

کاربرد روش رویه پاسخ و المان محدود در بهینه‌سازی کاسه انداختن پارچه در ماشین استنتر

Application of Response Surface Methodology and FEM in Optimization Fabric Bagging Deformation In Stenter Machine

فاطمه توانگرریزی، رامین عبقری*، محمد میر جلیلی، حمید رضا امیری

یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، دانشکده مهندسی نساجی، ۸۹۱۹۵-۱۵۵

چکیده

استنتر در فرآیند تکمیل با اصلاح ساختمان فیزیکی-مکانیکی و شیمیایی پارچه سبب می‌شود تا خصوصیات لازم برای مورد مصرف نهایی لباس به پارچه داده شود. در تحقیق حاضر با اعمال شرایط شبیه‌سازی شده آزمایشگاهی و همچنین شبیه‌سازی از روش المان محدود بهینه‌سازی خواص مکانیکی پارچه در ماشین استنتر صورت گرفته است. در ابتدا با استفاده از دستگاه استنتر آزمایشگاهی آزمایش‌ها بر روی شش نمونه فاستونی (با شرایط مشابه تولید) با تغییر تاثیر دما (ناشی از دو فاکتور کشش و سرعت)، درصد الیاف و وزن پارچه با استفاده از روش طراحی آزمایش به کمک نرم‌افزار مینی‌تب غربالگری گردید سپس با استفاده روش طراحی مرکب مرکزی خواص مکانیکی استحکام تار و کاسه‌انداختن بهینه‌سازی شد، نتایج نشان داد دما، جنس ماده و وزن در سطح آماری ($sig. < 0/001$) بر استحکام و تغییر فرم کاسه‌انداختن موثر است. سپس با طراحی در نرم‌افزار تکس‌چن و انتقال طرح به نرم‌افزار آباکوس از طریق روش حل عددی المان محدود نتایج آزمایشی کاسه‌انداختن شبیه‌سازی گردید. ارتباط میان نتایج با شرایط شبیه‌سازی شده دارای ضریب تعیین بالاتر از $R^2 = 0/98$ ($sig. < 0/001$) در اکثر موارد می‌باشد که می‌تواند برای شبیه‌سازی در فرآیندهای تکمیل با استنتر مناسب باشد.

۱- مقدمه

اخیر با ظهور ماشین‌های مدرن، تکمیل کردن دست‌خوش تغییر و تحولات اساسی شده است. سرعت این ماشین‌ها بالا بوده و کارگر نیز تاثیر کمتری در کنترل دستگاه‌ها دارد. این گونه ماشین‌ها قابلیت برنامه‌ریزی بالایی برای تولید مجدد دارند که بستگی زیادی به مهارت و دانش فنی مدیران این بخش دارد [۱]. روش‌های تکمیل را می‌توان به سه دسته مختلف طبقه‌بندی نمود.

- ۱- روش‌های فیزیکی: مانند تراش پارچه، خار زدن، اطو کردن، پرس کردن و غیره.
- ۲- روش‌های شیمیایی: مانند تکمیل رزین، سفید کردن و مقاوم کردن در مقابل آتش گرفتن پارچه و غیره. در این روش‌ها معمولاً در اثر فعل و انفعالات شیمیایی حاصل

یکی از مهم‌ترین بخش‌های صنعت نساجی فرایند تکمیل پارچه است. هدف از تکمیل کردن تولید پارچه‌ای است که زیردست، ظاهر و وزن آن، مشتری (مصرف‌کننده) را به خود جلب کند. باید از حداکثر لطافتی که الیاف اجازه می‌دهد بهره گرفت. در بعضی از موارد تکمیل چنان تاثیری روی پارچه می‌گذارد که پارچه تکمیل شده قابل مقایسه با پارچه خام اولیه نیست این تغییرات بویژه بر روی پارچه‌های فاستونی تکمیل شده نسبت به سایر پارچه‌ها بیشتر محسوس است. (به همین دلیل بیان میشود ماشین بافندگی پارچه‌های فاستونی و ماشین‌های تکمیل، پارچه‌های فاستونی را شکل می‌دهند). در دهه

کلمات کلیدی

استنتر،
طراحی مرکب مرکزی،
آباکوس،
تکس‌چن،
کاسه‌انداختن

* مسئول مکاتبات، پیام نگار: Abghariramin@iauyazd.ac.ir

در بدست آوردن کیفیت پارچه و بدست آوردن زیردست مطلوب در پارچه به حساب می‌آید. این فرآیندهای تکمیل را می‌توان در (شکل ۱) مشاهده نمود.

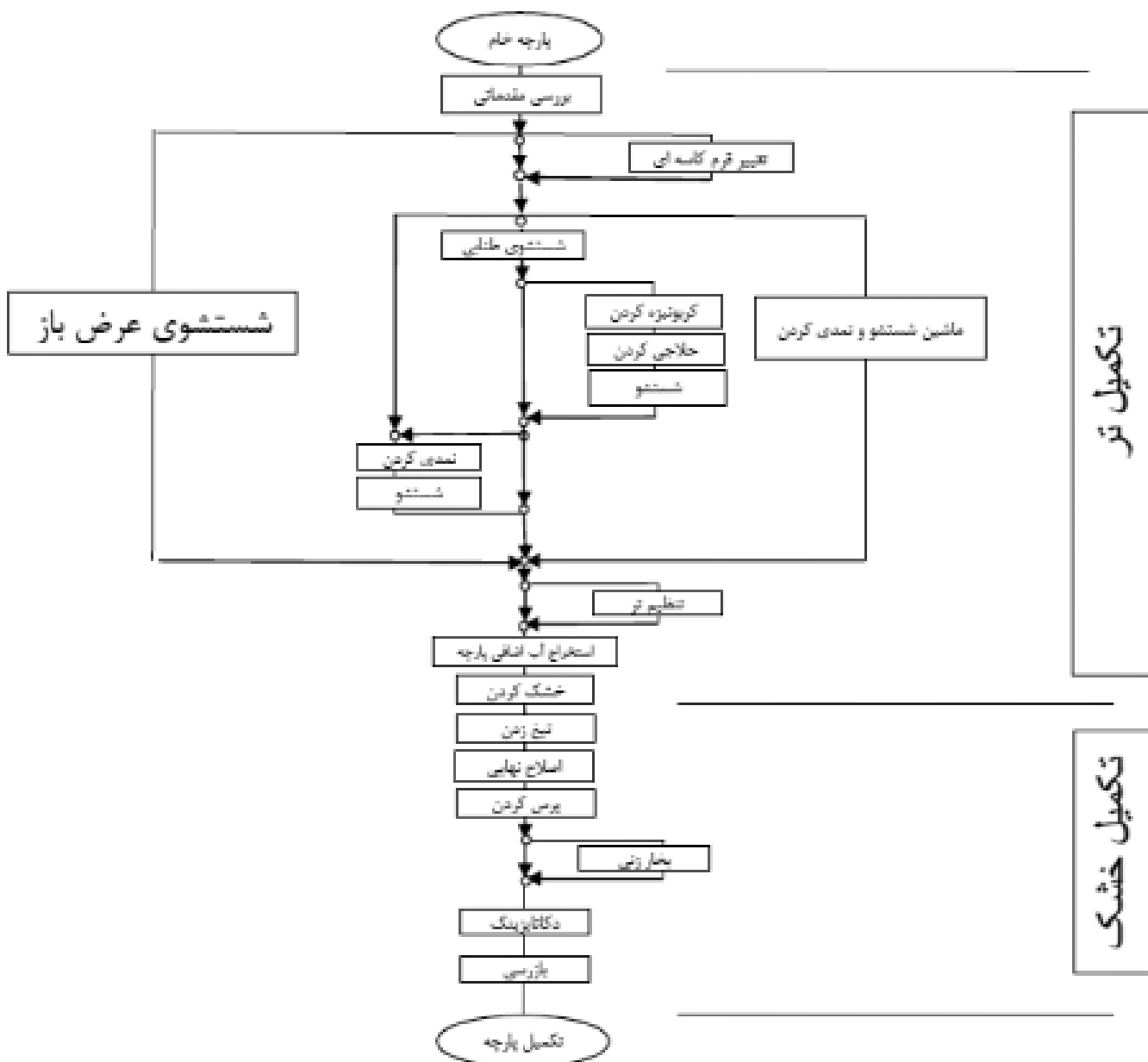
به‌طور کلی تکمیل بر روی پارچه به منظور افزایش درخشندگی، نرمی، زیبایی، ثبات دائمی، اتوپذیری و نظایر آن صورت می‌گیرد. همچنین مقاوم کردن پارچه در برابر آتش، آب و حشرات نظیر بید از دیگر اهداف تکمیل کالای نساجی است [۴].

یک از مراحل بسیار مهم تاثیرگذار در فرایندهای تکمیل خشک استنتر می‌باشد. فرآیند استنتر علی‌رغم هزینه اولیه و هزینه عملکردی بالا در حین فرآیند برای کنترل ابعادی و تثبیت حرارتی و خشک کردن و همچنین تنظیم با تنظیم ابعاد پارچه به کار گرفته می‌شود [۹-۱۵].

بین لیف و ماده شیمیایی مصرف شده عمل تکمیل به دست می‌آید و یا اینکه ماده شیمیایی مصرف شده در اثر رسوب کردن و یا اضافه شدن در روی پارچه خواص تکمیل مورد نظر را می‌دهد، که در نتیجه باعث تغییر در خواص مورد نظر پارچه می‌شود مانند آهار دادن پارچه‌های پنبه‌ای با محلول مواد پلیمری.

۳- روش‌های مکانیکی-شیمیایی: در این حالت از روش‌های مکانیکی و شیمیایی به‌طور توأم بهره گرفته می‌شود مانند بشور و بپوش کردن پارچه و یا تثبیت حرارتی پارچه.

برای بدست آوردن خواص ظاهری پارچه مراحل مختلفی بر روی پارچه صورت می‌گیرد که آنها را می‌توان به دو دسته تکمیل مرطوب و تکمیل خشک طبقه‌بندی نمود. البته تکمیل خشک مرحله اساسی



شکل ۱- فرآیند تکمیل [۲]

نمایش در آورد [۲].

همانطور که مشاهده می‌گردد انرژی مصرفی مفید در این ماشین ۳۱٪ است که می‌توان مقدار آن را تا ۴۵٪ افزایش داد. در عمل شرایط کاهش عرض پارچه، کاهش سرعت حرکت پارچه و خشک بودن پارچه در مصرف انرژی مصرفی تاثیر دارد که نمونه‌ای از آن در ادامه آمده است.

مقدار آب استخراج شده در ساعت ماشین استنتر می‌تواند از رابطه (۱) محاسبه گردد:

$$WA = \frac{Hmv}{1,000} * 60 * \frac{(Ri - Ru)}{100} \text{ Kg/h} \quad (1)$$

در این رابطه:

H عرض پارچه (متر)

m وزن متر مربع پارچه (گرم/متر مربع)

R_i مقدار رطوبت بازیافتی پارچه در لحظه ورودی (٪)

R_u مقدار رطوبت بازیافتی پارچه در لحظه خروجی (٪)

v سرعت تولید (متر/دقیقه)

مقدار تولید پارچه خشک در ساعت از رابطه (۲) می‌تواند محاسبه گردد:

$$w_m = \frac{H * m * v}{1,000} * 60 \text{ Kg/hr} \quad (2)$$

مقدار حرارت مصرفی بر حسب کیلوکالری بر کیلوگرم پارچه از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$X_f = \frac{X_1 * G + 1,000 * W_A}{G} \quad (3)$$

G میزان دبی هوای خروجی (کیلوگرم/ساعت)

X_1 رطوبت نسبی هوای ورودی (گرم/کیلوگرم)

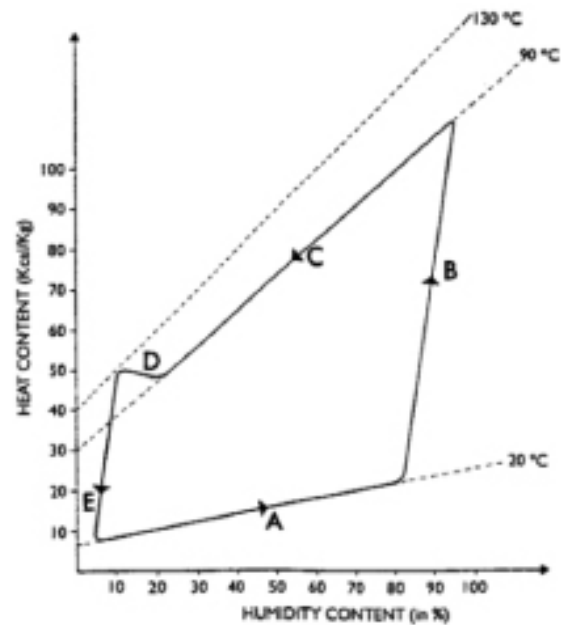
X_2 رطوبت نسبی هوای خروجی (گرم/کیلوگرم)

T_1 دمای هوای ورودی (درجه سانتی‌گراد)

T_2 دمای هوای خروجی (درجه سانتی‌گراد)

C_a حرارت مخصوص هوا (۰/۲۴ کیلوکالری/کیلوگرم درجه سانتی‌گراد)
ماشین‌های استنتر در دو نوع یک‌لایه و چندلایه همانند (شکل ۴) به کار گرفته می‌شود [۲].

استنتر جهت حرارت دادن و حذف رطوبت از پارچه می‌بایستی انرژی زیادی را مصرف نماید. امروزه گاز طبیعی به عنوان سوخت جایگزین برای گرم کردن هوای داخل استنتر به کار می‌رود. برنامه‌ریزی‌های دقیق برای استفاده از منابع انرژی در این فرایند، به طور مستقیم بر کاهش هزینه‌های تولیدی در بخش تکمیل نساجی اثر می‌گذارد [۱۰-۱۳]. در این فرایند بیش از ۵۰٪ از کل حرارت ایجاد شده از طریق هوای گرم خروجی در جو تخلیه می‌شود [۱۴]. از این هوای گرم می‌توان برای ذخیره انرژی گرمایی استفاده نمود تا میزان مصرف انرژی (گاز طبیعی) برای خشک کردن در استنتر کاهش داد [۱۱]. تاثیراتی که استنتر روی پارچه ایجاد می‌کند مشخص کننده‌ی این است که کشش و حرارت همزمان



Relationship between moisture and heat content in a drying cycle.

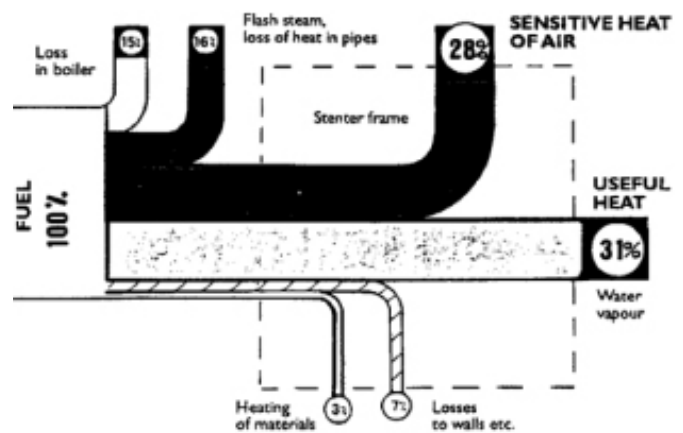
شکل ۲- ارتباط بین مقدار رطوبت و دما در یک چرخه خشک کن [۲]

توجه به استنتر و بدست آوردن شرایط بهینه آن از اهداف اصلی در تحقیق حاضر است.

۲- ماشین استنتر

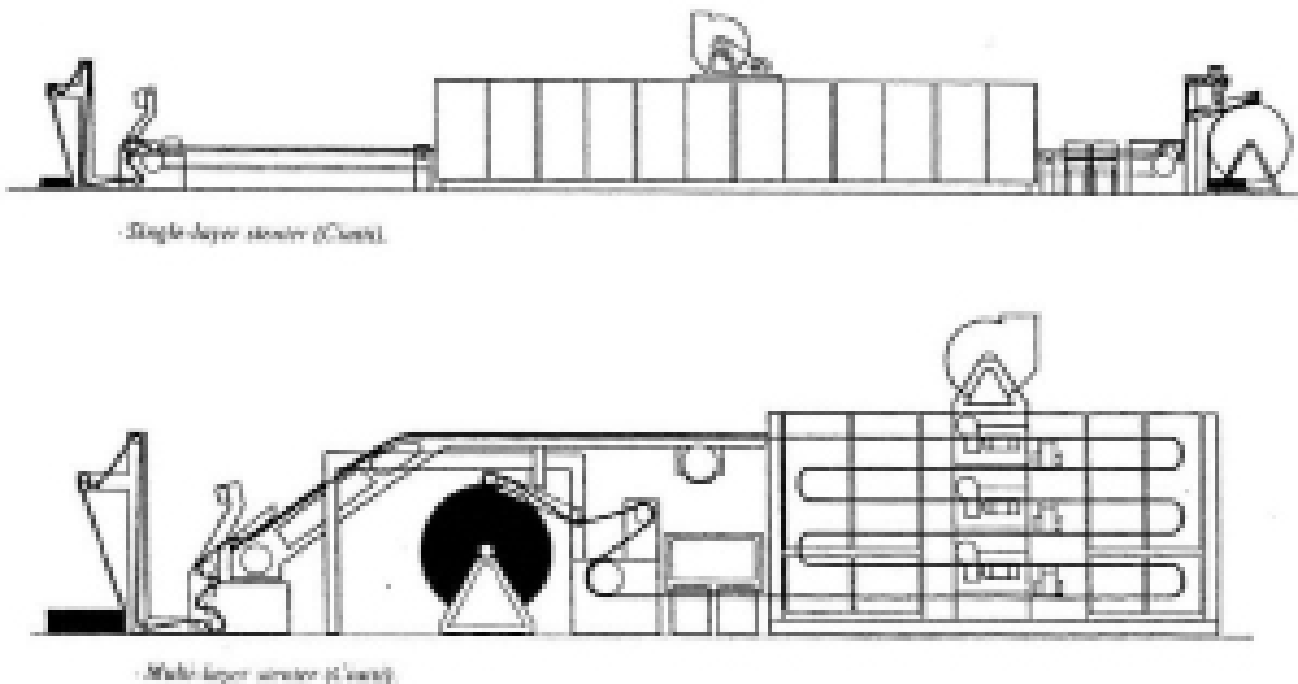
خشک کردن پارچه معمولاً در ماشینی به نام استنتر انجام می‌گردد که معمولاً جریان هوای داغ برعکس سطح پارچه حرکت می‌نماید رطوبت موجود تا جایی کاهش می‌یابد که خواسته شده باشد. معمولاً مراحل خشک کردن و تغییرات شرایط رطوبتی مشابه (شکل ۲) صورت می‌گیرد.

یکی از مسائل مهم در استنتر مقدار انرژی مصرفی است که بر حسب کیلوکالری بر کیلوگرم آب بخار شده محاسبه می‌شود. مقدار انرژی موارد مختلف از ۱۰۰٪ انرژی سوخت را می‌توان در (شکل ۳) به



Thermal efficiency in a drying process.

شکل ۳- راندمان حرارتی در یک فرآیند خشک کردن [۲]



شکل ۴- استنتر تک‌لایه و چندلایه [۲]

می‌گردد [۱۹]. تحقیقات مشابه برای حل مسائل پیچیده و شبیه‌سازی مواد در فرآیندهای مختلف صنعت نساجی از روش‌های شبیه‌سازی عددی المان محدود صورت گرفته است [۲۰-۲۶].

در رابطه با پارچه می‌توان به تحقیقات سان و همکاران [۲۲] (۲۰۱۲) به روش اجزای محدود جهت شبیه‌سازی سوراخ شدن پارچه، وانگ و همکاران [۲۳]، به بررسی شکل ظاهری لبه‌های پارچه در نقاط پاره شدن، لین و همکاران (۲۰۱۶) که مبادرت به بررسی و شبیه‌سازی رفتار مکانیکی پارچه‌های تار-پودی با استفاده از روش اجزای محدود نمودند [۲۴]. همچنین رفتار کششی و خمشی پارچه‌های تار-پودی به روش اجزای محدود توسط انگویان و همکاران که در مطالعه خود از نظریه تغییر شکل برشی یک سویه برای شبیه‌سازی استفاده نمودند. عبقری و همکاران (۲۰۱۶) با کمک شبیه‌سازی عددی به روش اجزای محدود به مطالعه رفتار کاسه‌انداختن پارچه‌های حلقوی پودی پرداختند. تغییر شکل کاسه‌انداختن پارچه شبیه‌سازی شده و نتایج با اندازه‌گیری‌های تجربی مقایسه شدند. یافته‌ها حاکی از آن بود که هر دو مدل را می‌توان برای پیش‌بینی رفتار تغییر شکل کاسه‌انداختن پارچه‌های حلقوی پودی استفاده نمود [۲۵]. لین و همکاران رفتار برشی پارچه‌های بافته شده را با استفاده از روش المان محدود مدل‌سازی کردند. آنها معتقد بودند که می‌تواند برای پیش‌بینی دقیق‌تر نیروی برشی در تغییر شکل‌های بزرگ، شرایط مرزی را تعیین کند [۲۶].

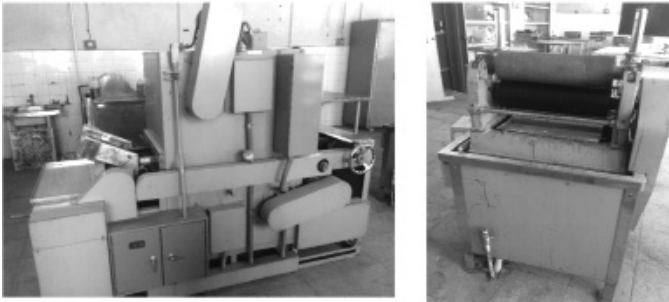
هدف اصلی در این پژوهش بررسی رفتار مکانیکی پارچه در مرحله استنتر پارچه می‌باشد. تا با ارائه شرایط شبیه‌سازی شده، پیشنهاد برای بهینه‌سازی در این ماشین که امکان تغییر شرایط آن به سادگی امکان ندارد و مستلزم هزینه بالایی است صورت پذیرد.

تغییری بر خواص فیزیکی پارچه خواهد داشت. اما این امر با صرف انرژی زیاد همراه است. در بخش تکمیل بیش از ۷۰٪ از انرژی بصورت گرما استفاده می‌شود. فرآیندهای خشک کردن یکی از فرآیندهای پرمصرف از نظر انرژی در صنعت نساجی است، که ماشین استنتر بیشترین انرژی را برای خشک کردن و حذف رطوبت از پارچه مصرف می‌کند [۱۴].

۳- شبیه‌سازی فرآیند استنتر با المان محدود

با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه نرم‌افزاری، تحقیقات مختلفی در زمینه مدل‌سازی رفتار فیزیکی-مکانیکی منسوجات صورت گرفته است [۱۵]. این مدل‌سازی‌ها نیاز به انجام آزمایش‌های تجربی را به منظور کاهش هزینه‌های سنگین آزمایشگاهی کاهش می‌دهند. امروزه از روش‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی و تحلیل مهندسی و متعاقباً پیش‌بینی‌های کامپیوتری بوجود آمده است [۱۶]. در این بین، یکی از روش‌های پیش‌بینی به منظور تحلیل مسائلی با محدوده‌های بسیار پیچیده استفاده از روش حل عددی المان‌های محدود (FEM) می‌باشد [۱۷].

در روش اجزای محدود، یک مسئله پیچیده از طریق جایگزینی آن با یک مدل ساده‌تر حل می‌گردد. در این روش، ناحیه مورد نظر به صورت مجموعه‌ای از زیر ناحیه‌های کوچک متصل به هم، به نام المان و یا سلول واحد در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. از این رو می‌توان در ابعاد ماکرو یک مدل را ساده‌تر مورد بررسی قرار داد. به عنوان نمونه در بررسی منسوجات یک راپورت بافت از منسوج در روش المان محدود طراحی شده و سپس باتوجه به خواص الیاف و نخ به کار برده شده و اعمال شرایط مرزی موردنیاز خصوصیت مکانیکی منسوج بررسی



شکل ۵- (a) دستگاه استنتر آزمایشگاهی (b) فولارد آزمایشگاهی

بیان شده است. شرایط پارچه‌ها بر اساس رایج‌ترین طرح بافت‌های پارچه‌های فاستونی برای تمام نمونه‌ها استفاده گردید. نمونه‌ها به صورت آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه فولارد آزمایشگاهی تحت عملیات شستشو و خشک کردن واقع شدند (نتایج برای مقایسه با دستگاه استنتر واقعی در خط تولید در ماشین استنتر (مونتکس ۵۰۰۰) کارخانجات گل‌نثار مقایسه گردید و نظر کارشناسان تطابق فرایندها بود) دستگاه استنتر آزمایشگاهی ساخت شرکت Tsujii Dyeing Machine MFG.Co.Ltd (شکل ۵) بود.

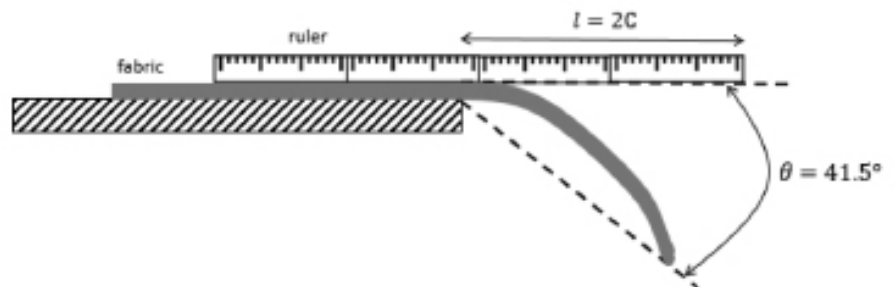
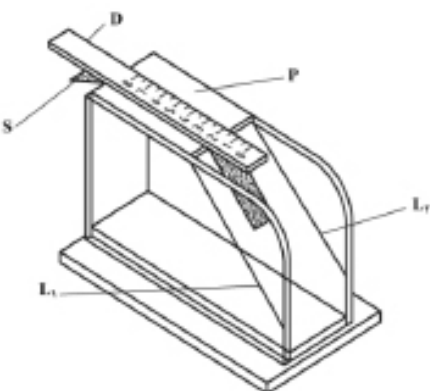
دامنه تغییر شرایط بر اساس (جدول ۲) مورد توجه قرار گرفت. این نمونه‌ها از مراحل مختلف تکمیل پارچه در فرایند تولید نظیر ماشین‌های شستشو و خشک‌کن عبور داده شده بودند و سپس با شرایط متفاوت استنتر تهیه شدند.

۶- نمونه‌گیری

تعداد نمونه‌ها (عرض ۳۰ سانتیمتر و طول دو متر) بر اساس (رابطه ۴) به صورت تصادفی از نمونه‌های اصلی بدست آمدند n: تعداد نمونه، Z شاخص توزیع نرمال، σ انحراف معیار و d خطای مجاز مورد انتظار

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha/2})^2 \sigma^2}{d^2} \quad (4)$$

سپس بر اساس (جدول ۲) نمونه‌ها در دستگاه‌های آزمایشگاهی مطابق (شکل ۵) آزمایش شدند.



شکل ۶- دستگاه اندازه‌گیری خمش پارچه (شرلی)

جدول ۱- مشخصات پارچه فاستونی مورد استفاده

کد	مواد	وزن	تراکم بود	تراکم تار	نمره نخ تار و بود	پارچه فاستونی (پشم/پلی استر)
A	M ^۱	۳۷۵	۲۲	۲۰	۲/۴۵	۹۰/۱۰
B		۳۶۵	۲۱	۲۱	۲/۴۵	۹۰/۱۰
C	M ^۲	۳۷۵	۲۲	۲۰	۲/۴۶	۸۰/۲۰
D		۳۶۵	۲۱	۲۱	۲/۴۶	۸۰/۲۰
E	M ^۳	۳۸۰	۲۲	۲۰	۲/۵۶	۵۵/۴۵
F		۳۶۰	۲۱	۲۱	۲/۵۶	۵۵/۴۵

جدول ۲- دامنه تغییر شرایط

استنتر	ماده	دما (°C)	وزن (gr/m2)
خشک کن	M ^۱	۱۳۵-۱۶۵	۳۶۰-۳۸۰
فیکسه	M ^۲	۱۷۰-۱۹۵	۳۶۰-۳۸۰
نرم کن	M ^۳	۱۳۵-۱۶۵	۳۶۰-۳۸۰

۴- روش تحقیق

در این تحقیق برای داشتن شرایط ثابت آزمایشی ابتدا تعداد شش نمونه پارچه فاستونی با ماشین بافندگی سولزر روتی کارخانجات بافندگی گل‌نثار بافته شد. سپس نمونه‌های بافته شده توسط آزمایش‌های فیزیکی-مکانیکی مختلفی شامل: آزمایش خمش، بازگشت از چروک، نفوذپذیری هوا، استحکام و کاسه‌انداختن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با تغییر دمای استنتر، جنس ماده و وزن پارچه به کمک طراحی آزمایش عوامل موثر غربال‌گری گردید سپس این نمونه‌ها در ماشین استنتر آزمایشگاهی با شرایطی مشابه استنتر واقعی توسط روش طراحی مرکب مرکزی با کمک نرم‌افزار آماری مینی‌تب بهینه‌سازی گردید. این شبیه‌سازی همچنین با کمک نرم افزارهای المان محدود شبیه‌سازی گردید که در ادامه به شرح آن پرداخته خواهد شد.

۵- مواد و روش‌ها

مشخصات ۶ نمونه پارچه فاستونی (پشم پلی استر) در (جدول ۱)

انجام شد. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد رطوبت و حرارتی قرار گرفتند (دمای 20 ± 2 سانتیگراد و رطوبت 65 ± 2) نمونه بر اساس ابعاد استاندارد به صورت پشت و رو در جهت تاری و پودی آزمایش گردید. نتایج آزمایش‌ها در (جدول ۴) آورده شده است.

۷-۳- آزمایش اندازه گیری نفوذپذیری پارچه در مقابل هوا
طبق استاندارد (ASTM-D737) نمونه‌های پارچه جهت آزمایش (شکل ۸) تهیه گردید. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد رطوبت و حرارتی قرار گرفتند (دمای 20 ± 2 سانتیگراد و رطوبت 65 ± 2) نمونه بر اساس از سایزهای دستگاه (۱۰۰ سانتیمتر مربع) آزمایش گردید. نتایج آزمایش‌ها در (جدول ۵) آورده شده است.

۷-۱- آزمایش‌های فیزیکی - مکانیکی پارچه

۷-۱-۱- آزمایش اندازه گیری مقاومت خمشی پارچه
در این پژوهش آزمایش خمش (شکل ۶) طبق استاندارد (ASTM-D 6828) انجام شد. نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش به مدت ۲۴ ساعت در شرایط استاندارد رطوبت و حرارتی قرار گرفتند (دمای 20 ± 2 سانتیگراد و رطوبت 65 ± 2) نمونه بر اساس ابعاد استاندارد به صورت پشت و رو در جهت تاری و پودی آزمایش گردید. نتایج آزمایش‌ها در (جدول ۳) آورده شده است.

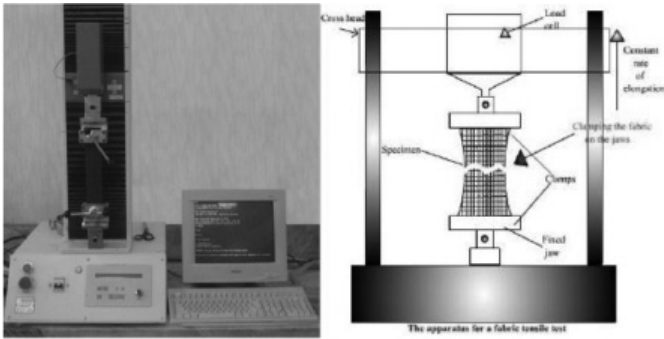
۷-۲- آزمایش اندازه گیری بازگشت از چروک پارچه
آزمایش چروک‌پذیری (شکل ۷) بر طبق استاندارد (ASTM-D 3390)

جدول ۳- نتایج آزمایش خمش پارچه در شرایط مختلف استنتر

		استنتر نرم (تار)		استنتر فیکس (پود)		استنتر خشک (تار)	
		استنتر (پود)	انحراف معیار	استنتر (پود)	انحراف معیار	استنتر (تار)	انحراف معیار
A	میانگین	۱/۵۹	۰/۳۶	۱/۷	۰/۱۸	۱/۸۷	۱/۹۹
	انحراف معیار			۰/۴۱	۰/۱۸	۱/۱۰	۰/۳۳
B	میانگین	۱/۵۱	۰/۵۲	۱/۷۶	۰/۳۴	۱/۵۳	۲/۰۰
	انحراف معیار			۰/۴۵	۰/۳۴	۱/۳۳	۷/۱۰
C	میانگین	۱/۶۹	۰/۰۲	۱/۵۳	۰/۳۴	۱/۸۲	۱/۸۴
	انحراف معیار			۱/۱۲	۰/۳۴	۱/۷۵	۱/۳۵
D	میانگین	۱/۷۳	۰/۰۶	۱/۹۹	۰/۱۸	۱/۷۷	۱/۸۵
	انحراف معیار			۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۱۵
E	میانگین	۱/۳۹	۰/۲۴	۱/۶۳	۰/۱۹	۱/۹۲	۱/۵۵
	انحراف معیار			۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۷
F	میانگین	۱/۶۷	۰/۳۳	۱/۸۶	۰/۱۳	۱/۴۱	۱/۷۶
	انحراف معیار			۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۳۷	۰/۱۸

جدول ۴- نتایج آزمایش بازگشت از چروک پارچه در شرایط مختلف استنتر

		استنتر نرم (پود)		استنتر فیکس (پود)		استنتر خشک (تار)	
		استنتر (پود)	انحراف معیار	استنتر (پود)	انحراف معیار	استنتر (تار)	انحراف معیار
A	میانگین	۱۶۶/۵	۹/۳	۱۵۳/۳	۱۲/۲	۱۶۴/۴	۱۳۹/۶
	انحراف معیار			۱۲/۲	۱۲/۲	۱۲/۰	۱۶/۶
B	میانگین	۱۳۹/۹	۱۲/۴	۱۶۷/۵	۱۲/۸	۱۵۸/۰	۱۷۱/۸
	انحراف معیار			۱۹/۴	۱۲/۸	۱۰/۳	۳/۸
C	میانگین	۱۷۳/۷	۱۱/۰	۱۶۴/۷	۱۴/۱	۱۴۴/۰	۱۵۷/۰
	انحراف معیار			۱۳/۳	۱۴/۱	۱۰/۵	۷/۵
D	میانگین	۱۶۹/۷	۱۲/۶	۱۵۳/۷	۱۰/۴	۱۵۳/۰	۱۵۲/۰
	انحراف معیار			۶/۹	۱۰/۴	۱۴/۷	۹/۴
E	میانگین	۱۴۵/۲	۴/۳	۱۶۱/۰	۱۰/۳	۱۶۶/۰	۱۵۶/۰
	انحراف معیار			۱۲/۳	۱۰/۳	۱۲/۲	۱۰/۳
F	میانگین	۱۶۲/۴	۶/۴	۱۷۱/۱	۷/۷	۱۷۲/۲	۱۵۸/۵
	انحراف معیار			۱۰/۲	۷/۷	۱۰/۷	۱۱/۷



شکل ۹- دستگاه استحکام سنج CRE

۷-۴- آزمایش اندازه گیری استحکام

میزان استحکام (شکل ۹) طبق استاندارد (5035ASTM-D) اندازه‌گیری شدند. در این نمودارها که میانگین نتایج خواص استحکام ۶ نمونه پارچه (جدول ۶) فاستونی ذکر شده می‌باشد.

۷-۵- آزمایش کاسه‌انداختن

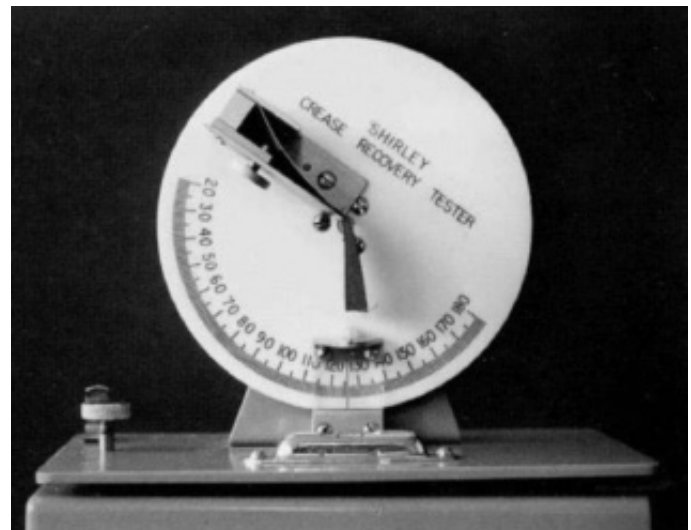
میزان کاسه‌انداختن (شکل ۱۰) بر اساس آزمایش‌های زانگ و توجه به شاخصهای مقاله عبقری و همکاران اندازه‌گیری شدند [۲۷-۳۹]. در این نمودارها که میانگین نتایج خواص کاسه‌انداختن ۶ نمونه پارچه فاستونی (جدول ۷) ذکر شده می‌باشد.

۶- بهینه‌سازی شرایط استنتر

ابتدا عملیات غربالگری فاکتورهای موثر انجام شد سپس بعد از مشخص کردن فاکتورهایی که بیشترین تاثیر را دارند اقدام به بهینه‌سازی شرایط استنتر گردید. بهینه‌سازی شرایط استنتر بر اساس تغییرات دمای استنتر، جنس پارچه و وزن موثر بر کاسه‌انداختن پارچه‌های فاستونی صورت گرفت. به منظور بهینه‌سازی شرایط یاد شده، روش سطح پاسخ استفاده

جدول ۶- نتایج آزمایش استحکام پارچه در شرایط مختلف استنتر

		استنتر		
		استنتر خشک (تار)	استنتر فیکس (تار)	استنتر نرم (تار)
A	میانگین	۸۳۵/۲	۶۶۸/۷	۷۶۴/۸
	انحراف معیار	۲۲/۰	۱۰/۳	۱۲/۱
B	میانگین	۷۹۲/۵	۵۹۹/۵	۷۱۰/۵
	انحراف معیار	۱۵/۳	۸/۰	۱۷/۲
C	میانگین	۹۵۹/۰	۶۶۰/۵	۷۵۵/۴
	انحراف معیار	۱۸/۳	۱۰/۶	۲۲/۳
D	میانگین	۹۲۲/۰	۵۷۷/۵	۶۹۶/۱
	انحراف معیار	۲۰/۳	۱۰/۵	۳۲/۲
E	میانگین	۳۹۸/۲	۳۲۵/۷	۳۹۸/۲
	انحراف معیار	۱۲/۶	۱۶/۶	۲۰/۸
F	میانگین	۳۲۴/۷	۳۶۵/۵	۳۲۲/۴
	انحراف معیار	۲۶/۹	۷/۲	۱۵/۸



شکل ۷- دستگاه اندازه گیری زاویه بازگشت از چروک‌پذیری پارچه



شکل ۸- دستگاه نفوذ پذیری هوا

جدول ۵- نتایج آزمایش نفوذ پذیری هوا پارچه در شرایط مختلف استنتر

		استنتر			استنتر نرم
		استنتر خشک	استنتر فیکس	استنتر خشک	
A	میانگین	۱۵/۹	۱۷/۰	۱۹/۲	
	انحراف معیار	۰/۲	۱/۵	۰/۷	
B	میانگین	۲۰/۸	۱۳/۲	۱۷/۳	
	انحراف معیار	۲/۱	۲/۱	۲/۰	
C	میانگین	۷/۹	۱۵/۴	۱۴/۹	
	انحراف معیار	۱/۵	۳/۴	۲/۲	
D	میانگین	۸/۲	۸/۳	۱۰/۰	
	انحراف معیار	۱/۱	۱/۳	۱/۳	
E	میانگین	۱۵/۵	۱۷/۶	۱۸/۸	
	انحراف معیار	۱/۲	۱/۶	۱/۸	
F	میانگین	۱۳/۴	۱۶/۵	۱۷/۶	
	انحراف معیار	۱/۸	۱/۰	۲/۰	



شکل ۱۰ - شماتیک دستگاه کاسه‌انداختن

جدول ۷- نتایج آزمایش کاسه‌انداختن پارچه در شرایط مختلف استنتر

		استنتر خشک (نار)	استنتر فیکس (نار)	استنتر نرم (نار)
A	میانگین	۶۷۲/۱	۷۱۰/۷	۴۸۳/۵
	انحراف معیار	۲۱/۳	۲۲/۳	۱۳/۰
B	میانگین	۵۸۵/۱	۶۲۹/۲	۳۴۰/۱
	انحراف معیار	۲۲/۱	۲۸/۷	۲۲/۷
C	میانگین	۴۵۷/۹	۶۲۶/۲	۳۶۰/۲
	انحراف معیار	۲۱/۶	۲۲/۳	۱۹/۱
D	میانگین	۳۶۶/۹	۵۸۵/۲	۳۳۴/۹
	انحراف معیار	۱۹/۷	۱۳/۱	۳۲/۹
E	میانگین	۲۹۹/۶	۳۶۷/۲	۲۸۱/۷
	انحراف معیار	۱۰/۸	۲۱/۷	۱۹/۶
F	میانگین	۲۳۸/۲	۳۲۷/۶	۲۴۹/۲
	انحراف معیار	۱۸/۲	۱۷/۸	۲۵/۰

جدول ۹-آزمون‌های طراحی شده به منظور بهینه‌سازی شرایط دستگاه استنتر جهت بررسی خواص فیزیکی-مکانیکی پارچه‌های فاستونی عبور داده شده از استنتر در مرحله خشک کن

ردیف	دما	وزن	ماده	استحکام	کاسه‌انداختن
۱	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	C	۳۹۵/۹۱	۳۰۴/۳۱
۲	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	C	۳۶۴/۴۴	۲۴۴/۹۱
۳	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	A	۸۳۱/۰۹	۶۸۰/۳۴
۴	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۷۹۰/۲۴	۵۹۱/۳۲
۵	۱۵۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۷۱/۲۷	۲۶۲/۲۷
۶	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۳۸۶/۴۱	۲۸۶/۴۲
۷	۱۵۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۹۳۱/۶۵	۳۹۲/۱۲
۸	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۷۹۹/۳۲	۶۴۲/۹۱
۹	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	B	۹۸۲/۴۴	۴۸۴/۷۱
۱۰	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۹۲۴/۴۲	۳۷۰/۶۷
۱۱	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۹۴۸/۰۲	۴۱۳/۴۹
۱۲	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	A	۸۶۰/۴۸	۶۹۳/۳۹
۱۳	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	C	۳۰۶/۷۱	۲۳۳/۷۶
۱۴	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۳۷۱/۳۱	۲۶۱/۰۷
۱۵	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۸۰۶/۴۸	۶۷۳/۰۸
۱۶	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	B	۹۱۱/۷۶	۳۵۹/۸۳
۱۷	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	A	۷۹۵/۸۴	۵۷۶/۳۸
۱۸	۱۵۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۷۹۸/۶۰	۶۱۱/۷۲
۱۹	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	B	۹۶۵/۴۶	۴۵۷/۵۲
۲۰	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	A	۷۶۸/۷۳	۵۵۹/۱۱
۲۱	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۹۴۱/۵۳	۴۰۷/۵۰
۲۲	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	C	۴۱۶/۳۷	۳۱۱/۷۱
۲۳	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۹۶/۳۱	۲۹۶/۱۲
۲۴	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	B	۸۹۷/۰۹	۳۴۵/۱۶

شده است. [۴۶-۴۰] در واقع به کمک این روش آماری و با حداقل تعداد آزمایش‌ها، اثرات همزمان سه متغیر مستقل موثر بر خواص ذکر شده پارچه بررسی شده است. سطوح متغیرهای مستقل انتخاب شده در (جدول ۸) آورده شده‌اند.

طراحی آزمون، تجزیه و تحلیل آماری و مدل‌سازی ریاضی با استفاده از نرم‌افزار مینیتی‌تب صورت گرفت. با معرفی متغیرها و دامنه مورد مطالعه آن‌ها در نرم‌افزار، ۲۴ آزمون جهت بهینه‌سازی شرایط استنتر خشک‌کن، فیکس و نرم‌کن پارچه‌ها با بیشترین ضریب آزمون‌ها پیشنهاد گردید (جدول ۹-۱۰-۱۱).

به منظور تثبیت ابعادی پارچه‌های فاستونی در شرایط بهینه، نمونه پارچه به میزان ۲ سانتی‌متر از دو طرف کشش داده شده و با کمک سوزن‌های دو طرف نوار متحرک ابتدا تثبیت شد سپس از میان دستگاه استنتر عبور داده شد.

جدول ۸- متغیرهای مستقل تاثیرگذار محیط استنتر بر خصوصیات فیزیکی مکانیکی و سطوح مورد مطالعه آن‌ها

مولفه	نماد	واحد	سطح				
			α	-1	0	1	α
دما	C°	A	۱۳۶	۱۴۰	۱۴۷	۱۵۵	۱۵۹
وزن	gr/m ²	B	۳۶۲	۳۶۵	۳۷۰	۳۷۵	۳۷۷
مواد	C			A	B	C	

مولفه	نماد	واحد	سطح				
			α	-1	0	1	α
دما	C°	A	۱۷۱	۱۷۵	۱۸۲	۱۹۰	۱۹۳
وزن	gr/m ²	B	۳۶۲	۳۶۵	۳۷۰	۳۷۵	۳۷۷
مواد	C			A	B	C	

جدول ۱۱- آزمون‌های طراحی شده به منظور بهینه‌سازی شرایط دستگاه استنتر جهت بررسی خواص فیزیکی-مکانیکی پارچه‌های فاستونی عبور داده شده از استنتر در مرحله نرم کن

ردیف	دما	وزن	ماده	استحکام	کالمانداختن
۱	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	C	۳۹۵/۹۱	۲۹۱/۹۱
۲	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	C	۳۱۷/۲۴	۲۱۵/۳۲
۳	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	A	۷۷۰/۷۸	۴۹۰/۶۱
۴	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۷۰۵/۹۰	۳۳۹/۸۲
۵	۱۵۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۴۲/۰۵	۲۵۸/۰۴
۶	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۳۶۶/۶۹	۲۵۹/۲۶
۷	۱۵۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۷۱۵/۷۰	۳۲۸/۷۴
۸	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۷۳۸/۰۴	۴۶۷/۴۵
۹	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	B	۷۷۸/۶۹	۳۸۱/۰۳
۱۰	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۷۰۹/۹۶	۳۱۰/۴۵
۱۱	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۷۴۱/۵۱	۳۵۲/۷۵
۱۲	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	A	۷۷۶/۱۵	۴۹۷/۰۲
۱۳	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	C	۳۰۵/۸۲	۲۰۲/۴۹
۱۴	۱۵۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۳۲۹/۲۷	۲۴۱/۲۶
۱۵	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۷۶۵/۵۲	۳۷۹/۱۲
۱۶	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	B	۶۹۵/۱۷	۳۰۳/۱۸
۱۷	۱۳۶/۸۹	۳۷۰/۰۰	A	۷۰۲/۰۹	۴۰۷/۳۵
۱۸	۱۵۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۷۳۶/۰۱	۳۵۲/۱۸
۱۹	۱۴۷/۵۰	۳۶۲/۹۲	B	۷۷۳/۲۸	۳۶۹/۶۲
۲۰	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	A	۶۹۸/۲۶	۳۹۵/۳۳
۲۱	۱۴۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۷۲۸/۳۷	۳۳۷/۳۴
۲۲	۱۴۷/۵۰	۳۷۷/۰۷	C	۴۴۶/۱۰	۲۹۸/۳۶
۲۳	۱۴۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۸۶/۲۳	۲۷۱/۳۷
۲۴	۱۵۸/۱۰	۳۷۰/۰۰	B	۶۶۳/۸۷	۳۹۷/۹۶

جدول ۱۰- آزمون‌های طراحی شده به منظور بهینه‌سازی شرایط دستگاه استنتر جهت بررسی خواص فیزیکی-مکانیکی پارچه‌های فاستونی عبور داده شده از استنتر در مرحله فیکس

ردیف	دما	وزن	ماده	استحکام	کالمانداختن
۱	۱۹۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۶۰۲/۴۸	۶۶۴/۰۷
۲	۱۹۳/۱۰	۳۷۰/۰۰	C	۳۵۲/۹۱	۳۵۲/۳۲
۳	۱۷۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۶۶۷/۱۳	۶۷۸/۹۸
۴	۱۷۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۷۶/۰۹	۴۱۱/۲۱
۵	۱۸۲/۵۰	۳۶۸/۹۲	C	۳۹۷/۲۶	۳۶۵/۱۲
۶	۱۸۲/۵۰	۳۶۲/۹۲	A	۶۵۶/۲۹	۶۸۱/۱۹
۷	۱۷۱/۸۹	۳۷۰/۰۰	B	۶۷۴/۳۸	۶۳۸/۶۳
۸	۱۷۱/۸۹	۳۷۰/۰۰	C	۳۵۷/۵۷	۴۱۹/۱۴
۹	۱۷۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	A	۶۹۰/۱۹	۷۳۹/۱۲
۱۰	۱۹۳/۱۰	۳۷۰/۰۰	A	۶۰۰/۶۷	۳۶۵/۷۸
۱۱	۱۷۱/۸۹	۳۷۰/۰۰	A	۶۸۱/۵۵	۷۱۶/۸۲
۱۲	۱۹۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	A	۵۹۷/۲۴	۶۱۸/۸۹
۱۳	۱۹۳/۱۰	۳۷۰/۰۰	B	۵۷۸/۰۸	۵۸۶/۲۰
۱۴	۱۸۲/۵۰	۳۷۷/۰۷	C	۴۴۲/۷۲	۳۷۱/۷۱
۱۵	۱۸۲/۵۰	۳۶۲/۹۲	B	۶۴۸/۲۸	۵۹۶/۳۹
۱۶	۱۹۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	C	۳۶۵/۶۰	۳۳۷/۸۲
۱۷	۱۷۵/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۶۷۹/۰۴	۶۴۸/۴۴
۱۸	۱۸۲/۵۰	۳۷۷/۰۷	A	۶۷۱/۳۴	۶۹۹/۱۳
۱۹	۱۷۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۴۴۰/۱۱	۳۹۶/۱۶
۲۰	۱۹۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	C	۳۴۸/۱۸	۳۱۱/۲۱
۲۱	۱۷۵/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۶۵۹/۲۴	۵۹۷/۶۳
۲۲	۱۹۰/۰۰	۳۷۵/۰۰	B	۵۸۳/۳۴	۵۸۷/۶۱
۲۳	۱۸۲/۵۰	۳۷۷/۰۷	B	۶۶۱/۱۱	۶۲۰/۶۱
۲۴	۱۹۰/۰۰	۳۶۵/۰۰	B	۵۷۲/۵۴	۵۸۱/۸۴

۷- نتایج بهینه سازی استحکام به روش سطح پاسخ

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ برای آزمایش استحکام در (جدول ۱۲) مرحله استنتر خشک کن آورده شده است. مقدار $p\text{-value} < 0.05$ در جدول ANOVA نشان دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر استحکام پارچه می‌باشد.

مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Weigth و Material تاثیر توأم عمل Temp تاثیرگذار بر استحکام پارچه در شرایط استنتر خشک کن هستند. همچنین تاثیر توأم عامل‌های شده Weigth و Material نیز بر استحکام پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۱). برای پیش‌بینی متغیر استحکام تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده معادلات پیش‌بینی معادله ۵ تا ۷ بدست آمده است. (سه ماده M1، M2 و M3 بر اساس جدول ۱).

$$M1: \text{Strength} = -13682 + 183/9 \text{ Temp} + 4/0 \text{ Weigth} - 0/6032 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/0173 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (5)$$

$$M2: \text{Strength} = -12314 + 183/5 \text{ Temp} + 3/5 \text{ Weigth} - 0/6032 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/0173 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (6)$$

$$M3: \text{Strength} = -12784 + 182/8 \text{ Temp} + 3/5 \text{ Weigth} - 0/6032 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/0173 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (7)$$

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ برای آزمایش استحکام در (جدول ۱۳) مرحله استنتر فیکس آورده شده است.

مقدار $p\text{-value} < 0.05$ در جدول ANOVA نشان دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر استحکام پارچه می‌باشد. نتایج بهینه سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام در دمای ۱۴۶/۹۶ مقدار ۸۵۲/۷۸ می‌باشد.

مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Weigth و Material تاثیر

جدول ۱۲- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار استحکام پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد لیاف در استنتر خشک‌کن

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۱۴۱۳۰۳	۱۴۱۳۰۳	۱۰۳۸/۵۱	۰/۰۰۰
Linear	۴	۱۳۹۸۹۰۱	۳۴۹۷۲۵	۲۴۴۵/۵۴	۰/۰۰۰
Temp	۱	۱۳۵۶	۱۳۵۶	۹/۸۷	۰/۰۰۸
Weigth	۱	۷۴۴	۷۴۴	۵/۴۱	۰/۰۳۷
Material	۲	۱۳۹۶۸۰۱	۶۹۸۴۰۱	۵۰۸۳/۴۵	۰/۰۰۰
Square	۱	۱۳۸۱۶	۱۳۸۱۶	۱۰۰/۵۶	۰/۰۰۰
Temp×Temp	۱	۱۳۸۱۶	۱۳۸۱۶	۱۰۰/۵۶	۰/۰۰۰
2-Way Interaction	۵	۳۱۷	۶۳	۰/۳۶	۰/۷۹۸
Temp×Weigth	۱	۵	۵	۰/۰۴	۰/۸۵۱
Temp×Material	۲	۲۸۳	۱۴۱	۱/۰۳	۰/۳۸۵
Weigth×Material	۲	۳۰	۱۵	۰/۱۱	۰/۸۹۹
Error	۱۳	۱۷۸۶	۱۳۷		
Total	۲۳	۱۴۱۴۸۲۱			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	۷۹۹/۸۷	۷۹۹/۷۸	۷۹۹/۵۷	۱۱/۷۲۱۲	

جدول ۱۳- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار استحکام پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد لیاف در استنتر فیکس

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۳۲۱۴۸۴	۳۲۱۴۸	۲۰۹/۳۳	۰/۰۰۰
Linear	۴	۳۱۹۰۷۶	۷۹۷۶۹	۵۱۹/۳۹	۰/۰۰۰
Temp	۱	۳۶۹۰۰	۳۶۹۰۰	۲۴۰/۲۶	۰/۰۰۰
Weigth	۱	۱۹۳۶	۱۹۳۶	۱۳/۶۱	۰/۰۰۴
Material	۲	۲۸۰۲۴۰	۱۴۰۱۲۰	۹۱۲/۳۵	۰/۰۰۰
Square	۱	۱۴۵۵	۱۴۵۵	۹/۴۸	۰/۰۰۹
Temp×Temp	۱	۱۴۵۵	۱۴۵۵	۹/۴۸	۰/۰۰۹
2-Way Interaction	۵	۹۵۳	۱۹۱	۱/۳۴	۰/۳۴۶
Temp×Weigth	۱	۱۷۰	۱۷۰	۱/۱۱	۰/۳۱۲
Temp×Material	۲	۳۸۸	۱۹۴	۱/۳۶	۰/۳۱۵
Weigth×Material	۲	۳۹۴	۱۹۷	۱/۳۸	۰/۳۱۰
Error	۱۳	۱۹۹۷	۱۵۴		
Total	۲۳	۳۲۳۴۸۰			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	۷۹۹/۳۸	۷۹۸/۹۱	۷۹۷/۹۰	۱۲/۳۹۲۸	

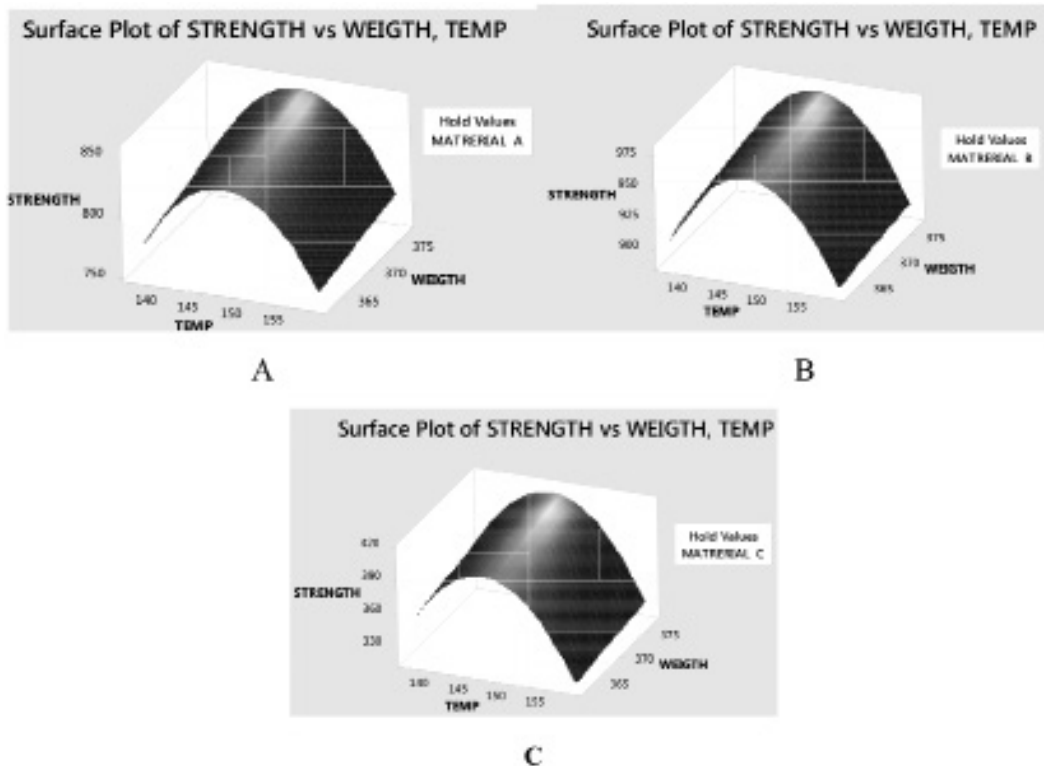
توأم عامل Temp تاثیرگذار بر استحکام پارچه در شرایط استنتر فیکس هستند. همچنین تاثیر توأم عامل‌های شده Weigth و Material نیز بر استحکام پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۲). برای پیش‌بینی متغیر استحکام تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده در معادله‌های ۸ تا ۱۰ آورده شده است. (سه ماده M1، M2 و M3 بر اساس جدول ۱). نتایج بهینه‌سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام در دمای ۱۷۱/۸۹ مقدار ۶۹۹/۲ می‌باشد.

$$M1: \text{Strength} = -12272 + 104/1 \text{ Temp} + 19/6 \text{ Weigth} - 0/1958 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/1004 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (8)$$

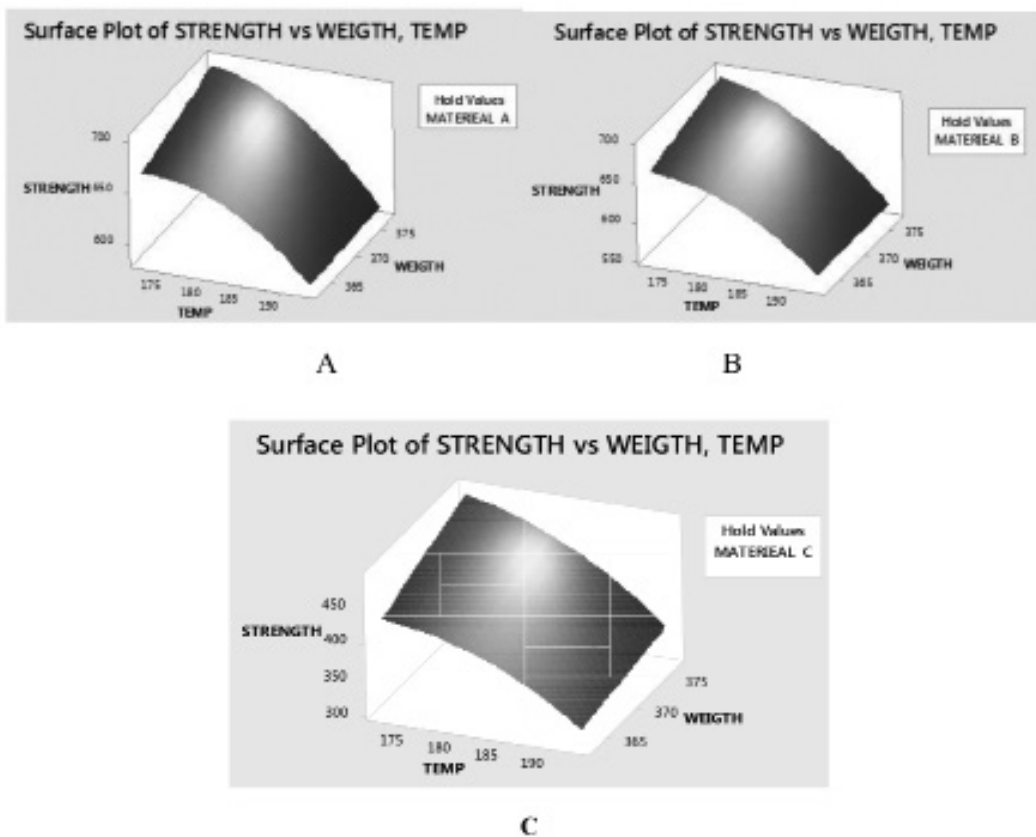
$$M2: \text{Strength} = -12136 + 103/3 \text{ Temp} + 19/5 \text{ Weigth} - 0/1958 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/1004 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (9)$$

$$M3: \text{Strength} = -12902 + 102/8 \text{ Temp} + 21/3 \text{ Weigth} - 0/1958 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/1004 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (10)$$

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ در (جدول ۱۴) مرحله استنتر نرم کن آورده شده است. مقدار $p\text{-value} < 0/05$ در جدول ANOVA نشان‌دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر استحکام پارچه می‌باشد.



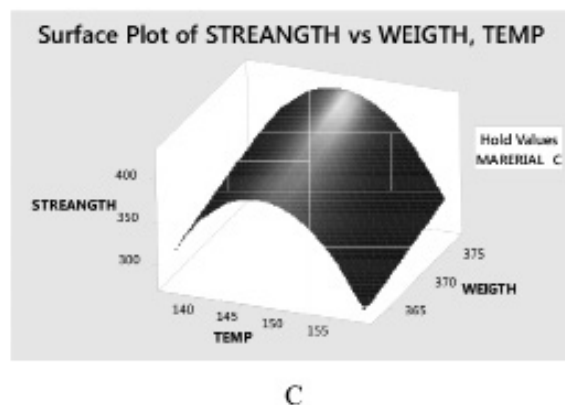
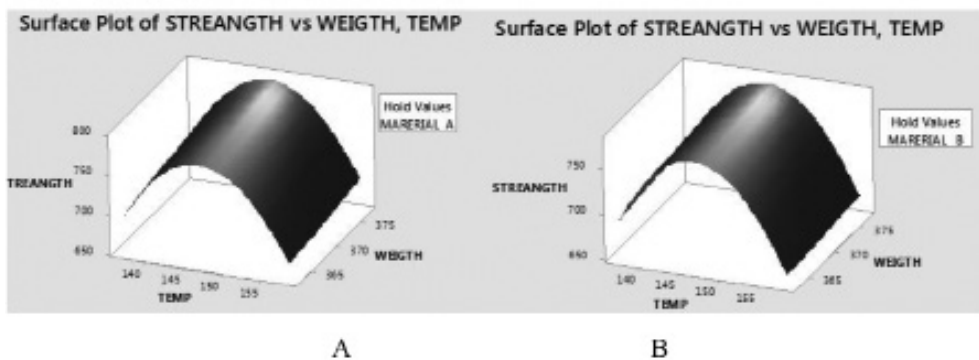
شکل ۱۱- تغییرات استحکام پارچه نسبت به دمای استنتر خشک‌کن، وزن پارچه و درصد الیاف به صورت شکل سه بعدی.



شکل ۱۲- تغییرات استحکام پارچه نسبت به دمای استنتر فیکس، وزن پارچه و درصد الیاف به صورت شکل سه بعدی.

جدول ۱۴- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار استحکام پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد الیاف در استنتر نرم کن

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۷۶۴۰۶۲	۷۶۴۰۶	۴۰۲/۱۱	<۰/۰۰۰
Linear	۴	۷۳۷۶۶۹	۱۸۴۴۱۷	۹۷۰/۵۵	<۰/۰۰۰
Temp	۱	۲۸۸۹	۲۸۸۹	۱۵/۳۰	<۰/۰۰۳
Weighth	۱	۱۴۲۷	۱۴۲۷	۷/۵۱	<۰/۰۱۷
Marerial	۲	۷۳۳۲۵۴	۳۶۶۶۷۷	۱۹۲۹/۷۴	<۰/۰۰۰
Square	۱	۲۵۹۹۰	۲۵۹۹۰	۱۳۶/۷۸	<۰/۰۰۰
Temp×Temp	۱	۲۵۹۹۰	۲۵۹۹۰	۱۳۶/۷۸	<۰/۰۰۰
2-Way Interaction	۵	۴۰۳	۸۱	۰/۴۲	<۰/۸۳۴
Temp×Weighth	۱	۰	۰	۰/۰۰	<۰/۹۷۵
Temp×Marerial	۲	۲۷	۱۳	۰/۰۷	<۰/۹۳۲
Weighth×Marerial	۲	۳۷۶	۱۸۸	۰/۹۹	<۰/۳۹۸
Error	۱۳	۲۴۷۰	۱۹۰		
Total	۲۳	۷۶۶۵۳۳			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	٪۹۹/۶۸	٪۹۹/۴۳	٪۹۸/۹۰	۱۳/۷۸۴۵	



شکل ۱۳- تغییرات استحکام پارچه نسبت به دمای استنتر نرم کن، وزن پارچه و درصد الیاف به صورت شکل سه بعدی.

جدول ۱۶- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار کاسه‌انداختن پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد الیاف در استنتر خشک‌کن

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۳۳۹۸۰۵	۳۳۹۸۰	۱۳/۳۸	۰/۰۰۰
Linear	۴	۴۱۶۵۷۲	۱۰۴۱۴۳	۱۳/۶۸	۰/۰۰۰
Temp	۱	۴۳۹۲۶	۴۳۹۲۶	۱۳/۳۶	۰/۰۰۳
Weigth	۱	۳۲۸۵	۳۲۸۵	۱/۰۰	۰/۳۳۶
Material	۲	۳۶۹۳۶۱	۱۸۴۶۸۱	۵۶/۱۸	۰/۰۰۰
Square	۱	۵۴۲۶	۵۴۲۶	۱/۶۵	۰/۳۲۱
Temp×Temp	۱	۵۴۲۶	۵۴۲۶	۱/۶۵	۰/۳۲۱
2-Way Interaction	۵	۱۷۸۰۷	۳۵۶۱	۱/۰۸	۰/۴۱۴
Temp×Weigth	۱	۴۸۳	۴۸۳	۰/۱۵	۰/۷۰۸
Temp×Material	۲	۱۷۱۴۲	۵۸۷۱	۲/۶۱	۰/۱۱۲
Weigth×Material	۲	۱۸۱	۹۱	۰/۰۳	۰/۹۷۳
Error	۱۳	۳۲۷۳۷	۳۲۸۷		
Total	۲۳	۴۸۲۵۴۱			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	٪۹۱/۱۴	٪۸۴/۳۳	٪۶۹/۸۱	۵۷/۳۳۶۳	

۱۰- نتایج بهینه‌سازی کاسه‌انداختن

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ نیروی کاسه‌انداختن در (جدول ۱۵) در مرحله استنتر خشک‌کن آورده شده است.

مقدار $p\text{-value} < ۰/۰۵$ در جدول ANOVA نشان‌دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر کاسه‌انداختن پارچه می‌باشد.

مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Weigth و Material تاثیر توام عامل Temp تاثیرگذار بر کاسه‌انداختن پارچه در شرایط استنتر خشک‌کن هستند. همچنین تاثیر توام عامل‌های شده Weigth و Material نیز بر کاسه‌انداختن پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۴). برای پیش‌بینی متغیر کاسه‌انداختن تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده معادله‌های ۱۴-۱۶ آورده شده است. (سه ماده M1، M2 و M3 بر اساس جدول ۱) نتایج بهینه‌سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام کاسه‌انداختن در دمای ۱۴۶/۹۶ مقدار ۶۹۳/۴۱ می‌باشد.

$$M1: \text{Bagging} = 21961 + 285/3 \text{ Temp} + 7/9 \text{ Weigth} - 0/9224 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/042 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (14)$$

$$M2: \text{Bagging} = -22428 + 286/0 \text{ Temp} + 8/3 \text{ Weigth} - 0/9224 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/042 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (15)$$

$$M3: \text{Bagging} = -22013 + 286/1 \text{ Temp} + 6/7 \text{ Weigth} - 0/9224 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/042 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (16)$$

جدول ۱۵- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار کاسه‌انداختن پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد الیاف در استنتر خشک‌کن

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۵۵۱۷۱۸	۵۵۱۷۲	۲۱۹/۹۰	۰/۰۰۰
Linear	۴	۵۱۸۹۶۰	۱۲۹۷۴۰	۵۱۷/۱۰	۰/۰۰۰
Temp	۱	۴۳۰۹	۴۳۰۹	۱۷/۱۷	۰/۰۰۱
Weigth	۱	۱۲۶۳	۱۲۶۳	۵/۰۳	۰/۰۴۳
Material	۲	۵۱۳۱۸۸	۲۵۶۶۹۴	۱۰۳۳/۱۰	۰/۰۰۰
Square	۱	۳۳۳۰۸	۳۳۳۰۸	۱۳۸/۷۷	۰/۰۰۰
Temp×Temp	۱	۳۳۳۰۸	۳۳۳۰۸	۱۳۸/۷۷	۰/۰۰۰
2-Way Interaction	۵	۴۵۰	۹۰	۰/۳۶	۰/۸۶۸
Temp×Weigth	۱	۲۹	۲۹	۰/۱۲	۰/۷۳۷
Temp×Material	۲	۱۶۶	۸۳	۰/۳۳	۰/۷۲۴
Weigth×Material	۲	۲۵۵	۱۲۷	۰/۵۱	۰/۶۱۳
Error	۱۳	۳۲۶۲	۲۵۱		
Total	۲۳	۵۵۴۹۷۹			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	٪۹۹/۳۱	٪۹۸/۹۶	٪۹۸/۰۰	۱۵/۸۳۹۸	

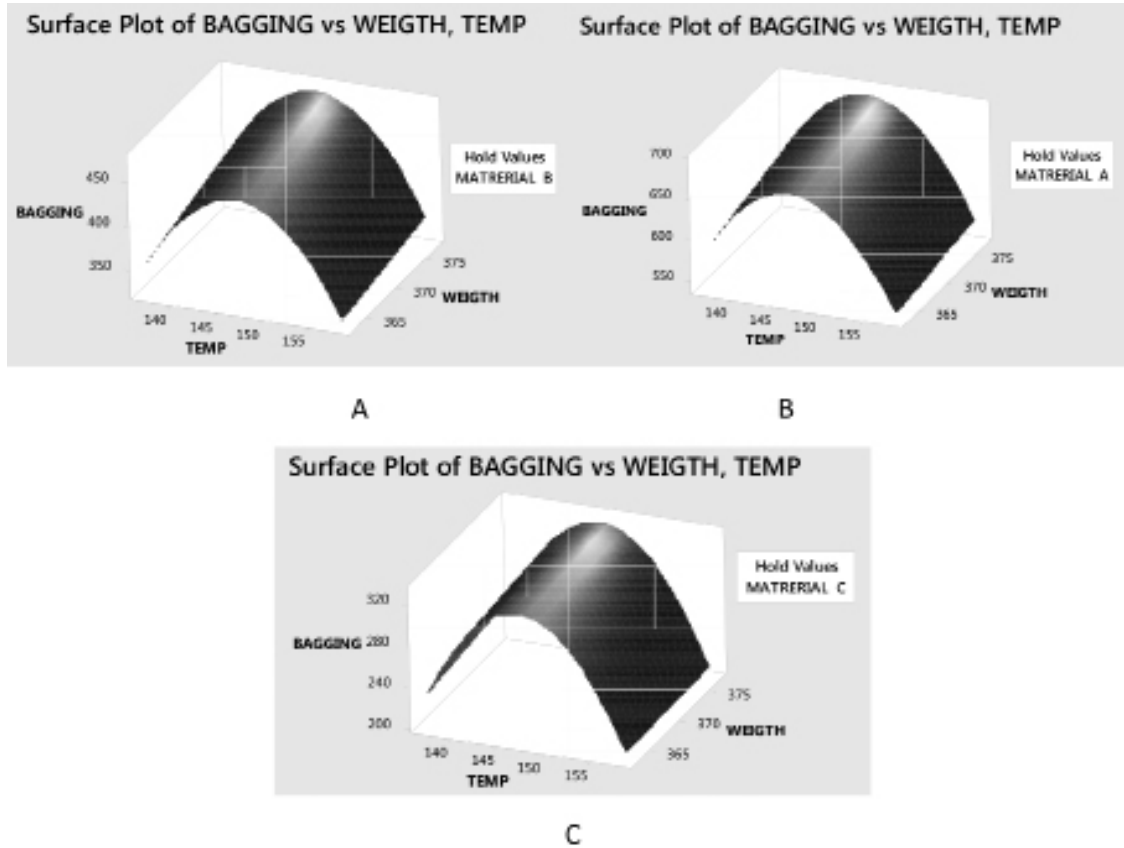
مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Weigth و Material تاثیر توام عامل Temp تاثیرگذار بر استحکام پارچه در شرایط استنتر نرم‌کن هستند.

همچنین تاثیر توام عامل‌های شده Weigth و Material نیز بر استحکام پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۳). برای پیش‌بینی متغیر استحکام تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده در معادله‌های ۱۱ تا ۱۳ آورده شده است. (سه ماده M1، M2 و M3 بر اساس جدول ۱) نتایج بهینه‌سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام در دمای ۱۴۶/۷۵ مقدار ۷۹۴/۶۶ می‌باشد.

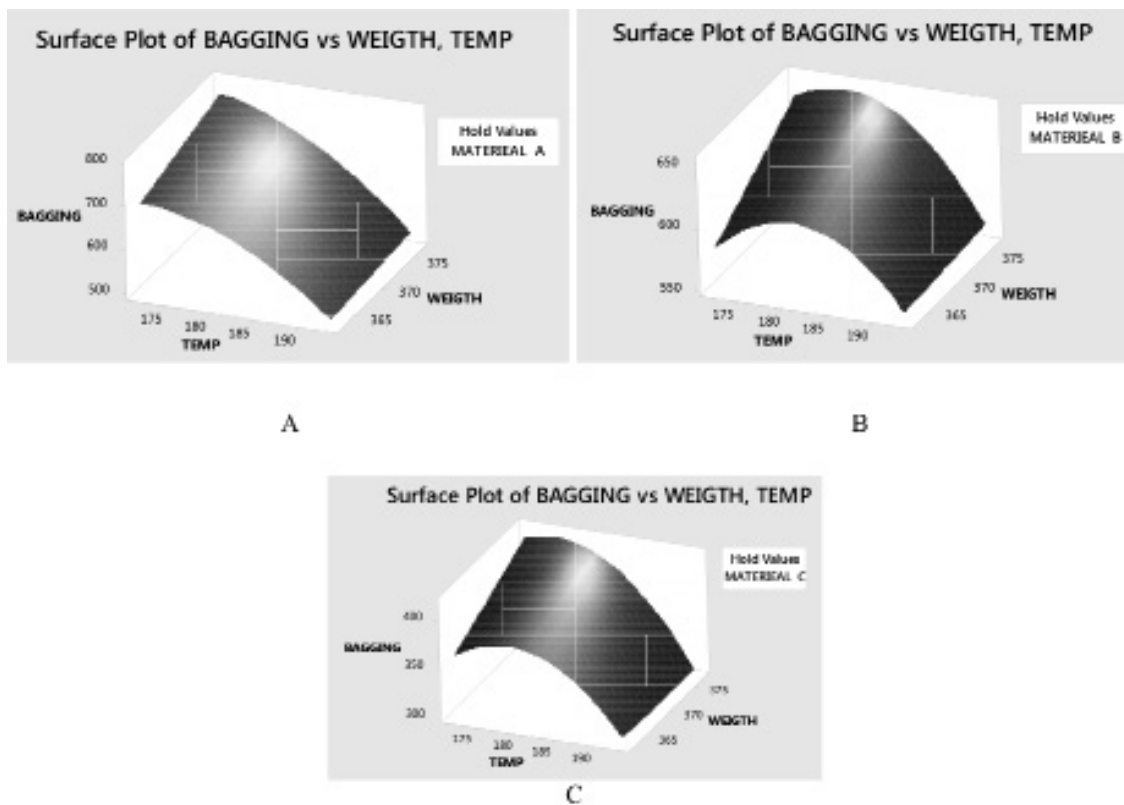
$$M1: \text{Strength} = -17725 + 244/1 \text{ Temp} + 1/9 \text{ Weigth} - 0/8273 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/003 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (11)$$

$$M2: \text{Strength} = -17444 + 243/9 \text{ Temp} + 1/2 \text{ Weigth} - 0/8273 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/003 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (12)$$

$$M3: \text{Strength} = -18495 + 243/7 \text{ Temp} + 3/1 \text{ Weigth} - 0/8273 \text{ Temp} \times \text{Temp} - 0/003 \text{ Temp} \times \text{Weigth} \quad (13)$$



شکل ۱۴- تغییرات کاسه‌انداختن پارچه نسبت به دمای استنتر خشک‌کن، وزن پارچه و درصد لیاف به صورت شکل سه بعدی.



شکل ۱۵- تغییرات کاسه‌انداختن پارچه نسبت به دمای استنتر فیکس، وزن پارچه و درصد لیاف به صورت شکل سه بعدی.

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ نیروی کاسه‌انداختن در (جدول ۱۶) در مرحله استنتر فیکس آورده شده است. مقدار $0/05 < p$ -value در جدول ANOVA نشان‌دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر کاسه‌انداختن پارچه می‌باشد. مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Material تاثیر توأم عامل Temp تاثیر گذار بر کاسه‌انداختن پارچه در شرایط استنتر فیکس هستند. همچنین تاثیر توأم عامل‌های شده Weigh و Material نیز بر کاسه‌انداختن پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۵). برای پیش‌بینی متغیر کاسه‌انداختن تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده در معادله‌های ۱۷-۱۹ آورده شده است. (سه ماده M1، M2، M3 بر اساس جدول ۱) نتایج بهینه‌سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام کاسه‌انداختن در دمای ۱۷۱/۸۹ مقدار ۷۷۲/۸۰ می‌باشد.

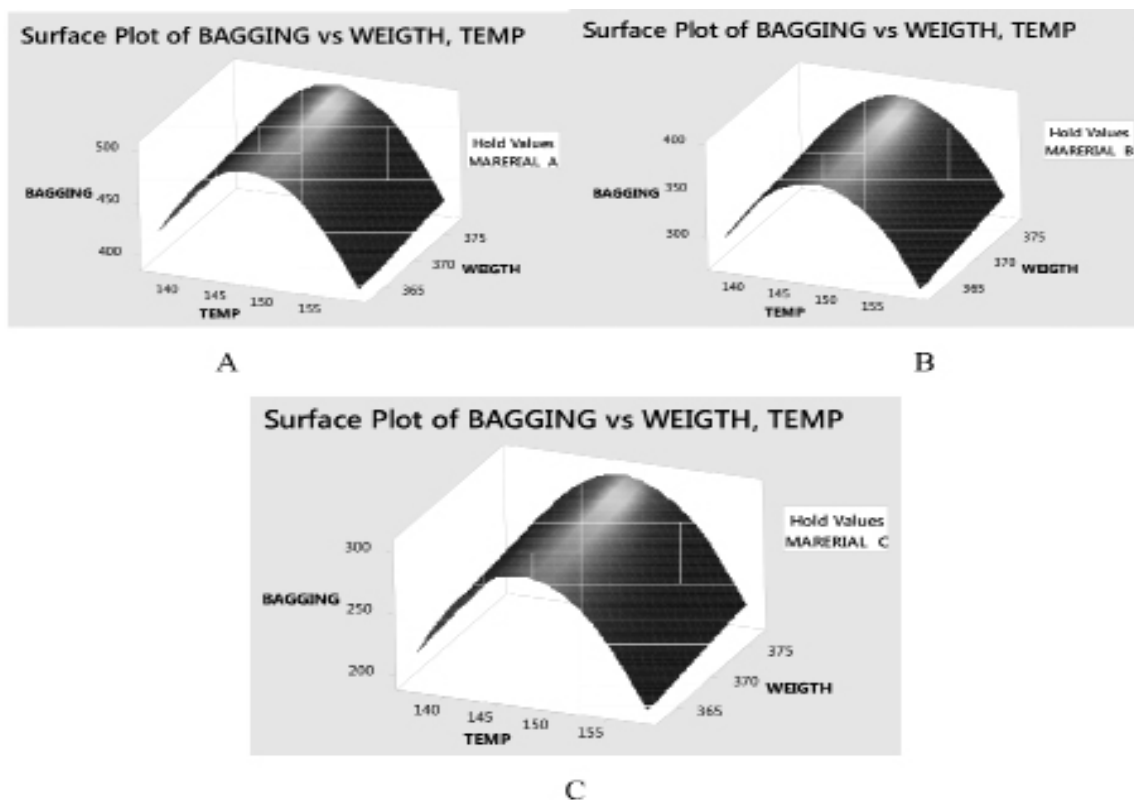
$$M1: \text{Bagging} = -22525 + 190 \text{ Temp} - 33/9 \text{ Weigh} - 1/378 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0/169 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (17)$$

$$M2: \text{Bagging} = -15257 + 198 \text{ Temp} - 33/2 \text{ Weigh} + 1/378 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0/169 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (18)$$

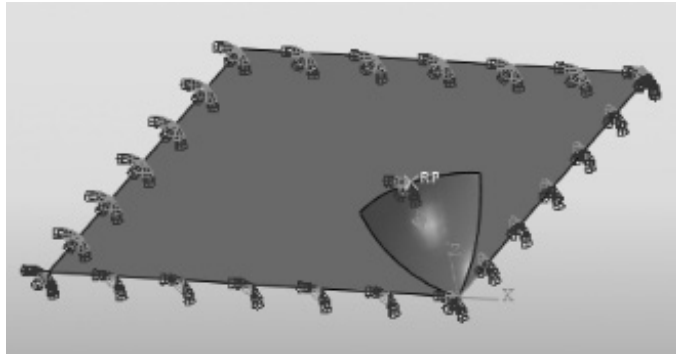
$$M3: \text{Bagging} = -15251 + 197 \text{ Temp} - 32/6 \text{ Weigh} - 1/378 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0/169 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (19)$$

جدول ۱۷- نتایج آنالیز واریانس روش طراحی مرکب مرکزی طرح آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار کاسه‌انداختن پارچه تحت تاثیر دمای استنتر، وزن پارچه و درصد الیاف در استنتر نرم

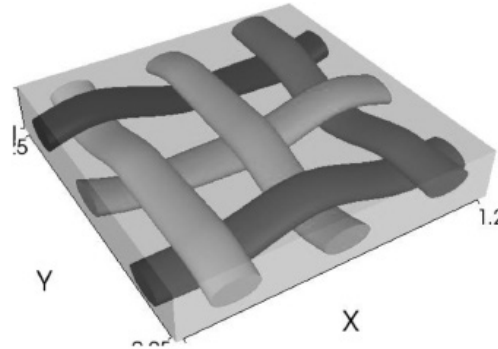
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	۱۰	۱۸۳۵۹۳	۱۸۳۵۹/۳	۲۱۱/۶۵	۰/۰۰۰
Linear	۴	۱۶۳۱۲۲	۴۰۷۸۰/۶	۴۶۷/۲۴	۰/۰۰۰
Temp	۱	۱۲۳۶	۱۲۳۶/۰	۱۵/۴۰	۰/۰۰۲
Weigh	۱	۶۰۸	۶۰۷/۹	۷/۰۱	۰/۰۲۰
Material	۲	۱۶۰۱۷۸	۸۰۰۸۹/۲	۹۲۳/۲۸	۰/۰۰۰
Square	۱	۲۱۴۱۶	۲۱۴۱۵/۲	۲۴۶/۸۸	۰/۰۰۰
Temp×Temp	۱	۲۱۴۱۶	۲۱۴۱۵/۲	۲۴۶/۸۸	۰/۰۰۰
2-Way Interaction	۵	۵۵	۱۱/۱	۰/۱۳	۰/۹۸۳
Temp×Weigh	۱	۶	۵/۹	۰/۰۷	۰/۷۹۸
Temp×Material	۲	۳۱	۱۵/۶	۰/۱۸	۰/۸۳۸
Weigh×Material	۲	۱۸	۹/۱	۰/۱۱	۰/۹۰۱
Error	۱۳	۱۱۲۸	۸۶/۷		
Total	۲۳	۱۸۴۷۲۱			
Coefficient	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	S	
Value	۷۹۹/۳۹	۷۹۸/۹۲	۷۹۷/۹۲	۹/۳۱۳۶۸	



شکل ۱۶- تغییرات کاسه‌انداختن پارچه نسبت به دمای استنتر نرم کن، وزن پارچه و درصد الیاف به صورت شکل سه بعدی.



شکل ۱۸- الگوریتم بارگذاری



شکل ۱۷- سلول واحد تشکیل دهنده در نرم‌افزار تکس چن

۱۱- شبیه‌سازی کاسه انداختن به روش اجزاءمحدود

جهت مدل‌سازی ساختمان تار و پودی پارچه ابتدا لازم بود یک واحد ساختمانی بافت پارچه سرژه طراحی شود. از این رو به صورت مزو واحد تکراری پارچه با استفاده از نرم‌افزار تکس چن طراحی شد. این نرم‌افزار به منظور طراحی هندسه پارچه‌های تار و پودی و حلقوی برای اولین بار در دانشگاه ناتینگهام کدنویسی شد.

در نرم‌افزار تکس چن ابتدا نخ‌ها به صورت یک جسم توپُر طراحی می‌شوند.

روش طراحی نخ‌ها در این نرم‌افزار به صورتی است که با توجه به ورودی‌های مشخص شده توسط کاربر طراحی انجام می‌گردد. در این نرم‌افزار تعداد نخ تار و پود، فاصله میان نخ‌ها، قطر نخ و ضخامت پارچه و وضعیت رو ریزهای تار و پودی همچنین خواص مکانیکی نخ‌ها و الیاف به سادگی مشخص می‌شود (شکل ۱۷) سلول واحد بافت سرژه که توسط نرم افزار طراحی شده را نشان می‌دهد.

در این فایل ایجاد شده برای مدل مزو (ساختاری بافت) توسط نرم‌افزار تکس چن خواص تماسی بین الیاف به همراه هندسه مدل به نرم افزار آباکوس فراخوانی می‌شود. ویژگی‌های تماسی بین نخ‌ها از نوع معادله‌ای و به صورت خطی می‌باشد. در مدل‌سازی در ابعاد مزو نخ‌ها درون ماتریس کاملاً چسبیده‌اند و لغزشی بین آنها وجود ندارد. جهت مش‌ریزی از المان‌های سه بعدی C3D8R (C خانواده المان، 3D سه بعدی بودن المان، با تعداد ۸ گره و R انتگرال کاهش یافته) استفاده شد. ابتدا مش‌ریزی درون نرم افزار تکس چن انجام گردید. سپس

نتایج آنالیز واریانس حاصل از روش سطح پاسخ نیروی کاسه‌انداختن در (جدول ۱۷) در مرحله استنتز نرم کن آورده شده است.

مقدار $p\text{-value} < 0.05$ در جدول ANOVA نشان‌دهنده اثرگذاری عامل مورد نظر بر کاسه‌انداختن پارچه می‌باشد.

مقادیر F گزارش شده برای هر متغیر و تحلیل واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که پارامترهای کدبندی شده Temp و Weigh و Material تاثیر توأم عامل Temp تاثیرگذار بر کاسه‌انداختن پارچه در شرایط استنتز نرم کن هستند. همچنین تاثیر توأم عامل‌های شده Weigh و Material نیز بر کاسه‌انداختن پارچه معنادار نمی‌باشند (شکل ۱۶). برای پیش‌بینی متغیر کاسه‌انداختن تحت تاثیر سه متغیر مستقل یاد شده در معادله‌های ۲۰-۲۲ آورده شده است. (سه ماده M1، M2 و M3 بر اساس جدول ۱) نتایج بهینه‌سازی توسط روش DOE مشخص می‌نماید مقدار ماکزیمم استحکام کاسه‌انداختن در دمای ۱۴۶/۷۵ مقدار ۵۰۲/۱۰ می‌باشد.

$$M1: \text{Bagging} = -1.4953 + 213/4 \text{ Temp} - 1/9 \text{ Weigh} - 0.7510 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0.187 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (20)$$

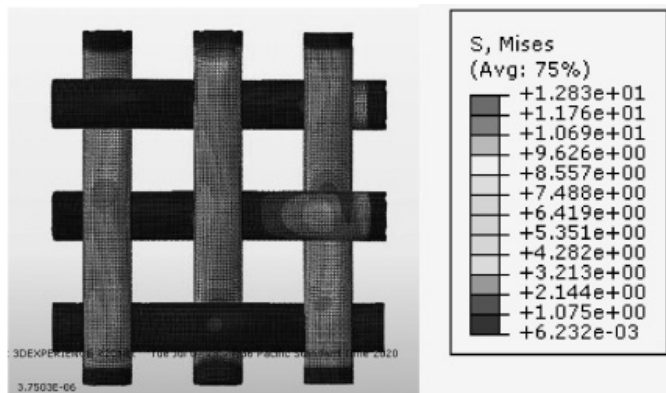
$$M2: \text{Bagging} = -1.0257 + 213/7 \text{ Temp} - 1/5 \text{ Weigh} - 0.7510 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0.187 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (21)$$

$$M3: \text{Bagging} = -1.0251 + 213/8 \text{ Temp} - 1/8 \text{ Weigh} - 0.7510 \text{ Temp} \times \text{Temp} + 0.187 \text{ Temp} \times \text{Weigh} \quad (22)$$

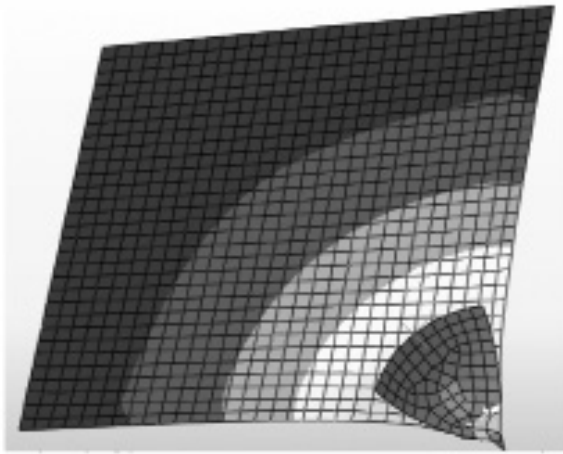
جدول ۱۸- خواص مکانیکی مدل مزو ماکرو

شرایط مکانیکی	خواص مدل مزو	خواص مدل ماکرو
مدول یانگ	۷۸	۵۴/۵۴
ضریب پواسون	۰/۳	۰/۳۳
ظرفیت گرمای ویژه	۱۰۷۷	۱۳۶۰
ضریب انتقال حرارت	$K_{11}^{(1)} = 1/0.67$	0.0089
	$K_{22}^{(2)} = 0.023$	
	$K_{33}^{(3)} = 0.023$	

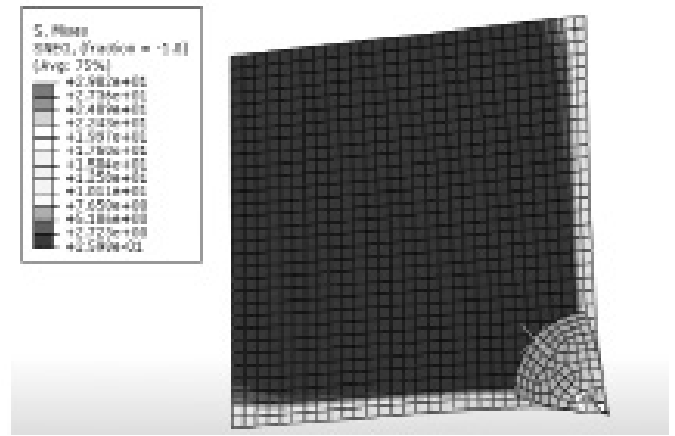
(۱) در راستای X (۲) در راستای Y (۳) در راستای Z



شکل ۱۹- کانتور تنش مون میسز مدل مزو



شکل ۲۱- نتیجه آزمایش شبیه‌سازی



شکل ۲۰- کانتور تنش مدل فون میسز مدل ماکرو

(شکل ۲۰-۱۹) کانتورهای تنش فون میسز در مدل ماکرو و میکرو که از (رابطه ۲۳) زیر محاسبه می‌شود مشاهده می‌گردد.

$$v_{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{3}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)]} \quad (23)$$

۱۲- پیش‌بینی نتایج آزمایش کاسه‌انداختن در شرایط استنتر

در بررسی ارتباط میان نیروی آزمایشی توسط آزمایش کاسه‌انداختن در آزمایشگاه ابتدا به این موضوع توجه گردید که حداکثر جابجایی اعمال شده در فک متحرک فوقانی به مقدار ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در مدل‌سازی توسط نرم افزار آباکوس با توجه به ابعاد نمونه این

داده‌های ایجاد شده در نرم‌افزار آباکوس از مدل مزو فراخوانی گردید. ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی پارچه‌ها (جدول ۱۸) در نرم‌افزار آباکوس با توجه به شرایط هر نمونه انتقال داده شد.

در تحقیق انجام شده برای ایجاد تغییر فرم چند جهت از طریق نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی کاسه‌انداختن پارچه انجام گردید. برای اعمال خواص از طریق مشاهدات میکروسکوپی نمونه‌ها و خصوصیات ابعادی ساختار نخ و پارچه مانند: قطر (قطر بزرگ و کوچک نخ)، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ضریب اصطکاک نخ‌ها (مقدار مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ضریب اصطکاک برای لیف پشم) استفاده شده است.

در ادامه طراحی مدل مزو به مدل ماکرو تبدیل گردید (شکل ۱۸) مدل طراحی شده به ابعاد ماکرو تبدیل گردید جهت اعمال شرایط مرزی تمام درجات آزادی دو سمت پارچه (جهتی که توسط فک‌های دستگاه کاسه‌انداختن گرفته می‌شود) محدود گردید و دو سمت دیگر اجازه جابه‌جایی در راستای X و Y اجازه داده شد. به منظور مش‌ریزی بر روی پارچه از المان‌های C3D8R استفاده گردید.

پس از آن آزمون کاسه‌انداختن بر روی مدل ماکرو صورت گرفت. در

جدول ۱۹- نتایج مدل رگرسیون بین شرایط آزمایشی و شبیه‌سازی المان محدود کاسه‌انداختن در استنتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.7900 ^a	.7800	.7975	18168682	2.1278

جدول ۲۰- آنالیز واریانس رگرسیون

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	6712.0710	1	6712.0710	192.214	<.001 ^b
Residual	1396.790	4	349.197		
Total	8108.861	5			

شکل ۲۲- نمودار رگرسیون میان مقادیر آزمایشی و شبیه‌سازی المان محدود کاسه‌انداختن

ثابت و چه به لحاظ سرمایه متغیر می‌باشد و بیشترین تاثیر را بر قیمت تمام شده کالا خواهد داشت از این رو توجه به کاهش هزینه و بهینه‌سازی سریع خواص در این ماشین که به عنوان قلب تکمیل محسوب می‌شود امری اجتناب‌ناپذیر است از این رو در تحقیق حاضر با استفاده از روش سطح پاسخ اقدام به بهینه‌سازی خواص مکانیکی و فیزیکی پارچه گردید که شرایط بهینه در مواد A، دما استنتر خشک‌کن ۱۴۶/۹۶، بیشترین مقدار کاسه‌انداختن ۶۹۳/۴۱ و بیشترین مقدار استحکام ۸۵۲/۷۸، در مواد A، دما در استنتر فیکس ۱۷۱/۸۹ و بیشترین مقدار کاسه‌انداختن ۷۷۲/۸۰ و بیشترین مقدار استحکام ۶۹۹/۲ و در مواد A، دما در استنتر نرم‌کن ۱۴۶/۷۵ و بیشترین مقدار کاسه‌انداختن ۵۰۲/۱۰ و بیشترین مقدار استحکام ۷۹۴/۶۶ می‌باشد برای شبیه‌سازی غیر آزمایشگاهی نیز از روش المان محدود با استفاده از المان پوسته و اعمال شرایط بر اساس نوع ماده و دمای مناسب گردید که نتایج نشان داد ارتباط بسیار بالایی برای استفاده در پیش‌بینی خواص استنتر دارد از این رو می‌توان به دو صورت آزمایشگاهی و روش‌های حل عددی اقدام برای بهینه‌سازی استنتر نمود.

تغییر فرم نیز همین مقدار در نظر گرفته شده است. تا شرایط یکسانی برای دو طرح آزمایشی صورت گرفته باشد. بعد از مدل‌سازی با استفاده از نرم افزار آباکوس نتایج مقادیر نیروی جابجائی کاسه‌انداختن همانند (شکل ۲۲) توسط نرم‌افزار SPSS26 ارتباط سنجی شد. مقادیر آزمایشی و تجربی به عنوان متغیرهای مستقل و وابسته به صورت رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت.

معادله رگرسیون مشخص نمود این دو مقدار آزمایشی برای نمونه‌های مختلف آزمایشی بر اساس (جدول ۱۹) با مقدار (sig.<۰/۰۰۱) دارای ضریب تعیین $R^2=0/95$ (می‌باشند که نشان دهنده ارتباط بالای مدل پیش‌بینی با توجه به شرایط خاص استنتر و مدل صورت گرفته است. نتایج آن در (جدول ۲۰) آورده شده است. پس می‌توان اطمینان حاصل نمود رفتار کاسه‌انداختن در شرایط شبیه‌سازی استنتر قابل پیش‌بینی می‌باشد.

۱۳- نتیجه‌گیری

فرآیند استنتر یکی از پرهزینه‌ترین ماشین‌آلات چه به لحاظ سرمایه

منابع

- Kim, H., A., Kim, S., J., Mechanical properties of worsted fabrics for emotional garment to the rapier loom characteristics, *Fibers Polym.*, 2163, 14, 2013.
- Bona, m., An Introduction to wool fabric finishing, *Textile Insti.*, 1994-224.
- Behera, B., K., Rajesh, M., Artificial neural network-based prediction of aesthetic and functional properties of worsted suiting fabrics, *R. Int. J. Cloth. Sci. Tech.*, 19, 259, 2007.
- Fan, J., Hunter, L., A worsted fabric expert system: part i: system development, *Textile Res. J.*, 68, 680, 1998.
- Kang, T., J., Kim, M., S., Effects of silicone treatments on the dimensional properties of wool fabric, *Textile Res. J.*, 71, 295, 2001.
- Eryuruk, S., H., Bahadir, S., K., Saricam, C., Kalaoglu, F., The effects of finishing processes on the dynamic drape of wool fabrics, *Int., J., Cloth., Sci., Tech.*, 31, 195, 2019.
- hitfield, R., E., Miller, L., A., Wasley, W., L., Wool fabric stabilization by interfacial polymerization. part i: polyamides, *Textile Res., J.*, 31, 704-712, 1961.
- Tahvildar, A., Ezazshahabi, N., Mousazadegan, F., J., Appearance and comfort properties considering yarn-spinning system and weave structure in worsted woven fabrics, *Eng., Fiber Fabric*, 14, 2019.
- Luyi, C., jiangang, C., Xin, H., R., Suxin, X., Yiqi, Y., Bijia, W., Characterization of dimethyl sulfoxide-treated wool and enhancement of reactive wool dyeing in non-aqueous medium, *Textile Res., J.*, 86, 533-542, 2015.
- Cottle, D., J., Baxter, B., P., Wool metrology research and development to date, *Textile Prog.*, 47, 165-315 2015.
- Akyol, U., Akan, A., E., Durak, A., Simulation and thermodynamic analysis of a hot-air textile drying process, *J., Textile, Ins.*, 106, 260-274, 2014.
- Liao, Q., Brady, P., R., A Study on dimensional properties of wool fabric treated at 120°C, *Textile Res. J.*, 80, 1958-1964, 2010.
- Hamdani, S., Potluri, P., Fernando, A., Thermo-mechanical behavior of textile heating fabric based on silver coated polymeric yarn, *Materials*, 6, 1072-1089, 2013.
- Minming, Gu., Study on optimum temperature value setting for the heat-setting process based on PSO, *IOP conf, series: earth and environmental science*, 69, 2017.
- Dixit, A., Mali, H., Modeling techniques for predicting the mechanical properties of woven-fabric textile composites: a Review *Mech Compos Mater*, 49, 1-2, 2013.
- Martins-Filho, L., S., Santana, A., C., Duarte, R., O., Junior, G., A., Computational and numerical simulations, *Jan Awrejcewicz, IntechOpen*.
- Fazilat, H., D., Meakin, J., Aspden, R., Statistical methods in finite element analysis *J. biomech*, 35, 1153, 2002.

18. Xie, H., Li, Z., Qiao, Z., A., Int., J., Numer Anal Mod., 8, 189, 2011.
19. Xu, H., Y., Jiang, J., Chen, N., L., Lin, F., Shao, H., Fibres Text., East Eur., 26, 49, 2018.
20. Sharma, S., B., Sutcliffe, M., P., F., A Simplified finite element model for draping of woven material, Composites: Part A : applied Science and Manufacturing, 35, 637-643, 2004.
21. Chichani, S., Guha, A., J., A Method of modeling fabric shear using finite element analysis, J., Inst., Eng., India Ser., E., 96, 1-7, 2015.
22. Sun, B., Wang, Y., Wang, P., Hu, H., Gu, B., Investigations of puncture behaviors of woven fabrics from finite element analyses and experimental tests, Textill Res., J., 81, 922, 2011.
23. Wang, P., Ma, Q., Sun, B., Hu, H., Gu, B., Finite element modeling of woven fabric tearing damage, Textile Res., J., 81, 1273, 2011.
24. Lin, H., Clifford, M., J., Long, A., C., Lee, K., Guo, N., A Finite element approach to the modelling of fabric mechanics and its application to virtual fabric design and testing, J., Text., Ins., 103, 1-14, 2012.
25. Abghary, M., J., Nedoushan, R., J., Hasani, H., Simulation of the spherical deformation of biaxial weft-knitted fabrics using meso and macro models, Fibers Polym., 17, 1702-1708, 2016.
26. Lin, H., Clifford, M., J., Long, A., C., Sherburn, M., Mater., A finite element approach to the modelling of fabric mechanics and its application to virtual fabric design and testing Sci., Eng., 17, 1, 2009.
27. Abghari, r., Najar, S., Hagpanahi, M., Latifi, M., Contributions of in-plane fabric tensile properties in woven fabric bagging behaviour using a new developed test method, Inter., J., lothing Sci., Tech., 16, 418-433, 2004.
28. Zhang, X., Yeung, K., W., Yao, M., & Li, Y., Factors Influencing Bagging Behavior of Woven Fabrics, in "Proc. The 4th Asian Textile Conference., 512-517, 1997.
29. Zhang, X., Dhingra, R., C., & Miao, M., Garment Bagging, Textile Asia., 1, 50-52, 1997.
30. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Fabric Bagging, Part I : Subjective Perception and Psychophysical Mechanism, Textile Res., J., 69, 511-518, 1999.
31. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Fabric Bagging, Part II : Objective Evaluation and Physical Mechanism, Textile Res., J., 69, 598-606, 1999.
32. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Mathematical Simulation of Fabric Bagging, Textile Res., J., 70, 18-28, 2000.
33. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Viscoelastic Behavior of Fibers During Woven Fabric Bagging, Textile Res., J., 70, 751-757, 2000.
34. Kisiliak D., A New Method of Evaluating Spherical Fabric Deformation, Textile Res., J., 69, 908-913, 1999.
35. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Miao, M., Yao, M., Fabric -Bagging : Stress Disribution in Isotropic and Anisotropic Fabrics, J., Text., Inst., 4, 2000.
36. Zhang, X., Li, Y., Yeung, K., W., Miao, M., Yao, M., Relative Contribution of Elasticity and Viscoelasticity of Fibres and Inter-fibre Friction in Bagging of Woven Wool Fabrics, J., Text., Inst., 4, 91, 2000.
37. Zienkiewicz, O., C., Taylor, R., L., The Finite Element Method, Volume 1: Basic Formulation and Linear Problems, 4rd ed., McGraw-Hill Book Company, 1989.
38. Zienkiewicz, O., C., Taylor, R., L., The Finite Element Method, Volume 2: Solid Mechanics, 5rd ed., Butterworth-Heinemann, 2000.
39. Cook, R., D., Cook, D., S. Malkus, and M.E. Plesha, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, 3rd ed., John Willy & Sons, 1989.
40. Talebi, S., Chaibakhsh, N., Moradi-Sh., Z., Optimization of Photodegradation of Acid Blue 113 Dye on Anatase TiO₂ Nanocatalyst Using Response Surface Methodology, J., Environo. Health Eng., 2, 1395.
41. Chaibakhsh, N., Ahmadi, N., Zanjanchi, M., A., Optimization of photocatalytic degradation of neutral red dye using TiO₂ nanocatalyst via Box-Behnken design. Desal. Water Treat., 57, 9296-9306, 2016.
42. Wani, TA., Ahmad, A., Zargar, S., Khalil, NY., Darwish IA. Use of response surface methodology for development of new microwell-based spectrophotometric method for determination of atorvastatin calcium in tablets. Chem., Centr., J., 6, 134-1343, 2012.
43. Ahmadyar, N., Kazemiyan, A., Iranpor, M., Application of response surface method in optimizing waterproofing of polyester and cotton fabrics, J., Text., Sci., Tech., 1, 11-22, 1397.
44. Ghodrati, S., Moussavi, Gh., The optimization of electrocoagulation process for treatment of the textile wastewater by Response surface Methodology (RSM), Iran. J. Health & Environ., 7, 2014.

45. Arbabi, M., Mayahi, B., Moghadam, M., Sedehi, M., Hemati, S., Removal of acid bleu 113 by UV/H₂O₂/Fe₃O₄ process: optimization of treatment conditions using experimental design, J. Shahrekord Uni. Medical Sci., 19, 13-25, 2017.
46. Haji, A., Arefi, N., Application of response surface methodology in optimization of wool dyeing with citruse aurantium leaves as a natural day, J., Apparel tex., Sci., tech., 9, 5-13, 2019.