



مقایسه عملکرد مدل‌های روش سطح پاسخ و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای رینگ

حبیب امیری سوادوردباری^۱، مجید صفر جوهری^۱

چکیده

در این مطالعه، عملکرد مدل‌های روش سطح پاسخ (RSM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای تولید شده در ماشین رینگ، مورد مقایسه قرار گرفت. متغیرهای ناحیه کشش ماشین رینگ شامل سختی غلتک‌های فوقانی ناحیه عقب و جلو به همراه فشار غلتک فوقانی تولید به عنوان ورودی هر دو مدل در نظر گرفته شدند. جهت ارائه مدل ANN نیز از یک شبکه عصبی پیش‌خور چندلایه با الگوریتم پس انتشار خطا استفاده شد. بعد از انجام فرایند مدل‌سازی، هر دو مدل دقت مطلوبی جهت پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای رینگ از خود نشان دادند ولی مقایسه این دو مدل، عملکرد بهتر و دقت بیشتر مدل ANN را به عنوان یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی نشان داد که با قدرت بیشتری نسبت به مدل RSM می‌تواند روابط غیرخطی و پیچیده بین متغیرهای مستقل و وابسته را توضیح دهد.

۱- مقدمه

با وجود ظهور فناوری‌های نوین ریسندگی در طول سالهای مختلف، ماشین ریسندگی رینگ به دلیل داشتن مزایایی مانند توانایی ریسیدن انواع الیاف به نخ با محدوده وسیعی از نمرهها و تولید نخ‌ی با خواص بهینه به ویژه از لحاظ ساختار و استحکام همچنان پرکاربردترین فناوری تولید نخ در فرایند ریسندگی است؛ ازاین‌رو مدل‌سازی و پیش‌بینی خواص کیفی نخ‌های تولیدی از این فناوری بر اساس متغیرهای مختلف موجود در آن مهم و ضروری است.

داس و همکارانش در سال ۲۰۰۶ خواص کیفی مختلف نخ‌های رینگ را با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) مدل‌سازی و پیش‌بینی کردند. حسنوزمان و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۴ مدل‌هایی جهت پیش‌بینی نرخ نخ پارگی و خواص کیفی مختلف با استفاده از روش RSM ارائه دادند.

اورین و گورکان در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای در زمینه مقایسه عملکرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) برای پیش‌بینی خواص کششی نخ‌های رینگ انجام دادند. آنها از ویژگی‌های الیاف، نمره نخ، نمره نیمچه نخ، نایک‌نواختی نیمچه نخ و فاکتور تاب به عنوان عامل‌های ورودی مدل‌ها استفاده کردند. همچنین اورین و گورکان در سال ۲۰۰۸، در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد مدل‌های ANN و MLR را برای پیش‌بینی نایک‌نواختی و پرزینگی نخ‌های رینگ مورد مقایسه قرار دادند. مالیک و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۶ مدل‌هایی از ANN و MLR را جهت پیش‌بینی نایک‌نواختی و خواص کششی نخ‌های مخلوط پلی‌استر-پنبه و مقایسه دو مدل با یکدیگر ارائه دادند. آنها در مطالعه خود از نسبت مخلوط و متغیرهای ماشین رینگ شامل فاکتور تاب، سختی غلتک فوقانی عقب و

کشش اولیه به عنوان عامل‌های ورودی در مدل‌ها استفاده کردند. در این مطالعه، عملکرد مدل‌های ANN و RSM برای پیش‌بینی استحکام نخ‌های پنبه‌ای رینگ مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین از متغیرهای ناحیه کشش ماشین رینگ شامل فشار غلتک فوقانی تولید و سختی غلتک‌های فوقانی ناحیه عقب و جلو به عنوان عامل‌های ورودی مدل‌ها استفاده شد.

۲- تجربیات و نحوه فرایند مدل‌سازی

در این مطالعه، از الیاف پنبه با طول مؤثر ۴۳۱ میلی‌متر و ظرافت ۴/۲ میکرونر جهت تولید نمونه‌های نخ استفاده شد. الیاف پس از عبور از مراحل حلاجی، کاردینگ، کشش مرحله اول، بالشچه، شانه‌زنی و کشش مرحله دوم به ماشین نیم تاب تغذیه‌شدند و نیمچه نخ‌های پنبه‌ای با نمره ۰/۸ انگلیسی



هریک از مجموعه داده‌های آموزشی و آزمون به‌طور مشابه برای داده‌های مدل و ارزیابی در RSM استفاده شد که این معیار خود تابعی از ضریب تعیین (R) و مجموع مربعات خطا (MSE) می‌باشد که از رابطه ۱ قابل محاسبه است.

مطابق این رابطه حداکثر دقت یک مدل زمانی حاصل می‌شود که مقدار R برابر ۱ و مقدار MSE برابر صفر باشد. از این رو حداکثر مقدار GF که نشان‌دهنده بالاترین میزان دقت است برابر ۲ خواهد بود. معمولاً مقادیر GF بیشتر از ۱/۹ نشان‌دهنده دقت کافی در پیش‌بینی است.

$$GF = R^2 + \frac{1}{e^{MSE}}$$

همچنین در این مطالعه از معیار بهترین تابع کل (TGF) برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی کل مدل موردنظر استفاده شد که از رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$TGF = X_{train}GF + X_{test}GF$$

در رابطه ۲، X_{TRAIN} و X_{TEST} به ترتیب نسبت داده‌های آموزشی و آزمون (داده‌های مدل و ارزیابی در RSM) به کل داده‌ها می‌باشد. حداکثر مقدار TGF نیز برابر ۲ است که مقدار بیشتر آن دقت بالاتر کل مدل را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

جهت انجام فرایند مدل‌سازی، ابتدا اقدام به ارائه مدل RSM شد. معادله سطح پاسخ مربوط به پیش‌بینی استحکام نخ توسط این مدل بر اساس مقادیر نرمال شده داده‌ها در رابطه ۳ ارائه شده است.

$$\text{استحکام} = 0/692 + 1/113X_1 + 0/393X_2 - 0/105X_3 + 0/089X_1X_2 - 0/133X_1X_3 - 0/367X_2X_3 - 1/135X_1^2 - 0/739X_2^2 + 0/138X_3^2$$

در رابطه ۳، X_1 فشار غلتک فوقانی جلو، X_2 سختی غلتک فوقانی ناحیه جلو و X_3 سختی غلتک فوقانی ناحیه عقب می‌باشد.

این معادله برخلاف معادلات حاصل از رگرسیون خطی دارای جمله‌های مرتبه دوم نیز است که

جدول ۱. مقادیر سطوح مختلف عامل‌های ورودی

عامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
فشار غلتک تولید (دکانیوتون)	۱۵	۱۷/۵	۲۰
سختی غلتک جلو (درجه شور)	۶۳	۷۶	۸۳
سختی غلتک عقب (درجه شور)	۶۳	۷۶	۸۳

سپس با مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تجربی، اعتبار مدل‌های RSM بر اساس داده‌های مدل و ارزیابی، بررسی شد. داده‌های مدل و ارزیابی، در مدل‌های ANN ارائه شده نیز با عناوین داده‌های آموزشی و آزمون استفاده شدند. فرایند مدل‌سازی با مدل ANN در نرم‌افزار متلب انجام شد. از ۱۵ داده مورد استفاده، ۱۳ داده به عنوان داده‌های آموزشی و ۲ داده به عنوان داده‌های آزمون به صورت تصادفی انتخاب شدند و به این ترتیب جهت اطمینان از عملکرد دقیق مدل، از داده‌های متفاوتی جهت آموزش و آزمون استفاده شد.

لازم به ذکر است که قاعده خاصی جهت تعیین تعداد داده‌های موردنیاز برای ارائه یک مدل ANN وجود ندارد و این به شدت روابط غیرخطی بین متغیرها بستگی دارد. ولی در این مطالعه مشخص شد که ۱۵ داده طرح CCD جهت آموزش شبکه موردنظر با دقت مطلوب کافی می‌باشد. به این ترتیب از یک شبکه عصبی پیش‌خور چندلایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا برای مدل‌سازی استحکام استفاده شد. با انجام آزمون و خطا در نرم‌افزار متلب، بهترین ساختار شبکه جهت دستیابی به دقت بالا در پیش‌بینی استحکام نخ تعیین شد. از آنجایی که ورودی‌ها با دامنه وسیع می‌توانند تأثیر بیشتری نسبت به ورودی‌ها با دامنه محدودتر در خروجی مدل داشته باشند، از این‌رو به منظور جلوگیری از هرگونه اثر کمی بر نتایج هر دو مدل، تمامی داده‌های مورد استفاده در فرایند مدل‌سازی، بین ۰/۱ تا ۰/۹ نرمال شدند.

جهت بررسی دقت عملکرد مدل‌ها، از معیاری با عنوان بهترین تابع (GF) برای

و فاکتور تاب ۱/۳ تولید شد. جهت تولید نخ پنبه‌ای با نمره ۳۰ انگلیسی و فاکتور تاب ۳/۷، نیمچه نخ‌های تولیدی به یک ماشین ریسندگی رینگ آزمایشگاهی SKF تغذیه شدند.

جهت کاهش احتمال خطای آزمایش در حین فرایند تولید، تمامی نمونه‌های نخ روی یک چشمه ریسندگی تولید شدند.

در این کار تحقیقاتی متغیرهای ناحیه کشش ماشین رینگ که سطوح مختلف مورد استفاده از این عامل‌ها، در جدول ۱ ارائه شده به عنوان ورودی در مدل‌های ANN و RSM لحاظ شدند.

در طول فرایند تولید، تمامی متغیرهای رینگ به جز سه متغیر مورد مطالعه ثابت در نظر گرفته شدند. از طرح آزمایش مرکب مرکزی ۵ (CCD) نیز برای تعیین تعداد آزمایش‌های مورد نیاز جهت فرایند مدل‌سازی استفاده شد. با توجه به وجود سه عامل سه سطحی و بر اساس طرح CCD ، ۱۵ نمونه تولید شد. جهت آزمون ویژگی استحکام نخ‌های پنبه‌ای از دستگاه اینسترون ۶ مدل ۵۵۶۶ استفاده شد. طول نمونه مورد آزمایش ۲۵ میلی‌متر و سرعت آزمایش ۳۰ میلی‌متر در دقیقه در نظر گرفته شد. برای آزمون هر نمونه نخ ۱۰ تکرار انجام شد و میانگین داده‌های حاصل از آزمایش‌ها به عنوان استحکام هر نمونه برحسب (CN/TEX) ارائه شد.

فرایند مدل‌سازی استحکام نخ با مدل RSM با استفاده از ابزار GRG در نرم‌افزار اکسل انجام شد. این ابزار، جهت دستیابی به راه‌حل‌های بهینه در حل مسائل خطی و غیرخطی کاربرد دارد. ضرایب معادلات سطح پاسخ ارائه شده توسط این ابزار تعیین و



مدل‌های RSM و ANN ارائه شده است. بر اساس مقادیر معیارهای مختلف و مقدار TGF ارائه شده برای هر یک از مدل‌های RSM و ANN، هر دو مدل دقت مناسبی را در پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای رینگ از خود نشان داده‌اند ولی مقایسه این دو مدل، قدرت بیشتر مدل ANN را به‌عنوان یک مدل مبتنی بر هوش مصنوعی نسبت به RSM نشان می‌دهد.

این مورد به دلیل وجود توابع فعال‌سازی غیرخطی در نورون‌های لایه مخفی شبکه است که منشأ اصلی قدرت مدل ANN می‌باشد که موجب می‌شود این مدل با دقت بسیار بالایی روابط غیرخطی و پیچیده بین متغیرهای مستقل و وابسته را توضیح دهد.

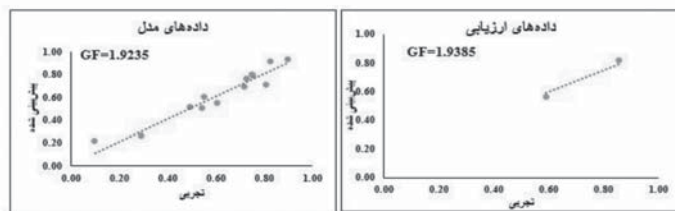
۴- نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقاتی، عملکرد مدل‌های ANN و RSM در پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای تولید شده در ماشین رینگ شد. متغیرهای ناحیه کشش ماشین رینگ شامل سختی غلتک‌های فوقانی ناحیه جلو و عقب به همراه فشار غلتک فوقانی تولید هر کدام در سه سطح به عنوان ورودی‌های هر دو مدل انتخاب شدند.

با بررسی عملکرد مدل‌های ANN و RSM بر اساس مقادیر TGF ارائه شده، مشخص شد که هر دو مدل دقت مطلوبی در پیش‌بینی استحکام نخ پنبه‌ای رینگ دارند. ولی مقایسه این دو مدل، دقت بیشتر ANN را نشان داد. به طوری که این مدل با خطای بسیار پایینی استحکام نخ را پیش‌بینی کرد از این رو می‌توان گفت که مدل ANN در مقایسه با RSM قدرت بیشتری در توضیح روابط غیرخطی و پیچیده بین متغیرهای مستقل و وابسته دارد که این مورد به دلیل وجود توابع فعال‌سازی غیرخطی در نورون‌های لایه مخفی ANN است.

پی‌نوشت

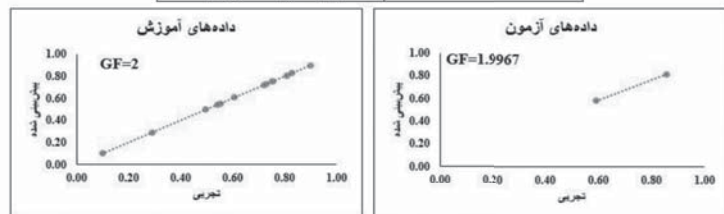
۱- دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر



شکل ۱. عملکرد مدل RSM در طول پیش‌بینی استحکام بر اساس داده‌های مدل و ارزیابی

جدول ۲. تنظیمات اعمال شده در شبکه آموزش‌دیده برای پیش‌بینی استحکام

مقدار- نوع	عوامل تنظیم شده
تأخیرات سیگموئید	تابع فعال‌سازی در لایه مخفی
خطی	تابع فعال‌سازی در لایه خروجی
۰/۰۱	نرخ یادگیری
لونیگ-مارکوارت ^۲	تابع آموزش
۱۰۰۰	بیشینه چرخه آموزش ^۳



شکل ۲. عملکرد مدل ANN در طول پیش‌بینی استحکام نخ بر اساس داده‌های مدل و ارزیابی

جدول ۳. مقایسه عملکرد مدل‌های RSM و ANN در پیش‌بینی استحکام نخ

نوع مدل	RSM		ANN	
نوع داده	داده‌های مدل	داده‌های ارزیابی	داده‌های آموزشی	داده‌های آزمون
R ²	۰/۹۲۷۰	۰/۹۴۰۲	۱	۰/۹۹۷۵
MSE	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۱۷	۰	۸/۳۵×۱۰ ^{-۴}
GF	۱/۹۲۳۵	۱/۹۳۸۵	۲	۱/۹۹۶۷
TGF	۱/۹۲۵۵		۱/۹۹۹۶	

بین هر دو لایه نیز از یک بایاس که دارای مقدار ثابتی است استفاده شد. نقش بایاس در شبکه، مشابه مقدار ثابت (عرض از مبدأ) در یک تابع خطی است که استفاده از آن موجب پیش‌بینی دقیق‌تری از پاسخ می‌شود. در جدول ۲ تنظیمات اعمال شده در شبکه آموزش‌دیده، ارائه شده است. در شکل ۲ نیز عملکرد مدل ANN در پیش‌بینی استحکام نخ بر اساس داده‌های آموزشی و آزمون نشان داده شده است. مطابق شکل ۲ و مقادیر GF، مدل ANN، دقت بسیار بالایی از خود ارائه داده و داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده به خوبی با یکدیگر مطابقت دارند. در جدول ۳، مقایسه عملکرد

به توضیح مطلوب‌تر روابط غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته کمک می‌کند. عملکرد داده‌های مدل و ارزیابی در شکل ۱ برای مدل RSM نشان داده شده است. مطابق شکل ۱ و مقادیر GF ارائه شده، مدل RSM دقت تقریباً مطلوبی جهت پیش‌بینی استحکام نخ از خود ارائه داده است. در ادامه یک مدل ANN نیز جهت پیش‌بینی استحکام نخ‌های رینگ ارائه شد. شبکه مربوط به این مدل دارای یک لایه مخفی و ۷ نورون در این لایه است. با توجه به وجود سه متغیر ورودی و یک پاسخ، به ترتیب ۳ و ۱ نورون در لایه‌های ورودی و خروجی این شبکه در نظر گرفته شد.