مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس- مکانیک
شمارهٔ ۳۹، بهار ۱۳۸۹

# بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر در برش دقیق با استفاده از روش المان محدود و شبکهٔ عصبی مصنوعی

**عباس پیرقلی[۱]، سید محمد ابراهیم درخشانی[۲]، کارن ابری نیا[۳]، فرامرز جوانرودی[۴*]**

۱- کارشناس ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- کارشناس ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران

۴- استادیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

***تهران، صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۶۵**

**f.roodi@ic.ac.uk**

(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸٦، پذیرش مقاله: مهر ۱۳۸۷)

**چکیده-** یکی از فرایندهای اقتصادی برای تولید قطعه در شکل‌دهی فلزها، برش دقیق است که در آن، دقت و کیفیت قطعات بسیار بیشتر از روش معمولی است. در برش دقیق قطعهٔ کار بین سه نیرو قرار می‌گیرد که عبارتند از: نیروی سنبه، نیروی ورقگیر (رینگV شکل) و نیروی سنبهٔ مخالف. در این مقاله، با مدل‌سازی برش دقیق، پس از اعتبارسنجی نتایج اولیه، به بررسی عوامل مؤثر بر فرایند پرداخته می‌شود. افزایش ارتفاع v-رینگ و نیروی ورقگیر و سنبهٔ مخالف، باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک و افزایش عمق برش می‌شود. در همین حال این عوامل باعث افزایش تنش شعاعی و فشار روی ابزار و لذا باعث تسریع فرسایش قالب می‌شود. به‌کارگیری v-رینگ در ماتریس، اثر بسیار مثبتی بر افزایش دقت و کیفیت قطعه و افزایش عمر قالب دارد. در ادامه با استفاده از بخشی از نتایج به‌دست آمده در روش المان محدود، این فرایند به‌روش شبکهٔ عصبی مصنوعی نیز شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از روش المان محدود و شبکهٔ عصبی، این دو روش، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی اثر عوامل مختلف در برش دقیق است.

**کلید واژه‌گان:** برش دقیق، منطقهٔ شعاعی، V- رینگ، تنش هیدرواستاتیک، المان محدود، شبکهٔ عصبی مصنوعی.

## ۱- مقدمه

بخش بزرگی از قطعات صنعتی در صنایع مختلف، به‌صورت برش خورده استفاده می‌شود یا برش‌کاری یکی از مراحل اصلی تولید این قطعات است.

به‌همین دلیل درک فرایند برش در فلزها و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کیفیت، تأثیر به‌سزایی داشته باشد. یکی از روشهای دقیق در زمینهٔ شکلدهی فلزها- که معمولاً به عملیات بعدی نیاز ندارد -



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

برش توسط پرسهای مجهز و قالبهای دقیق است. برای اولین بار در سال ۱۹۲۳ در سوئیس استفاده از ورقگیر با رینگِV- شکل در فرایند برش ورق به‌منظور مهار ورق وکنترل جریان مواد مطرح شد. به‌تدریج و با انجام مطالعات بیشتر و بهبود تجهیزات، این فرایند به‌عنوان فناوری برش دقیق عرضه شد. در برش دقیق با استفاده از نیروی ورقگیرِ v- رینگ و سنبهٔ مخالف، قطعه کار تحت فشار هیدرواستاتیک بالا قرار می‌گیرد و حاصل کار، قطعه‌ای بسیار دقیق‌تر از حالت معمولی است. در این روش پلیسه و منطقهٔ شکست بسیار کاهش یافته و حتی حذف شود. دقت ابعادی قالب بسیار خوب بوده و پرس‌های مورد نیاز نیز از نوع سه مرحله‌ایِ هیدرولیکی بوده و ترتیب و زمان عمل اجزایِ قالب، به‌طور دقیق و در قالبهای پیچیده با سیستم هیدرولیکیِ CNC تنظیم و کنترل می‌شود.

تفاوتهایی اساسی بین این دو فرایند وجود دارد که می‌توانیم به موارد زیر اشاره کنیم:

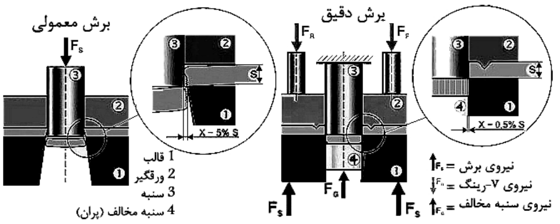
– در برش دقیق مقدار فاصلهٔ آزاد[1]بین سنبه و ماتریس به ۰/۱ مقدار این فاصله به‌روش برش معمولی می‌رسد، یعنی ۱٪ - ۰/۵٪ ضخامت ورق، که برای جلوگیری از آسیب دیدن قالب، سنبه نباید به ماتریس وارد شود.

–سرعت سنبه نسبت به‌روش معمولی بسیار کمتر است (5-15mm/s). در نتیجه با کاهش ضربهٔ وارد شده به قالب نسبت به‌روش معمولی، می‌توان ضخامت‌های بیشتری را بسته به قدرت پرس، ابعاد و جنس قطعه، برش زد این مقدار برای فولادبه 20mm می‌رسد.

– به‌دلیل دقت بالای ابزار و قالب در این روش، دقت لبه‌ها و سطح برش در روش دقیق بسیار بالاتر و تا ۱۰ برابر روش معمولی است و نسبت به‌روش معمولی دیرتر دچار تغییر می‌شود (تکرارپذیری بالا).

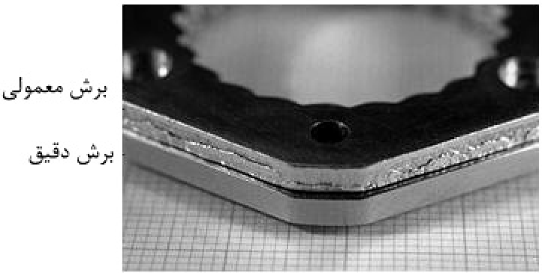
– بر خلاف برش معمولی، لبهٔ برشی قالب تیز نبوده و جهت اکسترود بهتر ورق، دارای شعاع است.

اساس فرایند برش دقیق[2] برای مقایسه با برش معمولی در شکل (۱) دیده می‌شود. با توجه به شکل در برش دقیق قطعهٔ کار بین سه نیرو قرار می‌گیرد که عبارتند از: نیروی سنبه، نیروی ورقگیر (رینگV شکل) و نیروی سنبهٔ مخالف.




**شکل ۱** اساس فرایند برش دقیق در مقایسه با برش معمولی

در شکل (۲) قطعه تولید شده به‌روش برش دقیق با قطعهٔ تولید شده به‌روش برش معمولی مقایسه شده است.




**شکل۲** قطعه تولید شده به‌روش برش دقیق و برش معمولی

Klocke و Raedt برای کاهش اصطکاک و سایش ابزار از پوشش سرامیکی به‌روش CVD[3] بر روی سطح ابزار استفاده کرده‌اند. در برشدقیق به‌دلیل سرعت پایین سنبه و کاهش ضربه می‌توان از این نوع پوششها در ابزار استفاده کرد. تاکنون کاربردهای متعددی برای استفاده از

1. Clearance

2. Fine-Blanking

3. Chemical Vapor Deposition



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

پوششهای سرامیکی بر روی ابزارهای شکلدهی یافت شده است[۱].

Kwak و Kim تأثیر رینگ V شکل را روی سطح برشی در فرایند برش دقیق با استفاده از روش المان محدوده بررسی کرده‌اند. ارتفاع و موقعیت رینگ V شکل، تأثیر به‌سزایی در کیفیت قطعهٔ تولیدی دارد[۲].

با استفاده از تمیز کاری و اندازه‌گیری ریزسختی در نوار برش، آشکار شد که در فرایند برش دقیق تغییر شکل و دمای بزرگی اتفاق می‌افتد. با کاهش سریع دما و کارسختی در ناحیهٔ برش، سختی در این ناحیه افزایش می‌یابد[۳].

Yamaguchi و Hatanaca رابطه‌ای را برای محاسبه عمق نفوذ و ارتفاع منطقه برش براساس ضخامت، جنس و عدد سختی n به‌دست آوردند. تغییر شکل ورق نظیر شکل‌گیری منطقهٔ شعاعی و بشقابی شدن با نفوذ سنبه به میزان تقریباً ۴۰٪ ضخامت ورق کامل می‌شود [٤].

به‌دلیل محدود بودن مواد در ناحیهٔ برش و وجود فشار هیدرواستاتیک، محققان این فرایند را به عملیات اکستروژن سرد تشبیه کرده‌اند که قطعهٔ کار در این قسمت تحت شرایط تنشی و کرنشی پیچیده‌ای قرار می‌گیرد[۵].

فرایند برش دقیق با فرایندهای دیگری نظیر متالوژی پودر به‌دلیل پایداری در میزان کیفیت و دقت قطعات تولیدی، رقابت می‌کند. حتی تولید برخی قطعات به‌روش ریخته‌گری دقیق و تزریق پلاستیک، با روش برش دقیق جایگزین شده و تا ۵۰٪ کاهش هزینه تولید را در پی داشته است[٦]. در ابتدا موارد استفاده از برش دقیق به تولید برخی اجزای دستگاهها، ساعت و ماشین‌آلات اداری که شامل چرخ دنده‌ها و اجزای دندانه‌دار تخت و بادامکهای ظریف بوده‌اند، محدود بوده است. اما امروز از این روش برای تولید قطعات از جنسهای مختلف حتی پلاستیکها، کامپوزیت‌ها در تجهیزات کشاورزی، تسلیحات، اجزای ماشین ابزار دقیق، چاپگرها، ماشین‌های نساجی، صنایع الکتریکی و الکترونیک و اتومبیل‌سازی و بسیاری موارد دیگر استفاده می‌شود[٦].

در برش دقیق، تخریب حفره‌ای[1] در واماندگی ویسکوپلاستیک نقش مهمی بازی می‌کند و عامل شکست نرم است. شکست نرم در مواد فلزی با فرایند رشد و به هم پیوستگی فضای خالی در ساختار بلوری مواد شناخته می‌شود[۷]. حفره‌ها که منبع اصلی شکست نرم هستند در مکانهایی که تغییر شکل به‌سختی صورت می‌گیرد به‌طور ناهمگن و با حضور تنش کششی بالا جوانه می‌زنند. ناخالصیها، ذرات فاز ثانوی، ذرات ریز اکسید یا عیوب موجود در ساختار کریستالی مواد، ریز مکانهای مناسبی برای تشکیل حفره هستند[۸].

فشار هیدرواستاتیک در عمل در تغییر شکل نقشی نداشته و فقط باعث به تأخیر افتادن رشد حفره‌ها و شکست می‌شود. عامل به‌وجود آمدن این فشار هیدرواستاتیک در برش دقیق، محاصره شدن ورق در ناحیه کلیرانس بین V- رینگ، سنبه، سنبه مخالف و ماتریس است.

در این تحقیق ابتدا به بررسی اثر فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس بر اندازهٔ منطقهٔ راکورد قطعه و نیروی برشی سنبه پرداخته شده و نتایج حاصل، با کار آزمایشگاهی موجود[۹] اعتبارسنجی می‌شود. در ادامه اثر عواملی نظیر ارتفاع v- رینگ و شعاع لبهٔ قالب بر منطقهٔ شعاعی و توزیع فشار هیدرواستاتیک به‌عنوان عاملی مهم در افزایش عمق برش و دقت قطعه و همچنین توزیع تنش شعاعی به‌عنوان عامل مهم در افزایش فرسایش قالب بررسی می‌شود. اثرهای مثبت به کارگیریv- رینگ در ماتریس همراه با v- رینگ

1. Void-Damage



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

در ورقگیر مطالعه می‌شود. همچنین این فرایند پس از اعتبارسنجی و با استفاده از نتایج المان محدود، در شبکهٔ عصبی مدل‌سازی می‌شود.

## ۲- مدل‌سازی فرایند

### ۲-۱- مدل‌سازی به‌روش FEM

برای شبیه‌سازی از قطعه‌ای با مقطع دایره‌ای شکل با قطر ۲۴ mm و ضخامت ٤/٥ mm استفاده شده است. تمامی اجزا به‌جز ورق، از نوع صلب و ورق از نوع شکل‌پذیر انتخاب شد. در این مدل، ورق با تک‌تک اجزای دیگر تماس دارد. در تمامی سطوح، شرایط اصطکاک کولمب با ضریب اصطکاک ۰/۱ در نظر گرفته شد. عمل برش در فرایند برش دقیق در دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا ورقگیر V شکل داخل ورق در زمان مشخص نفوذ کرده و آن را فشرده می‌کند. در مرحلهٔ دوم سمبه به طرف پایین حرکت کرده و در ورق نفوذ می‌کند. برای اندازه‌گیری میزان بشقابی شدن، مرحلهٔ سومی تعریف می‌شود که در این مرحله تمامی نیروها از روی ورق برداشته می‌شود تا با در نظر گرفتن برگشت فنری ورق، مقدار بشقابی شدن اندازه‌گیری شود.

همچنین برای بررسی پدیدهٔ بشقابی شدن نیروی سنبهٔ مخالف حذف شد.

در هر مرحله باید زمان گام با توجه به ارتفاع Vرینگ، سرعت سنبه و ضخامت ورق تعیین شود. به‌منظور پیاده‌سازی شرایط فیزیکی و دینامیکی فرایند لازم است نیروها و درجه‌های آزادی و شرایط مرزی برای تمامی قطعات صلب تعریف شود. قالب در تمامی جهت‌ها مقید می‌شود. بقیهٔ اجزای صلب در تمامی جهت‌ها به‌جز در جهت حرکت سنبه مقید می‌شوند.

در این نوع شبیه‌سازی (صلب-تغییر شکل پذیر) فقط لازم است اجزای تغییر شکل پذیر (ورق) شبکه[1] بندی شوند. هرچه شبکه ریزتر باشد، دقت نتایج بالاتر خواهد بود. زیرا در روش المان محدود معادلات در نقاط گرهی حل می‌شوند و هرچه این نقاط بیشتر باشد، میانیابی‌ها با حل دقت بالاتری صورت می‌گیرد. در ازای افزایش دقت، زمان نیز افزایش می‌یابد. به‌همین منظور فقط در مناطقی که تغییر شکل و دقت زیادی لازم است، از شبکهٔ ریز استفاده می‌شود و در سایر نواحی که در فرایند برش نقش چندانی ندارد، از شبکهٔ بزرگتر استفاده می‌شود. از طرفی باید در نظر داشت که با ریز شدن بیش از حد اندازهٔ شبکه نیز، به علت تعداد زیاد اجزا، خطای ناشی از گرد کردن در محاسبات به‌وجود خواهد آمد.

در مدل‌سازی از المان CAX4R استفاده شده است. المان CAX4R عبارت است از المان چهار گرهی پیوستهٔ متقارن، این المان‌ها به‌دلیل توانایی غیر قابل تراکم بودن، دچار قفل‌شدگی نخواهد شد و در زمان نسبتاً کوتاهی می‌توان به جواب رسید.

#### ۲-۱-۱ حساسیت نسبت به اندازه المان[2]

علاوه بر نوع، اندازه المان نیز در شبیه‌سازی مهم بوده و نتایج حاصل، به آن وابسته است. اندازهٔ المان‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که تحلیل از نظر زمان و دقت بهینه باشد. در این تحقیق در سه مرحله حساسیت نیرو، منطقهٔ شعاعی و حالت تنشهای هیدرو استاتیک از سمت سنبه به سمت ماتریس مطالعه شد.

سرانجام حالت تنشهای هیدرواستاتیک در اندازهٔ اجزای ۰/۰٤mm به حالت پایدار می‌رسد. نکته‌ای که

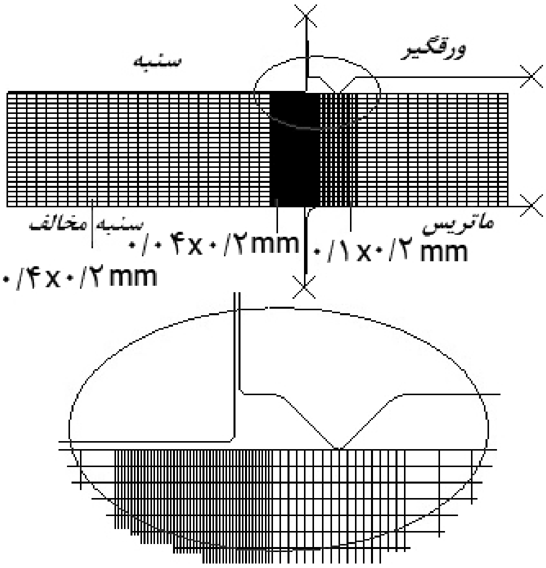
1. Mesh
2. Mesh-Sensitivity



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

در تحلیل به‌روش المان محدود باید در نظر گرفت، این است که نسبت ابعادِ المان‌ها، به‌منظور جلوگیری از افزایش خطا در محاسبات نباید بزرگ باشد. لذا اندازهٔ المان‌ها در جهت ضخامت ورق برابر ۰/۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد که نسبت ابعادی المان‌ها در ناحیهٔ فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس در این حالت برابر ۵ و مقدار قابل قبولی است. در شکل(۳) مدل همراه با مش‌بندی به‌کار رفته مشاهده می‌شود.




**شکل ۳** شبکه‌بندی و اندازهٔ اجزا در مدل

در این بررسی از ماده‌ای از جنس AISI-1045 با خواص مکانیکی مطابق جدول(۱) - که از رابطهٔ $\overline{\sigma} = k\overline{\varepsilon}^{n}$ تبعیت می‌کند - استفاده شده است[۹،۲].

**جدول ۱** مشخصات مکانیکی مادهٔ مورد استفاده

| ضریب کارسختی (k) | توان کارسختی (n) | تنش نهایی (Mpa) | تنش تسلیم (Mpa) | مدول الاستیک (Gpa) | نسبت پواسن |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱۰۲۰ | ۰/۱۱ | ۵۸۵ | ۵۰۵ | ۲۰۹ | ۰/۳ |

تحلیل فرایند برش دقیق در برنامهٔ Abaqus/Explicit به‌صورت الاستیک - پلاستیک، غیر خطی[۱] و تقارن محوری[۲] انجام شد.

## ۲-۲- مدل‌سازی به کمک شبکهٔ عصبی مصنوعی

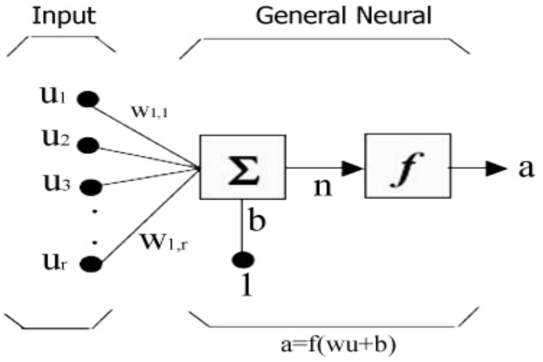
سالیان اخیر شاهد حرکتی مستمر در تحقیقات تئوری به سمت تحقیقات کاربردی، به ویژه برای مسائلی بوده‌ایم که برای آنها راه حلی موجود نیست یا به‌راحتی قابل حل نیستند. با توجه به این موضوع، علاقه فزاینده‌ای در توسعه سیستمهای دینامیکی هوشمند آزاد از مدل که مبتنی بر داده‌های تجربی هستند، ایجاد شده است. "شبکه‌های عصبی مصنوعی" جزو این دسته از سیستمهای دینامیکی هستند که با پردازش داده‌های تجربی، دانش یا قانون نهفته در داده‌ها را به ساختار خود منتقل می‌کنند. اصلی‌ترین جزو شبکه عصبی نرون نام دارد. شبکه‌های عصبی مصنوعی از اتصال اختیاری تعدادی نرون به‌دست می‌آیند. هر یک از نرونها دارای مشخصه ورودی و خروجی مشخصی بوده و محاسبات محلی مشخصی را انجام می‌دهند. الگوریتم آموزش شبکه، حلقه آموزشی تکرارشونده‌ای است که تا رسیدن به دقت مورد نظر تکرار می‌شود. کاربرد حلقه آموزشی تکرار شونده، محاسبه خطای هر مرحله از آموزش شبکه و استفاده از آن در بهبود برخی پارامترهای داخلی نظیر بایاس و وزنهای شبکه است[۱۰]. *بایاس* عبارت است از تنتظیم وزن ورودی اول شبکه بر اساس قوانین لونبرگ- مارکوارت به‌گونه‌ای که به همگرایی بهتر شبکه کمک کند. هدف اصلی از طراحی و آموزش شبکه‌های عصبی، ایجاد شبکه‌ای با قابلیت پاسخگویی صحیح به مقادیر پیش‌بینی نشده است. شبکه‌های عصبی معمولاً شامل یک لایه ورودی و چندین لایه میانی و

1. Nonlinear
2. Axisymmetric



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

یک لایه خروجی هستند. شکل (٤) نرون دلخواه را بـا چنـد ورودی و یک خروجی نشان می‌دهد.




**شکل ٤** نرون دلخواه با چند ورودی و یک خروجی[١٠]

ضـرایب یـا وزن‌هـای تـأثیرw، بـر روی هـر یـک از متغیرهـای ورودی براسـاس مقـدار تـأثیر آن متغیـر در محاسبات تأثیر می‌گذارنـد. از جمـع متغیرهـای وزن‌دهـی شده بـا بایـاس b، مقـدار ورودی تـابع فعـال سـازی (F) به‌دست می‌آید.

مقدار خروجی به‌دست آمده از نرون به‌صورت زیر است:

$$a = f\left(\sum_{i=١}^{r} w_{١,i} u_i + b\right) \qquad (١)$$

از توابع فعال‌سازی برای استخراج روابـط تحلیلـی مـورد نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این توابع می‌توانند خطی یـا غیرخطی باشند. توابع فعال‌سازی مورد استفاده در این پـروژه برای لایه ورودی خطـی امـا بـرای لایـه میـانی از غیرخطـی پیوسته و مشتق‌پذیر از نوع تانژانت سیگموئید است.

تابع تانژانت سیگموئید به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\tan sig(n) = ٢/(١+\exp(-٢\times n)) - ١ \qquad (٢)$$

که در آن n عبارت است از:

$$n = w_{ji} \times u_i + b_i) \qquad (٣)$$

خروجی‌های تابع تانژانت سیگموئید بین اعداد ١ و ١- قـرار دارد. یکـی از الگـوریتم‌هـای آموزشـی مرسـوم الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا است. روش پس انتشار خطا، یکی از موفق‌ترین روش‌های موجود اسـت[١١]. در ایـن تحقیـق از الگـوریتم پـس انتـشار خطـای لـونبرگ-مارکوارت که یکی از روشهای بهینه‌سازی مرتبه دوم مبتنی بر مشتقات مرتبه دوم تابع خطا است، استفاده شده اسـت. برخی از روشهای آمـاری نظیـر RMS، MSE، و درصـد میانگین خطا برای بررسی صحت نتایج استفاده شـوند. در این تحقیق خطا یا کارایی شـبکه برپایـه مجـذور میـانگین خطا (MSE) به‌صورت زیر قابل ارزیابی است:

$$MSE = \frac{١}{n}\sum_{i=١}^{n}\left(t_i - o_i\right)^{٢} \qquad (٤)$$

$o_i$ مقادیر نرمالیزه تولیدی توسط شبکه عصبی اسـت. $t_i$ مقادیر واقعی نرمالیزه بر اساس متغیرهای ورودی می‌باشد. n متناظر با تعداد ورودیهای مستقل بـرای آمـوزش شـبکه است[١٠]. مقـادیر ورودی و خروجـی بـه شـبکه عـصبی برای افزایش دقت و یادگیری شبکه بین (١-، ١) نرمـالیزه شده است. برای نرمالیزه کردن مقادیر ورودی و خروجـی به شبکه عصبی از رابطه زیر استفاده شده است:

$$N_n = (٢N - (Min_N + Max_N))/(Max_N - Min_N) \qquad (٥)$$

که $Min_N$ کوچکترین متغیر و $Max_N$ بزرگترین متغیـر مورد استفاده در نرمالیزه کردن است. N متغیر واقعی و $N_n$ متغیر نرمالیزه متناسب بـا آن اسـت. بـرای تبـدیل مقـادیر نرمالیزه به مقادیر واقعی از رابطه زیر استفاده می‌شود:



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

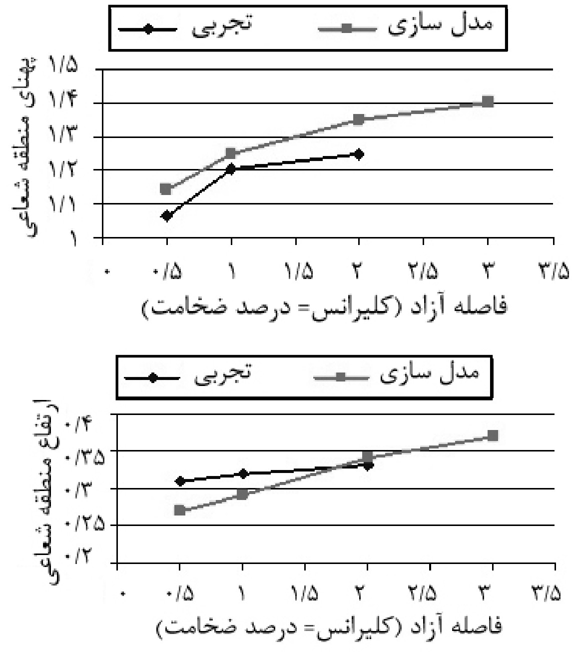
$$N_n = Min_N(N_N + ۱).(Max_N - Min_N)/۲ \quad (٦)$$

برای تعیین تعداد لایه‌های میانی و تعداد نرونها در این لایه‌ها از روش سعی و خطا استفاده شد. شبکه مورد استفاده یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک لایه میانی دارد. برنامه رایانه‌ای در محیط متلب به کمک بسته شبکهٔ عصبی نوشته شده است.

## ۳- نتایج و بحث

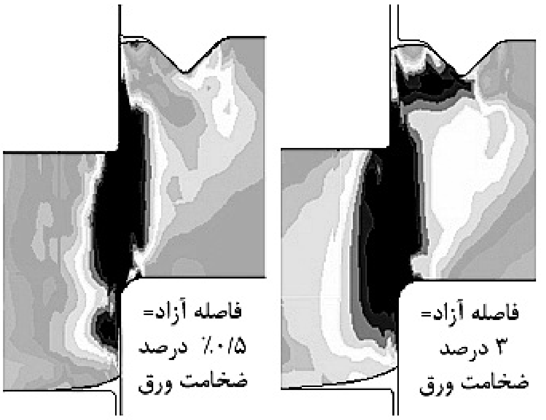
### ۱-۳- نتایج حاصل از FEM

شکل ۵ اثر فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس را بر ارتفاع و پهنای منطقهٔ شعاعی[1] نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، با افزایش فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنای منطقهٔ شعاعی افزایش می‌یابد که با نتایج آزمایشهای قبلی سازگار بوده و فقط بین ۳ تا ۱۰٪ خطا مشاهده می‌شود [۹].




**شکل ۵** اثر فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس بر پهنای منطقهٔ شعاعی (بالا) و ارتفاع منطقهٔ شعاعی (پایین)

در شکل(٦) کانتور تنش معادل با۵۰٪ نفوذ سنبه در فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس ۰/۵ و ۳ درصد ضخامت ورق مشاهده می‌شود. اندازهٔ منطقهٔ شعاعی در این شکل قابل مقایسه است. با افزایش فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس، گسترهٔ تنش معادل و باند کرنش افزایش می‌یابد و قسمت بیشتری از ماده در فضای فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس دچار تغییر شکل پلاستیک می‌شود. بنابراین با کاهش فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس این نواحی متمرکزتر شده و لبهٔ برش از دقت و کیفیت بالاتری برخوردار می‌شود.




**شکل ٦** کانتور تنش معادل در فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس ۰/۵٪ و ۳٪ ضخامت

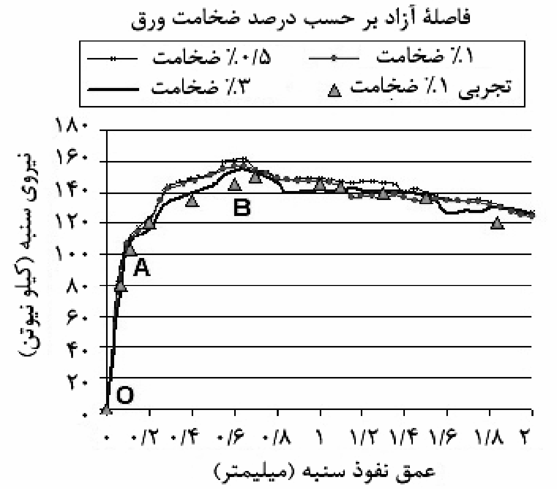
در شکل ۷ منحنی نیروی لازم برای نفوذ سنبه به داخل ورق تا عمق ۵۰٪ ضخامت ورق مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل، افزایش نیروی سنبه از O تا A بیانگر فاز الاستیک عملیات است. از A تا B تغییر شکل پلاستیک برشی رخ خواهد داد و حالتی که مقدار نیروی سنبه با نفوذ سنبه تا B تغییر می‌کند، بیانگر مشخصهٔ کار سختی ماده ورق است و به‌همین دلیل نیروی سنبه در این مرحله افزایش می‌یابد. اما از نقطهٔ B به بعد،

1. Die-Roll



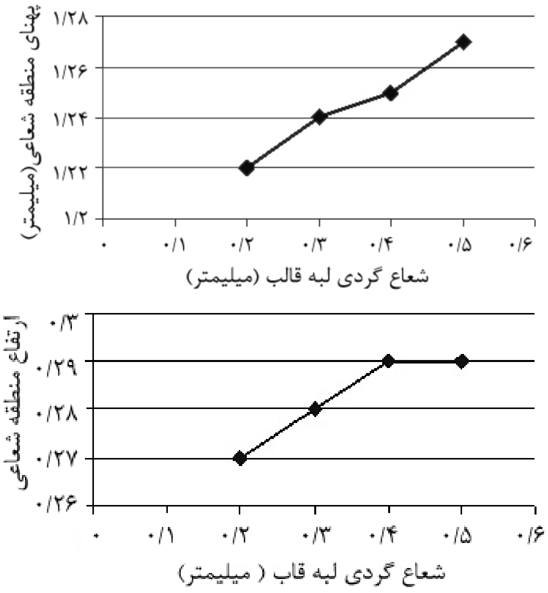
[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

اگرچه کار سختی بیشتری ممکن است رخ دهد، اما نیروی سنبه متناسب با کاهش سطح برشی کاهش می‌یابد. در فاصلهٔ آزاد بین سنبه و ماتریس ۱٪ نیروی لازم برای برش برابر ۱۵۸KN است که با مقدار تجربی (۱۵۰KN)، تطابق خوبی (۵٪ خطا) دارد. در این شکل اثر فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس در نیروی برش دیده می‌شود. با کاهش فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس بر نیروی لازم برای عمل برش افزوده می‌شود.




**شکل ۷** اثر فاصلهٔ آزاد بین سنبه و ماتریس بر نیروی برشی سنبه

برطبق شکل ۸ شعاع لبهٔ قالب تأثیر چندانی بر ارتفاع و پهنای منطقهٔ شعاعی ندارد. در ابتدای نفوذ سنبه به داخل ورق، با شعاع لبهٔ قالبِ بیشتر، تغییر شکل بیشتری در منطقهٔ شعاعی دیده می‌شود، اما سرانجام با نفوذ بیشتر سنبه در عمقی به اندازهٔ شعاع لبهٔ قالب، منطقهٔ تغییر شکل اضافی با لبهٔ شعاعی قالب تماس پیدا کرده و از منطقهٔ شعاعی حذف می‌شود. اندازهٔ منطقهٔ شعاعی بستگی زیادی به فاصلهٔ آزاد بین سنبه و ماتریس دارد و در این ناحیهٔ شکل می‌گیرد. با توجه به اینکه اندازهٔ پلیسه در قطعهٔ تولیدی، به شعاع لبهٔ سنبه بستگی دارد و نه شعاع لبهٔ ماتریس، لذا میتوان از شعاع لبهٔ ماتریس برای تمرکز تنش وجریان بهتر مواد(اکسترود سرد[1]) در لبهٔ ماتریس و تأخیر در شروع ترک از این ناحیه استفاده کرد، که باعث افزایش عمقِ برش می‌گردد.




**شکل ۸** اثر شعاع لبهٔ قالب بر پهنای منطقهٔ شعاعی(بالا) و ارتفاع منطقهٔ شعاعی(پایین)

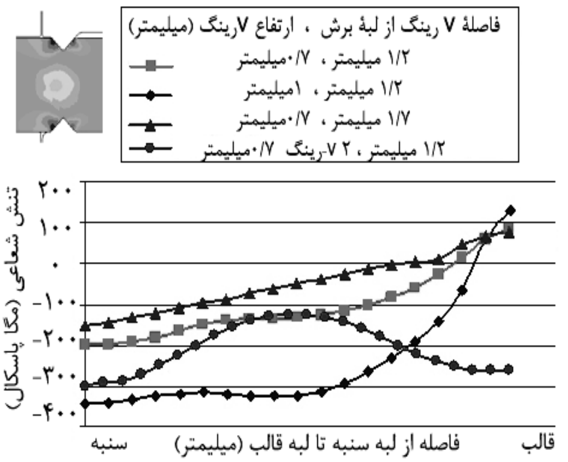
به‌طور کلی می‌توان گفت، مزایای استفاده از شعاع در لبهٔ ماتریس بیشتر از معایب آن است. در این حالت فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس، برابر با ۱٪ ضخامت ورق درنظر گرفته شد. یکی از معایب ایجاد شده در قطعات برش، بشقابی شدن[2] است. نفوذ رینگ V شکل در ورق، قبل از نفوذ سنبه با ایجاد تنشهای شعاعی، به پدیدهٔ بشقابی شدن کمک می‌کند. با بزرگ شدن و کاهش فاصلهٔ Vرینگ از سنبه، این حالت تشدید می‌گردد. با توجه به شکل ۹، علت این امر را

1. Cold Extrusion
2. Dishing



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

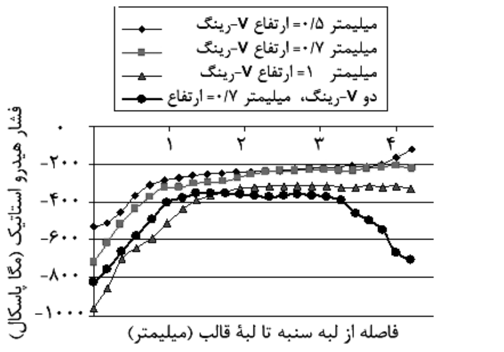
می‌توان افـزایش تنـشهای شـعاعی فـشاری در طـرف سـنبه و تنـشهای شـعاعی کشـشی در طـرف مـاتریس دانست که به افزایش ممان و بشقابی شـدن در هنگـام نفوذ سنبه کمک می‌کند. به‌کارگیری رینگ vشـکل در ماتریس و مقابل رینگ ورقگیر، این اثر منفی را خنثـی می‌کند. در شکل ۹ تأثیر رینگ v شکل در مـاتریس و ورقگیر نیز مشاهده می‌شود.




**شکل ۹** اثر ارتفاع و فاصلهٔ v- رینگ و v- رینگ در مـاتریس بر تنشهای شعاعی

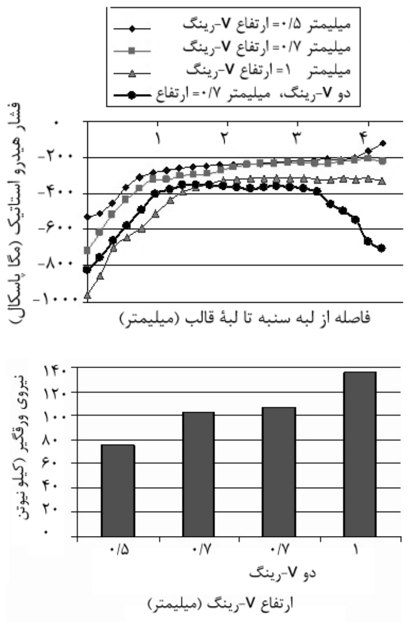
در این حالت تنـشهای شـعاعی، متقـارن و فـشاری شده که اثر مثبتی در افـزایش و توزیـع یکنواخـت تـر فـشار هیدرواسـتاتیک در ناحیـهٔ فاصـلهٔ آزاد سـنبه و ماتریس دارد.

در شکل ۱۰ اثـر ارتفـاع رینگ V شـکل بـر تنشهای شعاعی در عمق نفوذ ۵۰٪دیده می‌شود. بـا توجـه بـه ایـن شکل، با افزایش ابعاد و نیروی رینگV شـکل، بـر مقـدار تنشهای شعاعی در دیوارهٔ سنبه افزوده می‌شود. این تنشهای شعاعی باعـث افـزایش اصـطکاک بـین ورق و سـنبه و در نتیجـه فـرسایش سـریعتر لبـهٔ بـرش و دیـوارهٔ سـنبه و افـزایش انـرژی بـرش سنبه می‌شود.




**شکل ۱۰** اثر ارتفاع V- رینگ بر تنشهای شعاعی در دیوارهٔ سنبه

این در حالی است که این تغییـرات در رینـگ V شـکل، باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک و در نتیجه افزایش عمـق برش می‌شود. بر طبـق شـکل ۱۱، بـه‌کـارگیری v رینـگ در مـاتریس باعـث افـزایش و توزیـع یکنواخـت‌تـر فـشار هیدرواستاتیک در ناحیـهٔ فاصـلهٔ آزاد بـین سـنبه و مـاتریس مـی‌شـود. ایـن در حـالی اسـت کـه بـرای نفـوذ رینگهـای v - شکل، به نیروی اضافی در ورقگیر نیاز نیست.



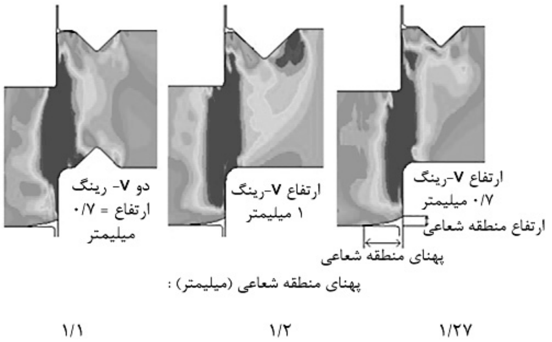

**شکل ۱۱** اثر ارتفاع vرینگ بـر فـشار هیدرواسـتاتیک(بـالا) و نیروی نفوذ ورقگیر(پایین)



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

با استفاده از v رینگ در ماتریس می‌توان نیروی سنبهٔ مخالف را برای کاهش سایش ماتریس و اثرهای منفی آن بر عمر قالب و نیروی برشی سنبه کاهش داد.

شکلِ ۱۰ اثر ارتفاع رینگ vشکل و vرینگ در ماتریس را بر ارتفاع منطقهٔ شعاعی نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع v رینگ این منطقه کوچکتر شده و به کیفیت و دقت قطعه افزوده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، استفاده از رینگ v شکل در ماتریس اثر مثبتی بر کاهش اندازهٔ این منطقه دارد. تنها عیب استفاده از رینگ v شکل در ماتریس، افزایش هزینهٔ ساخت و سنگزنی برای تیز کردن ماتریس است.




**شکل ۱۲** اثر v رینگ بر اندازهٔ منطقهٔ شعاعی

## ۲-۳- نتایج حاصل از ANN[1]

در این قسمت برای آموزش شبکه با توجه به اعتبار سنجی صورت گرفته در قسمت المان محدود، از نتایج این قسمت و نتایج عملی موجود در [۲ و ۹] استفاده شد. از میان ٣٦ ورودی، پنج ورودی که دو تای آن حاوی نتایج عملی نیز هست، برای آزمایش شبکه در نظر گرفته شد. این ورودیها به‌صورت سایه‌دار در ردیفهای ٤، ١١، ١٤، ٢٦، ٣٦ در جدول (۲) نشان داده شده است. از ۳۱ ورودی باقیمانده برای آموزش شبکه، سه تای آن که در ردیفهای ۲۹، ۳۰، ۳۱ نشان داده شده، حاوی نتایج عملی نیز هست، که از این مقادیر عملی در آموزش استفاده شد. امکان نرمالیزه کردن مقادیر در هر بازه عددی وجود دارد، اما با توجه به اینکه مقادیر خروجی تابع تانژانت سیگموید بین ۱ و ۱- است، اعداد ورودی برای آموزش شبکه نیز در این بازه نرمالیزه شد.

**جدول۲** ورودی‌ها و خروجی‌های مورد نظر برای آموزش و آزمودن شبکه عصبی

| ردیف | شعاع گردی لبه قالب | ارتفاع v- رینگ | فاصلهٔ آزاد | W: پهنای منطقه شعاعی | D: عمق منطقه شعاعی | نتایج تجربی | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۷ | ۰/۱۸ | | |
| ۲ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۰۵ | ۱/۱۱ | ۰/۲۱ | | |
| ۳ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۱ | ۱/۲ | ۰/۲۶ | | |
| ۴ | ۰/۲ | ۱ | ۰/۱۵ | ۱/۲۹ | ۰/۳۱ | | |
| ۵ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۰۲۵ | ۱/۱۶ | ۰/۲۳ | | |
| ۶ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۰۵ | ۱/۲۲ | ۰/۲۵ | | |
| ۷ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۱/۲۶ | ۰/۳ | | |
| ۸ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۰/۱۵ | ۱/۳۸ | ۰/۳۶ | | |
| ۹ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۰۲۵ | ۱/۲۹ | ۰/۳۲ | | |
| ۱۰ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۰۵ | ۱/۳۴ | ۰/۳۴ | | |
| ۱۱ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۱/۴۳ | ۰/۳۹ | | |
| ۱۲ | ۰/۲ | ۰/۵ | ۰/۱۵ | ۱/۵۲ | ۰/۳۴ | | |
| ۱۳ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۲۵ | ۱/۰۹ | ۰/۱۹ | | |
| ۱۴ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۰۵ | ۱/۱۴ | ۰/۲۲ | | |
| ۱۵ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۱ | ۱/۲۳ | ۰/۲۷ | | |
| ۱۶ | ۰/۳ | ۱ | ۰/۱۵ | ۱/۳۲ | ۰/۳۲ | | |
| ۱۷ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۰۲۵ | ۱/۱۸ | ۰/۲۵ | | |
| ۱۸ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۰۵ | ۱/۲۴ | ۰/۲۷ | | |
| ۱۹ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۱/۳۲ | ۰/۳۲ | | |
| ۲۰ | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۱۵ | ۱/۴۱ | ۰/۳۸ | | |
| ۲۱ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۰۲۵ | ۱/۳۲ | ۰/۳۱ | | |
| ۲۲ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۰۵ | ۱/۳۶ | ۰/۳۵ | | |
| ۲۳ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۱/۴۵ | ۰/۴ | | |
| ۲۴ | ۰/۳ | ۰/۵ | ۰/۱۵ | ۱/۵۵ | ۰/۴۶ | | |
| ۲۵ | ۰/۴ | ۱ | ۰/۰۲۵ | ۱/۱۱ | ۰/۲ | | |
| ۲۶ | ۰/۴ | ۱ | ۰/۰۵ | ۱/۲ | ۰/۲۲ | ۱/۳۱ | ۰/۲۵ |
| ۲۷ | ۰/۴ | ۱ | ۰/۱ | ۱/۲۵ | ۰/۲۸ | | |
| ۲۸ | ۰/۴ | ۱ | ۰/۱۵ | ۱/۳۴ | ۰/۳۴ | | |
| ۲۹ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۰۲۵ | ۱/۱۴ | ۰/۲۶ | ۱/۰۵ | ۰/۳۱ |
| ۳۰ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۰۵ | ۱/۲۵ | ۰/۲۹ | ۱/۲ | ۰/۳۲ |
| ۳۱ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۱ | ۱/۳۴ | ۰/۳۴ | ۱/۲۵ | ۰/۳۳ |
| ۳۲ | ۰/۴ | ۰/۸ | ۰/۱۵ | ۱/۴۱ | ۰/۳۹ | | |
| ۳۳ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۰۲۵ | ۱/۳۴ | ۰/۳۵ | | |
| ۳۴ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۰۵ | ۱/۴۵ | ۰/۳۴ | ۱/۵ | ۱/۳۱ |
| ۳۵ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۱ | ۱/۵ | ۰/۴۳ | | |
| ۳۶ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۰/۱۵ | ۱/۵۷ | ۰/۴۷ | | |

1. Artificial Neural Networks



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]

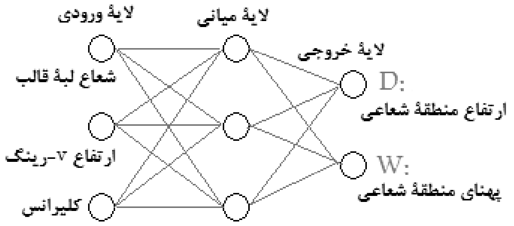
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

بین لایه‌های ورودی و خروجی، لایه‌های مخفی قرار می‌شود که در آنها عمل نگاشت مجدد و محاسبات انجام می‌شود. در این تحقیق با روش سعی و خطا بهترین جوابها با یک لایه مخفی به‌دست آمد. برای شناسایی بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد سلولها یا نرونهای لایه پنهان از ۳ تا ۱۰ عدد تغییر داده شد. سرانجام با توجه به جدول(۳)، شبکه‌ای که MSE آن نسبت به سایر سلول‌ها کمتر بود به‌عنوان شبکهٔ عصبی مرجع انتخاب شد. شبکه با ساختار ۲-۳-۳، بهترین دقت را در شناسایی عملکرد سیستم داشت. در نرون‌های لایه بیرونی از دو تابع جمع استفاده شده. که خروجی آنها بیانگر D یا عمق منطقهٔ شعاعی و W یا طول منطقهٔ شعاعی است. ورودیهای شبکه، شعاع لبهٔ قالب، ارتفاع v-رینگ و فاصلهٔ آزاد بین سنبه و ماتریس است. برای این سه پارامتر از مقادیر مختلف وزن w استفاده شد. همان‌طور که در بخش المان محدود مشاهده شد، تأثیر شعاع لبهٔ قالب ناچیز بود. در این بخش نیز ضریب تأثیر این پارامتر بسیار کمتر از دو پارامتر دیگر به‌دست آمد.

**جدول ۳** بررسی آماری اثر تعداد سلول‌های لایه پنهان برای D و W بر نتایج شبکه عصبی

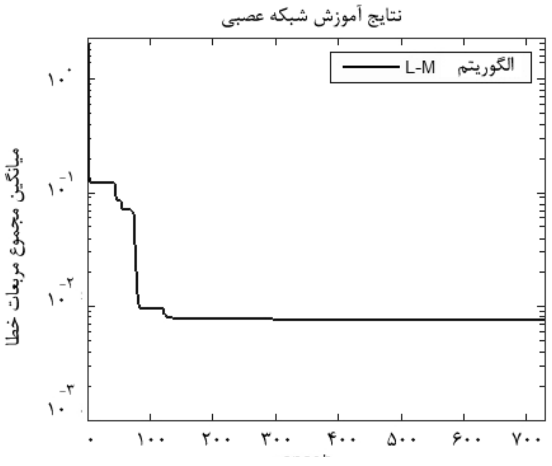
| D: MSE | W: MSE | تعداد نرونها |
|---|---|---|
| ٣ | ٠/٠٠٠١٩٠٠٦ | ٠/٠٠٠٣٤٤١٥ |
| ٤ | ٠/٠٠٠١٩٤٣٦ | ٠/٠٠٠٥٢٠٢٨ |
| ٥ | ٠/٠٠٢٩١١١ | ٠/٠١٥٢٩٥ |
| ٦ | ٠/٠٠٤٨٧٧٢ | ٠/٠٠١٠٢٣٥ |
| ٧ | ٠/٠٠٢١٢١ | ٠/٠١٤٤٤٨ |
| ٨ | ٠/٠٠٠٤٣٩٠٧ | ٠/٠٠٠٩٥٥٦١ |
| ٩ | ٠/٠٠٠٣٥٦٥٩ | ٠/٠٠٣٣٩٩٢ |
| ١٠ | ٠/٠٠٨٤١٤ | ٠/٠٠١٩٤٤٧ |

در شکل ۱۳ ساختار آموزشی شبکه عصبی با یک لایه میانی نمایش داده شده است.




**شکل ۱۳**ساختار آموزشی شبکه عصبی با یک لایه میانی حاوی سه نرون

کاهش مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) در زمان آموزش شبکه عصبی که بیانگر همگرایی شبکه است، در شکل ۱۴ قابل مشاهده می‌شود.




**شکل ۱۴**همگرائی شبکه عصبی با مقادیر نرمالیزه شده

پس از آموزش شبکه از داده‌های موجود در جدول(۲) که به‌صورت سایه‌دار نشان داده شده - برای ارزیابی کارایی شبکه استفاده شد. طبق جدول (٤) و شکل ۱۵ مقادیر به‌دست آمده از شبکهٔ عصبی در سه نمونهٔ اول، یعنی داده‌های ردیف ١٤،١١،٤ تطابق خوبی با نتایج المان

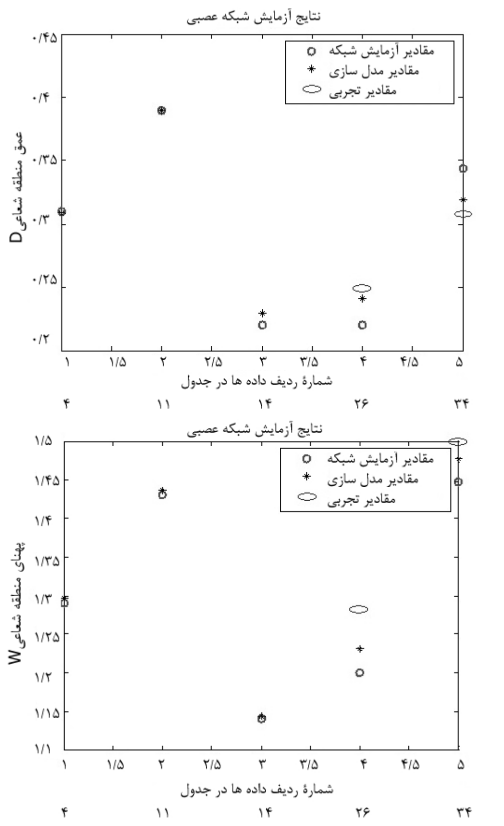


[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

محدود دارد. در دو نمونهٔ آخر به‌علت استفاده از نتایج و داده‌های عملی در این ناحیه، خطای خروجی شبکهٔ عصبی نسبت به نتایج المان محدود افزایش یافته است.

**جدول٤** خروجی حاصل از آزمون شبکه و درصد خطا در مقایسه با داده‌های عملی و المان محدود

| ردیف | درصد خطا | W: تجربی | W: مدل سازی | W: شبکه عصبی | درصد خطا | D: تجربی | D: مدل سازی | D: شبکه عصبی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴ | ۰/۷ | * | ۱/۲۹ | ۱/۳ | ۰ | * | ۰/۳۱ | ۰/۳۱ |
| ۱۱ | ۰/۶ | * | ۱/۴۳ | ۱/۴۴ | ۰ | * | ۰/۳۹ | ۰/۳۹ |
| ۱۴ | ۰/۸ | * | ۱/۱۴ | ۱/۱۵ | ۴/۵ | * | ۰/۲۲ | ۰/۲۳ |
| ۲۶ | F:2.5 -- E:6 | ۱/۳۱ | ۱/۲ | ۱/۲۳ | F:9-- E:4 | ۱/۲۵ | ۰/۲۲ | ۰/۲۴ |
| ۳۴ | F:1-- E:2 | ۱/۵ | ۱/۴۵ | ۱/۴۷ | F:6-- E:3 | ۱/۳۷ | ۱/۳۴ | ۱/۳۲ |
| | میانگین ۱٪ | | | | میانگین ۴٪ | | | |




**شکل ۱۵** ارزیابی شبکه عصبی آموزش داده شده با داده‌های نرمالیزه شده برای **W** (نمودار بالا) و**D** (نمودار پایین)

با توجه به جدول(٤)، خطای حاصل از شبکهٔ عصبی در مورد پهنای راکورد W کمتر از مقدار خطا در ارتفاع راکوردD است. زیرا اندازهٔ ارتفاع راکورد در مقایسه با پهنای آن کمتر است و خطای یکسان در اندازه‌گیری ارتفاع و پهنای راکورد، درصد خطای بیشتری را در ارتفاع راکورد (منطقهٔ شعاعی) نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۵ و نتایج ارائه شده در جدول (٤)، می‌توان گفت که آموزش شبکه با موفقیت انجام شده است. میانگین خطا در مقایسه با نتایج المان محدود در پهنای راکورد برابر ۱٪ و در ارتفاع راکورد ٤٪ است.

## ٤- نتیجه‌گیری

با افزایش فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنای منطقهٔ راکورد افزایش می‌یابد که با نتایج عملی تطابق خوبی را نشان می‌دهد. افزایش ارتفاع Vرینگ، باعث کوچک‌تر شدن منطقهٔ راکورد و افزایش فشار هیدرواستاتیک و توزیع یکنواخت‌تر آن در ناحیهٔ فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس و در نتیجه باعث افزایش عمق برش و دقت قطعه می‌شود. در این حالت تنش شعاعی در دیوارهٔ ابزار افزایش یافته و باعث فرسایش بیشتر ابزار می‌شود. به‌کارگیری رینگ v شکل در ماتریس، باعث کاهش تنشهای شعاعی و کاهش بشقابی شدن و همچنین باعث توزیع یکنواخت تنشهای هیدرواستاتیک و پایداری آن تا عمق نفوذ بیشتر در ناحیهٔ فاصلهٔ آزادبین سنبه و ماتریس می‌شود. در نتیجه می‌توان از نیروی ورقگیر و سنبهٔ مخالف که برای افزایش فشار هیدرواستاتیک استفاده می‌شود کاست، که در این‌صورت از استهلاک دستگاه و قالب کاسته می‌شود. درپایان، با توجه به نتایج به‌دست آمده از روش المان محدود و شبکهٔ عصبی، این دو، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]
[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]

کیفیت و دقت قطعهٔ تولیدی و عمر ابـزار در روش بـرش دقیق است. اما با توجـه بـه تعـدد پارامترهـا و پیچیـدگی مسأله، تحقیقات بیشتری در این زمینه ضروری است.

## ۵- مراجع

[1] F.klocke, K.Sweeney, "Improved tool design for fine blanking through the application of n umerical modeling techniques", Journal of Materials Processing Technology 115(2001) 70-75

[2] T.S. Kwak, Y.J. Kim, M.K. Seo, W.B. Bae,"The effect of V-ring indenter on the sheared surface in the fine-blanking process of pawl", Journal of Materials Processing Technology 143–144 (2003) 656–661

[3] Z.H. Chen, L.C. Chan, T.C. Lee, C.Y. Tang,"An investigation on the formation and propagation of shear band in fine-blanking process", Journal of Materials Processing Technology 138 (2003) 610–614

[4] Nobuo Hatanaka, Katsuhiko amaguchi, "Simulation of sheared edge formation process in blanking of sheet metals", Journal of Materials Processing Technology 140 (2003) 628–634

[5] Metal Handbook, Volume 14,"Forming and Forging", Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee, 9th E d, (1993)

[6] www.metal forming.com

[7] William F.Hosford, Robert M.Caddell, “Metal forming Mechanics and Metallurgy”, University ofMichigan1983

[۸] متالورژی مکانیکی، جورج.ای.دیتـر، ترجمـهٔ شـهره شهیدی، ۱۳۷۹

[9] T.S. Kwak, Y.J. Kim, W.B. Bae,"Finite element analysis on the effect of die clearance on shear planes in fine-blanking", Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 462–468

[10] M.T. Hagan, H.B. Demuth and M. Beale, “Neural Network design” Boston: PWS Publishing com. 1996.

[11] M.T. Hagan and M. Menhaj “Training feed forward networks with the marquardt algorithm” IEEE Transactions on Neural Network 5 (6), 989-993, (1994).



[ Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-04-20 ]

[ DOR: 20.1001.1.10275940.1389.10.1.2.3 ]