مجله علوم و فناوری نساجی
دوره ۷ ، شماره ۳، شماره پیاپی ۲۳
صفحه ۸۰-۷۱، ۱۳۹۷
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

ارائه ابزار محاسباتی نرم مبتنی بر مدل‌های ترکیبی به‌منظور بهبود پیش‌بینی کیفیت منسوجات تولیدی در صنعت پوشاک

Proposing a soft hybrid computing model to improve the prediction of the quality of seams in garments

مهدی خاشعی*[۱]، نساء احمدیار لسبومحله[۲]

۱-اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، کدپستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱
۲-اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشجوی کارشناسی ارشد

چکیده

فراهم آوردن داده‌های مورد نیاز به منظور ارائه پیش‌بینی‌های دقیق با شبکه عصبی مصنوعی در صنعت نساجی، اصولاً بسیار هزینه‌بر و زمان‌بر است. از این رو، استفاده از روش‌هایی که قادر به ارائه پیش‌بینی با تعداد داده‌های قابل حصول کم هستند، در این‌گونه از صنایع مناسب‌تر و کارآمدتر خواهد بود. در این مقاله، از ترکیب روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی به ارائه یک مدل هوشمند نرم به منظور پیش‌بینی کیفیت درز پوشاک تولیدی پرداخته شده است. ایده اصلی روش پیشنهادی استفاده از مزایای محاسبات نرم مجموعه‌های فازی به‌منظور حصول نسخه‌ای بهبودیافته از شبکه‌های عصبی مصنوعی در شرایط داده‌های قابل حصول کم است. نتایج بدست آمده از بکارگیری روش پیشنهادی در پیش‌بینی کیفیت درز پوشاک، بیانگر عملکرد بالاتر این روش درتقابل با مدل‌های تشکیل‌دهنده خود و همچنین سایر روش‌های ترکیبی موجود است.

کلمات کلیدی
شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه (MLPNN)،
رگرسیون فازی،
رگرسیون کلاسیک چندمتغیره،
مدل‌های ترکیبی،
صنعت نساجی،
پیش‌بینی کیفیت درز پوشاک

مقدمه

پیش‌بینی کیفیت منسوجات یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در صنعت نساجی به ویژه صنعت پوشاک است، چرا که آگاهی از آینده برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی به منظور حفظ توان رقابتی و جلب رضایت مشتریان با توجه به تنوع و گستردگی صنعت پوشاک و رقابتی‌ترشدن بازارهای این صنعت، به ضرورتی انکارناپذیر بدل گردیده است. بر این اساس، پیش‌بینی کیفیت محصولات تولیدی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر حفظ و افزایش توان رقابتی، می‌تواند برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان صنعت پوشاک بسیار حائز اهمیت باشد.

کیفیت و کارایی منسوجاتی که تحت عملیات دوزندگی قرار می‌گیرند، تحت تاثیر فاکتورهای گوناگون از جمله نوع نخ دوخت، استحکام، سرش، چروکیدگی و ظاهر درز و جدایی نخ هستند [۱]. مطابق با استانداردهای بین‌المللی[۲]، خطی که در امتداد آن، دو و یا چند لایه پارچه به هم متصل شده‌اند، درز نامیده شده که از طریق درهم پیچیدگی نخ‌ها طی یک فرایند تکراری که به آن دوخت و یا کوک می‌گویند[۳]، ایجاد می‌شود. با توجه به احتمال وقوع برآمدگی و فرورفتگی در محل‌های اتصال، ممکن است از کیفیت منسوج کاسته و ظاهری نامطلوب در سطح منسوج ایجاد گردد. از آنجایی که وقوع برآمدگی و فرورفتگی در محل‌های اتصال، از کیفیت منسوج کاسته و ظاهری نامطلوب در سطح منسوج ایجاد می‌کند، کیفیت و ظاهر درز از فاکتورهای مهم و موثر در تعیین کیفیت منسوجات تولیدی بوده و به همین دلیل

*مسئول مکاتبات،پیام نگار: mashroteh@yazd.ac.ir

مهندســـی دوخت اهمیت ویژه‌ای پیدا نموده است. هرچند که موضوع کیفیت می‌تواند تحت تاثیر موضوعات روانشناختی بوده و با توجه به سلیقه فردی هر یک از مصرف‌کنندگان، از نقطه نظرهای مختلف بررسی شود، اما با این حال می‌توان معیارهای مشخصی را برای برآورده کردن این ویژگی در منسوجات نهایی تعیین نمود.

درز یک منسوج و به‌ویژه پوشاک، با توجه به کاربرد نهایی آن منسوج باید از استحکام، انعطاف‌پذیری، خمش، کشش و ... مناسب برخوردار بوده و انتظار مصرف‌کننده از کیفیت مطلوب را برآورد سازد. در فرآیند دوزندگی و بـــرای تضمین کیفیت مطلوب، به یک اپراتور با تجربه و یک ماشـــین دوزندگی مناسب نیاز است و بنابراین یکی از فاکتورهای موثر برای یک دوخت مطلوب، مهارت‌های اپراتور و مطابقت پارامترهای دوخت ماشین دوزندگی با منسوج بوده و اپراتور باید بتواند با تغییر نوع منسوج، تصمیمات مناســـب را در رابطه با تغییر پارامترهای ماشین دوزندگی اتخاذ کرده و پارامتر بهینه را در جهت تضمین کیفیت درز تعیین کند.

با توجه به کاربرد نهایی منســـوج، درز یک منسوج و به‌ویژه پوشاک باید از استحکام، انعطاف‌پذیری، خمش، کشـــش و ... مناسب برخوردار بوده و انتظـــار مصرف‌کننده از کیفیت مطلوب را برآورد ســـازد. در هر فرآیند دوزندگـــی برای تضمین کیفیت مطلوب، به یـــک اپراتور با تجربه و یک ماشین دوزندگی مناسب نیاز اســـت. در نتیجه یکی از فاکتورهای موثر برای داشـــتن دوختی مطلوب، مهارت‌های اپراتور و مطابقت پارامترهای دوخت ماشین دوزندگی با منسوج می‌باشد. با تغییر نوع منسوج، اپراتور باید توانایی اتخاذ تصمیمات مناسب در رابطه با تغییر پارامترهای ماشین دوزندگی و نیز تعیین پارامترهای بهینه در جهت تضمین کیفیت درز را داشته باشد [۴].

بـــا توجه به کوچک‌تر شـــدن صنایع تولیدی از یک طـــرف و تنوع زیاد محصـــولات از طرفی دیگر، تعیین پارامترهای بهینه دوزندگی برای نوع خاصی از منســـوجات، از طریق انجام آزمون و خطا و انجام آزمایش‌های مکرر، ناکارآمد بوده چرا که به طور کلی، رفتار درز لباس در طول فرآیند تولید، به‌طور ذهنی توســـط ناظران ارزیابی می‌شود. با توجه به غیرقابل اعتماد بودن این قضاوت ذهنی از یک طرف و افزایش تنوع پارچه و نوع پوشاک، نیاز به پاسخ سریع و اتوماسیون، بازنشستگی و عدم جایگزینی پرســـنل با تجربه از طرفی دیگر، نیاز به پیش‌بینی بیش از پیش در این صنعت احساس می‌شود [۴]. به منظور پیش‌بینی کارایی و عملکرد درز پارچه بر اساس پارامترهای موثر، تاکنون مطالعات و مدلسازی‌های بسیاری صورت گرفته که در بیشـــتر این مطالعات از مدل‌های ریاضی به عنوان یک ابزار پیش‌بینی بهره گرفته شده‌است که از جمله این موارد می‌توان به مطالعات ژرمانووا و همکاران [۵]، فان و همکاران [۶]، گرســـاک [۷] و استیلوس [۸] که به پیش‌بینی چروک درز و کارایی درز پرداخته‌اند اشاره کرد.

در پاره‌ای از این مطالعات، محققان [۹-۱۱] با استفاده از مدل‌های رگرسیون آماری که در مطالعات پیشین [۱۳-۱۲] به محدودیت‌های آن اشاره شده، رفتار درز را پیش‌بینی کرده‌اند. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به نیاز به داده‌های زیاد برای حصول نتایج دقیق و نیز عدم توانایی برای مدلسازی روابط غیر خطی بین داده‌ها اشـــاره کرد. با توجه به مزیت شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی روابط غیرخطی، مبرا بودن از تشخیص شکل خاص مدل و نیز شکل‌گیری مدل صرفا براساس روابط موجود در داده‌ها، استفاده از این‌گونه شبکه‌ها در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای رواج یافته‌است. از مزیت‌های این ویژگی می‌توان در مدلسازی داده‌های تجربی که حتی فاقد اطلاعات تجربی می‌باشند نیز بهره برد.

هوئی و همکاران [۱۴]، عملکرد درز را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی که دارای ۲۱ گـــره برای لایه ورودی، ۲۱ گره برای لایه میانی و ۱۶ گره برای لایه خروجی بوده و در واقع نیاز به بیش از ۷۰۰ پارامتر دارد، بررسی کرده‌اند. در استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور مدلسازی، طراحی ســـاختار شبکه، مهم‌ترین بخش را تشـــکیل داده و چنانچه به آن توجه نشـــود، مدل کارایی خود را از دست می‌دهد. با توجه به ساختار تعریف شده توسط آن‌ها و نیز با توجه به مطالعاتی که پیش از این صورت گرفته، به‌منظور کارایی شـــبکه طراحی شده [۱۵]، تعداد داده‌های استفاده شده به منظور مدلســـازی، باید بیشتر از پارامترهای مسئله باشد. حال آن‌که استفاده از مجموعه‌ای با ۹۴ داده برای این شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده، نشان‌دهنده دقت پایین مدل پیشنهادی توسط آن‌ها است. از طرفی می‌بایست به محدودیت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی روابط خطی بین داده‌ها اشاره کرد. بنابراین در این پژوهش سعی شده تا با ترکیب مدل‌های مختلف و بهره‌گیری همزمان از مزایای هر کدام از آن‌ها، بر محدودیت‌های مدل‌های تکی مورد استفاده فائق آمده و لذا دقت مدل پیش‌بینی را افزایش داد [۱۶].

از زمـــان اولین مطالعـــات انجام شـــده [۱۸-۱۷] در این زمینه، تاکنون مدل‌های ترکیبی مختلفی با پذیرش این اصل که هیچ یک از روش‌های موجود نمی‌توانند به اجماع برای پیش‌بینی در هر شرایط و برای هر داده استفاده شوند، ارائه شده است. نتایج حاصل و دقت‌های بالای بدست آمده در استفاده از این‌گونه روش‌ها، گواهی بر این مدعاست که نقاط قوت یک مدل می‌تواند جبران‌کننده نقاط ضعف مدل دیگر باشد. در نتیجه برای رفع مشکل کمبود داده و نیز افزایش دقت پیش‌بینی در مطالعات هوئی و همکاران نیز می‌توان از مدل‌های منعطف‌تر همچون رگرسیون فازی که نیاز به داده‌های زیاد نداشته و در این شرایط نیز کارا باشد، بهره برد.

در صنعت نساجی نیز مطالعات بسیاری در زمینه ترکیب مدل‌های مختلف صورت گرفته به‌طوری‌که کومار و همکاران [۱۹] برای پیش‌بینی شمایل افتادگی پارچه بافت پنبه‌ای و هوآنگ و همکاران [۲۰] برای تطبیق رنگ به منظور چاپ پارچه‌ای دیجیتال از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرســـیون چندگانه استفاده کردند. ژانگ و همکاران [۲۱] نیز یک مدل هوشمند را برای شناسایی و طبقه‌بندی نقص‌های پارچه بافت با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و شبکه عصبی المان توسعه داده‌اند. با توجه به مزایای مدل‌های مبتنی بر روش‌های فازی و حصول نتایج مطلوب با استفاده از داده‌های کم، صنعت نســـاجی نیز از این مزایا بی‌بهره نمانده و مطالعات بسیاری در دهه گذشته بر اساس این مدل‌ها صورت گرفته که خلاصه‌ای از آن در جدول (۱) آورده شده است. علی‌رغم مزایای سیستم‌های عصبی-فازی و نتایج دقیقی که نسبت به مدل‌های رگرسیون فازی ارائه می‌دهند، باید بـــه معایبی همچون کاربردی بودن این مدل‌ها در شـــرایط خاص، همچون لزوم وجود تغییرات معنی‌دار بین داده‌ها، اشـــاره کرد. به همین

دلیل با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش سعی شده تا با بهره‌گیری از اصول و مفاهیم پایه‌ای شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی و مزایای هریک از این دو روش، به ارائه یک روش محاسباتی هوشمند و ابزار محاسباتی نرم به‌منظور بهبود پیش‌بینی کیفیت درز پرداخته شود. در ادامه و در بخش بعد به تشـــریح مدل شبکه‌های عصبی پروسپترون چندلایه پرداخته می‌شود. فرموله‌سازی مدل ترکیبی پیشنهادی و نتایج حاصل از بکارگیری مدل ترکیبی برای پیش‌بینی عملکرد درز پوشاک به ترتیب در بخش سوم و بخش چهارم مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت و در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری ارائه شده‌است.

روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با توجه به توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی بین داده‌ها، برای دامنه وسیعی از مسائل قابل استفاده بوده و با توجه به این انعطاف‌پذیری، یک چارچوب محاسباتی سازگار محسوب می‌شود[۳۵] که از میان انواع این شـــبکه‌ها، شبکه عصبی با یک لایه پنهان، به عنوان رایج‌ترین مدل برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مسائل گوناگون کاربرد دارد. در این نوع ساختار، ورودی‌ها مسئله به لایه ورودی اعمال شده و از لایه خروجی، پاسخ مسئله حاصل می‌شود.

ایـــن ورودی‌هـــا و خروجی‌هـــا در لایـــه ورودی و لایـــه خروجـــی، از طریـــق رابطـــه (۱) به هـــم مرتبط شـــده کـــه در این رابطـــه تعداد گره‌هـــای ورودی و خروجـــی بـــه ترتیب با p و q نشـــان داده‌شـــده و $w_{i,j}(i=0,1,2,...,p, j=1,2,...,q)$ و $w_j(j=1,2,...,q)$ نشان‌دهنده وزن‌های اتصالی می‌باشند. علاوه بر این، ε_t خطاهای تصادفی در دوره t را نشان می‌دهد که از ویژگی‌های آن می‌توان به داشتن توزیع یکنواخت با میانگین صفر و واریانس ثابت σ^2 اشاره کرد [۳۶].

$$y_t = w_0 + \sum_{j=1}^{q} w_j . g[w_{0j} + \sum_{i=1}^{p} w_{i,j} . y_{t-i}] + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

با انتخاب بهترین وزن‌های اتصال‌دهنده نرون‌های ورودی با نرون‌های هر لایه، در واقع شـــبکه عصبی آموزش می‌بیند که برای تحقق این موضوع از روش‌های آموزش باناظر برای بهینه‌سازی وزن‌ها و از تابع سیگموئیدی رابطه (۲) با هدف فعال‌ســـازی لایه پنهان اســـتفاده می‌شـــود. از جمله رایج‌ترین روش‌های آموزش باناظر نیز می‌توان به الگوریتم پس‌انتشـــار خطا اشاره کرد. در انتها و پس از آموزش شبکه عصبی مصنوعی، از یک مجموعه داده جداگانه که در آموزش شبکه عصبی استفاده نشده، جهت سنجش کارایی شبکه استفاده می‌کنند.

$$g(x) = \frac{1}{1+exp(-x)} \qquad (۲)$$

مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه فازی

شـــبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های پیش‌بینـــی دقیقی برای دامنه وسیعی از مسائل بوده که دارای محدودیت نیاز به تعداد زیادی داده برای حصول نتایج دقیق می‌باشند. این در حالی است که عدم قطعیت موجود در مســـائل و دنیای واقع و نیز توسعه سریع تکنولوژی‌های نوین، ملزوم پیش‌بینـــی موقعیت‌های آینده با داده‌های کم بوده چرا که فراهم آوردن داده‌ها در مقیاس وسیع، علاوه بر هزینه‌بر بودن و نیاز به زمان زیاد، در هر حوزه‌ای نیز امکان پذیر نیست. بنابراین در دنیای امروز نیاز به روش‌های پیش‌بینی که به داده‌های کمتری نیاز داشته و در این گونه از شرایط نیز کارآمد و کارا باشند، بیش از پیش احساس می‌شود. از طرفی هیچ یک از روش‌های موجود نمی‌توانند به اجماع برای پیش‌بینی در هر شرایط و برای هر نوع داده اســـتفاده شوند و هدف از این مقاله بهره‌گیری از مزیت‌های رگرسیون فازی برای پیش‌بینی عملکرد درز پوشاک و در نتیجه برطرف کردن محدودیت نیاز به داده‌های زیاد موجود در روش‌های شـــبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی است. در این بین، شبکه‌های عصبی پرسپترون چندلایه از جمله پرکاربردترین و مهم‌ترین روش‌های مدلسازی روابط غیرخطی موجود بین داده‌ها بوده که با توجه به انعطاف‌پذیری موجود در آن‌ها، این مدل‌ها توانایی مدل‌سازی دامنه وسیعی از مسائل را دارند. اما برخلاف دنیای واقع، پارامترهای پرسپترون چندلایه یعنی وزن‌ها و بایاس‌ها $(W_j\ (j=0,1,2,..q.$ و $\tilde{W}_{i,j}(i=0,1,2,...,p \quad j=1,2,...,q)$ ، مقادیری قطعی بوده و در نتیجه کارایی این‌گونه از شبکه‌ها در رویارویی با مســـائل واقعی و سیســـتم‌های غیرقطعی کاهش می‌یابد. بنابراین در پژوهـــش پیش رو به منظور بهبود هر یک از این مدل‌های تکی، اعداد فازی $(\tilde{W}_j\ (j=0,1,2,...,q$ و $\tilde{W}_{i,j}(i=0,1,2,...,p\ j=1,2,...,q)$ جایگزین مقادیر قطعی شده است و چنانچه که بخواهیم رابطه (۱) را در جهت تطبیق با دنیای واقع به صورت غیرخطی و فازی درنظر بگیریم ، یک مدل فازی‌سازی شده مطابق با رابطه (۳) خواهیم داشت [۳۷]؛

$$\tilde{y}_t = f(\tilde{W}_0 + \sum_{j=1}^{q} \tilde{W}_j . g(\tilde{W}_{0,j} + \sum_{i=1}^{p} \tilde{W}_{i,j} . y_{t-j})) \qquad (۳)$$

که همانند رابطه (۱)، y_t نشـــان‌دهنده مشاهدات و $j=1,2,...,q)$ $\tilde{W}_{i,j}(i=0,1,2,...,p$ و $(\tilde{W}_j\ (j=0,1,2,..q.$ همان پارامترهای فازی‌سازی شده مدل می‌باشند و با یک بازنویسی از رابطه (۳)، رابطه (۴) را به صورت زیر خواهیم داشت [۳۷]؛

$$\tilde{y}_t = f(\tilde{W}_0 + \sum_{j=1}^{q} \tilde{W}_j . \tilde{X}_{t,j}) = f(\sum_{j=0}^{q} \tilde{W}_j . \tilde{X}_{t,j}) \qquad (۴)$$

که در آن $X_{t,j}$ به صورت $g(\tilde{W}_{0,j} + \sum_{i=1}^{r} \tilde{W}_{i,j} . y_{t-i})$ تعریف می‌شـــود. با توجه به اعداد فـــازی گوناگون و توابع عضویت مربوط به هر کدام از این اعداد، در مدل مذکور، پارامترهای فازی به صورت اعداد فازی مثلثی با تابع عضویت ذکر شده در رابطه (۵)، در نظر گرفته شده‌اند [۳۷]؛

$$\mu_{\tilde{w}_{i,j}}(w_{i,j}) = \begin{cases} \frac{1}{b_{i,j}-a_{i,j}}(W_{i,j}-a_{i,j}) & if \quad a_{i,j} \le W_{i,j} \le b_{i,j}, \\ \frac{1}{b_{i,j}-c_{i,j}}(W_{i,j}-c_{i,j}) & if \quad b_{i,j} \le W_{i,j} \le c_{i,j}, \\ 0 \quad otherwise \end{cases} \qquad (۵)$$

حال با توجه به فرض، با در نظر گرفتن پارامترهای فازی به صورت اعداد فازی مثلثی یعنی $\tilde{W}_{i,j}=(a_{i,j},b_{i,j},c_{i,j})$ و همچنین اصل گسترش، تابع میزان عضویت با پارامترهای فازی $\tilde{X}_{t,j}=g(\tilde{W}_{0,j}+\sum_{i=1}^{p}\tilde{W}_{i,j}.y_{t-i})$، مطابق با رابطه (۶) بدست خواهد آمد [۳۸]:

$$\mu_{\tilde{X}_{t,j}}(x_{t,j})=\begin{cases}\dfrac{(x_{t,j}-g(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}.y_{t-i}))}{g(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}.y_{t-i})-g(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}.y_{t-i})} & if \quad g(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}.y_{t-i})\le x_{t,j}\le g(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}.y_{t-i}),\\ \dfrac{(x_{t,j}-g(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}.y_{t-i}))}{g(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}.y_{t-i})-g(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}.y_{t-i})} & if \quad g(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}.y_{t-i})\le x_{t,j}\le g(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}.y_{t-i}),\\ 0 \quad otherwise\end{cases} \tag{۶}$$

و چنانچه پارامترهای فازی مثلثی مطابق رابطه (۷) تعریف شـــود، $\tilde{X}_{t,j}$ نشان‌دهنده داده‌های فازی مثلثی با تابع عضویت (۶) و با پارامترهای فازی مثلثی (۷) خواهد بود و در نتیجه می‌توان تابع عضویت (۴) را به صورت رابطه (۸) تعریف کرد، یعنی بر این اساس، تابع عضویت مترتب به متغیر هدف خواهد بود و $\tilde{y}_t=f(\tilde{W}_0+\sum_{j=1}^{q}\tilde{W}_j\tilde{X}_{t,j})\cong f(\sum_{j=0}^{q}\tilde{W}_j\tilde{X}_{t,j})$ مطابق رابطه (۸) بیان می‌شود [۳۸]؛

$$\mu_{\tilde{w}_j}(W_j)=\begin{cases}\dfrac{1}{e_j-d_j}(W_j-d_j)\,if \quad d_j\le W_j\le e_i,\\ \dfrac{1}{e_j-f_j}(W_j-f_j)\,if \quad e_j\le W_j\le f_i,\\ 0 \quad otherwise\end{cases} \tag{۷}$$

با بازنویسی رابطه (۴) خواهیم داشت [۳۸]:

$$\mu_{\tilde{y}}(y_t)\cong\begin{cases}\dfrac{-B_1}{2A_1}+\left[\left(\dfrac{B_1}{2A_1}\right)^2-\dfrac{C_1-f^{-1}(x_t)}{A_1}\right]^{\frac{1}{2}} if \quad C_1\le f^{-1}(y_t)\le C_3\\ \dfrac{-B_2}{2A_2}+\left[\left(\dfrac{B_2}{2A_2}\right)^2-\dfrac{C_2-f^{-1}(x_t)}{A_2}\right]^{\frac{1}{2}} if \quad C_3\le f^{-1}(y_t)\le C_2\\ 0\end{cases} \tag{۸}$$

به قســـمی که در تعریف هر یک از پارامترهای A، B و C خواهیم داشت [۳۸]:

$$A_1=\sum_{j=0}^{q}(e_j-d_j).\left(g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)-g\left(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}x_{t,i}\right)\right),$$

$$B_1=\sum_{j=0}^{q}(d_j.\left(g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)-g\left(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}x_{t,i}\right)\right)+g\left(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}x_{t,i}\right).(e_j-d_j),$$

$$A_2=\sum_{j=0}^{q}(f_j-e_j).\left(g\left(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}x_{t,i}\right)-g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)\right),$$

$$B_2=\sum_{j=0}^{q}(f_j.\left(g\left(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}x_{t,i}\right)-g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)\right)+g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right).(f_j-e_j),$$

$$C_1=\sum_{j=0}^{q}\left(d_j.g\left(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}x_{t,i}\right)\right)\quad C_2=\sum_{j=0}^{q}\left(e_j.g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)\right),$$

$$C_3=\sum_{j=0}^{q}\left(e_j.g\left(\sum_{i=0}^{p}b_{i,j}x_{t,i}\right)\right),$$

در نهایت، چنانچه برای تمامی مشاهدات یک سطح آستانه‌ای h در نظر گرفته‌شـــود، مطابق با رابطه (۹)، یک مدل که قابلیت مدل‌سازی مسائل غیرخطی را خواهد داشت، بدست می‌آید [۳۹]؛

$$Min \quad \sum_{t=1}^{k}\sum_{j=0}^{q}\left(f_j.g\left(\sum_{i=0}^{p}c_{i,j}x_{t,i}\right)\right)-\left(d_j.g\left(\sum_{i=0}^{p}a_{i,j}x_{t,i}\right)\right) \tag{۹}$$

$$subjectto\begin{cases}\dfrac{-B_1}{2A_1}+\left[\left(\dfrac{B_1}{2A_1}\right)^2-\dfrac{C_1-f^{-1}(y_t)}{A_1}\right]^{\frac{1}{2}}\le h \quad if \quad C_1\le f^{-1}(y_t)\le C_3, \quad for \quad t=1,2,...,k\\ \dfrac{-B_2}{2A_2}+\left[\left(\dfrac{B_2}{2A_2}\right)^2-\dfrac{C_2-f^{-1}(y_t)}{A_2}\right]^{\frac{1}{2}}\le h \quad if \quad C_3\le f^{-1}(y_t)\le C_2, \quad for \quad t=1,2,...,k\end{cases}$$

حال اگر در روش پیشنهادی اعداد فازی مثلثی گسترش از چپ و راست برابر داشـــته و یعنی متقارن باشند، تابع عضویت ساده‌سازی شده مدل پیشـــنهادی، همانند رابطه (۱۰) خواهد بود که در آن، وزن‌های اتصالی نرون‌های لایه ورودی با نرون‌های لایه میانی به صورت قطعی درنظر گرفته شده و علاوه بر آن، توابع فعالسازی خروجی نیز، خطی می‌باشند؛

$$\mu_{\tilde{y}}(y_t)=\begin{cases}1-\dfrac{\left|y_t-\sum_{j=0}^{q}\alpha_j.X_{t,j}\right|}{\sum_{j=0}^{q}c_j\left|X_{t,j}\right|} \quad for \quad X_{t,j}\ne 0\\ 0 \quad otherwise\end{cases} \tag{۱۰}$$

یعنی مطابق با رابطه (۱۱) برای مدل ساده‌سازی شده S خواهیم داشت [۳۸]:

$$S=\sum_{j=0}^{q}\sum_{t=1}^{k}C_j\left|W_j\right|\left|X_{t,j}\right| \tag{۱۱}$$

که در این رابطه، W_j وزن‌های ارتباطی بین نرون‌های لایه خروجی و نرون jام لایه میانی بوده و پارامترهای روش پیشنهادی با استفاده از رابطه (۱۲) بدست خواهد آمد؛ [۳۸]

$$Min \quad S=\sum_{J=0}^{q}c_j\left|w_j\right|\left|x_{t,j}\right| \tag{۱۲}$$

$$S.T\begin{cases}\sum_{j=0}^{q}\alpha_j x_{t,j}+(1-h)\left(\sum_{j=0}^{q}c_j\left|x_{t,j}\right|\right)\ge y_t\\ \sum_{j=0}^{q}\alpha_j x_{t,j}-(1-h)\left(\sum_{j=0}^{q}c_j\left|x_{t,j}\right|\right)\le y_t\\ c_j\ge 0 \quad for \quad j=0,1,...,q \quad t=1,2,...,k\end{cases}$$

با توجه به زمان‌بر بودن و به دنبال داشتن هزینه‌های زیاد انجام آزمایشات متعدد تا رسیدن به نتیجه مطلوب در صنعت نساجی و به‌ویژه صنعت پوشاک، در این پژوهش سعی شده تا با استفاده از منطق و اعداد فازی در مدل‌سازی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، بر محدودیت نیاز به داده زیاد در این مدل غلبه گردد.
از طرفی مدل‌سازی روابط غیرخطی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، صرف‌نظر از ابهامات و الگوهای غیرقطعی موجود در داده‌ها و اطلاعات صورت می‌گیرد. بنابراین با توجه به ماهیت غیرقطعی بودن مسائل دنیای واقع، نتایج حاصل از این‌گونه از مدل‌سازی‌ها قابل اطمینان نبوده و لذا تصمیم‌گیری‌های میتنی بر آن نیز چندان منطبق بر واقعیت نیست.
لذا مدل‌سازی‌هایی که پیش از این صورت گرفته‌است، در این پژوهش با فازی‌سازی و غیرقطعی درنظر گرفتن ضرایب و پارامترهای شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، سعی بر مدل‌سازی روابط غیرخطی در شرایط غیرقطعی دنیای واقع شده‌است. در بخش بعدی، چگونگی بکارگیری روش پیشنهادی به‌منظور پیش‌بینی رفتار درز پوشاک به طور خلاصه شرح داده شده و در پایان نیز نتایج بدست آمده از این مدل با مدل‌های تکی تشکیل‌دهنده آن مقایسه و گزارش شده‌است. در بخش بعدی، چگونگی بکارگیری روش پیشنهادی به‌منظور پیش‌بینی رفتار درز پوشاک به طور خلاصه شرح داده شده و در پایان نیز نتایج بدست آمده از این مدل با مدل‌های تکی تشکیل‌دهنده آن مقایسه و گزارش شده‌است.

بکارگیری مدل ترکیبی به منظور پیش‌بینی کیفیت درز پوشاک

مراحل روش پیشنهادی را می‌توان در چهار فاز شرح داد؛
در فاز اول یک مدل شبکه عصبی با استفاده از اطلاعات موجود در مشاهدات با داده آموزش داده شده و در نتیجه جواب بهینه پارامترها و وزن‌های اتصالی بین نرون‌های لایه ورودی با سایر نرون‌ها، یعنی $w^* = (w^*_0, w^*_1, ..., w^*_q)$ بدست آمده که در واقع مجموعه داده‌های ورودی برای فاز دوم محسوب می‌شود. در فاز دوم پس از وارد کردن داده‌های ورودی به مدل، میزان حداقل ابهام با استفاده از معیارهایی که پیش از این در رابطه آورده شده و نیز با درنظر گرفتن پارامترهای بهینه‌ای که در فاز اول بدست آمده است، تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که مدل‌سازی‌های مربوط به این فاز در نرم‌افزار GAMS نسخه 25.1.2 سالور CPLEX مدل خطی اجراء گردیده است. چنانچه C_i مراکز اعداد فازی مثلثی و a_i گسترش‌های اعداد فازی در نظر گرفته‌شوند، مدل نهایی به صورت رابطه (۱۰) خواهد بود؛

$$\tilde{y}_t = (a_0, c_0) + (a_1, c_1)x_1 + ... + (a_p, c_p)x_p \qquad (۱۳)$$

در فاز سوم داده‌های حد بالا و حد پایین مدل، طبق تئوری ایشیبوچی حذف شده و مدل به طور مجدد فرمول‌بندی می‌گردد و در فاز چهارم با استفاده از مدل ترکیبی بازبینی شده، مقادیر آینده بصورت اعداد فازی مثلثی متقارن پیش‌بینی می‌شود.

مجموعه داده

در این پژوهش برای بهبود پیش‌بینی ارائه‌شده توسط هوئی و همکاران [۴]، و نشان دادن برتری مدل پیشنهادی نسبت به مدل مذکور، از داده‌های حاصل از آزمایش هوئی و همکاران استفاده شده‌است.
با توجه به مطالعه آن‌ها، از بین خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه، مهمترین پارامترهای ساختاری و رفتاری پارچه که در ارزیابی عملکرد دوخت پارچه اهمیت بسزایی دارند، به عنوان واحدهای ورودی در نظر گرفته شده است. این پارامترها شامل؛ نوع پارچه، وزن، ضخامت، شکل پذیری و کشش بوده و واحد خروجی نیز همانطور که در جدول (۱) آورده شده، رفتار و ویژگی درز پارچه درنظر گرفته‌شده است:
خواص فیزیکی این پارچه‌ها در آزمایشگاه دانشگاه پلی‌تکنیک هنگ‌کنگ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است و برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی این پارچه‌ها از سیستم تضمین مبتنی بر تست ساده استفاده شده‌است. بدین منظور سطوح دوخت تمام پارچه‌ها به وسیله یک پنل ارزشیابی و به صورت عینی تشخیص داده می‌شود. پنل ارزشیابی شامل رئیس بازاریابی، مدیر بازاریابی، مدیر کارخانه و پنج ناظر از اتاق خیاطی می‌باشد که همه آن‌ها دارای بیش از چهار سال تجربه در تولید پوشاک هستند.
در پژوهش مذکور به‌منظور اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه، پنج نمونه برای هر یک از پارچه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته و میانگین مقادیر هر پارامتر محاسبه شده‌است [۴]. پس از تعیین داده‌های اولیه، مهم‌ترین گام، تقسیم داده‌های موجود به دو مجموعهٔ آموزش و آزمون می‌باشد. داده‌های آموزش به‌منظور گسترش توانایی مدل‌های پیش‌بینی و داده‌های آزمون برای ارزیابی توانایی مدل‌ها به کار گرفته می‌شوند. در این تحقیق باتوجه به انتخاب مجموعه داده‌ها در ادبیات موضوع، تقسیم داده‌ها به دو مجموعه آموزش و آزمون بر اساس مطالعات قبلی انجام گرفته است. تقسیم‌بندی داده‌ها در جدول (۳) آورده شده‌است.

نتایج حاصله

مطابق با روش ترکیبی پیشنهادی، در ابتدا یک مدل شبکه عصبی با استفاده از داده‌های مذکور اجرا شده و سپس وزن‌ها و بایاس‌های شبکه که به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته‌شده‌اند و همچنین مقادیر بهینه مربوط به هر یک از آن‌ها مطابق با مدل ساده‌سازی‌شده در رابطه (۱۲)) محاسبه گردید.
مطابق با تئوری شرح داده‌شده در فاز سوم، داده‌های پرت با استفاده از تئوری ایشیبوچی از مجموعه داده‌های آموزش حذف شده و مدل به طور مجدد فرموله‌بندی می‌گردد. نتایج مربوط به عملکرد مدل پیشنهادی در داده‌های آموزش و تست، به ترتیب در (۴) و (۵) آورده شده‌است. با توجه به نتایج جدول (۵)، مدل ترکیبی مبتنی بر مدل رگرسیون فازی و مدل شبکه عصبی، نسبت به مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، مدل شبکه عصبی، مدل ترکیبی مبتنی بر مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی و نیز مدل ترکیبی مبتنی بر رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی، عملکرد بهتری

جدول (۱): مطالعات انجام شده بر اساس مدل‌های ترکیبی مبتنی بر روش‌های فازی در صنعت نساجی

نویسنده	سال انتشار	عنوان پژوهش	نتیجه پژوهش
ماجومدار و همکاران[۲۲]	۲۰۱۰	پیش‌بینی استحکام نخ پنبه با توجه به خواص الیاف کوتاه تشکیل دهنده آن.	دقت پیش‌بینی سیستم فازی پیشنهادی، برتر از مدل رگرسیون چندگانه و قابل مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی است.
ماجومدار[۲۳]	۲۰۱۰	مدل‌سازی مودار شدن نخ پنبه با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار	مدل‌سازی مودار شدن نخ پنبه با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار و ادغام مزایای هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی پارامترهای موثردر این پژوهش، نمره نخ و میانگین طول الیاف پنبه در نظر گرفته شد.
آدموت و همکاران[۲۴]	۲۰۱۰	ارائه یک مدل برای پیش‌بینی روابط لیف و نخ بر مبنای سیستم استنتاج فازی با استفاده از خوشه‌بندی کاهشی.	با توجه به نتایج بدست آمده، سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار، مقادیر همبستگی بهتر با دقت بیشتر بین نخ و لیف نسبت به هر روش دیگری فراهم می‌کند.
یانگ و همکاران[۲۵]	۲۰۱۱	ارائه یک رویکرد جدید برای پیش‌بینی زیردست پارچه با روش انتخاب الگوریتم نزدیکترین همسایه	این سیستم قادر به پیش‌بینی سریع و دقیق زیردست پارچه است.
بهرا و همکاران[۲۶]	۲۰۱۲	پیش‌بینی سختی خمشی پارچه بافت پنبه‌ای از روی پارامترهای ساختاری آنها، با استفاده از یک سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار	نتایج نشان می‌دهد که توانایی یادگیری سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار عالی و توانایی تعمیم آن کمی بهتر از مدل شبکه عصبی مصنوعی است.
جگوایریم و همکاران [۲۷]	۲۰۱۲	روش‌های هوشمند برای مدل‌سازی روابط بین ویژگی‌های حسی و قابل اندازه‌گیری ابزارهای پارچه‌ای بافت	با مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل سیستم استنتاج فازی در مدل‌سازی روابط بین خواص حسی و خواص پارچه‌های باقت دریافتند که هر دو مدل قادر به پیش‌بینی ویژگی مربوط به حس لامسه از سطوح اندازه‌گیری شده است.
سلطانی و همکاران[۲۸]	۲۰۱۳	توسعه یک مدل ترکیبی سه مرحله‌ای برای پیش‌بینی خواص جابجایی نخ بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نخ‌های اسپون	دقت پیش‌بینی سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار مدولار اجرا شده با مدل‌های خوشه‌بندی بسیار خوب بوده و می‌توان از آن به عنوان برآوردکننده هوشمند برای پیش‌بینی و کنترل مهاجرت لیف استفاده کرد.
فلاح‌پور و همکاران[۲۹]	۲۰۱۳	مدل‌سازی استحکام نخ با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار و برنامه‌نویسی ژن اکسپرس	با مقایسه توانایی دو روش مدل‌سازی مختلف برای پیش‌بینی استحکام تا حد پارگی الیاف روتور اسپون دریافتند که مدل ژن اکسپرس نسبت به مدل عصبی فازی پیش‌بینی دقیق‌تری ارائه می‌دهد.
شمس ناتری[۳۰]	۲۰۱۴	ارائه یک روش جدید مبتنی بر تکنیک استنتاج عصبی-فازی سازگار	عملکرد تکنیک عصبی-فازی بهتر از روش اسپکتروفوتومی معمولی است.
هاتوآ و همکاران[۳۱]	۲۰۱۴	مدل‌سازی فاکتور حفاظت از اشعه ماوراء بنفش پارچه‌های بافته شده با مخلوط پلی‌استر و پنبه با استفاده از رویکردهای محاسباتی نرم	با درنظر گرفتن پارامترهای موثر؛ سهم پود پلی‌استری، نمره نخ و تراکم چیدمان، به مقایسه دو روش شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار پرداخته و دریافتند که هر دو روش، فاکتور مذکور را با دقت خوبی پیش‌بینی می‌کنند.
حقیقت و همکاران[۳۲]	۲۰۱۳	پیش‌بینی نیروی نفوذ سوزن در پارچه‌های کتان بافت با استفاده از مدل‌های محاسباتی نرم.	با استفاده از مدل منطقی فازی، می‌توان نیروی نفوذ سوزن را به عنوان پارامترهای دوخت پیش‌بینی کرد.
حسین و همکاران[۳۳]	۲۰۱۵	پیش‌بینی بازگشت چروک پارچه‌های بافت پنبه-پلی‌استر با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار	دقت پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار که در این مطالعه توسعه یافته‌اند کمی بهتر است. با این حال، مدل سیستم استنتاجی عصبی-فازی سازگار می‌تواند روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی را از طریق طراحی‌های سطح مشخص کند، که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نمی‌توانند. مدل‌های توسعه یافته می‌توانند برای بهینه‌سازی پارامترهای ساختار پارچه برای به حداکثر رساندن بازگشت چروک پارچه‌های بافت پلی استر و پنبه استفاده شوند.
زو و همکاران[۳۴]	۲۰۱۸	یک روش هوشمند برای ارزیابی و پیش‌بینی فرم‌پذیری پوشاک‌های مردانه	یک شبکه عصبی فازی برای مدل‌سازی روابط غیرخطی بین فرم‌پذیری نمونه‌های پارچه‌ای برای بلوز مردانه و خواص مکانیکی آن‌ها توسعه داده شده است.

جدول (۲): خصوصیات پارامترهای ورودی

خصوصیات	متغیر ورودی	خصوصیات	متغیر ورودی
ترکیب پارچه. پنبه خالص	x_1	شماره نخ پود برحسب سیستم	x_{12}
ترکیب پارچه. ابریشم خالص	x_2	وزن پارچه برحسب گرم بر مترمربع	x_{13}
ترکیب پارچه. کتان خالص	x_3	ضخامت پارچه بر حسب میلی‌متر	x_{14}
ترکیب پارچه. پلی استر خالص	x_4	درصد فرم‌پذیری تار بر حسب میلی‌متر مربع	x_{15}
ترکیب پارچه. ۵۵٪ پلی استر ۴۵٪ پنبه	x_5	درصد فرم‌پذیری پود برحسب میلی‌متر مربع	x_{16}
ساختار بافت ساده	x_6	درصد توسعه‌پذیری تار	x_{17}
ساختار بافت دوتایی	x_7	درصد توسعه‌پذیری پود	x_{18}
ساختار بافت ساتن	x_8	سختی خمشی تار برحسب میکرو نیوتن در متر	x_{19}
تراکم نخ ها در جهت تار در هر سانتی متر	x_9	سختی خمشی پود برحسب میکرو نیوتن در متر	x_{20}
تراکم نخ ها در جهت پود در هر سانتی متر	x_{10}	استحکام برشی برحسب نیوتن بر متر	x_{21}
شماره نخ تار برحسب سیستم	x_{11}	متغیر هدف (رفتار و ویژگی درز پارچه)	y

جدول (۳): تقسیم‌بندی داده‌ها به داده‌های آزمون و آموزش

اندازه نمونه	اندازه مجموعه آموزش	اندازه مجموعه آزمون
۱۰۹	۹۴	۱۵

در پیش‌بینی داده‌های تست دارد.
مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با هر یک از روش‌های مذکور به ترتیب در جداول (۶)، (۷)، (۸) و (۹) آورده شده‌است:
با توجه به نتایج گزارش‌شده در جدول (۶)، مدل پیشنهادی توانسته میانگین خطای مطلق را نسبت به مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، به میزان ۲۶/۹۸٪ بهبود بخشد. میزان بهبود مجموع مربعات خطا، خطای میانگین مربعات و خطای جذر میانگین مربعات توسط روش پیشنهادی در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نیز به‌ترتیب، ۴۶/۷۷٪، ۴۶/۷۳٪ و ۲۷/۰۲٪ بدست آمد.
مطابق جدول (۷)، بهبود حاصل از روش پیشنهادی در تقابل با مدل شبکه‌عصبی در هر یک از معیارهای میانگین خطای مطلق، مجموع مربعات خطا، خطای میانگین مربعات و خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب: ۱۳/۱۷٪، ۳۹/۶۲٪ ، ۳۹/۵۶٪و ۲۲/۲۸٪ بوده که بیانگر برتری روش پیشنهادی در مقایسه با مدل شبکه‌عصبی است.
همانطور که در جدول (۸) آورده شده‌است، در مقایسه روش پیشنهادی با مدل ترکیبی مبتنی بر رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی، به‌جز افزایش میانگین خطای مطلق به میزان ۵/۸۳٪، سایر معیارهای مجموع مربعات خطا، خطای میانگین مربعات و خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب به میزان ۱۴/۵۸٪، ۱۴/۴۴٪ و ۷/۵۷٪ بهبود یافته‌اند. عملکرد مدل پیشنهادی و میزان بهبود حاصل از آن نیز مطابق با جدول (۹)، نشان‌دهنده برتری این مدل نسبت به مدل ترکیبی مبتنی بر رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی است.

نتیجه‌گیری

با توجه به تنوع و گستردگی صنعت پوشاک و رقابتی‌ترشدن بازارهای این صنعت، حفظ توان رقابتی و جلب رضایت مشتریان، به موضوعی حیاتی تبدیل شده و نیاز به یک ابزار پیش‌بینی منعطف را دوچندان کرده‌است. علی‌رغم مزایای شبکه‌های عصبی مصنوعی، فراهم کردن

جدول (۴): معیارهای عملکردی مدل پیشنهادی در تقابل با سایر مدل‌ها در پیش‌بینی داده‌های آموزش

مدل	داده‌های آموزش			
	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
مدل رگرسیون خطی چندمتغیره	۰/۱۸۷۵	۶/۰۲۰۶	۰/۰۶۴۰	۰/۲۵۳۱
مدل شبکه عصبی	۰/۱۴۶۶	۴/۶۰۷۹	۰/۰۴۹۰	۰/۲۲۱۴
ترکیب مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی	۰/۱۲۲۳	۲/۹۹۹۲	۰/۰۳۱۹	۰/۱۷۸۶
ترکیب مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی	۰/۱۶۸۴	۵/۲۱۹۴	۰/۰۵۵۵	۰/۲۳۵۶
ترکیب مدل رگرسیون فازی و مدل شبکه عصبی	۰/۱۳۱۰	۳/۲۹۱۸	۰/۰۳۵۰	۰/۱۸۷۱

داده‌های مورد نیاز در ابعاد گسترده، به‌منظور ارائه یک پیش‌بینی دقیق، با توجه به زمانبر بودن و در برداشتن هزینه بالا، مقرون به‌صرفه نبوده و چه بسا که در هر شرایطی نیز امکان‌پذیر نیست. در این مقاله بر اساس اصول و مفاهیم پایه‌ای شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی، مدلی از ترکیب این دو روش برای پیش‌بینی عملکرد کیفیت درز ارائه شده است. مطابق با روش پیشـــنهادی، به دلیل استفاده از رگرسیون فازی، مشکل محدودیت داده‌ها عملکرد مدل را کاهش نداده است و از طرفی می‌توان با توجه به انعطاف‌پذیری شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدل‌سازی دامنه وسیعی از مسائل غیرخطی، عملکرد بالاتر این روش را درتقابل با مدل‌های تشکیل‌دهنده خود و همچنین سایر روش‌های ترکیبی موجود ادعا کرد. نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل پیشنهادی و مقایسه آن با سایر روش‌ها، گواهی بر این مدعا است.

جدول (۵): معیارهای عملکردی مدل پیشنهادی در تقابل با سایر مدل‌ها در پیش‌بینی داده‌های تست

مدل	داده‌های تست			
	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
مدل رگرسیون خطی چندمتغیره	۰/۱۹۸۶	۱/۱۰۱۲	۰/۰۷۳۴	۰/۲۷۰۹
مدل شبکه عصبی	۰/۱۶۷۰	۰/۹۷۰۷	۰/۰۶۴۷	۰/۲۵۴۴
ترکیب مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی	۰/۱۳۷۰	۰/۶۸۶۲	۰/۰۴۵۷	۰/۲۱۳۹
ترکیب مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی	۰/۱۷۹۸	۱/۱۴۰۲	۰/۰۷۶۰	۰/۲۷۵۷
ترکیب مدل رگرسیون فازی و مدل شبکه عصبی	۰/۱۴۵۰	۰/۵۸۶۱	۰/۰۳۹۱	۰/۱۹۷۷

جدول (۶): میزان بهبود مدل پیشنهادی نسبت به مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی داده‌های تست

معیار	میزان بهبود			
روش	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
مدل رگرسیون خطی چندمتغیره	٪۲۶/۹۸	٪۴۶/۷۷	٪۴۶/۷۳	٪۲۷/۰۲

جدول (۷): میزان بهبود مدل پیشنهادی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی داده‌های تست

معیار	میزان بهبود			
روش	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
شبکه عصبی	٪۱۳/۱۷	٪۳۹/۶۲	٪۳۹/۵۶	٪۲۲/۲۸

جدول(۸): میزان بهبود مدل پیشنهادی نسبت به مدل ترکیبی مبتنی بر مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی در پیش‌بینی داده‌های تست

معیار	میزان بهبود			
روش	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
مدل ترکیبی مبتنی بر رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه عصبی	٪۵/۸۳	٪۱۴/۵۸	٪۱۴/۴۴	٪۷/۵۷

جدول (۹): میزان بهبود مدل پیشنهادی نسبت به مدل ترکیبی مبتنی بر مدل رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی در پیش‌بینی داده‌های تست

معیار	میزان بهبود			
روش	میانگین قدرمطلق خطا	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	جذر میانگین مربعات خطا
مدل ترکیبی مبتنی بر رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل رگرسیون فازی	٪۱۹/۳۵	٪۴۸/۵۹	٪۴۸/۵۵	٪۲۸/۲۹

منابع

1. Choudhry, K., "Sewability of suiting fabrics", M. Sc Thesis, University of Delhi, 1995.
2. ASTM D6193-16, Standard Practice for Stitches and Seams, ASTM Internathional, WEst Conshohocken, PA, www.astm.org, 2016.
3. م، شیخ زاده، م، حجازی. و ر، شکریان. تحلیل ویسکوالاستیک پارچه های درزدار تحت بارگذاری ثابت نسبت به زمان. دولتی - وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری - دانشگاه صنعتی اصفهان - مهندسی نساجی. ۱۳۹۵.
4. Hui, P.C., et al., "Application of artificial neural networks to the prediction of sewing performance of fabrics". International Journal of Clothing Science and Technology. 19(5): pp. 291-318, 2017.
5. Germanova-Krasteva, D. and H. Petrov, "Investigation on the seam's quality by sewing of light fabric"s. International Journal of Clothing Science and Technology. 20(1): pp. 57-64, 2008.
6. Fan, J., et al., "Towards the objective evaluation of garment appearance". International Journal of Clothing Science and Technology, 11(2/3): p. 151-160, 1999.
7. Geršak, J., "Development of the system for qualitative prediction of garments appearance quality". International Journal of Clothing Science and Technology, 14(3/4): pp. 169-180, 2002.
8. Stylios, G. "Prognosis of sewability problems in garment manufacture using computer-based technology. in Systems Engineering", IEEE International Conference on. 1990.
9. Juciėnė, M. and V. Dobilaitė, "Seam pucker indicators and their dependence upon the parameters of a sewing machine". International Journal of Clothing Science and Technology, 20(4): pp. 231-239, 2008.
10. Koehl, L., J.C. Miou, and X. Zeng, "Selecting relevant features from fabric images for automated quality control of seam puker using data analysis and human experts grading", in Computational textile, Springer. pp. 39-54, 2007.
11. Mariolis, I.G. and E.S. Dermatas, "Automatic quality control of seam puckers based on shadow detection". International Journal of Computer Aided Engineering and Technology, 1(2): pp. 225-238. 2009.
12. Fan, J. and L. Hunter, "A worsted fabric expert system: Part I: System development". Textile Research Journal, 68(9): pp. 680-686. 1998.
13. Ramesh, M., R. Rajamanickam, and S. Jayaraman, "The prediction of yarn tensile properties by using artificial neural networks". Journal of the Textile Institute, 86(3): pp. 459-469. 1995.
14. Hui, C.L. and S.F. Ng, "Predicting seam performance of commercial woven fabrics using multiple logarithm regression and artificial neural networks". Textile research journal, 2009. 79(18): pp. 1649-1657.
15. Lachtermacher, G. and J.D. Fuller, "Back propagation in time–series forecasting". Journal of forecasting, 14(4): pp. 381-393, 1995.
16. Khashei, M., S.R. Hejazi, and M. Bijari, "A new hybrid artificial neural networks and fuzzy regression model for time series forecasting". Fuzzy sets and systems, 159(7): pp. 769-786, 2008.
17. Reid, D.J., "Combining three estimates of gross domestic product". Economica, 35(140): pp. 431-444, 1968.
18. Bates, J.M. and C.W. Granger, "The combination of forecasts". Journal of the Operational Research Society, 20(4): pp. 451-468, 1969.
19. Ajit Kumar, P., A. Luximon, and A. Khandual, "Prediction of drape profile of cotton woven fabrics using artificial neural network and multiple regression method". Textile Research Journal, 81(6): pp. 559-566. 2010.
20. Hwang, J.P., S. Kim, and C.K. Park, "Development of a color matching algorithm for digital transfer textile printing using an artificial neural network and multiple regression". Textile Research Journal. 85(10): pp. 1076-1082, 2015.
21. Zhang, Y.H., et al., "An intelligent model for detecting and classifying color-textured fabric defects using genetic algorithms and the Elman neural network". Textile Research Journal. 81(17): pp. 1772-1787, 2011.
22. Majumdar, A., P. Majumdar, and B. Sarkar, "Application of an adaptive neuro-fuzzy system for the prediction of cotton yarn strength from HVI fibre properties". Journal of the Textile Institute. 96(1): pp. 55-60, 2005.
23. Majumdar, A., "Modeling of cotton yarn hairiness using adaptive neuro-fuzzy inference system". 2010.
24. Admuthe, L.S. and S. Apte, "Adaptive neuro-fuzzy inference system with subtractive clustering: a model to predict fiber and yarn relationship". Textile Research Journal. 80(9): pp. 841-846, 2010.
25. Yu, Y., et al., "A new approach for fabric hand prediction

with a nearest neighbor algorithm-based feature selection scheme". Textile Research Journal. 81(6): pp. 574-584, 2011.
26. Behera, B. and R. Guruprasad, "Predicting bending rigidity of woven fabrics using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)". Journal of The Textile Institute. 103(11): pp. 1205-1212, 2012.
27. Jeguirim, S.E.-G., et al., "Intelligent techniques for modeling the relationships between sensory attributes and instrumental measurements of knitted fabrics". Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF). 7(3) , 2012.
28. Soltani, P., et al., "A study on siro, solo, compact, and conventional ring-spun yarns. Part III: modeling fiber migration using modular adaptive neuro-fuzzy inference system". Journal of The Textile Institute. 104(7): pp. 755-765, 2013.
29. Fallahpour, A. and A. Moghassem," Yarn Strength Modelling Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Gene Expression Programming (GEP)". Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF). 8(4):pp. 6-18, 2013.
30. Shams-Nateri, A., "Estimating dye concentrations in three-component wastewater by neuro-fuzzy technique". The Journal of The Textile Institute. 105(9): pp. 920-926, 2014.
31. Hatua, P., A. Majumdar, and A. Das, "Modeling Ultraviolet Protection Factor of Polyester-Cotton Blended Woven Fabrics Using Soft Computing Approaches". Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF). 9(3): pp. 99-106, 2014.
32. Haghighat, E., S.S. Najar, and S.M. Etrati, "The Prediction of Needle Penetration Force in Woven Denim Fabrics Using Soft Computing Models". Journal of Engineered Fabrics & Fibers (JEFF). 9(4): pp. 45-55, 2014.
33. Hussain, T., et al., "Comparison of artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system for predicting the wrinkle recovery of woven fabrics". The Journal of the Textile Institute. 106(9): pp. 934-938, 2015.
34. Xue, Z., X. Zeng, and L. Koehl, "An intelligent method for the evaluation and prediction of fabric formability for men's suits". Textile Research Journal. 88(4): pp. 438-452, 2018.
35. Khashei, M. and M. Bijari, "A novel hybridization of artificial neural networks and ARIMA models for time series forecasting". Applied Soft Computing. 11(2): pp. 2664-2675, 2011.
36. Wang, X. and M. Meng, "A Hybrid Neural Network and ARIMA Model for Energy Consumption Forcasting". JCP. 7(5): pp. 1184-1190, 2012.
37. Khashei, M., Mokhatab, R.F., Bijari, M. and Hejazi, S.R. "A hybrid computational intelligence model for foreign exchange rate forecasting", Journal of Industrial Engineering International. 7(15), pp. 15-29, 2011.
38. Khashei، ,M. Mokhatab Rafiei, F. Bijari, M. "Foreign Exchange Rate Forecasting Using Improved Artificial Neural Networks in Incomplete Data", Eighth International Industrial Engineering Conference, https://www.civilica.com/Paper-IIEC08-IIEC08_121.html, 2011.
39. Khashei, M., A.Z. Hamadani, and M. Bijari, "A fuzzy intelligent approach to the classification problem in gene expression data analysis". Knowledge-Based Systems. 27: pp. 465-474, 2012.