



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

یعقوب دادگر اصل<sup>1</sup>، مهدی تاجداری<sup>2</sup>، حسن مسلمی نائینی<sup>3\*</sup>، بهنام داودی<sup>4</sup>، روح اله عزیزی تفتی<sup>5</sup>، ولی اله پناهی زاده<sup>6</sup>

- 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

### چکیده

یکی از مسائل بسیار مهم در بررسی فرآیند شکل دهی غلتکی سرد فلزات، برآورد گشتاور مورد نیاز شکل دهی می باشد. با دانستن عوامل تأثیر گذار روی گشتاور، می توان بهینه ترین خط تولید را طراحی نمود. از پارامترهای اساسی تأثیر گذار بر گشتاور مورد نیاز در شکل دهی غلتکی سرد می توان به جنس، ضخامت ورق، زاویه شکل دهی، 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 تأثیر گذار روی گشتاور شامل، استحکام تسلیم، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل دهی، با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد. بدین منظور فرآیند شکل دهی به صورت سه بعدی در نرم افزار اجزای محدود مارکمنتات شبیه سازی شد. نتایج شبیه سازی ها نشان داد که با افزایش استحکام تسلیم، زاویه شکل دهی و ضخامت، گشتاور وارد شده به غلتکها زیاد می شود. همچنین افزایش عرض ورق با فرض ثابت بودن طول ناحیه کف، باعث کاهش گشتاور مورد نیاز برای شکل دهی می شود. طی یک سری آزمایش های تجربی تأثیر ضخامت و عرض ورق مورد بررسی قرار گرفت که داده های حاصل، نتایج شبیه سازی های اجزای محدود را به خوبی تأیید نمود. شبکه عصبی پس انتشار خطا با یک لایه مخفی برای پیش بینی گشتاور مورد نیاز 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.

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل  
دریافت: 06 دی 1393  
پذیرش: 27 اردیبهشت 1394  
ارائه در سایت: 12 خرداد 1394  
کلید واژگان:  
شکل دهی غلتکی سرد  
گشتاور  
شبکه های عصبی مصنوعی  
شبیه سازی اجزای محدود

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

Yaghoub Dadgar Asl<sup>1</sup>, Mehdi Tajdari<sup>2</sup>, Hasan Moslemi Naeini<sup>3\*</sup>, Behnam Davoodi<sup>4</sup>,  
Roohollah Azizi Tafti<sup>5</sup>, Valiollah Panahizadeh<sup>6</sup>

- 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:

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)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

## 1- مقدمه

مورد نیاز شکل دهی با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار روی گشتاور شامل ضخامت، استحکام تسلیم، عرض ورق و زاویه شکل دهی، شبکه عصبی سه لایه پس انتشار خطا (دارای یک لایه مخفی) با کاربرد نتایج شبیه سازی جهت پیش بینی گشتاور ایجاد شد. پارامترهای استحکام تسلیم، زاویه شکل دهی، ضخامت و عرض ورق، به عنوان ورودی های شبکه و گشتاور شکل دهی به عنوان خروجی شبکه در نظر 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 محدودیت هایی از لحاظ تعداد فاکتورها وسطوح آن مواجه است، انتخاب طرحی متناسب با آزمایش، از حالات از پیش تعیین شده معیار تاگوچی، بر عهده طراح می باشد. نهایتاً طرحی شامل 32 آزمایش برای 4 فاکتور به صورت فاکتورهای بترتیب 2، 3، 5 و 4 سطحی انتخاب شد که در جدول 1 نشان داده شده است. بعد از اجرای شبیه سازی ها نتایج توسط نرم افزار مینیتب به روش آنالیز واریانس تحلیل شد و نتیجه شبیه سازی برای تمام سطوح فاکتورها تخمین زده شد.

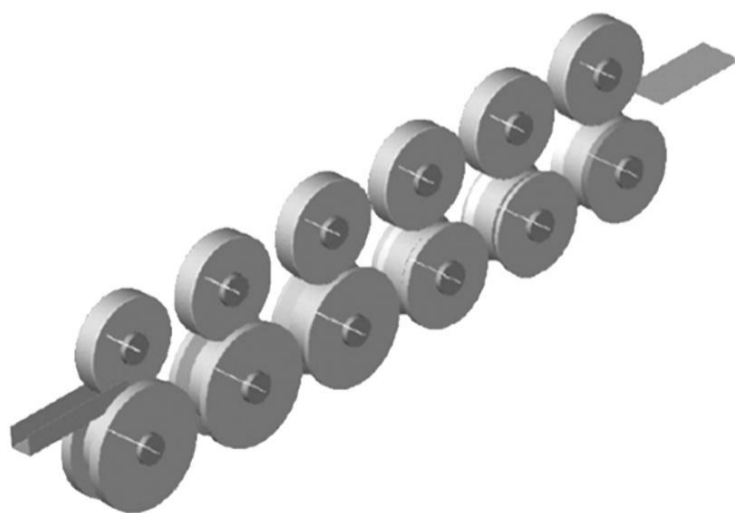
به منظور بررسی اثر استحکام تسلیم، زاویه خم، ضخامت و عرض ورق، روی گشتاور شکل دهی شبیه سازی های متعددی انجام شد که در ادامه روند مدل سازی و انجام شبیه سازی ها بطور مفصل بیان شده است.

## 2-1- مدل سازی فرآیند

جدول 1 زوایای خم، استحکام های تسلیم، ضخامت ها و عرض های ورق و استفاده شده در شبیه سازی های مختلف را نشان می دهد. مدل شامل چهار ایستگاه است که دو ایستگاه اول برای تغذیه ورق به ایستگاه های شکل دهی استفاده می شوند و دو ایستگاه بعد با زاویه های مساوی ورق را شکل می دهند. از آنجا که زاویه شکل دهی در ایستگاه بعدی روی گشتاور وارد بر غلتک ها در ایستگاه مورد نظر اثر می گذارد، به منظور رفع این تأثیر و نیز تعیین اثر واقعی زاویه شکل دهی هر ایستگاه بر روی گشتاور در آن ایستگاه، زاویه دو ایستگاه شکل دهی مساوی در نظر گرفته شد تا ایستگاه دوم عملاً تغییرشکلی روی ورق اعمال نکند.

جدول 1 مشخصات استحکام های تسلیم، ضخامت ها و عرض های ورق و زوایای خم در شبیه سازی های مختلف

سطح	پارامتر
10 و 20	زاویه شکل دهی (درجه)
40، 55 و 70	عرض ورق (میلی متر)
200، 400، 600 و 1000	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)
0/75، 1/25، 2 و 2/5	ضخامت ورق (میلی متر)



شکل 1 شمایی از فرآیند شکل دهی غلتکی سرد [1]

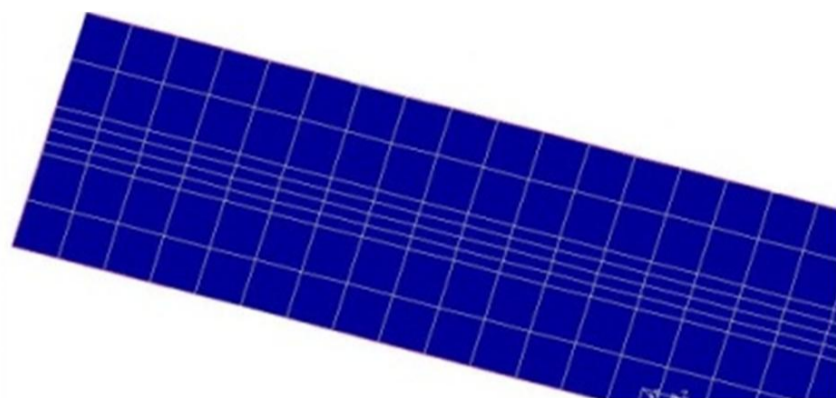
شکل دهی غلتکی سرد یکی از روشهای رایج و پر بازده در صنعت شکل دهی ورقی فلزات می باشد. این فرآیند شامل چند مرحله شکل دهی فلز به صورت پیوسته و متوالی است که در هر مرحله با اعمال مقدار مشخصی شکل دهی، ورق به محصول نهایی نزدیک می شود. در شکل 1 شمایی از فرآیند شکل دهی غلتکی سرد نشان داده شده است. یکی از مسائل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

سنانایاک و همکاران [2] با استفاده از نرم افزار مارکمنتات به تحلیل مقطع کانالی شکل متقارن پرداختند و به کمک این نرم افزار، مقاطع ساده را مدلسازی کردند. هونگ و همکارانش [3] با ارائه یک برنامه شبیه سازی اجزای محدود صلب-خمیری سه بعدی و با در نظر گرفتن مشخصه های جنس و ضخامت ورق، قطر و سرعت غلتک ها و رفتار تغییرشکل ماده، طول تغییرشکل را تخمین زدند. مسلمی نائینی [4] با ترکیب روش های اجزای محدود و تفاضل محدود، روش جدیدی در شبیه سازی عددی برای تحلیل دو بعدی تغییرشکل ارتجاعی-خمیری لوله در فرآیند شکل دهی مجدد لوله های گرد به مقاطع غیرگرد ارائه کرد. تاجداری [5] شکل دهی 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 به نام حد کرنش کمانشی<sup>1</sup> مبتنی بر تحلیل اجزای محدود فرآیند شکل دهی 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 می یابد. وی همچنین [8] نیروها و گشتاورهای وارد بر غلتک ها را بررسی و با یک سری آزمایش های تجربی، نیروها و گشتاورهای وارد بر غلتک ها 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 شکل دهی فلزات، گاناسکرا و همکارانش [9] یک مدل شبکه عصبی مصنوعی را برای فرآیند نورد سرد توسعه دادند. شبکه عصبی آنها پس انتشار بود که برای آموزش آن، یک مدل ریاضی غیرخطی بر اساس روش قاجی ایجاد کردند.

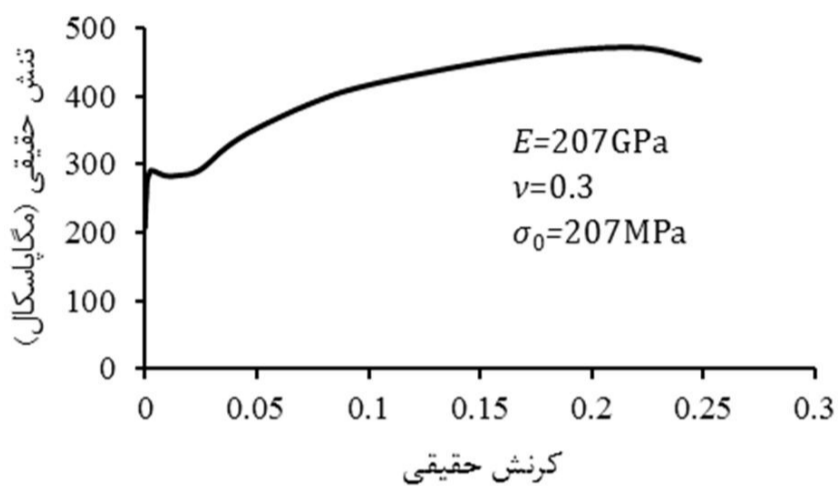
وانگ و همکارانش [10] با استفاده از شبکه های عصبی روی تأثیر کمیت های هندسی بر روی چروکیدگی در شکل دهی ورقی فلزات بحث کردند و چروکیدگی را پیش بینی نمودند. شبکه ی مورد استفاده ی آنها پیش خور پس انتشار بود.

با توجه به این که در کارهای انجام شده، تأثیر پارامترهایی چون ضخامت و عرض ورق بر روی گشتاور شکل دهی بررسی نشده است، در این مقاله، با استفاده از نرم افزار مارکمنتات، فرآیند تولید مقطع کانالی بصورت سه بعدی شبیه سازی شد و تأثیر پارامترهای استحکام تسلیم، زاویه شکل دهی، ضخامت و عرض ورق بر روی گشتاور شکل دهی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین در یک سری آزمایش های تجربی، صحت نتایج شبیه سازی ها بررسی و مطابقت بسیار خوبی مشاهده شد. در این مطالعه به منظور پیش بینی مقدار گشتاور

1- Buckling limit of strain



شکل 4 نمایشی از ورق شبکه بندی شده



شکل 5 منحنی تنش حقیقی-کرنش حقیقی

### 2-3- مشخصات شبکه بندی

با توجه به اینکه از یک سو مقدار تغییر شکل غلتکها ناچیز بوده و از سویی در این مطالعه بررسی تغییر شکل غلتکها مد نظر نبوده است بنابراین غلتکها صلب و ورق شکل پذیر در نظر گرفته شد. به دلیل شبیه سازی یک فرآیند شکل دهی ورق، ورق از نوع المان پوسته تعریف شد. با توجه به خصوصیات المان پوسته ای ضخیم با شماره 75 در نرم افزار مارکمنتات، این نوع المان برای شبکه بندی انتخاب شد. در ابتدا شبکه بندی با المانهای درشت با اندازه  $10 \times 10$  شروع و پس از چند مرحله در نهایت، اندازه المانهای  $4 \times 4$  انتخاب شد. نتایج حاصل از شبکه بندی 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 صلب بودن نیازی به شبکه بندی نداشتند. از آنجا که در ناحیه خم تغییر شکل زیادی در ورق ایجاد می شود المانهای این ناحیه در راستای عرضی به چهار المان تقسیم شدند. شکل 4 نمایشی از ورق شبکه بندی شده را نشان می دهد.

### 2-4- مشخصات ماده

در شبیه سازی های انجام شده، 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 کار سختی همسانگرد مورد استفاده قرار گرفت. نرم افزار مارک منتات ناحیه الاستیک را با وارد کردن نسبت پواسون و مدول یانگ می شناسد. 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 نرم افزار داده شد.

### 2-5- روند انجام شبیه سازی

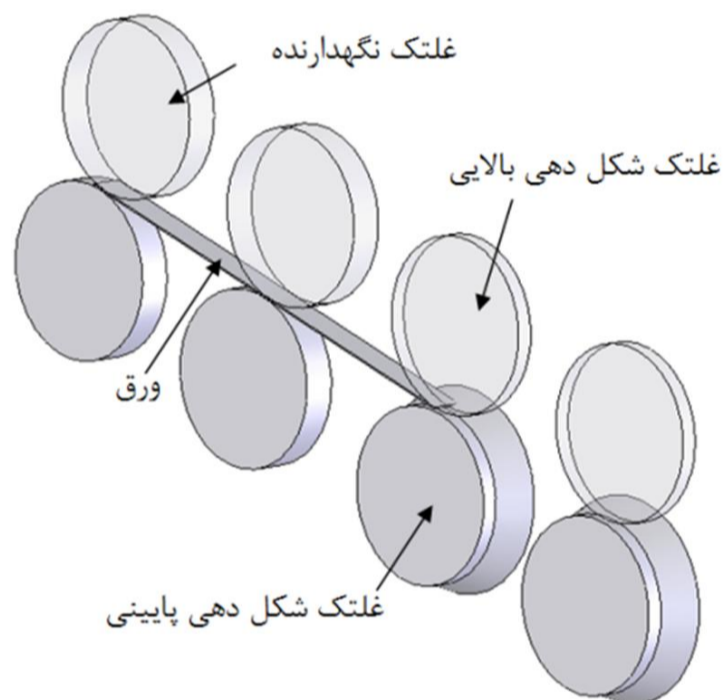
در شبیه سازی های انجام شده، تحلیل ها از نوع ارتجاعی خمیری در نظر گرفته شد. سرعت حرکت ورق در طول خط تولید روی  $0/6$  متر بر ثانیه تنظیم شد و برای ایجاد کشش در ورق در بین ایستگاهها  $0/5$  درصد افزایش سرعت در ایستگاههای

غلتکها در نرم افزار کتیا مدل، با پسوند (آی جی اس) ذخیره و به نرم افزار مارک منتات انتقال داده شدند. مقطع کانالی شکل مورد بحث در این مطالعه دارای یک صفحه تقارن می باشد که از خط مرکزی آن می گذرد بنابراین با توجه به تقارن مذکور، نیمی از آن مدل شد.

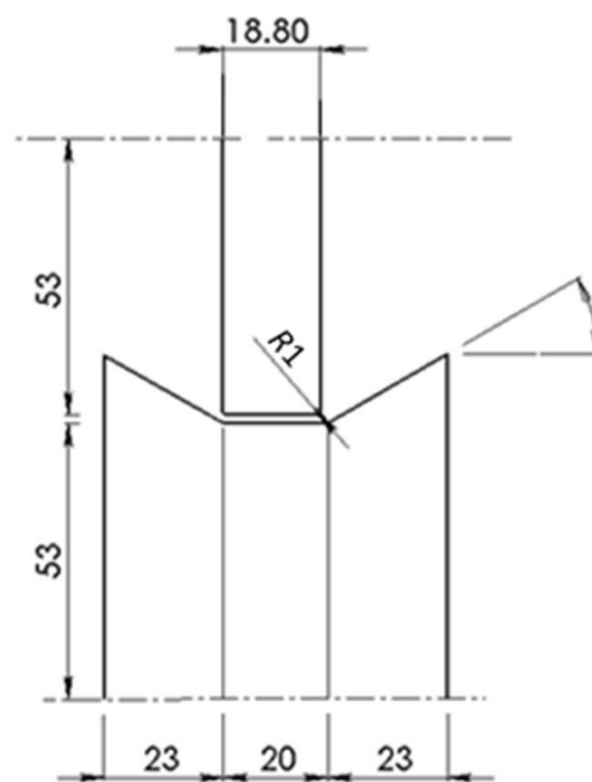
### 2-2- سوار کردن غلتکها و ورق در خط تولید

از آنجا که فاصله بین ایستگاهها 145 میلی متر در نظر گرفته شد، به منظور اینکه ورق باید در هر لحظه حداقل با دو ایستگاه شکل دهی درگیر باشد، ورقی به طول 300 میلی متر مدل شد. غلتک بالایی در ایستگاههای شکل دهی تخت است و غلتک پایینی در این ایستگاهها دارای پروفیلی زاویه دار 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 شکل دهی بر روی ورق در خط تولید، چهار ایستگاه از مدل ایجاد شده شامل دو تغذیه کننده و دو ایستگاه شکل دهی با زاویه های شکل دهی مساوی نشان داده شده است.

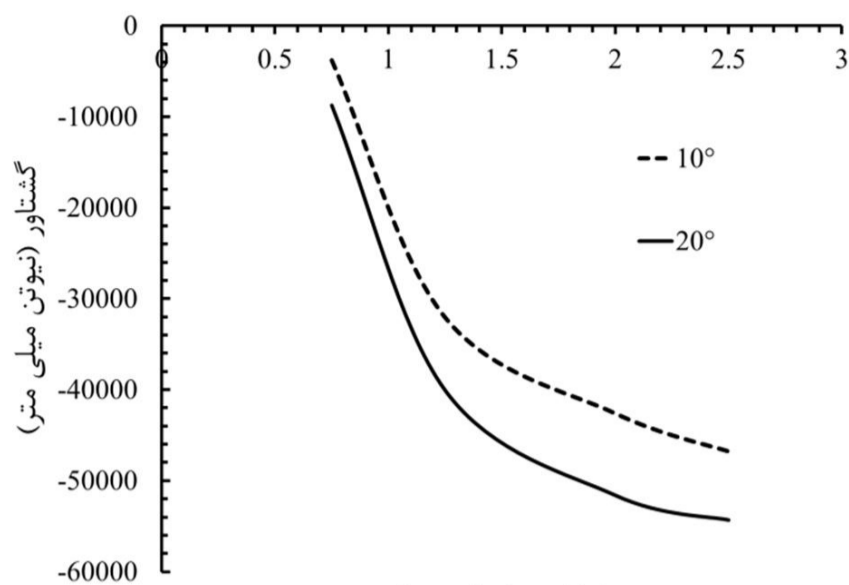
در شکل 3 شمایی از غلتکهای شکل دهی بالا و پایین و اندازه های آنها نشان داده شده است.



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



شکل 3 مشخصات غلتکهای شکل دهی



شکل 8 اثر ضخامت ورق 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 شبیه‌سازی 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 شبیه‌سازی 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 تأثیر افزایش ضخامت محصول تولیدی روی گشتاور وارد بر غلتک‌ها نشان داده شده است.

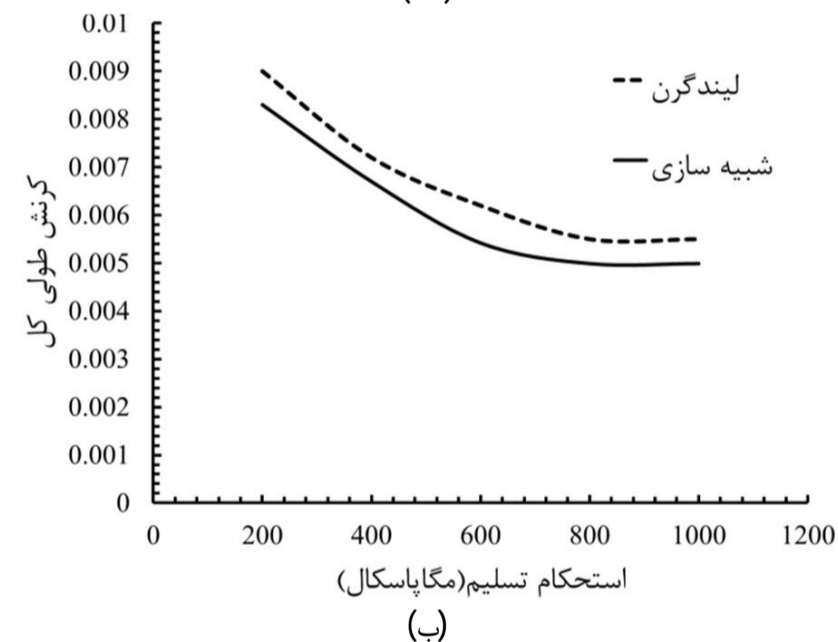
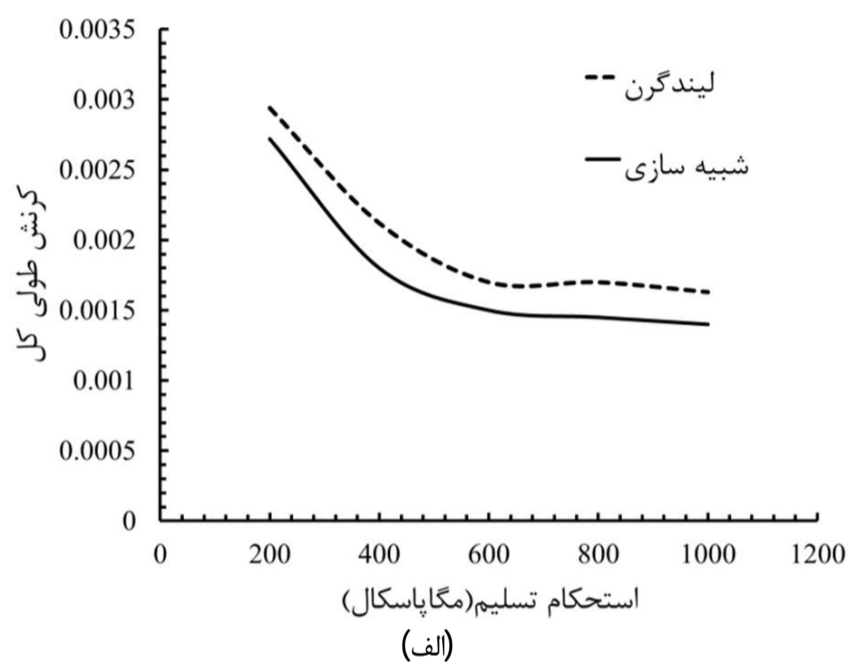
با توجه به شکل 8 می‌توان گفت که افزایش ضخامت ورق باعث زیاد شدن گشتاور وارد بر غلتک‌ها می‌شود. نکته‌ی قابل توجه آن است که افزایش زاویه شکل‌دهی به مقدار قابل توجهی، گشتاور را در ضخامت‌های مختلف افزایش داده است. به عبارتی با افزایش ضخامت ورق، گشتاور لازم برای شکل‌دهی در زاویه‌های شکل‌دهی بالاتر با سرعت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

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

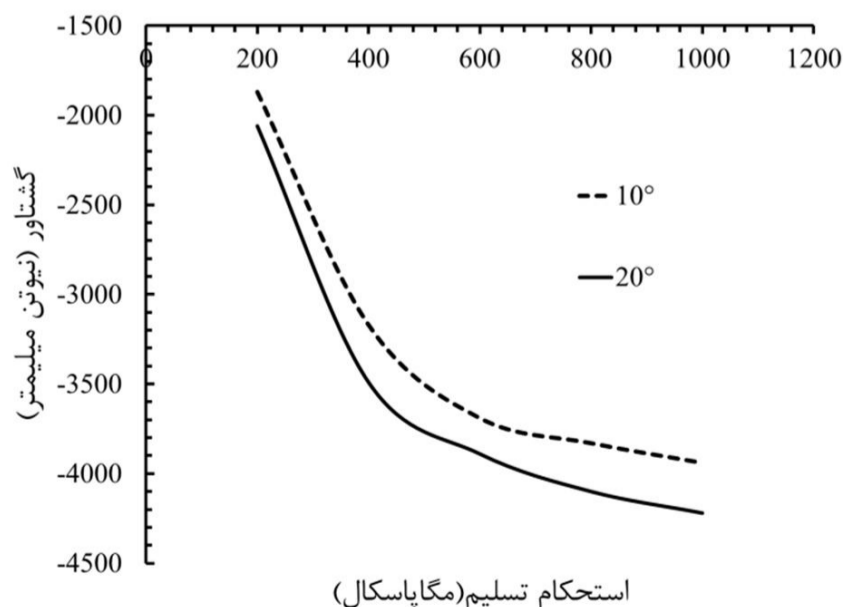
## 3- نتایج و بحث

### 3-1- بررسی صحت نتایج شبیه‌سازی

یکی از کمیت‌های بسیار مهم در فرآیند شکل‌دهی غلتکی سرد، کرنش پوسته‌ای 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 گزارش شده در [11]. کرنش پوسته‌ای طولی حداکثر برای زاویه (الف) 10 درجه (ب) 20 درجه



شکل 7 اثر استحکام تسلیم بر روی گشتاور غلتک

جدول 2 مشخصات ضخامت ها و عرض های ورق در آزمایش های 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 آزمایش های تجربی

شماره نمونه	شدت جریان 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 شبیه سازی اجزای محدود و درصد اختلاف نسبی آن با توان تجربی

شماره نمونه	توان شکل دهی در شبیه سازی (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 آزمایش های تجربی، از یک دستگاه آزمایشگاهی استفاده شد که در یک ایستگاه، ورق را به اندازه 20 درجه شکل می داد. شکل 10 نمایی از این دستگاه را نشان می دهد.

در شکل 11 نمایی از محصول تولید شده نشان داده شده است. به منظور بررسی اثر عرض و ضخامت ورق بر روی گشتاور شکل دهی، آزمایش هایی بر اساس عرض ها و ضخامت های ارائه شده در جدول 2 انجام شد.

در آزمایش های عملی، مقدار شدت جریان عبوری از موتور سه فاز محرک غلتک ها به کمک یک مولتی متر ثابت اندازه گیری شد و شدت جریان مؤثر از روی آن محاسبه شد. توان مصرفی از رابطه (1) به دست آمد که در آن  $P$  توان مصرفی،  $\bar{V}$  ولتاژ سه فاز متوسط،  $I_{eff}$  شدت جریان مؤثر،  $\eta$  بازده موتور و  $\cos(\varphi) = 0.7$  از مشخصات موتور محرک (مربوط به اختلاف فاز) است:

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

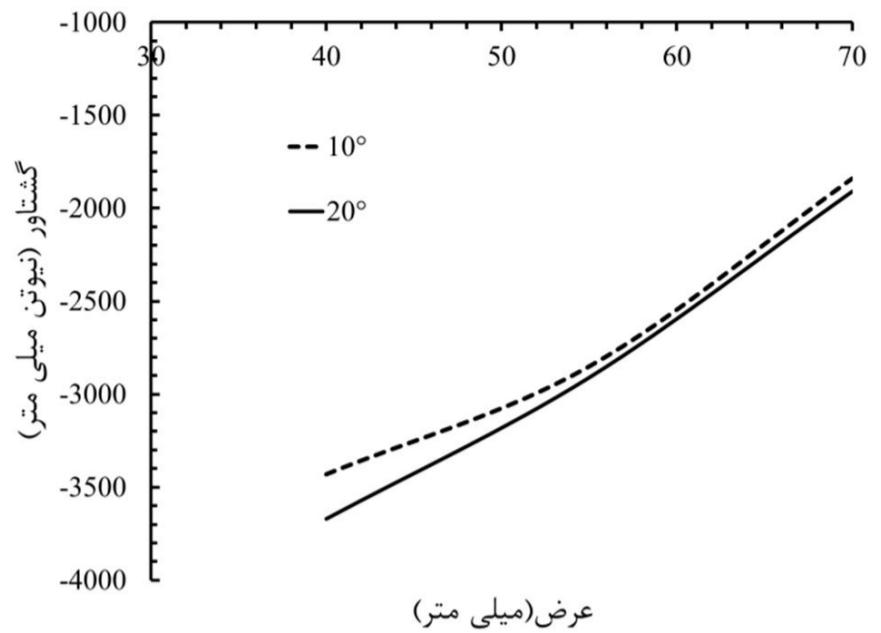
بازده موتور با توجه به شرایط کاری آن 80% و ولتاژ متوسط 380 ولت در نظر گرفته شد. در جدول 3 شدت جریان های مؤثر اندازه گیری شده به همراه توان مصرفی متناظر با آنها آورده شده است.

برای محاسبه توان شکل دهی در نرم افزار اجزای محدود مارکمنت می توان گشتاور شکل دهی را از نرم افزار استخراج و با داشتن سرعت دورانی غلتک ها، توان شکل دهی را با استفاده از رابطه (2) به دست آورد:

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

که در رابطه بالا  $T$  گشتاور و  $\omega$  سرعت دورانی غلتک ها است. برای نمونه های 1 تا 4، توان شکل دهی در شبیه سازی محاسبه شد که جدول 4 مقادیر آنها و نیز درصد اختلاف نسبی آنها با توان های آزمایش های تجربی را نشان می دهد.

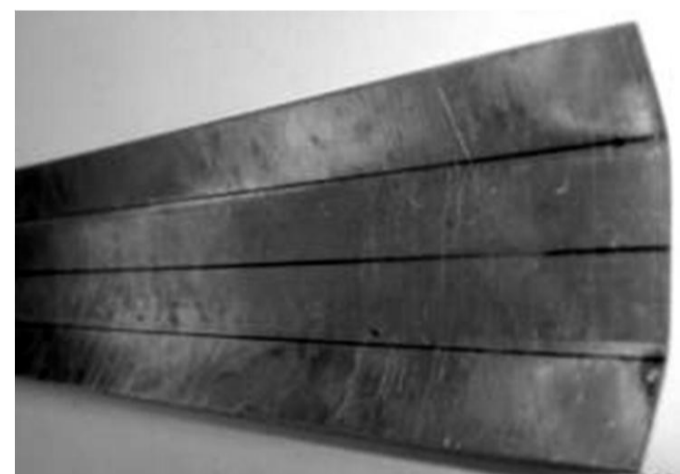
مشاهده می شود که درصد اختلاف بسیار کم می باشد که این مقدار اختلاف نیز به دلیل استهلاک مکانیکی دستگاه آزمایشگاهی و عوامل بیرونی مانند نوسان جریان برق منطقی به نظر می رسد. به این ترتیب مشاهده می شود که نتایج کار تجربی، نتیجه های به دست آمده از شبیه سازی ها را به خوبی تأیید می کند.



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 می شود که افزایش عرض ورق باعث شده است تا گشتاور وارد بر غلتک پایین کاهش یابد. این امر را می توان به این صورت توجیه نمود که با زیاد شدن عرض ورق، طول تماس بین غلتک و ورق زیادتر می شود. 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 راحت تر به درون فاصله بین غلتک ها کشیده می شود. در عین حال از شکل بالا پیداست که تغییرات زاویه شکل دهی تأثیر قابل توجهی روی گشتاور وارد و بر غلتک ها ندارد.

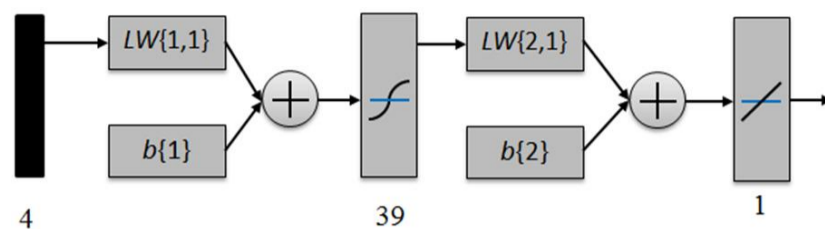
بهبتر خواهد بود. با توجه به اینکه هدف این مقاله پیش بینی گشتاور است بنابراین تعداد واحدهای لایه خروجی را 1 واحد در نظر می گیریم. شبکه عصبی طراحی شده در متلب، در شکل 12 نشان داده شده است. جدول 5 مقایسه بین نتایج شبیه سازی و شبکه عصبی را نشان می دهد.

### 6- نتیجه گیری

از مسائل بسیار مهم در طراحی و بهینه سازی فرآیند شکل دهی غلتکی سرد، تخمین گشتاور مورد نیاز شکل دهی می باشد. از پارامترهای اساسی تأثیرگذار بر گشتاور شکل دهی، می توان به جنس، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل دهی اشاره نمود. نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها نشان داد که با افزایش استحکام تسلیم، زاویه شکل دهی، ضخامت ورق و کاهش عرض ورق، گشتاور مورد نیاز شکل دهی افزایش می یابد. به این ترتیب، مهندسیین طراح و تولید می توانند با در نظر گرفتن تأثیر هر کدام از کمیت های مذکور نوع و توان موتورهای محرک را با توجه به گشتاور مورد نیاز برای شکل دهی و کمیت های مؤثر بر آن مشخص سازند و نسبت به بهینه سازی مصرف انرژی اقدام کنند. شبکه عصبی پس انتشار خطا برای پیش بینی گشتاور مورد نیاز 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.



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 شکل دهی	شبیه سازی گشتاور غلتک	شبکه عصبی گشتاور غلتک
1	70	800	-9228	-9221
2	70	800	-9487	-9474
3	40	200	-24300	-24405
4	40	200	-23910	-23805

### 5- طراحی شبکه پس انتشار خطا و تخمین 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 مدل های 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:

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

پارامترهای در نظر گرفته شده برای پیش بینی گشتاور عبارتند از: استحکام تسلیم، ضخامت و عرض ورق و زاویه شکل دهی. 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