

# ارائه ابزار محاسباتی نرم مبتنی بر مدل های ترکیبی به منظور بهبود پیش بینی 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<sup>۱\*</sup>، نساء احمدیار لسبومحله<sup>۲</sup>

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 این گونه 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 به منظور حصول نسخه‌ای بهبود یافته 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 در تقابل با مدل‌های تشکیل‌دهنده خود و همچنین سایر روش‌های ترکیبی موجود است.

### مقدمه

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 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

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 رقابتی‌تر شدن 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

### کلمات کلیدی

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

\*مسئول مکاتبات، پیام نگار: khashei@cc.iut.ac.ir

مهندسی 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 برای تضمین کیفیت مطلوب، به یک اپراتور با تجربه و یک ماشین 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 مناسب 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 منسوج، درز یک منسوج و به‌ویژه پوشاک باید از استحکام، انعطاف‌پذیری، خمش، کشش و ... مناسب برخوردار بوده و انتظار مصرف‌کننده از کیفیت مطلوب را برآورد سازد. در هر فرآیند دوزندگی برای تضمین کیفیت مطلوب، به یک اپراتور با تجربه و یک ماشین دوزندگی مناسب نیاز است. در نتیجه یکی از فاکتورهای موثر برای داشتن 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].

با توجه به کوچک‌تر شدن صنایع تولیدی از یک طرف و تنوع زیاد محصولات از طرفی دیگر، تعیین پارامترهای بهینه دوزندگی برای نوع خاصی از منسوجات، 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 توسط 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 پرسنل 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 بیشتر این مطالعات از مدل‌های ریاضی به عنوان یک ابزار پیش‌بینی بهره گرفته شده است که از جمله این موارد می‌توان به مطالعات ژرمانووا و همکاران [۵]، فان و همکاران [۶]، گرساک [۷] و استیلوس [۸] که به پیش‌بینی چروک درز و کارایی درز پرداخته‌اند اشاره کرد.

در پارامترهای از این مطالعات، محققان [۹-۱۱] با استفاده از مدل‌های رگرسیون آماری که در مطالعات پیشین [۱۲-۱۳] 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 اشاره کرد. با توجه به مزیت شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی روابط غیرخطی، مبرای بودن از تشخیص شکل خاص مدل و نیز شکل‌گیری مدل صرفاً بر اساس روابط موجود در داده‌ها، استفاده از این گونه شبکه‌ها در سال‌های اخیر به طور گسترده‌ای رواج یافته است. 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 گره 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 به منظور مدل‌سازی، طراحی ساختار شبکه، مهم‌ترین بخش را تشکیل داده و چنانچه به آن توجه نشود، 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، به منظور کارایی شبکه طراحی شده [۱۵]، تعداد داده‌های استفاده شده به منظور مدل‌سازی، 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 تک‌تکی مورد استفاده فائق آمده و لذا دقت مدل پیش‌بینی را افزایش داد [۱۶].

از زمان اولین مطالعات انجام شده [۱۷-۱۸] 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 این گونه 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 به طوری که کومار و همکاران [۱۹] برای پیش‌بینی شمایل افتادگی پارچه بافت پنبه‌ای و هوانگ و همکاران [۲۰] برای تطبیق رنگ به منظور چاپ پارچه‌ای دیجیتال از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیون 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 نساجی نیز از این مزایای بهره‌نمانده 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 به معایبی همچون کاربرد بودن این مدل‌ها در شرایط خاص، همچون لزوم وجود تغییرات معنی‌دار بین داده‌ها، اشاره کرد. به همین

مهندسی 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 برای تضمین کیفیت مطلوب، به یک اپراتور با تجربه و یک ماشین 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 مناسب 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 منسوج، درز یک منسوج و به‌ویژه پوشاک باید از استحکام، انعطاف‌پذیری، خمش، کشش و ... مناسب برخوردار بوده و انتظار مصرف‌کننده از کیفیت مطلوب را برآورد سازد. در هر فرآیند دوزندگی برای تضمین کیفیت مطلوب، به یک اپراتور با تجربه و یک ماشین دوزندگی مناسب نیاز است. در نتیجه یکی از فاکتورهای موثر برای داشتن 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].

با توجه به کوچک‌تر شدن صنایع تولیدی از یک طرف و تنوع زیاد محصولات از طرفی دیگر، تعیین پارامترهای بهینه دوزندگی برای نوع خاصی از منسوجات، 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 توسط 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 پرسنل 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 بیشتر این مطالعات از مدل‌های ریاضی به عنوان یک ابزار پیش‌بینی بهره گرفته شده است که از جمله این موارد می‌توان به مطالعات ژرمانووا و همکاران [۵]، فان و همکاران [۶]، گرساک [۷] و استیلوس [۸] که به پیش‌بینی چروک درز و کارایی درز پرداخته‌اند اشاره کرد.

در پارامترهای از این مطالعات، محققان [۹-۱۱] با استفاده از مدل‌های رگرسیون آماری که در مطالعات پیشین [۱۲-۱۳] 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 اشاره کرد. با توجه به مزیت شبکه عصبی

در مسائل و دنیای واقع و نیز توسعه سریع تکنولوژی های نوین، ملزوم پیش بینی موقعیت های آینده با داده های کم بوده چرا که فراهم آوردن داده ها در مقیاس وسیع، علاوه بر هزینه بر بودن و نیاز به زمان زیاد، در هر حوزه ای نیز امکان پذیر نیست. بنابراین در دنیای امروز نیاز به روش های پیش بینی که به داده های کمتری نیاز داشته و در این گونه از شرایط نیز کارآمد و کارا باشند، بیش از پیش احساس می شود. از طرفی هیچ یک از روش های موجود نمی توانند به اجماع برای پیش بینی در هر شرایط و برای هر نوع داده استفاده شوند و هدف از این مقاله بهره گیری از مزیت های رگرسیون فازی برای پیش بینی عملکرد درز پوشاک و در نتیجه برطرف کردن محدودیت نیاز به داده های زیاد موجود در روش های شبکه های عصبی مصنوعی به منظور پیش بینی است. در این بین، شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه از جمله پرکاربردترین و مهم ترین روش های مدلسازی روابط غیر خطی موجود بین داده ها بوده که با توجه به انعطاف پذیری موجود در آن ها، این مدل ها توانایی مدل سازی دامنه وسیعی از مسائل را دارند. اما برخلاف دنیای واقع، پارامترهای پرسپترون چندلایه یعنی وزن ها و بایاس ها  $(W_j (j = 0, 1, 2, \dots, q) و \tilde{W}_{i,j} (i = 0, 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, q))$  ، مقادیری قطعی بوده و در نتیجه کارایی این گونه از شبکه ها در رویارویی با مسائل واقعی و سیستم های غیر قطعی کاهش می یابد. بنابراین در پژوهش پیش رو به منظور بهبود هر یک از این مدل های تکی، اعداد فازی  $(\tilde{W}_j (j = 0, 1, 2, \dots, q) و \tilde{W}_{i,j} (i = 0, 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, q))$  جایگزین مقادیر قطعی شده است و چنانچه که بخواهیم رابطه (۱) را در جهت تطبیق با دنیای واقع به صورت غیر خطی و فازی در نظر بگیریم، یک مدل فازی سازی شده مطابق با رابطه (۳) خواهیم داشت [۳۷]:

$$\tilde{y}_t = f \left( \tilde{W}_0 + \sum_{j=1}^q \tilde{W}_j \cdot g \left( \tilde{W}_{0,j} + \sum_{i=1}^p \tilde{W}_{i,j} \cdot y_{t-i} \right) \right) \quad (3)$$

که همانند رابطه (۱)،  $y_t$  نشان دهنده مشاهدات و  $(j = 1, 2, \dots, q)$  همان پارامترهای فازی سازی شده مدل می باشند و با یک بازنویسی از رابطه (۳)، رابطه (۴) را به صورت زیر خواهیم داشت [۳۷]:

$$\tilde{y}_t = f \left( \tilde{W}_0 + \sum_{j=1}^q \tilde{W}_j \cdot \tilde{X}_{t,j} \right) = f \left( \sum_{j=0}^q \tilde{W}_j \cdot \tilde{X}_{t,j} \right) \quad (4)$$

که در آن  $X_{t,j}$  به صورت  $(\tilde{W}_{0,j} + \sum_{i=1}^p \tilde{W}_{i,j} \cdot y_{t-i})$  تعریف می شود. با توجه به اعداد فازی 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 شده اند [۳۷]:

$$\mu_{\tilde{w}_{i,j}}(w_{i,j}) = \begin{cases} \frac{1}{b_{i,j} - a_{i,j}} (W_{i,j} - a_{i,j}) & \text{if } a_{i,j} \leq W_{i,j} \leq b_{i,j} \\ \frac{1}{b_{i,j} - c_{i,j}} (W_{i,j} - c_{i,j}) & \text{if } b_{i,j} \leq W_{i,j} \leq c_{i,j} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

دلیل با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش سعی شده تا با بهره گیری از اصول و مفاهیم پایه ای شبکه های عصبی مصنوعی و رگرسیون فازی و مزایای هر یک از این دو روش، به ارائه یک روش محاسباتی هوشمند و ابزار محاسباتی نرم به منظور بهبود پیش بینی کیفیت درز پرداخته شود. در ادامه و در بخش بعد به تشریح مدل شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه پرداخته می شود. فرموله سازی مدل ترکیبی پیشنهادی و نتایج حاصل از بکارگیری مدل ترکیبی برای پیش بینی عملکرد درز پوشاک به ترتیب در بخش سوم و بخش چهارم مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در نهایت و در بخش پنجم نیز نتیجه گیری ارائه شده است.

### روش شبکه های عصبی مصنوعی

شبکه های عصبی مصنوعی با توجه به توانایی مدل سازی روابط غیر خطی بین داده ها، برای دامنه وسیعی از مسائل قابل استفاده بوده و با توجه به این انعطاف پذیری، یک چارچوب محاسباتی سازگار محسوب می شود [۳۵] که از میان انواع این شبکه ها، شبکه عصبی با یک لایه پنهان، به عنوان رایج ترین مدل برای مدل سازی و پیش بینی مسائل گوناگون کاربرد دارد. در این نوع ساختار، ورودی ها مسئله به لایه ورودی اعمال شده و از لایه خروجی، پاسخ مسئله حاصل می شود.

این ورودی ها و خروجی ها در لایه ورودی و لایه خروجی، از طریق رابطه (۱) به هم مرتبط شده که در این رابطه تعداد گرہ های ورودی و خروجی به ترتیب با  $p$  و  $q$  نشان داده شده و  $(w_j (j = 1, 2, \dots, q), w_{i,j} (i = 0, 1, 2, \dots, p, j = 1, 2, \dots, q))$  نشان دهنده وزن های اتصالی می باشند. علاوه بر این،  $\epsilon_t$  خطاهای تصادفی در دوره  $t$  را نشان می دهد که از ویژگی های آن می توان به داشتن توزیع یکنواخت با میانگین صفر و واریانس ثابت  $\sigma^2$  اشاره کرد [۳۶].

$$y_t = w_0 + \sum_{j=1}^q w_j \cdot g \left[ w_{0,j} + \sum_{i=1}^p w_{i,j} \cdot y_{t-i} \right] + \epsilon_t \quad (1)$$

با انتخاب بهترین وزن های اتصال دهنده نرون های ورودی با نرون های هر لایه، در واقع شبکه عصبی آموزش می بیند که برای تحقق این موضوع از روش های آموزش باناظر برای بهینه سازی وزن ها و از تابع سیگموئیدی رابطه (۲) با هدف فعال سازی لایه پنهان استفاده می شود. از جمله رایج ترین روش های آموزش باناظر نیز می توان به الگوریتم پس انتشار 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 می کنند.

$$g(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (2)$$

### مدل ترکیبی شبکه های عصبی پرسپترون چندلایه فازی

شبکه های عصبی مصنوعی، مدل های پیش بینی دقیقی برای دامنه وسیعی از مسائل بوده که دارای محدودیت نیاز به تعداد زیادی داده برای حصول نتایج دقیق می باشند. این در حالی است که عدم قطعیت موجود

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

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

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

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

$$\text{Min} \sum_{t=1}^k \sum_{j=0}^q \left( f_j \cdot g \left( \sum_{i=0}^p c_{i,j} x_{t,i} \right) \right) - \left( d_j \cdot g \left( \sum_{i=0}^p a_{i,j} x_{t,i} \right) \right) \quad (9)$$

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

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

$$\mu_{\tilde{y}}(y_t) = \begin{cases} 1 - \frac{\left| y_t - \sum_{j=0}^q \alpha_j X_{t,j} \right|}{\sum_{j=0}^q c_j |X_{t,j}|} & \text{for } X_{t,j} \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

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

$$S = \sum_{j=0}^q \sum_{t=1}^k c_j |W_j| |X_{t,j}| \quad (11)$$

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

$$\text{Min } S = \sum_{j=0}^q c_j |w_j| |x_{t,j}| \quad (12)$$

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

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  $(\tilde{W}_{0,j} + \sum_{i=1}^p \tilde{W}_{i,j} \cdot y_{t-1})$  مطابق با رابطه (۶) بدست خواهد آمد [۳۸]:

$$\mu_{\tilde{X}_{i,j}}(x_{t,j}) = \begin{cases} \frac{(x_{t,j} - g(\sum_{i=0}^p a_{i,j} \cdot y_{t-1}))}{g(\sum_{i=0}^p b_{i,j} \cdot y_{t-1}) - g(\sum_{i=0}^p a_{i,j} \cdot y_{t-1})} & \text{if } g(\sum_{i=0}^p a_{i,j} \cdot y_{t-1}) \leq x_{t,j} \leq g(\sum_{i=0}^p b_{i,j} \cdot y_{t-1}), \\ \frac{(x_{t,j} - g(\sum_{i=0}^p c_{i,j} \cdot y_{t-1}))}{g(\sum_{i=0}^p b_{i,j} \cdot y_{t-1}) - g(\sum_{i=0}^p c_{i,j} \cdot y_{t-1})} & \text{if } g(\sum_{i=0}^p b_{i,j} \cdot y_{t-1}) \leq x_{t,j} \leq g(\sum_{i=0}^p c_{i,j} \cdot y_{t-1}), \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

و چنانچه پارامترهای فازی مثلثی مطابق رابطه (۷) تعریف شود،  $\tilde{X}_{t,j}$  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  $\tilde{y}_t = f(W \cdot \sum_{j=0}^q \tilde{X}_{t,j}) \neq f(\sum_{j=0}^q \tilde{X}_{t,j})$  مطابق رابطه (۸) بیان می‌شود [۳۸]:

$$\mu_{\tilde{W}_j}(W_j) = \begin{cases} \frac{1}{e_j - d_j} (W_j - d_j) & \text{if } d_j \leq W_j \leq e_j, \\ \frac{1}{e_j - f_j} (W_j - f_j) & \text{if } e_j \leq W_j \leq f_j, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

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

$$\mu_{\tilde{y}}(y_t) \cong \begin{cases} \frac{-B_1}{2A_1} + \left[ \left( \frac{B_1}{2A_1} \right)^2 - \frac{C_1 - f^{-1}(x_t)}{A_1} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{if } C_1 \leq f^{-1}(y_t) \leq C_3 \\ \frac{-B_2}{2A_2} + \left[ \left( \frac{B_2}{2A_2} \right)^2 - \frac{C_2 - f^{-1}(x_t)}{A_2} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{if } C_3 \leq f^{-1}(y_t) \leq C_2 \\ 0 & \end{cases} \quad (8)$$

به قسمی که در تعریف هر یک از پارامترهای  $A, B$  و  $C$  خواهیم داشت [۳۸]:

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

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

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

### 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 شده است.

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 در نظر گرفته شده است:

خواص فیزیکی این پارچه‌ها در آزمایشگاه دانشگاه پلی تکنیک هنگ کنگ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی این پارچه‌ها از سیستم تضمین مبتنی بر تست ساده استفاده شده است. 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 به منظور اندازه‌گیری خواص فیزیکی و مکانیکی پارچه، پنج نمونه برای هر یک از پارچه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته و میانگین مقادیر هر پارامتر محاسبه شده است [۴]. پس از تعیین داده‌های اولیه، مهم‌ترین گام، تقسیم داده‌های موجود به دو مجموعه آموزش و آزمون می‌باشد. داده‌های آموزش به منظور گسترش توانایی مدل‌های پیش‌بینی و داده‌های آزمون برای ارزیابی توانایی مدل‌ها به کار گرفته می‌شوند. در این تحقیق با توجه 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 شده است.

### 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 گرفته شده‌اند و همچنین مقادیر بهینه مربوط به هر یک از آن‌ها مطابق با مدل ساده‌سازی شده در رابطه (۱۲) محاسبه گردید.

مطابق با تئوری شرح داده‌شده در فاز سوم، داده‌های پرت با استفاده از تئوری ایشیوچی 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 شده است. 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

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 این گونه از مدل‌سازی‌ها قابل اطمینان نبوده و لذا تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر آن نیز چندان منطبق بر واقعیت نیست.

لذا مدل‌سازی‌هایی که پیش از این صورت گرفته است، در این پژوهش با فازی‌سازی و غیرقطعی در نظر گرفتن ضرایب و پارامترهای شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، سعی بر مدل‌سازی روابط غیرخطی در شرایط غیرقطعی دنیای واقع شده است. در بخش بعدی، چگونگی بکارگیری روش پیشنهادی به منظور 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 شده است. در بخش بعدی، چگونگی بکارگیری روش پیشنهادی به منظور 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 شده است.

### 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  $W^* = (W_{00}^*, W_{01}^*, \dots, W_{0q}^*)$  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 در نظر 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  $C_1$  مراکز اعداد فازی مثلثی و  $a_i$  گسترش‌های اعداد فازی در نظر گرفته‌شوند، مدل نهایی به صورت رابطه (۱۰) خواهد بود؛

$$\tilde{y}_t = (a_0, c_0) + (a_1, c_1)x_1 + \dots + (a_p, c_p)x_p \quad (13)$$

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

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 و ادغام مزایای هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی پارامترهای موثر در این پژوهش، نمره نخ و میانگین طول الیاف پنبه در نظر گرفته شد.	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 موثر در 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 زبردست پارچه با روش انتخاب الگوریتم نزدیکترین همسایه	این سیستم قادر به پیش‌بینی سریع و دقیق زبردست پارچه است.
بهره 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 بافت 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 جایجایی 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.
هاتوا 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 در نظر 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 پلی‌استر 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

متغیر ورودی	خصوصیات	متغیر ورودی	خصوصیات
X <sub>12</sub>	شماره نخ پود بر حسب سیستم	X <sub>1</sub>	ترکیب پارچه. پنبه خالص
X <sub>13</sub>	وزن پارچه بر حسب گرم بر مترمربع	X <sub>2</sub>	ترکیب پارچه. ابریشم خالص
X <sub>14</sub>	ضخامت پارچه بر حسب میلی‌متر	X <sub>3</sub>	ترکیب پارچه. کتان خالص
X <sub>15</sub>	درصد فرم‌پذیری تار بر حسب میلی‌متر مربع	X <sub>4</sub>	ترکیب پارچه. پلی استر خالص
X <sub>16</sub>	درصد فرم‌پذیری پود بر حسب میلی‌متر مربع	X <sub>5</sub>	ترکیب پارچه. ۵۵٪ پلی استر ۴۵٪ پنبه
X <sub>17</sub>	درصد توسعه‌پذیری تار	X <sub>6</sub>	ساختار بافت ساده
X <sub>18</sub>	درصد توسعه‌پذیری پود	X <sub>7</sub>	ساختار بافت دوتایی
X <sub>19</sub>	سختی خمشی تار بر حسب میکرو نیوتن در متر	X <sub>8</sub>	ساختار بافت ساتن
X <sub>20</sub>	سختی خمشی پود بر حسب میکرو نیوتن در متر	X <sub>9</sub>	تراکم نخ‌ها در جهت تار در هر سانتی متر
X <sub>21</sub>	استحکام برشی بر حسب نیوتن بر متر	X <sub>10</sub>	تراکم نخ‌ها در جهت پود در هر سانتی متر
Y	متغیر هدف (رفتار و ویژگی درز پارچه)	X <sub>11</sub>	شماره نخ تار بر حسب سیستم

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

اندازه نمونه	اندازه مجموعه آموزش	اندازه مجموعه آزمون
۱۰۹	۹۴	۱۵

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، به جز 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 رقابتی‌تر شدن 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

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 به ترتیب، 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

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

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

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 پیشنهادی، 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 در تقابل 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## منابع

- Choudhry, K., "Sewability of suiting fabrics", M. Sc Thesis, University of Delhi, 1995.
- ASTM D6193-16, Standard Practice for Stitches and Seams, ASTM Internathional, WEst Conshohocken, PA, www.astm.org, 2016.
- م، شیخ زاده، م، حجازی، و ر، شکریمان. تحلیل ویسکوالاستیک پارچه های درزدار تحت بارگذاری ثابت نسبت به زمان. دولتی - وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری - دانشگاه صنعتی اصفهان - مهندسی نساجی. ۱۳۹۵.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Stylios, G. "Prognosis of sewability problems in garment manufacture using computer-based technology. in Systems Engineering", IEEE International Conference on. 1990.
- Juciènè, M. and V. Dobilaitè, "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.
- Koehl, L., J.C. Miou, and X. Zeng, "Selecting relevant features from fabric images for automated quality control of seam pucker using data analysis and human experts grading", in Computational textile, Springer. pp. 39-54, 2007.
- 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.
- Fan, J. and L. Hunter, "A worsted fabric expert system: Part I: System development". Textile Research Journal, 68(9): pp. 680-686. 1998.
- 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.
- 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.
- Lachtermacher, G. and J.D. Fuller, "Back propagation in time-series forecasting". Journal of forecasting, 14(4): pp. 381-393, 1995.
- 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.
- Reid, D.J., "Combining three estimates of gross domestic product". Economica, 35(140): pp. 431-444, 1968.
- Bates, J.M. and C.W. Granger, "The combination of forecasts". Journal of the Operational Research Society, 20(4): pp. 451-468, 1969.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Majumdar, A., "Modeling of cotton yarn hairiness using adaptive neuro-fuzzy inference system". 2010.
- 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.
- 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 Modeling 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. Najjar, 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 Forecasting". *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](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.

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

Mehdi Khashei<sup>1\*</sup> and Nesa Ahmadyar<sup>2</sup>

1&2 Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, postal code: 8415683111

## Abstract

For training the artificial neural network to accurately predict a specific parameter, several experimental results are generally needed which makes it costly and time-consuming. Hence, there is a need for developing other methods that can accurately predict based on a small number of experimental data. In this paper, a combination of artificial neural network and fuzzy regression methods was employed to develop a soft intelligent model for predicting the quality of seams in garments. The main idea of the proposed method is to simultaneously use the advantages of soft computing of fuzzy sets to achieve improved results from artificial neural networks based on a relatively small experimental dataset. The results obtained from the proposed model showed its higher performance in comparison to its constituent models as well as other existing combinational methods.

## Keywords

Multilayer Perceptron  
Neural Networks,  
Fuzzy regression,  
Hybrid models,  
Textile industry,  
Predict quality of clothing  
seam.

(\*) Address Correspondence to M. Khashei, Email: khashei@cc.iut.ac.ir