل ۸ میانگین تغییرات طول نمونه نسبت به زمان

جدول ۱ مشخصات نمونه‌های تولیدی

شماره نمونه	جنس	وزن (گرم)	بافت	نمره نخ (انگلیسی)	تراکم عرضی	تراکم طولی
۱	اکرلیک	۱۴۵	ساده	۸/۲	۶/۷	۱۴/۸
۲	اکرلیک	۱۳۷	ساده	۸/۲	۶/۷	۱۴/۳
۳	اکرلیک	۱۳۷	ساده	۸/۲	۶/۷	۱۳/۹
۴	اکرلیک	۱۲۶	ساده	۸/۲	۶/۷	۱۳/۵
۵	اکرلیک	۱۱۳	ساده	۸/۲	۶/۷	۱۳/۱

جدول ۲ میانگین نتایج تغییرات وزن و طول در پنج نمونه

شماره نمونه	زمان (دقیقه)	تغییرات وزن (گرم)	تغییرات طول (میلیمتر)
۱	۰	۵۰۲	۱۰
	۳۰	۴۰۳	۸
	۶۰	۳۲۸	۶
	۹۰	۲۴۶	۴
	۱۲۰	۱۷۴	۳
۲	۰	۵۳۳	۱۳
	۳۰	۴۲۳	۱۰
	۶۰	۳۴۱	۷
	۹۰	۲۶۷	۴
	۱۲۰	۱۸۶	۳
۳	۰	۵۷۷	۱۵
	۳۰	۴۵۴	۱۱
	۶۰	۳۶۱	۷
	۹۰	۲۸۲	۵
	۱۲۰	۱۹۶	۴
۴	۰	۵۸۴	۱۸
	۳۰	۴۶۳	۱۳
	۶۰	۳۵۲	۹
	۹۰	۲۴۶	۷
	۱۲۰	۱۷۸	۶
۵	۰	۶۰۳	۲۰
	۳۰	۴۸۴	۱۴
	۶۰	۳۹۱	۱۰
	۹۰	۲۸۶	۷
	۱۲۰	۲۱۲	۶

۳-۱- اندازه‌گیری تغییرات طولی نمونه‌ها طی فرآیند خشک شدن

نمونه‌های خیس بعد از وزن شدن در شرایط اتاق تحت وزن خود آویزان گردید. شکل ۶ نمایی از شکل حلقه طی فرآیند خشک شدن و بعد از آن را نشان می‌دهد. همزمان با خشک شدن نمونه و کاهش وزن، طول اولیه نمونه کاهش می‌یابد تا زمانی که نمونه کاملاً خشک گردد. در بازه زمانی ۳۰ دقیقه

۳-۲- اندازه‌گیری مدول اولیه و ضریب ویسکوزیته نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری مدول اولیه و ضریب ویسکوزیته از نمودار هیستریزس نیرو-ازدیاد طول نمونه‌ها استفاده شده است. بدین منظور آزمایش استحکام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اینسترون (که براساس نرخ ثابت ازدیاد طول کار می‌کند) انجام گردید. آزمایش‌ها مطابق با روش استاندارد (ASTM D2594-99a) انجام شده و از هر نمونه پنج آزمایش به عمل آمد [۱۶]. طول اولیه نمونه‌ها که بین دو فک ثابت و متحرک دستگاه قرار می‌گیرد ۱۰ سانتیمتر، عرض نمونه‌ها ۵ سانتیمتر و سرعت فک متحرک هم ۱۰۰ میلی‌متر بر دقیقه انتخاب گردید.

در این پژوهش، حداکثر نیروی اعمالی حدود نیروی وزن نمونه بعد از خیس شدن و برابر ۱/۲ نیوتن می‌باشد. نمونه‌ها تا نیرو ۱/۲ نیوتن تحت سیکل رفت و برگشت کشش قرار گرفتند. نمودار هیستریزس یک نمونه در شکل ۹ نشان داده شده است. در این نمودار، نمونه پارچه در مسیر A تا B در معرض نیروی کششی قرار می‌گیرد و بعد از آن در مسیر برگشت (مسیر B-A1) با حذف نیرو، طول نمونه کم می‌شود اما به حالت اولیه باز نمی‌گردد، در واقع به دلیل رفتار ویسکوالاستیک، مقداری هیستریزس دارد که در شکل معادل A-A1 می‌باشد. در سیکل‌های بعدی کشش مقدار هیستریزس کاهش می‌یابد.

مقادیر c و k (ضریب فشر و دمپر خطی) برای هر نمونه با برازش معادله (۳۱) با نمودار هیستریزس نمونه‌ها برآورد شد. از آنجا که برای هر نمونه ۵ بار نمودار هیستریزس محاسبه شده است، میانگین ۵ مقدار محاسبه شده برای k و c به‌عنوان مقادیر اولیه مدل در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که تغییرات نیروی فشر (kx) نسبت به تغییرات طول تقریباً خطی می‌باشد؛ لذا با تقریب نسبتاً خوبی می‌توان مقدار k را ثابت فرض نمود.

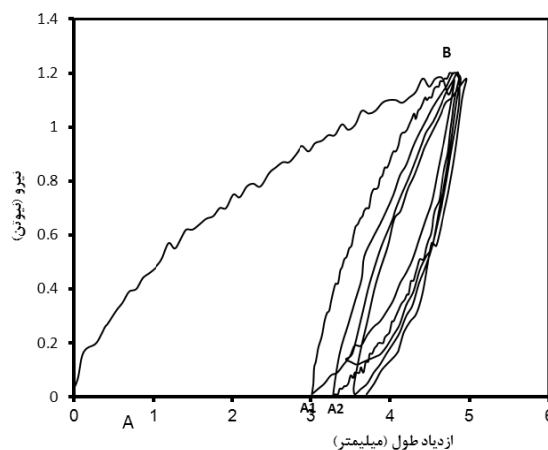
$$c\dot{x} + kx = F \quad (31)$$

۴- بحث و نتایج

با محاسبه مقادیر ضریب فشر و دمپر با استفاده از نمودار هیستریزس و با در نظر گرفتن تغییرات جرم به‌صورت خطی می‌توان پاسخ سیستم را برای نمونه‌ها رسم نمود. جدول ۳ مقادیر پارامترهای اولیه را نشان می‌دهد.

جدول ۳ مقادیر پارامترهای مدل

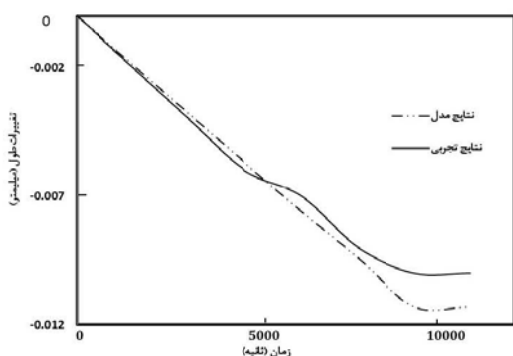
شماره نمونه	K	c	m	a
۱	۴۱۹۰	۲۹	۰/۱۴۵	۰/۰۰۰۴۴
۲	۳۴۲۰	۲۸	۰/۱۳۷	۰/۰۰۰۴۶
۳	۲۸۸۰	۲۷	۰/۱۳۷	۰/۰۰۰۵
۴	۲۵۷۶	۲۵	۰/۱۲۶	۰/۰۰۰۵۱
۵	۲۲۷۸	۲۳	۰/۱۱۳	۰/۰۰۰۵۲



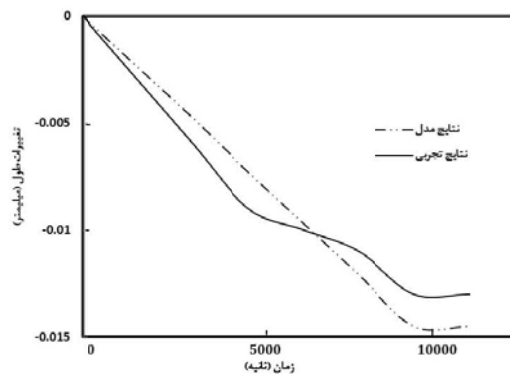
شکل ۹ نمودار هیستریزس نمونه ۱

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، طی فرآیند خشک شدن پاسخ سیستم از طریق معادله (۲۷) و بعد از خشک شدن مطابق با معادله (۳۰) می‌باشد که طبق معادله (۳۰) تغییرات طول بعد از خشک شدن، نوسانات بسیار کوچکی دارد که می‌توان تقریباً ثابت فرض نمود و از نظر تجربی نیز بعد از خشک شدن نمونه‌ها تغییراتی مشاهده نگردید. شکل ۱۰ تا ۱۴ مقایسه پاسخ

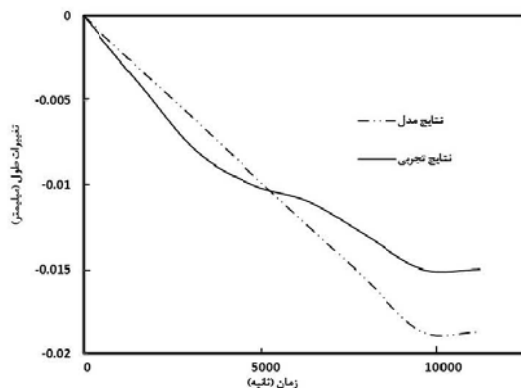
دینامیکی مدل و نتایج تجربی برای پنج نمونه را نشان می‌دهند. در بررسی تجربی نمونه‌ها در هفت زمان (۰ دقیقه، ۳۰ دقیقه، ۶۰ دقیقه، ۹۰ دقیقه، ۱۲۰ دقیقه، ۱۵۰ دقیقه، ۱۸۰ دقیقه) تغییرات طول و جرم گزارش گردید. جدول ۴ میزان خطای بین میانگین نتایج پیش‌بینی تغییرات طول توسط مدل و نتایج تجربی در این ۷ زمان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل معرفی شده در این تحقیق با دقت نسبتاً مناسبی می‌تواند رفتار دینامیکی جمع‌شدگی پارچه را پیش‌بینی کند. خطای بین نتایج می‌تواند به دلایل زیر باشد:



شکل ۱۰ مقایسه پاسخ زمانی مدل و نتایج تجربی (نمونه ۱)



شکل ۱۱ مقایسه پاسخ زمانی مدل و نتایج تجربی (نمونه ۲)



شکل ۱۲ مقایسه پاسخ زمانی مدل و نتایج تجربی (نمونه ۳)

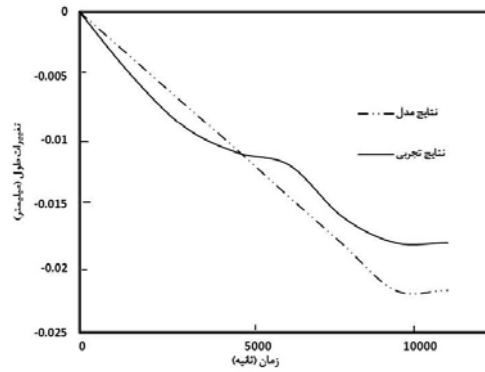
جدول ۴ مقایسه میانگین نتایج پیش‌بینی تغییرات طول توسط مدل و نتایج تجربی

شماره نمونه	زمان (دقیقه)	پیش بینی تغییرات طول توسط مدل	نتایج تجربی تغییرات طول	درصد خطا
۱	۳۰	-۰/۰۰۱۹	-۰/۰۰۲	۵/۵٪
	۶۰	-۰/۰۰۳۸	-۰/۰۰۴	۵٪
	۹۰	-۰/۰۰۵۷	-۰/۰۰۶	۵/۵٪
	۱۲۰	-۰/۰۰۷۶	-۰/۰۰۷	۸٪
	۱۵۰	-۰/۰۰۹۴	-۰/۰۰۹	۵٪
	۱۸۰	-۰/۰۱۱۳	-۰/۰۱	۱۳/۴٪
		میانگین خطا		۷٪
۲	۳۰	-۰/۰۰۲۷	-۰/۰۰۳	۱۱٪
	۶۰	-۰/۰۰۵۲	-۰/۰۰۶	۱۵/۳٪
	۹۰	-۰/۰۰۷۳	-۰/۰۰۹	۱۹٪
	۱۲۰	-۰/۰۰۹۷	-۰/۰۱	۳/۱٪
	۱۵۰	-۰/۰۱۲۱	-۰/۰۱۱	۱۰٪
	۱۸۰	-۰/۰۱۴۵	-۰/۰۱۳	۱۱/۷٪
		میانگین خطا		۱۲٪
۳	۳۰	-۰/۰۰۳۴	-۰/۰۰۴	۱۸٪
	۶۰	-۰/۰۰۶۲	-۰/۰۰۸	۲۱/۸٪
	۹۰	-۰/۰۰۹۴	-۰/۰۱	۶/۲٪
	۱۲۰	-۰/۰۱۲۵	-۰/۰۱۱	۱۳/۶٪
	۱۵۰	-۰/۰۱۵۳	-۰/۰۱۳	۱۵٪
	۱۸۰	-۰/۰۱۷۷	-۰/۰۱۵	۱۵/۲٪
		میانگین خطا		۱۵٪
۴	۳۰	-۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۵	۲۷/۷٪
	۶۰	-۰/۰۰۷۲	-۰/۰۰۹	۱۹/۷٪
	۹۰	-۰/۰۱۰۸	-۰/۰۱۱	۱/۴۶٪
	۱۲۰	-۰/۰۱۴۵	-۰/۰۱۲	۲۰/۴٪
	۱۵۰	-۰/۰۱۸۱	-۰/۰۱۶	۱۲/۹٪
	۱۸۰	-۰/۰۲۱۷	-۰/۰۱۸	۲۰/۴٪
		میانگین خطا		۱۷٪
۵	۳۰	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶	۳۳/۴٪
	۶۰	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱	۲۸/۱٪
	۹۰	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۳	۷/۸٪
	۱۲۰	-۰/۰۱۶	-۰/۰۱۴	۱۴/۱٪
	۱۵۰	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۸	۱۰/۹٪
	۱۸۰	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲۰	۱۹/۸٪
		میانگین خطا		۱۹٪

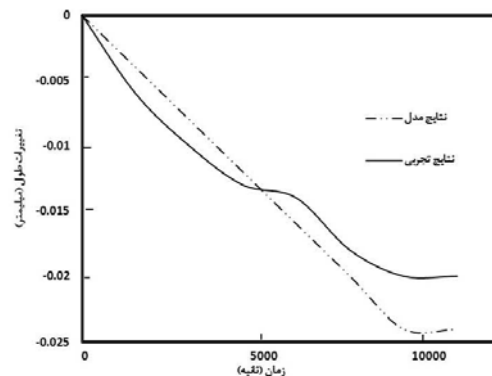
نتایج نشان داد برای تراکم‌های بالاتر، تطابق بیشتری بین نتایج تئوری و تجربی وجود دارد و میزان خطا حدود ده درصد می باشد اما با کاهش تراکم، میزان خطا افزایش می‌یابد (حدود ۱۸ درصد). بنابراین، می‌توان گفت مدل ارائه شده می‌تواند برای بازه تراکم‌های بالا که البته مورد مصرف بیشتری در پوشاک دارند مناسب باشد.

۶- مراجع

- [1] M. W. Suh, A Study of the shrinkage of plain knitted cotton fabric, based on the structural changes of the loop geometry due to yarn swelling and deswelling, *Textile Research Journal*, Vol. 37, No. 5, pp. 417-431, 1967.
- [2] J. J. F. Napton, F. K. Yuka, The geometry, dimensional properties, and stabilization of the cotton punto-di-roma structure, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 67, No. 3, pp. 94-100, 1967.
- [3] J. Amirbayat, M. J. Alagha, I. Porat, Factors affected by machine settings and fabric properties in knitwear production. part I: seam shrinkage and thread consumption, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 86, No. 1, pp. 110-118, 1995.



شکل ۱۳ مقایسه پاسخ زمانی مدل و نتایج تجربی (نمونه ۴)



شکل ۱۴ مقایسه پاسخ زمانی مدل و نتایج تجربی (نمونه ۵)

- (۱) تغییرات جرم به صورت خطی فرض گردیده در صورتی که این تغییرات خطی نمی‌باشد و در زمان‌های اولیه بیشتر و با مرور زمان کاهش می‌یابد.
- (۲) پارچه به صورت یک جرم متمرکز در نظر گرفته شده و تغییرات مرکز جرم پارچه به عنوان تغییرات طولی پارچه گزارش شده است. در صورتی که تغییرات در طول پارچه یکنواخت نیست و در قسمت‌های انتهایی پارچه نسبت به ابتدا بیشتر می‌باشد.
- (۳) خطی فرض نمودن میراکننده و فنر در مدل ارائه شده. مشاهده می‌شود برای نمونه‌های ۴ و ۵ نسبت به ۳ نمونه اول درصد خطای بیشتری وجود دارد. به عبارت دیگر قابلیت مدل ارائه شده در پیش‌بینی تغییرات طولی برای نمونه‌ها با تراکم طولی زیاد یعنی طول حلقه کوتاه‌تر بیشتر می‌باشد. با توجه به اینکه در پوشاک، پارچه‌ها با تراکم طولی زیاد مورد مصرف بیشتری دارند، مدل ارائه شده می‌تواند مدلی مناسب برای پیش‌بینی تغییرات طولی پارچه‌های حلقوی مورد مصرف در پوشاک که به دلایلی چون باران یا عرق بدن خیس می‌شوند، باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار خشک شدن پارچه‌های حلقوی پودی با بافت ساده بررسی شد. در ابتدا با در نظر گرفتن چندین فرضیه، یک مدل غیرخطی شامل یک جرم متمرکز، فنر و دمپر خطی ارائه گردید. با توجه به اینکه پارچه مرطوب می‌باشد، جرم متغیر با زمان در نظر گرفته شد و معادلات غیرخطی حرکت توسط روش بسط مستقیم حل گردید. همچنین رفتار دینامیکی پارچه بعد از خشک شدن نیز توسط یک مدل خطی، مدل‌سازی گردید. نتایج پیش‌بینی توسط مدل برای پنج نمونه پارچه با تراکم‌های طولی متفاوت با نتایج تجربی مقایسه گردید. قابل ذکر است که پارامترهای اولیه مدل توسط آزمایش هیستریزس نمونه‌ها تعیین گردید.

- [10] A. Augusto, U. D. Souza, L. F. C. Cherem, M. A. Selene, G. U. Souza, Prediction of dimensional changes in circular knitted cotton fabrics, *Textile Research Journal*, Vol. 80, No. 3, pp. 236-252, 2009.
- [11] R. Rebecca, V. Amber, B. E. Niven, C. A. Wilson, Effects of Laundering and Water Temperature on the Properties of Silk and Silk-blend Knitted Fabrics, *Textile Research Journal*, Vol. 80, No. 15, pp. 1557-1568, 2010.
- [12] R. Postle, D. L. Munden, Analysis of the dry-relaxed knitted-loop configuration: part I: two-dimensional analysis, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 58, No. 6, pp. 329-351, 1967.
- [13] N. All Hasan, T. Mook Dean, *Nonlinear oscillations*, New York, Wiley Classics Library Edition Published, pp. 51-54, 1995.
- [14] Y. Li, X. Q. Dai, *Biomechanical engineering of textiles and clothing*, North America by CRC Press LLC, Woodhead Publishing Limited, pp. 115-120, 2006.
- [15] British Standards Institution. BS 5441: 1988. *Methods of test for knitted fabrics*.
- [16] ASTM D2594-99a: 1999: *Standard Test Method for Stretch Properties of Knitted Fabrics Having Low Power*
- [4] L. Higgins, S. C. Anand, M. E. Hall, D. A. Holmes, Effect of tumble-drying on selected properties of knitted and woven cotton fabrics: part II: effect of moisture content, temperature setting, and time in dryer on cotton fabrics, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 94, No. 1, pp. 129-139, 2003.
- [5] L. Onal, C. Candan, Contribution of fabric characteristics and laundering to shrinkage of weft knitted fabrics, *Textile Research Journal*, Vol. 73, No. 3, pp. 187-191, 2003.
- [6] Q. H. Chen, K. F. Au, C. W. M. Yuen, K. W. Yeung, An analysis of the felting shrinkage of plain knitted Wool fabrics, *Textile Research Journal*, Vol. 74, No. 5, pp. 399-404, 2004.
- [7] N. Ucar, H. C. Karakas, Effect of lyocell blend yarn and pile type on the properties of pile loop knit fabrics, *Textile Research Journal*, Vol. 75., No. 4, pp. 352-356, 2004.
- [8] A. S. Lo, T. Y. Lo, K. F. Cho, The effect of resin finish on the dimensional stability of cotton knitted fabric, *Journal of the Textile Institute*, Vol. 100, No. 6, pp. 530-538, 2009.
- [9] D. Mikucioniene, G. Laureckiene, The Influence of Drying Conditions on Dimensional Stability of Cotton Weft Knitted Fabrics, *Materials science*, Vol. 15, No. 1, pp. 64-68, 2009.