شناسایی اشکال قطعات ورقی و طراحی چیدمان قالب خم مرحله‌ای با استفاده از مجموعه‌های فازی

وحید عابدینی[۱]، بهروز آرزو[۲] و محسن شاکری[۳]
V.abedini@stu.nit.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از قالب‌های مرحله‌ای در ساخت قطعات ورقی بسیار رایج است. در قالب‌های مرحله‌ای ترکیب چندین عملیات سبب ساخت محصول نهایی می شود. قالب‌ها و طراحی چیدمان ورق در قالب‌ها پی در پی به صورت تجربی با سعی و خطا تغییر کرده تا در نهایت بهترین نحوه چیدمان ورق در قالب و همچنین در ادامه آن بهترین طرح قالب حاصل شود. دانش مورد نیاز برای طراحی از تئوری‌های پلاستیسیته، نتایج تجربی و تجربه افراد خبره استخراج شده است. در تحقیق حاضر، نرم افزاری تهیه گردیده که قادر است با شناخت سریع و درست اشکال قطعه، ترتیب چیدمان خمکاری در قالب مرحله‌ای خم را ایجاد نماید. نرم افزار از سه ماژول (Module) اصلی شناسایی اشکال (Feature Recognition) و قوانین طراحی برای ساخت، ایجاد نقشه گسترده و تعیین چیدمان خمکاری با استفاده از مجموعه های فازی تشکیل شده است. ورودی به نرم افزار طرح سه بعدی قطعه و خروجی طرح سه بعدی چیدمان است. این سیستم می تواند به عنوان سیستم ارزشمندی برای طراحان قالب محسوب شود. نرم افزار ارائه شده در محیط SolidWorks و با استفاده از برنامه نویسی ویژوال بیسیک (VB) نوشته شده است.

کلیدواژه:
قالب خم مرحله ای- شناسایی اشکال- تعیین چیدمان خمکاری- مجموعه های فازی

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل
۲- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی بابل

۱- مقدمه

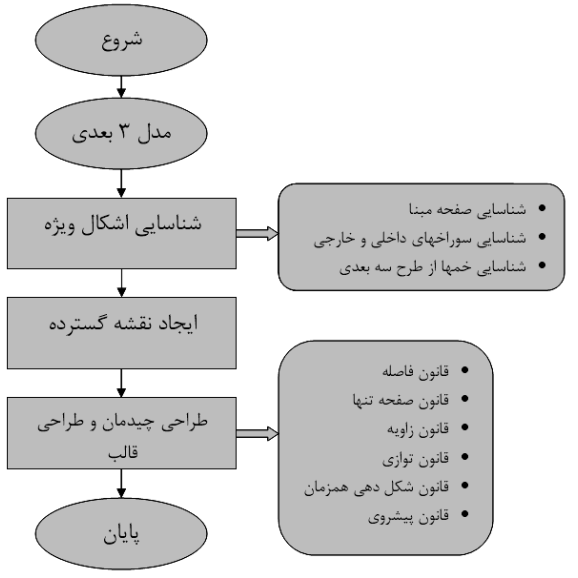
فرآیند پرسکاری یکی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های تولید قطعات ورقی است. طراحی قالب یکی از مهمترین مراحل تولید قطعات پرسکاری است که برای طراحی قالب مناسب و دقیق، تجربه ودانش فراوان نیاز است. این قالب ها به دسته های مختلف تقسیم بندی می شود که یکی از آنها قالب مرحله‌ای است. وقتی برای تولید قطعه‌ای نیاز به چندین عمل پرسکاری باشد می‌توان به جای چند قالب، از یک قالب مرحله‌ای استفاده نمود. شافر (Schaffer) و فاگ (Fogg) اولین بار مباحث طراحی قالب‌های برش و طراحی چیدمان سوراخکاری به کمک کامپیوتر را بیان کردند[۱]. محققین شرکت الکترونیکی نیپون (Nipon) مقالاتی در زمینه یکپارچه سازی سیستم CAD با تولید ابزار پرسکاری ارائه نمودند. این سیستم های اولیه از نظر گرافیکی ضعیف بوده و به زبان برنامه نویسی فرترن تهیه می‌شدند[۱].

نی الگوریتمی برای گسترده کردن خم قطعات ورقی بیان کرد[۲]. دافلو (Duflou) از گراف‌های ریاضی برای تعیین ترتیب چیدمان استفاده کرد[۳]. دیوین (De Vin) و نی اولین بار استفاده از مجموعه‌های فازی را در تعیین ترتیب چیدمان خم در قالب‌های خم بیان نمودند[۴]. چوی (Choi) و کیم (Kim) از مجموعه‌های فازی (Fuzzy set) برای طراحی چیدمان و طراحی قالب مرحله‌ای خم و برش استفاده کرده و نرم افزاری را در محیط اتوکد و با استفاده از زبان برنامه نویسی اتولیسپ ارائه نمودند[۵ و ۶]. پروفسور آناند(Annad) مطالعاتی در مورد استخراج اطلاعات از مدل سه بعدی انجام دادند و توانستند اطلاعات مربوط به قطعه ورقی که در نرم افزار Solidworks ساخته شده را به صورت نیمه اتوماتیک استخراج نمایند[۷]. آرزو و قطره نبی عملیات پایلوت گذاری و جانمایی را در قالب‌های برش مرحله‌ای انجام دادند و از برنامه نویسی در محیط ویژوال بیسیک استفاده کردند[۸].

با توجه به مطالب گفته شده در این بخش، از آنجا که اطلاعات در دسترس برای طراحی قالب‌های مرحله‌ای، اطلاعاتی غیر صریح و فازی و برگرفته از افراد خبره است، به نظر می‌رسد استفاده از مجموعه‌های فازی می‌تواند بهترین روش برای استدلال و تحلیل اطلاعات جمع آوری شده باشد. همچنین زمان دستیابی به جواب در این روش بسیار پایین تر از روش‌های دیگر نظیر تئوری گراف و الگوریتم ژنتیک است. هدف از کار حاضر، طراحی سیستم جامع استخراج اطلاعات اشکال داخلی و خارجی قطعات ورقی از مدل سه بعدی و در ادامه تعیین چیدمان خمکاری در یک قالب خم مرحله‌ای با استفاده از قوانین فازی است.

۲- مشخصات سیستم

سیستم از سه ماژول کاملاً جدا از هم تشکیل شده که هیچ گونه ارتباطی در حین عملیات با یکدیگر ندارند. تمامی اطلاعات بدست آمده از یک ماژول در بانک داده ای ذخیره شده و در ماژول بعدی استفاده می‌شود. سه ماژول این سیستم به ترتیب عبارتند از : ۱- ماژول شناسایی قطعه ۲- ماژول ایجاد نقشه گسترده ۳- ماژول چیدمان خم. ساختار سیستم در شکل (۱) آمده است. کاربر ابتدا باید طرح سه بعدی قطعه مورد نظر را رسم نموده و سپس سیستم عملیات شناسایی قطعه و ایجاد نقشه گسترده را انجام داده و چیدمان خمکاری را نمایش می دهد.



شکل(۱): مشخصات سیستم

۳- ماژول شناسایی قطعه سه بعدی

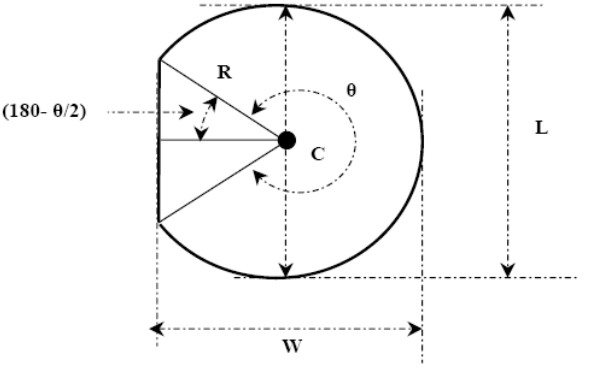
در این ماژول، به طور کاملاً اتوماتیک تمامی اشکال داخلی و خارجی و خم‌های قطعه شناسایی شده و اطلاعات مورد نیاز در یک فایل یا آرایه ذخیره می‌شود. علاوه بر این، نرم افزار قادر است صفحه مبنا را که صفحه ثابت در تمامی ایستگاههاست را به صورت کاملاً اتوماتیک تشخیص دهد. معیارهای انتخاب صفحه مبنا برای یک قطعه ورقی در زیر آمده است:

۱) سطحی که با تعداد سطوح بیشتری احاطه شده است.
۲) سطحی که تقریباً در وسط قطعه قرار گرفته است.
۳) سطحی که بیشترین مساحت را دارد.

۳-۱- تشخیص اشکال داخلی

نرم افزار حاضر دایره ، مستطیل، D- یکطرفه ، D- دوطرفه و بیضی که متداول ترین سوراخ ها در تولید قطعات فلزی هستند را شناسایی می کند. مراحل تشخیص دایره عبارتست از: الف) مدار تنها یک لبه دارد. ب) لبه سوراخ، لبه دایره‌ای باشد. ج) مدار، مدار بسته باشد. پس از تشخیص، قطر دایره و مختصات مرکز دایره شناسایی می‌شوند. مراحل تشخیص مستطیل عبارتند از: الف) مدار باید حتماً ۴ لبه داشته باشد. ب) تمامی لبه ها خط مستقیم باشند. ج) ضرب نقطه‌ای تمام لبه های مجاور باید صفر باشد. پس از تشخیص، طول، عرض و مختصات مرکز مستطیل استخراج می شوند. مراحل شناسایی D – یکطرفه عبارتست از : الف) مدار باید حتماً ۲ لبه داشته باشد ب) از دو لبه یکی باید حتماً خط مستقیم و دیگری حتماً یک کمان باشد. اطلاعاتی که به صورت اتوماتیک قابل استخراج هستند با توجه به شکل (۲) عبارتند از: طول شکل که در واقع برابر با قطر کمان است، زاویه کمان، عرض شکل (W) و مرکز شکل که همان مرکز کمان می باشد. رابطه (۱) نحوه بدست آوردن عرض کمان را نشان می دهد.

$$W = R(1+\cos(180-\theta/2)) \qquad (۱)$$



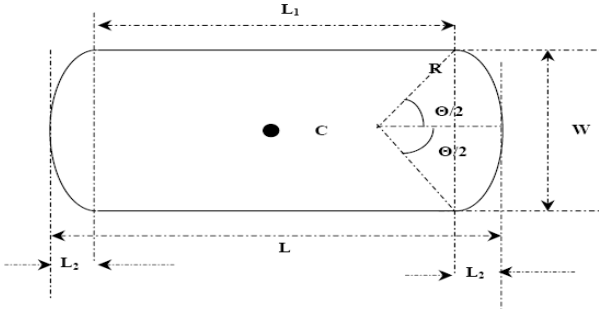
شکل(۲): نحوه نامگذاری سوراخ D- یکطرفه

تشخیص D- دوطرفه به طور اتوماتیک نیاز به دقت بالایی داشته و موارد بیشتری را در بر می گیرد مراحل تشخیص عبارتست از: الف) مدار چهار لبه داشته باشد. ب) از چهار لبه دو لبه خط مستقیم و دو لبه دایره‌ای است. ج) ترتیب قرارگرفتن لبه های مستقیم و دایره ای باید یک در میان باشد. د) دو لبه مستقیم باید با یکدیگر موازی باشند. ه) زاویه دو کمان با هم برابر باشد. و) اگر زاویه کمان‌ها برابر ۱۸۰ درجه باشد کمان ها نیم دایره بوده و در این صورت شکل مورد نظر، بیضی است. پس از شناسایی سوراخ ، طول سوراخ (L)، عرض سوراخ (W) و مرکز سوراخ مطابق شکل (۳) با استفاده از روابط (۲) تا (۴) بدست می آید.

$$L_2 = R(1-\cos(\theta/2)) \qquad (۲)$$

$$L = L_1 + 2L_2 \qquad (۳)$$

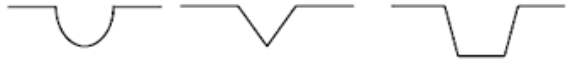
$$W = 2R\sin(\theta/2) \qquad (۴)$$



شکل(۳): سوراخ D- دوطرفه و نحوه نامگذاری پارامترها

۳-۲- تشخیص اشکال خارجی

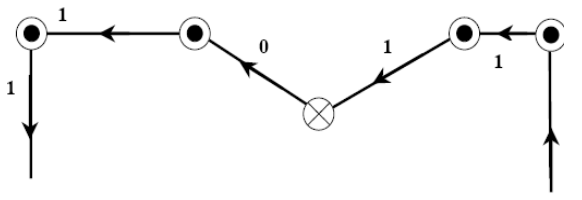
سوراخ‌های خارجی اشکال ناشی از دوبری های خارجی قطعه می‌باشند. سوراخ‌های خارجی متداول در صنعت عبارتند از: الف) بریدگی کمانی ب) بریدگی V شکل ج) بریدگی U شکل که در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل(۴): انواع بریدگی‌های معمول در قطعات ورقی

برای تشخیص هر یک از این بریدگی ها به ترتیب باید مراحل زیر را طی کرد. ۱- تعیین تقعر وتحدب لبه ها ۲- الگوریتم شناسایی اشکال ۳- الگوریتم استخراج اطلاعات. در خارجی ترین مدار محیط بر یک قطعه ورقی به علت وجود بریدگی ها، برخی از رئوس محدب (برآمده) و برخی دیگر مقعر (تو رفته) می باشند. با این توضیح اگر راس متصل کننده دو لبه مقعر باشد آنگاه مقدار صفر به لبه دوم از جفت لبه های در برگرفته راس موردنظر داده می شود. در مقابل اگر راس محدب باشد آنگاه مقدار یک به لبه دوم داده می شود. شکل (۵) این روش را شرح می دهد. حال اگر یکی از لبه ها کمانی از دایره باشد نیاز است که ابتدا آنرا به دو لبه مستقیم تقسیم کنیم. برای نیل به این هدف باید نقطه وسط کمان و مختصات آن را بدست آوریم. مراحل تشخیص بریدگی کمانی عبارتست از: الف) تقعر و تحدب لبه ها باید به صورت (۱-۰-۱) باشد. ب) دومین و سومین مقدار ناشی از قانون تقعر و تحدب باید در وهله اول متعلق

به یک لبه باشند و همچنین آن لبه، کمانی از یک دایره باشد. ج) اولین مقدار از رشته اعداد بدست آمده متعلق به خط مستقیم باشد. پس اطلاعاتی چون عرض و عمق بریدگی استخراج کرد.



شکل(۵): مقادیر منتسب به هر یک از لبه ها براساس روش تقعر و تحدب

مراحل تشخیص بریدگی V- شکل عبارتست از: الف) تقعر و تحدب لبه ها باید به صورت (۱-۰-۱) باشد. ب) تمامی لبه ها باید خط مستقیم باشند. سپس به کمک روابط ریاضی می توان عرض و عمق بریدگی را بدست آورد. مراحل تشخیص بریدگی U- شکل مانند حالت قبل است. با این تفاوت که مقادیر تقعر و تحدب لبه ها به صورت (۱-۰-۰-۱) می‌باشد. پس از شناسایی اشکال داخلی و خارجی باید اطلاعات هر یک از خم‌ها را استخراج کرد. اطلاعاتی چون زاویه، شعاع، طول خم و صفحات مجاور به یک خم را می‌توان به کمک سیستم از قطعه سه بعدی بدست آورد. این اطلاعات به عنوان اطلاعات پایه برای دو ماژول دیگر تلقی می‌شوند. این اطلاعات به صورت زیر در فایل ذخیره می شوند:

خم ۱: (اطلاعات خط خم(نقطه ابتدایی، نقطه انتهایی)، شعاع خم، زاویه خم، صفحه ثابت، صفحه چرخیده)

خم۲: (اطلاعات خط خم(نقطه ابتدایی، نقطه انتهایی)، شعاع خم، زاویه خم، صفحه ثابت، صفحه چرخیده).

خم n: (اطلاعات خط خم(نقطه ابتدایی، نقطه انتهایی)، شعاع خم، زاویه خم، صفحه ثابت، صفحه چرخیده)

۳-۳ – قوانین طراحی برای ساخت

طراحی مناسب هیچ وقت بدون ملاحظه ابزارهای در دسترس برای ساخت امکان پذیر نیست. بدین منظور قوانینی بیان شده که به قوانین طراحی برای ساخت معروف است. برخی از قوانین سوراخکاری در زیر بیان شده است.

- قطر سوراخ‌های پانچ شده باید بزرگتر از ضخامت ورق بوده و در عین حال نباید کمتر از ۲/۵ میلی متر باشد. زیرا کمتر از این حد شکست سنبه محتمل است.
- در سوراخ‌های بیضوی و مستطیلی نسبت طول به عرض شیار نباید به هیچ وجه بیشتر از ۵ به ۱ باشد.
- بریدگی ها باید حداقل تا ۱/۵ برابر ضخامت ورق در داخل آن نفوذ کنند. اما باید توجه کرد که به هیچ وجه این مقدار کمتر از ۰/۵ میلی متر نباشد.
- عمق بریدگی ها باید حداکثر ۵ برابر عرضشان باشد.

قوانین زیر تنها برای عملیات خمکاری در قطعات ورقی مورد استفاده است.

- عرض خم در راستای محور خم حداقل باید ۳ برابر ضخامت ورق باشد.
- شعاع خم باید بزرگتر از ضخامت ورق باشد و در عین حال باید بزرگتر یا مساوی ۱/۶ میلی متر باشد. بدین معنی که هر کدام مقدار بیشتری داشت آنگاه شعاع خم باید از آن مقدار بیشتر باشد.

۴- ماژول ایجاد نقشه گسترده

شکل گسترده قطعه ورقی با محاسبه میزان انحنای خم برای هر یک از خم‌ها بدست می‌آید. برای بدست آوردن میزان انحنای خم نیاز به شعاع خم و زاویه خم است که این مقادیر از فایل شناسایی خم که در ماژول اول بدست آمده قابل دسترسی است. گسترده کردن، پله اول در طراحی چیدمان قالب است.

۵- ماژول چیدمان خم

کار اصلی این ماژول تعیین ترتیب صحیح خمکاری با استفاده از مجموعه‌های فازی است. سیستم برای تشخیص چیدمان از قوانینی استفاده می‌کند که برگرفته از تئوری‌های پلاستیسیته (Plasticity)، مراجع طراحی قالب‌های مرحله‌ای خم و برش و دانش افراد خبره است. ماتریسی برای هر قطعه تشکیل می شود که نشان دهنده درجه ارضا هر یک از قوانین به وسیله خم‌های قطعه است. این ماتریس، ماتریسی است که تعداد سطرهای آن به اندازه تعداد خم‌های قطعه و تعداد ستون‌های آن به تعداد قوانین است. به این ماتریس، ماتریس عضویت گویند. علاوه بر ماتریس عضویت، ماتریس دیگری به نام اولویت قوانین ایجاد می شود که در آن هر یک از قوانین با توجه به اهمیت تاثیرشان بر چیدمان درجه‌ای می گیرند. از حاصلضرب ماتریس عضویت در ماتریس اولویت قوانین، ماتریسی ستونی به دست می‌آید که نشان دهنده ترتیب خمکاری است. هرچه درجه عضویت یک خم با توجه به یک قانون بیشتر باشد آنگاه اولویت خم در چیدمان بالاتر است. قوانین فازی به کار گرفته شده عبارتند از:

۱- قانون فاصله

تعداد صفحات بین یک خم و صفحه مادر ملاکی برای تعیین اولویت

خم هاست. هرچه تعداد صفحات میانی بیشتر باشد، فاصله خم از صفحه مادر بیشتر بوده و آنگاه درجه اولویت آن خم بالاتر می رود.

۲- قانون صفحه تنها

صفحه تنها، صفحه‌ای است که تنها با یک خم به صفحه مادر وصل می شود. معمولاً این صفحات کمترین تاثیر را روی هندسه کلی و نهایی قطعه کار دارند بنابراین بهتر است اینگونه صفحات در مراحل اولیه خم شوند.

۳- قانون زاویه

زاویه خم میزانی برای تعیین اولویت خم هاست. اگر زاویه خم بزرگتر از ۹۰ درجه باشد، آنگاه حتماً باید پروسه شکل دهی را به دو یا تعداد بیشتری مراحل تقسیم کرد زیرا تولید خم بیشتر از ۹۰ درجه در یک مرحله به هیچ وجه امکان پذیر نمی باشد. با توجه به این قانون درجه عضویت برای زاویه خم‌های بیشتر از ۹۰ درجه صفر و برای خم‌های کمتر از ۹۰ درجه یک می باشد.

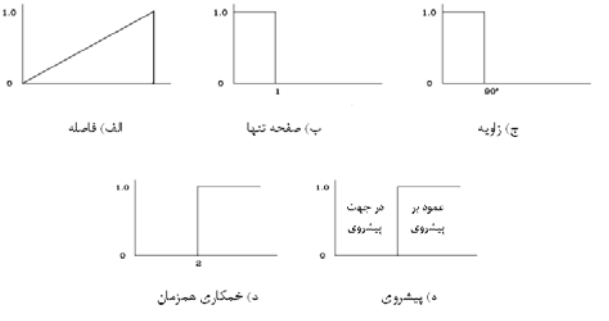
۴- قانون خمکاری همزمان

طبق این قانون، اگر در یک قطعه ورقی برخی از خم‌ها در یک راستا باشند آنگاه می توان به طور همزمان این خم‌ها را ایجاد کرد. بر این اساس یک مجموعه فازی طراحی شده که به خم های همراستا مقدار یک و به غیر از آن مقدار صفر نسبت می‌دهد.

۵- قانون پیشروی

همراستا یا عمود بودن جهت خم نسبت به جهت پیشروی، ملاک مهمی برای تعیین اولویت چیدمان است. پس از عملیات خمکاری همواره فضای آزادی برای پیشروی ورق در قالب نیاز است. به همین دلیل همواره خم های عمود بر جهت پیشروی به خاطر آنکه فضای کمتری را نسبت به خم های در راستای پیشروی اشغال می‌کنند اولویت بالاتری دارند.

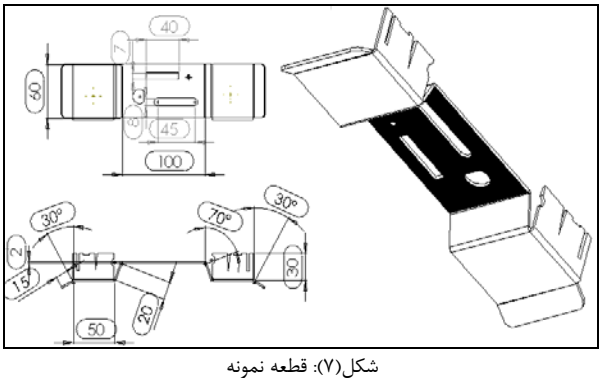
مجموعه های فازی در نظر گرفته شده برای هر یک از قوانین در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶): مجموعه های فازی

۶- عملکرد نرم افزار

برای نمایش نحوه عملکرد سه ماژول شناسایی شکل، ایجاد نقشه گسترده و چیدمان خمکاری، قطعه‌ای با ۸ خم و چندین شکل داخلی و خارجی را در نظر گرفته شده که در شکل (۷) نمایش داده شده است.

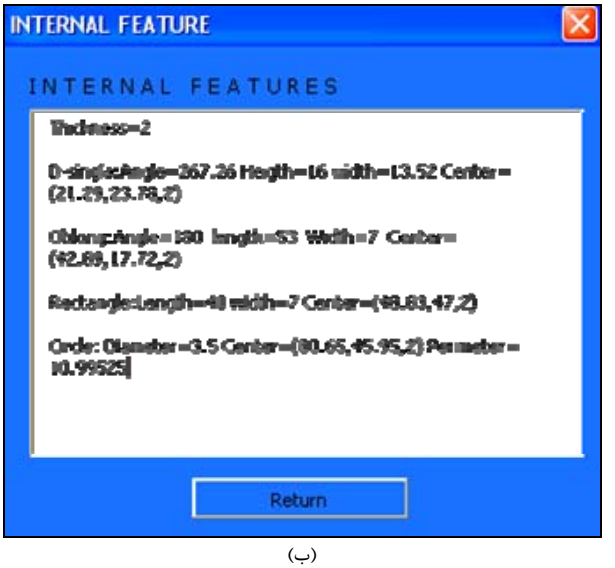


شکل(۷): قطعه نمونه

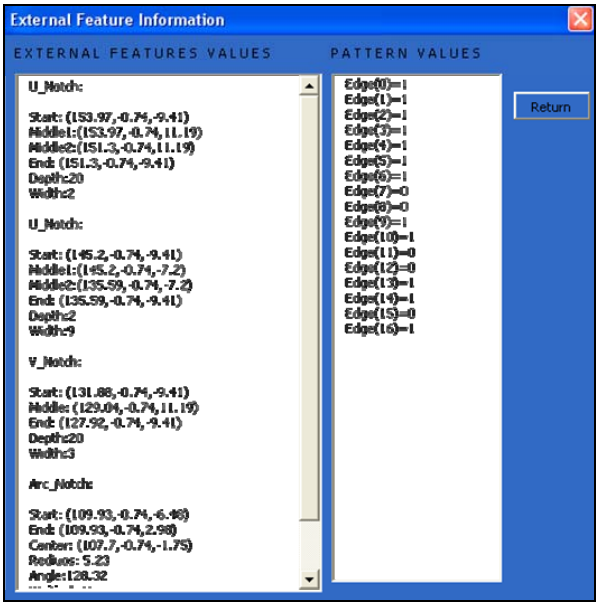
در شکل (۸- الف) اطلاعات خم ها، در شکل (۸- ب) اشکال داخلی و درشکل (۸- ج) اشکال خارجی قطعه استخراج شده است.

	Redious	Angle	Length(m)	Mother	Child	Thickness
Bend(1)	0.737	70	40	Base-Flange1	Edge-Flange1	2
Bend(2)	0.737	70	40	Edge-Flange1	Edge-Flange2	2
Bend(3)	0.737	30	40	Edge-Flange2	Edge-Flange3	2
Bend(4)	0.737	70	40	Base-Flange1	Edge-Flange4	2
Bend(5)	0.737	70	40	Edge-Flange4	Edge-Flange5	2
Bend(6)	0.737	30	40	Edge-Flange5	Edge-Flange6	2
Bend(7)	0.737	90	50	Edge-Flange2	Edge-Flange7	2
Bend(8)	0.737	90	50	Edge-Flange5	Edge-Flange8	2

(الف)



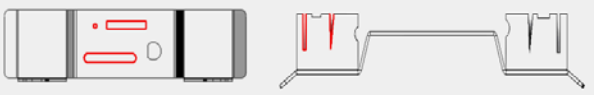
(ب)



(ج)

شکل (۸): الف)اطلاعات خم ها ب) اطلاعات اشکال داخلی
ج) اطلاعات اشکال خارجی

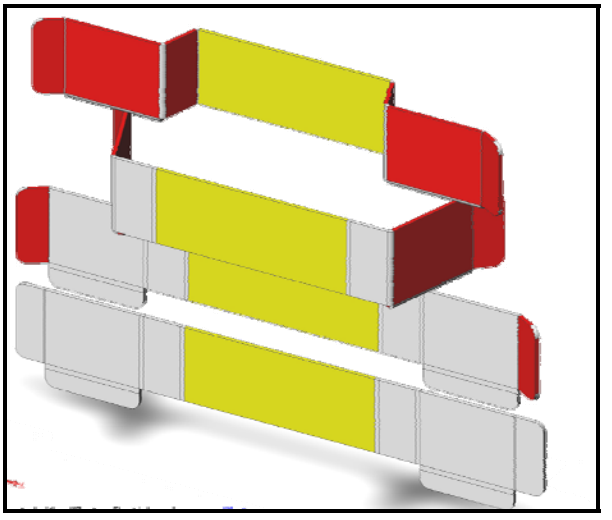
اشکال نادرست حاصل از اعمال قوانین طراحی، با رنگ قرمز نشان داده شده اند. خروجی این قسمت درشکل (۹) مشخص است.



شکل (۹): اعمال قوانین طراحی برای سوراخ های داخلی و بریدگی های خارجی

برای فهم بهتر، قطعه را بدون هرگونه شکل داخلی و خارجی در نظر گرفته و در گام اول شکل گسترده (۱۰) و در گام بعدی با اعمال قوانین فازی بر روی قطعه چیدمان خم شکل (۱۱) از اجرای کد حاصل شده است.

شکل(۱۰): شکل گسترده



شکل (۱۱): نمایش چیدمان خمکاری برگرفته از کد به صورت کاملا اتوماتیک

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نرم افزاری برای طراحی اتوماتیک چیدمان قطعات در قالب‌های خم مرحله‌ای با استفاده از مجموعه‌های فازی تهیه شد. ورودی به این نرم افزار طرح سه بعدی قطعه و خروجی از آن ترتیب چیدمان است. این سیستم در ابتدا پس از تشخیص قطعه و صفحه مادر آن شکل گسترده قطعه را ایجاد می نماید. در ماژول شناسایی همچنین برخی از قوانین طراحی برای ساخت نیز اعمال می شود. در ماژول بعدی نرم‌افزار اقدام به طراحی ترتیب چیدمان ایستگاه‌ها می‌نماید. در نهایت طرح خم قطعه در هر یک از ایستگاه‌ها به صورت سه‌بعدی تهیه و نمایش داده می‌شود. زمان اجرای نرم افزار در حدود ۱۰ دقیقه است که این زمان نشانگر سرعت بالای نرم افزار برای تعیین ترتیب چیدمان خمکاری می باشد. سرعت بالای نرم افزار نسبت به روش‌های سنتی، عاملی اساسی در افزایش سرعت پروسه طراحی و تولید و در نهایت کاهش قیمت تولید می باشد.

۸-مراجع

[1] A. Y. C. Nee and B. T. Chock, "Trends and developments in the automation of design and manufacture of tools for metal stampings", Journal of Materials Processing Technology Vol.75, pp. 240–252, 1998.

[2] T. K. See, H. Loh and A. Y. C. Nee, "A feature-based flat pattern development system for sheet metal parts", Journal of Materials Processing Technology Vol.48, pp. 89-95, 1995.

[3] J. R. Duflou, D. V. Oudheusden, J. P. Kruth and D. Cattrysse, " Methods for the sequencing of sheet metal bending operation" , International Journal of Production Research, Vol. 37, No.14, pp. 3185-3202, 1999.

[4] S. K. Ong, L. J. De Vin, A. Y. C. Nee and H. J. J. Kals, "Fuzzy set theory applied to bend sequencing for sheet metal bending", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 69, pp. 29-36, 1997.

[5] J. C. Choi, C. Kim, J. H. Kim and Y. M. Kim "Development of a system for progressive working of an electric product by using fuzzy set theory", Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 20, pp. 765-779, 2002.

[6] J. H. Kim, K. Chul and Y. J. Chang, "Development of a process sequence determination technique by fuzzy set theory for an electric product with piercing and bending operation", Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 31, pp. 450- 464, 2006.

[7] S. Deshpande, "A Sheet Metal Feature Recognition And Design Adivsory System", M.Sc.Dissertation, Cincinati , 2003.

[8] B. Arezoo and M. Ghatrehnabi, "A fully Automated Nesting and Piloting system for progressive dies", Proc. Of Tehran Intl Conf. on Manufacturing Engineering, 2005.