

مدل سازی نیروهای مؤثر بر الیاف فیلامنتی فلزی در میدان مغناطیسی گردان با استفاده از روش المان محدود

پدرام پیوندی^{۱*}، مسعود لطیفی^۲ و جواد مغانی^۳

^۱دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۲استاد، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۳استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از نخ‌های رسانا در محصولات نساجی، به خصوص در پوشاک الکترونیک و محصولات هوشمند گسترش زیادی یافته است. از آنجا که تغییر فرم کلیه نخ‌های فیلامنتی برای استفاده در پوشاک ضروری است در این تحقیق روش جدیدی بر اساس عبور دادن نخ‌های فیلامنتی فلزی از میدان مغناطیسی گردان و اعمال تاب و درگیری الیاف معرفی شده است. عملکرد این روش جهت اعمال نیرو به الیاف در میدان مغناطیسی با استفاده از روش المان محدود مدل شده است و توانایی روش مذکور در جابه‌جایی و درهم رفتن الیاف فیلامنتی فلزی به تأیید رسیده است.

کلمات کلیدی:

ایجاد درهم رفتگی، الیاف فلزی، مدل‌سازی، میدان مغناطیسی، المان محدود

Modeling of Electromagnetic Forces on Metallic Filaments in Rotational Magnetic Field by FEM Method

P. Peivandi^{1*}, M. Latifi² and J. Moghani³

¹Phd Student, Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology

²Professor, Department of Textile Engineering, Amirkabir University of Technology

³Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology

Abstract

Conductive yarns have a very important role in the production of some smart cloths. They can be made of electrical conductive fibers such as metallic fibers. In order to use them in fabric formation and wearable electronics, conductive yarns should exhibit same characteristics as conventional yarns. This study is the first step of inducing wearing features to conductive yarns made of fine metallic fibers. It is supposed that such yarns can be textured in a rotational electromagnetic field because of their electrical potential.

Therefore, a rotational electromagnetic field is simulated through which conductive filament fibers are carried. Mechanical simulation shows that the generated torque is as much as interlacing fibers. The operation of the introduced method is also modeled applying finite element technique. The capability of texturizing metal filament yarns by the method is successfully confirmed.

Key words: Texturizing, Metallic Filaments, Modeling, Magnetic Field, Finite Element

* p_peivandi@aut.ac.ir

۱- مقدمه

این امر به خصوصیت عایق گرما-سرمایی منسوجات کمک زیادی می‌نماید و همچنین منجر به کاهش سطح تماس الیاف با بدن می‌شود و احساس راحتی در فرد را به وجود می‌آورد. در مقابل الیاف مصنوعی معمولاً دارای سطح صاف و قاعده‌ی مدور می‌باشند. پارچه‌هایی که با فیلامنت‌های مصنوعی بافته شوند لغزنده‌اند و به بدن می‌چسبند و علاوه بر قدرت عایق‌بندی کم، قادر به انتقال رطوبت نیستند و به طور کلی پوشش مطلوبی ندارند و قابل استفاده در پوشاک نمی‌باشند.

با ایجاد تاب و درگیری در الیاف فیلامنتی میتوان حجم و عایق بندی گرمایی بالایی ایجاد نمود و در نتیجه خصوصیات نخ‌های فیلامنتی را به خصوصیات الیاف ریسیده شده از الیاف طبیعی نزدیک نمود. به این فرآیند در صنعت نساجی تکسچرایزینگ می‌گویند [۸].

به نظر می‌رسد، استفاده از روش‌های موجود برای تکسچرایزینگ نخ فیلامنتی فلزی غیر عملی باشد، زیرا در تمامی سیستم‌های ارائه شده به جز روش جت هوا، تاب بر اثر تماس سطحی جسم تاب دهنده با الیاف فیلامنتی منتقل می‌شود که به علت اصطکاک سطحی کم و سختی پیچشی بالا تاب چندانی به الیاف فلزی منتقل نمی‌شود و در عین حال بعلت سختی سطحی بالای فلزات عامل تاب دهنده به سرعت مستهلک می‌گردد.

در جت هوا عامل ایجاد تاب جریان شدید و متلاطم هوا می‌باشد که به نظر می‌رسد به علت وزن زیاد و ازدیاد طول کم الیاف فلزی در مقایسه با الیاف مصنوعی مورد استفاده در جت هوا، نه تنها تاب در الیاف فیلامنتی فلزی ایجاد نشود بلکه باعث ایجاد پارگی در الیاف نیز گردد.

با توجه به ناکارآمدی روش‌های موجود و علل آن روش‌های دیگری برای ایجاد تاب و درگیری در الیاف فیلامنتی فلزی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که استفاده از میدان مغناطیسی برای ایجاد چرخش بیش از یک قرن قدمت دارد و الیاف مورد نظر نیز هادی جریان الکتریکی می‌باشند، امکان ایجاد تاب و درگیری در الیاف

صنعت نساجی به سوی تولید منسوجاتی پیش می‌رود که نه تنها به عنوان پوشش بدن قابل استفاده‌اند بلکه دارای قابلیت‌های دیگری مانند تولید گرما و سرما [۱] نیز هستند. حتی طراحان در آینده بدن‌بال ساخت رایانه‌های هستند که قابلیت پوشیدن را داشته و همواره همراه کار بر باشند [۲]. در پزشکی نیز تهیه لباس‌هایی برای بیماران مد نظر است [۳] که بتواند اطلاعات لازم در مورد بیمار مانند ضربان قلب، فشارخون، قندخون و... را اندازه گیری نماید و هشدارهای لازم را به بیمار اعلام دارد و یا اطلاعات را به صورت خودکار به پزشک معالج منتقل نماید. اخیراً لباس‌هایی طراحی شده‌اند که مجهز به سیستم GPS می‌باشند [۴] که در نتیجه به کمک این لباس‌ها می‌توان موقعیت فرد را در هر مکان و در هر نوع شرایط آب و هوایی مشخص نمود. لباس‌های آینده وظایفی همچون پخش موسیقی، عمل نمودن به جای کارت شناسایی، قابلیت انتقال فرامین، قابلیت انتقال اطلاعات حیاتی و موقعیت مکانی [۵] ایجاد ارتباط مخابراتی [۶]، تولید نور،... [۷] را برعهده خواهند داشت.

برای رسیدن به چنین اهدافی نخ‌های مورد استفاده در منسوجات باید قابلیت عبور جریان الکتریکی را داشته باشند. در واقع در آینده صنعت ریسندگی به سوی تولید نخ‌های رسانا پیش می‌رود.

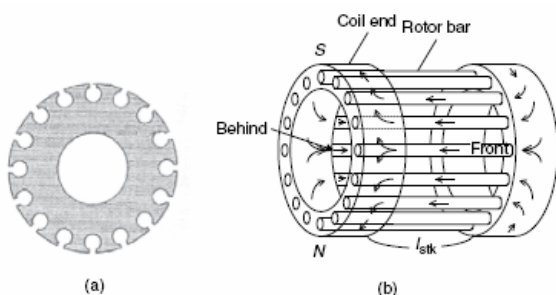
استفاده از نخ‌های تهیه شده از الیاف فیلامنتی مصنوعی (رسانا یا غیررسانا) به صورت تخت برای مصارف پوشاک مناسب نمی‌باشد. به همین منظور عملیات تکسچرایزینگ برای نزدیک کردن خصوصیات این نخ‌ها به نخ‌های تولید شده از الیاف طبیعی بر روی نخ‌های تهیه شده از الیاف فیلامنتی مصنوعی انجام می‌گیرد.

۲- تکسچرایزینگ نخ فیلامنتی فلزی

الیاف طبیعی دارای مقداری تجعد (پیچ‌خوردگی و یا موج) در طول خود می‌باشند که در نتیجه آن الیاف حجیم می‌گردند. حجیم بودن الیاف بسیار مطلوب می‌باشد چون

رتور نیز از ورقه‌های شیاردار ساخته می‌شود. ورقه‌ها به دقت روی هم گذاشته می‌شوند تا یک سری شکاف مورب روی سطح رتور به وجود آیند و فضایی برای هادی‌های رتور به وجود آید [۱۱].

در رتور قفس سنجابی درون شکافها با مفتول‌های ریخته‌گری مانند آلومنیوم، میله‌های مسی و یا آلیاژی از آنها پر می‌شوند. این میله‌ها به حلقه انتهایی که از جنس میله‌ها می‌باشد جوش داده می‌شوند و به این ترتیب میله‌ها روی خودشان اتصال کوتاه می‌گردند. به علت شباهت زیاد این نوع ساختمان به قفس سنجاب این گونه رتور را رتور قفس سنجابی می‌نامند [۱۰] (شکل ۱).



شکل (۱): ساختمان رتور موتور القائی قفس سنجابی [۱۰]

با توجه به مشابهت زیاد رتور این نوع از ماشین‌های الکتریکی به ساختمان الیاف فلزی در هنگام تابیده شدن، از نحوه‌ی کار این نوع موتور در مدل‌سازی استفاده گردید زیرا می‌توان میله‌های فلزی درون رتور را با الیاف فلزی جایگزین نمود که در هنگام تاب خوردن انتهای آنها دارای اتصال کوتاه می‌شوند. در هنگام باز شدن الیاف از بسته نیز می‌توان با مکانیزم ساده‌ای اتصال الکتریکی الیاف فلزی را تامین نمود و به نوعی همان قفس سنجابی را تشکیل داد (شکل ۲).

با استفاده از میدان مغناطیسی منطقی به نظر می‌رسد به همین منظور انواع ماشین‌های الکتریکی ونحوه ایجاد چرخش در آنها مورد بررسی قرار گرفت.

۳- مطالعات تجربی

بامطالعه روش‌های ایجاد گشتاور در انواع موتورهای AC و DC مشخص گردید که روش ایجاد گشتاور در موتورهای القائی قفس سنجابی شباهت زیادی به مکانیزم لازم برای ایجاد تاب در الیاف ممتد فلزی دارد. بنابراین در این بخش به مطالعه روش ایجاد گشتاور در این نوع ماشین الکتریکی پرداخته می‌شود.

۲-۱ ماشین‌های القائی قفس سنجابی

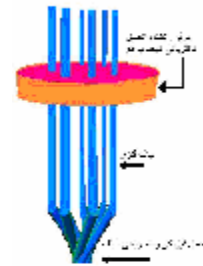
امروزه بیشتر موتورهای صنعتی یک کیلووات به بالا ماشین‌های القائی سه فاز هستند [۹]. یک موتور سه فاز القائی، یک ماشین جریان متناوب تک تحریکه است. سیم‌پیچ استاتور این موتور مستقیماً به یک منبع متناوب متصل می‌شود درحالی که سیم‌پیچ رتور آن انرژی را توسط القا دریافت می‌کند. فوران مغناطیسی پس از عبور از شکاف هوایی از میان مدارهای بسته رتور گذشته و در حین حرکت نسبی خود با رتور، ولتاژ فاراده را در هادی‌های اتصال کوتاه شده القا می‌نماید. ولتاژ القا شده، جریان رادر مدار رتور به گردش در می‌آورد. این امر که جریان رتور از القاشی می‌شود ونه رسانایی، مبنای نام‌گذاری این گروه از ماشین‌ها می‌باشد.

۲-۱-۱ اجزای اصلی ماشین

ماشین القائی سه فاز از دو قسمت اصلی یعنی استاتور و رتور تشکیل شده است [۱۰]. این دو قسمت توسط یک شکاف هوایی که اندازه آن بین ۰٫۵ تا ۵ میلی‌متر متغییر است، از هم جدا می‌گردند.

استاتور شامل یک هسته استوانه‌ای ورقه ورقه شیاردار است که در یک قالب چدنی یا فولادی جا می‌گیرد استاتور همچنین حاوی سیم بندی چندفاز است و برای تعداد معینی قطب سیم‌پیچی می‌شود.

ابتدای هر فاز (3, 2, 1) نیز به یک منبع ولتاژ سه فاز وصل شده است. در نمودار شکل (۳) جریان‌های به گردش درآمده در فازها به ترتیب ۱، ۲، ۳ نمایش داده شده است. به دلیل یکسان بودن هادی‌ها و مدار مغناطیسی در هر یک از سه گروه، جریان‌های به گردش درآمده متعادل خواهند بود.



شکل (۲): سامانه‌ی طراحی شده جهت تغذیه‌ی الیاف فیلامنتی فلزی

۲-۱-۲ تولید میدان مغناطیسی گردان

یکی از امتیازات سامانه‌ی سه فاز متقارن این است که جریان‌های آن، موج نیروی محرکه مغناطیسی گردان تولید می‌نماید.

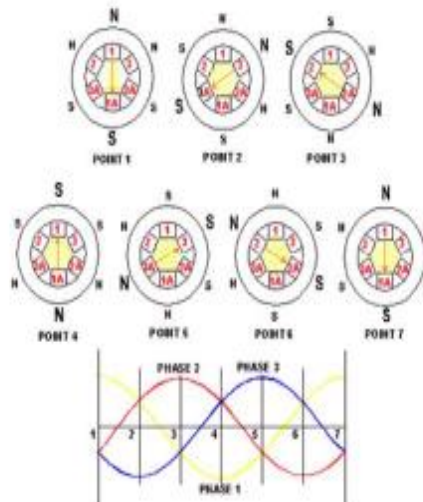
۲-۲ مکانیزم ایجاد درهم رفتگی در الیاف ممتد

فلزی

قوانین حاکم بر کار سیستم جابه‌جا کننده الیاف فلزی همان ولتاژ القا شده فاراده و نیروی الکترومغناطیسی لورنز وارد بر هادی حامل جریان است. اگر میدان گردان مغناطیسی با سرعت از یک دسته الیاف فلزی که دو انتهایشان با هم اتصال کوتاه شده عبور کند چگالی فوران الیاف را جارو می‌کند که در این صورت پدیده‌های زیراتفاق خواهد افتاد [۹]:

- طبق قانون فاراده وقتی الیاف فلزی توسط فوران مغناطیسی قطع شوند ولتاژ در آن‌ها القا می‌شود.
- ولتاژ القا شده جریان را در الیاف به گردش در می‌آورد که به علت اتصال کوتاه بودن دو انتهای لیف‌ها این جریان وارد سایر لیف‌ها نیز می‌شود. جهت جریان مطابق قانون لنز به گونه‌ای است که با به وجود آورنده خود که سرعت نسبی بین الیاف و فوران مغناطیس می‌باشد مخالفت کند [۱۲].
- طبق قانون لورنز الیاف حامل جریان که در درون یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند یک نیروی مکانیکی را تجربه می‌کنند که میزان این نیرو برابر است با [۱۲]:

$$F = BIL(\sin \theta)$$



شکل (۳): تولید میدان گردان توسط سیم پیچی سه فاز [۱۰]

شکل (۳) استاتور یک موتور القائی سه فاز را که به صورت دوقطبی سیم پیچی شده نشان می‌دهد. از روی این شکل که در آن کلاف‌ها به صورت متمرکز نشان داده شده‌اند، به راحتی می‌توان نیروی محرکه مغناطیسی برآیند حاصل از تمامی کلاف‌های فازها را مشخص نمود. هر گروه فاز از یک کلاف تک دوری که در آن انتهای فازها (1a, 2a, 3a) به نقطه مشترک (به شکل ستاره) متصل شده‌اند، تشکیل می‌گردد [۹].

برای بررسی میزان تاثیر میدان مغناطیس گردان بر الیاف فلزی از شبیه سازی بر اساس روش المان محدود استفاده شد.

در شبیه سازی طرح اولیه برای استاتور، یک استاتور سه فاز چهار قطبی با چگالی جریان ۳ آمپر بر سانتیمتر مربع مدل سازی شد. جنس الیاف فلزی آهن وضخامت الیاف ۰/۱ میلی متر و تعداد الیاف در فضای داخلی استاتور ۹۰ لیف در نظر گرفته شد (شکل ۱۰).

در مدل اولیه فاصله الیاف تا سطح داخلی استاتور ۰/۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از مدل سازی نشانگر عبور بسیار کم شار (8.73956E-4 N.cm) از الیاف فلزی بود که منجر به تولید گشتاور مورد نیاز برای به حرکت در آمدن الیاف نمی شد.

در مرحله بعدی فاصله الیاف تا سطح داخلی استاتور به ۰/۱ سانتی متر کاهش داده شد. در نتیجه میزان شار عبوری به نحو موثری افزایش یافت (0.10059 N.cm) اما همچنان گشتاور بیشتری مورد احتیاج بود.

علت کم بودن شار عبوری از الیاف خالی بودن فضای داخل استاتور و زیاد بودن مقاومت هوا در برابر عبور شار مغناطیسی می باشد در حالی که شار از درون اجسام هادی مغناطیسی به راحتی عبور می کند. بنابراین شار مغناطیسی گردش درون استاتور را به عبور از هوا و وارد شدن به الیاف ترجیح داده و تنها بخش کمی از شار تولیدی از الیاف عبور می کنند.

۳-۲ طرح تکمیلی

در گام بعدی نسبت به پر کردن فضای خالی داخل استاتور با یک هادی مناسب اقدام شد (شکل ۵). با توجه به این نکته که اندازه و نحوه قرار گیری هادی در فضای استاتور نباید به نحوی باشد که در مکانیزم تاب خوردن الیاف خللی وارد نماید واز در گیر شدن و درهم رفتن الیاف جلوگیری نماید.

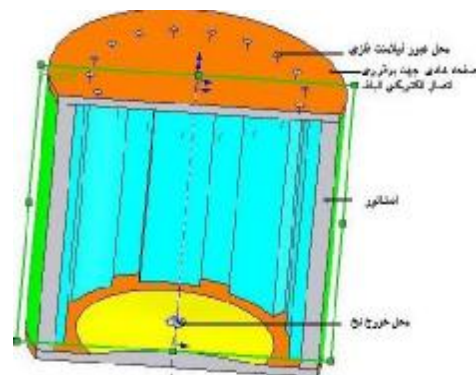
که در آن I میزان جریان القائی در لیف فلزی، B چگالی شار تولیدی توسط استاتور، L طول لیف و θ زاویه بین چگالی شار و جریان القائی می باشد.

حال اگر الیاف کمی اضافی تغذیه شوند می توانند آزادانه شروع به گردش نموده و در نتیجه منجر به ایجاد تاب و درهم رفتگی آن ها گردد.

۳-مدل سازی

۳-۱- طرح اولیه

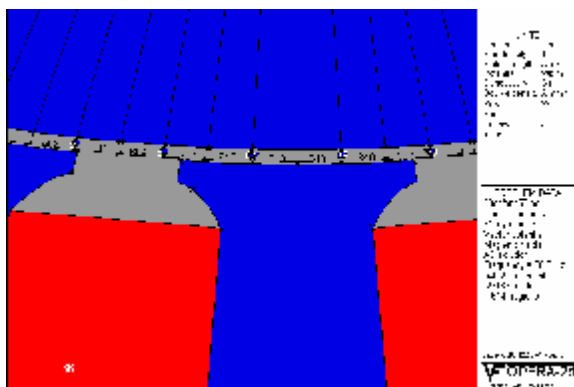
محفظه ی تکسپرایزینگ اولیه بوسیله نرم افزار solid works [۱۳] طراحی شده است در شکل (۴) نمایش داده شده است.



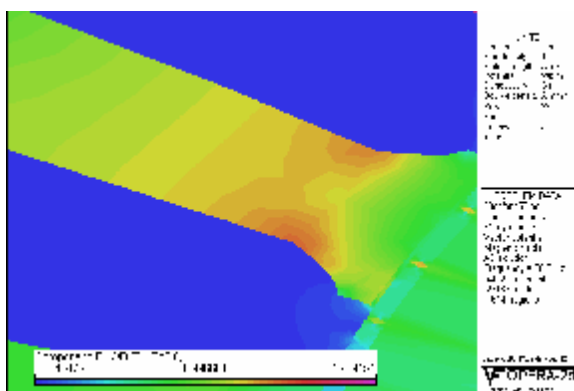
شکل (۴) طرح اولیه محفظه ی تکسپرایزینگ

الیاف فلزی به وسیله سامانه ی تغذیه مثبت از طریق روزنه های موجود بر سطح فلزی وارد فضای درون استاتور می شوند. سامانه ی تغذیه الیاف باید به نوعی باشد که الیاف تحت هیچ نوع کششی در ناحیه داخل استاتور نباشند. سطح فلزی مشبک غیر از برقراری اتصال الکتریکی بین الیاف با نزدیک نگهداشتن فاصله الیاف از قطب های استاتور باعث عبور حداکثر شار مغناطیسی از الیاف می شود. میدان مغناطیسی گردان باعث درهم رفتگی الیاف شده و نخ حاصل از روزنه انتهایی جعبه ریسندگی خارج می گردد.

۳-۲ مدل سازی طرح اولیه



شکل (۶) محل قرار گیری الیاف فلزی بین هسته فلزی مخروطی شکل واستاتور



شکل (۷) توزیع چگالی شار عبوری از الیاف با در نظر گرفتن هسته فلزی مخروطی شکل

۵- مدل سازی مکانیکی

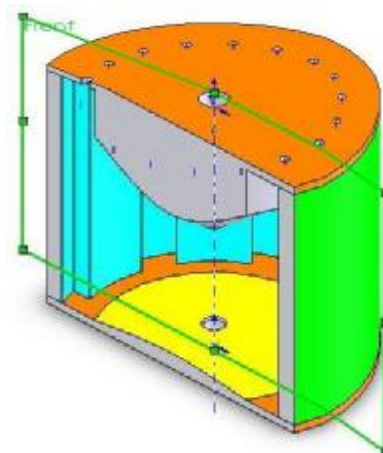
برای بررسی تاثیر نیروی وارده از طرف میدان مغناطیسی به لیف فیلامنتی فلزی از شبیه سازی در محیط استاتیکی کمک گرفته شد. خصوصیات مکانیکی در نظر گرفته شده برای لیف فلزی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ خصوصیات لیف فلزی استفاده شده در مدل

سازی [۱۴]

خصوصیات لیف مدل شده	
جنس	آهن
سطح مقطع	دایره
چگالی	7.86 gr/cm ³
مدول الاستیسیته	200 Gpa

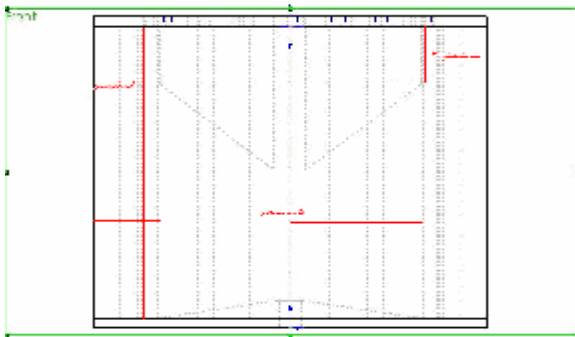
در نهایت جسم مخروطی شکلی برای پر کردن فضای درون استاتور در نظر گرفته شد که امکان تشکیل تاب و درگیری الیاف را در انتهای راس خود به وجود آورد.



شکل (۵) طرح تکمیلی محفظه ی تکسچرایزینگ

در مدل سازی جسم مخروطی شکل از جنس آهن با ضریب هدایت مغناطیسی (پرما بیلیته) ۲۵۰۰ در نظر گرفته شد (شکل ۶). نتایج حاصل از مدل سازی نشانگر این بود که در بخش استوانه ای شکل که جسم مخروطی کمترین فاصله را از استاتور دارد، گشتاور محاسبه شده توسط نرم افزار برابر 1.653 N.cm بود. گشتاور وارد بر الیاف واقع در این ناحیه به اندازه کافی جهت گردش الیاف می باشد (با توجه به مدل سازی مکانیکی انجام شده). در شکل (۷) میزان چگالی شار عبوری از الیاف نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است در محل قرار گیری الیاف چگالی شار افزایش مشخصی (1.1 T) را نشان می دهد. در مرکز جسم مخروطی شکل حفره ای در نظر گرفته شد که از آن می توان برای خنک کردن استاتور استفاده نمود.

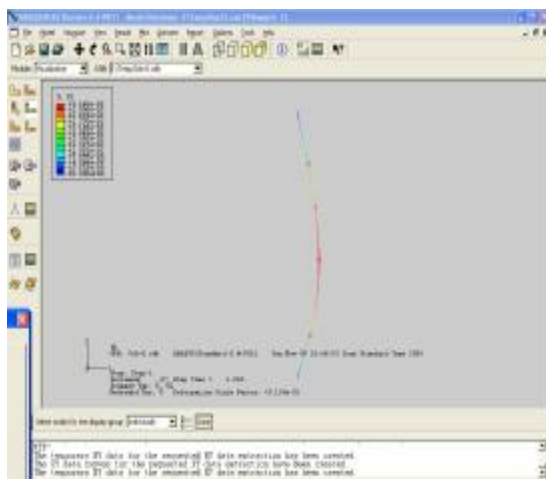
145 Mpa	مقاومت تسلیم برشی
250 Mpa	مقاومت تسلیم کششی
50mm	طول



شکل (۹) ابعاد در نظر گرفته شده در مدل سازی مکانیکی

مدل سازی با استفاده از نرم افزار Abaqus انجام شد. نیروی‌های در نظر گرفته شده وارد بر لیف فلزی شامل نیروی میدان مغناطیسی گردان و نیروی وزن لیف بود. میزان نیروی مغناطیسی وارده بر هر لیف بر اساس نتایج بدست آمده از طرح تکمیلی برابر $1.653/90 \text{ N.cm}$ گردید.

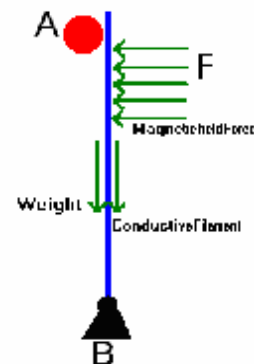
نتایج حاصل از شبیه سازی بیانگر جابه‌جایی لیف به اندازه ۳۲ میلی‌متر بود. در شکل (۱۰) نقاط در نظر گرفته شده نشان داده شده‌است و در شکل (۱۱) میزان جابه‌جایی هر نقطه مشخص شده‌است. در حالی که قطر استاتور ۵ سانتی‌متر باشد جابه‌جایی الیاف در حدود ۳ سانتی‌متر است که برای ایجاد درگیری بین الیاف بسیار مناسب به نظر می‌رسد.



شکل (۱۰) نقاط در نظر گرفته شده بر روی لیف فلزی

مدل مکانیکی نیروی وارد بر فیلامنت فلزی در شکل (۸) نمایش داده شده‌است.

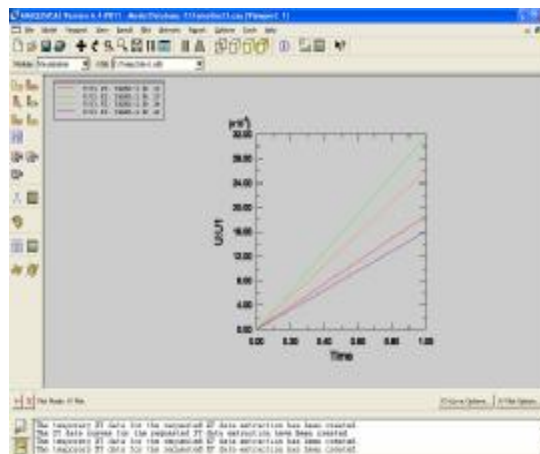
Mechanical model of conductive filament behavior in rotational magnet field



شکل (۸) مدل مکانیکی ارائه شده برای لیف فیلامنتی در ناحیه تکسچره شدن (A) تکیه‌گاه غلتشی و (B) تکیه‌گاه ساده

در این مدل ساده روزنه عبور الیاف به صورت تکیه‌گاه غلتشی (A) در نظر گرفته شد. در این نوع تکیه‌گاه آزادی حرکت در جهت افقی مهیا شده اما امکان حرکت در جهت عمودی و چرخشی وجود دارد. برای مدل سازی در نقطه درگیری الیاف و تبدیل شدن به نخ تکسچره از تکیه‌گاه ساده (B) استفاده شده که با محدود کردن حرکت در جهت افقی و عمودی فقط امکان جابه‌جایی زاویه‌ای را فراهم می‌کند. نیرو به صورت یکنواخت بر سه سانتی‌متر اول لیف وارد شده و طول کل لیف تا نقطه تشکیل نخ ده سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از شبیه سازی با روش المان محدود حاکی از امکان پذیر بودن ایجاد درگیری در الیاف ممتد فلزی با استفاده از میدان گردان مغناطیسی می باشد. در طرح تکمیلی کانالی برای دمش هوا جهت خنک کردن فضای داخل استاتور در نظر گرفته شد که خود می تواند به عنوان عاملی در جهت کمک به درگیر شدن الیاف عمل نماید. همچنین در مراحل بعدی می توان از کانال مذکور جهت وارد کردن الیاف طبیعی مانند پنبه و قرارگرفتن در ساختمان نخ فلزی استفاده نمود. کارهای عملی جهت تهیه ی دستگاه آزمایشگاهی در حال انجام است تا صحت مدل سازی مورد بررسی قرار گیرد.



شکل (۱۱) میزان جابه جایی نقاط مشخص شده در

شکل (۱۰)

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

منابع:

- [1] K. Natarajan, A. Dhawan and A. M. Seyam, "Electrotexiles – Present and Future", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 736, 2003.
- [2] D. Cottet and J. Grzyb, "Electrical Characterization of Textile Transmission Lines", IEEE TRANSACTIONS ON ADVANCED PACKAGING, VOL. 26, NO. 2, MAY 2003.
- [3] F. Axisa, P. M. Schmitt, C. Gehin, G. Delhomme, E. McAdams and A. Dittmar, "Flexible Technologies and Smart Clothing for Citizen Medicine, Home Healthcare, and Disease Prevention", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 9, NO. 3, SEPTEMBER 2005.
- [4] D. Meoli and T. May-Plumlee, "INTERACTIVE ELECTRONIC TEXTILE DEVELOPMENT: A Review of Technologies", JTATM, Volume 2, Issue 2, Spring 2002.
- [5] D. Cadogan and L. Shook, "Manufacturing and Performance Assessments of Several Applications of Electrotexiles and Large-Area Flexible Circuits", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 736, 2003.
- [6] Slade, J. Teverovsky, B. Farrell, J. Bowman and M. Agpaoa-Kraus, "Textile Based Antennas", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 736, 2003.
- [7] E. Ethridge, "ElectroTextiles – Technology to Applications", Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 736, 2003.
- [8] ح. توانایی، "تکسچرایزینگ"، نشر ارکان، ۱۳۷۶.
- [9] م. میرسلیم، "ماشین های الکتریکی و ترانسفورمر"، انتشارات امیرکبیر، دیماه ۱۳۷۹.
- [10] Chiba, T. Fukao, O. Ichikawa, M. Oshima, M. Takemoto and G. Dorrell, "Magnetic Bearings and Bearingless Drives", Elsevier, 2005.
- [11] م. عابدی، "ماشین های الکتریکی"، انتشارات کارآفرینان بصیر، ۱۳۸۲.
- [12] میلفورد، "مبانی نظریه الکترومغناطیس"، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۱.
- [13] م. سلمانیان و م. باشتنی، "آموزش گام به گام solid work"، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر، ۱۳۸۲.
- [14] ب. پوستی، "راهنمای مسائل مقاومت مصالح"، نشر علوم، ۱۳۷۶.
- [15]