

## بررسی تجربی و بهینه سازی کیفیت قطعات در قالبگیری چرخشی

محسن حامدی<sup>۱\*</sup> و یاسر تاجیک<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۲</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۸/۵/۳۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۹/۷/۱۲، تاریخ تصویب ۹۰/۴/۲۳)

### چکیده

در این تحقیق روشی برای شناسایی، اندازه گیری و کمینه کردن میزان عیوب در فرآیند قالبگیری چرخشی به منظور تولید روکش داشبورد و بهبود کیفیت آن ارائه می شود. در این روش قالبگیری عوامل مختلفی همچون جنس و کیفیت قالب، ابعاد و هندسه قطعه، نوع پودر مورد استفاده و پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه، بر روی کیفیت قطعه تأثیر گذارند. در این تحقیق بهینه سازی سه پارامتر اصلی قابل تنظیم بر روی دستگاه شامل دمای قالب، زمان باز پخت و زمان خنک کاری قالب با هدف کمینه کردن عیوب حاصل از تولید قطعه، انجام شده است. از تکنیک های هوش مصنوعی به منظور تخمین مدل ریاضی مطلوب بین پارامترهای طراحی و متغیر خروجی و همچنین از الگوریتم ژنتیک برای یافتن نقطه بهینه استفاده شده است. در نهایت به منظور بررسی اعتبار شبکه طراحی شده و سطوح بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک، مقایسه ای بین نتایج حاصل از الگوریتم و نتایج تجربی حاصل از آزمایش های عملی انجام شد و مشاهده گردید که همخوانی مطلوبی بین آنها وجود دارد.

**واژه های کلیدی:** قالبگیری چرخشی، پارامترهای قابل تنظیم بر روی دستگاه، عیب خامی، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک

### مقدمه

شده، کاهش میزان ضایعات و هزینه های تولید دارد. روش قالبگیری چرخشی<sup>۱</sup> یکی از پر کاربرد ترین روش های تولید روکش داشبورد است. این روش قالبگیری دارای امکاناتی ویژه است که قابل رقابت با فرآیندهای قالبگیری بادی و تزریقی است. قالبگیری چرخشی روشی برای تولید قطعات انواع پلاستیک های تو خالی همچون گل مصنوعی، عروسک و روکش داشبورد است. از آنجا که بر خلاف دیگر روش های قالبگیری پلاستیک ها، در این روش از فشار برای شکل دادن مذاب استفاده نمی شود، قطعات قالب گیری شده تنش درونی ندارند. مراحل فرآیند قالبگیری چرخشی عبارتند از: پر کردن قالب با پودر پلیمر، چرخش و گرم کردن قالب، چرخش و خنک کاری قالب، باز کردن قالب و در آوردن قطعه. اولین کاربرد تجاری این ایده در پوشش دهی قطعات با پلاستیک ها در سطح داخلی یک قالب چرخنده در ۱۹۴۱ دیده شد. در آن زمان تنها پلاستیک هایی که برای این فرآیند مناسب بودند پلاستی سول های وینیلی بودند، استفاده از این پاشیده ها (دیسپرسیون ها) منجر به استفاده از اصطلاح قالبگیری اسلش<sup>۲</sup> برای این فرآیند شد. برای تولید قطعه به روش قالبگیری چرخشی از انواع پودرهای پلیمری استفاده می شود که انتخاب هریک از

یکی از مسائل مورد توجه در صنعت خودرو تولید قطعات تزئینی داخلی خودرو با کیفیت و ظاهری مطلوب است. تعیین بهینه عوامل اصلی تأثیر گذار در تولید این قطعات و بهبود کیفیت آنها از دو جنبه دارای اهمیت است. اولاً؛ با کاهش ضایعات و هزینه های تولیدی در نهایت قیمت تمام شده قطعات کاهش می یابد. ثانیاً؛ تولید قطعات با کیفیت مطلوب منجر به رضایت بیشتر مصرف کننده شده و قدرت رقابت سازنده این قطعات را افزایش می دهد. از جمله قطعات تزئینی داخلی خودرو که ضرورت بهبود کیفیت در مورد آن احساس می شود و نسبت به سایر قطعات تزئینی دیگر بیشتر در معرض دید مصرف کننده قرار دارد داشبورد خودرو است. فرآیند تولید داشبورد شامل مراحل کاری متعدد و مواد اولیه ی مختلف است که هر یک به نوعی بر روی کیفیت محصول نهایی تأثیر گذارند. تولید داشبورد خودرو با دقت ابعادی و کیفیت مناسب و بدون نیاز به عملیات دوباره کاری مستلزم شناخت کاملی از کلیه عوامل و شرایط تأثیرگذار بر روی کیفیت قطعه در هر یک از مراحل مختلف فرآیند تولید داشبورد است. در میان تمامی مراحل تولید داشبورد، تولید روکش داشبورد با کیفیت مطلوب و حداقل عیوب ممکن تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت داشبورد تولید

## محدوده و مراحل انجام تحقیق

### پیشینه تحقیق

از اولین کارهای منتشر شده در زمینه زینترینگ پودرهای پلیمری کار Frenkel در دهه ۱۹۴۰ است. در این تحقیق به بیان اهمیت فرآیند زینتر شدن ذرات پلیمر و تاثیر نرخ زینترینگ بر روی نحوه شکل گیری قطعه پرداخته شده است و یکی از ساده ترین مدل های زینتر شدن ذرات پلیمر را در مراحل نخستین فرآیند ارائه گشته است. نشان داده شده است که اختلاف دما به نسبت زیاد بین ذرات پودر بر تغییرات ویسکوزیته پلیمر تاثیر گذار است و نرخ زینتر شدن ذرات تابعی از کشش سطحی و ویسکوزیته نیوتنی است. این تحقیق نشان داده است که ساختار پلیمر از طریق عواملی همچون مقدار چگالی، میزان هدایت گرمایی و گرمای ویژه بر ویسکوزیته پلیمر و نرخ زینتر شدن ذرات تاثیر گذار است. Bigg با مطالعه بر روی خواص ذرات پودر دریافت که مقدار بهینه ای برای زمان زینتر شدن وجود دارد و زمان های زینترینگ طولانی موجب از بین رفتن خواص پلیمر می شود. به عنوان مثال با شبیه سازی منحنی دما در پلی اتیلن ها نشان داد که دمای زینتر شدن حتی در محدوده ۱ درجه هم بحرانی است [۳]. Dai و Luo اهمیت رفتار ذوب شدن پلاستی زول را در فرآیند قالبگیری چرخشی مورد بررسی قرار دادند و به مقایسه تاثیر دو نوع پودر پی وی سی مورد استفاده در فرآیند تولید روکش خودرو یعنی پودر پی وی سی غیر محلول یا جرمی (MPVC) و پودر پی وی سی محلول (SPVC) بر روی کیفیت روکش تولید شده پرداختند. نتیجه تحقیق آنها نشان داد که استفاده از پودر پی وی سی غیر محلول به دلیل اندازه کوچکتر ذرات پودر و زمان ذوب شدن کمتر برای فرآیند تولید روکش مناسبتر می باشد [۴]. Patel و همکارانش طی تحقیقی به بررسی خواص ترموپلاستیک پلی اولفین (TPO) و استفاده از آن به جای پودر پی وی سی (PVC) در فرآیند تولید روکش خودرو پرداختند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با توجه به ساختار شبه کریستالی پلی اولفین که قابلیت فرآیندی پذیری آن را نسبت به پودر پی وی سی در قالبگیری چرخشی کاهش می دهد، استفاده از این پودر به دلیل اینکه بر خلاف پودر پی وی سی با گذشت زمان خاصیت انعطاف پذیری خود را از دست نمی دهد،

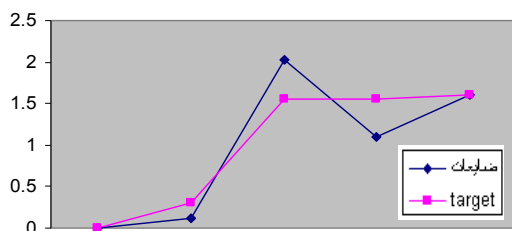
آنها بستگی به نوع قطعه تولیدی دارد. شکل و نحوه توزیع اندازه پودرهای پلیمر، شاخص مذاب (MFI)، چگالی و سایر مشخصات پودر مورد استفاده در فرآیند بر روی کیفیت محصول نهایی تاثیر گذارند [۱]. در این فرآیند جنس و کیفیت قالب، نوع پودر مورد استفاده، ابعاد و هندسه قطعه و پارامترهای قابل تنظیم بر روی دستگاه هر یک عاملی مؤثر بر روی کیفیت محصول نهایی به شمار می روند. در این تحقیق از میان عوامل تأثیر گذار بر روی کیفیت قطعه، پارامترهای قابل تنظیم بر روی دستگاه به عنوان مهم ترین عوامل تأثیر گذار بر روی کیفیت قطعه تولیدی شناسایی شده و از سایر عوامل به علت ثابت بودن آنها صرف نظر شده است. از میان پارامترهای مختلفی که در هنگام تولید قطعه بر روی دستگاه تنظیم می شوند، با توجه به مراجع موجود در این زمینه [۲] و همچنین براساس رویه های مورد استفاده در خط تولید تاثیر گذارترین عوامل بر روی کیفیت روکش تولید شده دمای قالب، زمان باز پخت (در دمای  $280^{\circ}C$ ) و زمان خنک کاری قالب (در دمای  $30^{\circ}C$ ) به عنوان پارامترهای قابل کنترل انتخاب شدند و سایر عوامل در حین فرآیند ثابت در نظر گرفته می شوند. پارامترهای دستگاه برای تولید روکش داشبورد معمولاً بطور تجربی تنظیم شده و بعد از تعدادی آزمون و خطا مقدار مناسب هر یک از آنها بدست می آید. هدف از این تحقیق ارائه روشی برای تولید بهینه روکش داشبورد در فرآیند قالبگیری چرخشی است و دیگر نیازی به استفاده از روش سعی و خطا برای بدست آوردن پارامترهای مناسب تولید قطعه نیست. در این تحقیق از تکنیک های هوش مصنوعی<sup>۳</sup> به منظور تخمین مدل ریاضی مشخص بین پارامترهای طراحی و خروجی که در واقع پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه و میزان عیوب بوجود آمده روی قطعه می باشند، استفاده شده است. همچنین با توجه به اینکه روش های عددی غیر تصادفی در یافتن نقطه بهینه مطلق ناکارآمد هستند و فضای جستجو نیز بزرگ است از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک<sup>۴</sup> که یک روش عددی تصادفی است استفاده شده است. در نهایت به منظور اطمینان از صحت مدل ارائه شده توسط شبکه عصبی و نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک به صورت عملی، این مقادیر بر روی دستگاه تنظیم شدند و کیفیت محصول در شرایط واقعی تولید مورد بررسی قرار گرفت.

مربوط در پنل، پرچکاری قطعه زیرین رادیو پخش، سوراخ کاری اینسرت، مونتاژ مجموعه ایرداکت (جوش آلتراسونیک)، چسباندن اسفنج به کانال ورودی هوا، مونتاژ نازلها و تمیز کردن داشبورد، نصب لوله فریم به داشبورد و مونتاژ نهایی.

کلیه مراحل بالا در فرآیند تولید داشبورد از اهمیت خاصی برخوردار است و هر یک به نحوی بر روی کیفیت داشبورد تولید شده تاثیر گذار هستند. از این رو مهندسين فرآیند باید شناخت کاملی از کلیه عوامل و شرایط تاثیرگذار بر روی کیفیت قطعه تولیدی در کلیه مراحل تولید داشبورد داشته باشند. تشخیص و شناسایی اثر گذار ترین مرحله بر روی کیفیت محصول نهایی نیاز به شناخت و بررسی دقیق کلیه مراحل دارد.

### بررسی درصد ضایعات در هر مرحله

در ادامه به منظور شناسایی اثر گذار ترین مرحله بر روی کیفیت داشبورد تولید شده درصد ضایعات موجود در هر یک از مراحل و عوامل مؤثر در ایجاد آنها مورد بررسی دقیق قرار گرفت و با توجه به تحقیقات انجام شده و اطلاعات به دست آمده از بررسی ضایعات در مراحل مختلف مشخص شد که سه مرحله اصلی وجود دارد که در میان تمامی مراحل تولید، اثر گذار ترین نقش را بر روی کیفیت و دقت ابعادی داشبورد تولید شده دارا هستند. این سه مرحله عبارتند از: تولید اینسرت داشبورد، تولید روکش داشبورد و تزریق فوم.



شکل ۱: نمودار مقایسه ای درصد ضایعات.

توزیع فوم	اینسرت	روکش	جوش	مونتاژ نهایی
۱.۶	۱.۱	۲.۰۲	۰.۱۲	۰
۱.۶	۱.۵۵	۱.۵۵	۰.۳	۰

مناسبتر است [۵]. تحقیق Rao و Throne در سال ۱۹۷۲ را می توان به عنوان اولین تلاش به منظور درک مکانیسم مبانی انتقال گرما در قالب گیری چرخشی در نظر گرفت. آنها برای اولین بار به منظور تخمین مکانیسم انتقال گرما به پودرهای پلیمری مدل چرخه ای<sup>۵</sup> را ارائه دادند و تحلیل پدیده های هدایت، همرفت و تابش به عنوان سه مکانیسم اصلی انتقال حرارت را مورد بررسی قرار دادند [۶-۷]. کارهای انجام شده توسط Crawford به خصوص کار مشترک او با Nugent بسیار قابل توجه هستند. کار اخیر او اختصاص به شبیه سازی رایانه ای فرآیند انتقال گرما در قالبهای دوار دارد [۸-۱۰]. در این برنامه مکانیسم انتقال حرارت طی فرآیند قالب گیری بررسی شده و روش تفاضل محدود برای تخمین تغییرات خواص مواد در حالت های مختلف فازی مورد استفاده قرار گرفته است. نتیجه تحقیق فوق نشان داد که تغییر شکل پودر به منظور افزایش نرخ انتقال گرما چندان مؤثر نیست، در صورتی که تغییر در مکانیسم فرآیند گرم کردن قالب و یا نرخ خنک کاری بسیار مؤثر و مطلوب است. Crawford و Sun با مطالعه و بررسی دقیق منحنی دمای اندازه گیری شده در فرآیند دریافتند که انتقال حرارت به سطح پودر فقط از طریق دیواره قالب انجام نمی شود و بخشی مهمی از گرما از طریق هوای گرم درون قالب منتقل می شود. تحقیقات آنها نشان داد که منحنی دمای مربوط به هوای درون قالب اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با زنجیره ای از اتفاقات به وجود آمده در حین فرآیند ذوب شدن پلیمر ارائه می دهد و کنترل مطلوب آن تاثیر به سزایی بر روی کیفیت قطعه تولید شده دارد [۱۱].

### مراحل تولید داشبورد

در ابتدای کار کلیه مراحل تولید داشبورد با دقت مورد بررسی قرار گرفت و کلیه پارامترهای مؤثر بر فرآیند تولید در هر یک از مراحل تعیین شد. به طور مختصر مراحل تولید داشبورد به ترتیب زیر است:

تولید اینسرت داشبورد از ABS و آماده سازی آن شامل واکس زنی و خشک کردن با باد، تولید روکش از جنس PVC، تزریق فوم (مخلوط پلی یول با ایزوسیانات)، برش محل صفحه نشانگرها، پنل و درب داشبورد، سوراخ کاری محل قفل پنل، واتر جت به منظور برش قسمت های اضافی، نصب خار مهره ها در قسمت های

جدول ۱: علت‌های بروز عیب در تولید روکش داشبورد.

عیوب	تشخیص	علت
سوختگی	پوسته شدن در اثر تماس دست و پاکشیدن ناخن	افزایش دمای کوره، زمان سیکل و یا زمان بازپخت
خامی	ذرات پودر نپخته و خام در سطح داخلی روکش	کاهش دمای کوره، زمان سیکل و یا زمان بازپخت
نازکی	سبکتر بودن از وزن معمولی	افزایش سرعت چرخش قالب، کاهش دمای قالب، کم بودن مقدار پودر در پادر باکس
سوراخ شدن	ایجاد حفره	پودر ریزی بدلیل کیفیت نامناسب سیلهای پادر باکس و عملکرد ضعیف کلمپها و یا وزن زیاد پادر باکس
دورنگی	اختلاف رنگ ( در روکش های مشکی به صورت نواحی مات و براق و در روکش های بژ به صورت اختلاف رنگ )	ترک داشتن قالب، کثیف بودن قالب، عدم توزیع مناسب دما در قالب

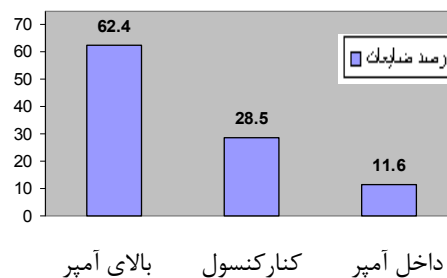
به همین منظور در این تحقیق تنها روی این مرحله از فرآیند تولید با هدف کمینه کردن عیوب و بهبود کیفیت روکش تولید شده تحقیق و بررسی انجام شده است.

### تولید روکش

به منظور کمینه کردن عیوب بوجود آمده در حین فرآیند تولید روکش و کاهش ضایعات در ابتدا می بایست کلیه عیوب و سپس اثرگذارترین عیب بر روی ایجاد ضایعات شناسایی و عوامل مؤثر در بوجود آمدن آنها بررسی شود. برخی از مهمترین عیوب ایجاد شده در فرآیند تولید روکش و علت‌های به وجود آمدن آنها به اختصار در جدول (۱) آورده شده است.

طبق اصل پارتو حداقلی از عیوب موجود، موجب ایجاد حداکثر ضایعات در فرآیند تولید روکش می شوند. با بررسی دقیق ضایعات حاصل از تولید روکش در روزهای مختلف کاری و اطلاعات به دست آمده از تحلیل تاثیر هر یک از عیوب بر روی میزان ضایعات و هم چنین بر حسب تجربه مشخص شد که مهم‌ترین عیب که منجر به ضایعات روکش تولیدی می شود عیب خامی است. در نتیجه با بررسی دقیق عوامل مؤثر بر ایجاد آن سعی شد که با کنترل صحیح این عوامل میزان این عیب به حداقل برسد. به منظور بررسی آماری تأثیر هر یک از عیوب بر روی میزان ضایعات حاصل از تولید روکش داشبورد نمودار پارتو ضایعات تولید روکش در شکل (۳) رسم شده است. همچنین از آنجا که عیب خامی در نقاط مختلفی از روکش به وجود می آید، لذا بررسی و تشخیص نقاط بحرانی و حساس که منجر به ایجاد بیشترین ضایعات در روکش تولید شده و یا مراحل بعدی تولید داشبورد

با رسم و بررسی نمودار مقایسه درصد ضایعات در هر یک از مراحل اصلی ذکر شده که در شکل (۱) نشان داده شده است، مشخص شد که بیشترین درصد ضایعات مربوط به مرحله تولید روکش داشبورد است و کیفیت محصول تولید شده در این مرحله تاثیر به سزایی بر روی کیفیت داشبورد و ضایعات تولید دارد. بعد از مرحله تولید روکش بیشترین درصد ضایعات مربوط به مرحله تزریق فوم می باشد. با بررسی نمودار پارتوی مکان فوم زدگی و ایجاد ضایعات در شکل (۲) در این مرحله و مقایسه آن با کیفیت روکش تولید شده در همان نقاط مشاهده می شود ضایعات بوجود آمده اکثراً در نقاطی رخ می دهد که روکش تولید شده از کیفیت مطلوب و استاندارد در این نقاط برخوردار نیست. همان‌طور که در شکل دیده می شود بیشترین مقدار فوم زدگی در ناحیه بالای آمپر وجود دارد که با وجود بیشترین میزان عیب در مرحله تولید روکش نیز مطابقت دارد.



شکل ۲: نمودار پارتو نواحی فوم زده.

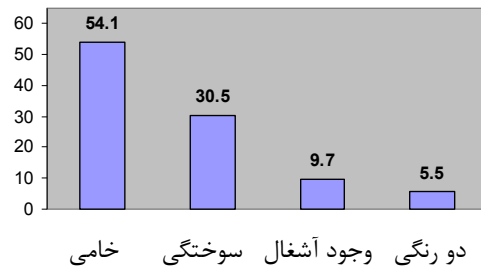
همان‌طور که مشاهده می شود، در میان تمامی مراحل تولید داشبورد، تولید روکش داشبورد با کیفیت مطلوب و حداقل عیوب ممکن تاثیر بسزایی بر روی بهبود کیفیت داشبورد تولید شده و کاهش میزان ضایعات دارد.

پارامترهای قابل تنظیم بر روی دستگاه. از میان همه عوامل، پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر روی کیفیت محصول و میزان عیوب به وجود آمده حین فرآیند تولید شناسایی شده و از سایر عوامل به علت ثابت بودن آنها صرف‌نظر شد. عوامل موثر در به وجود آمدن عیب خامی در قالب یک نمودار علت و معلول در شکل (۴) نشان داده شده است.

### پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه

پارامترهای مختلفی همچون دمای تنظیم شده برای کوره، زمان ماندگاری قالب در کوره، سرعت حمل کننده‌های قالب، زاویه چرخش قالب، سرعت چرخش قالب، دما و زمان باز پخت، دما و زمان خنک کاری قالب، مقدار پودر ریخته شده داخل پادر باکس... وجود دارند که در هنگام تولید روکش قابل تنظیم بر روی دستگاه می‌باشند. با توجه به مراجع موجود در این زمینه [۲] و همچنین تحقیقات انجام شده، سه عامل اصلی دمای قالب، زمان باز پخت (دمای  $280^{\circ}C$ ) و زمان خنک کاری قالب (دمای  $30^{\circ}C$ ) به عنوان تأثیرگذارترین عوامل بر روی کیفیت محصول نهایی انتخاب گردید و سایر عوامل در حین فرآیند ثابت در نظر گرفته شدند.

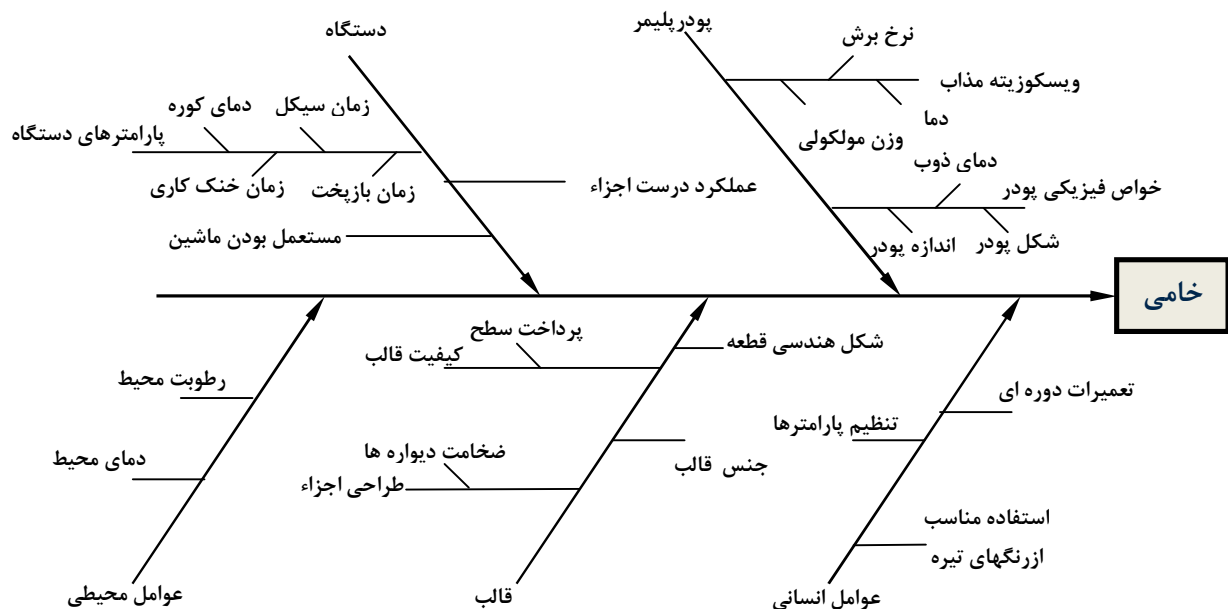
می‌شود امری ضروری است. بهمین دلیل با بررسی ضایعات حاصل از این عیب و طبق اصل پارتو این‌طور تشخیص داده شد که حساسترین مکان از جهت به وجود آمدن عیب خامی که منجر به ضایعات شدن قطعه تولیدی می‌شود ناحیه بالای آمپر می‌باشد. لذا مبنای اندازه گیری این عیب به منظور کمینه کردن مقدار آن در همین ناحیه قرار گرفت.



شکل ۳: توزیع عیوب مشاهده شده بر روی پوسته داشبورد.

### پارامترهای موثر بر روی کیفیت روکش

عوامل تأثیرگذار بر روی کیفیت روکش تولید شده در روش قالب‌گیری چرخشی عبارتند از: جنس و کیفیت قالب، ابعاد و هندسه قطعه، نوع پودر و مشخصات آن (اندازه و شکل پودر، شاخص مذاب MFI، چگالی پودر) و



شکل ۴: نمودار علت و معلول عیب خامی مشاهده شده در تولید روکش داشبورد.

تنظیم پارامترهای دستگاه برای هر یک از آنها به صورت جداگانه وجود دارد، استفاده می شود. از آنجا که جنس و کیفیت قالب مورد استفاده در فرآیند تولید بر روی ایجاد عیوب و کیفیت قطعه تاثیر گذار است، لذا یکی از قالب‌ها که از جنس نیکل بوده (شکل ۵) و از کیفیت مطلوب‌تری نسبت به سایر قالب‌ها برخوردار بود، انتخاب شد و روکش تولید شده توسط آن مورد آزمایش قرار گرفت.

### نوع پودر مورد استفاده

نوع پودر و ترکیبات موجود در آن و مشخصاتی همچون توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات پودر، شاخص مذاب و چگالی پودر باعث ایجاد تفاوت‌هایی در کیفیت قطعه تولید شده می شود. در این تحقیق از پودری با مشخصات ذکر شده در جدول (۳) استفاده شده است.



شکل ۵: تصویر قالب مورد استفاده برای تولید.

جدول ۳: مشخصات پودر استفاده شده برای تولید.

مشخصات	مقدار
چگالی حجمی ( $\text{g/cm}^3$ )	۰.۶۵
جریان پذیری (s)	۳۵
اندازه ذرات $< 400 \mu\text{m}$ (%)	< ۰.۵
زمان ژله ای شدن $240^\circ\text{C}$ (s)	۱۹
پایداری حرارتی $220^\circ\text{C}$ (min)	۳۴

قابل ذکر است که کلیه نتایج و تحلیل‌های به دست آمده در این تحقیق فقط برای این نوع جنس قالب و پودر پلیمری قابل استفاده می باشد و برای سایر جنس‌های قالب و پودرهای مورد استفاده باید کلیه مراحل آزمایش و داده پردازی به صورت مجزا صورت گیرد.

### نحوه اندازه گیری عیب

هیچ استاندارد کمی مشخصی برای اندازه گیری عیوب به وجود آمده و رد یا قبولی روکش تولید شده

لازم به توضیح است که در دستگاه مورد استفاده در این تحقیق، پارامتر دمای قالب با دو عامل دمای کوره و زمان ماندگاری قالب در کوره (زمان سیکل) قابل کنترل است که معمولاً با ثابت نگاه داشتن دمای کوره و تغییر زمان سیکل این کار انجام می شود و از آنجایی که امکان اندازه گیری دمای قالب به هنگام پودرگیری در بیشتر از یک نقطه وجود ندارد، به همین دلیل سنسور اندازه گیری دمای قالب به هنگام پودرگیری طوری تنظیم شد که دمای قالب را در ناحیه بالای آمپر که بیشترین عیب خامی وجود دارد، اندازه گیری کند.

جدول ۲: عوامل اصلی و سطوح هر کدام در انجام آزمایش.

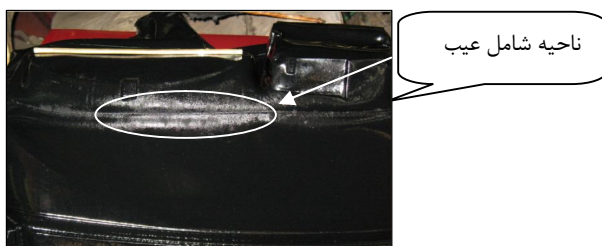
عامل	سطح	
	پایین (S)	بالا (S)
زمان سیکل	۹۰	۱۱۰
زمان باز پخت	۵	۲۰
زمان خنک کاری قالب	۲۰	۴۰

همچنین هر یک از پارامترهای مربوط به زمان بازپخت و زمان خنک کاری قالب بطور جداگانه بر روی دستگاه قابل تنظیم می باشند. سطوح تعیین شده برای هر یک از عوامل اصلی در جدول (۲) مشاهده می شود. بعد از انتخاب عوامل مهم و تاثیرگذار روی کیفیت محصول نوبت به تعیین سطوح هر یک از عوامل می رسد. این کار نیز با توجه به محدوده مجاز برای هر یک از پارامترها و از روی تجربه صورت می گیرد. به عنوان مثال در مورد زمان ماندگاری قالب در کوره و بررسی محدوده دمای قالب تعداد زیادی آزمایش انجام شد و نهایتاً مشخص گردید که در زمان‌های سیکلی کمتر از ۹۰ ثانیه قطعه کاملاً خام شده و ضایعات می شود. همچنین با کم کردن بیش از حد زمان سیکل دستگاه پیغام خطا می دهد. همچنین در زمان‌های سیکلی بیشتر از ۱۱۰ ثانیه روکش دچار سوختگی می شود. به همین دلیل زمان سیکل به منظور بررسی دماهای مختلف قالب بین ۹۰ تا ۱۱۰ ثانیه انتخاب گردید. در مورد زمان باز پخت و زمان خنک کاری قالب نیز به همین ترتیب عمل می شود.

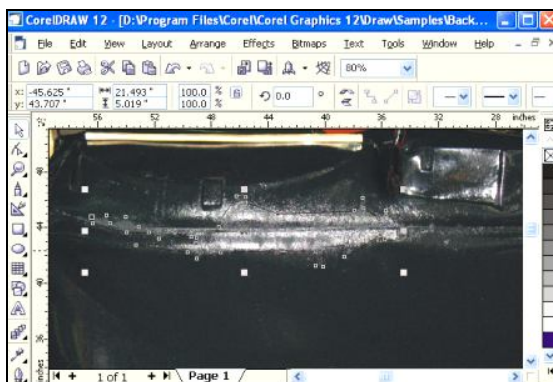
### جنس قالب مورد استفاده

در دستگاه مورد استفاده در این تحقیق برای تولید روکش از سه نوع قالب با جنس‌های مختلف که قابلیت

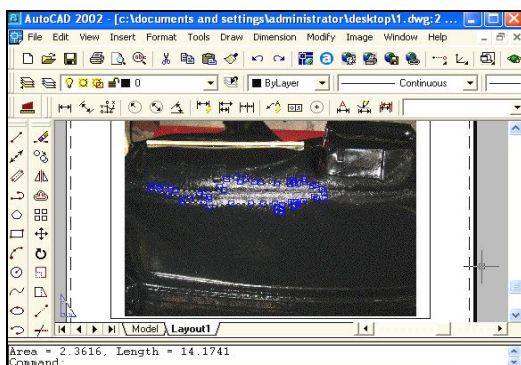
فاصله ثابتی از فیکسچر ساخته شده از میز قرار داده می‌شود. ۲- موقعیت و شرایط قرارگیری هر یک از روکش‌ها بر روی فیکسچر در تمامی عکس‌ها یکسان می‌باشد. ۳- به منظور اعمال ضریب سطح در هر یک مساحت‌های محاسبه شده در نرم افزار، به هنگام عکس برداری بر روی هر یک از روکشها خط کشی با طول مشخص و ثابت ۳۰ سانتی‌متر قرار داده می‌شود. ۴- با توجه به اینکه فرو رفتگی و یا برجستگی در نواحی شامل عیب بر روی میزان سطح محاسبه شده تاثیر گذار است، لذا روکش‌ها به صورتی بر روی فیکسچر ساخته شده قرار داده می‌شوند که از به وجود آنها در این نواحی جلوگیری شود.



الف: تصویری از بخش درونی روکش.  
(۱) عکسبرداری از سطح داخلی روکش



ب - نشانه گذاری عیوب با نرم افزار.  
(۲) مشخص کردن نواحی شامل عیب در نرم افزار Corel



پ - محاسبه مساحت ناحیه معیوب با نرم افزار  
شکل ۷: چگونگی محاسبه مساحت عیوب.

وجود ندارد و این کار معمولاً بر اساس تجربه و تشخیص اپراتور انجام می‌شود. چنانچه اپراتور بر حسب تجربه خود تشخیص دهد که عیوب به وجود آمده در روکش منجر به ایجاد ضایعات در مراحل بعدی تولید می‌شود، می‌تواند روکش را از مرحله تولید داشبورد خارج کند. از طرفی برای تربیت شبکه عصبی و تهیه داده‌های لازم به منظور تخمین مدلی که بتواند رابطه بین پارامترهای ورودی و متغیر خروجی را بیان کند، لازم است معیاری برای اندازه‌گیری میزان عیب به وجود آمده در نظر گرفته شود. لذا پس از تحقیقات انجام شده و آزمایش روش‌های مختلف تشخیص داده شد که دقیق‌ترین روش بدین منظور عکس برداری از روکش‌ها با لحاظ کردن مواردی مشخص می‌باشد.

### ساخت فیکسچر

به منظور عکسبرداری دقیق از روکش‌ها فیکسچری از جنس فوم مورد استفاده در فرآیند تولید داشبورد ساخته شد که بتوان با استفاده از آن سطح داخلی روکشها را به نحو مطلوبی مشاهده کرد و عیوب ایجاد شده در آنها را با دقت هر چه بهتری اندازه‌گیری نمود.



شکل ۶: نمایی از فیکسچر ساخته شده برای عکسبرداری.

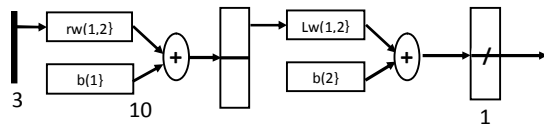
### استفاده از نرم افزارهای Corel و Autocad به منظور اندازه‌گیری میزان عیوب

در ادامه با قرار دادن روکش‌ها بر روی فیکسچر ساخته شده با استفاده از دوربین دیجیتال از روکش‌های مورد آزمایش عکس گرفته می‌شود و سپس عکس‌های گرفته شده وارد نرم افزار Corel شده و پس از اینکه ناحیه شامل عیب به طور دقیق مشخص گردید، عکس‌ها با پسوند DWG ذخیره می‌شوند تا در نهایت با استفاده از نرم افزار AutoCad مساحت ناحیه مورد نظر محاسبه شود. لازم به ذکر است که در هر یک از عکس‌های گرفته شده رعایت کامل نکات زیر مورد نظر بوده است:

۱- دوربین دیجیتال روی پایه ای با ارتفاع ثابت و در



ساختار شبکه عصبی طی روند سعی و خطا صورت گرفته است، بدین صورت که برای انواع توابع آموزشی ابتدا شبکه‌هایی با یک لایه پنهان و تعداد نرون‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفتند و تربیت شبکه با افزایش تدریجی نرون‌ها در لایه مخفی مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده می‌شود که افزایش بیش از حد تعداد نرون‌ها خطای شبکه را افزایش می‌دهد. برای آموزش شبکه عصبی از ۵۶ طرح مختلف که مشخصات آنها شامل پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه  $T$ ،  $t_1$  و  $t_2$  و مشخصه عملکردی شامل مساحت عیب خامی به وجود آمده می‌باشد، استفاده شده است. مشخصات این طرح‌ها در جدول (۴) آمده است.



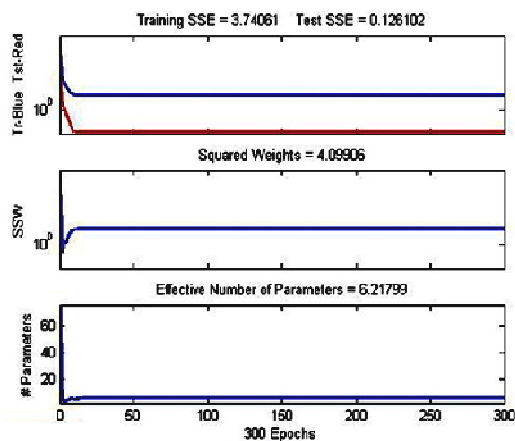
شکل ۸: ساختار شبکه عصبی طراحی شده.

لازم به این توضیح است که از این تعداد طرح، ۴۲ طرح جهت آموزش شبکه، ۷ طرح جهت آزمایش شبکه<sup>۸</sup> و ۷ طرح به عنوان داده‌های ارزیابی<sup>۹</sup> شبکه استفاده شده‌اند. از داده‌های آموزشی به منظور تربیت شبکه استفاده می‌شود. داده‌های آزمایشی (تست) صرفاً به منظور تست شبکه استفاده می‌شوند و در تربیت شبکه هیچ نقشی ندارند. در واقع معیار بررسی دقت شبکه مقایسه بین خروجی‌های حاصل از تخمین شبکه و مقدار واقعی آنها برای داده‌های تست می‌باشد. هر چه این اختلاف کمتر باشد، مدل ساخته شده توسط شبکه از دقت بهتری برخوردار است. داده‌های ارزیابی نیز در تربیت شبکه نقشی ندارند و به منظور جلوگیری از تربیت بیش از حد شبکه<sup>۱۳</sup> و توقف زود هنگام<sup>۱۴</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین معیار همگرایی مورد استفاده در آموزش شبکه عصبی عبارت است از اینکه: خطای طرح‌های آزمایشی شبکه باید کمتر از ۱۰٪ باشد. همچنین برای بررسی تربیت پذیری شبکه و تاثیر تکنیک‌های مختلف بهبود قدرت تعمیم شبکه به منظور رسیدن به دقت مورد نظر حالات زیر در نظر گرفته می‌شود: تاثیر استفاده از انواع توابع آموزشی<sup>۱۰</sup>، تاثیر استفاده از انواع توابع تبدیل لایه‌ها<sup>۱۱</sup>، تاثیر عملکرد شبکه با نرخ‌های مختلف یادگیری<sup>۱۲</sup>، تاثیر افزایش تعداد نرون‌ها، لایه‌ها و داده‌های آموزشی

شبکه عصبی به طور کلی روش شبکه‌های عصبی از عملکرد دستگاه عصبی موجودات زنده الهام گرفته است و به همین دلیل تحت عنوان شبکه‌های عصبی مصنوعی خوانده می‌شوند، که به منظور راحتی و اختصار در بیشتر کتب و مقالات با همان نام شبکه‌های عصبی از آنها یاد می‌شود. شبکه عصبی مصنوعی، شبکه‌ای است متشکل از تعداد زیادی پردازنده ساده، موسوم به واحدهای پردازشگر یا گره<sup>۶</sup>. این گره‌ها توسط مجاری ارتباطی موسوم به اتصال یا وزن<sup>۷</sup> به یکدیگر متصل هستند. انجام عملیات در کلیه واحدها فقط بر روی داده‌های محلی خود و داده‌هایی که از طریق اتصالات ورودی خود دریافت می‌کنند، صورت می‌گیرد. بسته به چگونگی برقراری اتصالات میان گره‌ها، توابع انتخابی به عنوان توابع تحریک گره‌ها و یا چگونگی مقدارگیری وزن‌ها، مشتقات متفاوتی از این ابزار معرفی شده‌اند که از آن جمله می‌توان شبکه‌های عصبی پیش‌رو، بازگشتی و بسیاری دیگر را نام برد. عملکرد شبکه عصبی، انجام یک نگاهت از یک فضای برداری به فضای برداری دیگر می‌باشد. این نگاهت نمایانگر عملکرد یک تابع بر روی ورودی‌ها به منظور رسیدن به خروجی‌هاست. لذا شبکه عصبی با تقلید از تابع مذکور اقدام به تقریب تابع مورد نظر می‌کند. ثابت شده که شبکه‌های عصبی چند لایه رو به جلو با حداقل یک لایه پنهان، متشکل از واحدهای پردازنده‌ای با تابع سیگموئیدی به عنوان توابع تحریک، در صورت دارا بودن گره‌های پنهان به اندازه کافی و به تعداد مورد نیاز، قادر به تقریب اکثر توابع با دقت دلخواه می‌باشند [۱۲]. پس از اینکه متغیرهای مسئله و محدوده تغییرات آنها تعیین شد، به منظور تهیه نمونه‌های اولیه مورد نیاز برای تربیت شبکه عصبی تعداد ۵۶ آزمایش بصورت اتفاقی انجام شد و به عنوان فضای نمونه جستجو انتخاب گردید. در این تحقیق از شبکه عصبی پیش‌رو چند لایه با قانون آموزشی پس انتشار خطا با سه ورودی و یک خروجی استفاده شده است. ورودی‌های آن عبارتند از پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه، یعنی دمای قالب ( $T$ )، زمان بازپخت ( $t_1$ ) و زمان خنک کاری ( $t_2$ ) و خروجی آن نیز عبارت است از معیار بیان‌کننده کیفیت روکش تولید شده که به صورت مساحت عیب به وجود آمده در قطعه بیان می‌شود. شبکه عصبی از دو لایه که در لایه اول ۱۰ نرون و در لایه دوم ۱ نرون وجود دارد، تشکیل شده است. رسیدن به این



با توجه به مطالعات انجام شده و روند سعی و خطای صورت گرفته ترکیب  $\{tansig, purelin\}$  برای توابع تبدیل لایه ها بهترین ترکیب برای رسیدن به دقت مورد نظر در شبکه مورد بحث می باشد. برای آموزش شبکه به روش پس انتشار خطا از تابع (BR) <sup>۱۳</sup> استفاده شده است. تابع (LM) <sup>۱۴</sup> یکی از بهترین و سریع ترین روش های تربیت شبکه های عصبی است. تابع BR روش بهبود یافته تابع LM است و علاوه بر مزایای روش LM یکی از روش های توقف زود هنگام می باشد که برای تربیت شبکه نیازی به داده های ارزیابی ندارد [۱۱]. از آنجا که افزایش تعداد داده های آموزشی اغلب باعث کاهش خطای شبکه می شود، استفاده از این تابع آموزشی علاوه بر افزایش سرعت آموزش شبکه این امکان را فراهم می کند که بتوان در فرآیند تربیت شبکه از داده های ارزیابی استفاده نکرد، بدون اینکه خطر تربیت بیش از حد شبکه وجود داشته باشد.



شکل ۹: آموزش و همگرا شدن شبکه عصبی.

بعد از طراحی و اجرای شبکه مورد نظر منحنی همگرایی شبکه در شکل (۹) نشان داده شده است. تربیت شبکه، نحوه همگرایی، خطای محاسبه شده برای داده های آموزشی و تست و همچنین تعداد ایپاک در این نمودار قابل مشاهده هستند. با توجه به درصد پایین خطای داده های تست می توان نتیجه گرفت که مدل ارائه شده توسط شبکه عصبی با دقت مطلوبی توانایی تخمین فرآیند قالبگیری چرخشی را دارد.

### الگوریتم ژنتیک

همان طور که اشاره شد به کمک یک شبکه عصبی

بر درصد خطای شبکه. در این تحقیق برای آموزش شبکه عصبی از نرم افزار 7 MATLAB استفاده شده است.

جدول ۴: داده های تجربی استفاده شده برای آموزش شبکه

عصبی.

	دمای قالب (°C)	زمان باز پخت (s)	زمان خنک کاری (s)	مساحت عیب (cm <sup>2</sup> )
1	215	10	30	92
2	216	5	30	42
3	220	10	30	75
4	222	10	30	48
5	232	10	20	14
6	233	15	20	10.5
7	210	5	30	93
8	212	10	30	30
9	241	10	20	6
10	246	10	35	24
11	214	5	35	192
12	243	10	20	4.5
13	220	5	20	35
14	236	20	20	8.6
15	237	20	20	6.7
16	218	5	25	114
17	214	15	30	25
18	226	10	40	72
19	246	10	30	12
20	239	15	20	6.5
21	220	5	30	91
22	214	10	20	47
23	212	10	20	60
24	224	10	40	99
25	244	15	30	9
26	235	15	30	10
27	230	15	30	16.5
28	214	5	30	212

	دمای قالب (°C)	زمان باز پخت (s)	زمان خنک کاری (s)	مساحت عیب (cm <sup>2</sup> )
29	222	15	30	30
30	239	10	20	9.5
31	217	10	30	40
32	212	5	20	135
33	234	15	40	14.2
34	245	10	30	13
35	214	5	20	105
36	226	7	30	59
37	250	20	30	5
38	238	10	30	11.3
39	243	15	30	8
40	215	5	25	216
41	237	20	30	5
42	248	10	30	8
43	218	5	30	110
44	212	5	30	216
45	240	10	20	7.5
46	229	10	30	43
47	220	5	25	88
48	214	10	30	83
49	236	15	30	8.5
50	244	10	35	23
51	224	10	30	42
52	218	10	30	71
53	220	10	20	20
54	217	5	20	120
55	242	20	30	7
56	230	10	40	31

می یابد و احتمال دستیابی به بهینه کلی افزایش خواهد یافت و از انتخاب تصادفی به صورت ابزاری برای هدایت عملیات جستجو به طرف فضای جستجوی مناسب تر سود می برند. ۳- برخلاف بسیاری از روش های دیگر، برای هدایت عملیات جستجویشان به جای قوانین انتقال قطعی از قوانین انتقال احتمالی استفاده می کند. ۴- برای اجرای جستجوی موثر فقط به مقادیر تابع هدف نیاز دارند و سایر دانسته های از پیش تعیین شده را نادیده می گیرد. ۵- کارآیی آنها در فضاهای طراحی نامناسب و پیچیده، که با روش های مبتنی بر گرادیان بسیار دشوار و یا حتی غیر ممکن به نظر می رسد، به طور ثنوری و تجربی اثبات شده است [۱۴]. ۶- توانایی تلفیق با دیگر روش های بهینه سازی را دارند. به منظور استفاده از این الگوریتم از genetic algorithm tool box که یکی از جعبه ابزارهای نرم افزار MATLAB 7 می باشد، استفاده شده است و تنظیم پارامترهای الگوریتم برای رسیدن به پاسخ های مناسب بر پایه روش سعی و خطا صورت گرفته است. در این الگوریتم برای نشان دادن خروجیها از نمایش بهترین برازندگی<sup>۱۶</sup> و میانگین برازندگی ها در هر اجرا<sup>۱۷</sup> که در واقع نشان دهنده نحوه همگرایی الگوریتم می باشد و همچنین مقدار بهینه تابع و بهترین مقدار ورودی ها<sup>۱۸</sup> که به ازای آنها تابع هدف مینیمم می شود، استفاده شده است. تعداد جمعیت کروموزوم ها<sup>۱۹</sup> در هر نسل تعداد ۲۰ عضو و رنج ورودی های جمعیت کروموزوم ها در هر نسل با توجه به نرمالایز بودن داده ها در محدوده بین (۱و-۱) در نظر گرفته می شود. در این الگوریتم مقیاس گذاری برازندگیها<sup>۲۰</sup> درحالتیکه مقادیر برازندگیها بسیار نزدیک به هم باشند و نتوان بین آنها به انتخاب اصلاح پرداخت از نوع جابجایی خطی<sup>۲۱</sup> انتخاب شده است. این پارامتر در واقع با افزایش برازندگی ها با یک مقیاس مشخص شانس بیشتری را برای انتخاب اصلاح ایجاد می کند. در الگوریتم مورد نظر از روش انتخاب<sup>۲۲</sup> تورنمنت<sup>۲۳</sup> استفاده شده است. در این روش انتخاب در هر نسل یک زیر گروه از والدین به صورت رندم و بر اساس ابعاد تورنمنت<sup>۲۴</sup> و بقیه والدین بر اساس بهترین برازندگی در هر نسل انتخاب می شوند. ترکیب زوج های انتخاب شده<sup>۲۵</sup> از نوع پیوند تک نقطه ای و احتمال وقوع پیوند ۹۰٪ است. عملگر جهش<sup>۲۶</sup> بر روی همه اعضای نسل، بعد از عملگر پیوند اعمال می شود و نوع جهش یکنواخت<sup>۲۷</sup> و احتمال وقوع آن ۱٪ انتخاب شده

MLP، ابزاری برای تخمین میزان عیب بوجود آمده در محصول نهایی به ازای ترکیب های مختلف دلخواه از مقادیر سه گانه پارامترهای قابل تنظیم روی دستگاه ایجاد گردید. در ادامه هدف تعیین ترکیب خاصی از این پارامترها می باشد که به ازای آنها میزان عیب به وجود آمده طی فرآیند تولید روکش کمینه باشد. روش های مختلفی برای بهینه سازی تابع هدف وجود دارد. این روش ها معمولاً به دو دسته روش های تحلیلی و عددی تقسیم بندی می شوند که هر یک محدودیت های خاص خود را دارا هستند.

جدول ۵: مقایسه نتایج تجربی و شبکه عصبی.

مورد آزمایش	مساحت	
	خروجی شبکه	نتایج تجربی
۱	۱۴۲	۱۳۵
۲	۸۱.۳	۸۳
۳	۱۰۱	۹۱
۴	۴۰	۴۲
۵	۱۶.۱	۱۴.۲
۶	۶.۶	۷.۵
۷	۲۷.۸	۲۳
میانگین درصد خطا	۱۰٪	

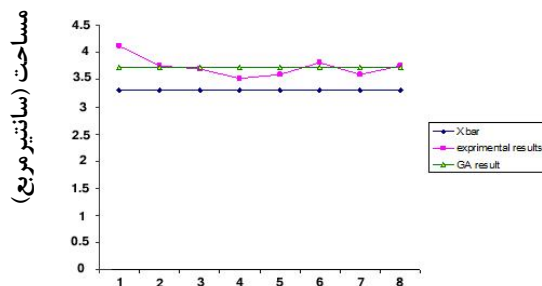
در این تحقیق از روش الگوریتم ژنتیک به عنوان تکامل یافته ترین روش های بهینه سازی الهام گرفته شده از طبیعت جاندار برای بهینه سازی مسئله استفاده شده است [۱۳]. در این الگوریتم، الگوریتم های جستجوی وجود دارند که براساس مکانیزم انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی عمل می نمایند. الگوریتم ژنتیک شامل سه عملیات کلی است: ارزیابی تابع، انتخاب و تولید مجدد. تقاطع و جهش دو عملگر اصلی این الگوریتم می باشند که در مرحله تولید مجدد استفاده می شوند. ویژگی های الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است: ۱- به جای خود متغیرها از متغیرهای کدگذاری شده (از جمله شیوه کد گذاری دو دویی) استفاده می کنند که این ویژگی برای استفاده از متغیرهای گسسته بسیار مناسب است. ۲- برخلاف دیگر روش های بهینه سازی به جای یک نقطه جستجو، چند نقطه جستجوی متقارب را به کار می برند. بنابراین، احتمال سرگردان شدن در بهینه محلی به شدت کاهش

جدول ۶: مقادیر بهینه برای پارامترهای مورد مطالعه.

مقدار بهینه	عامل
۲۴۴.۷۲	دمای قالب (°C)
۱۵.۲۱	زمان بازپخت (S)
۲۲.۲۹	زمان خنک کاری قالب (S)
۳.۳۰۵	مساحت (cm <sup>2</sup> )

### آزمون صحت سنجی

در ادامه بعد از مشخص کردن ترکیب‌های خاصی از پارامترهای دستگاه که به ازای آنها میزان عیوب به وجود آمده طی فرآیند تولید روکش کمینه می باشد، برای اطمینان از صحت مدل ارائه شده توسط شبکه عصبی و نتایج حاصل از اجرای الگوریتم به صورت عملی، این مقادیر بر روی دستگاه تنظیم شدند و با اندازه گیری میزان عیوب بوجود آمده، کیفیت محصول در تعداد هشت نمونه که در شرایط واقعی تولید شده اند مورد بررسی قرار گرفت. نمودار مقایسه بین نتیجه آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک و نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های عملی در شکل (۱۱) آورده شده است. با مقایسه نتایج تجربی به دست آمده در شرایط واقعی و مقادیر بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک مشخص گردید که الگوریتم در محدوده متغیرهای ورودی مقادیر بهینه پارامترهای ورودی را به درستی تعیین کرده است و می توان با استفاده از این مقادیر به طور عملی نیز میزان عیوب بوجود آمده طی فرآیند را به میزان مطلوبی تحت کنترل داشت و کمینه کرد.

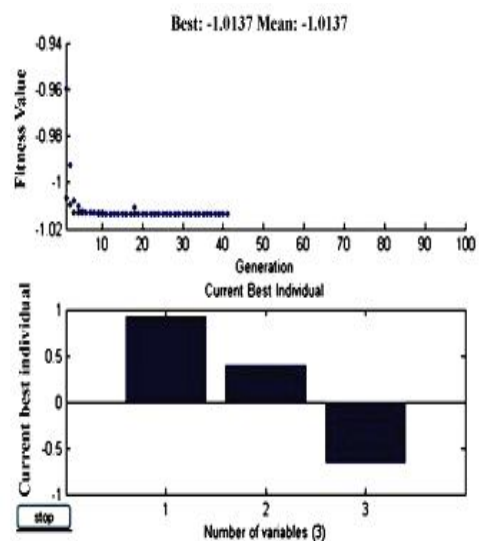


شکل ۱۱: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با خروجی الگوریتم ژنتیک برای درصد عیب.

### نتیجه گیری

در این تحقیق، تعیین و بهینه سازی عوامل اصلی تاثیر گذار بر روی کیفیت داشبورد خودرو با هدف کمینه

است. در این نوع جابجایی برای هر یک از بیتها احتمال جهش یکسانی در نظر گرفته می شود. چنانچه پس از گذشت تعداد مشخصی تکرار متوالی<sup>۲۸</sup> (۵۰ تکرار) و یا زمان مشخصی<sup>۲۹</sup> (۲۰ ثانیه) از آغاز الگوریتم بهبودی در بهترین پاسخ به دست آمده در هر نسل حاصل نشود، الگوریتم متوقف می شود. همچنین تعداد بیشینه نسلها و یا به عبارتی حداکثر تعداد تکرار به منظور توقف الگوریتم، برابر ۱۰۰ می باشد. در حین اجرای الگوریتم ژنتیک صرفاً تنظیماتی روی نرخ جهش، اندازه جمعیت و نحوه پیوند صورت می گیرد. الگوریتم با تکرار در چند نوبت به نقطه بهینه ای (که با احتمال بسیار بالایی نقطه بهینه مطلق است)، همگرا می شود. اگر چه در روشهای عددی معمولاً بطور قطعی نمی توان ادعا کرد که نقطه بهینه بدست آمده نقطه بهینه مطلق است ولی در الگوریتم ژنتیک یا روشهایی مشابه می توان احتمال مطلق بودن نقطه بدست آمده را بسیار بالا برد. بعد از طراحی و اجرای الگوریتم مورد نظر منحنی همگرایی الگوریتم در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰: همگرایی الگوریتم ژنتیک.

همگرایی الگوریتم، بهترین برازندگی و میانگین برازندگی ها در هر تکرار، مقدار بهینه تابع و بهترین مقدار ورودی ها که به ازای آنها تابع هدف مینیمم می شود، در این نمودار قابل مشاهده است. بعد از همگرایی الگوریتم ژنتیک پارامترهای طرح بهینه مشخص می شود که در جدول (۶) نشان داده شده است.

ارائه شده در شبکه عصبی با توجه به درصد پایین خطای داده های آزمایشی. ۵- اطمینان از اعتبار مدل ارائه شده توسط شبکه عصبی و سطوح بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک توسط مقایسه ی بین نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و نتایج تجربی به دست آمده از آزمایش های عملی و همخوانی مطلوب بین آنها. ۶- روش تدوین شده در این تحقیق منجر به تولید قطعه ای با کیفیت مطلوب و حداقل عیوب ممکن، کاهش میزان ضایعات و هزینه های تولید و همچنین افزایش بهره وری فرآیند می شود و نتیجه آن برای کارخانه های فعال در زمینه تولید روکش داشبورد و سایر قطعات به روش قالب گیری چرخشی مورد استفاده می باشد.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب تشکر خود را از معاونت محترم اجرایی شرکت مهرکام پارس به خاطر مساعدتشان در انجام این پروژه ابراز می دارند.

کردن عیوب حاصل از تولید قطعه به روش قالب گیری چرخشی انجام شده است. مهم ترین نتایج حاصل از این تحقیق عبارتند از :

- ۱- شناسایی و تحت کنترل داشتن مراحل اصلی تاثیر گذار بر روی کیفیت محصول نهایی در فرآیند تولید داشبورد و تعیین فرآیند تولید روکش داشبورد به عنوان اثر گذار ترین مرحله بر روی کیفیت داشبورد و میزان ضایعات بوجود آمده. ۲- شناسایی کلیه عوامل تاثیر گذار بر روی کیفیت قطعه در فرآیند قالب گیری چرخشی به عنوان یکی از پرکاربرد ترین روش های تولید روکش داشبورد و استانداردسازی این روش از طریق بررسی و پیش بینی تاثیر این پارامترها بر روی کیفیت محصول نهایی. ۳- طراحی بهینه سه پارامتر اصلی دمای قالب، زمان باز پخت و زمان خنک کاری به عنوان پارامترهای قابل تنظیم بر روی دستگاه و مؤثرترین عوامل بر روی کیفیت محصول نهایی در فرآیند قالب گیری چرخشی. ۴- توانایی تخمین فرآیند قالب گیری چرخشی توسط مدل

### مراجع

- 1 - Crawford, R. J. (1996). *Rotational moulding of plastics*. Research Studies, Taunton, New York.
- 2 - Narkis, M. and Rosenzweig, N. (1995). *Polymer powder technology*. John Wiley Ltd, New York.
- 3 - Bigg, D.M. (1977). "A study of the effect of pressure, time, and temperature on high-pressure powder molding." *Polymer Engineering and Science*, Vol. 17, Issue 9, PP. 691-699.
- 4 - Luo, Y. and Dai, G. (2002). "Effect of the particle character of PVC on its fusion behavior." *Polymer Processing Laboratory*, P. R. China.
- 5 - Patel, S., Kakarala, N. and Ellis, T. (2005). "Development of a slush molded TPO Instrument Panel Skin." *SAE International*.
- 6 - Throne, J.L. and Rao, M.A. (1972). "Theory of rotational molding." *J. Polym. Eng. Sci*, Vol. 12, No.4, PP. 237-264, 1972.
- 7 - Throne, J.L. (1972). "Principle Of Rotational Molding." *J. Polym. Eng. Sci*, Vol. 12, PP. 335.
- 8 - Crawford, R.J. (1993). *Rotational moulding of plastics* [M]. England: RSP, PP. 1 - 3.
- 9 - Crawford, R.J., Nugent, P. J. (1992). *A new process control system for rotational moulding* [J]. PRCPA, Vol. 17, No. 1, PP. 23 -31.
- 10 - Crawford, R. J. and Nugent, P. J. (1989). *Plastics and Rubber Processing and Application*, Vol.11, PP. 107.
- 11 - Crawford, R. J. and Sun, D.W. (1993). "Computer Simulation of Rotational Molding Heat Transfer Processes." *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications* (UK), Vol. 19, PP. 47-53.
- 12 - Demuth, H. et.al, (2006). *Neural Network Toolbox User's Guide*, Math Works Inc..
- 13 - Goldberg, D. (1989). *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison Wesley.
- 14 - Mc Cully, C. and Bloebaum, C.L. (1996). "A genetic tool for optimal design sequencing in complex engineering systems." *Struct. Optim.*, Vol. 12, PP. 186-201.

---

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Rotational Moulding
  - 2 - Slush Moulding
  - 3 - Artificial Intelligence
  - 4 - Genetic Algorithm
  - 5 - Circulation Model
  - 6 - Neuron
  - 7 - Synapse
  - 8 - Test Vectors
  - 9 - Validation Vectors
  - 10 - Training Function
  - 11 -Transfer Function
  - 12 -Learning Rate
  - 13 -Bayesian Regularization
  - 14 -Levenberg-Marquardt
  - 15 -Natural Selection
  - 16 -Best Fitness
  - 17 -Generation
  - 18 -Best Individual
  - 19 -Population Size
  - 20 -Fitness Scaling
  - 21 - Shift Linear
  - 22 - Selection
  - 23 - Tournament
  - 24 - Tournament Size
  - 25 - Cross Over
  - 26 - Mutation
  - 27 - Uniform
  - 28 - Stall Generations
  - 29 - Stall Time Limit
-