مقاله

کمینه‌سازی ابعاد بدنهٔ خودروی نیسان از طریق بهینه‌سازی چیدمان بلنک قطعات

مرتضی قائم ملکی*
کارشناس ویژهٔ امور تحقیقات و مهندسی محصول
شرکت سازه‌گستر سایپا
ghaemmalekimorteza@sazehgostar.com

علی منصورزاده
مدیر امور تحقیقات و مهندسی محصول
شرکت سازه‌گستر سایپا
mansourzadeh@sazehgostar.com

سید احمد بابک سلیمانی
کارشناس امور تحقیقات و مهندسی محصول
شرکت سازه‌گستر سایپا
ahmadbabak25@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۲۹

چکیده

ورق‌های فولادی نقش قابل توجهی در تولید بدنهٔ خودرو دارند. طی سالیان اخیر، افزایش قیمت تمام‌شدهٔ ورق‌های فولادی از یکسو و مشکلات ناشی از تحریم‌ها از سویی دیگر، تأمین ورق‌های فلزی را با چالش‌هایی جدی مواجه کرده است. از این‌رو لازم است تا سازندگان و تولیدکنندگان جهت صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه، کاهش ضایعات و مدیریت مصرف ورق، روش‌های نوینی به‌کار گیرند. در این مقاله، ابتدا روش‌های کاهش موادبری و ضایعات قطعات فلزی پرسی با بهره‌گیری از شیوه‌های تغییر در چیدمان قطعات، به‌کارگیری یا اصلاح قرار قالب، استفاده از ورق کویل به‌جای ورق شیت و تغییر در نحوهٔ تولید، عرض نوار ورق و نوع قالب و پرس بررسی و در ادامه، موادبری روش‌های جدید با روش‌های قدیم مقایسه شده است. سپس، سود سالیانه‌ای که از اعمال این تغییرات در مدل‌های مختلف خودروی نیسان عائد گروه خودروسازی سایپا می‌شود محاسبه می‌شود. اجرای این روش‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در مواد اولیهٔ فلزی و کاهش ضایعات، نه‌تنها از هدررفت انرژی و سرمایهٔ ملی جلوگیری می‌کند، که براساس قاعدهٔ برد برد به افزایش حاشیهٔ سود برای تولیدکننده و خودروساز نیز می‌انجامد.

واژگان کلیدی: ورق، بلنک، قالب، کارت برش

۱. مقدمه

بدنهٔ هر خودرو از جمله مهم‌ترین اجزای آن خودرو محسوب می‌شود؛ جزئی که از ۱۵۰ تا ۲۰۰ قطعهٔ پرسی تشکیل شده و شامل براکت‌هایی ساده تا قطعاتی پیچیده همچون ساید، درب و جز این‌ها می‌باشد. اصولاً برای تولید هر قطعه از بدنهٔ خودرو، دو جزء اساسی قالب و پرس مورد نیاز است. ورق‌ها طی عملیات پرسکاری توسط قالب‌های پرس

شکل‌های متنوعی به‌خود می‌گیرند و جهت داشتن ابعاد مشخص طبق طراحی انجام‌شده نیاز است تا از شیت‌های ورق مناسب با ابعاد بلنک مناسب استفاده شود. غالباً تولیدکنندگان در فرایند پرسکاری ضایعات زیادی دارند که ناشی از دورریز ورق‌ها به‌صورت صنعتی یا ذوبی می‌باشد. پارامترهای طراحی قالب و انتخاب بهینهٔ ابعاد نقش بسزایی در میزان ورق‌بری دارند. بنا بر دلائل ذیل پروژهٔ بهینه‌سازی مصرف ورق در خودروی نیسان در شرکت سازه‌گستر ساپیا[1] تعریف و اجرا شده است:

۱. افزایش قیمت مواد اولیه و مشکلات تأمین ورق‌های فلزی
۲. ضایعات بالای قطعات پرسی خودروی نیسان
۳. بهبود فرایند تولید سازندگان قطعات خودروی نیسان
۴. کاهش موادبری و بهبود انبارداری ورق‌های مصرفی
۵. صرفه‌جویی در هزینهٔ حمل‌ونقل مواد اولیهٔ فلزی

با توجه به نقش و اهمیت ورق‌های فولادی، که بیش از ۵۰ درصد از وزن خودرو را تشکیل می‌دهند، استفاده از راه‌کارهای کاهش ضایعات مهندسی قطعات پرسی شامل تغییر فناوری تولید قطعات، اصلاح و بازنگری در طراحی قالب، استفاده از ضایعات مهندسی قطعات بزرگ برای تولید قطعات کوچکتر و بازنگری و بهینه‌سازی در ابعاد بلنک اولیه و کاهش ورق‌بری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. پروژهٔ بازنگری و بهینه‌سازی در ابعاد بلنک اولیه و کاهش موادبری با قالب‌های موجود قطعات به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین راه‌کارها انتخاب و در امور تحقیقات مواد مهندسی شرکت سازه‌گستر تعریف و اجرا شد. لازم به‌ذکر است که ضایعات مهندسی شامل ضایعات ناشی از طراحی و فرایند کار قالب و تولید است که از تفاضل وزن بلنک اولیه (وزن ناخالص) از وزن قطعهٔ نهایی (وزن خالص) محاسبه می‌شود.

به‌طور کلی، پارامترهای اثرگذار در بررسی و بهینه‌سازی قطعات پرسی بسیار متنوع است. برخی از مهم‌ترین آنها عبارت است از:

۱. نوع و جنس قالب‌های مورد استفاده. اساساً سه نوع قالب کلاسیک، نیمه‌پروگرسیو و پرگرسیو[2] (یا اصطلاحاً قالب پیشرونده) وجود دارد. در قالب کلاسیک، بلنک اولیه توسط گیوتین یا قالب بلنک برای تولید یک یا دو قطعه (بسته به محفظه یا حفرهٔ قالب[3]) آماده و سپس در قالب‌های فرم و کشش قرار می‌گیرد و قطعهٔ نهایی تولید می‌شود. در قالب نیمه‌پرگرسیو، نوار اولیه به‌صورت ورق شیت یا نوار کویل در کانال قالب قرار می‌گیرد و پس از ایجاد فرم اولیه در قالب‌های دیگر، فرم نهایی قطعه شکل می‌گیرد. در قالب پروگرسیو اما، مواد اولیه به‌صورت کویل به یک قالب تغذیه و شکل نهایی در همان قالب ایجاد می‌شود.

۲. نوع پرس مورد استفاده از لحاظ عملکرد، نظیر پرس‌های مکانیکی یا هیدرولیکی یا ضربه‌ای

۳. نوع مواد و جنس ورق: بسته به اینکه ورق از نوع نورد گرم یا سرد یا پوشش‌دار (گالوانیزه) باشد، شرایط بررسی تغییر می‌کند.

۴. فرایند تولید: استفاده از روغن کششی یا نایلون، اعمال روش دستی یا خودکار (روباتیک) و جز این‌ها تأثیر زیادی در فرایند بررسی دارد.

۵. اپراتور پرس و قالب و میزان دانش فنی و تجربه موجود در شرکت‌ها

۲. پیشینهٔ پژوهش

نورانی و حسن‌نیا (۱۳۸۷) مدیریت مصرف ورق با استفاده از بازنگری کارت برش قطعات پرسی و روش‌های کاهش ورق‌بری در تولید قطعات پرسی را بررسی کرده‌اند [۱]. شجاعی فرد و همکاران (۱۳۹۰) شعاع ابزار در فرایند شکل‌دهی تدریجی ورق بدنه را به‌صورت تجربی بررسی کردند و امیری و همکاران (۱۳۸۶) کاربرد طراحی آزمایش‌ها و تصمیم‌گیری چندهدفه در تعیین و تنظیم مشخصه‌های کیفی گلگیر عقب پراید ۱۴۱ را تجزیه و تحلیل کردند [۳]. قالب‌های قطعات بدنه عمدتاً از نوع سنبه ماتریس هستند. در عملیات بلنک‌زنی یک سنبه و ماتریس

سرتاسر محیط قطعه‌کار را از نوار فلزی جدا می‌کند. آنچه از قالب بیرون می‌افتد، بلنک قطعه و مابقی به‌عنوان ضایعات ورق است. در قالب بلنک‌زنی ساده، ماتریس یا بستر قطعه‌کار از جنس فولاد می‌باشد که سطح آن سخت شده و یا کاملاً از جنس فولاد آلیاژی می‌باشد که نخست آن را آبکاری و سپس تمپر (برگشت‌دادن یا نرم‌کردن) می‌کنند. در هر حال، ماتریس روی یک پایه یا بالشتک قرار می‌گیرد. آنچه سبب جداکردن بلنک از نوار فلزی می‌شود، سنبه‌ای است از جنس فولاد آلیاژی یا فولاد ریختگی؛ که در هر دو حالت فولاد تحت تأثیر عملیات حرارتی قرار گرفته است. یک راهنما سبب هدایت نوار به‌داخل قالب می‌شود و یک پین استپ آن را در موقعیت مناسبی نسبت به سنبه متوقف می‌کند. برای موقعیت‌دادن نوار فلزی از پین استپ به این صورت عمل می‌شود که سوراخ ایجادشده به‌خاطر اولین بلنک در این پین افتاده و وضعیت خاصی را برای این نوار فراهم می‌کند. وقتی سنبه نوار فلزی را سوراخ کرد، نوار به سنبه می‌چسبد. در موقع بازگشت سنبه، یک صفحهٔ فولادی به نام روبنده، سبب جداشدن نوار از سنبه می‌شود. برای اینکه بتوان وضعیت نوار فلزی را نسبت به پین استپ در هر لحظه مشاهده کرد، روی روبند یک سوراخ کوچک تعبیه می‌شود.

باید توجه داشت که با هر ضربهٔ پرس یک بلنک کامل تولید می‌شود. برای موقعیت‌دادن به نوار فلزی از سوراخی که در اثر عمل بلنک‌زنی روی نوار باقی مانده است، استفاده می‌شود و تفاوتی که سیستم استپ این‌گونه قالب‌ها با قالب‌های بلنک‌زنی ساده دارد در فنری‌بودن سازوکار استپ آنهاست. برای تثبیت موقعیت صفحات بالایی و پایینی قالب، از یک جفت میلهٔ راهنما استفاده می‌شود، همچنین وجود یک راهنمای برجسته در قسمت نوک سنبه سبب هدایت صحیح و مناسب آن به‌داخل قالب می‌شود. برای کاهش فشار وارده به پرس، نوک سنبه یا ماتریس را به‌صورت شیبدار یا زاویه‌ای می‌سازند و این امر به‌دلیل ایجاد برش تدریجی در قطعه‌کار است. معمولاً شیب‌های یک‌طرفه سبب ایجاد یک نیروی محوری مزاحم می‌شود، البته با ایجاد شیب مضاعف روی سنبه یا ماتریس با این مشکل هم می‌توان مقابله کرد.

در قالب‌هایی که سنبه‌های متعدد دارند، برای کاهش نیروی وارده به پرس می‌توان از سنبه‌هایی با طول متفاوت استفاده کرد، به‌طوری‌که همهٔ آنها در یک زمان با نوار فلزی درگیر نشوند. در تمامی قالب‌های بلنک‌زنی، پیرامون قطعه‌کار پاره و بلنک مورد نظر از نوار فلزی جدا می‌شود. برای ایجاد لبه‌ای تمیز و صاف در کناره‌های قطعهٔ پرس‌شده، بین سنبه و ماتریس باید فضایی خالی در نظر گرفته شود. میزان این فضای آزاد به خواص مکانیکی نوار فلزی و ضخامت آن بستگی دارد و غالباً این اندازه را برابر ضخامت نوار فلزی انتخاب می‌کنند. در عملیات بلنک‌زنی، ماتریس را به ابعاد بلنک می‌سازند و فضای آزاد را روی سنبه محاسبه می‌کنند و آن را کوچکتر می‌سازند. پس از عملیات بلنک‌زنی، بلنک قطعهٔ جداشده از نوار باید به‌سادگی از دهانهٔ ماتریس خارج شود و به این دلیل دهانهٔ ماتریس را شیبدار و تحت زاویه می‌سازند.

۳. تعریف مسئله

با توجه به تعدد و تنوع قطعات نیسان (که حدود ۲۰۰ مورد می‌باشد) جهت بهینه‌سازی بلنک و کاهش موادبری براساس فرایند تولید، شکل هندسی قطعه، ساختار قالب و جز این‌ها لازم است از روش‌های متنوعی استفاده شود. در ادامه هر کدام از روش‌ها به اختصار تشریح شده و یک مثال عملی ذکر شده است. استفاده از روش‌های اشاره‌شده منجر به افزایش بازده، افزایش ایمنی، کاهش ضایعات و کاهش فرایندها شده است.

۱-۳. استفاده از ورق رول به‌جای ورق شیت

در ورق شیت به‌علت ثابت‌بودن ابعاد طول و عرض شیت، عموماً مقداری از ورق در کنارهٔ شیت و انتهای آن ضایعات می‌شود که می‌توان با انتخاب عرض رول متعارف، ضایعات

کنارهٔ شیت را حذف و به حداقل رساند و ضایعات انتهای شیت نیز در ورق رول با برش شیت به اندازهٔ ضریبی از نوار حذف می‌گردد. لازم به‌ذکر است که جابه‌جایی و انبارداری ورق‌های رول نیز از ورق‌های شیت راحت‌تر است.

۲-۳. تغییر در چیدمان قطعات بلنک در نوار ورق

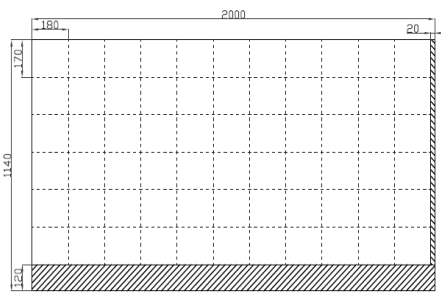
در این روش با تغییر در چیدمان قطعه در نوار ورق به روش چپ و راست‌نمودن بلنک، تعداد تولید قطعه افزایش و میزان ضایعات به حداقل مقدار ممکن می‌رسد.

۳-۳. روش اصلاح ریل راهنمای قالب

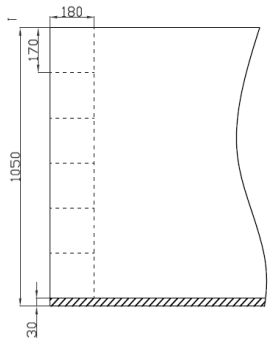
در این روش با جابه‌جایی و اصلاح ریل راهنمای قالب و تولید قطعه تحت زاویه می‌توان عرض نوار ورق را کاهش داد و یا تعداد بیشتری بلنک تولید نمود و ضایعات را به حداقل مقدار ممکن رساند.

٤-۳. اصلاح لبهٔ برش و عرض نوار ورق

فاصلهٔ لبهٔ برش قطعه تا لبهٔ نوار، همچنین فاصلهٔ لبهٔ برش قطعه تا قطعهٔ بعدی با ضخامت قطعه متفاوت است و با الهام از استانداردها و مراجع مهندسی، همچنین در نظر گرفتن فاصلهٔ حداکثر ۲ برابر ضخامت ورق برای ورق‌های تا ضخامت ۲ میلی‌متر، ۱/۵ برابر ضخامت برای ورق‌های با ضخامت بیشتر از ۲ میلی‌متر و برابر ضخامت برای ورق‌های بیشتر از ۴ میلی‌متر می‌توان ضایعات را به حداقل رساند و عرض نوار ورق را بهینه نمود؛ البته ابعاد نوار براساس نوع قالب امکان افزایش محدود دارد.

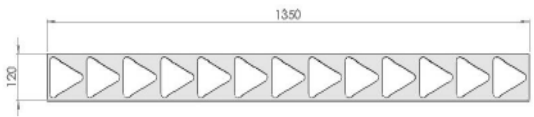


(ب)

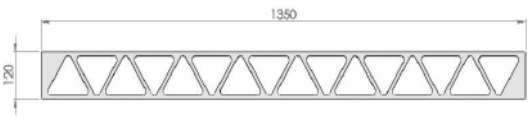


(الف)

شکل ۱. کاهش ضایعات با استفاده از روش ورق رول به‌جای ورق شیت؛ الف) روش جدید، ب) روش قدیم. با در نظر گرفتن ضخامت ۰/۹ میلی‌متری ورق و کاهش عرض ورق شیت از ۱۱٤۰ به ورق رول با عرض ۱۰۵۰ وزن ناخالص در روش قدیم ۲٤٤ گرم و در روش جدید ۲۲۲ گرم محاسبه می‌شود



(ب)

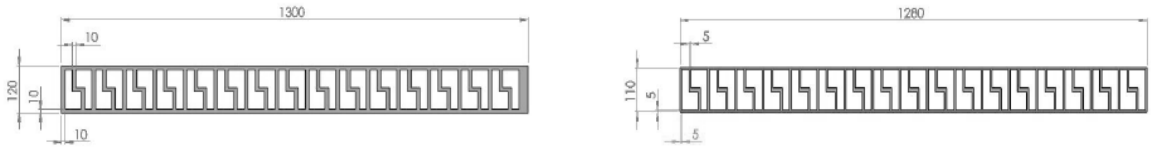


(الف)

شکل ۲. کاهش ضایعات با تغییر روش چیدمان؛ الف) ۱٦ عدد، ب) ۱۳ عدد. با در نظر گرفتن ضخامت ۲ میلی‌متری ورق، در روش قدیم وزن ناخالص هر قطعه ۱۹٤ و در روش جدید ۱۵۸ گرم محاسبه می‌شود

(الف) (ب)

شکل ۳. کاهش ضایعات با روش اصلاح ریل راهنمای قالب. با در نظر گرفتن ورقی با ضخامت یک میلی‌متر، عرض نوار از ۱۲۰ به ۷۰ تغییر کرده و وزن ناخالص قطعه از ۶۳ به ۴۳ گرم کاهش یافته است



(الف) (ب)

شکل ٤. کاهش ضایعات با روش اصلاح لبهٔ برش و عرض نوار. با در نظر گرفتن ضخامت ۳ میلی‌متری ورق، با توجه به اینکه طول و عرض نوار از ۱۲۰×۱۳۰۰ به ۱۱۰×۱۲۸۰ تغییر نموده، تعداد از ۳۰ به ۳٤ عدد افزایش یافته، وزن ناخالص هر قطعه از ۱۲۲ به ۹۷ گرم کاهش یافته است

۳-۵. استفاده از ورق کویل به‌جای ورق شیت در قالب‌های نیمه‌پرگرسیو

در روش نیمه‌پرگرسیو، فرم اولیه در مرحلهٔ نخست تولید می‌شود و نیاز به تولید بلنک نیست و در نتیجه ضایعات ورق کمتر می‌شود. البته این روش بیشتر جهت قطعات با تیراژ بالا استفاده می‌شود.

۳-٦. استفاده از برشکاری گیوتین به‌جای بلنک نواری

در این روش، بلنک قطعه با گیوتین زده می‌شود. این روش بیشتر برای تولید قطعاتی که شکل بلنک آن مربع یا مستطیل است و تلرانس طول و عرض قطعه چندان دقیق نیست کاربرد دارد. در این روش ضایعات نوار بلنک حذف می‌شود.

۳-۷. اصلاح قالب و استفاده از فیدر متحرک

در این روش فیدر قالب از ثابت به متحرک تغییر یافته و در یک نوار می‌توان مابین قطعات نیز قطعه جدید تولید نمود و وزن ناخاص قطعه کاهش می‌یابد. این روش جهت قطعات پولکی و گرد کاربرد دارد.

٤. مراحل انجام کار

پروژهٔ بهینه‌سازی بلنک قطعات نیسان با مطالعات اطلاعات فنی قطعات و بررسی فرایند تولید تک‌تک قطعات در محیط سازندگان در دستور کار قرار گرفته و مطابق با شکل ۸ گام‌های پروژه طی شده، نهایتاً به دستاوردهای اقتصادی منجر شده است.

۵. نتیجه‌گیری

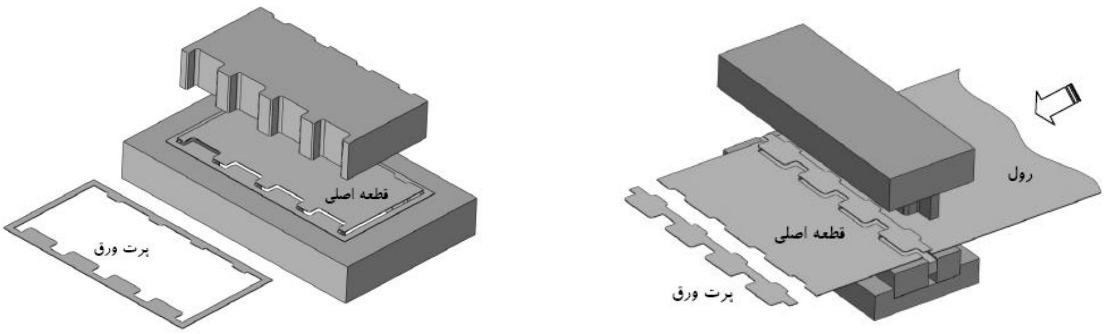
اهم دستاوردهای حاصل از اجرای این پروژه به اختصار در جدول ۱ ذکر شده است. این دستاوردها عبارت‌اند از:

۱. کاهش ضریب مصرف ورق مصرفی به‌میزان ۳۲ کیلوگرم در قطعات نیسان انژکتوری، ۴۵ کیلوگرم نیسان سی. ان. جی. و ۳۴ کیلوگرم نیسان دیزل

۲. بازنگری و اصلاح بانک اطلاعاتی شناسنامهٔ قطعات پرسی مورد استفاده در آنالیز قیمت قرارداد

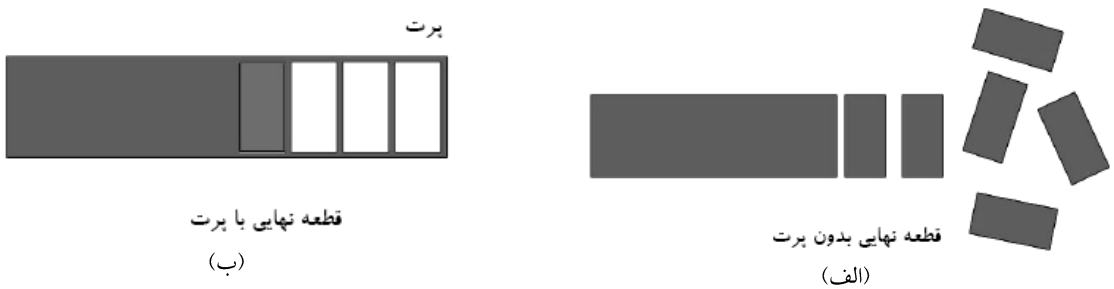
۳. اصلاح سفارش‌گذاری خرید ورق

۴. دستیابی به کاهش هزینه و صرفه‌جویی سالیانه حدود ۱۷ میلیارد ریال در تمامی مدل‌های خودروی نیسان



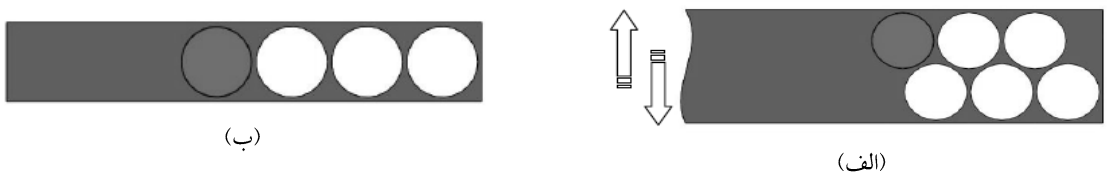
(الف) (ب)

شکل ۵. کاهش ضایعات با استفاده از ورق کویل در قالب نیمه‌پروگرسیو؛ الف) روش جدید، ب) روش قدیم



(ب) (الف)

شکل ٦. کاهش ضایعات با استفاده از روش برشکاری با گیوتین؛ الف) روش جدید، ب) روش قدیم

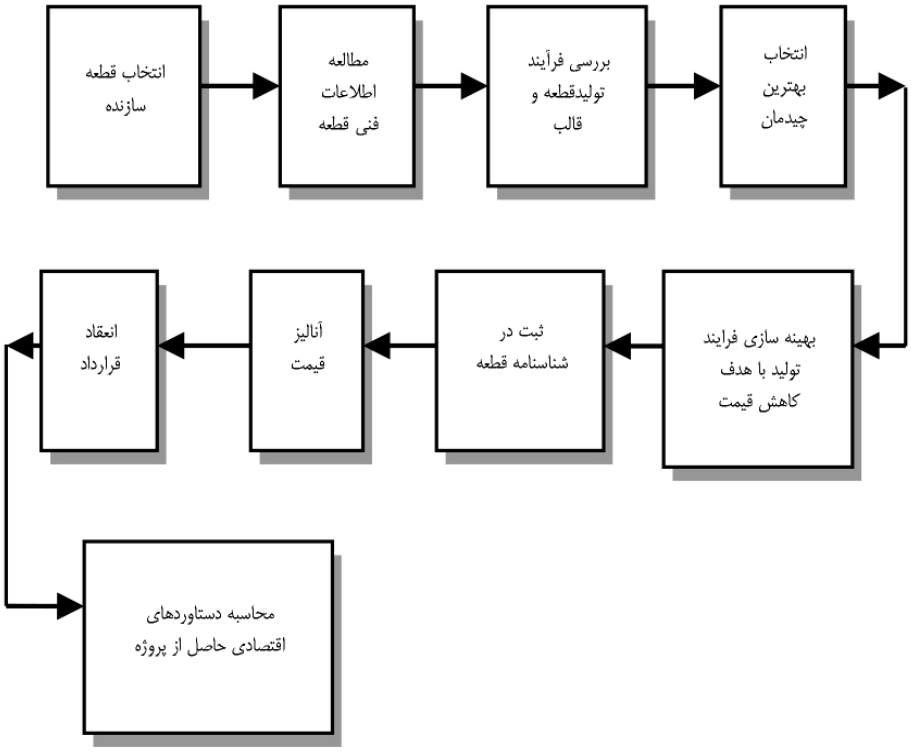


(ب) (الف)

شکل ۷. کاهش ضایعات با روش استفاده از فیدر متحرک؛ الف) روش جدید، نوار ورق با فیدر متحرک، ب) روش قدیم

جدول ۱. دستاوردهای پروژه در مدل‌های گوناگون خودروی نیسان

نوع خودرو	میزان کاهش وزن (کیلوگرم)	قیمت ضایعات (تومان)	تیراژ تولید در سال ۹۲	میزان صرفه‌جویی هر خودرو در سال ۹۲
نیسان انژکتوری	۳۲	۱۰۰۰	۱۳۰۰۰	۴۱۶۰۰۰۰۰۰
نیسان سی. ان. جی.[۴]	۴۵	۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰۰۰
نیسان دیزل	۳۴	۱۰۰۰	۱۲۰۰۰	۴۰۸۰۰۰۰۰۰
جمع کل صرفه‌جویی حاصل از پروژه (تومان)				۱۷۲۴۰۰۰۰۰۰



شکل ۸ گام‌ها و مراحل انجام‌شده در پروژه

۶. مآخذ

[۱] نورانی، محمدرضا، محمدحسین حسن‌نیا. "مدیریت مصرف ورق با استفاده از بازنگری کارت برش قطعات پرسی و روش‌های کاهش ورق بری در تولید قطعات پرسی"، *چهارمین کنفرانس شکل‌دهی فلزات و مواد ایران*، تهران: دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۷.

[۲] شجاعی فرد، محمدحسن، روح‌الله طالبی توتی، شهاب‌الدین شهباز. "بررسی تجربی شعاع ابزار در فرایند شکل‌دهی تدریجی ورق بدنی خودرو"، *پنجمین کنفرانس شکل‌دهی تدریجی ورق بدنهٔ خودرو*، ۱۳۹۰.

[۳] امیری، مقصود، رضا رشیدی، هادی کیومرثی، مجیدرضا حاجی عابد نائینی. "کاربرد طراحی آزمایش‌ها و تصمیم‌گیری چندهدفه در تعیین و تنظیم مشخصه‌های کیفی گلگیر عقب پراید ۱۴۱"، *پنجمین کنفرانس ملی مهندسی صنایع*، تهران: انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۶.

پی‌نوشت

1. Sazehgostar Company, http://www.sazehgostar.com (accessed March 5, 2015)
2. Progressive die
3. mold cavity
4. CNG