

# تحلیل دینامیکی حرکت سوزن ماشین گردباف بر روی بادامک به روش المان

## محدود

سید مهدی حجازی  
استادیار دانشکده مهندسی نساجی  
دانشگاه صنعتی اصفهان  
hejazi110@cc.iut.ac.ir

سید بهزاد عبدالهی\*  
کارشناسی ارشد مهندسی نساجی - تکنولوژی نساجی  
دانشگاه صنعتی اصفهان  
b.abdellahi@tx.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶

### چکیده

استفاده از نرم‌افزارهای المان محدود به منظور تحلیل و بررسی مکانیزم‌های مختلف یکی از روش‌های مرسوم می‌باشد. در این مقاله برای اولین بار دینامیک حرکت سوزن ماشین گردباف فالمک<sup>۱</sup> ساخت کشور سنگاپور بر روی بادامک این ماشین به روش المان محدود مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تغییرات تنش و ارتعاش در پایه و سر سوزن تحلیل گردید. نتایج، حاکی از آن بود که بیشترین دامنه‌ی ارتعاش در پایه و سر سوزن در حرکت به سمت بالای سوزن رخ می‌دهد. از این رو جهت طراحی بادامک ماشین گردباف باید بر روی قسمت صعود بادامک دقت بیشتری شود. علاوه بر این نتایج نشان می‌داد که دامنه‌ی ارتعاش سر سوزن در ابتدای حرکت سوزن بیشتر از پایه‌ی سوزن است. از طرفی تغییرات تنش در سر سوزن، بیشتر از پایه‌ی سوزن است و این نیز موجب ایجاد جرک<sup>۲</sup> بیشتر در سر سوزن می‌شود. به همین دلیل است که شکست در سر سوزن ماشین گردباف بیشتر از پایه‌ی سوزن می‌باشد. از طرف دیگر بیشترین تنش در سوزن، زمان تغییر مسیر سوزن به سمت پایین رخ می‌دهد که به منظور کاهش این پدیده پیشنهاد می‌شود قسمت پایین و بالای بادامک به گونه‌ای طراحی گردد که پایه‌ی سوزن را تحت کنترل خود داشته و از برخورد ناگهانی سوزن به بادامک جلوگیری کند.

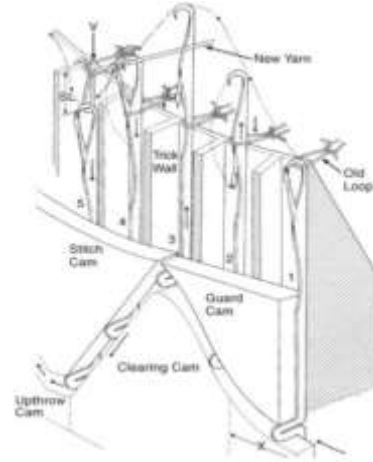
**واژگان کلیدی:** ماشین گردباف، سوزن گردباف، المان محدود، ارتعاش

### ۱. مقدمه

گردباف می‌باشند. ماشین‌های گردباف به منظور تولید پارچه‌های حلقوی پودی<sup>۳</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این ماشین سوزن‌ها به کمک اجزای دیگر نظیر بادامک‌ها، نخ را خمیده کرده و حلقه‌های به هم پیوسته‌ای تشکیل می‌دهند. در نهایت از اتصال ردیف‌ها متوالی از حلقه‌ها، پارچه‌ی

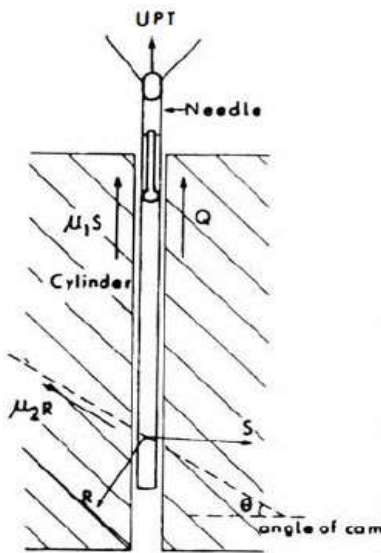
در دستگاه‌های نساجی به علت دقت بالای عملکرد، ظریف بودن قطعات و همچنین سرعت بالا، موضوع ارتعاش قطعات و همچنین جرک از اهمیت خاصی برخوردار است. از جمله دستگاه‌های نساجی که بحث ارتعاش در کنار سرعت بالای عملکرد بسیار حائز اهمیت است، ماشین‌های بافندگی

حلقوی با طرح بافت‌های مورد نظر تولید می‌شود [۱]. جهت تشکیل حلقه لازم است پایه سوزن بر روی بادامک حرکت کرده و به سمت بالا حرکت کند. سپس در بالاترین نقطه، نخ توسط قلاب سوزن گرفته شده و با حرکت به سمت پایین حلقه مورد نظر تشکیل می‌شود (شکل ۱) [۲].



شکل ۱. حرکت سوزن بر روی بادامک [۲]

همچنین با افزایش نیروهای وارد بر پایه‌ی سوزن احتمال شکستگی سر سوزن نیز افزایش می‌یابد زیرا تنش‌های ایجاد شده در پایه‌ی سوزن به سر سوزن منتقل می‌شوند [۳]. شکل (۲) نیروهای وارد بر سوزن در هنگام حرکت بر روی بادامک را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نیروهای وارد بر سوزن در هنگام حرکت بر روی بادامک [۴]

مکانیزم ایجاد حرکت عمودی سوزن جهت دریافت نخ و تشکیل حلقه‌ی بافت متفاوت است. به طور کلی می‌توان مکانیزم‌های ایجاد حرکت عمودی سوزن را به دو دسته‌ی زیر تقسیم کرد:

۱- بادامکی

۲- الکترونیکی

در مکانیزم بادامکی، بادامک در جای خود ثابت شده و سوزن با حرکتی که از سیلندر به آن منتقل می‌گردد بر روی بادامک حرکت می‌کند. اما در مکانیزم الکترونیکی، سوزن، با استفاده از جریان آهنربایی حرکت به سمت بالا و پایین دارد [۱].

مکانیزم بادامکی به علت سادگی در عملکرد و هزینه‌ی پایین آن بسیار متداول می‌باشد. با توجه به انتقال حرکت مکانیکی در این نوع ماشین‌ها، بحث ارتعاش و شکست سوزن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. بر طبق تحقیقات انجام شده هرچه نیروهای تماسی بین پایه‌ی سوزن و بادامک افزایش یابد، احتمال شکستگی در پایه‌ی سوزن افزایش می‌یابد.

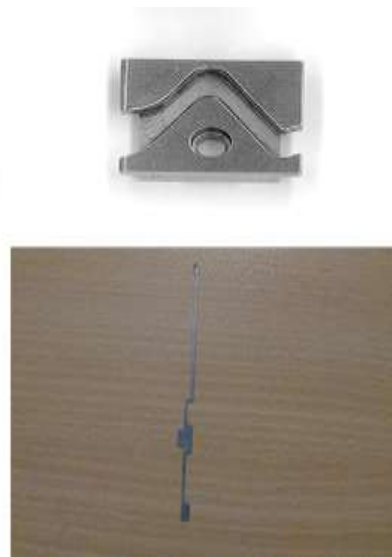
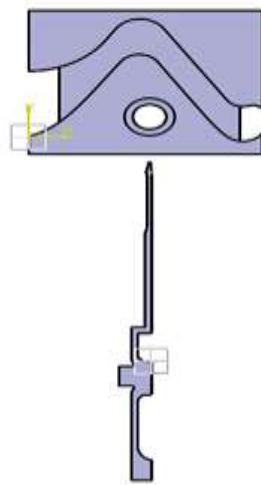
در شکل ۲ نیروی کششی وارد بر سوزن از طرف نخ،  $R$  نیروی عمودی وارد بر پایه‌ی سوزن از جانب بادامک،  $S$  نیروی عمودی وارد بر سوزن از جانب سیلندر،  $\mu_1$  و  $\mu_2$  به ترتیب ضریب اصطکاک بین سوزن و سیلندر و سیلندر و بادامک، و  $\theta$  زاویه‌ی بادامک با افق می‌باشد [۴]. در تحقیقات صورت گرفته بیشتر بر نیروهای وارد بر پایه‌ی سوزن در یک نقطه‌ی خاص از مسیر پرداخته شده، و در رابطه با روند تغییرات نیرو و تنش‌ها در پایه‌ی سوزن و حتی سر سوزن تحقیقی صورت نگرفته است. از این رو در این پژوهش برای اولین بار به بررسی تغییرات تنش ایجاد شده در پایه و سر سوزن در هنگام حرکت بر روی بادامک ماشین بافندگی فالمرک ساخت کشور سنگاپور به روش المان محدود پرداخته می‌شود. هدف از انجام این پژوهش مشخص کردن تنش‌ها

و ارتعاشات ایجاد شده در پایه و سر سوزن در طول حرکت سوزن بر روی بادامک بوده و استفاده از این نتایج جهت طراحی بهتر بادامک به منظور کاهش این عوامل می‌باشد. از این رو می‌توان از شکست سوزن در هنگام بانندگی جلوگیری کرده و راندمان تولید را افزایش داد. همچنین ارتعاشات ایجاد شده در پایه و سر سوزن با یکدیگر مقایسه شده و احتمال شکست در پایه و سر سوزن بررسی گردید.

## ۲. تحلیل به روش المان محدود

### ۲-۱. طراحی مدل

به منظور تحلیل به روش المان محدود از سوزن و بادامک بافت ماشین گردباف فالمک ساخت کشور سنگاپور استفاده شد. در بادامک بافت سوزن بیشترین حرکت عمودی به سمت بالا را دارد و ارتعاش و همچنین نیروهای وارد بر سوزن در این بادامک بیشتر می‌باشد. معادله‌ی حاکم بر مسیر بادامک با استفاده از ابزار انطباق منحنی<sup>۴</sup> در نرم‌افزار متلب به دست آمد. با توجه به معادله‌ی به دست آمده، بادامک مورد نظر در نرم‌افزار کتیا<sup>۵</sup> وی‌آر۲۰ به همراه سوزن ماشین گردباف طراحی گردید. شکل ۳ سوزن و بادامک ماشین گردباف به همراه شکل طراحی شده در نرم‌افزار کتیا را نشان می‌دهد.



شکل ۳. بادامک و سوزن ماشین گردباف به همراه شکل طراحی شده

تحلیل‌هایی که از سرعت بالایی برخوردار هستند، مناسب می‌باشد. رابطه‌ی بین تنش و کرنش پلاستیک جانسون-کوک در زیر آورده شده است [۵]:

$$\bar{\sigma} = \left[ A + B(\bar{\epsilon}_{pl})^n \right] \left[ 1 + C \ln \left( \frac{\bar{\epsilon}_{pl}}{\bar{\epsilon}_0} \right) \right] [1 - (\theta)^m] \quad (1)$$

در رابطه ۱  $A$  تنش سیلان اولیه،  $B$  مدول سخت شونده‌گی،

### ۲-۲. خواص مکانیکی

به منظور تحلیل به روش المان محدود از نرم‌افزار آباکوس<sup>۶</sup> ۶,۱۲,۱ استفاده شد. مدل طراحی شده جهت تحلیل به نرم-افزار آباکوس فراخوانی گردید. جنس بادامک و سوزن فولاد ۴۳۴۰ انتخاب شد. جهت بیان خواص پلاستیک ماده از معیار جانسون-کوک<sup>۷</sup> استفاده گردید. استفاده از خواص پلاستیک بدان جهت می‌باشد که در صورت رخ دادن کرنش پلاستیک نادرست بودن تحلیل ثابت گردد. معیار جانسون-کوک برای

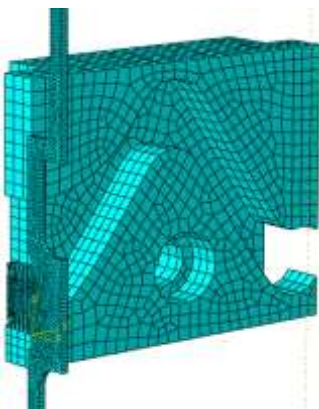
استفاده شد [۷]. شکل ۴ پایه سوزن قرار گرفته بر روی سیلندر ماشین و بادامک بافت را نشان می‌دهد.



شکل ۴. سوزن و بادامک نصب شده بر روی ماشین بافندگی

### ۲-۴. مش‌ریزی

جهت مش‌ریزی مدل طراحی شده از المان‌های انتگرال کاهش یافته C3D8R با ۸ گره و قابلیت کنترل پدیده‌ی ساعت شنی استفاده شد. در مش‌ریزی، استقلال نتایج نسبت به اندازه‌ی ابعاد مش مورد بررسی قرار گرفته و ابعاد بهینه مش جهت تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که جهت حل مسئله از روش حل دینامیکی صریح استفاده گردید. شکل ۵ مدل مش‌ریزی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵. مش‌ریزی بر روی مدل

### ۳. تجزیه و تحلیل نتایج

شکل ۶ کانتورهای تنش فون میسز برای سه نقطه‌ی مختلف از حرکت سوزن بر روی بادامک را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است با حرکت سوزن به سمت بالا

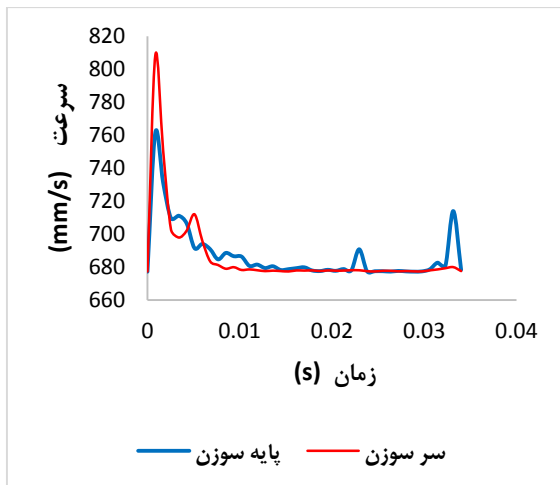
$n$  ضریب سخت شوندگی،  $C$  ضریب حساسیت نرخ کرنش و  $\overline{\epsilon_{pl}}$  کرنش پلاستیک می‌باشد. لازم به ذکر است که در این تحلیل تنها به برهم کنش‌های مکانیکی پرداخته شده و از انتقال حرارت ایجاد شده بین بادامک و سوزن به علت حضور روغن زیاد صرف نظر شده است. از این رو، داده‌های مرتبط با دما در تحلیل وارد نمی‌شود. مقادیر داده‌های وارد شده برای پیش‌بینی خواص مکانیکی سوزن و بادامک در جدول ۱ مشخص شده‌اند:

جدول ۱. خواص مکانیکی بادامک و سوزن [۶]

خواص	علائم	Steel 4340
چگالی ( $\text{Kg/m}^3$ )	$\rho$	۷۸۵۰
مدول یانگ (GPa)	$E$	۲۰۶/۸
ضریب پواسون	$\nu$	۰/۲۹
تنش سیلان اولیه (MPa)	$A$	۵۳۰
مدول سخت شوندگی (MPa)	$B$	۸۲۴
ضریب سخت شوندگی کرنشی	$n$	۰/۵۱
ضریب حساسیت نرخ کرنش	$C$	۰/۰۱۷

### ۲-۳. شرایط مرزی و تماس سطوح

به منظور اعمال شرایط مرزی تمامی درجات آزادی برای بادامک بسته شد. شرایط مرزی برای سوزن به گونه‌ای اعمال شد که سوزن دارای درجات آزادی در راستای حرکت افقی و عمودی بوده، اما دوران و حرکت در راستای ضخامت بادامک را ندارد (طبق درجات آزادی بر روی ماشین بافندگی). با توجه به سرعت ماشین بافندگی به سوزن سرعت  $۶۷۷/۳۳$  میلی‌متر بر ثانیه در راستای محور طولی بادامک اعمال گردید. همچنین به منظور ایجاد تماس بین سوزن و بادامک از فرمول بندی پنالتی<sup>۸</sup> با ضریب اصطکاک  $۰/۱۲۵$

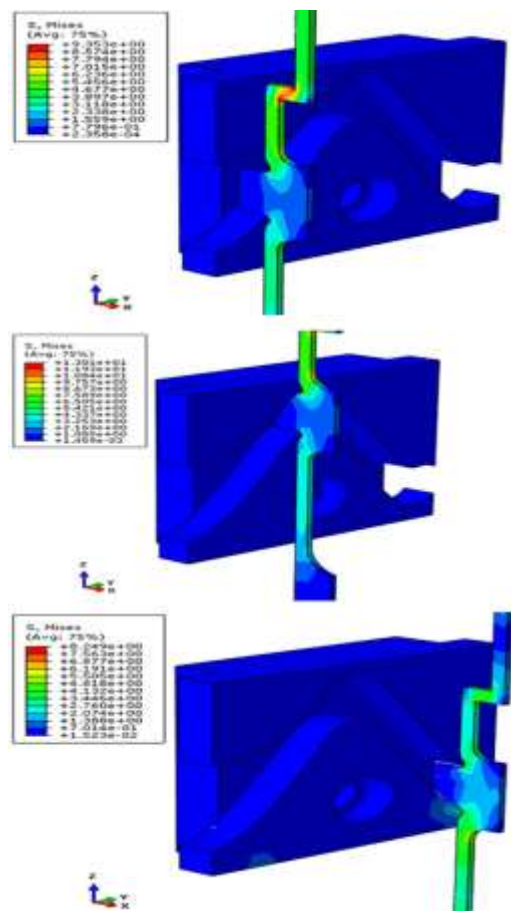


شکل ۷. تغییرات سرعت در پایه و سر سوزن

بر طبق شکل ۷، در ابتدای حرکت سوزن به سمت بالا، دامنه‌ی ارتعاشات در سر سوزن بیشتر از پایه‌ی سوزن می‌باشد. علت این امر را می‌توان در این دانست که پایه‌ی سوزن توسط دیواره‌های بادامک کنترل شده و از ارتعاش زیاد آن جلوگیری می‌کند اما سر سوزن آزاد بوده و ارتعاش آن بیشتر می‌باشد. این ارتعاش زیاد در برخی موارد ممکن است در مواردی که از نخ بسیار ظریف (با قطر کم) استفاده می‌شود، سبب بروز مشکلاتی نظیر دریافت نکردن نخ توسط سوزن گردد. همچنین با توجه به اینکه پس از گذشت چند مرحله از بافت، حلقه‌های پارچه توسط بدنه‌ی سوزن نگه داشته شده‌اند، این ارتعاش ممکن است سبب شکست سر سوزن شود. همچنین با بررسی شکل ۷ می‌توان دریافت بیشتر ارتعاش در هنگام حرکت به سمت بالا می‌باشد. از این رو برای عملکرد بهتر سوزن و همچنین کاهش ارتعاشات وارد بر سوزن، لازم است قسمت صعود بادامک به گونه‌ای طراحی گردد تا از ارتعاشات زیاد سوزن جلوگیری شود.

به منظور بررسی جرک ایجاد شده در پایه و سر سوزن، نمودار تغییرات تنش بر حسب زمان رسم گردید. شکل ۷ نمودار تغییرات تنش بر حسب زمان در پایه و سر سوزن را نشان می‌دهد.

تنش افزایش یافته و در بالاترین نقطه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. پس از آن با حرکت به سمت پایین از مقدار تنش‌ها کاسته می‌شود. همچنین در تحلیل صورت گرفته هیچ یک از اجزا وارد فاز پلاستیک نشده که این نشان‌دهنده‌ی آن است که تحلیل در فاز الاستیک صورت پذیرفته که با واقعیت نیز مطابقت دارد. به منظور بررسی ارتعاشات در سوزن، سرعت دو نقطه‌ی پایه و سر سوزن در راستای افقی مقایسه می‌گردد. شکل ۶ نمودار تغییرات سرعت در پایه و سر سوزن برحسب زمان را نشان می‌دهد.

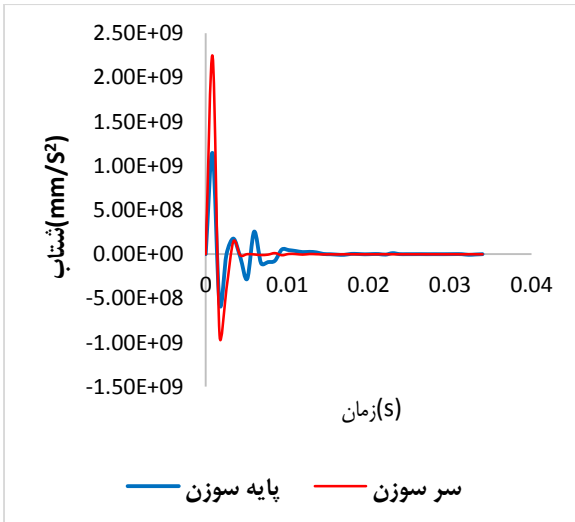


شکل ۶. کانتورهای تنش فون میسز در سه نقطه‌ی حرکت سوزن



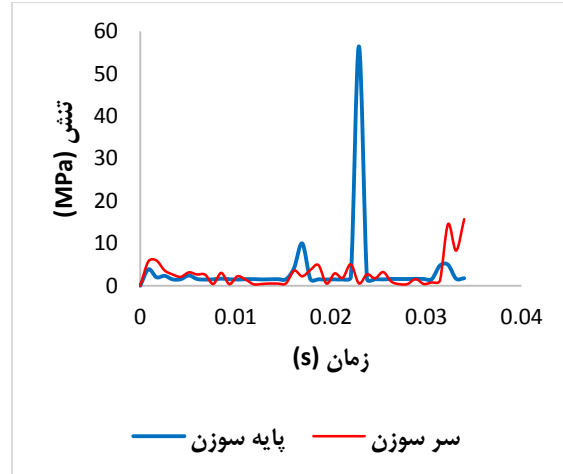
شکل ۹. سوزن‌های شکسته شده ماشین بافندگی Falmac

نمودار تغییرات شتاب در پایه و سر سوزن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. تغییرات شتاب در پایه و سر سوزن

بر طبق شکل ۱۰ دامنه‌ی تغییرات شتاب برای پایه و سر سوزن در ابتدای حرکت به سمت بالای بادامک بیشترین مقدار خود را دارد که علت آن را می‌توان ناشی از تغییرات سرعت در ابتدای حرکت دانست. سپس در انتهای مسیر شتاب تقریباً به صفر رسیده که نشان دهنده‌ی تغییرات کم سرعت در نیمه‌ی دوم مسیر حرکت است.



شکل ۸. تغییرات تنش در پایه و سر سوزن

باتوجه به شکل ۸ در میانه‌ی راه برای پایه‌ی سوزن افزایش تنش رخ می‌دهد که علت آن را می‌توان از برخورد پایه‌ی سوزن با دیواره‌های بادامک به منظور تغییر جهت به سمت پایین دانست. به منظور کاهش تنش در پایه‌ی سوزن به هنگام تغییر مسیر پیشنهاد می‌شود قسمت پایینی و بالایی بادامک به گونه‌ای طراحی شود که حرکت پایه‌ی سوزن را کاملاً در کنترل داشته و از برخورد ناگهانی پایه‌ی سوزن با قسمت بالایی بادامک جلوگیری شود. اما تغییرات تنش در سر سوزن بیشتر از پایه‌ی سوزن می‌باشد. این تغییرات زیاد خود نیز عاملی جهت ایجاد جرق در سر سوزن بوده و سبب شکست سر سوزن می‌شود. واری و بورنز<sup>۹</sup> (۱۹۷۸) [۸] به بررسی نیروهای وارد بر سوزن از طرف بادامک باتوجه به هندسه‌ی قسمت صعود بادامک پرداختند. آنها دریافتند که تغییرات زیاد تنش در سر سوزن به خصوص زبانه‌ی آن، علت اصلی شکست سر سوزن می‌باشد که نمودار شکل ۸ این نتیجه را تأیید می‌کند. شکل ۹ دو سوزن شکسته شده ماشین گردباف فالماک را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۹ مشخص است شکستگی‌ها در سر سوزن رخ داده که علت آن را می‌توان تغییرات زیاد تنش در سر سوزن دانست که با نتایج تحلیل مطابقت دارد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

سوزن بیشتر است که این امر حاکی از ایجاد جرک بیشتر در سر سوزن می‌باشد. از این رو احتمال شکست در سر سوزن بیشتر از پایه‌ی سوزن است. بیشترین میزان تنش در بالاترین قسمت حرکت سوزن در پایه‌ی سوزن رخ می‌دهد که زمان تغییر مسیر سوزن به سمت پایین می‌باشد که به منظور کاهش این تنش باید دو قسمت بالایی و پایینی بادامک به گونه‌ای طراحی گردد که پایه‌ی سوزن را تحت کنترل خود قرار داده و از ضربه خوردن ناگهانی پایه‌ی سوزن به بادامک جلوگیری شود.

باتوجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت هنگام حرکت سوزن بر روی بادامک ارتعاش در سوزن ایجاد می‌شود. این ارتعاش در پایه و سر سوزن هنگام حرکت به سمت بالا بیشتر می‌باشد. همچنین با توجه به تغییرات سرعت در پایه و سر سوزن می‌توان نتیجه گرفت دامنه‌ی ارتعاش سر سوزن بیشتر از پایه‌ی سوزن می‌باشد. از این رو باید در هنگام طراحی بادامک ماشین بافندگی تمرکز بیشتر بر روی قسمت صعود بادامک صورت گیرد. همچنین با توجه به تغییرات تنش در پایه و سر سوزن، تغییرات تنش در سر

#### ۵. مأخذ

- [1] Spencer, D. J. "Knitting Technology: A Comprehensive Handbook and Practical Guide." Vol.16: CRC Press, 2001.
- [2] Iyer, C., B. W. Mammel, Schäch, and C. Iyer "Circular Knitting: Technology, Process, Structures, Yarns, Quality." Meisenbach, 1995.
- [3] Knapton, J. and T.-Y. Lau, "19 The design and dynamics of non-linear cams for use in high-speed weft-knitting machines part i: the theoretical dynamics of non-linear cams." *Journal of the Textile Institute*, Vol.69, 1978, pp. 161-168.
- [4] Wray, G., and N. Burns, "21-Dynamic forces in weft-knitting part ii: the effects of the cam-cylinder clearance and the presence of yarn on cam forces." *Journal of the Textile Institute*, Vol.67, 1976, pp. 156-161.
- [5] Rule, W. K., and S. Jones, "A revised form for the Johnson-Cook strength model." *International Journal of Impact Engineering*, Vol.21, 1998, pp. 609-624.
- [6] Jutras, M. "Improvement of the Characterisation Method of the Johnson-Cook Model." Citeseer, 2008.
- [7] Wray, G. and N. Burns, "20—Dynamic forces in weft-knitting: part I: a comparison of measured non-knitting cam forces with mathematically predicted values." *Journal of the Textile Institute*, Vol.67, 1976, pp. 149-155.
- [8] Wray, G. and N. Burns, "38—Cam-to-Needle impact forces in weft-knitting part xi: the measurement of impact-induced strains in latch needles." *Journal of the Textile Institute*, Vol.69, 1978, pp. 315-320.

#### پی‌نوشت

1. Falmac
2. Jerk
3. Weft knitted fabric
4. Curve fitting
5. CATIA V5R20
6. ABAQUS 6.12.1
7. Johnson-Cook
8. Penalty
9. Wary and Burns