





دانشگاه شاهرود

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

بررسی اثر معیار تسلیم بر روی پیش‌بینی برگشت‌فیزی در شکل‌دهی

غلطکی کانال متقارن

استاد راهنما:

دکتر مهدی سلمانی تهرانی

استاد مشاور:

دکتر محمود سلیمی

پژوهشگر:

میلاد جباری

شهریور ماه ۱۳۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه شهرکرد است.



دانشگاه شاهرود

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان‌نامه‌ی آقای میلاد جباری جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی با عنوان: بررسی اثر معیار تسلیم بر روی پیش‌بینی برگشت‌فیزی در شکل‌دهی غلتکی کانال متقارن در تاریخ ..... با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با رتبه/نمره ..... مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر مهدی سلمانی تهرانی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲. استاد مشاور پایان‌نامه دکتر محمود سلیمی با مرتبه‌ی علمی استاد امضاء

۳. استاد داور پایان‌نامه دکتر حسین گلستانیان با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضاء

۴. استاد داور پایان‌نامه دکتر یعقوب طادی بنی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

دکتر بهزاد قاسمی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

## تقدیم به عزیزترین عزیزانم

پدر بزرگوارم:	مادر دلسوزم:	مادر بزرگ مهربانم:
که تمامی موفقیت هایم را دیون	که وجودش سرشار از لطف و	که دعایش همیشه عامل رسیدن به
حمایت های اویم	محبت و ایثار است	پیروزی هایم بوده است

## برادران عزیزم:

که سربلندی و سعادتشان  
آرزوی همیشگی من است

## تشکر و قدردانی

شاگرد پروردگاری هستم که بار دیگر بر من منت نهاد تا وظیفه‌ای را به انجام رسانم و در این راه در دشواری‌ها و آسانی‌ها همواره یار و پشتیبان من بود.

قدردان زحمات عزیزانی هستم که مرا در مراحل مختلف این پایان‌نامه یاری کردند:

- استاد راهنمای گران‌قدر، جناب آقای دکتر مهدی سلمانی تهرانی که از رفتار نیکو و معلومات بسیار ایشان بهره بردم و در راستای پروژه به شکل‌های مختلف مرا یاری کردند.
  - استاد مشاور بزرگوار، جناب آقای دکتر محمود سلیمی که دلسوزانه دانش خود را در اختیارم گذاشتند و از نکات ایشان در انجام این تحقیق استفاده کردم.
  - اساتید داور گرامی، جناب آقای دکتر حسین گلستانیان و جناب آقای دکتر یعقوب طادی که با حوصله‌ی فراوان این پژوهش را مطالعه و داوری نمودند.
  - اساتید محترم گروه مهندسی مکانیک دانشگاه شهرکرد که دانش و تجربیاتشان را خالصانه در اختیارم قرار دادند.
  - آقای مهندس حامد برقی‌کار که در انجام آزمایش‌ها از کمک‌های ایشان استفاده کردم.
  - تمامی دوستانم که صمیمانه بنده را در انجام این پژوهش یاری رساندند.
- از خداوند متعال توفیق روز افزون و آرزوی سربلندی و موفقیت برای تمامی این عزیزان را دارم.

میلاذ جباری

شهریور ماه ۱۳۹۰

## چکیده

شکل‌دهی غلتکی سرد فرایندی است که در آن نوار ورق در حالت سرد، با عبور پیوسته از بین مجموعه‌ی غلتک‌های دوار و بدون تغییر محسوس در ضخامت، به یک پروفیل با مقطع دلخواه شکل داده می‌شود. با وجود سابقه‌ی زیاد و گستردگی کاربرد، این فرایند هنوز از نظر تحلیل نظری و شبیه‌سازی ضعیف است. با توجه به اهمیتی که فرایند شکل‌دهی غلتکی در تولید انبوه مقاطع ساختمانی، وابسته به نیاز بازار دارد هنوز به نظر می‌رسد که کمبودهایی در زمینه‌ی پیش‌بینی هندسه‌ی نهایی محصول پس از تغییر شکل وجود دارد که عمدتاً این کار در صنعت با انجام آزمون و خطا صورت می‌پذیرد. از این رو، نیاز است که با انجام یک تحلیل نرم‌افزاری در زمینه‌ی برگشت‌فنی باعث صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ی فرایند شد و آزمون و خطا را به حداقل رساند. معیارهای تسلیم از عوامل مهم بر پیش‌بینی برگشت‌فنی در شبیه‌سازی عددی فرایند شکل‌دهی غلتکی است. به‌همین دلیل در این پایان‌نامه سعی بر آن شده است که عوامل گوناگون مؤثر بر زاویه‌ی نهایی محصول و به‌ویژه معیارهای تسلیم بررسی شوند. برای این امر شبیه‌سازی‌های مختلفی با شرایط متفاوت (زاویه‌های خم مختلف، شبکه‌بندی متفاوت و ...) و معیارهای تسلیم *Barlat, von Mises* و *Hill* با استفاده از دو حل‌گر دینامیک صریح و استاتیک ضمنی در دو نرم‌افزار اجزای محدود *ABAQUS* و *MARC* در زمینه‌ی این فرایند انجام شده است. برای مدل‌سازی این فرایند از دو نوع غلتک بالایی در ایستگاه اول استفاده شده است؛ غلتک بالایی استوانه‌ای شکل و غلتک بالایی ذوزنقه‌ای شکل. با توجه به فقدان یک دستگاه شکل‌دهی غلتکی آزمایشگاهی و مشکلات موجود در آزمایش صورت گرفته در صنعت، آزمایش دیگری در آزمایشگاه در ارتباط با فرایند خمش  $\nabla$  شکل انجام شده است. بنابراین شبیه‌سازی‌های دیگری مطابق با آزمایش خمش  $\nabla$  شکل با تغییر پارامترهای گوناگون (جابجایی متفاوت سنبه، ضخامت مختلف و...) صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که غلتک بالایی استوانه‌ای شکل مهار خوبی روی ورق ندارد و به‌همین دلیل زاویه‌های نهایی ورق به‌حد چشم‌گیری از زاویه‌های قالب فراتر می‌روند. در حالی که محصول خروجی در حالت غلتک بالایی ذوزنقه‌ای شکل دارای کیفیت مطلوب‌تری است (ناحیه‌ی بال مستقیم و بدون انحنای است). همچنین از نتایج می‌توان دریافت که با افزایش جابجایی سنبه از میزان برگشت‌فنی در فرایند خمش  $\nabla$  شکل کاسته می‌شود. این کاهش آن‌قدر ادامه می‌یابد که در حالتی که فاصله‌ی سنبه و ماتریس تقریباً برابر ضخامت ورق می‌شود برگشت‌فنی به پیش‌فنی تبدیل می‌گردد.

## واژه‌های کلیدی

شکل‌دهی غلتکی، خمش  $\nabla$  شکل، برگشت‌فنی، معیار تسلیم، شبیه‌سازی اجزای محدود

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول - مقدمه</b>
۱۱	۱-۱ مقدمه
۱۱	۲-۱ فرایند شکل‌دهی غلتکی سرد
۱۳	۳-۱ اهمیت فرایند به‌عنوان موضوع تحقیق
۱۴	۴-۱ برگشت‌فتری
۱۴	۵-۱ معیارهای تسلیم
۱۴	۱-۵-۱ معیار تسلیم von Mises
۱۵	۲-۵-۱ معیار تسلیم Barlat
۱۶	۳-۵-۱ معیار تسلیم Hill
۱۸	۶-۱ مروری بر پژوهش‌های پیشین
۱۸	۱-۶-۱ پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی فرایند شکل‌دهی غلتکی
۲۱	۲-۶-۱ پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی برگشت‌فتری
۲۳	۳-۶-۱ پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی معیارهای تسلیم
۲۴	۷-۱ اهداف و ساختار پایان‌نامه
	<b>فصل دوم - مدل‌سازی فرایند شکل‌دهی غلتکی به‌کمک نرم‌افزارهای ABAQUS و MARC</b>
۲۶	۱-۲ مقدمه
۲۶	۲-۲ صورت مسئله
۲۶	۳-۲ مدل‌سازی در نرم‌افزار ABAQUS
۲۸	۱-۳-۲ غلتک‌ها
۲۸	۲-۳-۲ نوار ورق
۲۸	۱-۲-۳-۲ هندسه و خواص مادی
۲۹	۲-۲-۳-۲ المان مورد استفاده
۳۰	۳-۲-۳-۲ شبکه‌بندی
۳۱	۳-۳-۲ آرایش اولیه
۳۱	۴-۳-۲ تماس‌ها و مدل اصطکاکی
۳۲	۵-۳-۲ گام‌های حل
۳۳	۶-۳-۲ شرایط مرزی و بارگذاری
۳۴	۴-۲ مدل‌سازی در نرم‌افزار MARC
۳۴	۱-۴-۲ غلتک‌ها
۳۴	۲-۴-۲ ایجاد ورق و شبکه‌بندی آن
۳۵	۳-۴-۲ اعمال خواص مادی ورق
۳۷	۴-۴-۲ تماس



۳۷	۵-۴-۲ شرایط مرزی
۳۷	۶-۴-۲ گام‌های حل
۳۸	۷-۴-۲ برنامه‌ی اجرا

## فصل سوم- آزمایش‌های تجربی

۳۹	۱-۳ مقدمه
۳۹	۲-۳ آزمایش شکل‌دهی غلتکی
۳۹	۱-۲-۳ محل انجام آزمایش
۴۰	۲-۲-۳ هندسه‌ی قالب
۴۰	۳-۲-۳ سوار کردن قالب بر دستگاه
۴۲	۴-۲-۳ نحوه‌ی انجام آزمایش
۴۳	۵-۲-۳ مشکلات انجام آزمایش
۴۳	۳-۳ آزمایش خمش V شکل
۴۳	۱-۳-۳ محل انجام آزمایش و مشخصات دستگاه
۴۳	۲-۳-۳ هندسه و جنس قالب
۴۶	۳-۳-۳ نحوه‌ی انجام آزمایش
۴۶	۴-۳-۳ آزمایش کشش ساده

## فصل چهارم- نتایج و بحث

۴۹	۱-۴ مقدمه
۴۹	۲-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند شکل‌دهی غلتکی
۴۹	۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند شکل‌دهی غلتکی با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS
۵۰	۱-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۲	۲-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۲	۳-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با سرعت‌های شکل‌دهی متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۳	۴-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با سرعت‌های شکل‌دهی متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۴	۵-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با شبکه‌بندی گوناگون و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۴	۶-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با شبکه‌بندی گوناگون و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۵	۷-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با اعمال وزن ورق و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۵	۸-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با اعمال وزن ورق و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۶	۹-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با اعمال کارسختی‌های متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۷	۱۰-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با اعمال کارسختی‌های متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۷	۱۱-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با لحاظ المان‌های پوسته‌ی گوناگون و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۵۹	۱۲-۱-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با لحاظ المان‌های پوسته‌ی گوناگون و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۵۹	۲-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند شکل‌دهی غلتکی با استفاده از نرم‌افزار MARC و ورق فولادی
۶۰	۱-۲-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۶۰	۲-۲-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل

۶۱	۳-۲-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با شبکه‌بندی گوناگون و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۶۲	۴-۲-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی با شبکه‌بندی گوناگون و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۶۳	۳-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند شکل‌دهی غلتکی با استفاده از نرم‌افزار MARC و ورق آلیاژ آلومینیوم ۶۱۱۱-T۴
۶۴	۱-۳-۲-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۶۶	۲-۳-۲-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۶۶	۳-۳-۲-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ با شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل
۶۶	۴-۳-۲-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با زاویه‌های خم $۲۰^{\circ}$ ، $۳۰^{\circ}$ ، $۴۰^{\circ}$ و $۵۰^{\circ}$ با شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل
۶۶	۴-۲-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند شکل‌دهی غلتکی با استفاده از نرم‌افزار MARC و مشخصات آزمایش شکل‌دهی غلتکی مطابق با بخش ۲-۳
۷۳	۳-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی‌های فرایند خمش V شکل با استفاده از نرم‌افزار MARC
۷۴	۱-۳-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با ضخامت‌های گوناگون ورق و جابجایی یکسان سنبه
۷۸	۲-۳-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با جابجایی‌های متفاوت سنبه و ضخامت یکسان ورق
۸۸	۳-۳-۴ نتایج مقایسه‌ی معیارهای تسلیم در شبیه‌سازی با ضریب‌های اصطکاک مختلف و ضخامت یکسان ورق و جابجایی مشابه سنبه
۸۸	۴-۳-۴ نتایج شبیه‌سازی‌های فرایند خمش V شکل با استفاده از نرم‌افزار MARC و مشخصات آزمایش خمش V شکل مطابق با بخش ۳-۳
۱۰۲	۴-۴ نتایج آزمایش تجربی فرایند شکل‌دهی غلتکی
۱۰۲	۱-۴-۴ نتایج آزمایش شکل‌دهی غلتکی
۱۰۲	۲-۴-۴ نتایج آزمایش کشش ساده
۱۰۲	۵-۴ نتایج آزمایش تجربی فرایند خمش V شکل
۱۰۲	۱-۵-۴ نتایج آزمایش خمش V شکل
۱۰۹	۲-۵-۴ نتایج آزمایش کشش ساده
۱۱۷	<b>فصل پنجم - جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها</b>
۱۱۷	۱-۵ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
۱۱۹	۲-۵ پیشنهادها
۱۲۰	<b>مراجع</b>

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۲۷	جدول (۱-۲): تعریف کمیت‌های هندسی شکل (۱-۲)
۲۸	جدول (۲-۲): مشخصات غلتک‌ها براساس آزمایش باتاچاریا و اسمیت
۲۹	جدول (۳-۲): مشخصات هندسی و مادی ورق
۳۶	جدول (۴-۲): مشخصات مادی ورق آلومینیومی
۳۶	جدول (۵-۲): ویژگی‌های مکانیکی ورق آلومینیومی برای معیار تسلیم Barlat
۳۶	جدول (۶-۲): ویژگی‌های مکانیکی ورق آلومینیومی برای معیار تسلیم Hill
۴۷	جدول (۱-۳): ابعاد نمونه‌های استاندارد ساخته شده
۱۰۳	جدول (۱-۴): زاویه‌ی پروفیل به‌دست آمده از آزمایش شکل‌دهی غلتکی
۱۰۴	جدول (۲-۴): مقادیر مربوط به شکل (۴-۵۷)
۱۰۵	جدول (۳-۴): زاویه‌ی پروفیل به‌دست آمده از آزمایش خمش V شکل
۱۱۴	جدول (۴-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۶ و راستای ۰°
۱۱۴	جدول (۵-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۶ و راستای ۴۵°
۱۱۴	جدول (۶-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۶ و راستای ۹۰°
۱۱۵	جدول (۷-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۷ و راستای ۰°
۱۱۵	جدول (۸-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۷ و راستای ۴۵°
۱۱۵	جدول (۹-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۰/۷ و راستای ۹۰°
۱۱۵	جدول (۱۰-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۱/۰۵ و راستای ۰°
۱۱۵	جدول (۱۱-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۱/۰۵ و راستای ۴۵°
۱۱۶	جدول (۱۲-۴): مقادیر مربوط به ضخامت (mm) ۱/۰۵ و راستای ۹۰°

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	شکل (۱-۱): شکل‌دهی غلتکی کانال متقارن
۱۲	شکل (۲-۱): الگوی گل لوله‌ی مربعی
۱۵	شکل (۳-۱): سطح تسلیم von Mises
۱۷	شکل (۴-۱): محورهای ناهمسان‌گردی
۱۹	شکل (۵-۱): مقایسه‌ی سطوح تسلیم به‌دست آمده از توابع Hill و Barlat، von Mises
۲۷	شکل (۱-۲): هندسه‌ی مقطع پروفیل کانال متقارن و غلتک‌ها
۲۹	شکل (۲-۲): مقایسه‌ی المان پوسته‌ی متداول با المان پوسته‌ی پیوسته در ABAQUS
۳۰	شکل (۳-۲): جزئیات شبکه‌بندی مدل اجزای محدود
	شکل (۴-۲): آرایش اولیه‌ی مدل اجزای محدود برای یکی از مثال‌های مورد بررسی (زاویه‌ی خم $30^\circ$ در نرم‌افزار ABAQUS)
۳۲	
۳۳	شکل (۵-۲): هزینه‌ی محاسباتی در برابر اندازه‌ی مدل با استفاده از روش‌های صریح و ضمنی
۳۴	شکل (۶-۲): نمایش شماتیک الگوی دامنه‌ی هموار در اعمال تغییر مکان
	شکل (۷-۲): آرایش اولیه‌ی مدل اجزای محدود برای یکی از مثال‌های مورد بررسی (زاویه‌ی خم $30^\circ$ در نرم‌افزار MARC)
۳۵	
۴۰	شکل (۱-۳): هندسه‌ی غلتک بالایی
۴۱	شکل (۲-۳): هندسه‌ی غلتک پایینی
۴۱	شکل (۳-۳): هندسه‌ی قالب سوار شده بر دستگاه شکل‌دهی غلتکی
۴۲	شکل (۴-۳): نحوه‌ی انجام شکل‌دهی در یکی از نمونه‌ها توسط دستگاه شکل‌دهی غلتکی
۴۴	شکل (۵-۳): نمایی از دستگاه آزمایش خمش
۴۵	شکل (۶-۳): هندسه‌ی سنبه
۴۵	شکل (۷-۳): هندسه‌ی ماتریس
۴۷	شکل (۸-۳): یکی از نمونه‌های آزمایش حین شکل‌دهی توسط قالب خمش
۴۷	شکل (۹-۳): هندسه‌ی نمونه‌ی استاندارد آزمایش کشش ساده
۴۸	شکل (۱۰-۳): یکی از نمونه‌های استاندارد پس از انجام آزمایش کشش ساده
۵۰	شکل (۱-۴): مقایسه‌ی تاریخچه‌ی انرژی تغییر شکل و انرژی جنبشی
۵۱	شکل (۲-۴): تاریخچه‌ی انرژی جنبشی
	شکل (۳-۴): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با زاویه‌ی قالب در حالت غلتک بالایی استوانه‌ای
۵۱	شکل
	شکل (۴-۴): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با زاویه‌ی قالب در حالت غلتک بالایی دوزنقه‌ای
۵۲	شکل

- شکل (۴-۵): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با سرعت متفاوت در حالت غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۵۳
- شکل (۴-۶): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با سرعت متفاوت در حالت غلتک بالایی دوزنقه‌ای  
شکل  
۵۳
- شکل (۴-۷): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با شبکه‌بندی متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۵۴
- شکل (۴-۸): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با شبکه‌بندی متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
شکل (۴-۹): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با لحاظ وزن ورق و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۵۵  
۵۶
- شکل (۴-۱۰): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با لحاظ وزن ورق و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
شکل (۴-۱۱): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با کارسختی متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۵۶  
۵۷
- شکل (۴-۱۲): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با کارسختی متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای  
شکل  
۵۸
- شکل (۴-۱۳): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با المان پوسته‌ی متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۵۸
- شکل (۴-۱۴): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با المان پوسته‌ی متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای  
شکل  
۵۹
- شکل (۴-۱۵): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با زاویه‌ی قالب در حالت غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۶۰
- شکل (۴-۱۶): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با زاویه‌ی قالب در حالت غلتک بالایی دوزنقه‌ای  
شکل  
۶۱
- شکل (۴-۱۷): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با شبکه‌بندی متفاوت و غلتک بالایی استوانه‌ای  
شکل  
۶۲
- شکل (۴-۱۸): مقایسه‌ی زاویه‌ی پروفیل خروجی با شبکه‌بندی متفاوت و غلتک بالایی دوزنقه‌ای  
شکل  
۶۳
- شکل (۴-۱۹): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۲۰° و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۴
- شکل (۴-۲۰): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۳۰° و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۴
- شکل (۴-۲۱): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۴۰° و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۵
- شکل (۴-۲۲): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۵۰° و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۵
- شکل (۴-۲۳): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۲۰° و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۶۷
- شکل (۴-۲۴): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  
۳۰° و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۶۷

- شکل (۴-۲۵): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $40^\circ$  و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۶۸
- شکل (۴-۲۶): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $50^\circ$  و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۶۸
- شکل (۴-۲۷): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $20^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۹
- شکل (۴-۲۸): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $30^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۶۹
- شکل (۴-۲۹): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $40^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۷۰
- شکل (۴-۳۰): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $50^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی استوانه‌ای شکل  
۷۰
- شکل (۴-۳۱): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $20^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۷۱
- شکل (۴-۳۲): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $30^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۷۱
- شکل (۴-۳۳): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $40^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۷۲
- شکل (۴-۳۴): مقایسه‌ی اثر معیارهای تسلیم مختلف بر زاویه‌ی نهایی ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $50^\circ$  و شبکه‌بندی ریزتر و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل  
۷۲
- شکل (۴-۳۵): مقایسه‌ی اثر ضخامت ورق با قالب با زاویه‌ی خم  $30^\circ$  و غلتک بالایی دوزنقه‌ای شکل در شبیه‌سازی آزمایش شکل‌دهی غلتکی  
۷۳
- شکل (۴-۳۶-الف): زاویه‌های ورق در حالت  $0/6$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Barlat  
۷۴
- شکل (۴-۳۶-ب): زاویه‌های ورق در حالت  $0/6$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Hill  
۷۵
- شکل (۴-۳۶-ج): زاویه‌های ورق در حالت  $0/6$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم von Mises  
۷۵
- شکل (۴-۳۷-الف): زاویه‌های ورق در حالت  $0/7$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Barlat  
۷۶
- شکل (۴-۳۷-ب): زاویه‌های ورق در حالت  $0/7$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Hill  
۷۶
- شکل (۴-۳۷-ج): زاویه‌های ورق در حالت  $0/7$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم von Mises  
۷۷
- شکل (۴-۳۸-الف): زاویه‌های ورق در حالت  $1/0.5$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Barlat  
۷۷
- شکل (۴-۳۸-ب): زاویه‌های ورق در حالت  $1/0.5$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم Hill  
۷۸
- شکل (۴-۳۸-ج): زاویه‌های ورق در حالت  $1/0.5$  (mm) ضخامت و معیار تسلیم von Mises  
۷۸
- شکل (۴-۳۹-الف): زاویه‌های ورق در حالت  $40$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat  
۷۹
- شکل (۴-۳۹-ب): زاویه‌های ورق در حالت  $40$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill  
۸۰
- شکل (۴-۳۹-ج): زاویه‌های ورق در حالت  $40$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises  
۸۰
- شکل (۴-۴۰-الف): زاویه‌های ورق در حالت  $42$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat  
۸۱
- شکل (۴-۴۰-ب): زاویه‌های ورق در حالت  $42$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill  
۸۱
- شکل (۴-۴۰-ج): زاویه‌های ورق در حالت  $42$  (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises  
۸۲

- ۸۲ شکل (۴-۴۱-الف): زاویه‌های ورق در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat
- ۸۳ شکل (۴-۴۱-ب): زاویه‌های ورق در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill
- ۸۳ شکل (۴-۴۱-ج): زاویه‌های ورق در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises
- ۸۴ شکل (۴-۴۲-الف): نیروی سنبه در حالت ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat
- ۸۴ شکل (۴-۴۲-ب): نیروی سنبه در حالت ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill
- ۸۵ شکل (۴-۴۲-ج): نیروی سنبه در حالت ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises
- ۸۵ شکل (۴-۴۳-الف): نیروی سنبه در حالت ۴۲ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat
- ۸۶ شکل (۴-۴۳-ب): نیروی سنبه در حالت ۴۲ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill
- ۸۶ شکل (۴-۴۳-ج): نیروی سنبه در حالت ۴۲ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises
- ۸۷ شکل (۴-۴۴-الف): نیروی سنبه در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat
- ۸۷ شکل (۴-۴۴-ب): نیروی سنبه در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Hill
- ۸۸ شکل (۴-۴۴-ج): نیروی سنبه در حالت ۴۵ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises
- ۸۹ شکل (۴-۴۵-الف): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۱ و معیار تسلیم Barlat
- ۹۰ شکل (۴-۴۵-ب): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۱ و معیار تسلیم Hill
- ۹۰ شکل (۴-۴۵-ج): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۱ و معیار تسلیم von Mises
- ۹۱ شکل (۴-۴۶-الف): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۲ و معیار تسلیم Barlat
- ۹۱ شکل (۴-۴۶-ب): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۲ و معیار تسلیم Hill
- ۹۲ شکل (۴-۴۶-ج): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۲ و معیار تسلیم von Mises
- ۹۲ شکل (۴-۴۷-الف): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۳ و معیار تسلیم Barlat
- ۹۳ شکل (۴-۴۷-ب): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۳ و معیار تسلیم Hill
- ۹۳ شکل (۴-۴۷-ج): زاویه‌های ورق در حالت ضریب اصطکاک ۰/۳ و معیار تسلیم von Mises
- ۹۴ شکل (۴-۴۸-الف): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۶ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۴ شکل (۴-۴۸-ب): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۶ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۴ شکل (۴-۴۹-الف): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۵ شکل (۴-۴۹-ب): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۵ شکل (۴-۵۰-الف): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۱/۰۵ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۶ شکل (۴-۵۰-ب): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۱/۰۵ ضخامت، ۴۰ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۶ شکل (۴-۵۱-الف): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، ۴۲ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل
- ۹۷ شکل (۴-۵۱-ب): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، ۴۲ (mm) جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل

- شکل (۴-۵۲-الف): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۹۸
- شکل (۴-۵۲-ب): زاویه‌های ورق در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۹۸
- شکل (۴-۵۳-الف): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۰ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۹۹
- شکل (۴-۵۳-ب): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۰ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۹۹
- شکل (۴-۵۴-الف): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۲ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۱۰۰
- شکل (۴-۵۴-ب): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۲ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۱۰۰
- شکل (۴-۵۵-الف): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۱۰۱
- شکل (۴-۵۵-ب): نیروی سنبه در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises در شبیه‌سازی آزمایش خمش V شکل ۱۰۱
- شکل (۴-۵۶): نحوه‌ی اندازه‌گیری زاویه‌ی محصول نهایی حاصل از آزمایش شکل‌دهی غلتکی ۱۰۳
- شکل (۴-۵۷): نمودار تنش-کرنش مهندسی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش شکل‌دهی غلتکی ۱۰۴
- شکل (۴-۵۸): نحوه‌ی اندازه‌گیری زاویه‌ی محصول نهایی حاصل از آزمایش خمش V شکل ۱۰۵
- شکل (۴-۵۹-الف): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۰ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat ۱۰۶
- شکل (۴-۵۹-ب): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۰ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises ۱۰۶
- شکل (۴-۶۰-الف): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۲ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat ۱۰۷
- شکل (۴-۶۰-ب): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۲ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises ۱۰۷
- شکل (۴-۶۱-الف): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم Barlat ۱۰۸
- شکل (۴-۶۱-ب): مقایسه‌ی نتایج نیروی سنبه حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت، (mm) ۴۵ جابجایی سنبه و معیار تسلیم von Mises ۱۰۸
- شکل (۴-۶۲): نمودار تنش-کرنش مهندسی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۶ ضخامت ۱۱۰
- شکل (۴-۶۳): نمودار تنش-کرنش مهندسی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت ۱۱۰
- شکل (۴-۶۴): نمودار تنش-کرنش مهندسی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل ۱۱۱



- در حالت (mm) ۱/۰۵ ضخامت
- شکل (۴-۶۵): نمودار تنش- کرنش واقعی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل در  
 ۱۱۱ حالت (mm) ۰/۶ ضخامت
- شکل (۴-۶۶): نمودار تنش- کرنش واقعی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل در  
 ۱۱۲ حالت (mm) ۰/۷ ضخامت
- شکل (۴-۶۷): نمودار تنش- کرنش واقعی آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش خمش V شکل در  
 ۱۱۲ حالت (mm) ۱/۰۵ ضخامت
- شکل (۴-۶۸): نمودار تنش واقعی- کرنش پلاستیک معادل آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش  
 ۱۱۳ خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۶ ضخامت در راستای نورد
- شکل (۴-۶۹): نمودار تنش واقعی- کرنش پلاستیک معادل آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش  
 ۱۱۳ خمش V شکل در حالت (mm) ۰/۷ ضخامت در راستای نورد
- شکل (۴-۷۰): نمودار تنش واقعی- کرنش پلاستیک معادل آزمایش کشش ساده مربوط به آزمایش  
 ۱۱۴ خمش V شکل در حالت (mm) ۱/۰۵ ضخامت در راستای نورد

بسمه تعالی



طرح پیشنهادی پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

دانشکده‌ی فنی و مهندسی - دانشگاه شهرکرد

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی: میلاد جباری

شماره‌ی دانشجویی: ۸۷۱۴۱۶۱۰۱

رشته‌ی تحصیلی: مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

مشخصات استاد راهنما

نام و نام خانوادگی	تخصص	مرتبه‌ی دانشگاهی	محل کار
دکتر مهدی سلمانی تهرانی	شکل‌دهی فلزات	استادیار	دانشگاه شهرکرد دانشکده‌ی فنی و مهندسی

مشخصات استاد مشاور

نام و نام خانوادگی	تخصص	مرتبه‌ی دانشگاهی	محل کار
دکتر محمود سلیمی	شکل‌دهی فلزات	استاد	دانشگاه صنعتی اصفهان دانشکده‌ی مکانیک

مشخصات پایان نامه

۱- عنوان پایان نامه

۱-۱ عنوان به فارسی

بررسی اثر معیار تسلیم بر روی پیش‌بینی برگشت‌فتری در شکل‌دهی غلتکی کانال متقارن

۲-۱ عنوان به لاتین

## Investigating the Effect of Yield Criterion on the Springback Prediction in Roll Forming of Symmetric Channel

۲- مقدمه و معرفی طرح

۲-۱ فرایند شکل‌دهی غلتکی

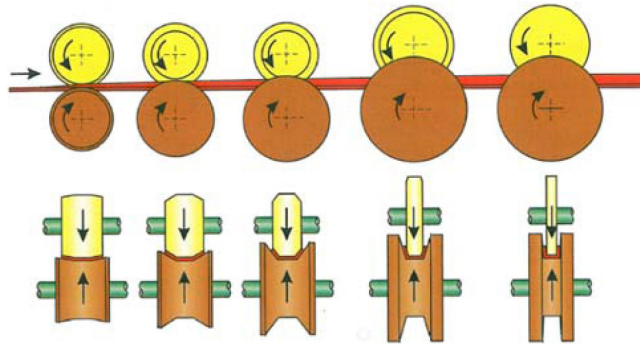
شکل‌دهی غلتکی سرد<sup>۱</sup> فرایندی است که در آن نوار ورق در حالت سرد، با عبور پیوسته از بین مجموعه‌ی غلتک‌های دوار و بدون تغییر محسوس در ضخامت، به یک پروفیل با مقطع دلخواه شکل داده می‌شود. شکل‌دهی در چند مرحله و با ایجاد خم‌های طولی در نوار ورق انجام می‌شود. هر مجموعه غلتک که بخشی از عمل شکل‌دهی را انجام می‌دهد شامل یک غلتک بالایی، یک غلتک پایینی، و در صورت نیاز، غلتک‌های جانبی می‌شود. به هر مجموعه از این غلتک‌ها یک ایستگاه غلتکی<sup>۲</sup> یا ایستگاه گفته می‌شود. هر چه شکل مقطع نهایی پیچیده‌تر باشد، برای انجام موفقیت‌آمیز فرایند به تعداد ایستگاه بیشتری نیاز است. در این فرایند بر خلاف بسیاری از فرایندهای شکل‌دهی فلزات، شکل‌دهی شدید و ناگهانی نیست. در واقع غلتک‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که جریان فلز از یک ایستگاه به ایستگاه بعد به‌صورت ملایم انجام شود. شکل (۱) تغییر شکل نوار ورق را در حین عبور از ایستگاه‌های پی‌درپی نشان می‌دهد. نیروی لازم برای حرکت رو به جلوی پروفیل به‌وسیله‌ی اصطکاک بین غلتک و پروفیل تأمین می‌شود. به‌همین دلیل اصطکاک نقش مهمی در تحلیل این فرایند دارد. البته گاهی برای شکل‌دهی مجدد لوله‌ی گرد به مقاطع غیر گرد، پروفیل به‌وسیله‌ی نیروی جک هیدرولیک به جلو رانده می‌شود. این نوع فرایند شکل‌دهی غلتکی رانشی<sup>۳</sup> نامیده می‌شود (شکل (۲)).

---

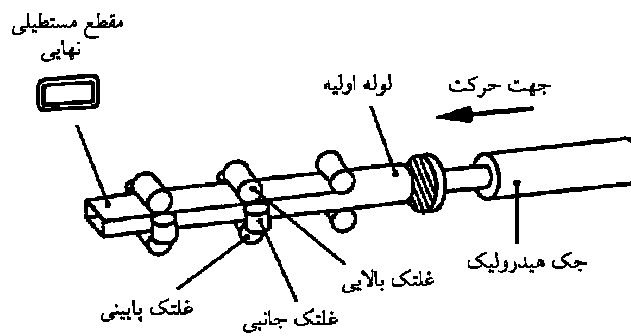
<sup>1</sup> Cold roll-forming

<sup>2</sup> Roll station

<sup>3</sup> Extroll forming

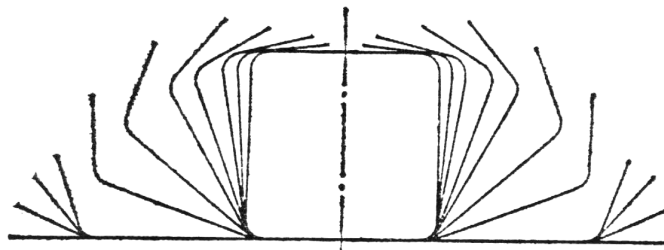


شکل (۱): شکل دهی غلتکی



شکل (۲): شکل دهی غلتکی رانشی در شکل دهی مجدد لوله‌ی گرد به لوله با مقطع مستطیلی

برای بهتر نشان دادن ترتیب ایجاد خم‌ها می‌توان سطح مقطع پروفیل خروجی از ایستگاه‌های متوالی را به صورت برهم‌نهاد<sup>۱</sup> رسم کرد. به شکل حاصل الگوی گل<sup>۲</sup> یا گل پروفیل مقطع گفته می‌شود. طراحی گل پروفیل بهینه، به‌عنوان اولین قدم در طراحی خط تولید یک محصول جدید، یک مرحله اساسی در روند طراحی این فرایند شناخته می‌شود. شکل (۳) گل پروفیل لوله با مقطع مربعی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که شکل دهی در یازده ایستگاه انجام شده است.



شکل (۳): گل پروفیل لوله‌ی مربعی

مهمترین مزایای فرایند شکل دهی غلتکی سرد عبارتند از:

۱- در مقایسه با روش‌های دیگر، سرعت تولید بالاتر است.

<sup>1</sup> Superposed

<sup>2</sup> Flower pattern