



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی نساجی

## بررسی مقاومت سایشی نخ‌های هیبریدی ایترمینگل با ساختار مختلف با استفاده از هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی - تکنولوژی نساجی

مهدی قلی پور

اساتید راهنما  
دکتر داریوش سمّانی  
دکتر محمد شیخ زاده



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی نساجی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی نساجی - تکنولوژی نساجی آقای مهدی قلی پور

تحت عنوان

**بررسی مقاومت سایشی نخ های هیبریدی اینترمینگل با ساختار مختلف با استفاده از هوش مصنوعی**

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر داریوش سمنانی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر محمد شیخ زاده

۲- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر محمد قانع

۳- استاد داور پایان نامه

دکتر فرید شیخ الاسلام

۴- استاد داور پایان نامه

دکتر سعید آجلی

سرپرست تحصیلات تکمیلی

## تشکر و قدردانی:

در ابتدا خداوند بزرگ را که همیشه حضورش را در قلبم احساس نموده ام شاکرم که هم او بوده که با عنایت خود مرا به آنچه که خود شایسته آن می دانسته رهنمون نموده است. پس از آن از زحمات بی بدیل پدر و مادرم تشکر می نمایم که هرگز از زیر دینشان خارج نخواهم شد و هیچ ندانم که جایگزین این زحمات کنم.

بر خود لازم می دانم از کمکهای بی دریغ اساتید عزیزم، جناب دکتر سمنانی و جناب دکتر شیخزاده تشکر کرده و آرزوی توفیق روزافزون برایشان داشته باشم. در ضمن از زحمات اساتید گرانقدر دکتر قانع و دکتر شیخ الاسلام که داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته اند و دکتر سعید آجلی، سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده نساجی، سپاسگذارم. از کمکهای جناب آقای قربانی، مسئول محترم کارگاه بافندگی، به خاطر تمام تلاشهایشان در راستای تولید نمونه ها تشکر می نمایم.

جا دارد از کمکهای دوستان مهربانم، مهندس محسن شنبه، مهندس جابروچی، مهندس مرتضی ودود، مهندس حامد فراهانی، دکتر علی اکبر حاج علی اکبری، مهندس محسن سعیدی، مهندس میثم رستمزاده، مهندس مهدی درویشزاده، مهندس مجید محمدی، مهندس امیرامینی، مهندس رحمت حیدری، مهندس امین سلیقه دارو تمام عزیزانی که بدون همراهی آنها انجام این تحقیق ممکن نمود تشکر نمایم.

مهدی قلی پور

زمستان ۸۷

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی  
اصفهان است.

تقدیم به قلب پاک پدر و صبر مادر

## فهرست مطالب

عنوان.....	
صفحه.....	
فهرست مطالب.....	هفت
فهرست اشکال.....	ده
فهرست جداول.....	دوازده
چکیده.....	۱
فصل اول	۲
مقدمه	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تئوری های اصطکاک	۳
۳-۱- مکانیزم اصطکاک در اجسام مختلف	۳
۱-۳-۱- اصطکاک در اجسام گرم	۵
فصل دوم	۶
ارتباط موضوع تحقیق با کار های قبلی	۶
۱-۲- سایش و اصطکاک در نخ های متداول نساجی	۶
۱-۱-۲- اصطکاک و سایش در الیاف مصنوعی و نخ های فیلامنتی	۶
۲-۱-۲- اصطکاک در زنجیره پلیمری روی نقطه تماس	۷
۳-۱-۲- رابطه بین نیروی اصطکاک و نیروی نرمال در نقطه تماس	۹
۴-۱-۲- توصیف رابطه $F=KW^n$	۱۰
۵-۱-۲- بررسی کل تغییرات ناحیه تماس تحت بار	۱۰
۶-۱-۲- تأثیر زمان اعمال بار بر سایش نخ های فیلامنتی	۱۲
۷-۱-۲- سایش نخ های فیلامنتی در سرعت بالا	۱۲
۸-۱-۲- اصطکاک و سایش نخ های فیلامنتی در طول	۱۳
۹-۱-۲- اصطکاک بین الیاف تابدار	۱۵
۱۰-۱-۲- مدل ساختاری اصطکاک در مواد لیفی شکل	۱۶
۱۱-۱-۲- تخریب سایشی نخ های فیلامنتی	۱۶
۱۲-۱-۲- سایش نخ های پنبه ای و مخلوط پنبه و الیاف مصنوعی	۱۸
۱۳-۱-۲- عوامل سایشی نخ های ریسیده شده	۲۰

..... ۲۰	الف- زبری سطحی
..... ۲۰	ب- چسبندگی
..... ۲۱	ج- برش
..... ۲۱	د- کندگی
..... ۲۱	۲-۱-۱۴- بیرون آمدن اجزاء الیاف از نخ
..... ۲۱	۲-۱-۱۵- تخریب الیاف بر اثر سایش
..... ۲۲	۲-۱-۱۶- عوامل تخمین مقاومت سایشی نخ رسیده شده
..... ۲۳	۲-۱-۱۷- اثر تاب نخ بر مقاومت سایشی
..... ۲۳	۲-۱-۱۸- سایش در نخ های خاص
..... ۲۴	سایش در نخ های تکسچره شده
..... ۲۵	مکانیزم سایش نخ های رسیده شده به روش چرخانه، اصطکاک و جت هوا
..... ۲۵	۲-۲- نخ هیبریدی
..... ۲۶	۲-۲-۱- اینترمینگلینگ
..... ۲۸	۲-۲-۲- ساختمان جت های اینترمینگل
..... ۲۸	۲-۲-۳- مکانیزم اینترمینگلینگ
..... ۲۸	۲-۲-۴- ساختار و خواص نخ های کومینگل
..... ۲۸	۲-۳- شبکه عصبی
..... ۲۸	۲-۳-۱- مقدمه
..... ۲۹	۲-۳-۲- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی
..... ۳۰	۲-۳-۳- آموزش و یادگیری
..... ۳۳	۲-۳-۴- تشریح شبکه های پیشخور یا پیشرو
..... ۳۳	۲-۳-۵- شبکه پرسپترون چند لایه
..... ۳۴	۲-۳-۶- الگوریتم پس انتشار خطا
..... ۳۵	۲-۳-۷- کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در مدلسازی فرآیندهای نساجی
..... ۳۵	الف) مقدمه
..... ۳۶	ب) پیش بینی خصوصیات کششی نخهای جت هوا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی
..... ۳۷	ج) پیش بینی موئینگی نخهای رینگ و چرخانه ای و بررسی میزان تأثیر خصوصیات الیاف برروی موئینگی نخ
..... ۳۸	د) مقایسه قابلیت الگوریتمهای شبکه های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره خطی در پیش بینی خواص نخهای پنبه ای چرخانه ای
..... ۳۸	ه) مدلسازی خواص کششی منسوجات بی بافت سوزن زنی شده با استفاده از شبکه های عصبی

..... ۳۹	مصنوعی
..... ۴۱	فصل سوم
..... ۴۱	آزمایشات و روش انجام محاسبات
..... ۴۱	۳-۱ مقدمه
..... ۴۱	۳-۲- مواد اولیه و نحوه تهیه نخ هیبریدی
..... ۴۲	۳-۳- دستگاه سایشگر
..... ۴۳	۳-۴- نحوه به دست آوردن ضریب اصطکاک بین نخ و جسم سایشگر براساس استاندارد ASTM شماره ۰۱-
..... ۴۳	D-۳۱۰۸
..... ۴۳	۳-۵- مکانیزم سایش نمونه های تولیدی و تهیه تصاویر
..... ۴۵	۳-۶- عملیات پردازش تصویر و به دست آوردن پارامترهای سایش
..... ۴۶	۳-۷- شبکه کوهونن (Kohonen net) طراحی شده به منظور کلاسه بندی داده های بدست آمده
..... ۴۷	- شبکه کوهونن به کار گرفته شده و اصلاح آن
..... ۴۹	فصل چهارم
..... ۴۹	نتایج و تحلیل داده ها
..... ۴۹	۴-۱- مقدمه
..... ۴۹	۴-۲- بررسی آماری صحت آزمایشات
..... ۵۰	۴-۳- داده های حاصل از روش پردازش تصویر
..... ۶۳	۴-۴- تحلیل نتایج
..... ۷۷	۴-۵- نتایج حاصل از شبکه عصبی
..... ۸۱	فصل پنجم
..... ۸۱	نتیجه گیری کلی و پیشنهادات
..... ۸۱	۵-۱- نتیجه گیری
..... ۸۲	۵-۲- پیشنهادات
..... ۸۳	مراجع
..... I	پیوست



## فهرست اشکال

عنوان.....	صفحه.....
شکل ۱-۱ - اصطکاک در اجسام نرم ، سخت و روغنکاری شده	۴.....
شکل ۱-۲ - تصویر نخ سائیده شده فیلامنتی نایلون	۷.....
شکل ۲-۲ - تغییرات $\mu$ و S/P نسبت به دما	۸.....
شکل ۲-۳ - ناحیه سایش در نقطه تماس به صورت مارپیچ های همگن	۱۱.....
شکل ۲-۴ - ناحیه تماس در طول نخ: (a) نخ در تماس با یک سطح (b) نخ در تماس با دو سطح	۱۳.....
شکل ۲-۵ - ناحیه تماس در طول نخ روی سیلندری با سه قوس (a) الیاف بدون سختی خمشی (b) الیاف با سختی خمشی	۱۴.....
شکل ۲-۶ - اثر نیروی نرمال بر سایش نخ فیلامنتی	۱۷.....
شکل ۲-۷ - تاثیر سایش بر چند نخ فیلامنتی و تخریب سایشی آنها	۱۸.....
شکل ۲-۸ - نخ های هیبریدی ، a- ساختار نخ کومینگل b- نخ دورپیچ c- نخ مغزی ریسیده شده d- نخ stretch - break	۲۶.....
شکل ۲-۹ - ساختار نخ جت اینترمینگل	۲۷.....
شکل ۲-۱۰ - نمای یک نرون مصنوعی	۳۰.....
شکل ۲-۱۱ - یادگیری با ناظر	۳۲.....
شکل ۲-۱۲ - یادگیری تشدید	۳۲.....
شکل ۲-۱۳ - یادگیری بدون ناظر	۳۲.....
شکل ۲-۱۴ - شبکه پرسپترون سه لایه	۳۴.....
شکل ۲-۱۵ - شمایی از الگوریتم خطای پس انتشار	۳۵.....
شکل ۲-۱۶ - ساختار شبکه عصبی طراحی شده برای مدل سازی خصوصیات کششی	۴۰.....
شکل ۳-۱ - سایش به روش مستقیم	۴۲.....
شکل ۳-۲ - سایش به روش غیر مستقیم	۴۲.....
شکل ۳-۳ - عبور نخ از روی جسم سایشگر	۴۳.....
شکل ۳-۴ - نحوه سایش نخ	۴۴.....
شکل ۳-۵ - تصاویر نخ هیبریدی در حین سایش	۴۴.....
شکل ۳-۶ - شبکه کوهونن	۴۷.....
شکل ۳-۱ - تغییرات قطر و شاخص سایش	۷۰.....
ادامه شکل ۱-۴ - تغییرات قطر و شاخص سایش	۷۱.....
ادامه شکل ۱-۴ - تغییرات قطر و شاخص سایش	۷۲.....
ادامه شکل ۱-۳ - تغییرات قطر و شاخص سایش	۷۳.....

.....۷۴.....
.....۷۵.....
.....۷۶.....
.....۷۷.....
.....۷۹.....

ادامه شکل ۳-۱- تغییرات قطر و شاخص سایش  
ادامه شکل ۳-۱- تغییرات قطر و شاخص سایش  
ادامه شکل ۳-۱- تغییرات قطر و شاخص سایش  
ادامه شکل ۳-۱- تغییرات قطر و شاخص سایش  
شکل ۴-۲- دسته بندی نخها در کلاسهای مربوطه

## فهرست جداول

عنوان.....	صفحه.....
جدول ۱-۲- پیش بینی خصوصیات کششی نخهای جت هوا با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی	۳۷.....
جدول ۲-۲- ضریب همبستگی الگوهای آموزشی و آزمایش شبکه های آموزش دیده	۳۸.....
جدول ۳-۲- مقایسه R <sup>2</sup> -value بین نتایج شبکه عصبی و رگرسیون	۳۹.....
جدول ۴-۲- نتایج بدست آمده از آزمایش دو مدل	۴۰.....
جدول ۱-۴- قطر متوسط نخ در حین سایش	۵۱.....
ادامه جدول ۱-۴- قطر متوسط نخ در حین سایش	۵۲.....
ادامه جدول ۱-۴- قطر متوسط نخ در حین سایش	۵۳.....
ادامه جدول ۱-۴- قطر متوسط نخ در حین سایش	۵۴.....
جدول ۲-۴- پارامتر های سایشی	۵۵.....
ادامه جدول ۲-۴- پارامتر های سایشی	۵۶.....
ادامه جدول ۲-۴- پارامتر های سایشی	۵۷.....
ادامه جدول ۲-۴- پارامتر های سایشی	۵۸.....
جدول ۳-۴- پارامتر سایشی	۵۹.....
ادامه جدول ۳-۴- پارامتر سایشی	۶۰.....
ادامه جدول ۳-۴- پارامتر سایشی	۶۱.....
جدول ۴-۴- ورودی شبکه عصبی	۷۸.....
جدول ۵-۴- خروجی شبکه عصبی و دسته بندی نخ ها	۸۰.....

## چکیده

مقاومت سایشی یکی از موارد کیفی منسوجات است که برای مصرف کننده بخصوص در زمینه پوشاک بسیار حائز اهمیت است. نخ هیبریدی از دسته نخ های ترکیبی است که با توجه به قابلیت های ساختاری آن، می تواند کاربرد های مناسبی داشته باشد.

در این تحقیق، نخ های هیبریدی با ساختار مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. نخ های پنبه ای ۲۰ و ۳۰ انگلیسی و پنبه پلی استر ۲۰ و ۳۰ انگلیسی به وسیله جت هوا و در فشارهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بار تحت عملیات کومینگلینگ با نخ های فیلامنتی پلی استر فلت و تکسچره با نمره ۱۵۰ دنیر قرار گرفتند. سپس نخ ها از روی یک جسم سایشگر در ۴ سیکل ۱۵۰ دوری عبور داده شد و از نمونه ها تصویر برداری گردید. با استفاده از تکنیک پردازش تصویر، تأثیر عملیات سایش بر روی نخ مورد بررسی قرار گرفت و شاخص تخریب سایشی و کاهش قطر نخ محاسبه گردید. سپس با استفاده از شبکه عصبی kohonen، نخ های مورد آزمایش در ۵ کلاس از لحاظ مقاومت سایشی از عالی تا ضعیف طبقه بندی گردیدند.

نتایج نشان می دهند که نخ پنبه پلی استر نمره ۳۰، نخ هیبرید شده از پنبه ۳۰ و پلی استر تکسچره در فشار های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بار و نخ هیبرید شده از پنبه پلی استر ۳۰ و پلی استر فلت در فشار ۶۰ بار بهترین مقاومت سایشی را از خود نشان می دهند. بنظر می رسد افزایش فشار سبب بالا رفتن درگیری میان اجزای تشکیل دهنده نخ هیبریدی شده و در نتیجه باعث بالا رفتن مقاومت سایشی نخ می شود. جزء پنبه به همراه پلی استر تکسچره نیز بهترین شرایط را بدست می دهند.

کلمات کلیدی: مقاومت سایشی، نخ هیبریدی، پردازش تصویر، هوش مصنوعی.

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱- مقدمه

پدیده سایش یا اصطکاک مالشی<sup>۱</sup> و مقاومت در برابر سایش<sup>۲</sup> از مهمترین خصوصیات نخ می باشند که بر قابلیت بافندگی نخ<sup>۳</sup>، قابلیت کاربرد آن<sup>۴</sup>، دوام محصول نهایی<sup>۵</sup> و فرسودگی آن پس از استفاده استفاده تأثیر می گذارد. در واقع مقاومت سایشی نخ در کنار استحکام و الاستیسیته آن، قابلیت بافندگی نخ مورد نظر را تأمین می نماید. لذا می توان پدیده سایش را در نخ عامل مهمی در خصوصیات آن ذکر کرد که مقاومت نخ در برابر آن می تواند تأثیر زیادی در تأمین کیفیت نخ بگذارد[۱].

یک نخ از ابتدای عمل ریسندگی، جایی که نخ تشکیل می شود تا زمانی که به صورت پارچه و یا نخ خام در اختیار مصرف کننده قرار می گیرد همواره با عوامل فلز، لیف و سیال و ... در تماس است. بیشتر تماس نخ در حین عملیات مختلف با فلزات است که اکثر آنها سطح چندان صافی نداشته و گاهی سطح زبر و خشن دارند. در هنگام مصرف نیز سه عامل فوق الذکر نخ را تحت سایش قرار می دهند. چیزی که اهمیت دارد آن است که نخ های ساخته شده از الیاف مختلف، رفتاری متفاوت در برابر عمل سایش از خود نشان می دهند. علاوه بر این، نوع سیستم ریسندگی نخ و بعضی عملیات تکمیلی یا روغنکاری روی نخ نیز موجب تغییر در رفتار سایشی نخ می شوند[۲].

---

1- Abrasion

2- Abrasion Reistance

3- Weaving ability

4- Serviceability

5- Durability

### ۱-۲- تئوری های اصطکاک [۳]

یکی از تئوری های مهم در اصطکاک، تئوری کولمب<sup>۱</sup> است. وی بیان کرد که انرژی اصطکاکی در برابر کار لازم برای کشیدن یک سطح از سوی دیگر می باشد. در اینجا دو مشکل رخ می دهد. اول آنکه دیدن این جریان، عملیات آسانی نیست. اگر دو جسم آزاد روی هم بلغزند ممکن است هیچ اصطکاکی رخ ندهد اما در حالت عادی، انرژی اصطکاکی حاصل از فرو رفتن شیارها در یکدیگر و بیرون کشیدن آنها از هم می باشد. دومین مشکل این است که مقادیر واقعی ضرایب اصطکاک را نمی توان به راحتی تعیین کرد. ضریب اصطکاک با زاویه شیب برآمدگی ها متناسب است بنابراین ضریب اصطکاک برابر خواهد بود با:

$$\mu = \tan \lambda \quad (1)$$

که در آن  $\mu$  ضریب اصطکاک و  $\lambda$  زاویه شیب برآمدگی هاست .

تئوری دیگر، تئوری عمل متقابل سطحی است. این تئوری که در سال ۱۹۵۰ توسط شنرمن<sup>۲</sup> برای اولین بار ارائه شد، بیان می کند که در خلال حرکت به طور پیوسته تغییر در سطوح وجود دارد. این تغییر شکل در سطوح مقدار زیادی انرژی مصرف می کند که همان انرژی اصطکاک است.

مکانیزم عمل متقابل دیگری که با مورد قبلی بسیار متفاوت است توسط تاملینسون<sup>۳</sup> در سال ۱۹۲۹ بیان شده است. او جاذبه مولکولی را مورد بررسی قرار داد و انرژی اصطکاکی را به انرژی حاصل از جذب مولکولها مربوط نمود او بیان کرد که هنگام حرکت دو جسم در مجاورت و چسبیده به هم، مولکولهای دو جسم اتمهای یکدیگر را بیرون می کشند و این عمل نیاز به انرژی دارد و بنابراین انرژی مورد نیاز برای تغییر محل اتمها می تواند همان نیروی اصطکاک باشد. تئوریهای دیگری که در مورد مکانیزم اصطکاک بیان شده است به شرح ذیل است:

- تئوری هالم<sup>۴</sup> (۱۹۴۶)

- تئوری ارنست-مرچانت<sup>۵</sup> (۱۹۴۰)

- تئوری باندن-تابور<sup>۶</sup> (۱۹۵۴)

### ۱-۳- مکانیزم اصطکاک در اجسام مختلف

پس از آنکه تئوری های مختلف به صورت ماکروسکوپی و میکروسکوپی پدیده اصطکاک را

۱- Coulomb

۲- Schnurman

۳- Tomilson

۴- Holm

۵-Ernest-Merchant

۶- Bonden-Tabor

مورد بررسی قرار دادند، مسئله تفاوت مکانیزم این پدیده در انواع اجسام - که خواص متفاوت با هم دارند - اصلی ترین موضوع بررسی پدیده اصطکاک قرار گرفت. در تئوری کامل شده اصطکاک که به صورت ماکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفت و تئوری ساده ای بود، سطح تماس موثر بر جسم از رابطه نسبت نیروی اعمال شده به فشار روی جسم محاسبه می شود:

$$A = \frac{W}{P} \quad (2)$$

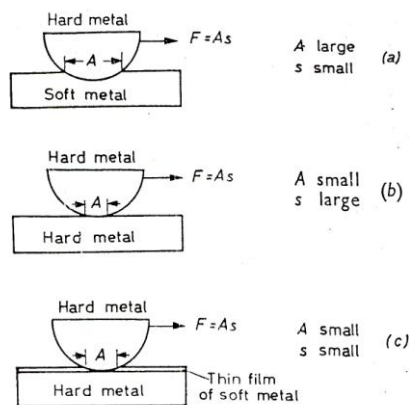
و اگر این ناحیه تماس در تنش برشی ویژه (S) ضرب شود، نیروی برشی محاسبه می شود.

$$F = AS = S \cdot \frac{W}{P} \quad (3)$$

در اینجا نیرویی لازم است که بیش از نیروی برشی باشد تا بتواند بر نیروی برشی غلبه کرده و جسم را به حرکت درآورد، بنابراین می توان نیروی برشی ذکر شده را نیروی اصطکاک دانست. حال اگر این نیروی برشی که همان نیروی اصطکاک است بر نیروی نرمال (W) تقسیم شود ضریب اصطکاک ( $\mu$ ) به دست می آید.

$$\mu = \frac{F}{W} = \frac{S}{P} = \frac{\text{تنش برشی ویژه}}{\text{فشار تسلیم}} \quad (4)$$

اما این مسئله برای اجسام مختلف تفاوت دارد. برای مثال می توان دسته بندی زیر را برای اجسام مختلف در نظر گرفت. در این تقسیم بندی اجسام به سه دسته عمده تقسیم می شوند (شکل ۱-۱):  
 الف - اجسام نرم که در آنها سطح تماس (A) بزرگ و تنش برشی ویژه (S) کوچک است.  
 ب - اجسام سخت که در آنها سطح تماس (A) کوچک اما تنش برشی ویژه (S) بزرگ است.  
 ج - اجسام سخت با سطح روغنکاری شده که در آنها سطح تماس (A) و تنش برشی ویژه (S) کوچک است.



شکل ۱-۱ - اصطکاک در اجسام نرم، سخت و روغنکاری شده

بنابراین متوجه می شویم که بهترین حالت برای جایی که می خواهیم اصطکاک را کاهش دهیم، حالتی است که از جسم سخت به همراه فیلم نازک روغن یا روان کننده استفاده شود چرا که با کوچک شدن سطح تماس و تنش برشی ویژه، تعداد حاصلضرب این دو عامل (A.S) که همان اصطکاک (نیروی برشی) است کاهش می یابد و جسم با سایش کمتر از قبل حرکت خواهد کرد یا به عبارت دیگر نیروی

لازم برای حرکت آن کوچکتر خواهد بود.

رابطه بین  $S$  و  $P$  رابطه ای مهم در این بررسی می باشد. نقطه تسلیم پلاستیک فلزات، هنگام حرکت دو جسم از روی هم در نقطه اتصال، به هر دو عامل  $S$  و  $P$  وابسته است. در یک بررسی دو بعدی بیان می شود که سطح تماس موثر دو جسم توسط نیروی نرمال ( $W$ ) تعیین می شود و  $A$  همان سطح موثر خواهد بود. در این حالت خواهیم داشت:

$$P = \frac{W}{A} \quad (5)$$

که تنش صفر ( $S=0$ ) زمانی رخ می دهد که جسم کاملاً پلاستیک باشد. نیروی مماسی می تواند این سطح تماس را گسترش دهد و به سطح تماس ثانویه ( $A$ ) تبدیل کند. در این حالت چون  $A$  بزرگ شده و به  $A$  تبدیل می شود حاصل  $\frac{W}{A}$  که همان فشار است از  $P$  به  $P$  کاهش می یابد. در حالت دو بعدی می توان نوشت:

$$P^2 + 3S^2 = P_1^2 \quad (6)$$

رابطه ۶ نشان می دهد که ارتباط بین  $S$  و  $P$  از درجه ۲ می باشد و می توان آنرا به فرم بیضوی تعبیر کرد. با وجود این نمی توان تئوری فوق الذکر را کامل دانست چرا که تأثیر نیروی مماسی دقیقاً توضیح داده نمی شود.

### ۱-۳-۱- اصطکاک در اجسام گرم

عمده ترین قسمت کار اصطکاک در مجاورت حرارت است. اصطکاک خود به تنهایی ایجاد حرارت می کند اما حالاتی نیز وجود دارند که عمل اصطکاک در مجاورت حرارت خارجی انجام می گیرد. موارد بسیاری در صنعت وجود دارند که در آنها با پدیده اصطکاک در حضور حرارت مواجه هستیم. مسئله فوق در ایجاد اصطکاک در نواحی کوچک بیشتر خودنمایی میکند چرا که در نواحی کوچک، حرارت ایجاد شده یا خارجی در نقطه کوچک تماس متمرکز می شود. بنابراین دمای منطقه مورد نظر افزایش زیاد دارد. بادن و ریدلر<sup>۱</sup> در سال ۱۹۳۶ بیان کردند که استفاده از فلزات کشسان به همراه فلزات سخت می تواند تأثیر حرارت در اصطکاک را به خوبی نشان دهد. در این حالت دو جسم به صورت یک ترموکوپل عمل می کنند. دمای زیاد نقش مهمی در خواص فیزیکی اجسام بازی می کند. برای مثال، می توان تغییرات زیادی در لایه های سطحی اجسام داشته باشد. بادن و هیوز در سال ۱۹۳۷ دریافتند سایش یک قطعه جامد روی نخ، حرارت اصطکاکی بیشتری نسبت به سایش همان قطعه روی مذاب آن ایجاد می کند یعنی ایجاد یک فیلم نازک روی آن موجب آزادی حرکت جسم می شود، اما این تنها عامل نیست بلکه ایجاد حرارت موجب تغییراتی شیمیایی در اجسام می شود. در نتیجه نیروهای چسبندگی بین دو جسم دچار تغییر می شوند و اصطکاک بین دو جسم تغییر می کند.



## فصل دوم

### ارتباط موضوع تحقیق با کارهای قبلی

#### ۲-۱- سایش و اصطکاک در نخ های متداول نساجی

##### ۲-۱-۱- اصطکاک و سایش در الیاف مصنوعی و نخ های فیلامنتی [۴]

چیزی که در کلیه الیاف مصنوعی که به صورت نخ های فیلامنتی به کار گرفته می شود مشترک است، خواص ویسکوالاستیک آنهاست. به طور کلی نخ های فیلامنتی متداول را می توان به چهار دسته تقسیم کرد:

۱- نخ های فیلامنتی نایلون

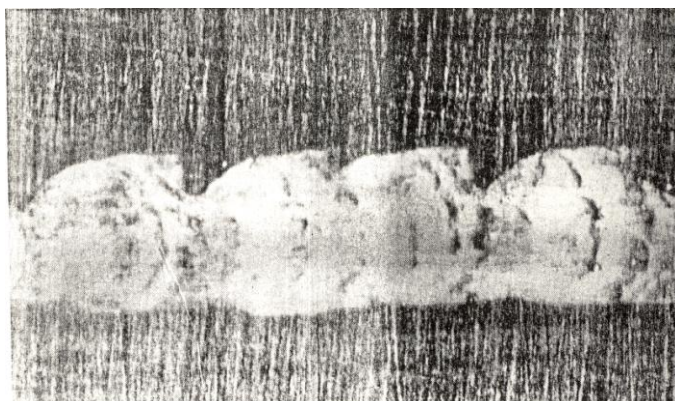
۲- نخ های فیلامنتی پلی پروپیلن

۳- نخ های فیلامنتی پلی اورتان

۴- نخ های فیلامنتی پلی استر

نخ های فیلامنتی نایلونی که به طول معمول از نایلون ۶، و نایلون های ۶۶ تهیه می شوند خواص مشابه به هم دارند. زنجیره پلی آمیدی آنها و خواص الاستیک نایلون به آنها خاصیت الاستیک زیادی می دهد. گرچه در صنعت با تثبیت حرارتی خواص آنرا تثبیت می کنند و ازدیاد طول غیرقابل بازگشت را در آن از بین می برند. اما ماهیت زنجیره پلیمری نایلون به آن خواص شبیه اجسام کشسان می دهد. اگرچه

نمی توان نایلون را به طور مطلق جسمی کشسان دانست. بنابراین در بررسی مکانیزم سایش آن بایستی به خواص الاستیک آن نظر داشت.



شکل ۲-۱- تصویر نخ سائیده شده فیلامنتی نایلون

نخ های فیلامنتی پلی پروپیلن متداول در صنعت، کمتر خاصیت کشسان نایلون را از خود نشان می دهند و مکانیزم سایش آنها مشابه اجسام نرم است. برای بررسی این گونه نخ ها بایستی عوامل تکمیلی خاص روی آنها نیز بررسی شود.

نخ های فیلامنتی پلی اورتان که از الیاف پلی اورتان تهیه می شوند، به دلیل خاصیت کشسان زنجیره پلیمری پلی یوره در آن، خواص اصطکاک مشابه با اجسام کشسان دارند. در این گونه الیاف که بیشتر به صورت کش در منسوجات استفاده می شوند، کمتر پدیده سایش بررسی می شود چرا که کاربردهای خاص آن در منسوجات، کمتر تحت عامل سایش قرار دارند. اما در صنایع دیگر خصوصاً تسمه ها و دیگر وسایل، پدیده سایش یکی از مهمترین عوامل موثر بر قابلیت کاربرد این گونه الیاف است.

نخ های فیلامنتی پلی استر، خواص شبیه نخ های نایلون و پلی پروپیلن دارند. اگرچه هنگام عمل تکسچرایزینگ، خواص این گونه نخ ها به شدت دچار تغییر می شود و عمل کشسان بودن در آنها بیشتر خودنمایی می کند. بنابراین در این گونه نخ ها و همچنین نخ های نایلونی، بررسی رفتار سایش در حالت تکسچره و غیر تکسچره الزامی است.

#### ۲-۱-۲- اصطکاک در زنجیره پلیمری روی نقطه تماس

اولین مطالعه در مورد اصطکاک در نخ های نایلونی و پرسپکس<sup>۱</sup> در سال ۱۹۵۱ توسط شوتر<sup>۲</sup> انجام شد و پس از تحقیقات وی توسط کلینتون و زیسمن<sup>۳</sup> در سال ۱۹۵۲ و سپس هاول<sup>۴</sup> در سال ۱۹۵۲ و لینکلن<sup>۵</sup> در سال ۱۹۵۳ ادامه یافت.

1- Perspex

2- Shooter

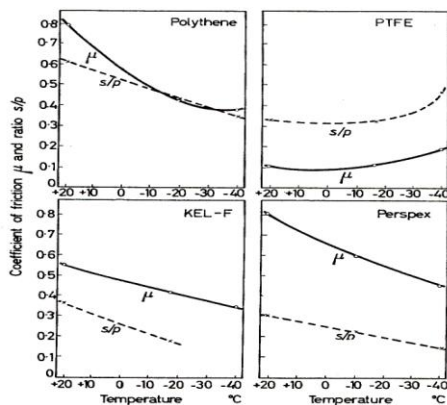
3- Clinton & Zisman

4- Howell

5- Lincoln

شوتر دریافت وقتی نخ نایلونی را تمیز کند و تحت سایش با ورقه استیل قرار دهد، نیروی اصطکاک وارد بر نخ نایلونی مشابه تئوری های اصطکاک رفتار می کند. هنگام سایش، گلوله های پلاستیکی زیادی تحت تماس با فلز هستند و به مرور زمان براده هایی از فلز به سطح نخ منتقل می شوند. این موضوع نشان می دهد مکانیزم سایش در اینجا مکانیزمی پیچیده است. اگر نخ یا پلاستیک به قطر  $d$  داشته باشیم آنگاه سطح تماس آن با فلز حدوداً  $A = \frac{\pi d^2}{8}$  خواهد بود. این موضوع نشان می دهد، عامل  $d^2$  در برابر عامل نیروی نرمال میزان تماس را مشخص می کند. اگر نیروی اصطکاک حاصل  $F$  باشد، خواهیم داشت:  $F = S.A$ ، جاییکه  $S$  سختی برشی پلاستیک می باشد.

همچنین وی دریافت برای کلیه یاف، کاهش دما موجب کاهش ضریب اصطکاک می شود. چیزی که در اینجا اتفاق می افتد این است که با کاهش دما، خاصیت الاستیک در این گونه یاف افزایش می یابد. مقادیر تجربی نشان می دهد که رابطه  $\mu = \frac{S}{P}$  درست است. تنها جاییکه تفاوت مشاهده می شود، یاف تترافلور و اتیلن است که رفتاری مخالف دیگر یاف از خود نشان می دهند و این به دلیل خواص متفاوت الاستیسیته آن است. مطالعات مشابه نشان می دهد که مولکولهای ضعیف تر بیشتر از مولکولهای قوی تر دچار سایش می شوند و در این حالت است که مسئله سطح انرژی آزاد مولکولها مطرح می شود. در مولکولهای زنجیره تترافلور و اتیلن، عامل فلونور به علت سطح انرژی بالای خود بر اثر دما، رفتاری مخالف مولکولهای دیگر که سطح انرژی پایین دارند از خود نشان می دهند و برعکس آنها سخت تر نمی شوند و این عامل موجب رفتار متفاوت آن در مجاورت افزایش یا کاهش دما نسبت به پلیمرهای دیگر است.



شکل ۲-۲- تغییرات  $\mu$  و  $S/P$  نسبت به دما

در شکل ۲-۲ اثر دما بر ضریب اصطکاک یاف مختلف نشان داده شده است. همچنین تغییرات  $\frac{S}{P}$  نسبت به دما برای همان یاف در شکل آمده است. مشاهده می شود که شیب تغییرات برای یاف مختلف برای  $\mu$  و  $\frac{S}{P}$  یکسان است. اگرچه بهترین حالت برای پلی اتیلن مشاهده خواهد شد.

شوتر و تابور<sup>۱</sup> دریافتند که افزایش نیروی نرمال بر نخ موجب افزایش ضریب اصطکاک خارجی آن می شود. اما در عمل متوجه شدند که این تنها عامل افزایش نیروی اصطکاک نیست. بلکه عوامل دیگری نیز وجود دارند که مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### ۲-۱-۳- رابطه بین نیروی اصطکاک و نیروی نرمال در نقطه تماس

در سال ۱۹۵۲ گرالن<sup>۲</sup> اثر رابطه بین نیروی اصطکاک و نیروی نرمال را مورد بررسی قرار داد. وی متوجه شد که بین این دو نیرو، رابطه ای از درجه  $n$  برقرار است. بررسی وی بیشتر بر روی الیاف مصنوعی فیلامنتی که تاب کمی به آنها اعمال شده بود متمرکز شده بود. او داده های تجربی خود را با رابطه ذیل مطابقت داد.

$$F = aW + bW^n \quad (7)$$

و مقدار  $n$  را بر روی  $0/3$  ثابت فرض کرد.

مسئله چگونگی رابطه فیزیکی این دو عامل پیچیده است حتی اگر کل نیروی اصطکاک را در این گونه نخ ها به شکل نیروی اصطکاک در اجسام صلب در نظر بگیریم. اما در واقع مسئله از این هم پیچیده تر است چرا که در برخورد با این گونه نخ ها با دو جزء پلاستیک و الاستیک در آنها روبرو هستیم.

در رابطه ۷، جزء پلاستیک توسط جمله  $aW$  تعبیر می شود که در تئوری هاوول در اجسام کشسان مورد بررسی قرار گرفته است، جمله  $bW^n$  هم بیانگر ترم الاستیک است.

اگر شکل ساده فرمول ۷ را بخواهیم برای نخ های فیلامنتی در نظر بگیریم با درصد خطای زیاد می توان نوشت:

$$F = a + bW \quad (8)$$

اما در فرم کلی می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$F = a + bW^n \quad (9)$$

در اینجا از رابطه ۹ می توان دریافت که حتی در نیروی نرمال صفر نیز اصطکاک ناچیزی وجود دارد. گرچه این مسئله با تئوری های اساسی اصطکاک وفق نمی کند اما نتایج واقعی این موضوع را نشان می دهند چرا که در شرایط نرمال صفر، به علت کشش داخلی الیاف باز هم تنش به جسم اعمال می شود که همین تنش کوچک نیروی اصطکاک کوچکی ایجاد می کند. این مسئله توسط هاوول در سال ۱۹۵۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

همچنین پاسکو<sup>۳</sup> در سال ۱۹۵۵ متوجه شد که به دلیل ذکر شده بین خود الیاف نیروی اصطکاک ناچیزی وجود دارد و با اعمال تاب به علت افزایش نیروی نرمال داخلی این عامل تشدید می شود و نیروی اصطکاک بیشتری در الیاف ایجاد می شود. بنابراین با افزایش تاب، امکان سایش داخلی بیشتر می شود.

1- Shooter & Tabor

2- Gralen

3 - Pascoe