



مجله علمی پژوهشی علوم و تکنولوژی نساجی  
سال چهارم، شماره دوم، بهار و تابستان ۸۸  
رسید: بهار ۸۹، پذیرش: پاییز ۸۹

## تأثیر ساختمان بافت بر روی رفتار بیرون کشی نخ از داخل پارچه های تار ی - پودی

انصراف نعمتی<sup>۱</sup>، علی اصغر اصغریان جدی<sup>۲\*</sup>، سید عبدالکریم حسینی<sup>۳</sup>

### چکیده

آزمایش بیرون کشی نخ از داخل ساختار پارچه (yarn pullout)، روش قدیمی و مناسب جهت بررسی تاثیر خصوصیات نخ و بافت بر روی رفتار مکانیکی پارچه، و مکانیزم جذب انرژی پارچه می باشد. در این پژوهش مدل مکانیکی تعادل نیروها در تست بیرون کشی نخ از داخل ساختمان پارچه، در کلیه بافت های پارچه های تار ی - پودی تعمیم داده شده است. و هم چنین تاثیر ساختمان بافت بر روی نیروی بیرون کشی نخ و بر روی انرژی ذخیره شده در پارچه در حین انجام تست بیرون کشی با استفاده از اصل تعادل نیروها بررسی شده است. با استفاده از این مدل پاره ای از خصوصیات مکانیکی پارچه ها از قبیل نیروی نرمال و نیروهای داخلی و هم چنین ضریب اصطکاک نخ با نخ و تغییر زاویه بافت در حین آزمایش، تخمین زده شده است.

جهت ارزیابی و تعمیم مدل، ۴ نوع پارچه در بافت های تافته، سرزه ۲×۱، سرزه ۳×۱، سرزه ۵×۱، که جنس نخ تار آن ها فاستونی (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) و جنس نخ پود آن ها پلی استر است تولید گردیدند؛ و آزمایش pull out نخ بر روی این پارچه ها صورت گرفت. نتایج حاکی از آن است که تعمیم این مدل بر روی کلیه بافت ها مطابقت خوبی با نتایج تجربی داشته است.

**کلمات کلیدی:** آزمایش بیرون کشی نخ، ضریب اصطکاک، ساختمان بافت، پارچه تار ی - پودی.

### Abstract

The extract of yarn from the structure of fabric (yarn pull out test) is a conventional and suitable method to investigate the effects of yarn properties and structural characteristics of weave on fabrics energy absorption mechanism.

In this study, the analytical force-balance model on the yarn pull out test, was generalized for different construction and woven fabrics moreover the influence of fabric construction on the yarn pull out behavior and on the fabric's energy absorption during the yarn pull out test was studied by force balance analysis by using this model can predicted variations in the internal mechanical parameters of woven fabrics such as normal local , lateral forces, yarn-to-yarn friction coefficient and angle variations during the pull out test.

In order to assess the offered model, four types fabrics plain, twill 2×1, twill 3×1, twill 5×1 which were constructed from worsted yarn in weft were produced an the pull out test was done on these fabrics .This model is found to replicate the experimental data to a high degree of accuracy and this deduction express the veracity of presented model.

**Key word :** yarn pull out test, friction coefficient, construction fabric, woven fabric

۱. دانش آموخته و کارشناس ارشد مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. مسئول مکاتبات: [Ajeddi@aut.ac.ir](mailto:Ajeddi@aut.ac.ir)

۳. دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

## ۱. مقدمه

از میان روش های مختلفی که جهت ارزیابی خصوصیات مکانیکی پارچه ها مورد استفاده قرار می گیرد، آزمایش بیرون کشی نخ روشی کاربردی می باشد که با تکیه بر نقش نخ ها به عنوان اجزای سازنده ی پارچه، جهت شناسایی برهم کنش های داخلی آن به کار برده می شود. یکی از فرضیات مهم در این نوع بارگذاری، در نظر گرفتن پارچه به صورت کامپوزیتی از نخ های تشکیل دهنده ی آن است.

آزمایش بیرون کشی نخ روشی است که اطلاعات مفیدی را در خصوص پاره شدن پارچه ها، توانایی جذب انرژی آنها به خصوص در کاربردهای پرتابی، راندمان تکمیل، هیستریزس خمشی و برشی و نهایتاً رفتار اصطکاکی پارچه فراهم می کند. در این آزمایش، نیرو به انتهای یک سر نخ بافته شده وارد گشته تا آن را بیرون بکشد [۱]. این نوع بارگذاری شیوه ی جدیدی نیست و دانشمندان زیادی از این آزمایش جهت ارزیابی رفتار مکانیکی پارچه ها استفاده کرده اند.

Taylor برای نخستین بار، دیدگاه کاربرد تئوری بیرون کشی نخ از داخل پارچه را جهت توصیف مکانیزم های پارگی آن مطرح نمود [۲]. Sebastian از آزمایش بیرون کشی نخ جهت ارزیابی تأثیر نرم کننده بر راندمان تکمیل پارچه استفاده کرد [۳]. Sebastian و Motamedi به منظور بررسی رفتار اصطکاکی نخ ها در داخل پارچه، مدل هایی فیزیکی را بر پایه ی اتصالات فنر ارائه دادند [۴]. در خصوص عیوب پارچه، Seo و Realff توجه خود را بر نقش اصطکاک نخ با نخ و لغزیدن نخ ها در نقاط تقاطع، هنگامی که پارچه تحت اعمال نیرو قرار می گیرد، معطوف داشتند. آنها اظهار داشتند که بیرون کشی نخ، قبل از پارگی پارچه اتفاق می افتد [۵]. Pan از آزمایش بیرون کشی در مطالعات کامپوزیتی استفاده نمود. او با استفاده از این آزمایش، لیفی را از داخل ماتریس بیرون کشیده و با این عمل موضوعاتی نظیر ماهیت شکل گیری الیاف در داخل ماتریس، انتقال فشار از ماتریس به الیاف، استحکام و گسیختگی کامپوزیت ها و نوع برهم کنش های میان الیاف و ماتریس را تحلیل نمود [۶]. NING PAN و MEE-YOUNG YOON با اصلاح مدل تحلیلی مربوط به ساختارهای بی بافت، رفتار بیرون کشی نخ در پارچه تار-پودی را به طور تئوری و تجربی مورد بررسی قرار دادند [۷]. Badrossamay و همکارانش با مطالعه ی منحنی نیرو-جابه جایی آزمایش بیرون کشی نخ از داخل بافت تافته، مدلی را جهت پیش بینی مقدار نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ و به دست آوردن منحنی آن ارائه دادند که به مدل ارتعاشی موسوم است [۸]. Kirkwoods و همکارانش بر روی فرآیند بیرون کشی نخ به عنوان جاذب انرژی مطالعه کرده و ارتباط میان نیروی بیرون کشی نخ و انرژی را به عنوان تابعی از فاصله ی بیرون کشی، از طریق مدلی نیمه تجربی توصیف کردند [۹]. Valizadeh و همکارانش مدلی تحلیلی بر اساس آزمایش بیرون کشی ارائه نمودند که توانایی پیش بینی تغییرات در پارامترهای مکانیکی داخلی پارچه های تار-

پودی را بر اساس تعادل نیروها دارا بود [۱]. Valizadeh و همکارانش به مدل سازی سه بعدی آزمایش بیرون کشی نخ از داخل پارچه‌ی تافته پرداختند. آنها خصوصیات نخ و پارچه را خطی و اورتوتروپیک در نظر گرفته و ثابت‌های مهندسی مورد نیاز را از نمودارهای کشش، فشار و برش تجربی به دست آوردند [۱۰].

در این پژوهش مدل مکانیکی تعادل نیروها بر روی بافت تافته که توسط ولی زاده و همکارانش در سال ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفت [۱]، بر روی برخی از بافت های تاری - پودی مانند سرژه ۲×۱، ۳×۱، ۵×۱، تعمیم داده شد و در نهایت یک رابطه کلی که در کلیه بافت های تاری - پودی قادر به تخمین نیروی بیرون کشی نخ می باشد ارائه شد. هم چنین جهت ارزیابی این تعمیم مدل، ۴ نوع پارچه با بافت های تافته، سرژه ۲×۱، سرژه ۳×۱، سرژه ۵×۱ با نخ تار فاستونی و نخ پود پلی استر تولید شد و آزمایش بیرون کشی نخ بر روی این پارچه ها صورت گرفت.

## ۲. تعمیم مدل مکانیکی تعادل نیروها بر روی کلیه بافت های تاری - پودی

علائم مورد استفاده جهت تحلیل مدل به ترتیب زیر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. علائم مورد استفاده جهت تحلیل مدل

|   |  |
|---|--|
| $E_y$ : مدول نخ مخالف ( $N / tex$ )                                 | $E_f$ : مدول پارچه در جهت تار ( $N / mm^2$ )                         |
| $F$ : نیروی بیرون کشی ( $N$ )                                       | $E_{yf}$ : مدول اصلاح شده ی نخ مخالف ( $N / tex$ )                   |
| $F_D$ : نیروی اصطکاکی دینامیک ( $N$ )                               | $F_S$ : نیروی اصطکاکی استاتیک ( $N$ )                                |
| $F_N$ : بار نرمال در هر تقاطع ( $N$ )                               | $f$ : نیروی بیرون کشی نرمال شده به ازای هر تقاطع ( $N$ )             |
| $M$ : تعداد تقاطعها در خلاف جهت نخ کشیده شده                        | $N$ : تعداد تکرار های کامل در عرض پارچه                              |
| $T_y$ : نیروی منتشر شده در جهت نخ مخالف ( $N$ )                     | $T_f$ : نیروی داخلی در جهت طول پارچه ( $N$ )                         |
| $h$ : ارتفاع پارچه قبل از کشیده شدن ( $mm$ )                        | $T_{yf}$ : نیروی اصلاح شده ی منتشر شده در جهت نخ مخالف ( $N$ )       |
| $L$ : طول پارچه قبل از کشیده شدن ( $mm$ )                           | $h'$ : ارتفاع پارچه بعد از کشیده شدن ( $mm$ )                        |
| $p$ : فاصله بین دو تقاطع در جهت مخالف قبل از کشیده شدن ( $mm$ )     | $L'$ : طول پارچه بعد از کشیده شدن ( $mm$ )                           |
| $t$ : ضخامت پارچه قبل از کشیده شدن ( $mm$ )                         | $p'$ : فاصله بین دو تقاطع در جهت مخالف در حین کشیده شدن ( $mm$ )     |
| $x$ : طول نخها بین دو تقاطع در جهت مخالف، قبل از کشیده شدن ( $mm$ ) | $t'$ : ضخامت پارچه بعد از کشیده شدن ( $mm$ )                         |
| $V$ : حجم نمونه قبل از کشیده شدن ( $mm^3$ )                         | $x'$ : طول نخها بین دو تقاطع در جهت مخالف، بعد از کشیده شدن ( $mm$ ) |
| $\alpha$ : زاویه ی تغییر شکل پارچه                                  | $V'$ : حجم نمونه در حین کشیده شدن ( $mm^3$ )                         |

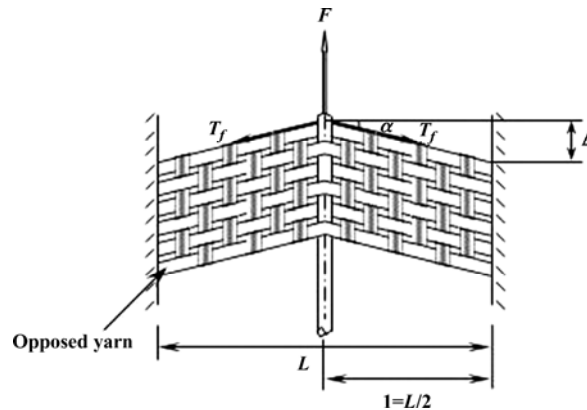
|   |   |
|---|---|
| $\Delta$ : جا به جایی پارچه در جهت نخ کشیده شده           | $\Delta S$ : جا به جایی استاتیک پارچه در جهت نخ کشیده شده                     |
| $\Delta D$ : جا به جایی دینامیک پارچه در جهت نخ کشیده شده | $\varepsilon_y$ : تغییر طول نخ بین دو تقاطع در جهت نخ مخالف (تغییر طول داخلی) |
| $\theta$ : زاویه ی بافت در جهت نخ مخالف قبل از کشیده شدن  | $\theta'$ : زاویه ی بافت در جهت نخ مخالف حین کشیده شدن                        |
| $F_{NA}$ : بار نرمال در نقاط تلاقی نوع اول (N)            | $F_{NB}$ : بار نرمال در نقاط تلاقی نوع دوم (N)                                |
| $F_{NC}$ : بار نرمال در نقاط تلاقی نوع سوم (N)            | $\mu_A$ : ضریب اصطکاک نخ با نخ در نقاط تلاقی نوع اول                          |
| $\mu_B$ : ضریب اصطکاک نخ با نخ در نقاط تلاقی نوع دوم      | $\mu_C$ : ضریب اصطکاک نخ با نخ در نقاط تلاقی نوع سوم                          |
| $F_{NS}$ : بار نرمال استاتیکی در هر تقاطع (N)             | $F_{ND}$ : بار نرمال دینامیکی در هر تقاطع (N)                                 |
| $\rho$ : چگالی خطی نخ مخالف ( <i>tex</i> )                | $\mu$ : ضریب اصطکاک نخ با نخ  |

## ۱.۲. فرضیات مدل

فرضیات اصلی مدل تعادل نیروها جهت تعمیم دادن بر روی کلیه بافت ها عبارت است از :

- در این پژوهش فرض می کنیم مطابق شکل ۱ یک نمونه مستطیل شکل از پارچه ( برای سهولت یک طرح تافته در نظر گرفته شده است) توسط دو طرف یک قاب U شکل از ۲ ضلع مقابل در جهت تار ثابت شده است و نیروی بیرون کشی به سر نخ پود در وسط نمونه وارد می شود به عبارتی بار گذاری متقارن می باشد و هم چنین انتهای نخ پود در حال کشش به میزان ۱۰ میلی متر در خارج از بافت به صورت آزاد قرار گرفته است.
- پارچه به صورت ترکیبی از نخ های تار و پود است که در نقاط تلاقی برهم عمودند.
- هندسه پارچه از مدل pierce پیروی می کند.
- از تغییر حجم در حین آزمایش صرف نظر شده است.
- کرنش ها در نخ های عمود بر نخ در حال کشش کم (low strain)، هستند.
- رفتار ماده در این مسئله، الاستیک فرض می شود که البته به طور قابل توجهی ساده سازی شده است.
- خواص مکانیکی نخ از قیود بافت تأثیر می پذیرد.
- فاصله میان تقاطع ها در بافت های پیچیده یکسان فرض می شود.
- تغییر شکل مشاهده شده حاصل از دو تنش اصلی کششی و غلبه بر اصطکاک است.

- از لغزش الیاف در درون نخ و پدیده Jamming پارچه صرف نظر شده است.
- در اثر کشیده شدن پارچه در حین بیرون کشی نخ، عرض پارچه ثابت فرض می شود. و چنانچه  $d_1, d_2$  قطر نخ های تار و پود فرض شود، رابطه  $t = d_1 + d_2$  میان قطر نخ ها و ضخامت پارچه برقرار است.



شکل ۱. تغییر شکل پارچه و جابجایی نقاط تلاقی در اثر اعمال نیروی متقارن

## ۲.۲. تخمین پارامترهای مکانیکی با استفاده از مدل تعادل نیروهای در بافت های مختلف

مدل مکانیکی تعادل نیروها به منظور دستیابی به خواص مکانیکی داخل پارچه، با استفاده از داده های هندسی و مکانیکی نخ و بافت و اطلاعات تغییر فرم پارچه در آزمایش بیرون کشی نخ از پارچه معرفی می گردد. پارامترهای مکانیکی که تخمین آن ها بر روی پارچه تافته و سرژه های  $۲ \times ۱$ ،  $۳ \times ۱$ ،  $۵ \times ۱$  مدنظر است، عبارتند از:

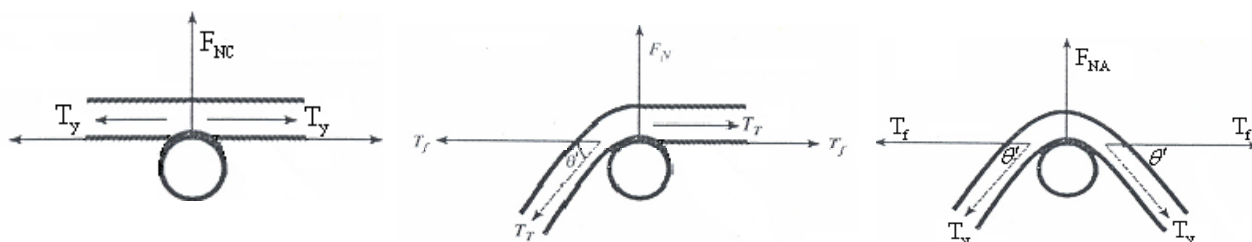
- نیروی نرمال در هر نقطه تلاقی
- ضریب اصطکاک نخ روی نخ
- تغییرات زاویه جعد نخ در بافت در اثر اعمال تنش کششی
- تنش کششی منتشر شده در صفحه پارچه
- نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ از بافت

در کلیه بافت های تار - پودی مطابق شکل های ۲، ۳، ۴ سه نوع نقطه تلاقی می تواند وجود داشته باشد. از آن جایی که هر پارچه تار پودی بنابر نوع بافت می تواند شامل فقط یک حالت از نقاط تلاقی و یا دو حالت و یا دارای هر سه حالت نقاط تلاقی باشد، بنابراین جهت به دست آوردن نیروی بیرون کشی نخ از داخل پارچه و هم چنین تخمین سایر پارامترهای مکانیکی مورد نظر در هر بافت، ابتدا باید نوع نقاط تلاقی موجود در هر بافت و تعداد آن ها در هر تکرار بافت مشخص شود، سپس با استفاده از قانون تعادل نیروها در هر نوع از نقاط تلاقی نیروی بیرون کشی نخ در آن نقطه تخمین زده شده و در نهایت کل نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ در عرض ثابتی از پارچه از مجموع نیروهای موجود در هر نقطه تلاقی در آن عرض محاسبه شود.

جهت تفکیک مقدار پارامترهای مکانیکی در هر نوع از نقاط تلاقی، از اندیس A برای نقاط تلاقی در حالت اول، اندیس B برای نقاط تلاقی در حالت دوم و اندیس C برای نقاط تلاقی در حالت سوم استفاده می شود.

در قسمت بعدی ابتدا سایر پارامترهای مکانیکی مورد نیاز در هر سه نوع از نقاط تلاقی محاسبه شده، سپس با استفاده از این پارامترها مقدار نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ از پارچه در عرض مشخصی از پارچه برای بافت های تافته، سرژه

$$1 \frac{T_2}{1}, \text{ سرژه } 1 \frac{T_3}{1} \text{ و سرژه } 1 \frac{T_5}{1} \text{ محاسبه می گردد.}$$



شکل ۲. نقطه تلاقی نوع اول (A) شکل ۳. نقطه تلاقی نوع دوم (B) شکل ۴. نقطه تلاقی نوع سوم (C)

الف) تخمین نیروهای جانبی و نیروی نرمال در هر نقطه تلاقی

نیرو جانبی  $T_f$  تصویر نیروی داخلی منتشر شده در جهت نخ تار ( $T_y$ ) روی امتداد صفحه پارچه است. با توجه به شکل

های ۲، ۳، ۴ و هم چنین اصل تعادل نیروها داریم :

$$T_y = \rho E_y \varepsilon_y \quad (1)$$

$$T_f = T_y \cos \theta' \quad (۲)$$

$$F_{NA} = 2\rho E_y \varepsilon_y \sin \theta' \quad (۳)$$

$$F_{NB} = \rho E_y \varepsilon_y \sin \theta' \quad (۴)$$

$$F_{NC} = 0 \quad (۵)$$

ب) تخمین کرنش و نیروی نرمال در هر نوع از نقاط تلاقی

مقدار کرنش در نخ های تار مشابه بافت تافته، از رابطه ۶ به دست می آید [۱].

$$\varepsilon_y = \frac{\cos \theta - \cos \alpha \cos \theta'}{\cos \alpha \cos \theta'} \quad (۶)$$

بنابراین

$$F_{NA} = 2\rho E_y \frac{\cos \theta - \cos \theta' \cos \alpha}{\cos \theta' \cos \alpha} \sin \theta' \quad (۷)$$

$$F_{NB} = \rho E_y \frac{\cos \theta - \cos \theta' \cos \alpha}{\cos \theta' \cos \alpha} \sin \theta' \quad (۸)$$

ج) تخمین ضریب اصطکاک و نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ از بافت

در این قسمت با استفاده از قانون اصطکاک آمونتون و هم چنین اصل تعادل نیروها در هر یک از نقاط تلاقی روابط زیر را خواهیم داشت، لازم به ذکر است مطابق شکل ۵ نیروهای  $f$ ،  $F_N$  و دو نیروی  $T_y$  در امتداد نخ تار ۴ نیروی اصلی در هر نقطه تلاقی محسوب می شوند.

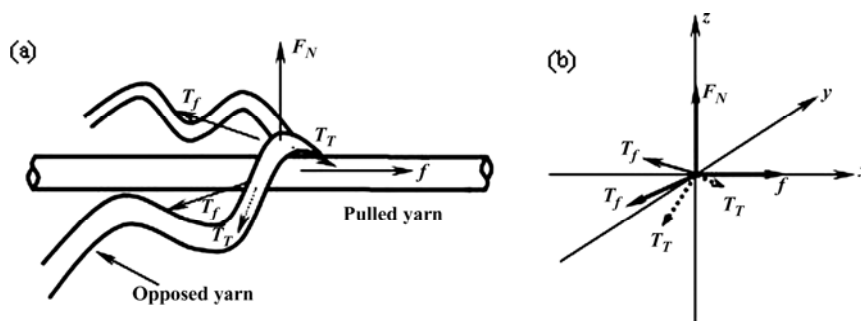
$$f_A = 2T_f \sin \alpha \quad (۹)$$

$$\mu_A = \frac{f_A}{F_{NA}} = \frac{2T_f \sin \alpha}{2T_y \sin \theta'} = \frac{T_y \cos \theta' \sin \alpha}{T_y \sin \theta'} = \sin \alpha \cot \theta' \quad (۱۰)$$

$$f_B = (T_f \cos \theta' + T_f) \sin \alpha \quad (۱۱)$$

$$\mu_B = \frac{f_B}{F_{NB}} = (1 + \cos \theta') \cot \theta' \sin \alpha \quad (12)$$

$$f_C = \mu_C F_{NC} = 0 \quad (13)$$



شکل ۵. شماتیک و نمودار انتشار نیروها در آزمایش بیرون کشی نخ پود

$\alpha$  عبارت است از زاویه بین جهت تار و پارچه و محور افقی در نقطه ای که  $F$  اعمال می شود. کلیه پارامترهای

محاسبه شده توسط این روابط در نقطه بیشینه استاتیکی زیرنویس  $S$  گرفته و دارای بیشینه خود در کل فرایند هستند.

(د) تخمین زاویه جعد نخ در داخل بافت

$\theta$  زاویه تجعد بین نخ های تار و محور طولی پارچه می باشد. در اثر انجام آزمایش بیرون کشی نخ، پارچه تحت کشش

واقع شده و  $\theta$  به  $\theta'$  کاهش می یابد.  $\theta'$  را می توان از رابطه ۱۴ تخمین زد [۱].

$$\theta' = \text{Arc tan}(\tan \theta \cos^2 \alpha) \quad (14)$$

(و) تخمین مدول الاستیک نرمالیزه شده نخ در داخل بافت

مدول الاستیک نخ در داخل بافت یکی از پارامترهای اولیه ای است که باید به معادلات مدل تغذیه شود. اما از آن

جایی که رفتار نخ در داخل بافت با رفتار آن در حالت آزاد متفاوت است نمی توان از مدول الاستیک اندازه گیری شده

استاندارد برای نخ آزاد استفاده نمود. در نتیجه با در نظر گرفتن نقاط تلاقی نخ های تار و پود در داخل پارچه به عنوان قیودی

که رفتار کششی نخ را داخل بافت تحت تأثیر قرار می دهند، مدول الاستیک نرمالیزه شده نخ با استفاده از رابطه ۱۵ و مدول

الاستیک پارچه تخمین زده می شود [۱].

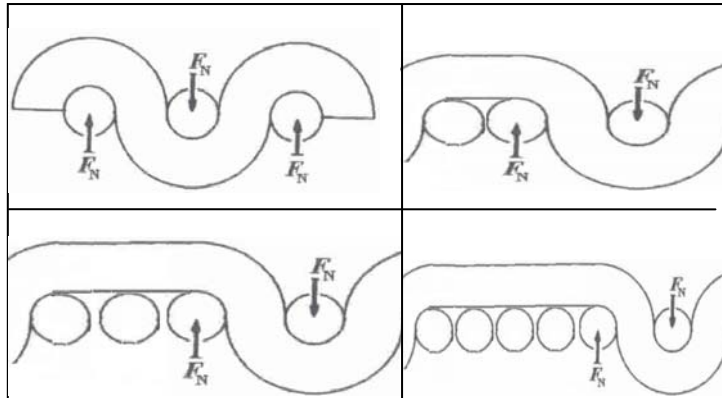
$$E_{yf} = \{ (\text{وزن خطی نخ} \times \text{تعداد نخ در عرض نمونه}) / (\text{مدول الاستیک پارچه} \times \text{ضخامت نمونه} \times \text{عرض}) \} \quad (15)$$



پس از تخمین پارامترهای مکانیکی لازم، حال می توانیم نیروی بیرون کشی نخ را در کلیه بافت ها محاسبه کنیم. با توجه به تعداد و نوع نقاط تلاقی در هر تکرار کامل از هر بافت و مطابق شکل ۶، در بافت تافته رابطه ۱۶ و در کلیه بافت های تاری - پودی رابطه ۱۷ را خواهیم داشت.

$$F = M\mu_A F_{NA} \tag{16}$$

$$F = N (2\mu_B F_{NB} + \mu_A F_{NA}) \tag{17}$$



شکل ۶. شماتیک مقطع عرضی از بافت های تافته، سرژه ۲×۱، سرژه ۳×۱، سرژه ۵×۱

### ۳. مواد و آزمایشات

#### ۱.۳. مواد اولیه و تجهیزات

مشخصات پارچه های مورد استفاده در آزمایشات و خصوصیات هندسی آن ها در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. نخ تار کلیه پارچه ها، نخ فاستونی مشکی رنگ (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) با نمره ۴۰/۲ متریک و نخ پود آن ها پلی استر سفید رنگ با نمره ۴۰/۲ متریک می باشد نمونه ها با استفاده از دستگاه بافندگی دابی الکترونیکی سولزر روتی G6200 ، سیستم رپیری با عرض 163 سانتی متر و نمره شان ۱۰/۲ توسط ۱۲ ورد بافته شده اند.

جدول ۲. ویژگی های عمومی پارچه های مصرفی در آزمایش ها

| توضیحات   | کد پارچه    |
|---|-------------|
| نخ تار فاستونی (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) نخ پود ۱۰۰٪ پلی استر رینگ با بافت $p_1^1$ با تراکم ۱۹   | $p_2(19)$   |
| نخ تار فاستونی (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) نخ پود ۱۰۰٪ پلی استر رینگ با بافت $T_1^2 z$ با تراکم ۲۲ | $T_1^2(22)$ |
| نخ تار فاستونی (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) نخ پود ۱۰۰٪ پلی استر رینگ با بافت $T_1^3 z$ با تراکم ۲۵ | $T_1^3(25)$ |
| نخ تار فاستونی (۴۵٪ پشم - ۵۵٪ پلی استر) نخ پود ۱۰۰٪ پلی استر رینگ با بافت $T_1^5 z$ با تراکم ۲۹ | $T_1^5(29)$ |

جدول ۳. خصوصیات هندسی پارچه های مصرفی در آزمایش ها

| خصوصیات هندسی            | $p_2(19)$ | $T_1^2(22)$ | $T_1^3(25)$ | $T_1^5(29)$ |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| cm/تراکم تار             | ۲۱        | ۲۱          | ۲۱          | ۲۱          |
| cm/تراکم پودی            | ۱۹        | ۲۲          | ۲۵          | ۲۹          |
| دانسیتة خطی نخ تار (tex) | ۵۰/۸۸     | ۵۰/۸۸       | ۵۰/۸۸       | ۵۰/۸۸       |
| دانسیتة خطی نخ پود (tex) | ۵۰/۹۸     | ۵۰/۹۸       | ۵۰/۹۸       | ۵۰/۹۸       |
| ضخامت پارچه (mm)         | ۰/۵۲      | ۰/۵۶        | ۰/۶۲        | ۰/۷۵        |

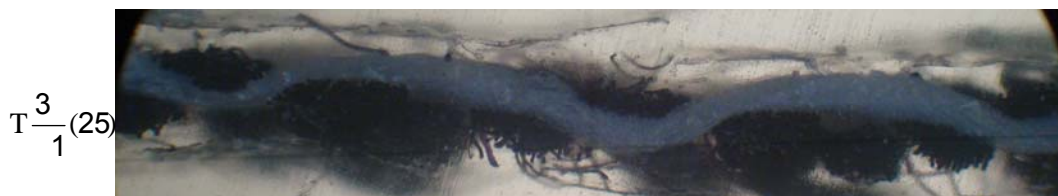
آزمایشات مربوط به بخش تجربی این تحقیق با استفاده از دستگاه های زیر انجام گرفته است.

- دستگاه آزمایش کشش Elima ساخت ایران ۱۳۸۵
- دوربین دیجیتال sony مدل DSC-W50 ساخت ژاپن

## ۲،۳. آزمایشات انجام شده

## ۱،۲،۳. اندازه گیری زاویه جعد نخ در بافت

اندازه گیری زاویه جعد نخ با استفاده از برش سطح مقطع پارچه در امتداد تار و ارزیابی تصویر میکروسکوپی آن در نرم افزار Photoshop انجام یافته است برای تهیه این مقاطع نمونه مستطیل شکل پارچه به مدت ۲۴ ساعت در محلول رزین سخت شونده (رزین پلی استر) قرار گرفت و پس از سخت شدن رزین، نمونه هایی با ضخامت  $20-30\mu\text{m}$  توسط میکروتوم تهیه شده و تحت مشاهدات میکروسکوپی قرار می گیرند. شکل ۷ سطح مقطع پارچه های مذکور را در جهت تار نشان می دهد.



شکل ۷. سطح مقطع نمونه های آزمایشی در جهت تار

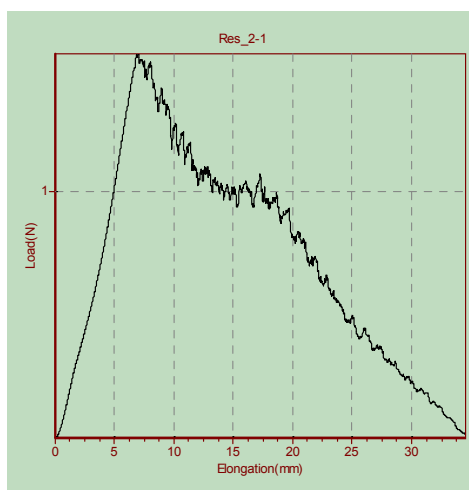
## ۲،۲،۳. آزمایش بیرون کشی نخ از داخل پارچه

برای انجام این آزمایش از دستگاه Elima استفاده شده است. پارچه ها به صورت نمونه هایی مستطیل شکل بر روی قاب U شکل توسط دو گیره از دو ضلع مقابل هم ثابت شده و این قاب بر روی فک ثابت دستگاه (فک پایینی) سوار شد. نخ

پود میانی در جهت عمود، مطابق شکل ۸ توسط فک متحرک بالایی بیرون کشیده شد. آزمایش بدون اعمال تنش اولیه روی پارچه انجام گرفت. آزمایش بیرون کشی نخ برای هر نمونه ۵ بار تکرار شد، و سرعت بیرون کشی نخ  $10 \text{ mm/min}$  بود. دستگاه استحکام سنج الیما در حین انجام تست بیرون کشی نخ از داخل پارچه نمودار نیرو - جابجایی به دست آمده را به صورت تجربی ترسیم کرد. شکل ۹ نمودار بیرون کشی ثبت شده توسط دستگاه الیما را برای یک نمونه نشان می دهد.



شکل ۸. دستگاه استحکام سنج الیما



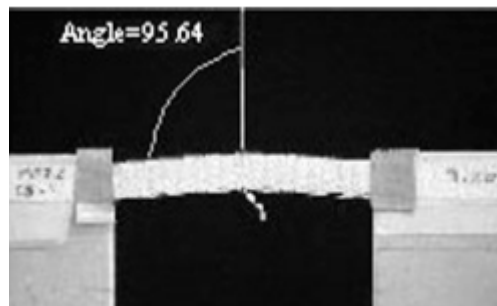
شکل ۹. نمودار نیرو - جابجایی ترسیم شده توسط دستگاه الیما برای نمونه p2(19)

### ۳،۲،۳. محاسبه زاویه تغییر شکل پارچه در آزمایش بیرون کشی نخ در داخل پارچه

به منظور محاسبه زاویه تغییر شکل پارچه حین انجام آزمایش، از فرایند بیرون کشی با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه توسط دوربین فیلم برداری Sony که روبروی نمونه جاسازی شده فیلم برداری گردید. این فیلم توسط نرم افزار Adobe Premier به اسلایدهای مختلف در فواصل زمانی مساوی تبدیل شد.

تصاویر تهیه شده از آزمایش بیرون کشی نخ از پارچه به برنامه نوشته شده در نرم افزار matlab تغذیه شدند. این برنامه با تبدیل تصویر RGB به تصویر سیاه و سفید، انتخاب ناحیه مدنظر تصویر برای اندازه گیری  $\alpha$ ، و نهایتاً قراردادن مرز روی ناحیه سیاه و سفید در بخش انتخاب شده تصویر قادر به تشخیص زاویه تغییر شکل پارچه بود. شکل ۱۰ نمونه ای از تخمین به دست آمده توسط این برنامه را نشان می دهد.

بیش ترین مقدار زاویه  $\alpha$  اندازه گیری شده،  $\alpha_s$  (زاویه تغییر شکل پارچه در نقطه ماکزیمم استاتیکی) نامیده شد و زوایای اندازه گیری شده پس از این نقطه،  $\alpha_D$  (زاویه تغییر شکل پارچه در منطقه دینامیکی) در نظر گرفته شد.

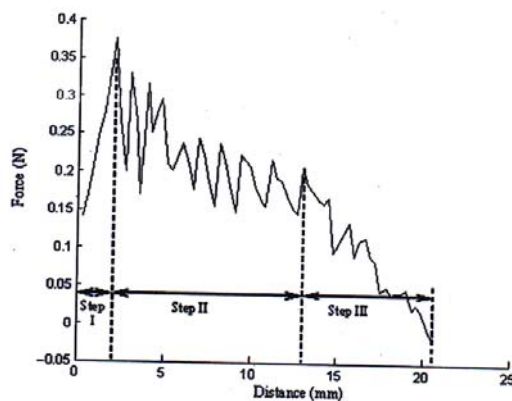


شکل ۱۰. اندازه گیری زاویه تغییر شکل پارچه در آزمایش بیرون کشی نخ

### ۴. تجزیه و تحلیل نتایج

زمانی که نیروی  $F$  بر نخ پود وارد می شود این نیرو در ابتدا صرف غلبه بر اصطکاک استاتیکی میان نقاط تلاقی می گردد. مقاومت اصطکاکی پارچه در برابر این اعمال نیرو سبب تغییر شکل برشی پارچه می گردد. (مطابق شکل ۱) این نیرو دائماً افزایش یافته تا به بیش ترین مقدار خود ( $F_s$ ) برسد که نیروی اصطکاکی ماکزیمم نامیده می شود. تا این مرحله نخ کوچک ترین لغزشی در داخل پارچه نداشته است. (منطقه I روی شکل ۱۱) زمانی که نخ دچار لغزش می شود و اولین نقطه تلاقی را طی می کند نیرو از حالت استاتیکی به دینامیکی تبدیل شده و کاهش می یابد به واسطه ایجاد چسبندگی جدیدی در این نقاط نیرو افزایش می یابد بنابراین سبب ایجاد حرکت stick-slip در داخل پارچه می شود این پدیده تا زمانی که

انتهای آزاد نخ به داخل پارچه برسد ادامه خواهد داشت (منطقه II روی شکل ۱۱). زمانی که انتهای آزاد نخ وارد بافت گردد نقاط تلاقی را یکی پس از دیگری رها کرده تا این که نخ به طور کامل از داخل بافت بیرون آید به همین دلیل نمودار به صورت نزولی و کاهشی خواهد بود. (منطقه III روی شکل ۱۱)



شکل ۱۱. نمودار تغییرات نیرو - جابجایی در آزمایش بیرون کشی نخ از پارچه

جهت استفاده از مدل تعادل نیروها برخی از پارامترهای مکانیکی به صورت تجربی اندازه گیری شد و سپس به روابط مدل (روابط ۱-۱۷) تغذیه گردید. این پارامترها شامل زاویه جعد نخ در بافت  $\theta$ ، مدول الاستیک نخ و پارچه ( $E_f$  و  $E_{yf}$ ) و زاویه تغییر شکل پارچه ( $\alpha$ ) بود. جدول ۴ میانگین مقادیر اندازه گیری شده برای این پارامترها را نشان می دهد.

جدول ۴. پارامترهای مکانیکی نمونه ها که به صورت تجربی اندازه گیری شده اند.

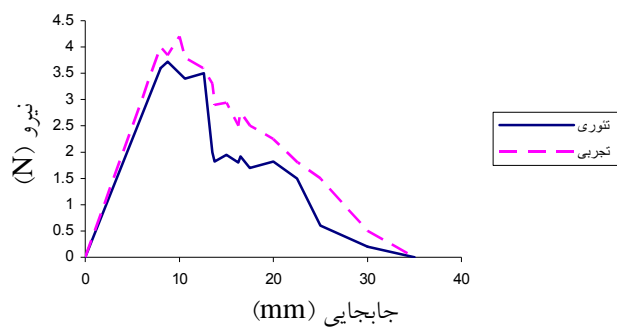
| نمونه               | $p_2(19)$ | $T \frac{2}{1}(22)$ | $T \frac{3}{1}(25)$ | $T \frac{5}{1}(29)$ |
|---------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\alpha_s$ (drgree) | ۱۳/۸۵     | ۱۳/۱                | ۱۱/۶۱               | ۸/۰۲۱               |
| $E_{yf}$            | ۰/۲۵۷     | ۰/۴                 | ۰/۵۵                | ۰/۶۶                |
| $E_f$               | ۴۹/۴۲     | ۷۲                  | ۹۰                  | ۹۰                  |
| $\theta$            | ۲۸        | ۳۴                  | ۳۴                  | ۳۲                  |

با استفاده از این پارامترهای تجربی ما توانستیم پارامترهای مکانیکی نامبرده شده در پارچه و در نهایت نیروی لازم جهت بیرون کشی نخ از پارچه را در هر ثانیه تخمین بزنیم جدول ۵ به طور نمونه پارامترهای مکانیکی تخمین زده شده توسط مدل تعادل نیروها را در نقطه بیشینه استاتیکی برای هر نمونه نشان می دهد.

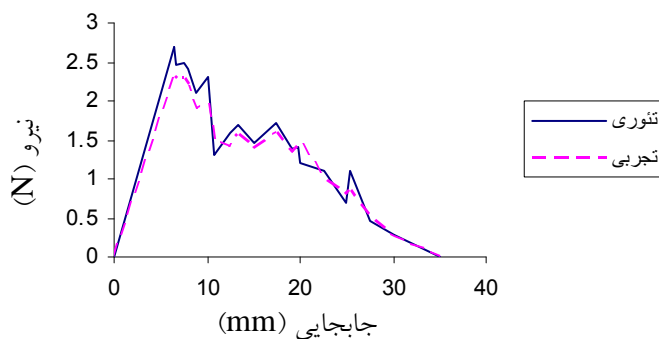
جدول ۵. پارامترهای مکانیکی تخمین زده شده توسط معادلات مدل تعادل نیروها در نقطه بیشینه استاتیکی

| نمونه                      | $p_2(19)$ | $T_{\frac{3}{1}}(25)$ | $T_{\frac{5}{1}}(29)$ | $T_{\frac{2}{1}}(22)$ |
|----------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $\theta'_s(\text{drgree})$ | ۲۶/۶۲     | ۳۲/۹۱                 | ۳۱/۵                  | ۳۲/۶۳                 |
| $\mu_{SA}$                 | ۰/۴۸      | ۰/۳۱                  | ۰/۲۳                  | ۰/۳۵                  |
| $\mu_{SB}$                 | U         | ۰/۵۷                  | ۰/۴۲                  | ۰/۶۵                  |
| $\epsilon_y$               | ۰/۰۱۷۳    | ۰/۰۰۸۱                | ۰/۰۰۴۴                | ۰/۰۱۰۳                |
| $F_{Ns} (N)$               | ۰/۱۹۸     | ۰/۲۴۲                 | ۰/۱۴۵                 | ۰/۲۲۴                 |
| $F_s (N)$                  | ۳/۷       | ۱/۹                   | ۰/۵۷                  | ۲/۷                   |

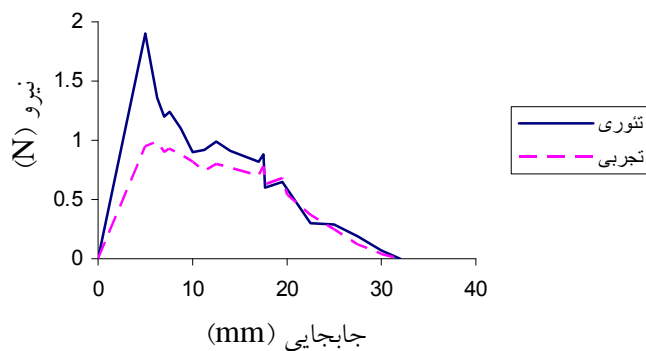
در این پژوهش در ۴۰ نقطه (هر ۳ ثانیه یک بار) مقدار  $\alpha$  توسط نرم افزار مطلب اندازه گیری شد، و سپس مقدار نیرو و جابجایی در همان لحظه توسط روابط (۱۶-۱) محاسبه گشت، و در نهایت نمودار نیرو - جابجایی به صورت تئوری ترسیم شد. یکی از روش های ارزیابی این تعمیم مدل بر روی بافت های مذکور مقایسه نمودارهای نیرو - جابجایی در دو حالت تجربی و تئوری بود. شکل های ۱۲ تا ۱۵ مقایسه ای میان منحنی تجربی و مدل تئوری را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، نتایج تعمیم مدل تعادل نیروها به داده های آزمایشی نزدیک است.



شکل ۱۲. مقایسه نمودارهای تجربی و تئوری مربوط به پارچه  $p_2(19)$

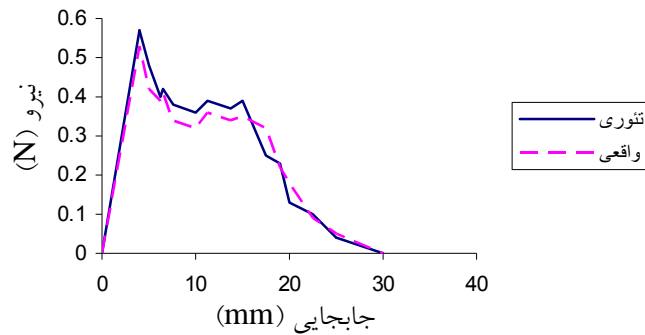


شکل ۱۳. مقایسه نمودارهای تجربی و تئوری مربوط به پارچه  $T_1^2(22)$



شکل ۱۴. مقایسه نمودارهای تجربی و تئوری مربوط به پارچه  $T_1^3(25)$





شکل ۱۵. مقایسه نمودارهای تجربی و تئوری مربوط به پارچه  $T \frac{5}{1}(29)$

از مقایسه سطح زیر نمودار منحنی نیرو - جابجایی در دو حالت تجربی و تئوری نیز برای ارزیابی صحت تعمیم مدل مکانیکی می توان استفاده نمود. سطح زیر نمودار نیرو - جابجایی بیانگر انرژی مصرف شده در حین پدیده بیرون کشی می باشد. سطح زیر نمودار نیرو - جابجایی در دو حالت تئوری و تجربی با استفاده از نرم افزار matlab و با دستور cumptraps محاسبه شد، که در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. مقایسه سطح زیر منحنی های نیرو - جابجایی در حالت تجربی و تئوری

| درصد اختلاف                                      | سطح زیر منحنی تئوری      | سطح زیر منحنی تجربی | کد پارچه            |
|--|--------------------------|---------------------|---------------------|
| $100 \times \frac{\text{تئوری}}{\text{تجربی}} -$ | با استفاده از مدل (N.mm) | (N.mm)              |                     |
| ٪۱۲/۵  | ۶۸۵/۹۵                   | ۵۹۹/۷۸              | $p_2(19)$           |
| ٪-۸/۵  | ۴۶۹/۶                    | ۵۰۹/۸۰۸             | $T \frac{2}{1}(22)$ |
| ٪-۱۴/۹   | ۲۶۰/۹۵                   | ۲۹۹/۷۹              | $T \frac{3}{1}(25)$ |
| ٪-۱۱/۶   | ۷۴/۷۵                    | ۸۳/۴۴               | $T \frac{5}{1}(29)$ |

## ۵. نتیجه گیری

در این پژوهش مدل مکانیکی تعادل نیروها در آزمایش بیرون کشی نخ از داخل پارچه برای کلیه بافت های تار - پودی تعمیم داده شد. در مرحله اول این مدل مکانیکی به صورت یک رابطه جامع برای کلیه بافت های تار - پودی تعمیم داده شد، و برخی از پارامترهای مکانیکی پارچه مانند مدول پارچه، زاویه بافت و زاویه تغییر شکل پارچه در طول آزمایش بیرون کشی نخ به صورت تجربی به مدل داده شدند و در نهایت این مدل توانست پارامترهای مکانیکی مهمی را مانند تغییرات زاویه بافت، ضریب اصطکاک نخ با نخ و بار نرمال در انواع نقاط تلاقی و نیروهای داخلی نخ تار (مخالف) را پیش بینی کند. در مرحله بعدی منحنی نیرو - جابجایی آزمایش بیرون کشی نخ با استفاده از روابط تعمیم مدل تعادل نیرو و مشخصات مکانیکی نخ ها برای هر ۴ نوع بافت ترسیم و شبیه سازی شد.

میزان تطابق میان نتایج تجربی و تئوری با استفاده از دو روش ترسیم نمودارها و سطح زیر منحنی سنجیده شد، و سازش قابل قبولی را در نمونه ها اعلام داشت و این مطلب نشان داد که تعمیم مدل مکانیکی بر روی کلیه بافت ها می تواند رفتار بیرون کشی نخ را تا حد قابل قبولی پیش بینی کند.

## ۶. منابع

- [1] M.Valizadeh., S.A.Hosseini.Ravandi., M.Salimi, M.Sheikhzadeh., J.text.inst.,Vol.99., pp.47-55.,2008
- [2] H.M.Taylor., J.Textile Inst., Vol.50., pp.161., 1959.
- [3] S.A.R.D.Sebastian, A.I.Baily, B.J.Briscoe, D.Tabor., Tex.Res.J., Vol.56., pp.604., 1986.
- [4] F. Motamedi, A.I. Baily, B.J. Brisco, D.Tabor.,Tex.Res.J., Vol.59., pp.160-172., 1989.
- [5] F.F.Real, M.L.Seo, M.Boyce, M.C.Schwarz , P.Baker., Tex.Res.J., Vol.61., pp.517., 1991.
- [6] N. Pan., J.Text Inst., Vol.84., pp.472-485.,1993.
- [7] N.P.MEE, Y.YOON., Textile Res. J., Vol.63., pp.629., 1993.

[8] M.R. BADROSSAMAY, S.A.Hosseini Ravandi, M.Morshed., J.Text.Inst., Vol.92., pp.280-287., 2001.

[9] J.E.KIRKWOOD., Tex.Res.J., Vol.74., pp.920-928., 2004.

[10] M.Valizadeh, S.Lomov, S.A.Hosseini.Ravandi., Textile Research Journal., Vol.0., pp.1 - 12.,2009.