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

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: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۲

چکیده

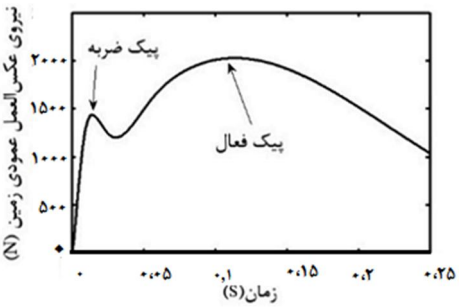
در سال‌های اخیر، ورود نرم‌افزارهای هوشمند و ماشین‌های رایانه‌محور به عرصهٔ صنایع سبب شده است تا کیفیت، تنوع و سرعت تولید افزایش چشمگیری داشته باشد. این پیشرفت نرم‌افزاری، که اصطلاحاً طراحی و ساخت به‌کمک رایانه نامیده می‌شود، صنعت نسبتاً پیچیدهٔ کفش را نیز دستخوش تغییراتی کرده است. علاوه بر این، امروزه 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 این موضوع، شرکت‌های گوناگون نرم‌افزاری، مجموعه‌ای از نرم‌افزارها را برای تولید خودکار کفش ارائه کرده‌اند. در پژوهش حاضر، نخست با استفاده از روش ماتریس تصمیم‌گیری، بهترین شاخهٔ نرم‌افزاری مورد استفاده در ساخت کفش انتخاب و در ادامه، توصیف فرایند طراحی با استفاده از این مجموعهٔ نرم‌افزاری بیان شده است. سپس در بخش مطالعهٔ موردی، طراحی یک نمونه کفش با بهره‌گیری از فرایند خودکارسازی نرم‌افزاری پیاده‌سازی شده است. در این فرایند ابتدا قالب متناسب با نمونه طراحی و در بخش زیره، یک نمونه زیرهٔ مناسب، توسط نرم‌افزار طراحی شده است. سپس طراحی مدل سه‌بعدی کفش روی قالب انجام گرفته و الگوی دوبعدی به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار استخراج شده و بدین‌ترتیب طراحی کفش به اتمام می‌رسد.

واژگان کلیدی

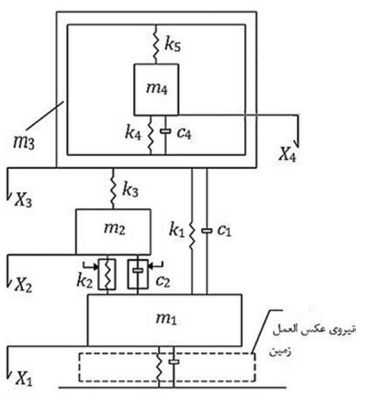
کفش، خودکارسازی نرم‌افزاری، روش‌های طراحی مهندسی، ماتریس تصمیم‌گیری، اتودسک

۱. مقدمه

کفش از نیازهای اولیهٔ بشر است که به‌دلیل اهمیت آن در زندگی روزمرهٔ انسان، از سالیان دور به یک صنعت پیچیده و ظریف تبدیل شده است. در سال‌های اخیر نیز توجه به کفش‌های طبی جهت درمان بیماران، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به‌عنوان مثال بیمارانی با اختلالات عصبی محیطی عموماً در راه‌رفتن مشکلات عدیده‌ای دارند. این امر در افراد سالمند نیز به‌جهت بیماری‌های پیش‌زمینه مانند دیابت (مشهورترین عامل پیش‌زمینهٔ اختلالات عصبی [۱]) تشدید می‌گردد. علاوه بر سالمندان، برخی از افراد نیز به‌علت عوامل ژنتیکی از بدو تولد دارای اختلالات حسی (سندرم اعصاب تحت‌فشار) هستند. در این افراد نیز همانند سالمندان کنترل تعادل کاهش می‌یابد و در نتیجه ریسک زمین‌خوردن در آنها بالا می‌رود [۲]. طبق تحقیقات صورت‌گرفته حدود ۳۰ درصد از این بیماران حداقل یک‌بار در سال و ۱۵ درصد از آنها بیش از دو بار در سال زمین می‌خورند [۳]، ازاینرو 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 [۴–۸]. علاوه بر این در افراد سالم نیز در دو دههٔ 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. از طرف دیگر، طبق پژوهش‌های صورت‌گرفته، پیاده‌روی و دویدن‌های تفریحی - ورزشی بسیار مورد توجه عموم است و از قضا صدمات بسیاری را هم درپی دارد. برای مثال حدود ۲۴ الی ۶۷ درصد از ۳۰ میلیون امریکایی که به‌صورت تفریحی پیاده‌روی می‌کنند، حداقل یک هفته در سال را از آسیب‌های ناشی از دویدن رنج می‌برند [۹–۱۰]. 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 [۱۱]. نیروهای وارد بر بدن انسان در زمان برخورد با زمین منجر به ایجاد دو قلهٔ نیرویی (شکل ۱) می‌شوند. اولین قله، که قلهٔ ضربه نام دارد، نیرویی با فرکانس بالاست. این نیرو مهم‌ترین عامل کمردردها و آسیب‌های این منطقه از بدن است [۱۲]. قرار گرفتن مفاصل در معرض این نیروهای فرکانس بالا سبب از بین رفتن غضروف مفصلی خواهد شد [۱۳]. در پژوهش‌ها نشان داده شده است که مقدار این نیروها در هنگام دویدن تا ۲ برابر [۱۴] و در هنگام پریدن تا ۱۱ برابر [۱۵] وزن انسان خواهد بود. قلهٔ دوم نیز قلهٔ فعال نام دارد و به‌دلیل عکس‌العمل عضلات به نیروی ضربه ایجاد می‌شود. زمان مورد نیاز عضلات برای درک ضربه و دریافت دستور برای اعمال عکس‌العمل بیشتر از زمان ضربه است؛ پس این نیرو دارای فرکانس کمتری است [۱۶]. یکی از مهم‌ترین اهداف در طراحی مناسب کفش کاهش همین نیروهاست.



شکل ۱. نمایش شماتیک نیروی عکس‌العمل زمین



شکل ۲. مدل چهار درجه آزادی بدن انسان در هنگام راه رفتن

علاوه بر آنچه گفته شد، خستگی ناشی از دویدن‌های طولانی‌مدت سبب ایجاد آسیب‌هایی می‌شود که همین امر موجب شده است تا پارامتر خستگی عضلانی نیز در طراحی مناسب کفش‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد [۱۷–۱۹]. علاوه بر این، در پژوهش‌های گوناگون، جهت بررسی نظری و تحلیلی دینامیک راه‌رفتن یا دویدن، مدل‌های مختلفی ایجاد شده است. از سال ۱۹۹۰ م، تلاش‌هایی برای ایجاد این مدل‌ها صورت پذیرفته است. در ابتدا یک مدل ریاضی برای دویدن، مبتنی بر ویژگی‌های اندام تحتانی ایجاد گردید [۲۰]. در این پژوهش مشخص شد که نیروی عمودی زمین در میانهٔ گام برداشتن، با انتخاب طول

گام‌های مختلف به‌گونه‌ای تغییر می‌کند تا کمینه شود. در سال ۲۰۰۰ م، مدلی دیگر برای مطالعهٔ نیروی ضربه ارائه شد. این مدل، یک مدل چهار درجه آزادی ارتعاشی بود که هر دو نوع جرم‌های صلب و ارتعاشی را شامل می‌شد. در این پژوهش پارامترهای دخیل در دویدن مور دبررسی قرار گرفت [۲۱]. چند سال بعد نشان داده شد که مدل ارائه‌شده صحیح نیست و با نتایج آزمایشگاهی انطباق ندارد [۲۲]. در همین راستا تحقیقاتی نیز دربارهٔ اندام تحتانی ثابت یا پاشنهٔ ثابت صورت پذیرفت که نشان داد که با کاهش سختی کفش نیروی ضربه کاهش می‌یابد و در تحقیقات بعدی مشخص شد که سختی کفش تأثیر کمی دارد [۲۳–۲۸]. علاوه بر درک دینامیکی راه‌رفتن، آزمایش‌هایی دربارهٔ تأثیر انطباق سیستم عصبی - عضلانی انجام شده است [۲۹–۳۰]. در نهایت با توجه به این نتایج یک مدل کامل منطبق بر نتایج آزمایشگاهی ارائه شد [۳۱]. در این مدل، سیستم عصبی مرکزی به‌گونه‌ای عمل می‌کند که تا نیروی وارده یا شتاب و یا دامنهٔ ارتعاشات ثابت باشد. دو ویژگی خلاقانه در این مدل وجود دارد که آن را از سایر مدل‌ها متمایز کرده است: اول اینکه این مدل هم جرم‌های صلب و هم جرم‌های غیرصلب بدن را در نظر می‌گیرد و ثانیاً رابطه‌ای برای برهم‌کنش زمین و کفش در نظر گرفته که موجبات امکان تعیین ویژگی‌های کفش را ایجاد می‌کند [۳۲]. در شکل ۲ مدل چهار درجه آزادی ارائه‌شده در مرجع [۳۳] نمایش داده شده است. این مدل، شکل بهبودیافتهٔ مدل ارائه‌شده در مرجع [۳۲] است که نخستین‌بار در مرجع [۲۴] جهت شبیه‌سازی نیروی عکس‌العمل زمین ارائه شد.

هم‌اکنون جهت تحلیل و شناسایی پارامترهای دینامیکی در هنگام دویدن و طراحی مناسب کفش مبتنی بر پارامترهای دینامیکی بدن انسان از این مدل چهار درجه آزادی ارتعاشی بدن انسان استفاده می‌شود. پس از بیان و مرور پژوهش‌های انجام‌شده در زمینهٔ طراحی کفش، 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 تا تولیدکنندگان از تولید سنتی کفش دست کشیده و کارگاه‌های خود را به کارخانه‌هایی تمام‌خودکار تبدیل کنند؛ اما متأسفانه با وجود حضور طولانی‌مدت صنعت کفش در ایران و پوشش بخش وسیعی از مشاغل افراد جامعه، 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، مورد توجه بسیار قرار گرفته است. متأسفانه با تمام تلاش‌هایی که در کشور برای تولید ارزان‌تر این محافظ مهم قلب دوم انسان شده است، اما به‌علت عدم استفاده از فناوری روز دنیا و در نتیجه قیمت تمام‌شدهٔ بالای این محصول کمک‌درمانی، 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 جز 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 دارد که نیازمند هزینه‌های زیادی نخواهد بود. لذا در این پژوهش فناوری‌هایی در حوزهٔ کفش معرفی خواهد شد که برای تولیدکنندگان حتی‌الامکان کمترین هزینه را داشته و در مقابل مزایای اقتصادی و فنی بسیاری را به‌همراه داشته باشد. 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[۱]، سالیدورکس[۲] و اتوکد[۳] ابداع شدند و مورد استفاده 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. با توجه به اهمیت موضوع طراحی و ساخت بهینهٔ کفش به جهت در نظر گرفتن پارامترهای فنی، بهداشتی و اقتصادی هدف این مقاله بررسی، امکان‌سنجی و ارزیابی اقتصادی خودکارسازی کامل نرم‌افزاری تولید کفش و همچنین مطالعهٔ موردی طراحی یک نمونه کفش با بهره‌گیری از این فناوری و بیان گزارش فنی آن می‌باشد. برای این منظور، ابتدا به‌طور مختصر اصطلاحات مرسوم در صنعت کفش و شرکت‌های

تولیدکنندهٔ نرم‌افزارهای این حوزه معرفی‌شده، سپس از میان این شرکت‌ها، شاخهٔ نرم‌افزاری یکی از آنها متناسب با نیازها و شرایط مختلف انتخاب و در ادامه، مسیر طراحی و تولید کفش با بهره‌گیری از آن پیموده شده است.

۲. معرفی اصطلاحات تخصصی

صنعت کفش همانند دیگر صنایع دارای اصطلاحات و تعاریف مخصوص به خود است که هم در روش سنتی و هم در روش‌های مدرن طراحی و تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه پیش از آغاز بررسی فرایندها و واشکافی آنها (براساس ترتیب اولویت ساخت) مهم‌ترین اجزای کفش معرفی شده است.

۲-۱. قالب (ماهیچه)

قالب[۴] برای سوار و محکم‌شدن رویه و دیگر اجزاء روی آن است. قالب‌ها در قدیم از جنس چوب بودند و امروزه از پلاستیک ساخته می‌شوند. قالب یا ماهیچهٔ کفش، فرم کلی کفش را تعیین می‌کند. لذا برای هر مدل کفش معمولاً یک قالب متناسب با آن نیز ساخته می‌شود. در شکل ۳ نمونه‌ای از قالب کفش مشاهده می‌شود.

۲-۲. رویه

قسمتی از کفش که روی پا می‌نشیند و بندها و دیگر نگه‌دارنده‌ها به آن نصب می‌شود، رویه[۵] نامیده می‌شود. وظیفهٔ رویه نگه‌داشتن کفش روی پاست. رویه معمولاً از جنس چرم طبیعی، چرم مصنوعی یا انواع پلاستیک و پارچه می‌باشد که نقش مهمی در تنوع مدل و زیبایی کفش ایفا می‌کند.

۲-۳. زیره

زیره[۶] قسمتی از کفش است که با زمین در تماس است و رویه به آن متصل می‌شود. زیره معمولاً از جنس پلی‌یورتان[۷] یا پی. وی. سی.[۸] ساخته می‌شود و ساخت آن با هر یک از مواد ذکرشده نیازمند تخصص در آن زمینه می‌باشد؛ بنابراین عمدتاً در کارگاه‌های کوچک کفش تولید نشده و به‌صورت جداگانه توسط کارخانه‌هایی جداگانه، طراحی و تولید می‌شود. در شکل ۵ یک نمونه از زیرهٔ پلی‌یورتان مشاهده می‌شود.

۲-٤. کفی

کف پا مهم‌ترین قسمت پا از منظر پزشکی است. کفی[۹] درون کفش و بین کف پا و زیره قرار می‌گیرد، از اینرو بسیاری از ویژگی‌های طبی کفش در کفی پیاده‌سازی می‌شود. کفی استاندارد یا شخصی‌سازی‌شده معمولاً به‌صورت جداگانه تولید و در انتهای روند ساخت کفش به آن اضافه می‌شود. در شکل ۶ یک نمونه از کفی تجاری آورده شده است [۳۴].

۳. طراحی و تولید به‌کمک رایانه

طراحی و ساخت به‌کمک رایانه یکی از مهم‌ترین دستاوردهای فناوری عصر حاضر است و مزایایی چون افزایش سرعت و دقت در طراحی و تولید، کاهش زمان و هزینهٔ تولید را به‌همراه دارد [۳۵]. طی سال‌های اخیر با توجه به برتری‌ها و مزایای رایانه این وسیله نقش خود را به‌عنوان ابزاری قدرتمند در طراحی و تولید یک محصول نیز تثبیت نموده است. به‌طور کلی، تعریف و بیان شکل هندسی یک قطعه، اولین و آخرین گام از فعالیت‌های طراحی و مهندسی را تشکیل می‌دهد. امروزه با پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ سخت‌افزار و توسعهٔ نرم‌افزارهای قدرتمند گرافیکی، به‌آسانی می‌توان با استفاده از داده‌های شکل هندسی یک جسم، مدل رایانه‌ای سه‌بعدی آن را تهیه کرد. این در حالی است که در گذشته، تنها برای دست یافتن به نقشه‌های اجرایی دوبعدی ترسیم‌شده با استفاده از مداد و خط‌کش‌ها زمانی طولانی صرف می‌شد؛ اما این پیشرفت‌های نرم‌افزاری در صنعت تنها به بخش طراحی ختم نشده و به‌سرعت جایگاه خود را در بخش تولید نیز پیدا کرده است [۳۶]. علاوه بر این، استفاده از یک سیستم طراحی به‌کمک رایانه (کد[۱۰]) بدون استفاده از سیستم ساخت به‌کمک رایانه (کم[۱۱]) علاوه بر پایین آوردن بازده کل سیستم تولید سبب از دست رفتن برخی از مزایای کد نیز خواهد شد. با توجه به زمینه‌های متنوع عملیاتی که در یک سیستم کم قابل تعریف است به نظر می‌رسد دامنهٔ استفاده از رایانه در فعالیت‌های مختلف ساخت و تولید بسیار وسیع‌تر از دامنهٔ استفاده از رایانه در فعالیت‌های طراحی می‌باشد.

۴. خودکارسازی نرم‌افزاری در صنعت کفش

خودکارسازی نرم‌افزاری، بهره‌وری هم‌زمان از نرم‌افزار، رایانه و ماشین‌آلات هوشمندی است که در راستای بهبود کیفیت و بازدهی صنایع مختلف به‌کار می‌رود. در این روش نرم‌افزارهای طراحی و مانیتورینگ به‌عنوان هستهٔ اصلی عمل می‌کنند و به‌عنوان رابط بین فرد و ماشین قرار می‌گیرند. با توجه به گستردگی بازار کفش، گردش مالی و سود بالای موجود در این

بازار نیز، شرکت‌های متعددی در این حوزه به ارائهٔ نرم‌افزارهای کاربردی خودکارسازی پرداخته‌اند که در این بخش تعدادی از بزرگ‌ترین آنها معرفی شده‌اند. اتودسک[۱۲] یک از مشهورترین شرکت‌های تولیدکنندهٔ نرم‌افزارهای مهندسی است که در سال ۲۰۱۳ م حق امتیاز نرم‌افزارهای شاخهٔ کفش شرکت دلکم[۱۳] با نام تجاری کریسپین[۱۴] را خرید و این مجموعه را پس از تغییراتی روانهٔ بازار کرد. نرم‌افزارهای شاخهٔ کفش این شرکت هم‌اکنون توسط شرکت‌های تولیدکنندهٔ کفش مانند نایک[۱۵] و آنتا[۱۶] استفاده می‌شود [۳۷]. از دیگر شرکت‌های فعال در این زمینه شرکت شومستر[۱۷] است. این کمپانی با ارائهٔ شاخهٔ نرم‌افزارهای شومستر در حوزهٔ طراحی و تولید کفش به شهرت بین‌المللی رسیده است. شومستر در هر دو بخش طراحی و ساخت عملکرد مناسبی دارد و هم‌اکنون در کمپانی‌های بزرگ تولید کفش در ایتالیا از جمله گوچی[۱۸] و آلن ادموندز[۱۹]، مورد استفاده است و رقیب جدی برای شاخهٔ نرم‌افزارهای اتودسک کریسپین نیز محسوب می‌گردد [۳۸]. ایتالیا نیز در حوزهٔ به‌روزرسانی صنعت خود از رقبا عقب نمانده و شرکت کوملز[۲۰] ایتالیا اولین نرم‌افزار تخصصی کفش خود را در سال ۲۰۰۲ م روانهٔ بازار کرد. ویژگی منحصر به‌فرد کوملز ارائهٔ نرم‌افزارهای مخصوص و مطابق با ماشین‌آلات خود است. این شرکت، طی تحقیقات گسترده، محصول سی‌ام ۴۴[۲۱] که اولین محصول برشکاری با کیفیت بسیار بالاست را به بازار عرضه کرده است. این محصول ترکیب سه عملکرد تحلیل رایانه‌ای، برش لیزری و تفکیک قطعات به‌صورت خودکار می‌باشد. شرکت مارال چرم، که یک کمپانی موفق ایرانی در زمینهٔ تولید منسوجات چرمی است، از محصولات شرکت کوملز در هر دو بخش طراحی و تولید بهره می‌برد [۳۹]. دیگر شاخهٔ نرم‌افزاری محبوب در ساخت کفش، مجموعهٔ نرم‌افزاری کفش شرکت تی. دی. ام. سولوشن[۲۲] می‌باشد. می‌باشد. این شرکت اسپانیایی درزمینهٔ تولید نرم‌افزارهای طراحی و ساخت در صنایع مختلف فعالیت گسترده‌ای دارد. محصول ویژهٔ طراحی کفش این شرکت، رینوشو نام دارد. رینوشو[۲۳] باوجود تک نرم‌افزار بودن و قیمت نسبتاً پایین، امکانات بسیار خوبی را برای طراحان صنعت کفش فراهم کرده است [۴۰].

شکل ۳. نمایش نمونه‌ای از یک قالب کفش

شکل ٤. نمایش نمونه‌ای از یک رویهٔ کفش

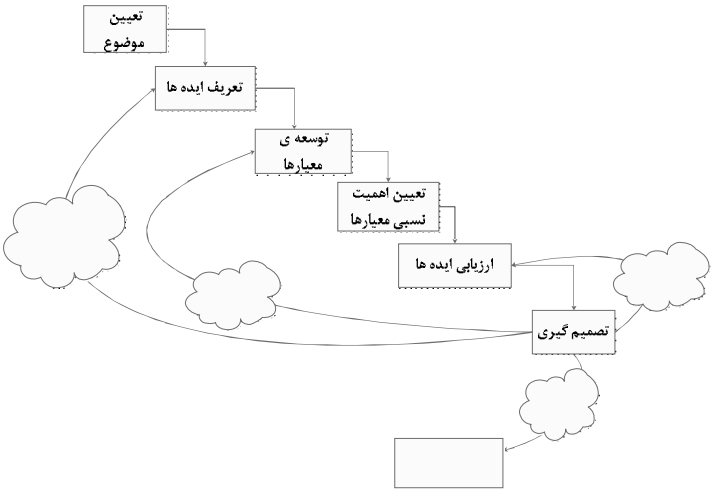
شکل ٥. نمایش نمونه‌ای از یک زیرهٔ پلی‌یورتان

شکل ٦. نمایش نمونه‌ای از یک کفی تجاری

٤-١. انتخاب بهترین شاخهٔ نرم‌افزاری کفش

در بخش قبل، مهم‌ترین شرکت‌های سازندهٔ نرم‌افزارهای حوزه‌ی کفش معرفی شد. در این بخش، مبتنی بر نیازمندی‌ها و شرایط تولید در کشور بایستی یک شاخهٔ نرم‌افزاری جامع را جهت آغاز امکان‌سنجی خودکارسازی انتخاب نمود؛ اما همیشه تصمیم‌گیری امری مهم در مسیر تحقیقات بوده و از اینرو اتخاذ راهبردی مناسب جهت تصمیم‌گیری لازم به‌نظر می‌رسد. مطابق آنچه در مراجع آمده است [۴۱]، فرایند تصمیم‌گیری از مسیری چون فلوچارت شکل ۷ صورت می‌پذیرد که به‌ترتیب شامل مشخص کردن موضوع تصمیم‌گیری، تولید ایده، توسعهٔ معیارها، تعیین اهمیت معیارها، ارزیابی ایده‌ها با توجه به معیارها، تعیین آنکه چه

مسیری را باید طی کرد؟ در مرحله‌ی آخر، چند مسیر پیش رو است که عبارت‌اند از: انتخاب یکی از ایده‌ها برای آغاز مرحلهٔ بعد، تعریف و بررسی مجدد ارزیابی، تعریف و بررسی مجدد معیارها، اضافه‌کردن، تغییر دادن یا تعریف دوبارهٔ ایده‌ها.



شکل ۷. نمایش فلوچارت تصمیم‌گیری

اما همان‌طور که مشاهده می‌شود، طی این مسیر پیچیده و بسیار وقت‌گیر است. از اینرو روش‌های مختلف جدولی و ماتریسی وجود دارد تا این مشکلات را حل کند. یکی از ساده‌ترین این روش‌ها، روش ماتریس تصمیم‌گیری (روش پاگ)[۲۴] است. ماتریس تصمیم‌گیری، یک روش علمی و در عین‌حال ساده برای مقایسه و تصمیم‌گیری برای انتخاب فرایندهاست. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، ماتریس تصمیم‌گیری جدولی است که براساس نیازها و ضرایب اهمیت آنها، با در نظر گرفتن ایده‌ای به‌عنوان مبنا و مقایسه‌ی دیگر گزینه‌ها با ایدهٔ مبنا، گزینهٔ مناسب انتخاب می‌شود [۴۱]. این جدول از طریق گذر از شش گام به دست می‌آید. گام اول، تعیین موضوع است. این مرحله باید در طبقهٔ بالای سمت چپ تکمیل گردد. موضوع جدول تصمیم‌گیری تکمیل‌شده در این پژوهش، تعیین مناسب‌ترین شاخهٔ نرم‌افزاری طراحی کفش است. گام دوم، انتخاب ایده‌ها جهت مقایسه و بررسی آنهاست. این مرحله بایستی در طبقهٔ بالای سمت راست تکمیل گردد. ایده‌ها نیز درواقع اسامی شرکت‌های نرم‌افزاری است که در بخش قبل بیان شد. گام سوم، انتخاب معیارها جهت مقایسه است. این معیارها مبنایی جهت مقایسهٔ ایده‌هاست. معیارها در این پژوهش از نتایج به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌های تکمیل‌شده توسط تولیدکنندگان، مشتریان و فروشندگان به‌دست آمده است. این مرحله باید در طبقهٔ پایینی، سمت چپ تکمیل گردد. گام چهارم، انتخاب ضرایب اهمیت برای معیارهاست. در این مرحله، مشخص می‌شود که کدام معیار مهم‌تر است. این مرحله بایستی در سمت چپ در خانه‌ای پیش از خانهٔ آخر تکمیل گردد. گام پنجم، ارزیابی ایده‌هاست. در این مرحله، پس از انتخاب یک ایده به‌عنوان ایدهٔ مبنا، برای سنجش ایده‌ها از نمادهایی استفاده می‌شود. این مرحله باید در طبقهٔ میانی تکمیل گردد، به‌طوری‌که اگر معیاری، سطحی بالاتر از ایدهٔ مبنا داشته باشد، از علامت + استفاده می‌شود. اگر معیار مورد بررسی، سطحی پایین‌تر از ایدهٔ مبنا داشته باشد، از علامت – استفاده شده و اگر معیار مورد بررسی، سطحی یکسان با ایدهٔ مبنا داشته باشد، از عدد ۰ استفاده می‌شود. گام ششم، در این مرحله میزان رضایت‌مندی را بایستی بررسی نمود. در این مرحله با ضرب ضرایب اهمیت در نمادهای مرحلهٔ قبل، برای هر ایده، نمراتی به‌دست آمده می‌آید. در ستون مربوط به هر ایده این اعداد با هم جمع می‌شوند و در نهایت با امتیازات به‌دست‌آمده، ایده‌ها با هم مقایسه می‌شوند. ایده‌ای که نمرهٔ بالاتری را به‌خود اختصاص داده باشد، انتخاب می‌شود؛ اما ممکن است، اعداد به‌دست‌آمده باهم برابر باشند، در این حالت می‌توان ضرایب اهمیت را تغییر داد، معیارهایی را اضافه کرد، ایده‌های جدیدی را ایجاد و وارد ماتریس کرد تا تصمیم‌گیری راحت‌تر و دقیق‌تر شود. این مرحله در طبقهٔ پایین ماتریس، تکمیل می‌گردد.

شرکت‌های نامبرده در بخش قبل کامل‌ترین نمونه‌های موجود در بازار نرم‌افزارهای کفش هستند. اما نکتهٔ حائز اهمیت،

مقایسه و انتخاب یکی از روش‌ها جهت پیاده‌سازی در صنعت کفش داخلی و ساخت نمونه کارگاهی است. همان‌طور که گفته شد، ماتریس تصمیم‌گیری در چنین شرایطی که پارامترهای مورد نظر طراح پرتعداد هستند و شرکت‌های ارائه‌دهنده در موارد بسیاری مشابه هستند، کمک شایانی به انتخاب صحیح و مطمئن می‌کند. در این تحقیق محصولات شرکت کوملز به‌عنوان محصول مبنا در نظر گرفته شده است و محصولات دیگر شرکت‌ها نسبت به محصولات این شرکت مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. اما مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری براساس ضرایب تأثیر، کامل بودن شاخهٔ نرم‌افزاری، قیمت مجموعه، قابلیت طراحی همزمان دوبعدی و سه‌بعدی و سازگاری با ماشین‌آلات مختلف می‌باشند. با وجود پارامترهای متنوع و شباهت‌ها و تفاوت‌های شرکت‌ها در این مقایسه، در جدول ۱ که در پیوست آورده شده است، مشاهده می‌شود. در این جدول نرم‌افزارهای شرکت اتودسک بالاترین امتیاز را به‌دست آورده‌اند؛ بنابراین گزینهٔ انتخابی در این تحقیق جهت طراحی و پیاده‌سازی نمونهٔ کارگاهی، شاخهٔ نرم‌افزاری کفش شرکت اتودسک می‌باشد.

شکل ۸ جدول ماتریس تصمیم‌گیری

۵. بررسی نرم‌افزارهای طراحی کفش اتودسک

در این بخش نرم‌افزارهای حوزهٔ طراحی شرکت اتودسک به‌ترتیب روند طراحی و تولید کفش معرفی می‌گردند.

۵-۱. نرم‌افزار مدلسازی قالب کفش

اولین گام در طراحی به‌کمک رایانه، مدلسازی قالب کفش در نرم‌افزار می‌باشد؛ زیرا قالب کفش مبنای طراحی تمامی اجزای دیگر کفش است. شرکت اتودسک جهت طراحی قالب کفش نرم‌افزار لست‌میکر[۲۵] را معرفی کرده است. در این نرم‌افزار به‌منظور مدلسازی باید گام‌های ذیل به‌ترتیب طی شوند:

۱. واردنمودن مدل خام اولیهٔ قالب به نرم‌افزار که می‌توان این کار را به سه روش انجام داد: مدلسازی با استفاده از ویرایش بانک قالب‌های با سایز استاندارد، مدلسازی از طریق وارد نمودن فایل ابر نقاط[۲۶] از قالب‌های اسکن شده و مدلسازی از طریق وارد نمودن فایل ابر نقاط اسکن پا که در این میان روش مدلسازی قالب با استفاده از واردنمودن ابر نقاط قالب‌های اسکن شده عمدتاً برای مدلسازی قالب‌های موجود در بازار به‌کار می‌رود و روش مدلسازی از طریق وارد نمودن فایل ابر نقاط اسکن کف پا برای طراحی کفش‌های اختصاصی و طبی کاربرد دارد.
۲. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، در این مرحله ویرایش مدل خام واردشده به نرم‌افزار توسط ابزارها و امکانات موجود در نرم‌افزار صورت می‌گیرد.
۳. سایزبندی[۲۷] قالب‌ها در نرم‌افزار که با توجه به استانداردهای سایزبندی کفش در کشورهای مختلف می‌باشد، در این مرحله انجام می‌شود. در صورت نیاز به تولید قالب می‌توان در این مرحله از نرم‌افزار خروجی‌های مورد نیاز متناسب با ماشین‌آلات مختلف تولید قالب را گرفت.

۵-۲. نرم‌افزار طراحی زیرهٔ کفش

زیره یکی از متنوع‌ترین قسمت‌های کفش می‌باشد که در شکل‌ها و جنس‌های گوناگونی در کفش‌ها استفاده می‌شود. به‌منظور طراحی زیره از نرم‌افزار سول‌انجینیر[۲۸] استفاده می‌شود. به‌منظور طراحی زیره در این نرم‌افزار گام‌های زیر بایستی طی گردند.

۱. در این مرحله ابتدا قالب مدلسازی شده در مراحل قبلی را وارد نرم‌افزار نمود.
۲. پس از واردکردن قالب به نرم‌افزار با استفاده از ابزارهای اختصاصی نرم‌افزار برای طراحی، طراحی اولیهٔ زیره انجام می‌شود.
۳. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، در این مرحله با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار، طراحی جزئیات زیره انجام می‌شود.
۴. در صورت نیاز به ساخت زیره و یا سفارش ساخت آن به تولیدکنندگان زیره، می‌توان مدل سه‌بعدی زیرهٔ طراحی‌شده در نرم‌افزار سول‌انجینیر را به سایر

نرم‌افزارهای مهندسی همچون سالیدورکس و کتیا انتقال داد و از آنها برای طراحی و ساخت قالب تولید زیره، متناسب استفاده کرد.

۵-۳. نرم‌افزار طراحی رویهٔ کفش

در نرم‌افزار شومیکر[۲۹] پس از وارد شدن سایز مورد نظر قالب در نرم‌افزار لست‌میکر، رویهٔ کفش مورد نظر روی قالب به‌صورت سه‌بعدی طراحی می‌گردد. این نرم‌افزار قابلیت‌های بسیاری را برای طراح در همهٔ زمینه‌های طراحی فراهم می‌کند. مراحل طراحی در این نرم‌افزار به شیوهٔ بیان‌شده در ذیل خواهد بود:

۱. قالب طراحی‌شده در نرم‌افزار لست‌میکر وارد نرم‌افزار شومیکر می‌شود و خطوط مرزی موسوم به لت‌های کفش روی قالب ترسیم می‌گردد.
۲. جنس، ضخامت و ترتیب روی‌هم قرار گرفتن لت‌ها، تعیین می‌گردد. در این بخش علاوه بر پیش‌فرض‌های نرم‌افزار، طراح نیز می‌تواند جنس و رنگ مورد نظر خود را تعریف نماید.
۳. خطوط عبور دوخت رسم می‌شود و همچنین نوع، جنس نخ و ضخامت دوخت تعریف می‌گردد.
۴. طراحی تزئینات ازجمله بندها، طرح‌ها و سوراخ‌ها در این مرحله انجام می‌پذیرد. همچنین زیرهٔ طراحی‌شده در این مرحله به کفش اضافه می‌شود (شکل ۱۱).
۵. مدل تکمیلی، توسط افزونهٔ نرم‌افزار شومیکر با نام کی شات[۳۰] پرداخت[۳۱] می‌شود و به‌عنوان خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵-٤. نرم‌افزار گسترده‌سازی مهندسی

این نرم‌افزار که کرسپین انجینیر[۳۲] نام دارد، دو وظیفهٔ اساسی را برعهده دارد. یکی تبدیل مدل سه‌بعدی به الگوهای دوبعدی و دیگری سایزبندی می‌باشد.

۵-٤-۱. عملیات دوبعدی‌سازی

تبدیل مدل سه‌بعدی طراحی‌شده در بخش قبل به الگوی دوبعدی مورداستفاده جهت برش لایه‌های کفش عملیات دوبعدی‌سازی نامیده می‌شود و کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف دارد. این بخش از طراحی کفش در روش سنتی وقت‌گیر و محدود است، در صورتی‌که با استفاده از این نرم‌افزار، استخراج الگوها و طراحی دوبعدی سریع‌تر و کم‌هزینه‌تر انجام می‌گیرد.

۵-٤-۲. عملیات سایزبندی

طراحی سه‌بعدی روی یک سایز دلخواه انجام می‌گیرد، اما برای تولید در سایزهای مختلف می‌بایست الگوهای دوبعدی طبق یک الگوریتم متناسب با همان مدل، بزرگتر یا کوچکتر شوند تا در نهایت بتوان از یک مدل، سایزهای مختلفی تولید کرد. در طراحی سنتی، این بخش به دلیل حساسیت بالا بسیار مورد توجه است و خودکارسازی طراحی در این بخش تأثیر مستقیم بر افزایش دقت و سرعت سایزبندی سری کفش‌ها دارد.

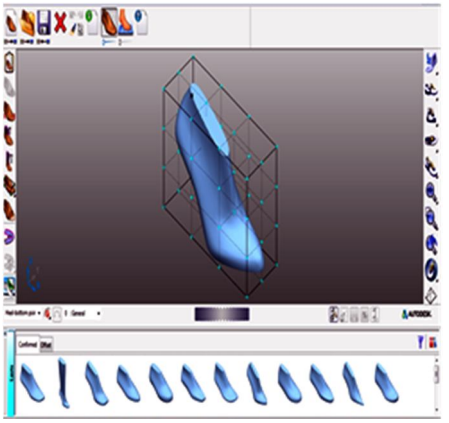
۶. مطالعهٔ موردی

در این بخش، گزارشی فنی، از نتایج و خروجی طراحی کفش با استفاده از شاخهٔ نرم‌افزاری کفش اتودسک بیان می‌شود.

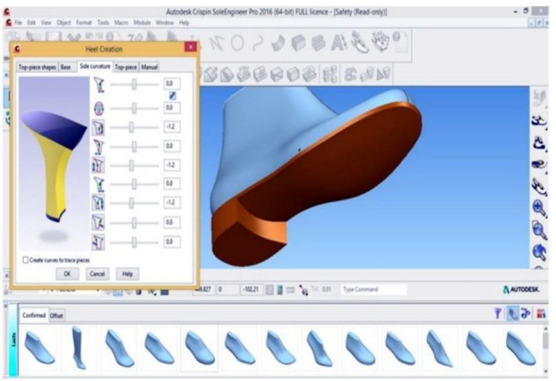
٦-۱ طراحی قالب کفش

اولین عملیات در طراحی کفش، طراحی قالب کفش است. قالب مدل انتخاب‌شده برای طراحی نرم‌افزاری، در واقع یکی از قالب‌های موجود در بازار بوده و با توجه به اینکه برای مدلسازی دقیق قالب‌های موجود در بازار بهترین روش مدلسازی قالب با وارد نمودن ابر نقاط است، از اینرو برای مدلسازی قالب از این روش استفاده شده است. نرم‌افزار طراحی قالب کفش در شاخهٔ نرم‌افزاری اتودسک، نرم‌افزار لست‌میکر می‌باشد. اسکن ابر نقاط قالب، در این نرم‌افزار وارد شده است. یکی از ایده‌هایی که در این پژوهش در راستای کاهش هزینه‌ها انجام شد، همان‌طور که در شکل ۱۳ دیده می‌شود، به‌جای استفاده از اسکنرهای سه‌بعدی تجاری از روش تهیهٔ ابر نقاط به‌وسیلهٔ عکس‌برداری از نماهای مختلف از سوژه استفاده شد. در این بخش جهت عکس‌برداری از قالب آزمایشی، وسیله‌ای توسط نویسندگان ابداع شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که با ۱۷۰ عکس از سوژه، مدل سه‌بعدی با دقت مناسب به‌دست می‌آید. در این روش از نماهای گوناگون و در ارتفاع‌های مختلف از سوژه عکس‌برداری می‌شود و با استفاده از نرم‌افزار تری. دی. اف. زافیر[۳۳] که از الگوریتم‌های نرم‌افزاری پردازش تصویر بهره می‌برد، مختصات نقاط مختلف در عکس‌ها به‌دست‌آمده و پس از پردازش‌های نرم‌افزاری مختلف، ابر نقاط سوژه به‌دست می‌آید و به نرم‌افزار لست‌میکر وارد می‌شود.

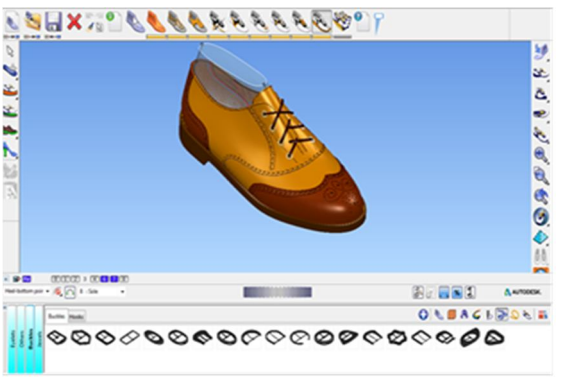
پس از آن، مراحل ویرایش و سایزبندی درون نرم‌افزار انجام و قالب برای طراحی در مراحل بعد آماده می‌شود.



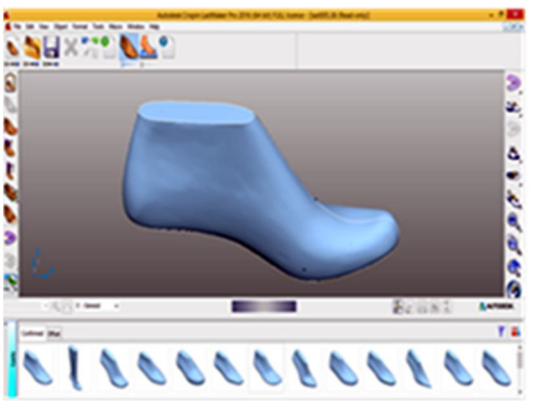
شکل ۹. نمایش طراحی قالب کفش در نرم‌افزار لست‌میکر



شکل ۱۰. نمایش طراحی زیره در نرم‌افزار سول‌انجینیر



شکل ۱۱. نمایش طراحی تزئینات در نرم‌افزار شومیکر



شکل ۱۲. قالب کفش مدل‌شده توسط نرم‌افزار لست میکر

شکل ۱۳. وسیلهٔ ابداع‌شده برای عکاسی از قالب کفش برای تهیهٔ ابر نقاط

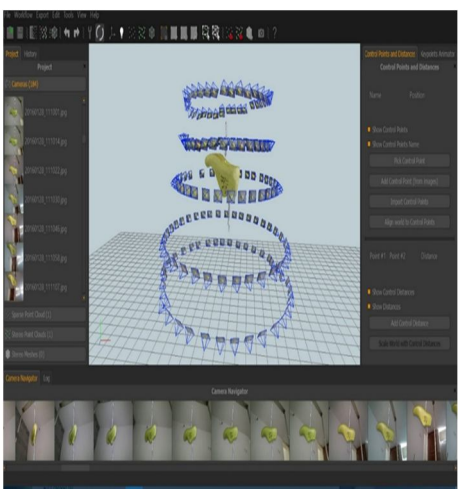
۶-۲ طراحی زیرهٔ کفش

پس از طراحی قالب، نوبت به طراحی زیره می‌رسد. در این بخش پس از واردکردن قالب به نرم‌افزار سول انجینیر، عملیات طراحی آغاز شد که نمونهٔ نهایی مدل سه‌بعدی زیرهٔ کفش آزمایشی جهت ارائه به واحد قالب‌سازی (شکل ۱۵) طراحی شده است. به‌صورت

عملیاتی باید زمانی که زیره به‌طور کامل طراحی شد، نقشهٔ قالب آن نیز جهت ارائه به واحد قالب‌سازی نیز آماده شود. زیرهٔ کفش آزمایشی در این تحقیق ابتدا توسط نرم‌افزار سول انجینیر طراحی گردید، سپس مدل سه‌بعدی وارد نرم‌افزار سالیدورکس شد و قالب تزریق آن جهت ارائه به واحد قالب‌سازی طراحی شد. در شکل ۱۶ نیز قالب تزریق زیرهٔ طراحی‌شده در نرم‌افزار سالیدورکس نیز مشاهده می‌شود.

٦-٣ طراحی سه‌بعدی کفش (رویه)

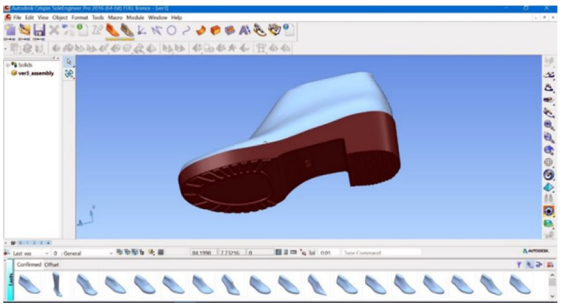
پس از آماده‌شدن قالب و زیره نوبت به طراحی سه‌بعدی کفش می‌رسد. همان‌طور که گفته شد، شرکت اتودسک برای این منظور نرم‌افزار شومیکر را معرفی کرده است. همان‌طور که در شکل ۱۷ مشخص است این مدل پس از طراحی توسط افزونهٔ کی‌شات در همین نرم‌افزار پرداخت‌شده و مطابقت کاملی با نمونه واقعی خود در شکل ۱۸ دارد.



شکل ١٤. استخراج مختصات نقاط در نرم‌افزار تری. دی. اف. زافیر

٦-٤ استخراج الگوی دوبعدی

یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در طراحی کفش، دقیق بودن مدل‌های دوبعدی جهت برش چرم و دوخت آنهاست. همان‌طور که گفته شد، این روند در تولید سنتی بسیار وقت‌گیر و پیچیده است، اما نرم‌افزار گسترده‌سازی مهندسی این کار را آسان کرده است. همان‌طور که در شکل ۱۹ مشخص است، الگوی دوبعدی مدل آزمایشی استخراج شده و تغییرات مورد نیاز این مدل توسط طراح اعمال‌شده است. گفتنی است عملیات سایزبندی الگوها در بخش‌های بعدی (بخش ساخت) انجام‌گرفته است.



شکل ١٥. زیرهٔ طراحی‌شده در نرم‌افزار سول انجینیر

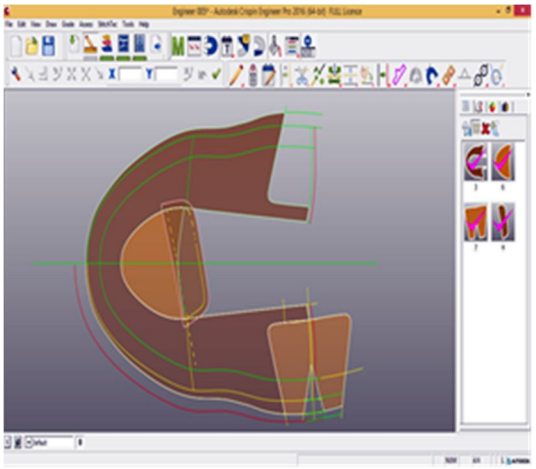
شکل ١٦. قالب تزریق زیرهٔ طراحی‌شده در نرم‌افزار سالیدورکس

۷. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف ایجاد آشنایی و معرفی فرایند خودکار طراحی کفش، کلیات پیاده‌سازی فناوری طراحی به‌کمک رایانه در صنعت کفش بیان شد. نرم‌افزارهای طراحی در شاخهٔ نرم‌افزار کفش اتودسک به‌ترتیب توصیف و روند طراحی نمونهٔ کفشی با کمک رایانه بررسی و نهایتاً نرم‌افزارهای تخصصی اتودسک در این زمینه معرفی شد. همچنین نحوهٔ طراحی قالب زیرهٔ کفش بررسی شد و پس از آن یک نمونه از هر کدام، به‌صورت گزارشی از بخش طراحی، ارائه گردید. در پایان این نکته نیز حائز اهمیت است که استفاده از نرم‌افزارهای طراحی به‌تنهایی نمی‌تواند موجب تغییر اساسی در زمان و هزینهٔ ساخت گردد. از اینرو در صنعت به‌طور همزمان علاوه بر نرم‌افزارهای طراحی از خودکارسازی تولید و بهره‌گیری از نرم‌افزارهای حوزهٔ ساخت و تولید را مد نظر باید داشت. با توجه به اهمیت این موضوع در بخش دوم این مقاله، نرم‌افزارهای حوزهٔ ساخت و تولید کفش در شاخهٔ نرم‌افزاری کفش شرکت اتودسک مورد بررسی قرار گرفته و فرایند ساخت و ارزیابی هزینهٔ کفش طراحی‌شده در این مقاله بررسی خواهد شد.

شکل ۱۷. مدل پرداخت‌شدهٔ کفش در نرم‌افزار کی شات

شکل ۱۸. نمونهٔ کفش ساخته‌شده



شکل ۱۹. الگوی دوبعدی مدل طراحی‌شده

جدول ۱. نمایش کامل ماتریس تصمیم‌گیری جهت انتخاب بهترین شاخهٔ نرم‌افزاری طراحی و تولید کفش

شرکت کوملز	شرکت تی. دی. ام. سلوشن	شرکت اتودسک	شرکت شومستر	موضوع: انتخاب بهترین شاخهٔ نرم‌افزاری طراحی و تولید کفش	
ایدهٔ مبنا	+۱	+۱	+۱	آسان بودن رابط کاربری	۷
	−۱	+۱	+۱	کامل بودن شاخه نرم‌افزاری	۱۰
	+۱	+۱	۰	سازگاری با ماشین‌آلات مختلف	۱۰
	−۱	−۱	−۱	ارائه ماشین‌آلات سازگار با نرم‌افزار	۸
	۰	+۱	+۱	قابلیت طراحی کفش طبی	۵
	۰	+۱	+۱	پشتیبانی از فرمت‌های مختلف نرم‌افزاری	۷
	+۱	+۱	۰	ارتباط با دیگر نرم‌افزارها	۶
	−۱	−۱	−۱	پشتیبانی و خدمات پس از فروش	۷
	−۱	+۱	+۱	حسن پیشینه شرکت تولیدکننده	۴
	+۱	+۱	+۱	قابلیت طراحی دوبعدی و سه‌بعدی همزمان	۱۰
	−۱	+۱	۰	میزان استقبال و بهره‌برداری در دنیا	۹
	−۱	۰	−۱	تمایل به ارائه خدمات به ایران	۷
	−۱	+۱	۰	قیمت	۱۰
۰	−۲۲	۶۳	۱۸	مجموع نمرات	۱۰۰

۸. مآخذ

[1] R. W. Simmons, C. Richardson, R. Pozos, Postural stability of diabetic patients with and without cutaneous sensory deficit in the foot, *Diabetes Res Clin Pract*, Vol. 36, pp. 153-60, 1997.

[2] B. E. Maki, W. E. McIlroy, Control of compensatory stepping reactions:age-related impairment and the potential for remedial intervention, *Physiother Theory Pract*, Vol. 15, pp. 69–90, 1999.

[3] M. Young, A. Boulton, A. Macleod, D. Williams, P. A. Sonksen, multicentre study of the prevalence of diabetic peripheral neuro-pathy in the United Kingdom hospital clinic population, *Diabetologia*, Vol. 36, pp. 1504, 1993.

[4] V. Stel, J. H. Smit, S. Pluijm, P. Lips, Balance and mobility perfor-mance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons, J *Clin Epidemiol*, Vol. 56, pp. 659–68, 2003.

[5] C. Maurer, T. Mergner, B. Bolha, F. Hlavacka, Human balance control during cutaneous stimulation of the plantar soles, *Neurosci Lett,* Vol 302, pp. 45–8, 2001.

[6] K. Kaufman, K. N. Brodine, R. A. Shaffer, C. W. Johnson, T. R. Cullson, The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries, *Am. J. Sport Med*, Vol. 27, pp. 585-593, 1999.

[7] J. E. Taunton, M. B. Ryan, D. B. Clement, D. C. McKenize, S. B. Lyoid, B. D. A. Zumbo, retrospective case-control analysis of running injuries, *Brit. J. Sport Med*., Vol. 36, pp. 95-101, 2002.

[8] A. Zadpoor, A. Nikooyan, The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: A systematic review, *Clin. Biomech*., Vol. 26, pp. 23-28, 2010.

[9] B. M. Nigg, J. M. Wakeling, Impact forces and muscle tuning: a new paradigm, *Exerc. Sport. Sci. Rev.,* Vol. 29, pp. 37-41, 2001.

[10] A. A. Zadpoor, A. A. Nikooyan, Modeling muscle activity to study the effects of footwear on the impact forces and vibrations of the human body during running, *J. Biomech*., Vol. 43, pp. 186-193, 2010.

[11] K. A. Boyer, B. M. Nigg, Soft tissue vibrations and muscle tuning-quantification methods, *J. Biomech.*, Vol. 39, pp. S195, 2006.

[12] K. Christina, S. C. White, L. A. Gilchrist, Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running, *Hum. Movement Sci.*, Vol. 20, pp. 257-276, 2001.

[13] K. E. Gerlach, S. C. White, H. W. Burton, J. M. Dorn, J. J. Leddy, P. Horvath, Kinetic changes with fatigue and relationship to injury in female runners, *Med. Sci. Sport. Exer.*, Vol. 37, pp. 657-663, 2005.

[14] O. Girarda, B. G. Milletc, J. Slawinskid, J. Racinaisa, J. P. Micallefb, Changes in leg-spring behavior during a 5000 m self-paced run in differently trained athletes, *Sci. Sport.*, Vol. 25, pp. 99-102, 2010.

[15] A. Zadpoor, A. Nikooyan, A. R. Arshi, A model-based parametric study of impact force during running, *Journal of Biomechanics*, Vol. 40 pp. 2012–2021, 2007.

[16] B. Friesenbichler, L. M. Stirling, P. Federolf, B. M. Nigg, Tissue vibration in prolonged running, *Journal of Biomechanics*, Vol. 44, pp. 116-120, 2011.

[17] A. M. Wilson, M. P. McGuigan, A. Su, A. J. van den Bogert, Horses damp the spring in their step, *Nature, Vol.* 414, pp. 895–899, 2001.

[18] A. A. Zadpoor, A. A. Nikooyan, The effects of lower-extremity muscle fatigue on the vertical ground reaction force: A meta-analysis, *journal of Engineering in Medicine*,Vol.226, No. 8, pp. 579-588, 2012.

[19] G. K. Klute, J. S. Berge, A. D. Segal, Heel-region properties of prosthetic feet and shoes, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, Vol. 41, pp. 535–545, 2004.

[20] M. A. Lafortune, E. M. Henning, M. J. Lake, Dominant role of interface over knee angle for cushioning impact loading and regulating initial leg stiffness, *Journal of Biomechanics*, Vol. 29, pp. 1523–1529, 1996.

[21] K. A. Boyer, B. M. Nigg, Changes in muscle activity in response to different impact forces

affect soft tissue compartment mechanical properties, *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 129, No. 4, pp. 594–602, 2007.

[22] P. Aerts, D. De Clercq, Deformation characteristics of the heel region of the shod foot during a simulated strike: the effect of varying midsole hardness, *Journal of Sport Science*, Vol. 11, pp. 449–461, 1993.

[23] K. A. Boyer, B. M. Nigg, Muscle activity in the leg is tuned in response to impact force characteristics, *Journal of Biomechanics*, Vol. 37, No. 10, pp. 1583–1588, 2006.

[24] A. A. Zadpoor, A. A. Nikooyan, A. R. Arshi, Modeling muscle activity to study the effects of footwear on the impact forces and vibrations of the human body during running, *Journal of Biomechanics*, Vol. 43, pp. 186–193, 2010.

[25] R. E. Burke, D. N. Levine, F. E. Zajac, Mammalian motor units: physiological–histochemical correlation in 3 types in cat gastrocne-mius, *Science*, Vol. 174, No. 4010, pp. 709-12, 1971.

[26] G. A. Cavagna, P. Franzetti, N. C. Heglund, P. Willems, The determinants of step frequency in running, trotting, and hopping in man and other vertebrates, *Journal of Physiology London*, Vol. 399, pp. 81–92, 1988.

[27] T. E. Clarke, E. C. Frederick, L. B. Cooper, Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running, *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 4, No. 4, pp. 247–251, 1993.

[28] T. E. Clarke, E. C. Frederick, L. B. Cooper, The effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running, *International Journal of Sports Medicine*, Vol. 4, pp. 247–251, 1983.

[29] D. B. Clement, J. E. Taunton, G. W. Smart, K. L. Mcnicol, A survey of overuse running injuries. Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol. 13, No. 83, 1981.

[30] G. K. Cole, Loading of the joints of the lower extremities during the impact phase in running. In: Department of Mechanical Engineering, Ph.D. Thesis, The University of Calgary, Calgary, 1993.

[31] A. E. Kerdok, A. A. Biewener, T. A. McMahon, P. G. Weyand, H. M. Herr, Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 92, No. 2, pp. 469–478, 1999.

[32] A. A. Nikooyan, A. A. Zadpoor, Effects of Muscle Fatigue on the Ground Reaction Force and Soft Tissue Vibrations during Running:A Model Study IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, 2012.

[۳۳] آ. خاصه‌تراش، ر. حسن‌نژاد قدیم، نقش شرایط خستگی در بهینه‌سازی کفش دوندگان. تهران: *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، س. ۱۴، ش. ۱۴، ص. ۱۶۷–۱۷۶، ۱۳۹۳.

[34] A. Luximon, H*andbook of footwear design and manufacture,* Oxford, New Delhi, 2013.

[35] P. Mikell, Grooverr, CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing. Pearson Education, New Jersey, 2006.

[۳۶] جامعه مدیران و متخصصان صنعت کفش ایران

http://sanatekafsh.ir (accessed Jan 2016).

[37] Autodesk 3D Design, Engineering. http://www.Autodesk.com (accessed March 2016).

[38] Shoemaster CAD/CAM 2D and 3D solutions, http://www.Shoemaster.co.uk (accessed March 2016).

[39] COMELZ software. http://software.comelz.com (accessed March 2016).

[40] 3D design. TDM Solutions. http://www.TDMSolutions.com (accessed March 2016).

[41] D. G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, Fourth Edition, The McGraw-Hill Companies. NewYork, 2010.

پی‌نوشت

1 .Catia

2 .Solid works

3 .AutoCAD

4. Last

5. Upper shoe

6. Sole

7. Poly Urtan
8. PVC
9. Insole
10. CAD
11. CAM
12. Autodesk
13. Delcam
14. Crispin
15. NIKE
16. ANTA
17. Shoemaster
18. Gucci
19. Alen Edmonds
20. Comels
21. CM44
22. TDM Solutions
23. Rinoshoe
24. decision-matrix method (Puge method)
25. LASTMAKER
26. Point Cloud
27. Graiding
28. SOLE ENGINEER
29. SHOE MAKER
30. Keyshot
31. Render
32. Crispin Engineer
33. 3DF Zephyr