طراحی و ساخت قطعه رابط پدال کلاچ با کابل کلاچ

صادق رحمتی[۱]، پیوند نجفی[۲]
Peyvand_1980@yahoo.com

چکیده

قطعه رابط پدال کلاچ با کابل کلاچ در خودروهای پژو ۴۰۵، سمند، آردی و پژو پارس به کار می‌رود. این قطعه از ۲ قطعه تشکیل شده است، بدنه اصلی از جنس polyamide 6.6 و قطعه دیگر از جنس CK45 می‌باشد. بدلیل یکسان نبودن جنس دو قطعه و هندسه مونتاژی دو قطعه نسبت به یکدیگر عملکرد این قطعه با مشکل مواجه می‌گردد و کابل کلاچ به مرور زمان از قطعه رها می‌شود. به همین دلیل قطعه جدیدی طراحی گردید که با توجه به موقعیت مونتاژی بتوان مشکل فوق را برطرف کرد و عملکرد قطعه را بالا برد.

کلید واژه:

SLA - تحلیل المان محدود - ضریب اطمینان- تزریق ترموپلایتیک - قالب کشویی

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، Srahmati2007@gmail.com
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۱- مقدمه

اگر به اطراف خود بنگریم وسائل و مکانیزم‌هایی را می بینیم که با اینکه از تکنولوژی‌های بالایی بهره مند هستند ولیکن ایرادات کوچکی در آنها مشاهده می‌شود که به مرور زمان توسط مصرف کنندگان نمایان می‌شود. بعنوان مثال می‌توان به تغییرات چشمگیر در صنعت تلفن همراه و یا لوازم خانگی و غیره اشاره نمود. از این رو بسیاری از شرکت‌های بزرگ برای ارتقاء محصولات خود با نظرسنجی از مشتریان خود سعی در رفع ایرادات در مدل‌های جدید خود می‌نمایند. این یکی از راههای پیشرفت و ارائه محصولات جدیدتر و کاراتر توسط شرکت‌های تولیدی می‌باشد. در صنعت خودروسازی نیز بدلیل اینکه علاوه بر پارامترهای فنی، مسائل مرتبط با آسایش سرنشینان چه از لحاظ ارگونومی و چه از لحاظ اطمینان داشتن از عملکرد خودرو جزو گزینه‌های مهم درطراحی خودرو بشمار می‌آید، مطالب ذکر شده در بالا بیشتر نمایان می‌گردد. در حال حاضر نیز با وجود نرم افزارهای قوی در طراحی و شبیه سازی، باز هم ایرادات کوچکی در طراحی‌ها به چشم می‌خورد که امکان پیش بینی آنها قبل از مصرف به مدت طولانی وجود ندارد. در این رابطه می‌توان به قطعه ای در سیستم انتقال قدرت خودروی پژو ۴۰۵ (سمند و پژو پارس) اشاره نمود که موضوع مورد بحث ما در این مقاله می‌باشد. وظیفه این قطعه اتصال پدال کلاچ به سیم کلاچ می‌باشد. این مجموعه در کلیهٔ خودروهایی که سیستم کلاچ غیر هیدرولیکی دارند به اشکال متفاوت وجود دارد که از لحاظ طراحی با یکدیگر متفاوت هستند.

شکل(۱): قطعه رابط سیم کلاچ به پدال کلاچ

۲- بررسی مشکلات بوجود آمده و دلایل بروز آنها

یکی از طرح‌های رایج جهت اتصال پدال کلاچ به کابل کلاچ در خودروها، طرح پژو می‌باشد. یکی از مزایای بسیار مهم این طرح سرعت و سهولت در جداکردن و اتصال کابل کلاچ از پدال کلاچ می‌باشد.

همانگونه که در شکل(۱) مشاهده می‌کنید، خار فنری وظیفه نگهداشتن کابل کلاچ را برعهده داردکه با خاصیت فنری که در اثر عملیات حرارتی ایجاد شده است می‌توان با فشار دادن بر روی خار فنری آن را باز و بسته کرد.

با گزارشات دریافتی از شرکت ایساکو مشخص گردید مشکل اصلی بوجود آمده در این قطعه رها شدن سیم کلاچ از داخل قطعه و شکستن بدنه قطعه از محل مونتاژ خار فنری بر روی آن می‌باشد. این مشکل باعث از کار افتادن سیستم کلاچ می‌شود.

با بررسی کامل قطعه و مشخصات آن، رها شدن کابل کلاچ به ۳ دلیل زیر می‌باشد:

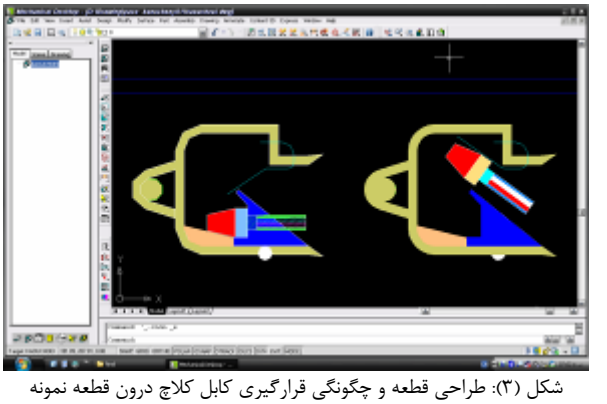
۱- باز شدن دهانه خار فنری. (شکل (۲) قسمت A)
۲- شکست قطعه از محل مونتاژ خار فنری. (شکل (۲) قسمت B)
۳- شکست قطعه از محل اتصال به پدال کلاچ. (شکل (۲) قسمت C)

شکل (۲): قسمتهای شناسایی شده که منجر به رها شدن کابل کلاچ می‌شود

۳- طراحی قطعه جدید

پس از شناسایی مشکلات و دلایل آنها بررسی بر روی قطعات متشابه در خودروهای دیگر انجام گرفت که به دلیل وجود تنوع بسیار زیاد در طراحی مکانیزم‌های اتصال پدال به کابل کلاچ در

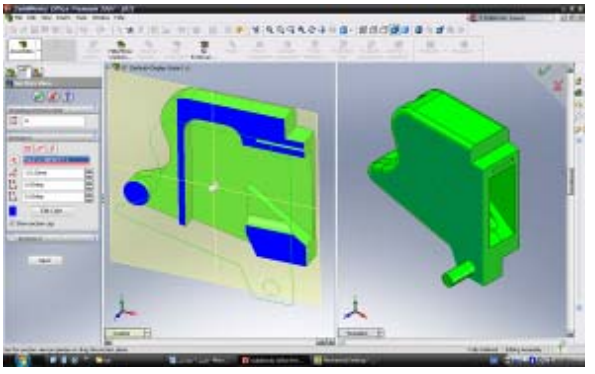
خودروهای دیگر و دست نیافتن به طرحی که مشابه مکانیزم موجود در خودروی پژو باشد تصمیم به طراحی بر مبنای حذف دلایل ایجاد مشکل گردید که در این راستا طراحی قطعه‌ای که به صورت یکپارچه ساخته شود و همچنین ضریب اطمینان بالاتری نسبت به قطعه قبلی داشته باشد مد نظر قرار گرفت. طراحی با توجه به فرضیات بالا و موقعیت مونتاژی کل قطعه آغاز گردید. با مطالعه و بررسی بر روی نقشه قطعه اندازه های مهم که نقش کلیدی در موقعیت مونتاژی دارند شناسایی گردید تا در طرح جدید گنجانده شوند. پس از ساخت نمونه دستی(شکل (۳) و (۴)) و مثبت بودن تست عملکردی، طراحی قطعه با در نظر گرفتن کلیه مفروضات بوسیله کامپیوتر انجام گردید.



شکل (۳): طراحی قطعه و چگونگی قرارگیری کابل کلاچ درون قطعه نمونه دست ساز اولیه

شکل(۴): قطعه نمونه دست ساز دوم با دیواره فلزی

در طراحی قطعه توجه به روش تولید انبوه بسیار مهم می‌باشد. فرآیندهای قابل استفاده جهت تولید قطعه فوق، فرآیند پرسکاری و یا تزریق پلاستیک می‌باشد که در خصوص این قطعه، فرآیند تزریق پلاستیک بدلایل کاهش هزینه مواد اولیه و سرعت بالای تولید مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. بنابراین طرح بدنه قطعه بدلیل تغییر جنس به صورت شکل(۵) تغییر داده شد. ماده انتخاب شده، بدلیل مقاومت به ضربه و سختی و استحکام بالا همان ماده قطعه اصلی می‌باشد.



شکل (۵): نقشه اصلاح شده جهت تزریق پلاستیک

طرح پیشنهادی می‌بایست از لحاظ تنش‌های ایجاد شده در هنگام اعمال نیرو مورد تحلیل قرار گیرد تا در صورت وجود نقاط بحرانی تغییرات لازم قبل از نهایی شدن طرح قطعه انجام گیرد. همچنین پس از نهایی شدن طرح مقایسه‌ای با قطعه اصلی انجام گیرد.

۴- آنالیز قطعه بوسیله نرم افزار ANSYS

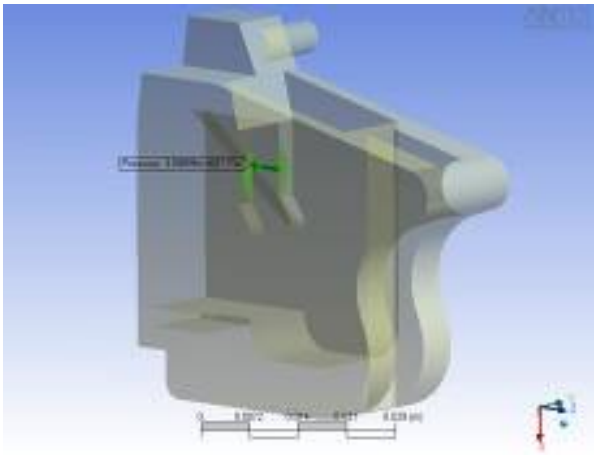
در این بخش مراحل تحلیل به اختصار ذکر گردیده و از توضیح و تشریح آنها صرفه نظر گردیده است.

۴-۱- شبکه‌بندی و انتخاب المان

برای شبکه‌بندی گیره از المان 10 Node Quadratic Tetrahedron استفاده شده که در نرم افزار ANSYS تحت عنوان Solid 187 شناخته می‌شود. این المان برای مدلسازی قطعات نسبتاً پیچیده مناسب است. برای مدلسازی قطعه U شکل نیز از المان 20 Node Quadratic Hexahedral یا همان Solid 186 استفاده شده است. مسلم است که در مدل در نظر گرفته شده ما با یک مسئله تماس (Contact) غیرخطی مواجه خواهیم بود. بنابراین علاوه بر المانهای ذکر شده می بایست از المانهای مربوط به مسئله Contact نیز استفاده کنیم. برای اینکار از دو المانی که در نرم افزار ANSYS آنها را با عنوانهای TARGE170 , CONTA174 می شناسیم استفاده شده است.

۴-۲- اعمال شرایط مرزی و بارگذاری

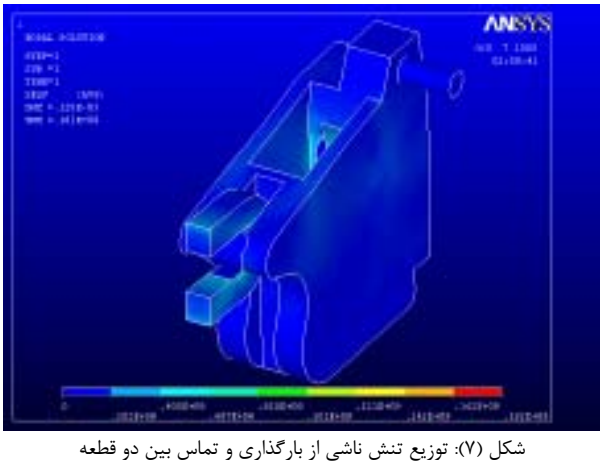
با مشخص کردن محل نشیمن قطعه مخروطی سرسیم کلاچ بر روی محور گیره (دو قسمت از یک دایره) بارگذاری به صورت فشار یکنواخت بگونه‌ای اعمال گردید که نیروی برآیند حاصل از این فشار برابر ۸۲۵ N گردد. این نیرو با توجه به گزارش شرکت ساپکو بیشترین نیرویی است که سیم کلاچ در حالت فرسایش تحمل می‌کند. این بارگذاری در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): محل اعمال نیرو

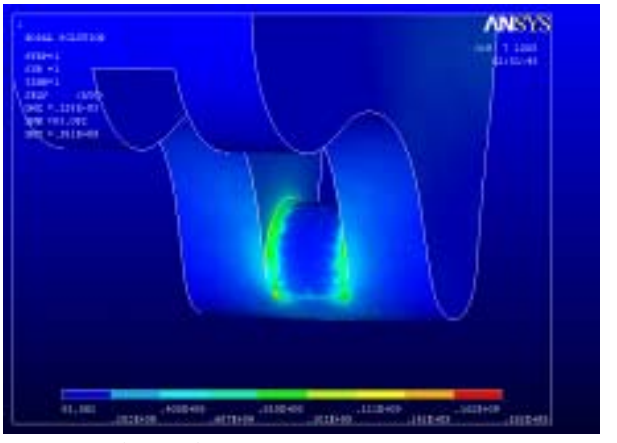
۴-۳- حل مدل

نتایج حاصل از حل مدل مذکور که در ادامه می‌آید در محاسبه مقاومت قطعه در برابر تنشهای وارده با معیار تنش فن میزز و مجاز بودن تغییر شکل آن با معیار تغییر شکل کلی قطعه ارائه می‌شود. توزیع تنش ناشی از بارگذاری و تماس بین دو قطعه را می‌توان در شکل (۷) مشاهده کرد.



شکل (۷): توزیع تنش ناشی از بارگذاری و تماس بین دو قطعه

همانطور که در این شکل مشخص است نقاط بحرانی در دو ناحیه خلاصه می‌شود. ناحیه اول محل نشیمن قطعه مخروطی سرسیم کلاچ بر روی گیره بوده و ناحیه دوم نیز در اطراف محل تماس قطعه U شکل با گیره می‌باشد. همانطور که در شکل (۶) مشخص است گیره در محل نشیمن قطعه مخروطی سرسیم کلاچ در بدترین شرایط دارای تنشی به میزان ۴۰-۶۰ MPa است. اما ناحیه‌ای که تنش حداکثر در آن اتفاق افتاده است در قسمت محل اتصال نشیمن استوانه‌ای پدال کلاچ به بدنه گیره است که توزیع تنش در آن را در شکل (۸) به طور جداگانه می‌توان مشاهده کرد.



شکل (۸): توزیع تنش در محل نشیمن قطعه مخروطی

در شکل (۸) مشخص است که نواحی که تنش در آنها از ۱۲۰ MPa تجاوز کرده است تنها به چند نقطه محدود خلاصه می‌شود، در حالی که غالب نقاط حداکثر دارای تنشی به اندازه ۱۲۰ MPa هستند.

برای جمع بندی نتایج بیان شده در این مرحله، این نتایج به طور خلاصه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول(۱): خلاصه نتایج حاصل از حل مدل اولیه

موقعیت حداکثر تنش	محل اتصال استوانه نشیمن قلاب پدال به بدنه گیره
ضریب اطمینان	۱/۰۶
میزان حداکثر تغییر شکل (mm)	۱/۲
موقعیت حداکثر تغییر شکل	قسمت پایینی دیواره انتهایی در سمت سیم کلاچ

۵- بررسی و تحلیل نتایج

توزیع تنش شکل (۸) نشان می‌دهد که حداکثر تنش ۱۸۲ MPa است اما می‌بایست به این نکته توجه کرد که این تنش ناشی از تمرکز تنش در محل تماس گیره با قطعه U شکل است و در نتیجه معیار خوبی برای محاسبه ضریب اطمینان نیست. علاوه بر آنکه وسعت حوزه آن نیز به چند نقطه محدود می‌شود. در مقابل همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد غالب نقاط حداکثر دارای تنشی به اندازه ۱۲۰MPa هستندکه در مقابل حداکثر تنشی که قطعه درکشش می‌تواند تحمل کند (۱۲۸ MPa) دارای ضریب اطمینان ۱/۰۶ است. این ضریب اطمینان بیان می‌کند که قطعه در شرایط بحرانی قرار دارد و لازم است که قطعه در این ناحیه تقویت شود.

ایجاد تغییرات همانطور که نشان داده شد در محل اتصال استوانه نشیمن پدال به بدنه گیره تنش نسبت به سایر نقاط گیره مقدار نسبتاً بالایی را داراست .این امر به دلیل هندسه گیره در این محل است.همانطور که در شکل(۹) نشان داده شده، در این محل بر روی گیره راکوردی (Fillet) از دو طرف به شعاع ۰/۵ میلیمتر زده می‌شود تا توزیع تنش مناسب‌تری حاصل گردد.

شکل(۹): تغییر صورت گرفته جهت کاهش تنش در این قسمت

توزیع تنش در مدل پیشنهادی در محل اتصال استوانه نشیمن پدال به بدنه گیره که ناحیه بحرانی گیره محسوب می‌شود پس از آنکه کنج اتصال استوانه به بدنه با ایجاد fillet اصلاح شد،کاهش قابل توجهی داشته است.

جمع بندی گزارش نتایج بدست آمده بطور خلاصه در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول(۲): مقایسه بین نتایج حاصل از حل دو مدل

	مدل بدون fillet	مدل با fillet
میزان حداکثر تنش	۱۲۰	۷۳
ضریب اطمینان	۱/۰۶	۱/۷۵
میزان حداکثر تغییر شکل	۰/۱ mm	۰/۱ mm

همانطور که مشاهده میکنید با اجراء fillet ، ضریب اطمینان به مقدار قابل قبولی افزایش پیدا کرده است.

کلیه شرایط همانند تحلیل‌های قبلی می‌باشد که از تکرار آنها خودداری نموده و تنها به نتایج اکتفاء شده است.

همانطور که در بخش قبل بیان شده، نقطه حساس گیره اصلی از نظر تنش محل اتصال استوانه نشیمن پدال کلاچ به بدنه گیره است. مجدداً برای آنکه مقایسه‌ای بین گیره اصلی و گیره جدید که در گزارش‌های قبلی نتایج تحلیل آن ارائه شد انجام شود مجموعه نتایج بدست آمده، در جدول (۳) در ادامه آورده می‌شود.

جدول(۳): مقایسه بین مدل جدید و مدل اصلی گیره سیم کلاچ

	مدل جدید بدون Fillet	مدل جدید با Fillet	مدل اصلی پژو
میزان حداکثر تنش	۱۲۰ Mpa	۷۳ Mpa	۹۰ Mpa
ضریب اطمینان	۱/۰۶	۱/۷۵	۱/۴۲
میزان حداکثر تغییر شکل	۰/۱ mm	۰/۱ mm	۰/۱ mm
موقعیت حداکثر تنش	محل اتصال استوانه نشیمن پدال کلاچ به بدنه گیره	محل اتصال استوانه نشیمن پدال کلاچ به بدنه گیره	محل اتصال استوانه نشیمن پدال کلاچ به بدنه گیره
موقعیت حداکثر جابجایی	محل نشیمن قطعه مخروطی سرسیم کلاچ	محل نشیمن قطعه مخروطی سرسیم کلاچ	محل نشیمن خار فلزی

همانگونه که مشاهده می‌گردد مدل جدید با fillet از وضعیت بهتری نسبت به قطعه اصلی برخوردار است.

لذا با تایید این گزارش از سوی کارشناسان ساپکو و قبول طرح پیشنهادی، اقدام لازم جهت تولید انبوه قطعه آغاز گردید.

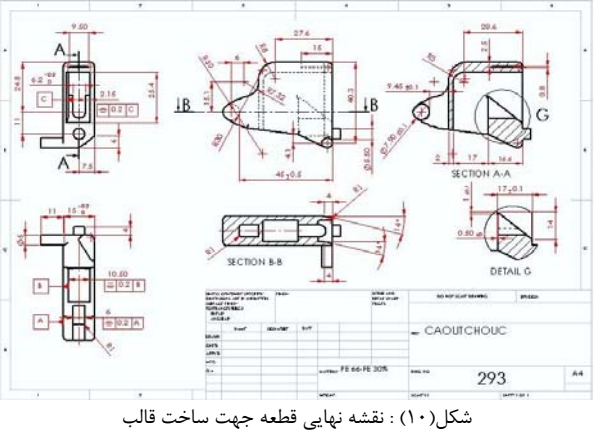
۶- طراحی و ساخت قالب تزریق پلاستیک

با توجه به حجم زیاد مطالب مربوط به طراحی قالب، مراحل مختلف آن به طور اختصار ذیلاً ارائه می‌گردد:

۱- مشخصات قطعه قالبگیری (ابعاد و جنس)
۲- موقعیت قطعه نسبت به خط جدایش
۳- تعداد حفره قالب
۴- آرایش حفره قالب
۵- شکل ماهیچه قالب
۶- شکل مغزی حفره قالب
۷- کشوییها
۸- ساخت قالب

۶-۱- مشخصات قطعه قالبگیری (ابعاد و جنس)

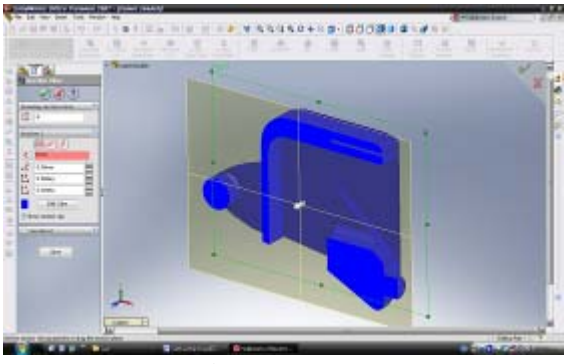
قطعه جدید از لحاظ جنس مواد با قطعه قبلی تفاوتی ندارد و 6.6 polyamide ,30% glass fiber reinforce در نظر گرفته می‌شود. نقشه نهایی قطعه در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل(۱۰) : نقشه نهایی قطعه جهت ساخت قالب

۶-۲- موقعیت قطعه نسبت به خط جدایش

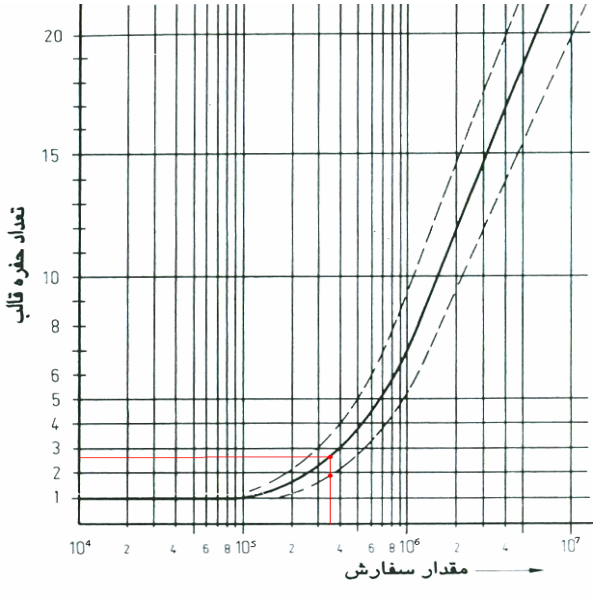
با توجه به اینکه از طرح قالب استاندارد استفاده می‌شود و قطعه نیز با اندکی اغماض دارای تقارن می‌باشد، قطعه دارای یک خط جدایش میباشد.(شکل ۱۱).



شکل (۱۱): صفحه جدایش

۶-۳- محاسبه تعداد حفره قالب

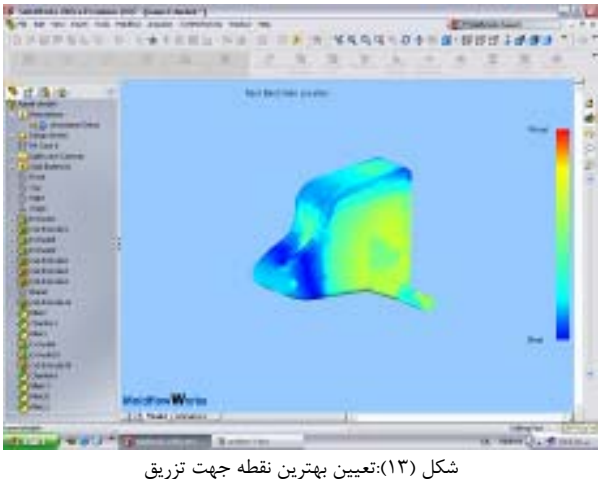
مشاهده می‌شود که منحنی از کمتر از n=۱۰۰۰۰ قطعه شروع نمی‌شود. اگر بهترین کیفیت و دستیابی راحت در نظر باشد، آنگاه عموماً فقط از این قانون استفاده می‌شود. تیراژ قطعه مورد نظر ۳۶۰۰۰۰ قطعه در سال می‌باشد که با توجه به نمودار شکل (۱۲) تعداد دو حفره بدست می‌آید. البته با توجه به اینکه برای هر قطعه ۲ عدد کشویی در نظر گرفته شده، انتخاب ۲ حفره که منجر به ایجاد ۴ کشویی می شود هم از لحاظ هزینه‌ای و هم از لحاظ طراحی و ساخت قالب مناسب می باشد.



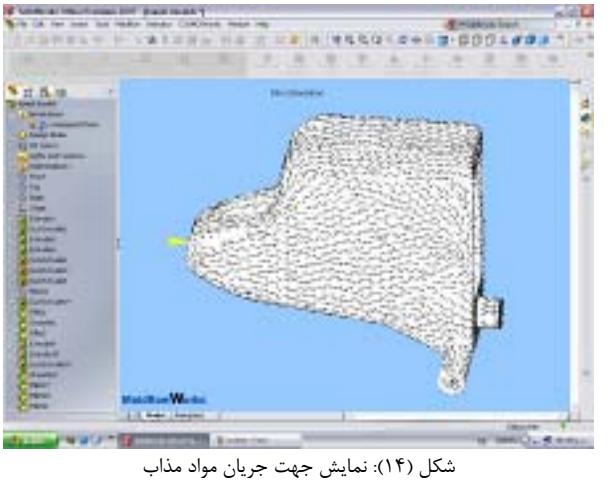
شکل (۱۲): ارتباط بین تعداد حفره قالب و مقدار سفارش

۶-۴- آرایش حفره قالب

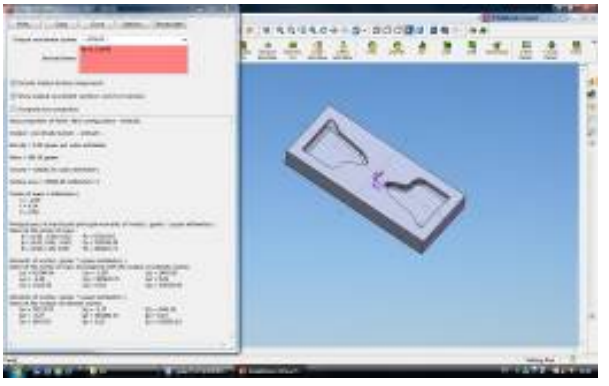
در ابتدا برای مشخص کردن آرایش حفره قالب محل قرارگیری راهگاه بوسیله نرم افزار تایین می‌گردد. با مشخص شدن محل قرارگیری گلویی تزریق، طرح حفره قالب توسط نرم افزار رسم گردیده و مرکز جرم و ممان اول اینرسی محاسبه می‌گردد. همانطور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌کنید حفره قالب به صورتی طراحی گردیده است که مرکز نیروها بر مرکز حفره قالب منطبق باشد.



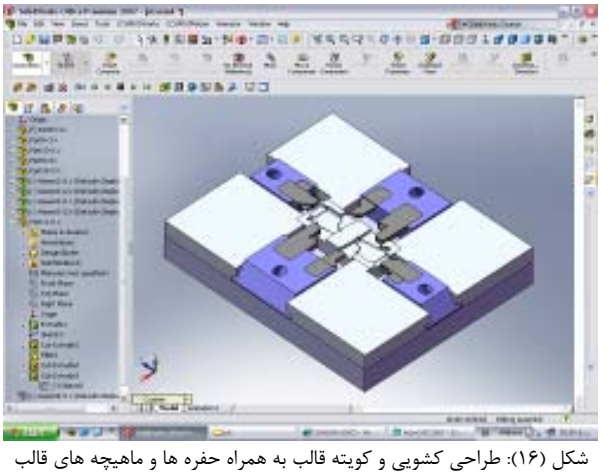
شکل (۱۳):تعیین بهترین نقطه جهت تزریق



شکل (۱۴): نمایش جهت جریان مواد مذاب



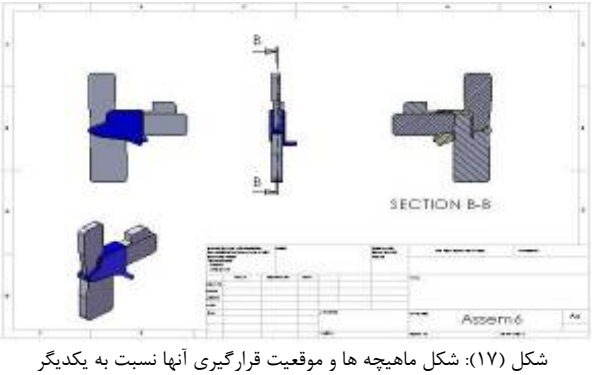
شکل (۱۵): طرح حفره قالب



شکل (۱۶): طراحی کشویی و کویته قالب به همراه حفره ها و ماهیچه های قالب

۶-۵- شکل ماهیچه قالب

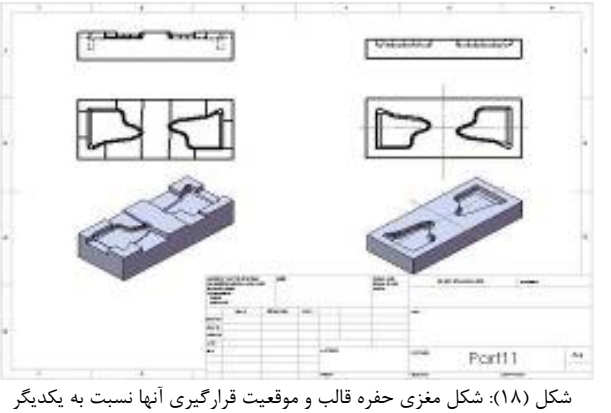
ماهیچه ها در این قالب جهت ایجاد حفره های داخل قطعه تعبیه گردیده است. با توجه به طرح حفره قالب و هندسه قطعه، ماهیچه ها نسبت به یکدیگر عمود هستند.



شکل (۱۷): شکل ماهیچه ها و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر

۶-۶- شکل مغزی حفره قالب

شکل مغزی حفره قالب در واقع ایجاد کننده نمای خارجی یا بدنـه قطعه می باشد.



شکل (۱۸): شکل مغزی حفره قالب و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر

همانطور که در شکل (۱۸)مشاهده می‌گردد، شکاف‌های ایجاد شده در چهار طرف حفره سمت چپ جهت حرکت ماهیچه‌ها می باشد.

۶-۷- کشویی‌ها

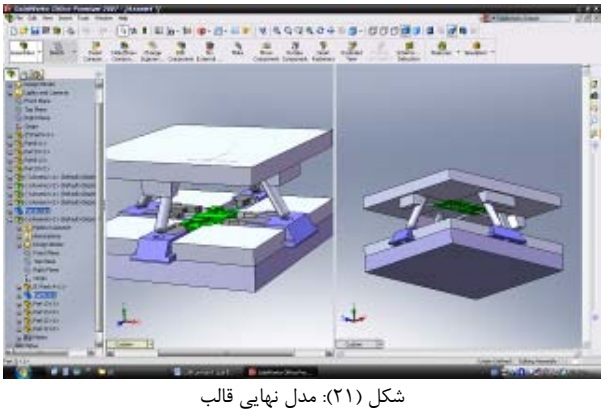
با توجه به شکل هندسی قطعه و وجود ۳ حفره درون قطعه می‌بایست از قالب کشویی استفاده نمود .موقعیت کشوییها با توجه به ۲ حفره درون قطعه نسبت به یکدیگر ۹۰ درجه می‌باشد. (شکل ((۱۹).

شکل (۱۹): شکل مغزی حفره قالب و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر

شکل (۲۰): شکل مغزی حفره قالب و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر

۶-۸- ساخت قالب

ساخت قالب پس از پایان فاز طراحی و مشخص شدن پارامترهای کلیدی در طراحی قالب فوق، آغاز می‌گردد. مدل ۳ بعدی قالب مطابق شکل (۲۱) می‌باشد.



شکل (۲۱): مدل نهایی قالب

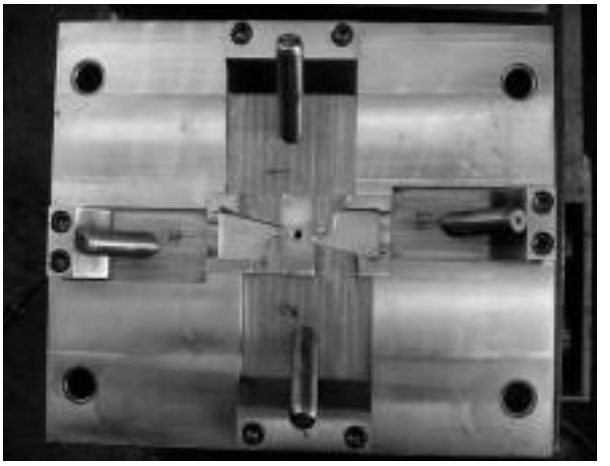
از اختلاف بین ابعاد قطعه قالبگیری و ابعاد حفره قالب نمی‌توان جلوگیری کرد، این اختلاف‌ها تحت عنوان انقباض خلاصه می‌شوند. ساده‌ترین راه برآورد انقباض برای تعیین اندازه یک قالب استفاده از جدول (۴) است.

جدول (۴) : انقباض برخی از ترموپلاستیک‌ها

جنس	انقباض٪
نایلون 6	۱-۱/۵
نایلون 6/6-GR	۰/۵
نایلون 6/6	۱-۲
نایلون 6/6-GR	۰/۵
پلی اتیلن سبک	۱/۵-۳
پلی کربنات	۰/۸
پلی اکسی متیلن	۲
پلی وینیل کلراید سخت	۰/۵
پلی وینیل کلراید نرم	۱-۳
پلی پرو پایلن	۱/۲-۲

با توجه به جدول فوق اندازه‌های حفره ها و ماهیچه‌ها با در نظر گرفتن انقباض ۰/۵ ٪ محاسبه گردیده است.

شکل (۲۲): نیمه متحرک قالب به همراه کشویی ها



شکل (۲۳): نیمه ثابت قالب به همراه میل بادامک

۷- نتیجه‌گیری

همانطور که مشاهده کردید می‌توان با بررسی مشکلات بوجود آمده و ریشه‌یابی علل بروز آنها جهت رفع، اقدام نمود. در حال حاضر نرم افزارها نقش مهمی در تسریع بخشیدن فرآیند ساخت و تولید دارند و باعث حذف روش سعی و خطا که علاوه بر زمان، هزینه بالایی را می‌طلبد، شده است.

در این مقاله مشاهده نمودید که با تغییر در هندسه یک قطعه می‌توان در کارایی آن تأثیر زیادی گذاشت. همچنین با استفاده از نرم افزار می‌توان نقاط معیوب قطعه را شناسایی کرد و به راحتی آنها را اصلاح نمود. امید است در آینده مشکلات و ایرادات قطعات که در اثر عدم طراحی مناسب در خودروها بوجود آمده است شناسایی و برطرف گردد تا شاهد رضایت مصرف کننده باشیم.

۸- مراجع

[۱] رائو، ترجمه دکتر مجذوبی، مهندس فریبا، ، "روش اجزاء محدود در مهندسی"، ۱۳۷۶.

[۲] راکی، ایوانی، گریفیس، ندرکوت، ترجمه دکتر کاوه، "روش المانهای محدود"، ۱۳۷۰.

[۳] م. ر. شعبانعلی، "تحلیل محدود به کمک ANSYS"، انتشارات موسسه علمی فرهنگی، ۱۳۸۲.

[۴] ح . ر. جاهد مطلق، "اجزاء محدود NSYS "، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.

[۵] س . خلیل پور آذری، "تکنولوژی قالبسازی و نمونه سازی سریع"، انتشارات ناقوس، ۱۳۸۳.

[۶] Mohern, menges، ترجمه بیغال، فرزاد، ،" تئوری و عملی قالبهای تزریق پلاستیک" ، نشر طراح، ۱۳۸۱.

[۷] ب. آرزو، ع . ا. خادم، "شبیه سازی فرآیند تزریق پلاستیک به کمک کامپیوتر"، انتشارات ساپکو، ۱۳۸۳.