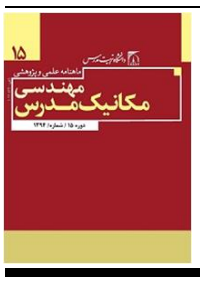
مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1394، دوره 15، شماره 7، ص‌ص 209-214

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir



پیش بینی مقدار گشتاور مورد نیاز درفرایند شکل دهی غلتکی سرد مقاطع کانالی شکل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

یعقوب دادگر اصل[1]، مهدی تاجداری[2]، حسن مسلمی نائینی[3*]، بهنام داودی[4]، روح‌اله عزیزی تفتی[5]، ولی‌اله پناهی‌زاده[6]

1- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد واحد اراک، اراک
3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
4- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
5- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد
6- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران
* تهران، صندوق پستی 143-14115، moslemi@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 06 دی 1393
پذیرش: 27 اردیبهشت 1394
ارائه در سایت: 12 خرداد 1394

کلید واژگان:
شکل‌دهی‌غلتکی‌سرد
گشتاور
شبکه‌های عصبی مصنوعی
شبیه‌سازی‌اجزای‌محدود

چکیده

یکی از مسائل بسیار مهم در بررسی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد فلزات، برآورد گشتاور مورد نیاز شکل دهی می‌باشد. با دانستن عوامل تأثیرگذار روی گشتاور، می‌توان بهینه‌ترین خط تولید را طراحی نمود. از پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر گشتاور مورد نیاز در شکل‌دهی غلتکی سرد می‌توان به جنس، ضخامت ورق، زاویه شکل‌دهی، شرایط روانکاری، سرعت دورانی غلتک و فاصله ایستگاهها اشاره نمود. هدف از این مطالعه پیش بینی مقدار گشتاور مورد نیاز شکل دهی با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار روی گشتاور شامل، استحکام تسلیم، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل‌دهی، با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می‌باشد. بدین منظور فرآیند شکل‌دهی به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار اجزای محدود مارک‌منتات شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با افزایش استحکام تسلیم، زاویه شکل‌دهی و ضخامت، گشتاور وارد شده به غلتک‌ها زیاد می‌شود. همچنین افزایش عرض ورق با فرض ثابت بودن طول ناحیه کف، باعث کاهش گشتاور مورد نیاز برای شکل‌دهی می‌شود. طی یک سری آزمایش‌های تجربی تأثیر ضخامت و عرض ورق مورد بررسی قرار گرفت که داده‌های حاصل، نتایج شبیه‌سازی‌های اجزای محدود را به خوبی تأیید نمود. شبکه عصبی پس انتشار خطا با یک لایه مخفی برای پیش بینی گشتاور موردنیاز شکل دهی ایجاد شد، مقایسه بین نتایج شبیه سازی و شبکه عصبی نشان داد که شبکه آموزش داده شده می تواند مقدار گشتاور مورد نیاز شکل دهی را بخوبی پیش بینی نماید.

Prediction of Required Torque in Cold Roll Forming Process of a Channel Section Using Artificial Neural Networks

Yaghoub Dadgar Asl[1], Mehdi Tajdari[2], Hasan Moslemi Naeini[3*], Behnam Davoodi[4], Roohollah Azizi Tafti[5], Valiollah Panahizadeh[6]

1-Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, I.R.Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, I.R.Iran.
3- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, I.R.Iran.
4- Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, I.R.Iran.
5- Department of Mechanical Engineering, University of Yazd, Yazd, I.R.Iran.
6- Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, I.R.Iran.
* P.O.B. 14115-143, Tehran, I.R.Iran, moslemi@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 27 December 2014
Accepted 17 May 2015
Available Online 02 June 2015

Keywords:
Cold roll forming
Torque
Artificial Neural Networks(ANN)
FEM

ABSTRACT

One of the most important issues in the review of cold roll forming process of metals is estimation of required torque. The optimum production line can be designed by determining the effective parameters on torque. Some of these parameters are sheet material and thickness, bending angle, lubrication conditions, rolls rotational speed and distance of the stands. The aim of this study is to predict amount of required torque considering the factors influencing torque including thickness, yield strength, sheet width and forming angle using artificial neural network. So the forming process was 3D simulated in a finite element code. Simulation results showed that with increase of yield strength, thickness and forming angle, applied torque on rolls will increase. Also, the increase in sheet width -assuming constant web length- will decrease the torque needed for forming. The effects of thickness and sheet width were experimentally investigated which verified the results obtained by finite element analysis. A feed-forward back-propagation neural network was created. The comparison between the experimental results and ANN results showed that the trained network could adequately predict the required torque.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Y. Dadgar Asl, M. Tajdari, H. Moslemi Naeini, B. Davoodi, R. Azizi Tafti, V. Panahizadeh, Prediction of Required Torque in Cold Roll Forming Process of a Channel Section Using Artificial Neural Networks, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 7, pp. 209-214, 2015 (In Persian)

1- مقدمه

شکل‌دهی غلتکی سرد یکی از روشهای رایج و پر بازده در صنعت شکل‌دهی ورقی فلزات می‌باشد. این فرآیند شامل چند مرحله شکل‌دهی فلز به صورت پیوسته و متوالی است که در هر مرحله با اعمال مقدار مشخصی شکل‌دهی، ورق به محصول نهایی نزدیک می‌شود. در شکل 1 شمایی از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد نشان داده شده است. یکی از مسائل بسیار مهم در بررسی فرآیندهای شکل‌دهی فلزات، برآورد گشتاور مورد نیاز در شکل‌دهی می‌باشد. از پارامترهای اساسی تاثیرگذار بر گشتاور در شکل‌دهی غلتکی سرد، می‌توان به هندسه غلتک، جنس و ضخامت ورق، زاویه شکل‌دهی در هر ایستگاه، شرایط روانکاری، سرعت دورانی غلتک و فاصله ایستگاهها اشاره نمود.

سنانایاک و همکاران [2] با استفاده از نرم‌افزار مارک‌منتات به تحلیل مقطع کانالی‌شکل متقارن پرداختند و به کمک این نرم‌افزار، مقاطع ساده را مدلسازی کردند. هونگ و همکارانش [3] با ارائه یک‌برنامه شبیه‌سازی اجزای محدود صلب-خمیری سه‌بعدی و با درنظرگرفتن مشخصه‌های جنس و ضخامت ورق، قطر و سرعت‌غلتک‌ها و رفتار تغییرشکل‌ماده، طول تغییرشکل را تخمین زدند. مسلمی نائینی [4] با ترکیب روش‌های اجزای محدود و تفاضل محدود، روش جدیدی در شبیه‌سازی عددی برای تحلیل دو بعدی تغییرشکل ارتجاعی-خمیری لوله در فرآیند شکل‌دهی مجدد لوله‌های گرد به مقاطع غیرگرد ارائه کرد. تاجداری [5] شکل‌دهی غلتکی سرد مقاطع باز متقارن را مورد بررسی قرار داد. او در تحقیق خود با در نظر گرفتن رفتار الاستیک-پلاستیک برای ورق و منظور کردن اثر باوشینگر، تنشهای عرضی، طولی و برشی را محاسبه نمود و با محاسبه توان و مینیمم کردن آن، پروفیل تغییرشکل ورق را بین ایستگاه‌ها، بدست آورد. فرزین و همکاران [6] معیار جدیدی را به‌نام حد کرنش کمانشی[1] مبتنی بر تحلیل اجزای محدود فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد معرفی کردند. لیندگرن [7] تأثیر استحکام ورق بر روی طول تغییرشکل و کرنش طولی در لبه ورق را بررسی کرد و نتیجه گرفت که با افزایش استحکام تسلیم، طول تغییرشکل و کرنش طولی کاهش می‌یابد. وی همچنین [8] نیروها و گشتاورهای وارد بر غلتک‌ها را بررسی و با یک سری آزمایش‌های تجربی، نیروها و گشتاورهای وارد بر غلتک‌ها و توان مصرفی را به دست آورد. او در این مطالعه، تأثیر استحکام تسلیم بر روی بار و گشتاور غلتک را بررسی و دو مدل برای بار و گشتاور ارائه کرد. در رابطه با کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی در شکل‌دهی فلزات، گاناسکرا و همکارانش [9] یک مدل شبکه عصبی مصنوعی را برای فرآیند نورد سرد توسعه دادند. شبکه عصبی آنها پس‌انتشار بود که برای آموزش آن، یک مدل ریاضی غیرخطی بر اساس روش قاچی ایجاد کردند.

وانگ و همکارانش [10] با استفاده از شبکه‌های عصبی روی تأثیر کمیت‌های هندسی بر روی چروکیدگی در شکل‌دهی ورقی فلزات بحث کردند و چروکیدگی را پیش‌بینی نمودند. شبکه‌ی مورد استفاده‌ی آنها پیش‌خور پس‌انتشار بود.

با توجه به این که در کارهای انجام‌شده، تاثیر پارامترهایی چون ضخامت و عرض ورق بر روی گشتاور شکل دهی بررسی نشده است، در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار مارک‌منتات، فرایند تولید مقطع کانالی بصورت سه بعدی شبیه‌سازی شد و تاثیر پارامترهای استحکام تسلیم، زاویه شکل‌دهی، ضخامت و عرض ورق بر روی گشتاور شکل دهی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در یک سری آزمایش‌های تجربی، صحت نتایج شبیه‌سازی‌ها بررسی و مطابقت بسیار خوبی مشاهده شد. در این مطالعه به منظور پیش بینی مقدار گشتاور مورد نیاز شکل دهی با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار روی گشتاور شامل ضخامت، استحکام تسلیم، عرض ورق و زاویه شکل‌دهی، شبکه عصبی سه لایه پس انتشار خطا (دارای یک لایهٔ مخفی) با کاربرد نتایج شبیه سازی جهت پیش بینی گشتاور ایجاد شد. پارامترهای استحکام تسلیم، زاویه شکل‌دهی، ضخامت و عرض ورق، به عنوان ورودی های شبکه و گشتاور شکل دهی به عنوان خروجی شبکه درنظر گرفته شد. نرخ یادگیری 0/05 و پارامتر ممنتم 0/015 در نظر گرفته شد.

2- شبیه سازی المان محدود

به دلیل تعدد پارامترهای موثر، طراحی آزمایشی بر مبنای معیار تاگوچی صورت گرفت. از آنجا که ماهیت طرح تاگوچی با محدودیت‌هایی از لحاظ تعداد فاکتورها وسطوح آن مواجه است، انتخاب طرحی متناسب با آزمایش، از حالات از پیش تعیین شده معیار تاگوچی، بر عهده طراح می‌باشد. نهایتا طرحی شامل 32 آزمایش برای 4 فاکتور به صورت فاکتورهای بترتیب2، 3، 5 و 4 سطحی انتخاب شد که در جدول 1 نشان داده شده است. بعد از اجرای شبیه سازی‌ها نتایج توسط نرم افزار مینیتب به روش آنالیز واریانس تحلیل شد و نتیجه شبیه سازی برای تمام سطوح فاکتورها تخمین زده شد.

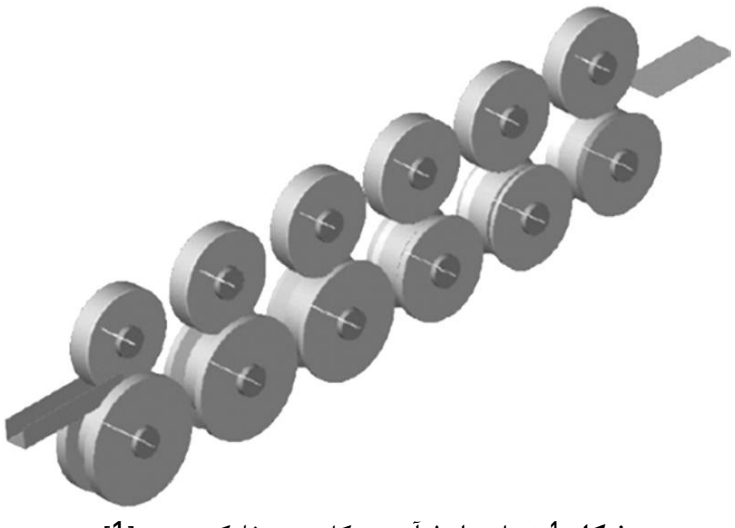
به منظور بررسی اثر استحکام تسلیم، زاویه خم، ضخامت و عرض ورق، روی گشتاور شکل دهی شبیه‌سازی‌های متعددی انجام شد که در ادامه روند مدل‌سازی و انجام شبیه سازی‌ها بطور مفصل بیان شده است.

2-1- مدل‌سازی فرآیند

جدول 1 زوایای خم، استحکام‌های تسلیم، ضخامت‌ها و عرض‌های ورق و استفاده شده در شبیه‌سازی‌های مختلف را نشان می‌دهد. مدل شامل چهار ایستگاه است که دو ایستگاه اول برای تغذیه ورق به ایستگاههای شکل‌دهی استفاده می‌شوند و دو ایستگاه بعد با زاویه‌های مساوی ورق را شکل می‌دهند. از آنجا که زاویه شکل‌دهی در ایستگاه بعدی روی گشتاور وارد بر غلتک‌ها در ایستگاه مورد نظر اثر می‌گذارد، به منظور رفع این تأثیر و نیز تعیین اثر واقعی زاویه شکل‌دهی هر ایستگاه بر روی گشتاور در آن ایستگاه، زاویه دو ایستگاه شکل‌دهی مساوی در نظر گرفته شد تا ایستگاه دوم عملاً تغییرشکلی روی ورق اعمال نکند.

جدول 1 مشخصات استحکام‌های تسلیم، ضخامت‌ها و عرض‌های ورق و زوایای خم در شبیه‌سازی‌های مختلف

پارامتر	سطوح
زاویه شکل‌دهی (درجه)	10 و 20
عرض ورق (میلی‌متر)	40، 55 و 70
استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	200، 400، 600،800 و1000
ضخامت ورق (میلی‌متر)	0/75، 1/25، 2 و 2/5



شکل 1 شمایی از فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد [1]

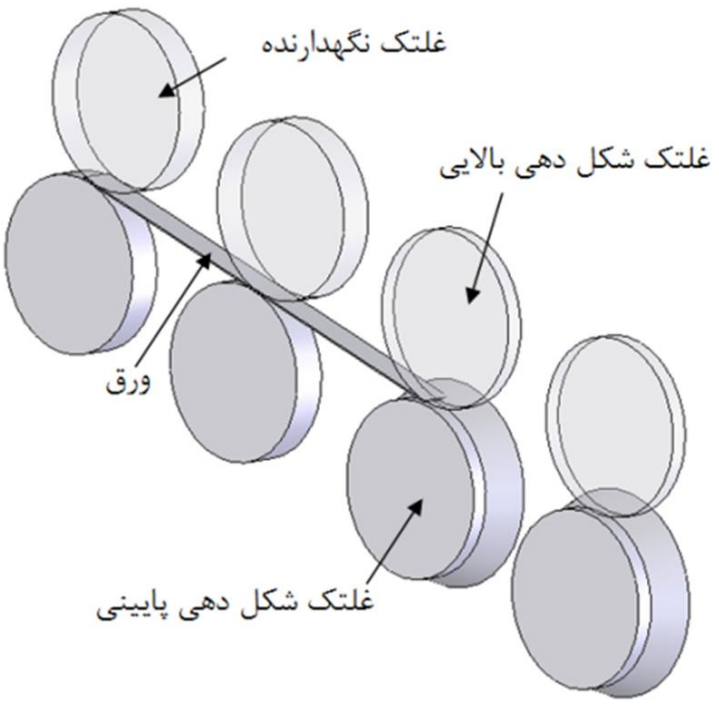
1- Buckling limit of strain

غلتک‌ها در نرم‌افزار کتیا مدل، با پسوند (آی‌جی‌اس) ذخیره و به نرم‌افزار مارک منتات انتقال داده شدند. مقطع کانالی‌شکل مورد بحث در این مطالعه دارای یک صفحه تقارن می‌باشد که از خط مرکزی آن می‌گذرد بنابراین با توجه به تقارن مذکور، نیمی از آن مدل شد.

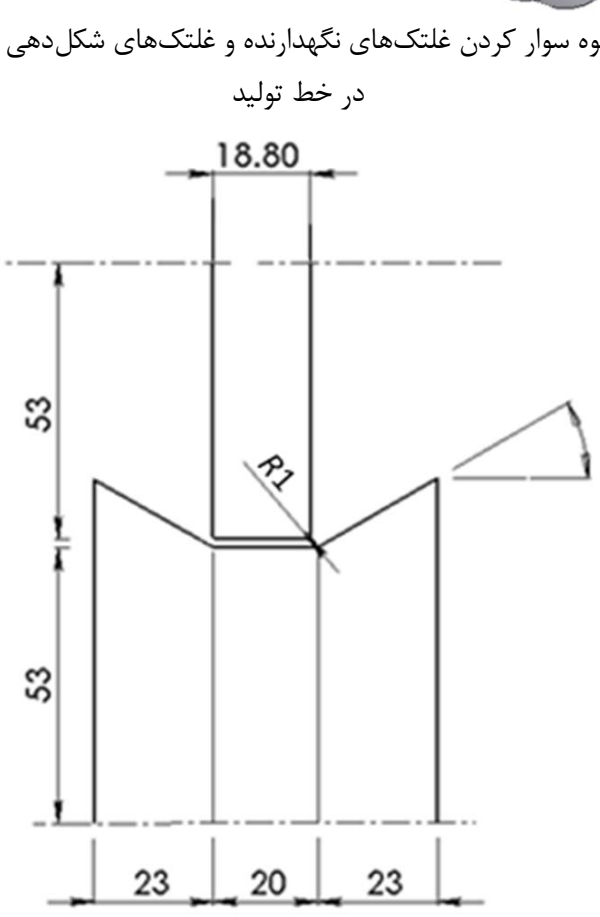
2-2- سوار کردن غلتک‌ها و ورق در خط تولید

از آنجا که فاصله بین ایستگاه‌ها 145 میلی‌متر در نظر گرفته شد، به منظور اینکه ورق باید در هر لحظه حداقل با دو ایستگاه شکل‌دهی درگیر باشد، ورقی به طول 300 میلیمتر مدل شد. غلتک بالایی در ایستگاه‌های شکل‌دهی تخت است و غلتک پایینی در این ایستگاه‌ها دارای پروفیلی زاویه‌دار بوده و در واقع عامل اصلی ایجاد خم بر روی ورق است. فاصله بین غلتک‌ها به اندازه ضخامت ورق در نظر گرفته شد. در شکل 2 نحوه سوار کردن غلتک‌های نگهدارنده و غلتک‌های شکل‌دهی بر روی ورق در خط تولید، چهار ایستگاه از مدل ایجاد شده شامل دو تغذیه کننده و دو ایستگاه شکل‌دهی با زاویه‌های شکل‌دهی مساوی نشان داده شده است.

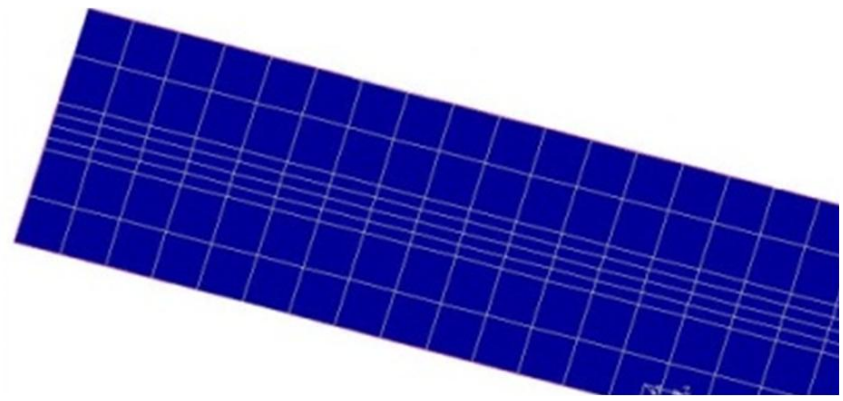
در شکل 3 شمایی از غلتک‌های شکل‌دهی بالا و پایین و اندازه‌های آنها نشان داده شده است.



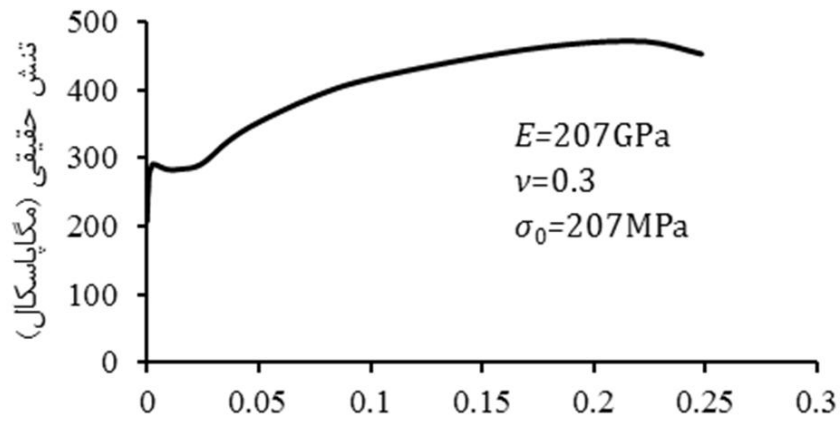
شکل 2 نحوه سوار کردن غلتک‌های نگهدارنده و غلتک‌های شکل‌دهی بر روی ورق در خط تولید



شکل 3 مشخصات غلتک‌های شکل‌دهی



شکل 4 نمایی از ورق شبکه‌بندی شده



شکل 5 منحنی تنش حقیقی-کرنش حقیقی

2-3- مشخصات شبکه‌بندی

با توجه به اینکه از یک سو مقدار تغییرشکل غلتک‌ها ناچیز بوده و از سویی در این مطالعه بررسی تغییرشکل غلتک‌ها مد نظر نبوده است بنابراین غلتک‌ها صلب و ورق شکل‌پذیر در نظر گرفته شد. به دلیل شبیه‌سازی یک فرآیند شکل‌دهی ورقی، ورق از نوع المان پوسته تعریف شد. با توجه به خصوصیات المان پوسته‌ای ضخیم با شماره 75 در نرم‌افزار مارک‌منتات، این نوع المان برای شبکه‌بندی انتخاب شد. در ابتدا شبکه‌بندی با المان‌های درشت با اندازه 10x10 شروع و پس از چند مرحله در نهایت، اندازه المان‌های 4x4 انتخاب شد. نتایج حاصل از شبکه‌بندی با المان‌های ریزتر، از یک سو اختلاف چندانی با نتایج المان‌های مذکور نداشت و از سویی زمان محاسباتی آنها بسیار بیشتر بود. غلتک‌ها به دلیل صلب‌بودن نیازی به شبکه‌بندی نداشتند. از آنجا که در ناحیه خم تغییرشکل زیادی در ورق ایجاد می‌شود المان‌های این ناحیه در راستای عرضی به چهار المان تقسیم شدند. شکل4 نمایی از ورق شبکه‌بندی شده را نشان می‌دهد.

2-4- مشخصات ماده

در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، فرض شد که ماده در تمام جهات خواص همسانگرد از خود نشان دهد. برای تعیین دقیق مقدار گشتاور وارده بر غلتک‌ها، لازم بود تا حالات ارتجاعی و خمیری و نیز رفتار کار سختی ماده در نظر گرفته شود که در این راستا قانون کارسختی همسانگرد مورد استفاده قرار گرفت. نرم‌افزار مارک منتات ناحیه الاستیک را با وارد کردن نسبت پواسون و مدول یانگ می‌شناسد. مقدار نسبت پواسون 0/3 و مدول یانگ 207 گیگا پاسکال در نظر گرفته شده است. برای معرفی ناحیه خمیری، منحنی تنش حقیقی-کرنش حقیقی مطابق شکل 5 به نرم‌افزار داده شد.

2-5- روند انجام شبیه‌سازی

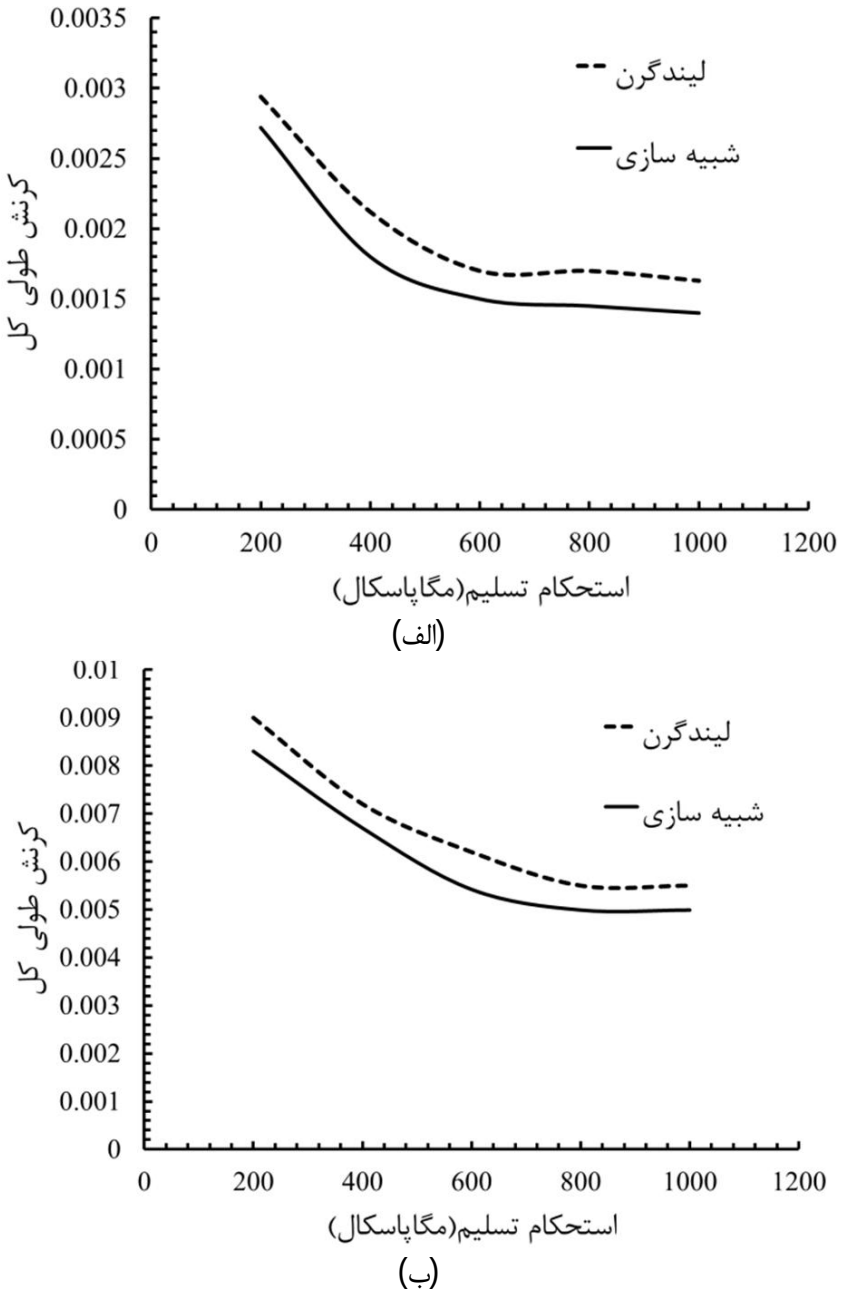
در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، تحلیل‌ها از نوع ارتجاعی-خمیری در نظرگرفته شد. سرعت حرکت ورق در طول خط تولید روی 0/6 متر بر ثانیه تنظیم شد و برای ایجاد کشش در ورق در بین ایستگاه‌ها 0/5 درصد افزایش سرعت در ایستگاه‌های

بعدی اعمال شد. ضریب اصطکاک 0/1 و از قانون اصطکاک کولمب استفاده شد.

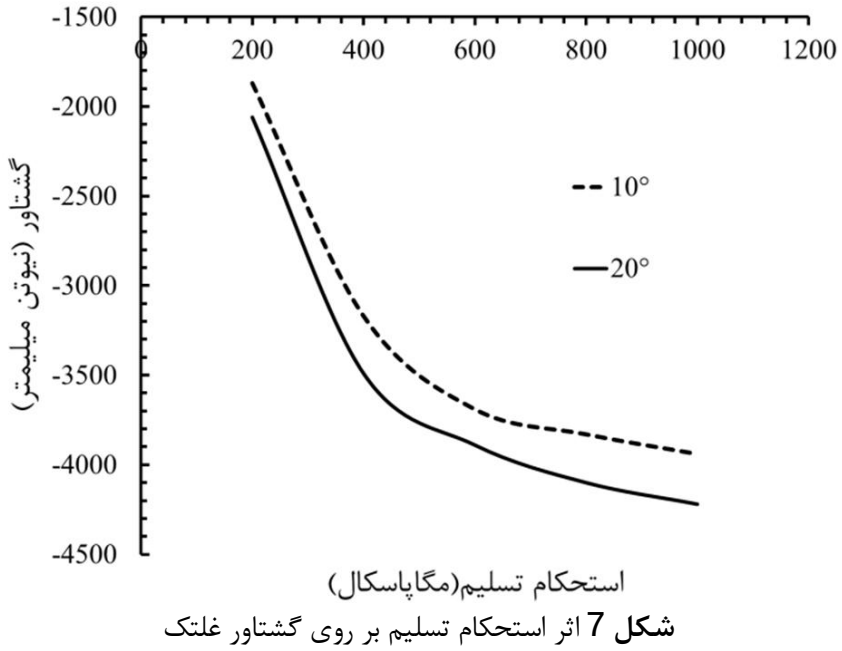
3- نتایج و بحث

3-1- بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی

یکی از کمیت‌های بسیار مهم در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد، کرنش پوسته ای طولی حداکثر است که در لبه ورق اتفاق می‌افتد. برای صحت‌سنجی نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های اجزای محدود، مقایسه‌ای بین نتایج شبیه‌سازی، با داده‌های گزارش شده در [11] انجام شد که در شکل 6(الف و ب) نشان داده شده است.



شکل 6 مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های گزارش‌شده در[11]. کرنش پوسته ای طولی حداکثر برای زاویه (الف)10درجه (ب) 20درجه



شکل 7 اثر استحکام تسلیم بر روی گشتاور غلتک

با توجه به شکل 6، مشاهده می‌شود که با افزایش استحکام تسلیم، کرنش طولی کاهش یافته است.. مقایسه شکل 6 (الف و ب) نشان می‌دهد که با افزایش زاویه شکل‌دهی، مقدار کرنش‌های طولی به شدت زیاد شده است که به دلیل افزایش مقدار شکل‌دهی با توجه به افزایش زاویه خم، این پدیده کاملاً قابل انتظار است. با مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج مرجع [11] برای زاویه شکل‌دهی 10 درجه، حداقل خطا 7/5 درصد و حداکثر خطا 15/1 درصد می‌باشد. همچنین با مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج مرجع [11] برای زاویه شکل‌دهی 20 درجه، حداقل خطا 6/9 درصد و حداکثر خطا 12/6 درصد می‌باشد. به این ترتیب، با توجه به نزدیکی مقادیر حاصل از شبیه‌سازی با داده‌های گزارش شده در [11] می‌توان به جوابهای شبیه‌سازی اجزای محدود اعتماد خوبی داشت.

3-2- اثر استحکام تسلیم بر روی گشتاور غلتک

در این بخش، اثر استحکام تسلیم روی گشتاور وارد بر غلتک‌ها مورد بررسی قرار گرفته است که شکل 7 به این موضوع اشاره دارد.

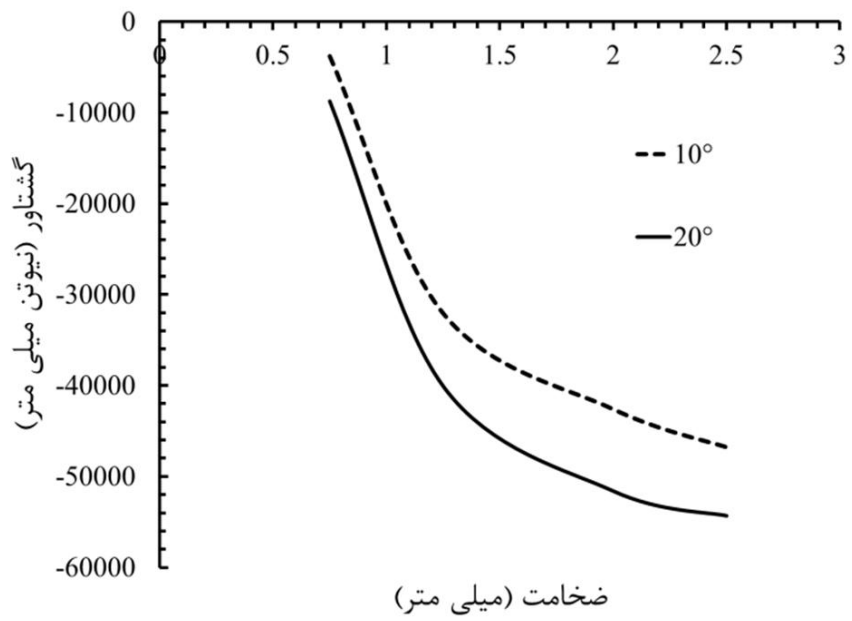
با توجه به شکل 7، افزایش استحکام تسلیم به افزایش گشتاور وارد بر غلتک پایینی منجر شده است. با توجه به نمودارها، در استحکام‌های تسلیم بیشتر از 600 مگاپاسکال، روند افزایش مذکور با شیب ملایم‌تری دنبال شده است. . دلیل منفی بودن مقدار گشتاورهای داده شده در نمودار، ناشی از جهت چرخش غلتک پایینی برای کشیدن ورق به سمت جلو است. مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه شکل‌دهی،گشتاورها با افزایش نسبتاً کمی مواجه شده‌اند.

با توجه به مطالب ذکر شده، افزایش استحکام تسلیم به افزایش گشتاور وارد بر غلتک‌ها می‌انجامد که در نتیجه باید ابزار تولیدی از قبیل جنس غلتک‌ها، محرک غلتک‌ها و یاتاقان‌ها را به گونه‌ای مناسب طراحی و انتخاب نمود.

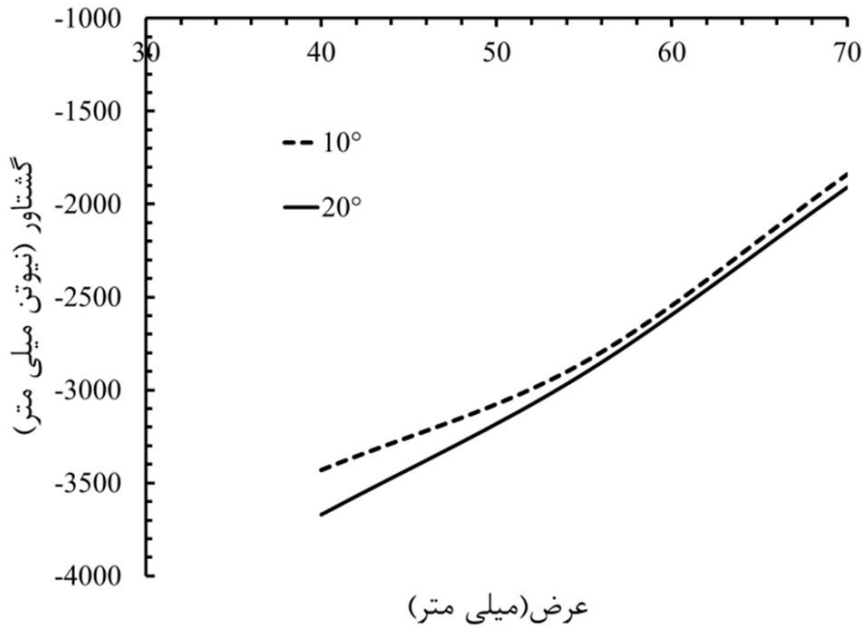
3-3- اثر ضخامت ورق بر روی گشتاور غلتک

در شکل 8 تأثیرافزایش ضخامت محصول تولیدی روی گشتاور وارد بر غلتک‌ها نشان داده شده است.

با توجه به شکل 8 می‌توان گفت که افزایش ضخامت ورق باعث زیاد شدن گشتاور وارد بر غلتک‌ها می‌شود. نکته‌ی قابل‌توجه آن است که افزایش زاویه شکل‌دهی به مقدار قابل‌توجهی،گشتاور را در ضخامت‌های مختلف افزایش داده است. به عبارتی با افزایش ضخامت ورق، گشتاور لازم برای شکل‌دهی در زاویه‌های شکل‌دهی بالاتر با سرعت زیادی رشد کرده است.

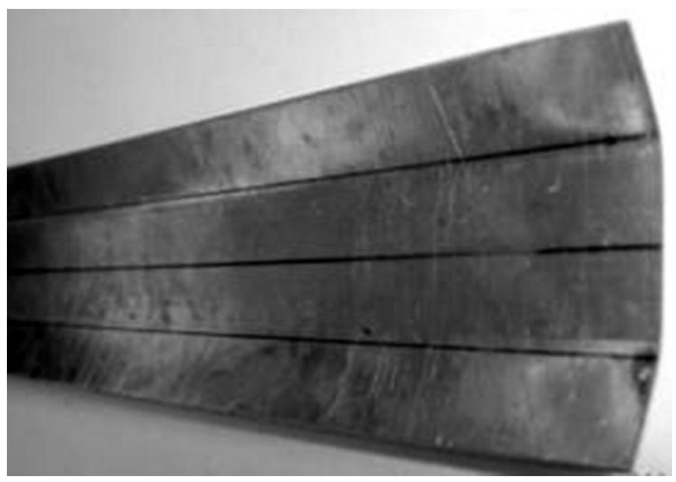


شکل 8 اثر ضخامت ورق بر روی گشتاور غلتک



شکل 9 اثر عرض ورق بر روی گشتاور غلتک

شکل 10 نمایی از دستگاه آزمایشگاهی



شکل 11 نمایی از یک ورق شکل داده شده

3-4- اثر عرض ورق بر روی گشتاور غلتک

در شکل 9 چگونگی تغییرات گشتاور وارد بر غلتک پایین بر اساس تغییرات عرض ورق نشان داده شده است.

در شکل 9 مشاهده می‌شود که افزایش عرض ورق باعث شده است تا گشتاور وارد بر غلتک پایین کاهش یابد. این امر را می‌توان به این صورت توجیه نمود که با زیاد شدن عرض ورق، طول تماس بین غلتک و ورق زیادتر می‌شود. از آنجا که نیروی محرک در امر رانش ورق در طول خط تولید، نیروی اصطکاک مابین ورق و غلتک است با افزایش طول تماس، مقدار این نیرو زیاد شده و ورق راحت‌تر به درون فاصله بین غلتک‌ها کشیده می‌شود. در عین حال از شکل بالا پیداست که تغییرات زاویه شکل‌دهی تأثیر قابل‌توجهی روی گشتاور وارد و بر غلتک‌ها ندارد.

جدول 2 مشخصات ضخامت‌ها و عرض‌های ورق در آزمایش‌های تجربی

شماره نمونه	عرض ورق (میلیمتر)	ضخامت ورق (میلیمتر)
1	40	1/25
2	40	2
3	70	1/25
4	70	2

جدول 3 شدت جریان و توان در آزمایش‌های تجربی

شماره نمونه	شدت‌جریان مؤثر(آمپر)	توان تجربی(وات)
1	1/3	479/1
2	1/7	626/6
3	1/1	405/4
4	1/4	516

جدول 4 توان در شبیه‌سازی اجزای محدود و درصد اختلاف نسبی آن با توان تجربی

شماره نمونه	توان شکل‌دهی در شبیه‌سازی(وات)	درصد اختلاف نسبی با آزمایش تجربی
1	453/47	5/3
2	584/11	6/8
3	366/76	9/5
4	495/81	3/9

4- کار تجربی

برای انجام آزمایش‌های تجربی، از یک دستگاه آزمایشگاهی استفاده شد که در یک ایستگاه، ورق را به اندازه 20 درجه شکل می‌داد. شکل 10 نمایی از این دستگاه را نشان می‌دهد.

در شکل 11 نمایی از محصول تولید شده نشان داده شده است. به منظور بررسی اثر عرض و ضخامت ورق بر روی گشتاور شکل‌دهی، آزمایش‌هایی بر اساس عرض‌ها و ضخامت‌های ارائه‌شده در جدول 2 انجام شد.

در آزمایش‌های عملی، مقدار شدت‌جریان عبوری از موتور سه‌فاز محرک غلتک‌ها به کمک یک مولتی‌متر ثبات اندازه‌گیری شد و شدت‌جریان مؤثر از روی آن محاسبه شد. توان مصرفی از رابطه (1) به دست آمد که در آن P توان مصرفی، $\bar{V}$ ولتاژ سه‌فاز متوسط، I_{eff} شدت‌جریان مؤثر، η بازده موتور و $\text{Cos}(\bar{\varphi}) = 0.7$ از مشخصات موتور محرک (مربوط به اختلاف فاز) است:

$$P = \sqrt{3}\bar{V} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\bar{\varphi}) \cdot \eta \qquad (1)$$

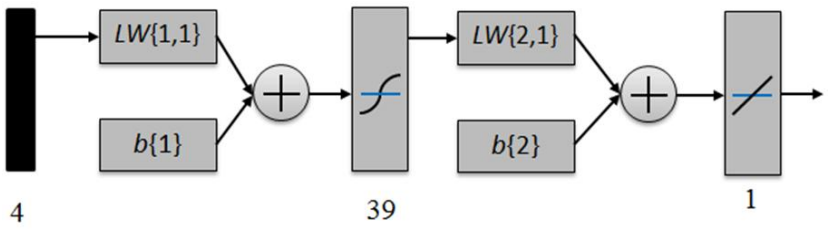
بازده موتور با توجه به شرایط کاری آن 80% و ولتاژ متوسط 380 ولت در نظر گرفته شد. در جدول 3 شدت‌جریان‌های مؤثر اندازه‌گیری‌شده به همراه توان مصرفی متناظر با آنها آورده شده است.

برای محاسبه توان شکل‌دهی در نرم‌افزار اجزای محدود مارک‌منتات می‌توان گشتاور شکل‌دهی را از نرم‌افزار استخراج و با داشتن سرعت دورانی غلتک‌ها، توان شکل‌دهی را با استفاده از رابطه (2) به دست آورد:

$$P = T \cdot \omega \qquad (2)$$

که در رابطه بالا T گشتاور و ω سرعت دورانی غلتک‌ها است. برای نمونه‌های 1 تا 4، توان شکل‌دهی در شبیه‌سازی محاسبه شد که جدول 4 مقدارهای آنها و نیز درصد اختلاف نسبی آنها با توان‌های آزمایش‌های تجربی را نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که درصد اختلاف بسیار کم می‌باشد که این مقدار اختلاف نیز به دلیل استهلاک مکانیکی دستگاه آزمایشگاهی و عوامل بیرونی مانند نوسان جریان برق منطقی به نظر می‌رسد. به این ترتیب مشاهده می‌شود که نتایج کار تجربی، نتیجه‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها را به خوبی تأیید می‌کند.



شکل 12 شبکه عصبی طراحی شده در متلب

جدول 5 نتایج شبیه سازی و پیش بینی شبکه عصبی

ردیف	ضخامت	عرض ورق	استحکام تسلیم	زاویه شکل‌دهی	شبیه سازی گشتاور غلتک	شبکه عصبی گشتاور غلتک
1	0/75	70	800	10	-9228	-9221
2	0/75	70	800	20	-9487	-9474
3	2	40	200	10	-24300	-24405
4	2	40	200	20	-23910	-23805

5- طراحی شبکه پس انتشار خطا وتخمین گشتاور مورد نیاز شکل دهی

شبکه عصبی یک سیستم عملیاتی موازی است که نرون انسان را شبیه سازی می کند. هر نرون همیشه اطلاعات را از نرونهای لایه قبلی دریافت و بعد از محاسبه آنرا به نرونهای لایه بعدی توزیع می کند. به دلیل این ویژگی، شبکه عصبی نیازمند هیچگونه فرضی بین ورودی و خروجی نیست [12]. در بین مدلهای بسیار زیاد شبکه عصبی، شبکه عصبی پس انتشار خطا شناخته شده بوده و بطور وسیعی در عیب یابی و پیش بینی مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله از نرم افزار متلب [13] جهت طراحی شبکه عصبی استفاده شده است. برای تسریع همگرایی شبکه، بطور همزمان از ممنتم و نرخ یادگیری متغیر استفاده شده است. هنگام ساخت شبکه پارامترهای زیادی باید تنظیم گردد. در این مقاله پارامترهای نرخ یادگیری اولیه برابر 0/001 و تعداد لایه های مخفی برابر 1 در نظر گرفته شدند.

از بین 32 مجموعه داده، 28 مجموعه به عنوان داده های آموزشی و 4 مجموعه به عنوان داده های آزمایشی انتخاب شدند. تاثیر تعداد نرون های لایه مخفی، تابع تبدیل لایه مخفی، نسبت کاهش و افزایش نرخ آموزش و ممنتم بر کیفیت آموزش شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. فرآیند آموزش وقتی متوقف می شود که یکی از دو معیار همگرایی حاصل شود، که این دو به صورت زیر هستند:

1- میانگین مجموع مربعات خطا، که کوچکتر از 0/001 باشد.
2- تعداد تکرار، که به 50000 برسد.

کیفیت آموزش توسط میانگین مجموع مربعات خطا تعیین می شود، که بصورت زیر تعریف می شود:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}\left(T_{ij} - P_{ij}\right)^2 \quad (3)$$

پارامترهای در نظر گرفته شده برای پیش بینی گشتاور عبارتند از: استحکام تسلیم، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل‌دهی. بنابراین تعداد الگوهای ورودی، 4 واحد در نظر گرفته می شود. می توان با روش سعی و خطا و تعداد الگوی آموزشی مشخص، تعداد نرون های لایه مخفی را بدست آورد. برای انجام این کار شبکه ای از نوع پس انتشار خطا در محیط مطلب نوشته شد. شبکه با تعداد مختلفی از نرون های لایه مخفی (از 3 واحد تا 40 واحد) و با 28 الگوی آموزشی، آموزش داده شد. با توجه به نتایج بدست آمده در این قسمت اگر تعداد واحدهای لایه مخفی 39 در نظر گرفته شود کیفیت آموزش بهتر خواهد بود. با توجه به اینکه هدف این مقاله پیش‌بینی گشتاور است بنابراین تعداد واحدهای لایه خروجی را 1 واحد در نظر می گیریم. شبکه عصبی طراحی شده در متلب، در شکل 12 نشان داده شده است.

جدول 5 مقایسه بین نتایج شبیه سازی و شبکه عصبی را نشان می دهد.

6- نتیجه‌گیری

از مسائل بسیار مهم در طراحی و بهینه‌سازی فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد، تخمین گشتاور مورد نیاز شکل دهی می باشد. از پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر گشتاور شکل‌دهی، می‌توان به جنس، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل‌دهی اشاره نمود. نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها نشان داد که با افزایش استحکام تسلیم، زاویه شکل‌دهی، ضخامت ورق و کاهش عرض ورق، گشتاور مورد نیاز شکل‌دهی افزایش می‌یابد. به این ترتیب، مهندسین طراح و تولید می‌توانند با در نظر گرفتن تأثیر هر کدام از کمیت‌های مذکور نوع و توان موتورهای محرک را با توجه به گشتاور مورد نیاز برای شکل‌دهی و کمیت‌های مؤثر بر آن مشخص سازند و نسبت به بهینه‌سازی مصرف انرژی اقدام کنند. شبکه عصبی پس انتشار خطا برای پیش بینی گشتاور موردنیاز شکل دهی ایجاد شد، مقایسه بین نتایج شبیه سازی و شبکه عصبی نشان داد که شبکه آموزش داده شده می تواند مقدار گشتاور مورد نیاز شکل دهی را بخوبی پیش بینی نماید.

7- مراجع

[1] P Groche, G. von Breitenbach, M. Jöckel, A. Zettler, New tooling concepts for future roll forming applications.*4th International conference on industrial tools (ITIC)* 2003, 121-126.

[2] J. Senanayake, ., "The application of computation and experimental to metal deformation in cold roll forming", *J., Material processing Technology*,Vol.45,pp.155-163,1994

[3] S.Hong,; S.Lee,; N.Kim,; "A parametric study on forming length in roll forming", *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 113, pp. 774–778, 2001.

[4] Moslemi Naeini, H., *"Study on Design Method of Rolls for Reshaping of Non-Circular Pipes",* Ph.D. thesis, University of Tokyo, Japan (In Japanese), 2000.

[5] M.Tajdari,; "*Analysis of Cold roll forming Process for Production of Symmetrical Open Sections*", PhD Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, 1377. (In Persian)

[6] Farzin, M., Salmani Tehrani, M. and Shameli, E., "Determination of Buckling Limit of Strain in Cold Roll Forming by the Finite Element Analysis", *Journal of Materials Processing Technology,* vol. 125-126, pp. 626-632, 2002.

[7] M.Lindgren,; "Cold roll forming of a U-channel made of high strength steel", *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 186, pp. 77–81, 2007.

[8] M.Lindgren, "Experimental investigations of the roll load and roll torque when high strength steel is roll formed", *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 191, pp. 44–47, 2007.

[9] J. S.Gunasekera, , Z.Jia, , J. C.Malas, , L.Rabelo, "*Development of a neural network for a cold rolling process",* Vol. 11, pp. 597-603, June, 1998

[10] J. Wu. X. Wang, P. F Thomson, A. Flitman, "A neural network approach to investigating the geometrical influence on wrinkling in sheet metal forming", *J. materials processing technology,* Vol. 105, pp. 215-220, 2000.

[11] M.Lindgren,; "An improved model for the longitudinal peak strain in the flange of a roll formed U-channel developed by FE-analyses", *steel research int*. 78, No. 1, 2007.

[12] R. A. Jacobs, *Neural Networks,* 1(4), 295(1988).

[13] *Matlab User Manual, Version (R2012a),* The Math Work Inc., 2012.