تحقیق و ارزیابی طراحی کفش با استفاده از خودکارسازی نرم‌افزاری؛ بخش دوم

علیرضا حیدری[۱]، علیرضا معصومی[۲]، حسین آذرمی[۳]، علیرضا شوشتری[۴]

۱ دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳ دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۴ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، al.shooshtari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶

چکیده

امروزه ورود نرم‌افزارها و ماشین‌های رایانه‌محور به عرصهٔ صنعت سبب شده است کیفیت، تنوع و سرعت تولید افزایش چشمگیری داشته باشد. این پیشرفت نرم‌افزاری صنعت نسبتاً پیچیدهٔ کفش را نیز دستخوش تغییر کرده است. علاوه بر این، امروزه تولید کفش‌های طبی به‌عنوان یک ارتز، بسیار مورد توجه واقع شده است، اما متأسفانه با تمام تلاش‌هایی که در کشور برای تولید ارزان‌تر این‌گونه کفش‌ها انجام شده، به‌علت عدم استفاده از خودکارسازی، قیمت تمام‌شدهٔ این محصول برای مصرف‌کنندگان مناسب نیست. با توجه به اهمیت موضوع، در ادامهٔ مقالهٔ نخست که در آن خودکارسازی طراحی کفش بررسی شد، در این مقاله خودکارسازی ساخت و تولید کفش بررسی شده است. پس از توصیف مراحل تولید کفش و کاربرد نرم‌افزارهای اتودسک در این حوزه، در بخش مطالعهٔ موردی، تولید یک نمونه کفش با بهره‌گیری از فرایند خودکارسازی نرم‌افزاری پیاده‌سازی شده است. در این فرایند ابتدا قالب تولید و الگوهای دوبعدی توسط دستگاه سی. ان. سی. آماده شده است. در ادامه، نقشهٔ مونتاژ جهت ارائه به کادر مونتاژ استخراج گردیده است. در پایان یک نمونه کفی طبی شخصی‌سازی و تولید و ارزیابی هزینهٔ تولید با بهره‌گیری از خودکارسازی نرم‌افزاری انجام شده است.

واژگان کلیدی

کفش، خودکارسازی نرم‌افزاری، ارتز، کفش طبی، اسکن کف پا

۱. مقدمه

کفش از نیازهای اولیهٔ بشر است که به‌دلیل اهمیت آن در زندگی روزمره، از سالیان دور به صنعتی پیچیده و پرظرافت تبدیل شده است. در سال‌های اخیر نیز توجه به کفش‌های طبی جهت درمان بیماران بسیار مورد توجه واقع شده است. به‌عنوان مثال بیماران دارای اختلالات عصبی محیطی عموماً در راه رفتن مشکلات عدیده‌ای دارند. این امر در افراد سالمند نیز به‌جهت بیماری‌های

پیش‌زمینه‌ای چون دیابت (مشهورترین عامل پیش‌زمینهٔ اختلالات عصبی [۱]) تشدید می‌شود. در سال‌های اخیر، تحقیقاتی دربارهٔ طراحی مناسب کفش در سالمندان [۲–۷]، مبتلایان به دیابت [۸–۹] و افراد مبتلا به سندرم اعصاب تحت فشار انجام شده است؛ زیرا در این بیماران تعادل کاهش می‌یابد و در نتیجه ریسک زمین‌خوردن در آنها بالا می‌رود [۱۰–۱۱]. از اینرو، امروزه برای اصلاح و بازتوانی این افراد، ارتزهایی چون کفش‌های طبی و ارتز ساق پا که تأثیر به‌سزایی در ایجاد تعادل در این افراد دارند، تجویز می‌گردد [۶–۱۲]. اما هیچ‌کدام از آنها تاکنون به قطعیت نرسیده و تنها توصیه‌ها و خطوط راهنمایی جهت انتخاب و طراحی کفش این افراد بوده است [۱۷]. علاوه بر این، در افراد سالم نیز طی سال‌های اخیر، کفش از یک محصول معمولی و گاه تجملاتی به یک کالای سلامت‌محور مبدل شده و تولیدکنندگان نیز ملزم به رعایت اصول و قوانین بهداشتی و درمانی در طراحی و تولید کفش شده‌اند. زیرا تحقیقات نشان داده است که عدم استفاده از کفش مناسب در هنگام راه‌رفتن [۱۷–۱۸]، دویدن [۱۹] و پریدن [۲۰] موجب دردهای ناحیهٔ کمر [۲۱] و از بین رفتن حجم زیادی از غضروف‌ها [۲۲] می‌شود. بیشتر محققان بر این عقیده‌اند که این آسیب‌ها ناشی از گسترش نیروهای وارده بر بدن انسان در زمان برخورد با زمین (فاز فرود) است. این نیروها اصطلاحاً نیروهای عکس‌العمل زمین نامیده می‌شود [۲۳]. از طرف دیگر، عامل خستگی عضلانی نیز جزء عوامل مؤثر بر افزایش صدمات برشمرده می‌شود [۲۴–۲۶]. در هنگام خستگی عضلانی نیز که واکنش‌های سیستم عصبی مرکزی [۲۷–۲۸] کاهش یافته و نیروهای کمتری توسط مفاصل [۲۹–۳۰]، عضلات [۳۱]، استخوان‌ها و پاشنه [۳۲] که عوامل میراگر در سیستم حرکتی انسان هستند، میرا می‌گردد و باید کفش به‌گونه‌ای طراحی شود که بتواند به‌خوبی در این زمان از پا محافظت کند. از همین‌رو، تاکنون مدل‌های ریاضی مختلف جهت تحلیل دینامیکی راه رفتن [۳۳–۳۵] و بهینه‌سازی طراحی مناسب کفش ارائه شده است [۳۶–۳۷].

با توجه به آنچه از اهمیت و کارکرد کفش گفته شد، طراحی و تولید مناسب کفش بسیار مهم و ضروری بوده و همین امر یکی از مهم‌ترین دلائلی است که سبب شده است تولیدکنندگان از تولید سنتی کفش دست بکشند و کارگاه‌های خود را به کارخانه‌هایی تمام‌خودکار تبدیل کنند؛ اما متأسفانه با وجود حضور طولانی‌مدت صنعت کفش در کشور ایران و پوشش بخش وسیعی از مشاغل اقدامات چندانی در به‌روزرسانی این صنعت، متناسب با افزایش تنوع، سلیقه و تقاضای مشتریان انجام نگرفته است. از طرفی، با ورود کشورهای توسعه‌یافته و دخالت فناوری روز دنیا در این صنعت، بخش عظیمی از بازار کفش دنیا و متأسفانه بازار کفش ایران نصیب این کشورها شده است و در مقابل، تعطیلی بسیاری از واحدهای تولید کفش داخلی به‌دلیل ناتوانی در رقابت، ضرر بسیاری را به بدنهٔ اقتصادی کشور وارد کرده است. علاوه بر آن، با توجه به پیشرفت علوم پزشکی و افزایش اهمیت سلامت و بهداشت افراد، تولید کفش‌های طبی که فقط با دخالت ماشین‌آلات پیشرفته ممکن است، بسیار مورد توجه واقع شده است. اما متأسفانه با تمام تلاش‌هایی که در کشور برای تولید ارزان‌تر این محافظ مهم قلب دوم انسان شده است، به‌علت عدم استفاده از فناوری روز دنیا و در نتیجه قیمت تمام‌شدهٔ بالای این محصول کمک درمانی، هنوز اکثر افراد جامعه توانایی خرید و درمان به این روش را ندارند. با توجه به آنچه گفته شد، برای ورود به بازار رقابتی کفش دنیا راهکاری به‌جز ورود فناوری به این صنعت وجود ندارد. بسیاری بر این باورند که بهره‌گیری از فناوری روز، نیازمند هزینه و سرمایه‌گذاری اولیهٔ هنگفتی است که شاید بازگشت آن مورد تضمین نباشد؛ اما برخلاف این تصور فناوری‌هایی هم وجود دارند که استفاده از آنها هزینهٔ زیادی را نمی‌طلبد. نابراین در این پژوهش، فناوری‌هایی در حوزهٔ کفش معرفی خواهد شد که برای تولیدکنندگان حتی‌الامکان کمترین هزینه را دارد و مزایای اقتصادی و فنی بسیاری را به‌همراه خواهد داشت. امروزه صنعتی را نمی‌توان یافت که ماشین‌آلات رایانه‌محور و نرم‌افزارها به آن ورود نکرده باشند. صنعت کفش نیز از این قاعده مستثنا نیست. همان‌طور که در حوزهٔ قطعه‌سازی، ماشین‌سازی، ساختمان‌سازی و دیگر صنایع، نرم‌افزارهای کتیا[1] سالیدورکس[2] و اتوکد[3] ابداع شدند و مورد استفاده این صنایع قرار گرفتند، در صنعت کفش نیز نرم‌افزارهای بسیاری در راستای سهولت طراحی و تولید، ساخته‌شده و در شرکت‌های مشهور تولیدکنندهٔ کفش نیز به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاید بتوان اولین تجهیزات تولید انبوه کفش را در کشورهای اروپایی در اوایل قرن بیستم [۳۸] جستجو کرد و تا پیش از آن تولید کفش به شیوهٔ سنتی دوخت کفش انجام می‌شد. اما با پیشرفت فناوری و ورود رایانه به صنعت اوضاع تغییر کرد و در

سال ۱۹۹۳ م اولین نرم‌افزارهای طراحی شومستر[۴] و ماشین‌های برش در کارخانه ساترا[۵] مورد بهره‌برداری قرار گرفتند [۳۹]. این شرکت انگلیسی با ارائهٔ شاخهٔ نرم‌افزارهای شومستر در حوزهٔ طراحی و تولید کفش به شهرت بین‌المللی رسید. شومستر در هر دو بخش طراحی و ساخت عملکرد یکسان و مناسبی دارد و هم‌اکنون در شرکت‌های بزرگ تولید کفش در ایتالیا از جمله گوچی[۶] و آلن ادموندز[۷] مورداستفاده است [۴۰].

بعد از انگلیس در کشور ایتالیا، که کفش‌های سنتی آن در تمامی دنیا به فروش می‌رسد، در حوزهٔ به‌روزرسانی صنعت خود از رقبا عقب نمانده و شرکت کوملز[۸] ایتالیا اولین نرم‌افزار تخصصی کفش خود را در سال ۲۰۰۲ م روانهٔ بازار کرد. این شرکت طی تحقیقات گسترده، محصول سی. ام. ۴۴[۹] که اولین محصول برشکاری باکیفیت بسیار بالا می‌باشد را به بازار عرضه کرد. این محصول ترکیب سه عملکرد تحلیل رایانه‌ای، برش لیزری و تفکیک قطعات به‌صورت خودکار می‌باشد [۴۱]. کشور بعد اسپانیا بود که با سرمایه‌گذاری مناسب در بخش خودکارسازی طراحی کفش داشت، شرکت تی. دی. ام. سولوشن[۱۰] توانست نرم‌افزار منحصربه‌فرد رینوشو[۱۱] را معرفی کند [۴۲]، اما همان‌طور که در مقالهٔ اول هم گفته شد یکی از بزرگترین شرکت‌های نرم‌افزاری جهان با ورود به صنعت کفش و تولید نرم‌افزارهای خودکارسازی کامل طراحی و تولید کفش توانست تا حدود زیادی بازار این صنعت را در اختیار خود بگیرد. شرکت اتودسک[۱۲] در سال ۲۰۱۳ م حق امتیاز نرم‌افزارهای شاخهٔ کفش شرکت دلکم[۱۳] با نام تجاری کریسپین[۱۴] را خریداری کرد و این مجموعهٔ نرم‌افزار را پس از تغییرات و بهبود، روانهٔ بازار نمود. نرم‌افزارهای شاخهٔ کفش این شرکت هم‌اکنون توسط شرکت‌های تولیدکنندهٔ کفش مانند نایک[۱۵] و آنتا[۱۶] استفاده می‌شود [۴۳]. اما علاوه بر مباحث مربوط به خودکارسازی‌های نرم‌افزاری از جمله مباحثی که اخیراً مطرح شده است، مربوط به شخصی‌سازی کفش است [۴۶-۴۴]. اما به‌علت پرهزینه بودن این صنعت هنوز امکان استفادهٔ گسترده از آن وجود ندارد؛ زیرا باید برای هر فرد به‌طور جداگانه تمامی اجزای کفش تولید شود و همین امر موجب بالارفتن هزینه‌های تولید خواهد شد. اما به‌صورت محدود امکان تولید کفی‌های شخصی‌سازی‌شده وجود دارد. در مجموع فرایند شخصی‌سازی کفش مبتنی بر اصول مهندسی معکوس بوده و با پیشرفت فناوری با استفاده از عکسبرداری، اسکن و داده‌برداری می‌توان ابر نقاط و شکل کلی قالب پای هر کس را ایجاد و متناسب با آن کفش را طراحی کرد [۵۳-۴۷]. همچنین در این سال‌ها ایده‌هایی چون برداشت انرژی از راه رفتن [۵۳-۵۵] با استفاده از مواد هوشمند درون کفش جهت شارژ موبایل و همچنین ساخت کفش‌هایی با امکان سازگاری با هر اندازه و قالب پا مورد آزمایش قرارگرفته است [۵۷-۵۶].

با توجه به آنچه گفته شد، صنعت کفش به صنعتی مهمی مبدل شده و هر روز فناوری و ایده‌ای جدید وارد این صنعت خواهد شد. از اینرو باید صنعت کفش در کشور را هرچه سریع‌تر به مرز علم و فناوری نزدیک کرد تا بتوان در آینده انتظار اقتصادی پیشرو را داشت. با توجه به این اهمیت، هدف این مقاله بررسی، امکان‌سنجی و ارزیابی اقتصادی، خودکارسازی کامل نرم‌افزاری تولید کفش و همچنین مطالعهٔ موردی تولید یک نمونه کفش با بهره‌گیری از این فناوری و بیان گزارش فنی و اقتصادی آن می‌باشد.

در این مقاله تمامی روند ساخت و تولید اجزای مدلسازی‌شده به‌صورت خودکارسازی بررسی می‌گردد. در ادامه، پس از بیان اهمیت طراحی اصولی و استاندارد کفی کفش، فرایند طراحی و تولید کفی کفش بررسی شده و یک نمونه کفی شخصی‌سازی‌شده از طریق اسکن پا، طراحی و ساخته شده است. در پایان نیز یک ارزیابی از تفاوت هزینهٔ تولید کفش به شیوهٔ سنتی و صنعتی و میزان تأثیر خودکارسازی نرم‌افزاری بر هزینهٔ تولید کفش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. بررسی فرایندهای تولید کفش

همان‌طور که گفته شد، کفش از اجزای گوناگونی تشکیل شده است. از اینرو جهت تولید محصولی باکیفیت و در عین‌حال ارزان باید برای تمامی اجزای آن از صفرتا صد بهترین راهکار تولید را اندیشید. در این بخش راهکارهای مختلف ساخت اجزای کفش مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۲-۱. بررسی نحوهٔ ساخت قالب (ماهیچه)

گام نخست در ساخت کفش، تولید قالب است. پیش از این قالب مورد نظر در نرم‌افزار لست‌میکر[۱۷] طراحی گردید و در این بخش فرایندهای ساخت قالب طراحی‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تولید قالب کفش در صورت افزایش نرخ تولید و یا میل به طراحی

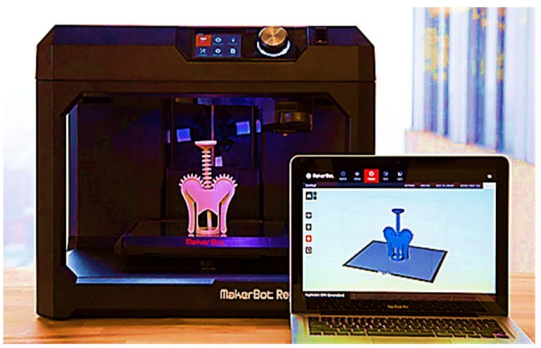
مدل‌های غیرتکراری، طراحی و ساخت قالب کفشی نو و متناسب با نیازهای مشتریان، در جهت تولید بهینه، امری ضروری است. قالب‌های کفش معمولاً از جنس پلاستیک سخت بوده و به‌وسیلهٔ ماشین‌های سی. ان. سی.[۱۸] و سری‌تراش‌ها ساخته می‌شود. گفتنی است اگر از سری‌تراش‌ها استفاده شود، ابتدا باید مدل اولیهٔ قالب با سی. ان. سی. ساخته شده و سپس دستگاه سری تراش که یکی از انواع ماشین‌های تراش قطعات بوده که برای تولید تعداد زیادی از قطعات یکسان استفاده می‌شود، همچون یک دستگاه کپی قالب‌های دیگر را تولید کند. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، معمولاً این ماشین‌ها به‌دلیل نمونه‌برداری از مدل اولیهٔ از پیش‌ساخته‌شده، ارزان‌تر از سی. ان. سی. هستند. با اینحال مهم‌ترین عامل استفاده از سری‌تراش‌ها سرعت بالای آنها در تولید قطعات چوبی و پلاستیکی می‌باشد. از دیگر روش‌های استفاده‌شده در تولید قالب اولیه استفاده از چاپگر سه‌بعدی است. چاپگرهای سه‌بعدی یکی از فناوری‌های نوظهورند و این قابلیت را دارند که هرگونه جسم سه‌بعدی را با هر نوع پیچیدگی تولید کنند و برای این کار کافی است شکل مورد نظر را دریکی از نرم‌افزارهای طراحی مهندسی مدل نموده و سپس آن را با مواد مختلف چاپ کرد.

شکل ۱. تولید قالب با استفاده از دستگاه سری تراش

برای ارائهٔ مدل اولیه به سری‌تراش‌ها، ابتدا این مدل پس از طراحی در نرم‌افزار کریسپین لست‌میکر[۱۹] و استخراج مدل سه‌بعدی توسط چاپگر سه‌بعدی ساخته می‌شود. انتخاب چاپگرهای سه‌بعدی در این بخش از ساخت، بدین‌جهت است که این دستگاه علاوه بر ارزان‌بودن مواد اولیه جهت چاپ، تلفات بسیار کمی از مواد مورد استفاده ایجاد می‌کند و به‌همین دلایل تولید مدل اولیهٔ قالب کفش بسیار ارزان‌تر انجام می‌شود. در شکل ۲ نمونه‌ای از چاپگرهای سه‌بعدی مشاهده می‌شود.

۲-۲. بررسی نحوهٔ ساخت زیره

زیره یکی از متنوع‌ترین قسمت‌های کفش است که در شکل‌ها و جنس‌های گوناگونی در کفش‌ها استفاده می‌شود. به‌منظور طراحی زیره از نرم‌افزار سول انجینیر[۲۰] گردید و یک نمونه زیرهٔ متناسب با قالب طراحی گردید. در این بخش به‌عنوان دومین گام در ساخت اجزای کفش، روش تولید زیره مورد بررسی قرار گرفته است. عموماً زیره‌ها از مواد پلیمری ساخته می‌شوند که مهم‌ترین آنها پلی‌یورتان‌ها، پی وی سی[۲۱] و لاستیک‌ها می‌باشند؛ اما استفاده از فوم‌های پلی‌یورتان در تولید زیره به‌دلائل متنوعی چون بهبود مناسب‌تر عملکرد پا، دوام مناسب، وزن کمتر، مقاومت در برابر آب و انعطاف‌پذیری مقبولیت یافته است.



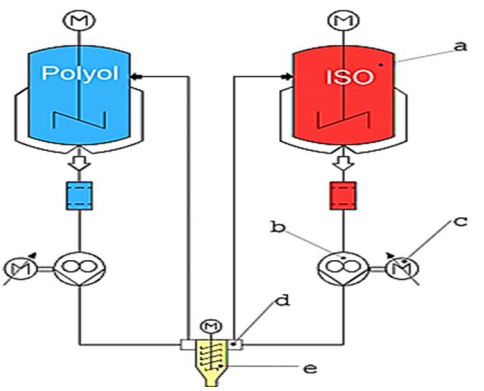
شکل ۲. نمونه‌ای از چاپگرهای سه‌بعدی

جهت تولید زیره از مواد پلی‌یورتان معمولاً از روش و دستگاه تزریق پلی‌یورتان استفاده می‌شود [۵۸]. چون توصیف و تشریح روش تولید به شیوهٔ تزریق پلی‌یورتان در حوصلهٔ این مقاله نمی‌گنجد، لذا تنها اشاره‌ای کلی به فرایند این روش تولید می‌گردد. دستگاه‌های تزریق پلی‌یورتان از شامل دو مخزن اصلی است که مواد شیمیایی به نام پلی آل و ایزوسینات به‌عنوان اساسی‌ترین اجزاء به‌همراه برخی مواد افزودنی مانند رنگ‌دانه‌ها یا تثبیت‌کننده‌ها در مخازن ریخته می‌شود. این مواد به‌دقت اندازه‌گیری شده و از طریق پمپ‌ها اجزاء و مواد را از مخازن تزریق با نسبت‌های دقیق به هد اختلاط منتقل می‌شود. این مخلوط سپس از هد اختلاط به قالب منتقل‌شده و تحت دما و فشار مناسب، درون قالب واکنش میان مواد مذکور صورت گرفته و سپس محصول خارج می‌شود [۵۹]. شکل ۳ نمایی شماتیک از دستگاه تزریق پلی‌یورتان و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن است که در آن الف) مخزن تغذیه، ب) پمپ‌های انتقال، ج) موتور مبدل

فرکانس، د) وسائل کنترل، ه) همزن مجهز به محفظه اختلاط و موتور محرک می‌باشد.

۳. بررسی نرم‌افزارهای ساخت کفش اتودسک

تا اینجا ماشین‌آلات و دستگاه‌های تولید به‌صورت خودکارسازی اجزای کفش معرفی گردید که بیش از پیش در ساخت قالب و زیرهٔ کفش، به‌عنوان زیربنای تولید کفش تأثیرگذار بودند؛ اما در بخش تولید رویه و الگوی دوبعدی و همچنین مدیریت مونتاژ بهره‌گیری از نرم‌افزارها بیش از پیش موجب کاهش زمان و هزینهٔ تولید می‌گردد. بنابراین در این بخش نرم‌افزارهای حوزهٔ ساخت شرکت اتودسک به‌ترتیب روند تولید کفش جهت انجام تولید بهینه معرفی می‌گردند.



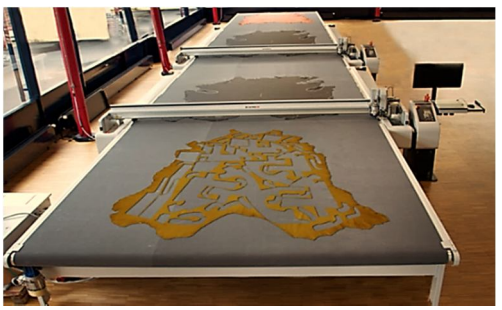
شکل ۳. نمایی شماتیک از دستگاه تزریق پلی‌یورتان

۳-۱. نرم‌افزار بهینه‌سازی الگوی دوبعدی برش

یکی از پیچیده‌ترین مراحل در تولید کفش، بخش برش لت‌های رویهٔ آن است که دقت در برش و سرعت اجرای کار در آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تمامی مراحل بعدی تولید وابسته این مرحله هستند. برش با استفاده از دستگاه‌های سی. ان. سی. لیزر ضمن اینکه دقت و سرعت بسیار بالاتری از روش سنتی دربرش رویه دارد بر اثر سوزاندن لبه‌های کار سبب جلوگیری از نخ‌کش‌شدن چرم مصنوعی در کارکرد طولانی‌مدت می‌شود. در کنار مزایای ذکرشده کاهش هزینه‌های کارگری استفاده از دستگاه‌های سی. ان. سی. در برش رویه (شکل ۴) را مقرون به‌صرفه می‌کند [۶۰]. نرم‌افزار کریسپین پترن کات[۲۲] راهکار نرم‌افزاری شرکت اتودسک در بخش برش رویه است که علاوه بر ایجاد مزایای بالا، با استفاده از الگوریتم‌های نرم‌افزاری قابلیت‌هایی برای اپراتور ایجاد می‌کند که در ادامه هر کدام توضیح داده خواهد شد.

۳-۱-۱. سایزبندی براساس جداول استاندارد

همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد، سایزبندی کفش یکی از مهم‌ترین مراحل تولید کفش می‌باشد در شاخهٔ نرم‌افزاری کریسپین شرکت اتودسک مرحلهٔ سایزبندی در همهٔ نرم‌افزارها وجود دارد؛ بدین دلیل که در هر نرم‌افزار طراح بتواند خروجی طراحی خود را جهت ارائه به بخش تولید در همهٔ سایزها ارائه دهد؛ اما مهم‌ترین بخش سایزبندی در مرحلهٔ برش قسمت‌های مختلف رویهٔ کفش است. نرم‌افزار کریسپین پترن کات این امکان را فراهم می‌کند که پس از طراحی یک سایز دلخواه در نرم‌افزارهای بخش‌های قبل الگوهای دوبعدی جهت برش به‌وسیلهٔ ماشین‌آلات سی. ان. سی. و یا برش دستی سایزبندی شوند.



شکل ٤. نمونه‌ای از دستگاه‌های سی. ان. سی. لیزر برش چرم

۳-۱-۲. چینش خودکار و بهینهٔ لت‌ها

فرایند چینش بهینهٔ الگوهای برش از جمله فرایندهای مهم در صنعت می‌باشد که دربرش ورق‌های فلزی کاربرد بسیاری دارد و منجر به کاهش پرت مواد مصرفی می‌شود. در صنعت کفش که به تکه‌های چرمی که به هم متصل می‌شوند و رویه را تشکیل می‌دهند در اصطلاح لت گفته می‌شود. با استفاده از نرم‌افزار کریسپین پترن کات می‌توان در یک محیط نرم‌افزاری ساده علاوه بر مدیریت تعداد برش از هر لت کفش، برش بهینهٔ لت‌ها را با استفاده از الگوریتم‌های نرم‌افزاری موجود در برنامه به‌صورت خودکار انجام داد.

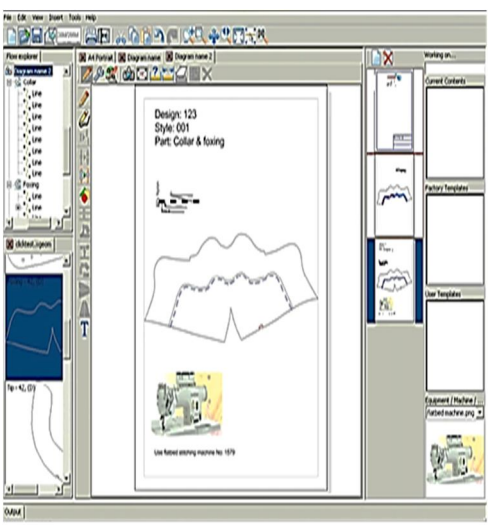
۳-۱-۳. اتصال مستقیم به ماشین‌آلات سی. ان. سی.

ساده‌بودن کار با یک نرم‌افزار همواره جزء نقاط مثبت آن محسوب می‌گردد. در نرم‌افزار پترن کات به‌دلیل وجود بانک اطلاعاتی از انواع سی. ان. سی. اپراتور می‌تواند بدون نیاز به داشتن تخصص در زمینهٔ کدهای سی. ان. سی. و پسوندهای مختلف نگه‌داری آن

(به‌عنوان نمونه پسوندهای nc. و plt.) و همچنین تفاوت‌های ماشین‌آلات سی. ان. سی. و کنترلگرهای آن مستقیماً با متصل‌نمودن رایانه به دستگاه سی. ان. سی. و ارسال دستورات عملیات برش را آغاز کند.

۳-۲. نرم‌افزار مدیریت بخش مونتاژ

بخش مونتاژ به‌عنوان یکی از مراحل اصلی فرایند تولید یک محصول محسوب می‌شود و همواره به‌دلیل ملاحظات بسیاری که در این بخش وجود دارد، مدیریت بخش مونتاژ حائز اهمیت بسیار است. در فرایند تولید کفش، پس از برش بخش‌های مختلف رویه یا به اصطلاح لت‌های کفش باید لت‌ها طبق مدل اصلی کفش، مرتب و به‌هم متصل شوند. از این جهت لازم است که دستورات نحوهٔ اتصالات در هر بخش از هر کفش به اپراتور مونتاژ داده شود. این دستورات که نوع و جنس دوخت، محل تا خوردن لبه، اندازه‌ها و جز این‌ها را شامل می‌شود، در روش سنتی از طریق نشان‌گذاری بر لت‌ها یا آموزش مستقیم به کادر تولید انجام می‌گیرد؛ اما با افزایش حجم تولید، مدل‌ها و تعداد تکنسین، نشان‌گذاری و یا آموزش نفربه‌نفر کادر مونتاژ امکان‌پذیر نیست. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نرم‌افزار کریسپین تک‌پک[۲۳] این امکان را فراهم می‌کند که طراح با استفاده از خروجی نرم‌افزارهای بخش قبل دستورات مونتاژ را برای هر مدل در نرم‌افزار لحاظ کند و به‌صورت جدول راهنمای طراحی در اختیار کادر مونتاژ قرار دهد.



شکل ۵. تصویری از محیط نرم‌افزار تک‌پک

پس از تکمیل فرایند مونتاژ کفش، تنها بخش باقی‌مانده تولید کفی است. کفی کفش مهم‌ترین بخش به‌لحاظ درمانی است و از این‌رو طراحی و ساخت مناسب آن در حفظ سلامت و حتی بهبود بیماری‌ها مؤثر است. یکی از ابداعات جدید شخصی‌سازی کفش است. به‌طوری‌که یک کفش متناسب با اندازه و ویژگی‌های شخصی فرد ساخته می‌شود که در این فرایند هم مهم‌ترین بخش، شخصی‌سازی کفی کفش است. در ادامه، پس از بیان اهمیت و توصیف ارزیابی بیومکانیکی پا جهت شخصی‌سازی کفش شیوه‌های نوین این نوع ارزیابی معرفی شده و در نهایت فرایند تبدیل یک نقشهٔ ارزیابی پا به محصولی باکیفیت و مناسب توضیح داده شده است.

٤. کفش و کفی طبی

کفش و کفی طبی برای محافظت پا از بیماری‌ها و اصلاح مشکلات آن استفاده می‌شود. در دنیای پزشکی، کفش طبی نه‌تنها برای افرادی که دچار بیماری‌های پا هستند، که برای افراد سالم نیز توصیه می‌شود. ویژگی منحصر به‌فرد این کفش‌ها سازگاری کامل با پای شخص یا همان ارگونومی صحیح آنهاست. کفش‌های طبی به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند که تأثیر بیماری‌های موجود در پای افراد کاهش یابد و درمان شود. کفی‌های طبی نوعی از ارتز[۲۴] هستند که عموماً برای اصلاح الگوی راه رفتن و کاهش تأثیر دردهای احتمالی در پا مورد استفاده قرار می‌گیرند. کفی طبی در شکل‌ها، اندازه‌ها و مواد مختلف عرضه و از نظر عملکرد به چند دستهٔ اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از: کفی‌ها و کفش‌های طبی که برای تغییر و کنترل عملکرد پا طراحی می‌شوند و کفی‌ها و کفش‌های طبی که برای حفاظت از پا طراحی‌شده‌اند. کفی‌های طبی از نظر ساختار به دسته‌های سخت، نیمه‌سخت و نرم تقسیم می‌شوند. کفی‌های سخت برای کنترل عملکرد طراحی می‌شوند و در اصل برای پیاده‌روی یا کفش‌های مجلسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع کفی طبی عموماً از مواد مستحکمی مثل پلاستیک یا فیبر کربن ساخته می‌شوند. کفی طبی سخت حرکت دو مفصل اصلی کف پا که دقیقاً در زیر قوزک پا قرار دارند را کنترل می‌کند و باعث بهبود قوس کف پا و مانع از خشکی پا و درد کمر می‌شود. کفی طبی نیمه‌سخت سبب حفظ تعادل پا در حین راه‌رفتن و ورزش‌کردن می‌شوند. کفی‌های طبی نیمه‌سخت عموماً از لایه‌های نرم ساخته می‌شوند که با موادی سخت‌تر مستحکم شده است. کفی طبی نرم عموماً ضدضربه است، تعادل را افزایش می‌دهد و مانع از فشار روی نقاط دردناک

می‌شود. این نوع کفی طبی معمولاً برای افراد مبتلابه دیابت، آرتریت و افرادی که بدشکلی پا (پای پرانتزی و ضربدری) و درد کف پا دارند، مؤثر است [۶۱]. اما همان‌طور که گفته شد از جمله محصولات نوین در حوزهٔ تولید کفش، تولید کفی و کفش طبی سفارشی به‌صورت اختصاصی برای محافظت و راحتی پای هر شخص طراحی می‌باشد. این نوع از کفش و کفی طبی دقیقاً با قالب پای شخص انطباق دارد و براساس نحوهٔ راه‌رفتن شخص طراحی می‌شود. این نوع کفی و کفش طبی پس از بررسی کامل پا، قوزک و ساق پا ساخته می‌شود تا کفی یا کفشی که ساخته می‌شود با ساختار و پاتولوژی شخص کاملاً مطابقت داشته باشد.

٤-١. ارزیابی بیومکانیکی و اسکن کف پا

پای انسان همانند اثر انگشتان منحصر به‌فرد است و کفی و کفش‌های طبی موجود در بازار به جهت ایجاد بهبود و درمان بیماری‌های مرتبط با پا نتایج مطلوبی ندارند. اسکن کف پا برای به‌دست آوردن اندازه و مشخصات دقیق پاها بسیار مؤثر می‌باشد. در این روش پای شخص اسکن می‌شود، سپس کفی یا کفش طبی به‌صورت سفارشی برحسب اندازه و طرح دقیق پای شخص قالب‌بندی می‌شوند. کفی‌ها و کفش‌های سفارشی ساخته‌شده عموماً کیفیت بالاتری دارند و نسبت به ارتزهای آماده برای فروش در بازار ماندگاری بیشتری دارند. با وجود نقش مهمی که مکانیک پا در سلامتی افراد دارد تا اواول دههٔ حاضر روش دقیقی برای سنجش عملکرد پا در حین راه‌رفتن وجود نداشت. پا در هنگام راه‌رفتن در حدود هشت‌دهم ثانیه و در حین دویدن در حدود یک‌چهارم ثانیه با زمین تماس دارد که سریع‌تر از آن است که بتوان با چشم غیرمسلح عملکرد نرمال یا غیرنرمال پا را تشخیص داد. از طرف دیگر، کفش و کفی طبی برای کنترل عملکرد پا از مدت‌ها پیش مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما برای تجویز آنها از روش‌های قدیمی معاینه مثل گچ گرفتن و تحلیل ویدئویی در هنگام راه‌رفتن استفاده می‌شد. این روش‌های معاینه برای تعیین عملکرد دقیق پا در هنگام راه‌رفتن مناسب نیستند و درزمینهٔ تشخیص و درمان نیز کاملاً دقیق نمی‌باشند [۶۲]. اسکن پا فناوری است که با جمع‌آوری داده توسط حسگرهای موجود روی صفحه (صفحه‌ای که شخص روی آن می‌ایستید و یا راه می‌رود) صورت می‌گیرد. این حسگرها فشار را در نقاط مختلف پا اندازه‌گیری می‌کنند. فناوری اسکن سه‌بعدی این امکان را فراهم می‌کند که به‌طور کامل نیروهایی که هنگام راه‌رفتن بر پا وارد می‌شوند درک شوند و زمان‌بندی آنها مشخص شود. با مقایسهٔ نتایج این اسکن‌ها با عملکرد ایده‌آل پا و با در نظر گرفتن مواردی همچون بیومکانیک پاها، هم‌ترازی پا، ارزیابی‌های وضعیتی و عوامل دیگر، درمان مؤثر بیمار را امکان‌پذیر می‌سازد.

٤-٢. انواع اسکنرهای سه‌بعدی

همان‌طور که گفته شد مؤثرترین و نوین‌ترین روش در ارزیابی بیومکانیکی پا، اسکن پاست. در یک دههٔ اخیر با پیشرفت علوم، فناوری‌های به‌کار رفته در اسکن‌ها نیز جهت افزایش دقت و کارآمدی هرچه بیشتر نیز دچار تحول شده‌اند. در ادامه انواع مختلف این فناوری کارآمد معرفی و با هم مقایسه شده‌اند.

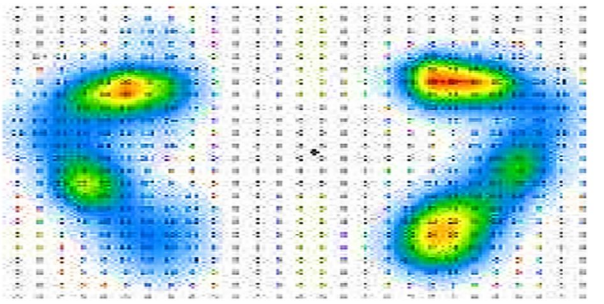
٤-٢-١. اسکنرهای تماسی

اسکنرهای تماسی[۲۵] اسکنرهایی هستند که در آنها حسگرهای اندازه‌گیری در تماس مستقیم با کف پا قرار می‌گیرند. این اسکنرها به دودستهٔ اسکنرهای نگاشت فشاری[۲۶] و اسکنرهای با حسگر پین‌تخت[۲۷] تقسیم می‌شوند. در اسکنرهای نوع اول چیدمانی از حسگرهای حساس به فشار قرار گرفته‌اند و تصویری از توزیع فشار ارائه می‌دهند. در شکل ۶ نمونه‌ای از خروجی اسکنرهای نگاشت فشاری مشاهده می‌شود. در اسکنرهای نوع دوم (شکل ۷) علاوه بر اندازه‌گیری فشار، توسط حسگرهای پینی شکل ارتفاع نقاط مختلف پا نیز اندازه‌گیری می‌شود [۶۳].

٤-٢-٢. اسکنرهای غیرتماسی

اسکنرهای غیرتماسی[۲۸] اسکنرهایی هستند که در آنها حسگرهای اندازه‌گیری در تماس مستقیم با کف پا نیستند. این اسکنرها به دو دستهٔ اسکنرهای نوری و اسکنرهای لیزی تقسیم می‌شوند. در اسکنرهای نوری (شکل ۸) به‌وسیلهٔ عکسبرداری با دو دوربین به‌طور همزمان از دو زاویهٔ متفاوت تصاویری سه‌بعدی از پای شخص تهیه می‌شوند. در این نوع از اسکنر برای پردازش تصویر دقیق‌تر شخص، جوراب با طرح خاص مخصوص اسکنر را به پا می‌کند و یا پرتوهای نور به‌صورت طرح مشخصی روی پای شخص تابانده می‌شود. سپس نرم‌افزار با استفاده از دو تصویر گرفته‌شده عمق را تشخیص می‌دهد. در اسکنرهای لیزری (شکل ۹) که بالاترین سطح فناوری را در بین اسکنرهای پا دارند یک خط پرتوی لیزر روی پا تابانده می‌شود و در امتداد پا حرکت

می‌کند و کل سطح پا را پوشش می‌دهد. همزمان با تاپش پرتو لیزر دوربین‌هایی از آن عکس می‌گیرند و به‌کمک الگوریتم‌های نرم‌افزاری اطلاعات جمع‌آوری شده به مدل کامل پا تبدیل می‌شوند [۶۳].



شکل ٦. نمونه‌ای از خروجی اسکنرهای نگاشت فشاری

شکل ۸. اسکنرهای نوری

۱. ابتدا پا بررسی می‌شود. در حالی‌که فرد روی صفحهٔ اسکن راه می‌رود، هزاران حسگر ریز توزیع فشار را در طول زمان تماس پا با زمین بررسی می‌کنند.

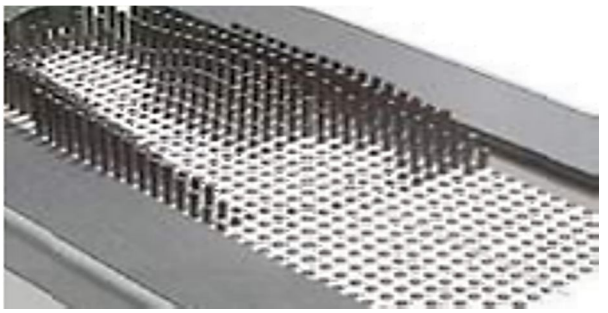
۲. فشار کف پا ترسیم می‌شود. رایانه نمایش‌های بصری دوبعدی و سه‌بعدی فشار وارده بر کف پا را در هنگام راه‌رفتن نمایش می‌دهد. نتایج مشخص می‌کند که در کدام محل فشار کم یا در کدام محل فشار زیادی وجود دارد.

۳. نتایج نهایی چاپ می‌شود. سپس این اطلاعات در یک گزارش به‌صورت خلاصه ارائه می‌شود. یافته‌های گزارش کمک می‌کنند تا عملکرد پای فرد ارزیابی شود و مشخص می‌کند که دردی که فرد احساس می‌کند ناشی از عملکرد نامناسب کدام بخش از پاست.

۴. نیاز به کفی و کفش طبی بررسی می‌شود. اطلاعات این گزارش به پزشک کمک می‌کند تا تعیین کند آیا استفاده از کفش و کفی طبی ضرورت دارد یا خیر.

٤-۲-۳. فرایند و شیوهٔ کاری اسکنرهای سه‌بعدی

باوجود تفاوت‌های گسترده‌ای که این نوع اسکنرها به لحاظ فناوری با هم دارند، اما تقریباً شیوهٔ کاری، فرایند اسکن و تحلیل و بررسی اطلاعات خروجی از آنها یکسان بوده و از ترتیب ذیل و شکل فلوچارت ۱۰ پیروی می‌کند:



شکل ۷. اسکنرهای با حسگرهای تخت

شکل ۹. نمایش اسکنر لیزری

۵. در صورت نیاز به کفی و کفش طبی، در مرکز ارتوپدی فنی مراحل طراحی و ساخت کفی یا کفش طبی آغاز می‌شود. وقتی هم‌تراز نبودن پا علت عملکرد غیرعادی پا است (که حدوداً در ۷۰ درصد بیماران علت بیماری همین موضوع است)؛ با ارزیابی اسکن پا می‌توان حتی قبل از به‌وجود آمدن درد، مشکلات را تشخیص داد. با کنترل و بهینه‌سازی عملکرد پا حتی بدون وجود درد و عملکرد غیر نرمال، می‌شود تا حدود زیادی احتمال ابتلا به بسیاری از مشکلات آتی را پیش‌بینی و کاهش داد.

٤-۳. نرم‌افزارهای طراحی و ساخت کفی طبی

از دیگر کاربردهای خودکارسازی نرم‌افزاری امکان طراحی و تولید کفی‌های طبی است. کفی‌های طبی به دو صورت طراحی و ساخته می‌شوند؛ اول کفی‌های استاندارد که براساس سایزبندی‌های استاندارد کفش ساخته می‌شوند و دوم کفی‌های سفارشی اختصاصی برای هر فرد که با استفاده از اطلاعات حاصل

از اسکن کف پای هر فرد طراحی و ساخته می‌شوند. با توجه به استفادهٔ روزافزون کفی‌های طبی اختصاصی در سال‌های اخیر، در این بخش نرم‌افزارهای حوزهٔ طراحی و ساخت کفی‌های طبی شرکت اتودسک، طراحی و تولید این نوع کفی بررسی می‌گردد.

٤-٣-١. مدلسازی کفی مبتنی بر اسکن کف پا

نرم‌افزار ارتومدل[٢٩] از سری نرم‌افزارهای اتودسک برای طراحی کفی طبی است در این نرم‌افزار همان‌گونه که گفته شد؛ گام اول مدلسازی با استفاده از ورودی اسکنرهای کف پا و یا با استفاده از بانک مدل‌های نرم‌افزار که براساس داده‌های سایزبندی استاندارد هستند آغاز می‌شود. سپس در مرحلهٔ بعدی بر اساس نوع کفش شخصی که کفی براساس پای او طراحی می‌شود ارتفاع پاشنه و حدومرزهای کفی معین می‌شود و در گام آخر نقاط خاصی از کفی که باید ضخامت آنها کمتر و یا بیشتر باشند و یا اینکه از جنس دیگری ساخته شوند معین می‌گردد.

٤-٣-٢. نرم‌افزار ارتباط با سی. ان. سی. ساخت کفی

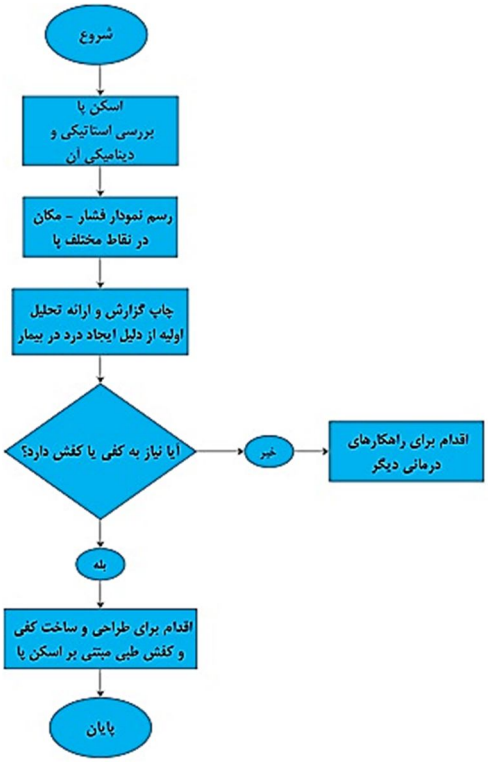
در نرم‌افزار ارتومیل[٣٠]، روند کار بدین شکل است که ابتدا سایز قطعهٔ خامی که قرار است کفی‌ها روی آن تراش بخورند معین می‌شود. سپس کفی‌هایی که در نرم‌افزار ارتومدل طراحی شده‌اند را به نرم‌افزار وارد کرده و با توجه به ابعاد کفی و ابعاد قطعهٔ خام کفی‌ها را در جای مناسبی قرار می‌دهند؛ به‌گونه‌ای‌که با سایر کفی‌ها تداخل پیدا نکند. در گام بعد دستور تهیهٔ جی. کدها داده می‌شود و فرایند برش شبیه‌سازی می‌شود تا اپراتور از صحت کدها مطمئن شود. در پایان فایل‌هایی با پسوند nc. ذخیره می‌گردد که به‌وسیلهٔ آنها فرایند برش روی دستگاه سی. ان. سی. اجرا می‌شود.

٥. مطالعهٔ موردی

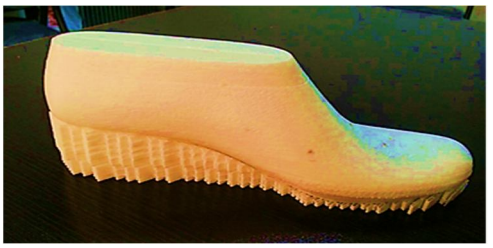
در این بخش، گزارشی فنی، از نتایج و خروجی ساخت کفش طراحی‌شده در مقالهٔ بخش اول با استفاده از شاخهٔ نرم‌افزاری کفش اتودسک بیان می‌شود.

٥-١. ساخت قالب کفش

همان‌طور که در شکل ١١ مشاهده می‌شود، برخلاف آنکه مدل‌های اولیه قالب معمولاً با ماشین سی. ان. سی. ساخته می‌شوند، اما در این پژوهش برای اولین‌بار قالب توسط چاپگر سه‌بعدی ساخته شد.



شکل ١٠. فلوچارت روند کاری بهره‌گیری از اسکنرهای سه‌بعدی



شکل ١١. مدل اولیه قالب پرینت‌شده با چاپگر سه‌بعدی

٥-٢. ساخت زیره

چون ساخت زیره به‌علت بهره‌گیری از دستگاه تزریق پلی‌یورتان بوده و این فرایند جهت تولید تکی به‌علت بالابودن هزینهٔ ساخت قالب متناسب با زیرهٔ طراحی‌شده به‌صرفه نیست، از زیره‌های آماده استفاده شده است.

٥-٣. برش الگوی دوبعدی

چیدمان الگوی مدل آزمایشی در سه سایز مختلف توسط نرم‌افزار پترن کات انجام شده است. سپس از طریق این نرم‌افزار دستور برش الگوها روی چرم داده می‌شود.

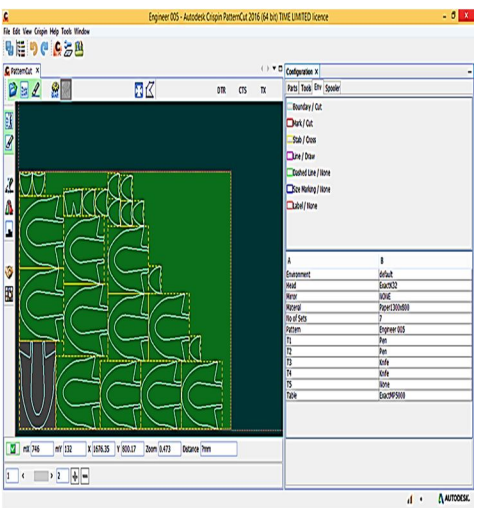
٥-٤. طراحی و ساخت کفی متناسب با اسکن پا

پس از واردکردن نمونهٔ اسکن‌شدهٔ پا به نرم‌افزار ارتومدل و اتمام مراحل تحلیل نرم‌افزار (شکل ١٣)، کفی متناسب با کف آن توسط

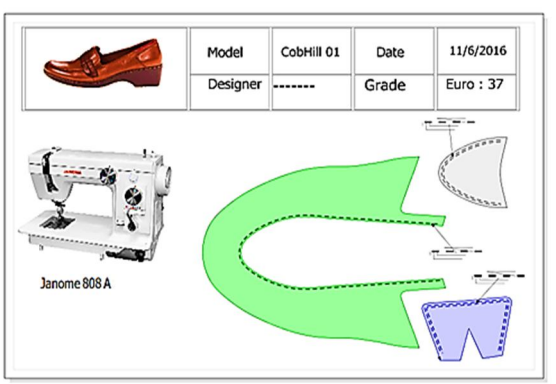
نرم‌افزار پیشنهاد شده است. کفی خروجی نرم‌افزار به‌صورت مدل سه‌بعدی است و قابلیت ورود به نرم‌افزارهای دیگر طراحی را دارد. سپس کفی طراحی‌شده در نرم‌افزار ارتومدل (شکل ۱۴) توسط نرم‌افزار ارتومیل شبیه‌سازی شده است (شکل ۱۵) و در نهایت جهت ساخت کفی به دستگاه سی. ان. سی. دستور برش ارسال می‌گردد. در شکل ۱۶ نیز کفش تولیدشدهٔ نهایی مشاهده می‌شود.

٦. ارزیابی هزینه‌های تولید

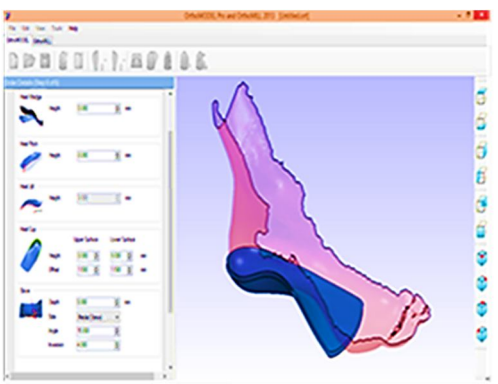
نخستین هدف از انجام این تحقیق، امکان‌سنجی پیاده‌سازی خودکارسازی نرم‌افزاری در یک واحد تولیدی کفش بود. اما هدف دوم؛ یعنی محاسبهٔ سرمایهٔ اولیهٔ اجرای طرح، هزینه‌های صرفه‌جویی شده و مدت بازگشت سرمایه، در جدول‌های ۱ تا ۳ پیوست قرار گرفته است. در این ارزیابی هزینهٔ ماشینی‌کردن بخش‌های مختلف تولید بررسی شده است. در این بخش سه جزء اصلی خودکارسازی نرم‌افزار یعنی قالب (ماهیچه)، زیره و برش رویه به‌عنوان پارامترهای تعیین‌کننده در سرعت و هزینه‌های تولید در نظر گرفته شدند و به‌صورت پیش‌فرض محاسبات هزینه‌ها برای یک ماه تولید و مقدار روزانه ۱۰۰۰ جفت انجام شده است. در در این نوع خودکارسازی، مبلغ ۳۵ میلیون تومان افزایش سود ماهانه نسبت به روش سنتی محاسبه شده است. همچنین با احتساب هزینهٔ خرید دستگاه سری‌تراش، دستگاه تزریق پلی‌یورتان، چاپگر سه‌بعدی و سی. ان. سی. لیزر و دیگر هزینه‌های جاری، زمان بازگشت سرمایه هفت ماه محاسبه شده است.



شکل ۱۲. چیدمان بهینه لت‌های کفش مورد مطالعه با پترن کات

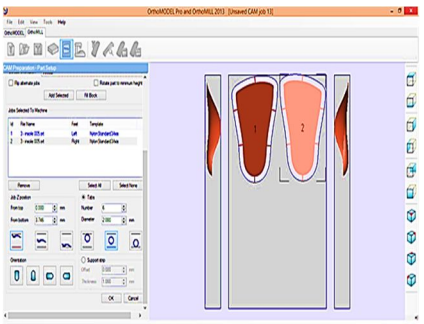


شکل ۱۳. جدول راهنمای مونتاژ مدل آزمایشی در نرم‌افزار تک‌پک



شکل ۱٤. مدلسازی کفی کفش بر پایهٔ اسکن کف پا

از نتایج هزینه‌ها چنین برمی‌آید که استفاده از این سیستم تولید تأثیر چشم‌گیری بر افزایش سودآوری واحدهای تولیدی بزرگ خواهد داشت. این سیستم امکان طراحی و تولید صفر تا صدی را برای واحدهای تولیدی ایجاد می‌کند که این مسئله در این صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.



شکل ۱۵. تعیین محل برش کفی‌ها در قطعه کار

شکل ۱۶. کفش تولیدشده با استفاده از خودکارسازی

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله نرم‌افزارهای شرکت اتودسک در زمینهٔ طراحی و تولید کفش با توجه به شرایط تولید در ایران انتخاب و بررسی شد و یک نمونه کفش به‌طور آزمایشی توسط این نرم‌افزار طراحی و تولید شد. در پایان، هزینه‌های خودکارسازی تولید بررسی و میزان افزایش سوددهی در این روش نسبت به روش سنتی در پیوست محاسبه شده است. درمجموع می‌توان اشاره کرد که خودکارسازی نرم‌افزاری تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های طراحی و تولید کفش خواهد داشت.

پی‌نوشت

1. Catia
2. Solid works
3. AutoCAD
4. Shoemaster
5. SATRA
6. Gucci
7. Alen Edmonds
8. Comels
9. CM44
10. TDM Solutions
11. Rinoshoe
12. Autodesk
13. Delcam
14. Crispin
15. NIKE
16. ANTA
17. LASTMAKER
18. CNC
19. Crispin Last maker
20. Sole Engineer
21. PVC
22. Crispin Pattern Cut
23. CrispinTechpac
24. Orthesis
25. Contact Scanner
26. pressure mapping
27. flatbed pin sensor
28. Non contact Scanner
29. Orthomodel
30. Ortho Mill