

محاسبه نیروی نفوذ سوزن در پارچه‌های تار-پودی

An Approach for Calculation of the Needle Penetration Force in Warp-weft Fabrics

سعید ابراهیمی^{۱*}، ایمان حاجی‌زاده^۱، پدram پیوندی^۲

یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی مهندسی، صندوق پستی ۷۴۱۱-۸۹۱۹۵

۱- دانشکده مهندسی مکانیک، ۲- دانشکده مهندسی نساجی

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۸/۰۷

چکیده

نیروی نفوذ سوزن در پارچه از عوامل مهم در کیفیت فرایند دوخت و مقدار آسیب وارد شده به پارچه است. در این راستا، تعیین دقیق نیروی نفوذ سوزن در پارچه، به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در تضمین کیفیت دوخت منسوجات اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله، ابتدا مدل نظری ارائه شده توسط Lomov برای محاسبه نیروهای وارد شده به سوزن به اختصار معرفی شد. سپس، مراحل لازم برای تعمیم این مدل نظری ارائه شد. در تکمیل مدل پیشنهادی Lomov تغییرات نیروی نفوذ برحسب زمان برای قطرهای مختلف سوزن بررسی شد. سه حالت ویژه از مدل Lomov در بررسی نحوه برخورد سوزن با پارچه و اثر آن بر نیروی نفوذ ارائه شد. افزون بر نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی نخ، نیروی پارگی نخ نیز محاسبه شد. در انتها، حداکثر نیروی نفوذ سوزن برای سه نمونه پارچه حاصل از مدل نظری ارائه شده با نتایج حاصل از مطالعه‌ای تجربی مقایسه شد که به وسیله دستگاه سنجش قابلیت دوخت پارچه اندازه‌گیری شده است. با توجه به نتایج حاصل، مدل ارائه شده با دقت قابل قبولی نیروی نفوذ سوزن را در پارچه محاسبه می‌کند.

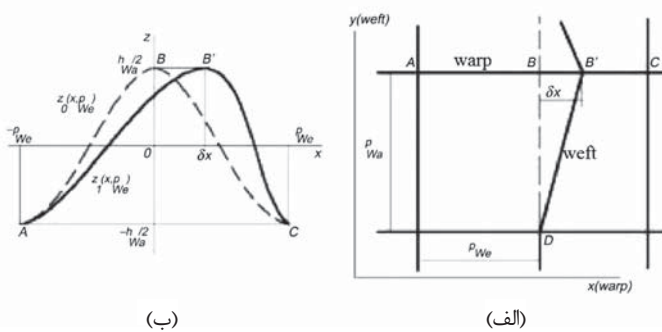
مقدمه

سوزن اثر می‌گذارد. با وجود اینکه پژوهش‌های تجربی زیادی در زمینه محاسبه نیروی نفوذ سوزن انجام شده است [۱۰-۶]، در توسعه الگوریتم‌های محاسباتی بر مبنای مدل نظری برای پیش‌بینی نیروی نفوذ سوزن تلاش کمتری دیده می‌شود. برای بهینه‌سازی این نیرو افزون بر عوامل ساختاری منسوج، طراحی صحیح بخش‌های مختلف سازوکار محرک سوزن و مشخصات فیزیکی سوزن نیز باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به برخی محدودیت‌های موجود، عمده تلاش‌ها به سمت طراحی بهینه سازوکار محرک سوزن و اثر آن بر حرکت سوزن در شرایط دوخت معطوف شده است. در این راستا، سوزن و سازوکار محرک آن به گونه‌ای انتخاب می‌شوند تا از آسیب‌رساندن به پارچه

امروزه با توجه به اهمیت نقش صنعت پوشاک در فعالیت‌های اقتصادی و زندگی انسان، تضمین کیفیت منسوجات اهمیت ویژه‌ای دارد [۱]. در این راستا، تعیین دقیق نیروی نفوذ سوزن در پارچه، به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در تضمین کیفیت دوخت مورد توجه پژوهشگران در زمینه مهندسی نساجی بوده است [۴-۲]. درک دقیق فرایند دوخت، مستلزم آگاهی کامل از جنس پارچه و نحوه استفاده شده، حرکت سوزن و عملکرد هماهنگ سازوکارهای مختلف ماشین دوخت است [۵]. نیروی اعمال شده به سوزن از طرف پارچه، بر ویژگی‌های مهم فرایند دوخت مانند دمای سوزن، خطر پارگی پارچه و شکستگی

کلمات کلیدی

سوزن،
نیروی نفوذ،
نیروی پارگی نخ،
ماشین دوزندگی،
پارچه،
تار و پود



(ب)

(الف)

شکل ۱- مدل جابه‌جایی نخ پود در پیش‌بینی نیروی نفوذ سوزن [۱۲].

مشخص است، به ازای جابه‌جایی δx برای نخ پود (DB به DB)، منحنی نخ تار (ABC به ABC) نیز تغییر شکل داده است.

نیروی کل مقاومت‌کننده در برابر جابه‌جایی نخ پود BB' شامل موارد زیر است:

۱. خمش تار از B به B' در منطقه ABC در صفحه XZ،

۲. خمش پود از DB به DB و

۳. اصطکاک بین تار و پود.

این مطالعه نخ پود را مانند یک تیر یک‌سرگیردار به طول P_{We} ، سختی خمشی B_{We} ، ارتفاع تموج h_{We} (yarn crimp) و جابه‌جایی خمشی δx در نظر می‌گیرد [۱۴]. همین پارامترها برای نخ تار با در نظر گرفتن زیروند w_a تعریف می‌شوند. μ ضریب اصطکاک بین نخ‌ها در پارچه است. نیروی مقاوم نخ‌های تار و پود در برابر جابه‌جایی ناشی از مجموع نیروهای خمشی و اصطکاک به ترتیب به شکل معادله‌های (۲) و (۳) نوشته می‌شود [۱۲، ۱۳]:

$$F_{wa} = 144B_{wa} \frac{h_{wa}^2}{P_{wa}^5} \delta x + 6B_{wa} \frac{\delta x}{P_{wa}^3} + 11\mu \left(\frac{B_{wa}}{P_{wa}^2} + \frac{B_{we}}{P_{wa}^2} \right) + 72\mu B_{we} \frac{h_{we}}{P_{wa}^4} \delta x \quad (2)$$

$$F_{we} = 144B_{wa} \frac{h_{wa}^2}{P_{we}^5} \delta x + 6B_{we} \frac{\delta x}{P_{we}^3} + 11\mu \left(\frac{B_{wa}}{P_{we}^2} + \frac{B_{we}}{P_{we}^2} \right) + 72\mu B_{wa} \frac{h_{wa}}{P_{we}^4} \delta x \quad (3)$$

نیروی مقاوم در برابر نفوذ سوزن

نیروی مقاوم کل در برابر نفوذ سوزن ناشی از نیروی تنش حاصل از ازدیاد طول نخ‌ها و نیز نیروی لازم برای جابه‌جایی نخ‌های تار و پود با توجه به اصطکاک بین سوزن و پارچه به شکل معادله (۴) به دست می‌آید [۱۲]:

$$F_R = [4(F_{wa} + F_{we}) + 8\mu Q](tg\beta + \mu_m) \quad (4)$$

که F_{wa} و F_{we} به ترتیب از معادله‌های (۲) و (۳) محاسبه می‌شوند. μ_m ضریب اصطکاک بین سوزن و نخ و β زاویه سطح نوک سوزن است (شکل ۲). Q نیروی عمودی برهم‌کنش تار و پود در ساختار پارچه از معادله (۵) معین می‌شود:

$$Q = 11 \left(\frac{B_{wa}}{P_{wa}^2} + \frac{B_{we}}{P_{wa}^2} \right) \quad (5)$$

جلوگیری شود. Stylios و همکاران [۱۱] مدلی نظری را برای محاسبه نیروی نفوذ سوزن به منظور بهینه‌سازی مشخصات سوزن پیشنهاد کردند. نویسندگان به‌سختی و به کمک یک راه‌حل کلی برای یک سوراخ گرد در حال گسترش در صفحه کشسان به معادله (۱) دست یافتند:

$$F = A \delta r (tg\beta + \mu_m) \quad (1)$$

در این معادله، F نیروی نفوذ سوزن، δr مقدار جابه‌جایی عرضی نخ به وسیله سوزن، β زاویه نوک سوزن، μ_m ضریب اصطکاک بین سوزن و پارچه و A پارامتر وابسته به خواص مکانیکی پارچه است. Lomov [۱۲] در پژوهشی با عنوان مدلی برای پیش‌بینی نیروی نفوذ سوزن در پارچه تار-پودی، مدل نیروی نفوذ سوزن و معادله‌های مربوط به رابطه بین عوامل ساختاری پارچه با نیروی نفوذ را ارائه داد. وی، مدل تار-پودی پارچه را ارائه کرده و نیروهای مؤثر بر نفوذ سوزن را بررسی کرده است.

از محدودیت‌های مطالعه Lomov تعیین نیروی حداکثر نفوذ سوزن در پارچه بدون بررسی نحوه تغییرات آن به‌عنوان تابعی از مقدار نفوذ سوزن است. بنابراین در مقاله حاضر، در تکمیل مدل پیشنهادی Lomov تغییرات نیروی نفوذ بر حسب زمان برای قطرهای مختلف سوزن بررسی شد. در ادامه، سه حالت ویژه از مدل Lomov برای بررسی نحوه برخورد سوزن با پارچه و اثر آن بر نیروی نفوذ ارائه شد. افزون بر نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی نخ، نیروی پارگی نخ نیز با استفاده از مجموعه‌ای از فرضیه‌ها و ساده‌سازی‌ها محاسبه شد. در انتها، نیروی بیشینه نفوذ سوزن برای سه نمونه پارچه حاصل از مدل نظری ارائه شده با نتایج حاصل از مطالعه تجربی که به وسیله دستگاه سنجش قابلیت دوخت پارچه اندازه‌گیری شده است، مقایسه شد.

عوامل مؤثر بر مقدار نیروی نفوذ

چهار منبع عمده برای مقاومت پارچه در برابر نفوذ سوزن وجود دارد [۱۲]:

۱. تنش غشایی حاصل از خمش پارچه در جهت حرکت سوزن،

۲. اصطکاک بین سوزن و پارچه،

۳. مقاومت نخ دوخت در برابر جابه‌جایی در مجاورت سوزن، ناشی از مقاومت نخ در برابر خمش و اصطکاک با تار و پود و

۴. کشش نخ به علت ازدیاد طول آن پس از جابه‌جایی.

نحوه اثر تنش غشایی بر مقدار نیروی نفوذ و مراحل استخراج روابط میان آنها در مرجع ۷ بحث شده است. این تنش‌ها نیروی مقاومت را پیش از ورود سوزن به پارچه معین می‌کنند و پس از آن، اثر آنها از بین می‌رود. در این پژوهش، تنش غشایی در نظر گرفته نمی‌شود، اما سه عامل دیگر شامل این تجزیه و تحلیل می‌شوند.

بررسی نظری نیروهای وارد بر سوزن

نیروی مقاومت نخ‌ها در برابر جابه‌جایی

Lomov و همکاران [۱۲، ۱۳] در پژوهش‌های خود جزء کوچکی از پارچه برای محاسبه نیروی مقاومت در برابر جابه‌جایی‌های کوچک (δx) نخ پود را مطابق با شکل ۱ در نظر گرفته‌اند. شکل ۱- الف و ب به ترتیب نمای بالایی و نمای جانبی جابه‌جایی نخ پود را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل

جدول ۱- پارامتر C برای بافت‌های مختلف تار-پودی [۱۵].

نوع بافت	تافته (plain)	سرزه ۲/۲ (twill)	ساتن ۵/۲	سرزه ۲/۶	ساتن ۸/۳	بدون بافت
C	۱	۰/۶۵۳	۰/۴۱۷	۰/۳۵۰	۰/۲۰۸	۰

ترتیب تراکم نخ‌ها در واحد سانتی‌متر برای نخ تار و پود و B_1 و B_2 به ترتیب سختی خمشی نخ تار و پود است. این تخمین‌ها در معادله (۸) همراه با مقادیر مشخصات پارچه و چگالی خطی نخ داده شده در مطالعه Galuszynski [۶] آمده است.

تعمیم مدل نظری Lomov برای محاسبه نیروی نفوذ سوزن

در پژوهش Lomov نیروی نفوذ سوزن فقط در شرایطی که سوزن از بین تار و پود عبور می‌کند، معین می‌شود. همچنین، Lomov فقط نیروی بیشینه نفوذ سوزن را محاسبه کرده است و نیروهای وارد شده بر حسب جابه‌جایی سوزن را در زمان‌های مختلف نادیده گرفته است. در این پژوهش در تعمیم مدل Lomov، تغییرات نیروی نفوذ سوزن با مطالعه چهار حالت نفوذ سوزن در پارچه شامل موارد زیر بررسی شده است:

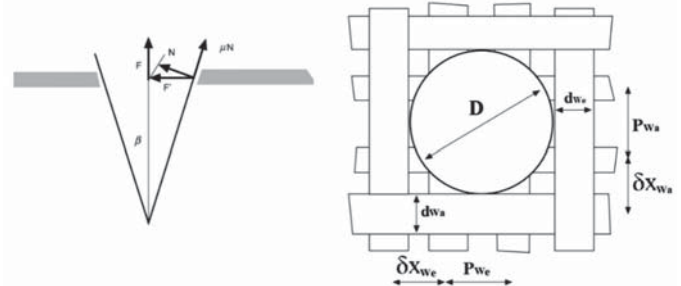
۱. عبور سوزن از بین نخ تار و پود،
۲. برخورد سوزن با نخ تار،
۳. برخورد سوزن با نخ پود و
۴. برخورد سوزن به نقطه تلاقی نخ تار و پود.

مشخصات نخ‌های تار و پود و سوزن

مشخصات نخ‌های تار و پود و سوزن استفاده شده در پژوهش Lomov در جدول ۲ آمده است. همچنین، جدول ۳ ارتفاع موج به‌دست آمده از دو روش اندازه‌گیری با عکس‌برداری و معادله (۸) را نشان می‌دهد. به‌طور معمول، حداکثر نیروی نفوذ سوزن متناظر با زمانی است که تماس سوزن با پارچه در بیشترین قطر سوزن اتفاق افتد. این اندازه‌گیری حاصل نیروی نفوذ ایستایی است که مربوط به مدل پیشنهادی Lomov است.

حالت اول: عبور سوزن از بین نخ تار و پود

در این حالت سوزن از بین تار و پود عبور می‌کند و تنها نیروی خمشی، کششی و اصطکاک به سوزن وارد می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، از محدودیت‌های پژوهش Lomov بررسی حداکثر نیروی نفوذ در قطر بیشینه سوزن و بدون در نظر گرفتن تغییرات نیرو بر حسب زمان برای قطرهای مختلف سوزن است. جدول ۴ حداکثر نیروی نفوذ سوزن به ازای ارتفاع‌های موج به‌دست آمده از دو روش اندازه‌گیری و معادله (۸) را نشان می‌دهد. در اولین مرحله از تعمیم مدل Lomov، تغییرات نیروی نفوذ سوزن به ازای ارتفاع‌های موج محاسبه شده با معادله (۸) برای قطرهای مختلف سوزن در نمونه پارچه‌های نشان داده شده در جدول ۱ آمده است. شکل ۴



شکل ۲- مدل ساختار پارچه و مشخصات مدل هنگام نفوذ سوزن [۱۲].

بافت‌های غیر تافته

در بافت‌های غیر تافته (non-plain weaves) شدت خمش کاهش می‌یابد. در نتیجه، آزادی نخ برای انحراف از موقعیت اصلی آن افزایش می‌یابد. نیروی نفوذ سوزن محاسبه شده در معادله (۵) برای بافت ساده تار و پودی پیشنهاد شده است. برای سایر ساختارها از یک ضریب تصحیح استفاده می‌شود که به شکل معادله (۶) نشان داده شده است:

$$F_R = kF_{plain} \quad (6)$$

در این معادله، F_{plain} نیروی محاسبه شده برای پارچه‌های تافته است. پارامتر k برای پارچه‌های غیر تافته و پارچه‌هایی که دارای چندلایه دوخت‌خورده نیستند، به ترتیب برابر ۱ و ۰ است. برای بافت‌های مختلف، k نشان‌دهنده شدت نسبی بافت رفتن یا آزادمانند نخ است. پارامتر k از نظر خواص شبیه پارامتر C است که Skliannikov [۱۵] ارائه داده و با تقریب مناسب، برای تعیین نیروی نفوذ سوزن برای طرح‌های متفاوت بافت پارچه استفاده می‌شود. مقدار C از تعداد فواصل نخ‌های خم شده در نمونه‌های بافته شده محاسبه شده است. جدول ۱ مقدار پارامتر C برای بافت‌های مختلف و براساس مقدار فاصله‌های نخ‌های خم شده را در نمونه‌های بافته شده نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن ارتفاع موج، ابعاد نخ به شکل زیر در معادله وارد می‌شوند:

$$d = 0.044 \left(\frac{T}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \eta \quad (7)$$

در این معادله، ρ چگالی الیاف و η ضریب تراکم است. ارتفاع موج برای تار و پود با معادله به‌دست آمده از شرایط انرژی خمشی حداقل تخمین زده شده است:

$$h_1 = \frac{d_1 + d_2}{1 + \left(\frac{B_1 p_1^3}{B_2 p_2^3} \right)}, \quad h_2 = \frac{d_1 + d_2}{1 + \left(\frac{B_2 p_2^3}{B_1 p_1^3} \right)} \quad (8)$$

در این معادله، d_1 و d_2 به ترتیب قطرهای نخ تار و پود، ρ_1 و ρ_2 به

جدول ۲- مشخصات نخ‌های تار و پود و سوزن [۱۲].

β	D (mm)	μ_m	μ	B_2 (cNmm ²)	B_1 (cNmm ²)	η_2	η_1	d_2 (mm)	d_1 (mm)
۱/۵	۱	۰/۲	۳/۰	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۷	۰/۷	۰/۱۶	۰/۱۸

جدول ۳- ارتفاع موج اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده [۱۲].

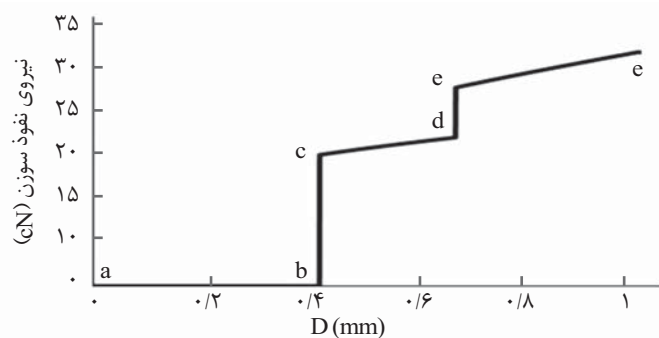
تخمین با معادله (۸)		اندازه‌گیری شده		P_2 (threads/cm)	P_1 (threads/cm)	نوع بافت
h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)			
۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۰۹	۱۵	۲۴	تافته ۱
۰/۲۶	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۱۰	۱۶	۲۴	تافته ۲
۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۱۳	۱۸	۲۴	تافته ۳
۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۱۳	۱۸	۲۴	سرژه ۲/۲
۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۴	۱۸	۲۴	ساتن ۵/۲
۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۱۳	۱۸	۲۴	سرژه ۲/۶
۰/۲۴	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۴	۱۸	۲۴	ساتن ۸/۳

نمودار تغییرات نیروی نفوذ سوزن را برای پارچه تافته ۱ نشان می‌دهد. در نمونه پارچه تافته فاصله دو نخ تار و پود از یکدیگر به ترتیب ۰/۴۳۴۷ و ۰/۷۱۴۲ mm است. با نفوذ سوزن، قطر قسمتی از نوک سوزن که در تماس با پارچه قرار می‌گیرد، به تدریج افزایش می‌یابد تا به حداکثر مقدار برسد. با توجه به شکل ۴، با عبور سوزن از بین تار و پود، قطر سوزن در فاصله ab به تدریج زیاد شده تا در نقطه b برابر با فاصله دو تار از یکدیگر می‌شود. بدین ترتیب، نیروی نفوذ سوزن در محدوده ab صفر است. در فاصله cd قطر سوزن از فاصله بین دو تار بیشتر شده است و نیروهای کششی و خمشی مقاوم در برابر جابه‌جایی تار و نیز نیروی اصطکاک بین نخ‌ها به سوزن وارد شده است. در نقطه e فاصله بین دو پود از یکدیگر با قطر سوزن برابر شده است. در محدوده ef افزون بر نیروهای وارده در بخش cd، نیروهای کششی و خمشی مقاوم در برابر جابه‌جایی پود و نیز نیروی اصطکاک بین نخ‌ها نیز به سوزن وارد شده است.

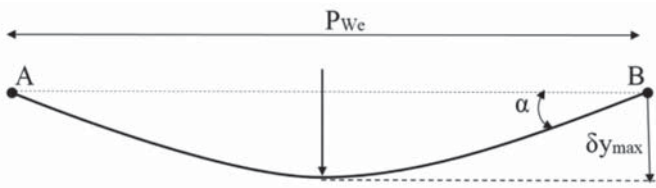
از نقطه f به بعد با توجه به اینکه هندسه نوک سوزن از مخروط به استوانه تبدیل می‌شود، قطر سوزن ثابت باقی می‌ماند و از این رو، نیروی نفوذ با ادامه حرکت سوزن ثابت باقی می‌ماند. نکته گفتنی در شکل ۴، تغییرات ناگهانی نیروی نفوذ از نقطه b به c و نیز از نقطه d به e است. با بررسی دقیق مدل نظری پیشنهادی Lomov در بخش نیروهای کششی، خمشی و اصطکاک،

جدول ۴- حداکثر نیروی نفوذ سوزن برای پارچه‌های مختلف در حالت اول [۱۲].

ارتفاع موج		P_2 (threads/cm)	P_1 (threads/cm)	نوع بافت
اندازه‌گیری شده	محاسبه شده از معادله (۸)			
۲۵	۳۰	۲۴	۲۴	تافته ۱
۳۲	۳۴	۲۴	۲۴	تافته ۲
۴۲	۴۳	۲۴	۲۴	تافته ۳
۲۷	۲۸	۲۴	۲۴	سرژه ۲/۲
۱۷	۱۸	۲۴	۲۴	ساتن ۵/۲
۱۵	۱۵	۲۴	۲۴	سرژه ۲/۶
۹	۹	۲۴	۲۴	ساتن ۸/۳



شکل ۴- تغییرات نیروی نفوذ سوزن در پارچه تافته ۱ برای حالت اول.



شکل ۷- برخورد سوزن با نخ تار.

برخورد سوزن را با نخ تار نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ارتفاعی که نخ تار در آن پاره می‌شود، خیلی کوچک است، فرض کنید، دو سر تار ثابت باشند و جابه‌جانشوند.

با توجه به شکل ۷ طول اولیه نخ برابر با P_{We} است. هنگامی که سوزن به تار برخورد می‌کند و تار در آستانه پاره شدن قرار می‌گیرد، طول نخ برابر با $\frac{P_{We}}{\cos \alpha}$ است. بنابراین، تغییر طول نخ از معادله (۹) به دست می‌آید:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \rightarrow \varepsilon = \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \quad (9)$$

در این معادله، ΔL اختلاف طول حالت اولیه و نهایی و L_0 طول اولیه است. با فرض کوچک بودن زاویه α می‌توان ارتفاع حداکثری را که تار در آن پاره می‌شود، به دست آورد:

$$\delta y_{\max} = \frac{1}{2} P_{We} \tan \alpha = \frac{1}{2} P_{We} \alpha \quad (10)$$

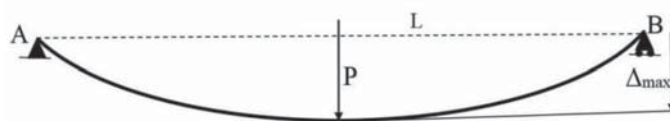
از دیاد طول تا پارگی برای نخ‌های پنبه‌ای بین ۵٪ تا ۱۰٪ است. حال برای محاسبه نیروی وارد شده بر سوزن از طرف تار از فرض دیگر استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن نخ تار AB مانند یک تیر با تکیه‌گاه‌های ساده مطابق با شکل ۸، خیز بیشینه در اثر یک بار نقطه‌ای اعمال شده به وسط تار AB از معادله (۱۱) به دست می‌آید:

$$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (11)$$

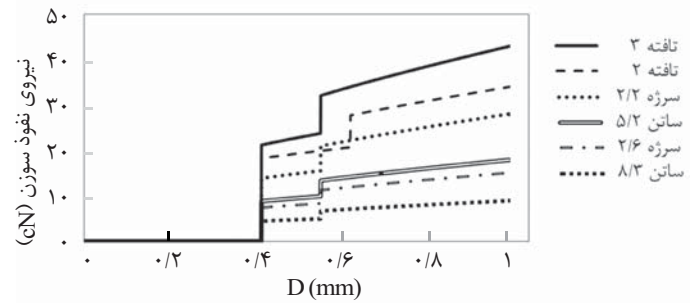
که P نیروی متمرکز، L طول تار و EI سختی خمشی تار است. براساس این معادله سختی معادل تار برابر با $K = \frac{48EI}{L^3} = \frac{48B_{Wa}}{P_{We}^3}$ نتیجه می‌شود. در نهایت، نیرویی که به سوزن از طرف نخ تار از ابتدا تا پارگی وارد می‌شود، به شکل معادله (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$F = K \delta y_{Wa} = \frac{48B_{Wa}}{P_{We}^3} \delta y_{Wa} \quad (12)$$

با توجه به مدل ارائه شده، حداکثر نیروی نفوذ سوزن که در بخش استوانه‌ای سوزن رخ می‌دهد و حداکثر نیروی پارگی تار برای حالت دوم



شکل ۸- مدل سازی تار با تیر دوسر ساده.

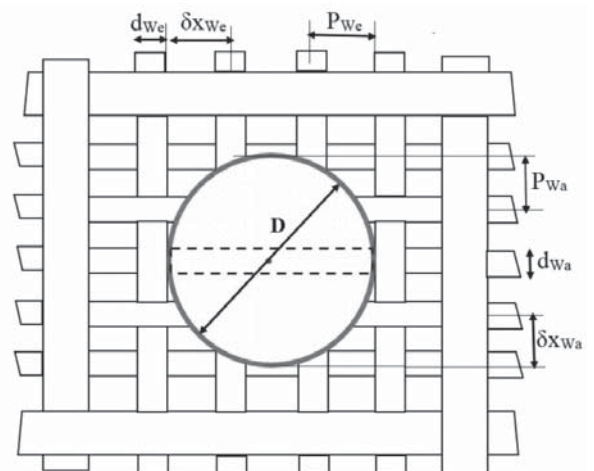


شکل ۵- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای نمونه پارچه‌های مختلف در حالت اول.

حالت دوم: برخورد سوزن با نخ تار

در این حالت برخلاف حالت اول افزون بر نیروی‌های کششی، خمشی و اصطکاک، نیروی مقاوم تار در برابر پاره‌شدگی را نیز باید در نظر گرفت. شکل ۶ نمای بالایی برخورد سوزن را با تار نشان می‌دهد. در این حالت، سوزن ابتدا با تار برخورد می‌کند و تا زمان رسیدن به جابه‌جایی عرضی بیشینه δy_{\max} تار که به ازای آن تار پاره می‌شود، از طرف تار به سوزن نیرو وارد می‌شود. اگر در لحظه پاره شدن تار، قطر سوزن به اندازه فاصله دو نخ تار یا پود از یکدیگر شده باشد، نیرو به صفر نمی‌رسد و با کمی کاهش نیرو، نیروهای وارد به سطح سوزن اعمال می‌شوند. در غیر این حالت، نیرو به صفر می‌رسد و تا زمانی که سطح سوزن به تار دیگر یا پود برخورد نکرده است، مقدار نیرو صفر باقی می‌ماند.

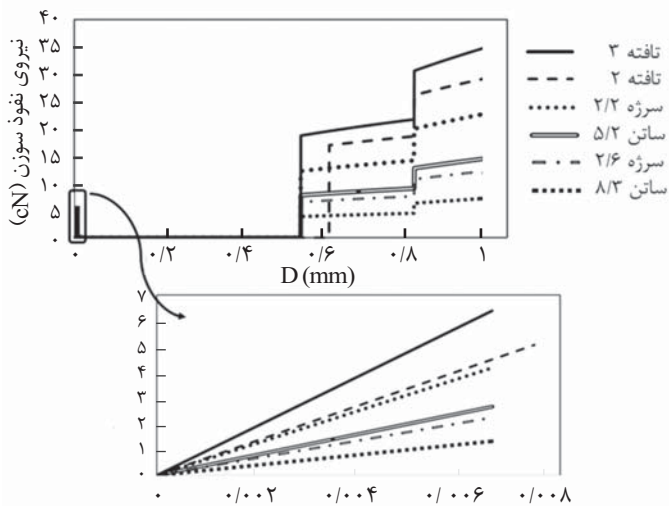
پس از پارگی تار در این حالت با توجه به شکل ۶، فاصله دو تار و دو پود از یکدیگر که دچار جابه‌جایی می‌شوند، به ترتیب $2P_{Wa}$ و P_{Wa} هستند. به طور مثال، فاصله دو نخ تار و پود از هم در نمونه اول پارچه تافته با P_1 و P_2 به ترتیب برابر ۲۴ و ۱۵ th/cm، به ترتیب ۰/۸۶۹۵ و ۰/۷۱۴۲ mm است. با این فواصل می‌توان نتیجه گرفت، سطح سوزن ابتدا به نخ پود برخورد می‌کند و سپس سطح سوزن به نخ تار می‌رسد. بنابراین، در اینجا برخلاف حالت اول ابتدا نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی پود و سپس تار به سوزن اعمال می‌شوند. در این بخش برای محاسبه نیروی مقاوم در برابر پارگی نخ تار از مجموعه‌ای از فرضیه‌ها برای ساده‌سازی مسئله باید استفاده کرد. شکل ۷



شکل ۶- نمای بالایی برخورد سوزن با نخ تار.

جدول ۵- حداکثر نیروی نفوذ سوزن و حداکثر نیروی پارگی تار برای حالت دوم.

نوع بافت	P_1 (threads/cm)	P_2 (threads/cm)	حداکثر نیروی نفوذ سوزن (cN)	حداکثر نیروی پارگی تار (cN)
تافته ۱	۲۴	۱۵	۲۸	۴/۵
تافته ۲	۲۴	۱۶	۳۱	۵
تافته ۳	۲۴	۱۸	۳۷	۶/۴
سرژه ۲/۲	۲۴	۱۸	۲۴	۴/۲
ساتن ۵/۲	۲۴	۱۸	۱۵	۲/۵
سرژه ۲/۶	۲۴	۱۸	۱۳	۲/۳
ساتن ۸/۳	۲۴	۱۸	۷/۵	۱/۳



شکل ۱۰- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای نمونه پارچه‌های مختلف در حالت دوم.

جابه‌جایی تار نیز به سوزن وارد می‌شوند. درباره پرش‌هایی که در بخش cd و ef رخ داده نیز در حالت اول نفوذ سوزن در پارچه به‌طور کامل توضیح داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، مقدار حداکثر نیروی وارده به سوزن در حالت اول بیشتر از حالت دوم است. برای درک بهتر این افزایش با مقایسه شکل‌های ۹ و ۴ مشاهده می‌شود، در حالت اول، سطح سوزن در قطر کمتری با نخ برخورد کرده است. این موضوع موجب افزایش جابه‌جایی و در نهایت افزایش نیروی وارد شده به سوزن نسبت به حالت دوم می‌شود.

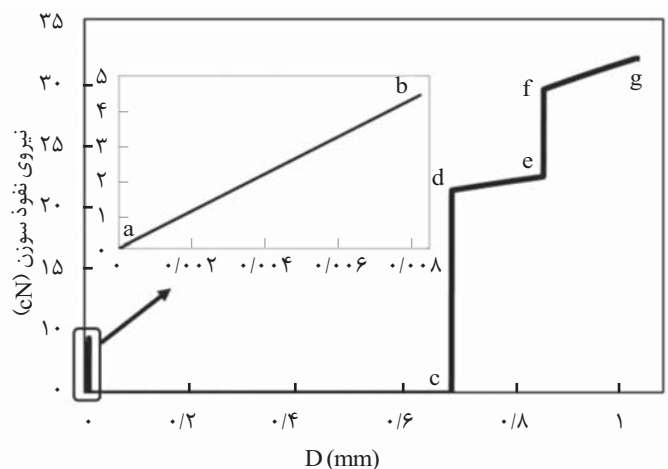
تغییرات نیرو برحسب قطر سوزن برای سایر نمونه‌های پارچه‌های معرفی شده در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، پارچه تافته ۳ همانند حالت اول از سایر نمونه‌های پارچه، به دلیل کوچک‌تر بودن فاصله بین پودها (تراکم بیشتر نخ‌های پود) مقدار نیروی بیشتری را به سوزن وارد می‌کند. پارچه‌های سرژه و ساتن از نظر خواص تراکم، مشابه پارچه تافته ۳ هستند، ولی از نظر مقدار نیروی وارد شده به سوزن، مقدار کمتری دارند. دلیل این کاهش، ضریب تصحیح است که برای این نمونه‌ها باید در مقدار نیروی محاسبه شده سوزن برای پارچه تافته ۳ ضرب شود.

حالت سوم: برخورد سوزن با نخ پود

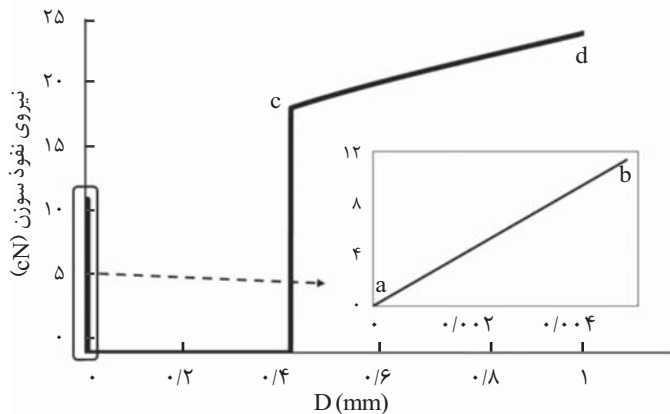
در این حالت در ابتدای حرکت به‌جای نیروی مقاوم در برابر پارگی تار، نیروی مقاوم در برابر پارگی پود به سوزن اعمال می‌شود. وقتی سوزن به پود برخورد می‌کند، نخ را تا ارتفاعی پایین می‌آورد و سپس نخ پاره می‌شود. پس از پارگی، نیروی به سوزن وارد نمی‌شود. شکل ۱۱ نمای بالایی برخورد سوزن با نخ پود را نشان می‌دهد. با توجه به شکل هنگامی که سوزن به نخ پود برخورد می‌کند، فواصلی که دو نخ تار و پود از یکدیگر دارند، به ترتیب برابر با P_{wa} و $2P_{wa}$ است. بنابراین، سطح سوزن پس از پارگی نخ پود به نخ تار می‌رسد و با ادامه حرکت سوزن، موجب جابه‌جایی آن می‌شود. سطح سوزن در این حالت هیچ تماسی با نخ پود ندارد. دلیل این اتفاق، بزرگ‌تر بودن فاصله بین دو پود از قطر بیشینه سوزن است. جدول ۶ حداکثر نیروی نفوذ سوزن و حداکثر نیروی پارگی پود را نشان می‌دهد.

به‌دست آمده و در جدول ۵ نشان داده شده‌اند. با مقایسه نیروی حداکثر نفوذ سوزن در این حالت با حالت اول، مشاهده می‌شود، حداکثر نیروهای نفوذ نسبت به حالت اول کمتر شده است. در حالت اول سطح سوزن در قطر کمتری نسبت به حالت دوم به تار می‌رسد و جابه‌جایی ایجاد شده برای تار در حالت اول بیشتر از جابه‌جایی تار در حالت دوم است. همین جابه‌جایی بیشتر با توجه به خطی بودن رابطه نیرو برحسب جابه‌جایی، موجب افزایش حداکثر نیروی نفوذ سوزن می‌شود. شکل ۱۰ تغییرات نیروی نفوذ سوزن برحسب قطرهای مختلف سوزن را برای پارچه تافته ۱ نشان می‌دهد.

در این شکل همان‌طور که مشاهده می‌شود، بخش ab مربوط به تغییرات نیروی نفوذ سوزن در برابر پارگی تار است. این نیرو تا نقطه b که تار پاره شود، ادامه می‌یابد. در لحظه پارگی تار، سوزن در موقعیتی قرار می‌گیرد که قطر آن کمتر از 0.008 mm است. پس از پارگی تار به دلیل اینکه قطر سوزن به اندازه فاصله دو نخ پود از یکدیگر نشده است، نیرو صفر می‌شود و تا نقطه c ادامه می‌یابد. در محدوده de سطح سوزن با نخ پود برخورد کرده و نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی پود به سوزن اعمال شده است. این نیرو ادامه می‌یابد تا در نقطه f سطح سوزن به نخ تار نیز برسد. در این نقطه، افزون بر نیروهای مرحله قبل نیروهای مقاوم در برابر



شکل ۹- تغییرات نیروی نفوذ سوزن در پارچه تافته ۱ برای حالت دوم.



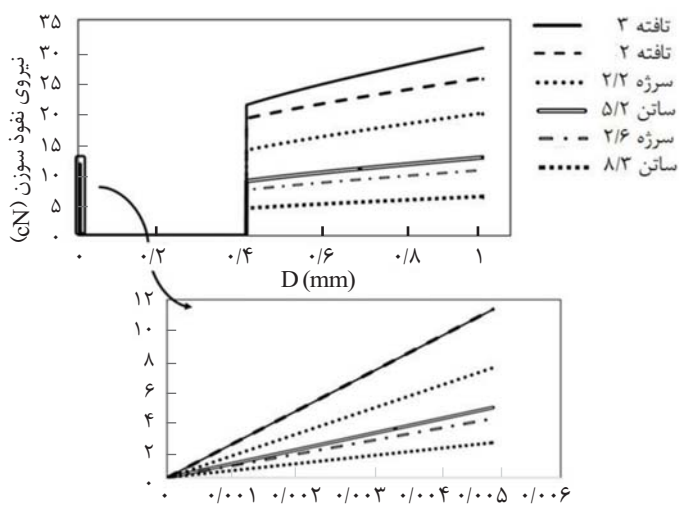
شکل ۱۲- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای پارچه تافته ۱۲ در حالت سوم.

تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای سایر نمونه‌ها نیز در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مشابه دو حالت قبل، در این حالت نیز نمونه تافته ۳ نسبت به سایر نمونه‌ها به دلیل تراکم بیشتر نخ‌های پود نیروی بیشتری را به سوزن وارد می‌کند. نیروی پارگی پود در سه نمونه پارچه تافته به دلیل ثابت بودن تراکم تار، یکسان هستند. صحت این گفته نیز از روی هم افتادن تغییرات نیروی پارگی پود در نمونه‌های تافته ۲ و ۳ اثبات می‌شود.

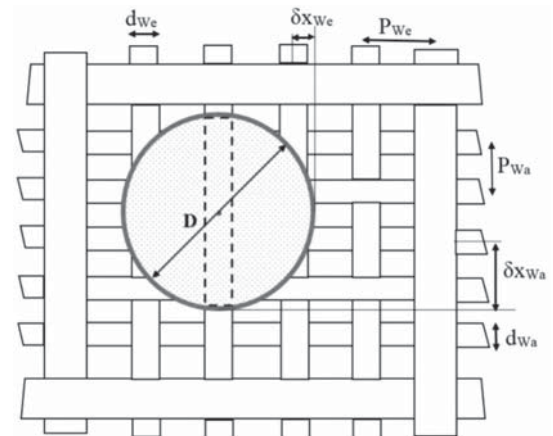
حالت چهارم: برخورد سوزن به نقطه تلاقی نخ تار و پود

در این حالت، سوزن به نقطه تلاقی تار و پود برخورد می‌کند. ابتدا که سوزن به پارچه برخورد می‌کند، نخ تار و پود با هم شروع به اعمال نیرو به سوزن می‌کنند تا اینکه یکی از نخ‌ها به حد پارگی برسد و پاره شود. در این لحظه کاهش سریع نیرو رخ می‌دهد. در ادامه، تنها نیروی یک نخ باقی‌مانده به سوزن وارد می‌شود تا اینکه آن نخ نیز به حد پارگی برسد.

شکل ۱۴ نمای بالایی برخورد سوزن را با نخ تار و پود نشان می‌دهد. با توجه به این شکل هنگامی که سوزن به نقطه تلاقی نخ تار و پود برخورد می‌کند، فواصلی که دو نخ تار و پود از یکدیگر دارند، به ترتیب برابر با P_{wa} و



شکل ۱۳- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای نمونه پارچه‌های مختلف در حالت سوم.

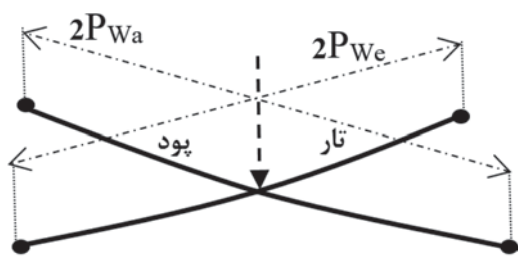


شکل ۱۱- نمای بالایی برخورد سوزن با نخ پود.

با مقایسه جدول‌های ۴ تا ۶ به وضوح مشاهده می‌شود، حداکثر نیروی نفوذ سوزن در حالت اول از حالت‌های دوم و سوم بیشتر است. دلیل این افزایش نیز سطح تماس بیشتر نخ تار و پود با سوزن است که موجب جابه‌جایی بیشتر نخ تار و پود و در نهایت افزایش نیروی نفوذ سوزن می‌شود. حداکثر نیروی نفوذ سوزن در برخورد سوزن با نخ پود (حالت سوم) در مقایسه با برخورد با نخ تار (حالت دوم) مقدار کمتری شده است. دلیل کاهش این است که پس از پارگی پود در حالت سوم، سطح سوزن فقط با نخ‌های تار درگیر شده است و فقط نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی تار به سوزن اعمال شده است. ولی در حالت برخورد سوزن با نخ تار، پس از پارگی نخ تار سطح سوزن با نخ‌های تار و پود برخورد داشته است و نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی نخ‌ها به سوزن وارد شده است که دلیل واضحی برای افزایش نیرو است. شکل ۱۲ تغییرات نیروی نفوذ سوزن را برای نمونه اولیه پارچه تافته نشان می‌دهد. در این شکل بخش ab مربوط به نیروی مقاوم در برابر پارگی نخ پود است که به سوزن اعمال می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نخ پود در برخورد با سوزن در موقعیتی پاره می‌شود که قطر سوزن کمتر از 0.05 mm است. پس از آن به دلیل برخورد نکردن سطح سوزن با نخ تار و پود نیرو تا نقطه c صفر می‌شود. از نقطه c به بعد، سطح سوزن به نخ تار برخورد کرده و نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی تار به سوزن وارد شده است. این نیرو تا نقطه d که به بخش استوانه‌ای سوزن می‌رسد، ادامه دارد.

جدول ۶- حداکثر نیروی نفوذ سوزن و حداکثر پارگی پود برای حالت سوم.

نوع بافت	P_1 (threads/cm)	P_2 (threads/cm)	حداکثر نیروی نفوذ سوزن (cN)	حداکثر نیروی پارگی تار (cN)
تافته ۱	۲۴	۱۵	۲۳/۵	۱۱/۴
تافته ۲	۲۴	۱۶	۲۵/۶	۱۱/۴
تافته ۳	۲۴	۱۸	۳۰/۴	۱۱/۴
سرژه ۲/۲	۲۴	۱۸	۲۰	۷/۴
ساتن ۵/۲	۲۴	۱۸	۱۲/۷	۴/۷
سرژه ۲/۶	۲۴	۱۸	۱۰/۷	۴
ساتن ۸/۳	۲۴	۱۸	۶/۳	۲/۴



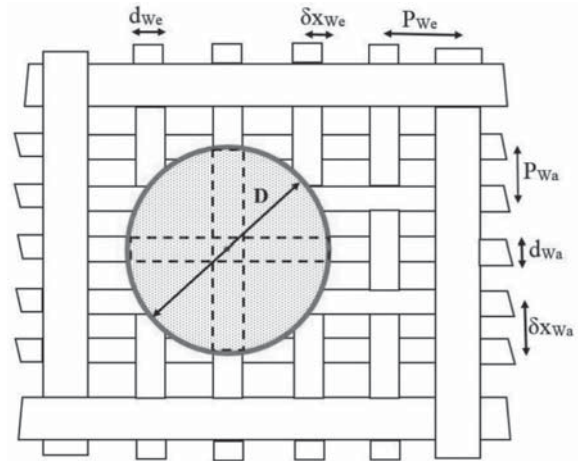
شکل ۱۵ - برخورد سوزن با نخ تار و پود.

آن پاره می‌شوند، ابتدا نخ پود پاره می‌شود. بنابراین، اثر نخ پود بر نیروی وارد شده به سوزن حذف می‌شود و نیروی وارد شده به سوزن تا لحظه‌ای که نخ باقی‌مانده که نخ تار است، پاره شود به شکل معادله (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$F = K_1 \delta y_2 = \frac{48B_{wa}}{(2p_{we})^3} \delta y_2 \quad (14)$$

جدول ۷ حداکثر نیروی نفوذ را برای نمونه پارچه‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این جدول و مقایسه با سه حالت قبل مشاهده می‌شود، حداکثر نیروی نفوذ سوزن در این حالت از سایر حالت‌ها کمتر است. دلیل این کاهش نیرو نیز مانند حالت‌های قبل است که اشاره شد. در این حالت، فاصله نخ تار و پود از یکدیگر دو برابر حالت اولیه شده است. پس از برخورد سوزن به نقطه تلاقی تار و پود، سطح سوزن فقط به نخ تار برخورد می‌کند و فقط نیروی مقاوم در برابر جابه‌جایی نخ تار به سوزن اعمال می‌شود. همچنین، حداکثر نیروی پارگی در نخ تار و پود نسبت به حالت دوم و سوم کاهش یافته است. با مشاهده معادله‌های (۱۳) و (۱۴) دلیل این کاهش، بیشتر شدن فاصله دو تار و دو پود است که نسبت به حالت دوم و سوم این مقدار دو برابر شده است.

شکل ۱۶ تغییرات نیروی نفوذ سوزن را برای پارچه تافته ۱ در حالت چهارم نشان می‌دهد. در حالت سوم نیز سطح سوزن فقط به نخ تار برخورد داشته است. ولی با وجود این، نیروی وارد شده به سوزن از طرف پارچه‌ها از حالت چهارم بیشتر است. دلیل این موضوع با توجه به شکل‌های ۱۲ و ۱۶ به وضوح مشخص می‌شود. سطح سوزن در حالت چهارم در قطری به اندازه دو برابر حالت سوم به نخ تار برخورد می‌کند. به همین دلیل، جابه‌جایی نخ تار در این حالت از حالت سوم کمتر شده است و در نهایت



شکل ۱۴ - نمای بالایی برخورد سوزن به نخ تار و پود در پارچه.

$2P_{wa}$ است. به‌طور مثال، برای نمونه اول پارچه تافته این فواصل به ترتیب برابر با $0/8695$ و $1/428$ mm است. بنابراین، روند حرکتی تغییر نیرو با این اندازه‌ها کاملاً مشخص است. با توجه به این فواصل پس از پارگی نخ تار و پود نیرو صفر می‌شود و ادامه می‌یابد تا اینکه سطح سوزن به نخ تار برسد و نیروهای مقاوم در برابر جابه‌جایی تار تا بخش استوانه‌ای سوزن اعمال می‌شوند. بیان این نکته نیز لازم است که سطح سوزن با نخ پود برخورد نمی‌کند، زیرا فاصله دو نخ پود از یکدیگر بیشتر از قطر بیشینه سوزن است. محاسبه نیروی پارگی در این حالت مانند حالت‌های دوم و سوم است، با این تفاوت که در این حالت سوزن به نقطه تلاقی تار و پود برخورد می‌کند. شکل ۱۵ برخورد سوزن به نخ تار و پود را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل هنگامی که سوزن به نخ تار و پود برخورد می‌کند، هم‌زمان از طرف هر دو نخ تار و پود شروع به وارد شدن نیرو به سوزن می‌شود تا اینکه یکی از نخ‌ها پاره شود. تا لحظه پاره شدن یکی از نخ‌ها با توجه به معادله (۱۲) نیروی وارد شده به سوزن از طرف نخ‌ها به شکل معادله (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$F = (K_1 + K_2) \delta y_1 = K_{eq} \delta y_1 = \left(\frac{48B_{wa}}{(2p_{we})^3} + \frac{48B_{we}}{(2p_{wa})^3} \right) \delta y_1 \quad (13)$$

در این حالت، با توجه به مشخصات نخ‌ها و حداکثر ارتفاعی که نخ‌ها در جدول ۷- حداکثر نیروی نفوذ سوزن و حداکثر نیروی پارگی نخ در حالت چهارم.

نوع بافت	P_1 (threads/cm)	P_2 (threads/cm)	حداکثر نیروی نفوذ سوزن (cN)	حداکثر نیروی پارگی تار (cN)	حداکثر نیروی پارگی پود (cN)
تافته ۱	۲۴	۱۵	۱۲/۸	۱/۱۱	۳/۵۲
تافته ۲	۲۴	۱۶	۱۳/۷	۱/۲۶	۳/۶۷
تافته ۳	۲۴	۱۸	۱۵/۸	۱/۶	۴
سرژه ۲/۲	۲۴	۱۸	۱۰/۳۳	۱/۰۴	۲/۶۳
ساتن ۵/۲	۲۴	۱۸	۶/۶۰	۰/۶۶	۱/۷
سرژه ۲/۶	۲۴	۱۸	۵/۵۳	۰/۵۵	۱/۴۱
ساتن ۸/۳	۲۴	۱۸	۳/۳	۰/۳۳	۰/۹

جدول ۸- مشخصات پارچه‌های بررسی شده [۱۶].

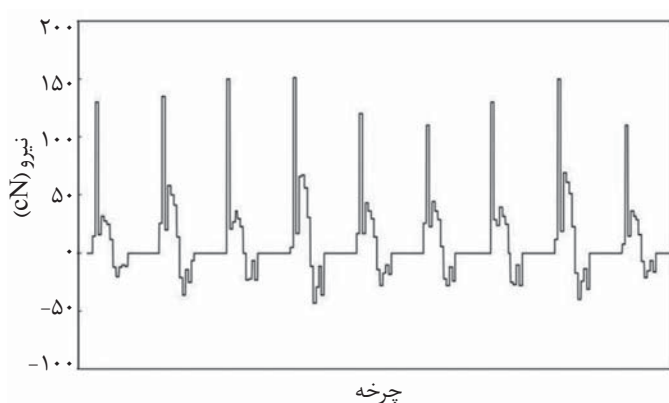
پارچه	مشخصه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
نخ پود	جنس نخ	پنبه	پنبه	پنبه
	نمره (Ne)	۱۸	۲۰	۹
نخ تار	تراکم (Th/cm)	۲۰	۲۲	۱۴
	جنس نخ	پنبه	پنبه	پنبه
نخ تار	نمره (Ne)	۱۸	۲۰	۹
	تراکم (Th/cm)	۲۰	۲۴	۲۵

اعتبارسنجی مدل پیشنهادی با مطالعه تجربی

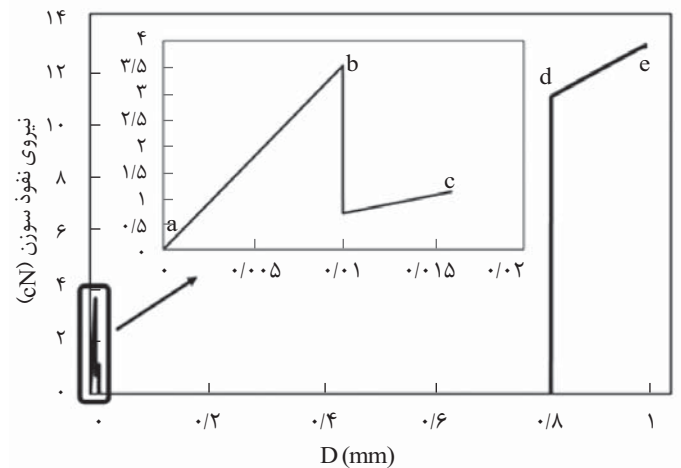
برای اطمینان از اعتبار مدل پیشنهادی، حداکثر نیروی نفوذ سوزن برای سه نمونه پارچه جدول ۸ محاسبه شده و سپس با نتایج تجربی مرجع ۱۶ که به وسیله دستگاه سنجش قابلیت دوخت پارچه اندازه‌گیری شده است، مقایسه شد. تمام نمونه‌ها با سوزن به قطر $0/8$ mm و در 100 چرخه سوزن‌زنی آزمایش شده‌اند. برای تعیین مقدار قابلیت دوخت پارچه، به‌طور عمده مقدار آسیب وارد شده به پارچه (نخ و الیاف درون ساختار پارچه) مطرح است و این نوع آسیب‌ناشی از وارد شدن نیروهای بیش از آستانه تحمل به ساختار پارچه از جانب سوزن هستند. بنابراین، تمرکز شاخص‌های مطلوب باید به سمت نیروهای مثبت و بیشترین حد نیروهای وارد شده به پارچه از جانب سوزن باشد.

نتایج حداکثر نیروی نفوذ سوزن برای سه نمونه پارچه براساس مدل نظری پیشنهادی و مطالعه تجربی به ترتیب در جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده‌اند. همچنین، شکل ۱۸ نمودار نمونه‌ای از نیروهای وارده به سوزن در ۹ چرخه سوزن‌زنی را در حالت پارچه تک‌لایه نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل مشاهده می‌شود، مدل نظری پیشنهادی برای محاسبه نیروی حداکثر نفوذ سوزن، مقادیر قابل قبولی در مقایسه با نتایج تجربی حاصل از دستگاه سنجش قابلیت دوخت ارائه می‌دهد. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های ۱، ۲ و ۳، نتایج مدل نظری نسبت به نتایج تجربی به ترتیب به اندازه ۲۲، ۱۱ و ۶٪ خطا دارد. منابع اصلی خطا افزون بر عدم اطمینان از ابعاد نخ و ضریب



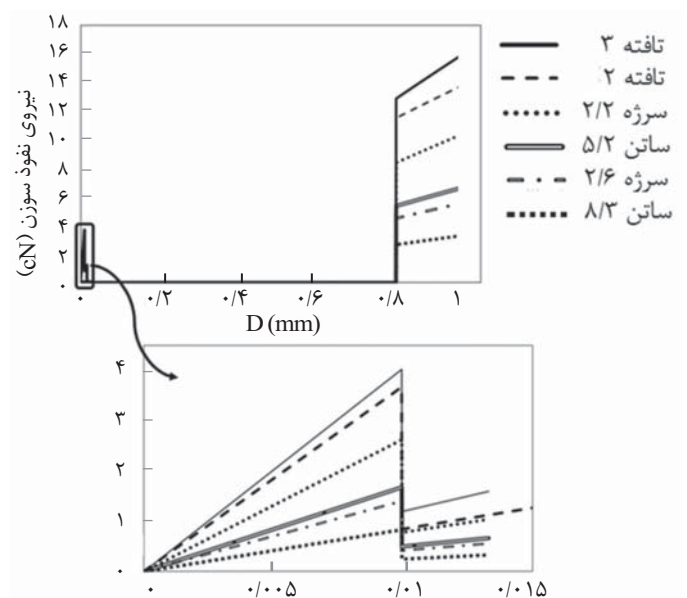
شکل ۱۸- نمودار نمونه‌ای از نیروهای وارد شده به سوزن در حالت پارچه تک‌لایه [۱۶].



شکل ۱۶- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای پارچه‌های تافته ۱ در حالت چهارم.

نیروی وارد شده به سوزن کاهش می‌یابد.

بخش ab نیروی نفوذ سوزن در شکل ۱۶ متناظر با تلاقی سوزن با نخ‌های تار و پود است. در نقطه b نخ پود پاره شده است، ولی نخ تار هم‌چنان زیر فشار سوزن است و نیرویی به سوزن اعمال می‌کند. سپس، ادامه نیروی مقاوم در برابر پارگی تار به سوزن اعمال می‌شود و تا نقطه c ادامه می‌یابد تا اینکه نخ تار نیز پاره می‌شود و نیرو یک باره به صفر می‌رسد. مقدار نیروی صفر ادامه می‌یابد تا اینکه سطح سوزن در نقطه d به نخ تار برخورد می‌کند و نیروی مقاوم در برابر جابه‌جایی تار به سوزن اعمال می‌شود. این نیرو تا نقطه e افزایش می‌یابد و در این نقطه که بخش استوانه‌ای سوزن شروع می‌شود، نیرو در حداکثر مقدار قرار می‌گیرد. شکل ۱۷ تغییرات نیروی نفوذ سوزن را برای نمونه پارچه‌های مختلف نشان می‌دهد. در این حالت نیز پارچه تافته ۳ به دلیل تراکم بیشتر نخ‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها نیروی بیشتری به سوزن اعمال می‌کند. نیروی پارگی نخ‌ها نیز در این نمونه به دلیل کم‌تر بودن فاصله بین نخ‌های پود از سایر نمونه‌ها بیشتر است.



شکل ۱۷- تغییرات نیروی نفوذ سوزن برای نمونه پارچه‌های مختلف در حالت چهارم.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، پس از معرفی مدل نظری Lomov برای محاسبه نیروهای وارد شده به سوزن، مراحل لازم برای تعمیم این مدل نظری ارائه شد. در تکمیل مدل پیشنهادی Lomov تغییرات نیروی نفوذ برحسب زمان برای قطرهای مختلف سوزن بررسی شد. سه حالت ویژه از مدل Lomov در بررسی نحوه برخورد سوزن با پارچه و اثر آن بر نیروی نفوذ در نظر گرفته شد. بدین منظور، تغییرات نیروی نفوذ سوزن افزون بر حالت عبور سوزن از بین نخ تار و پود، با ارائه سه حالت نفوذ سوزن در پارچه شامل برخورد سوزن با نخ تار، برخورد سوزن با نخ پود و برخورد سوزن به نقطه تلاقی نخ تار و پود بررسی شد. در نهایت، حداکثر نیروی نفوذ سوزن برای سه نمونه پارچه حاصل از مدل نظری ارائه شده در این مقاله با نتایج حاصل از مطالعه‌ای تجربی که به وسیله دستگاه سنجش قابلیت دوخت پارچه اندازه‌گیری شد، مقایسه شده است. با توجه به نتایج حاصل، مدل ارائه شده با دقت قابل قبولی نیروی نفوذ سوزن را در پارچه محاسبه می‌کند.

مراجع

- Guo Z., et al., Applications of artificial intelligence in the apparel industry: A review, *Text. Res. J.*, 81, 1871-1892, 2011.
- Shi J., Sewing damage and its prevention, *Text. Technol. Overseas*, 15, 41-43, 1998.
- Braun M. and Ruing E., The Influence of Thread Softening on Sewing Needle Penetration Force, Needle Temperature and Interlocking Point Damage in Sewing Jersey, in *Wirkerei- und Strickerei-Technik*, Coburg, 1974.
- Gersák J. and Knez B., Determination of the penetration forces of the sewing needle in the sewing process, *Tekstil*, 34, 759-769, 1985.
- Gotlih K., Sewing needle penetration force study, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, 9, 241-248, 1997.
- Galuszynski S., Effect of fabric structure on fabric resistance to needle piercing, *Text. Res. J.*, 56, 339-340, 1986.
- Garbaruk V.N., Textile materials piercing by a needle, *Izvestia Vuzov, Tekhnologiya Legkoi Promishlennosti*, 5, 85-90, 1975.
- Khan R., Hersh S., and Grady P., Simulation of needle-fabric interactions in sewing operations, *Text. Res. J.*, 40, 489-498, 1970.
- Matthews B.A. and Little T.J., Sewing dynamics Part I: Measuring sewing machine forces at high speeds, *Text. Res. J.*, 58, 383-391, 1988.
- Orlov V.A., An investigation of needle-piercing strength of technical fabrics, *Tekstilnaya Promishlennost*, 12, 59-60, 1985.
- Stylios G. and Xu Y., An investigation of the penetration force profile of the sewing machine needle point, *J. Text. Institute*, 86, 148-163, 1995.
- Lomov S.V., A predictive model for the penetration force of a woven fabric by a needle, *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, 10, 91-103, 1998.
- Lomov S.V., The description of a yarn shape in a fabric with splines, *Izvestia vuzov, Tekhnologiya Tekstilnoy Promishlennosti*, 6 49-52, 1990.
- Leaf G. and Sheta A.M., The initial shear modulus of plain woven fabrics, *J. Text. Institute*, 75, 157-163, 1984.
- Skliannikov V.P., The optimisation of the structure and mechanical properties of the woven fabrics made of chemical fibres, *Legpromizdat, Moscow (In Russian)*, 1974.
- یوسف تبارع، نیروی وارد به سوزن در فرایند دوزندگی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۴.

جدول ۹- حداکثر نیروی نفوذ با مدل نظری پیشنهادی.

پارچه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
بیشینه نیرو (cN)	۲۹/۹۴	۹۰/۳۷	۱۵۷/۱۸

جدول ۱۰- حداکثر نیروی نفوذ سوزن در مطالعه تجربی [۱۶].

پارچه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
بیشینه نیرو (cN)	۳۸/۵۴	۱۰۱/۷۷	۱۶۷/۲۲

اصطکاک عبارت‌اند از:

- امکان فشردگی نخ‌ها ناشی از فشار سوزن،
- نیروهای ناشی از برهم‌کنش نخ‌ها در سلول‌های بافت مجاور،
- هندسه سوزن دوخت،
- صرف‌نظر کردن از تنش غشایی حاصل از خمش پارچه در جهت حرکت سوزن،
- ثابت‌بودن سرعت حرکت سوزن و
- فرضیه‌ها برای ساده‌سازی در محاسبه نیروی مقاوم در برابر پارگی نخ‌ها.

An Approach for Calculation of the Needle Penetration Force in Warp-weft Fabrics

Saeid Ebrahimi^{1*}, Iman Hajizadeh¹ and Pedram Peyvandi²

1. Faculty of Mechanics Engineering, 2. Faculty of Textile Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-7411, Yazd, Iran

Received 6 July 2014; Accepted 29 October 2014

Abstract

The needle penetration force is an important factor which has a substantial effect on the quality of stitch and the amount of possible damage to fabric. In this regard, developing predictive models for calculating the amount of needle force is very important. In this paper, the predictive model of Lomov for calculating the needle penetration forces is briefly introduced and the necessary steps to improve this model are presented. For this purpose, the amount of needle penetration force is obtained as a function of the needle tip diameter and three different models for possible contact between the needle and the fabric are introduced. In addition to the resistance forces against the movement of the needle, the required rupture force of the travelling thread is also calculated. Finally, the maximum needle penetration force calculated from the predictive mathematical model is compared with an experimental study for three different fabrics. The results show that there is a good correlation between the values predicted by the mathematical model and the experimental values.

Keywords

needle,
penetration force,
thread rupture force,
sewing machine,
warp-weft,
fabric

(*) Address Correspondence to S. Ebrahimi, Email: ebrahimi@yazd.ac.ir