

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

عباس پیرقلی<sup>۱</sup>، سید محمد ابراهیم درخشانی<sup>۲</sup>، کارن ابری نیا<sup>۳</sup>، فرامرز جوانرودی<sup>۴\*</sup>

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

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

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران

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

\*تهران، صندوق پستی ۱۶۷۶۵-۱۶۳

f.roodi@ic.ac.uk

(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۶، پذیرش مقاله: مهر ۱۳۸۷)

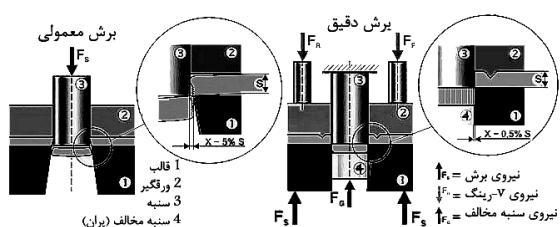
**چکیده**- یکی از فرایندهای اقتصادی برای تولید قطعه در شکل دهی فلزها، برش دقیق است که در آن، دقت و کیفیت قطعات بسیار بیشتر از روش معمولی است. در برش دقیق قطعه کار بین سه نیرو قرار می‌گیرد که عبارتند از: نیروی سنبه، نیروی ورقگیر (رینگ V شکل) و نیروی سنبه مخالف. در این مقاله، با مدل‌سازی برش دقیق، پس از اعتبارسنجی نتایج اولیه، به بررسی عوامل مؤثر بر فرایند پرداخته می‌شود. افزایش ارتفاع V-رینگ و نیروی ورقگیر و سنبه مخالف، باعث افزایش فشار هیدرولاستاتیک 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. به کارگیری V-رینگ در ماتریس، اثر بسیار مشبّتی بر افزایش دقت و کیفیت قطعه و افزایش عمر قالب دارد. در ادامه با استفاده از بخشی از نتایج به دست آمده در روش المان محدود، این فرایند به روش شبکه عصبی مصنوعی نیز شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج به دست آمده از روش المان محدود و شبکه عصبی، این دو روش، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی اثر عوامل مختلف در برش دقیق است.

**کلید واژه‌گان:** برش دقیق، منطقه شعاعی، V-رینگ، تنش هیدرولاستاتیک، المان محدود، شبکه عصبی مصنوعی.

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

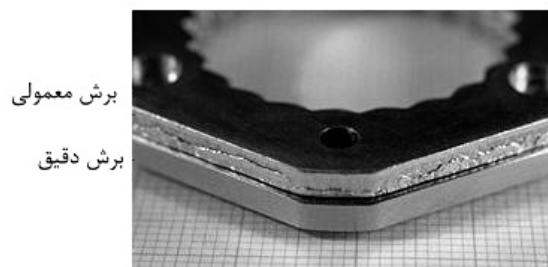
**۱- مقدمه**  
بخش بزرگی از قطعات صنعتی در صنایع مختلف، به صورت برش خورده استفاده می‌شود یا برش کاری یکی از مراحل اصلی تولید این قطعات است.

- بر خلاف برش معمولی، لبه برشی قالب تیز نبوده و جهت اکسترود بهتر ورق، دارای شعاع است. اساس فرایند برش دقیق<sup>۲</sup> برای مقایسه با برش معمولی در شکل (۱) دیده می‌شود. با توجه به شکل در برش دقیق قطعه کار بین سه نیرو قرار می‌گیرد که عبارتند از: نیروی سنبه، نیروی ورقگیر (رینگ V شکل) و نیروی سنبه مخالف.



شکل ۱ اساس فرایند برش دقیق در مقایسه با برش معمولی

در شکل (۲) قطعه تولید شده به روش برش دقیق با قطعه تولید شده به روش برش معمولی مقایسه شده است.



شکل ۲ قطعه تولید شده به روش برش دقیق و برش معمولی

ابزار از پوشش سرامیکی به روش CVD<sup>۳</sup> بر روی سطح ابزار استفاده کرده‌اند. در برشد دقیق به دلیل سرعت پایین سنبه و کاهش ضربه می‌توان از این نوع پوششها در ابزار استفاده کرد. تاکنون کاربردهای متعددی برای استفاده از

برش توسط پرسهای مجهر و قالب‌های دقیق است. برای اولین بار در سال ۱۹۲۳ در سوئیس استفاده از ورقگیر با رینگ V-شکل در فرایند برش ورق به منظور مهار ورق و کنترل جریان مواد مطرح شد. به تدریج و با انجام مطالعات بیشتر و بهبود تجهیزات، این فرایند به عنوان فناوری برش دقیق عرضه شد. در برش دقیق با استفاده از نیروی ورقگیر V-رینگ و سنبه مخالف، قطعه کار تحت فشار هیدرولستیک بالا قرار می‌گیرد و حاصل کار، قطعه‌ای بسیار دقیق‌تر از حالت معمولی است. در این روش پلیسه و منطقه شکست بسیار کاهش یافته و حتی حذف شود. دقت ابعادی قالب بسیار خوب بوده و پرس‌های مورد نیاز نیز از نوع سه مرحله‌ای هیدرولیکی بوده و ترتیب و زمان عمل اجزای قالب، به طور دقیق و در قالب‌های پیچیده با سیستم هیدرولیکی CNC تنظیم و کنترل می‌شود.

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

- در برش دقیق مقدار فاصله آزاد<sup>۱</sup> بین سنبه و ماتریس به ۰/۰ مقدار این فاصله به روش برش معمولی می‌رسد، یعنی ۰/۱ - ۰/۵٪ ضخامت ورق، که برای جلوگیری از آسیب دیدن قالب، سنبه نباید به ماتریس وارد شود. سرعت سنبه نسبت به روش معمولی بسیار کمتر است (۵-۱۵mm/s). در نتیجه با کاهش ضربه وارد شده به قالب نسبت به روش معمولی، می‌توان ضخامت‌های بیشتری را بسته به قدرت پرس، ابعاد و جنس قطعه، برش زد این مقدار برای فولاد به ۲۰mm می‌رسد.
- به دلیل 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 به روش معمولی دیرتر دچار تغییر می‌شود (تکرار پذیری بالا).

2. Fine-Blanking  
3. Chemical Vapor Deposition

1. Clearance

کامپوزیت‌ها در تجهیزات کشاورزی، تسليحات، اجزای ماشین ابزار دقیق، چاپگرها، ماشین‌های نساجی، صنایع الکتریکی و الکترونیک و اتومبیل‌سازی و بسیاری موارد دیگر استفاده می‌شود<sup>[۶]</sup>.

در برش دقیق، تخریب حفره‌ای<sup>۱</sup> 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<sup>[۷]</sup>. حفره‌ها که منبع اصلی شکست نرم هستند در مکانهایی که تغییر شکل به سختی صورت می‌گیرد به طور 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<sup>[۸]</sup>.

فشار هیدرواستاتیک در عمل در تغییر شکل نقشی نداشته و فقط باعث به تأخیر افتادن رشد حفره‌ها و شکست می‌شود. عامل به وجود 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 فاصله آزادی‌بین سنبه و ماتریس بر اندازه منطقه راکورد قطعه و نیروی برشی سنبه پرداخته شده و نتایج حاصل، با کار آزمایشگاهی موجود<sup>[۹]</sup> اعتبارسنجی می‌شود. در ادامه اثر عواملی نظیر ارتفاع V-رینگ و شعاع لبه قالب بر منطقه شعاعی و توزیع فشار هیدرواستاتیک به عنوان عاملی مهم در افزایش عمق برش و دقت قطعه و همچنین توزیع تنش شعاعی به عنوان عامل مهم در افزایش فرسایش قالب بررسی می‌شود. اثرهای مثبت به کارگیری V-رینگ در ماتریس همراه با V-رینگ

پوشش‌های سرامیکی بر روی ابزارهای شکلدهی یافت شده است<sup>[۱]</sup>.

Kim و Kwak تأثیر رینگ V شکل را روی سطح برشی در فرایند برش دقیق با استفاده از روش المان محدوده بررسی کردند. ارتفاع و موقعیت رینگ V شکل، تأثیر به سزایی در کیفیت قطعه تولیدی دارد<sup>[۲]</sup>. 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 ناحیه برش، سختی در این ناحیه افزایش می‌یابد<sup>[۳]</sup>.

Hatanaca و Yamaguchi رابطه‌ای را برای محاسبه عمق نفوذ و ارتفاع منطقه برش براساس ضخامت، جنس و عدد سختی n به دست آورند. تغییر شکل ورق نظیر شکل گیری منطقه شعاعی و بشقابی شدن با نفوذ سنبه به میزان تقریباً ۴۰٪ ضخامت ورق کامل می‌شود<sup>[۴]</sup>.

به دلیل محدود بودن مواد در ناحیه برش و وجود فشار هیدرواستاتیک، محققان این فرایند را به عملیات اکستروژن سرد تشبیه کردند که قطعه کار در این قسمت تحت شرایط تنشی و کرنشی پیچیده‌ای قرار می‌گیرد<sup>[۵]</sup>. فرایند برش دقیق با فرایندهای دیگری نظری متألثی پودر به دلیل پایداری در میزان کیفیت و دقت قطعات تولیدی، رقابت می‌کند. حتی تولید برخی قطعات به روش ریخته‌گری دقیق و تزریق پلاستیک، با روش برش دقیق جایگزین شده و تا ۵۰٪ کاهش هزینه تولید را در پی داشته است<sup>[۶]</sup>. در ابتدا موارد استفاده از برش دقیق به تولید برخی اجزای دستگاهها، ساعت و ماشین‌آلات اداری که شامل چرخ دندها و اجزای دنده‌دار تخت و بادامکهای ظریف بوده‌اند، محدود بوده است. اما امروز از این روش برای تولید قطعات از جنسهای مختلف حتی پلاستیکها،

1. Void-Damage

در این نوع شبیه‌سازی (صلب-تغییر شکل پذیر) فقط لازم است اجزای تغییر شکل پذیر (ورق) شبکه<sup>۱</sup> بنده 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. به همین منظور فقط در مناطقی که تغییر شکل و دقت زیادی لازم است، از شبکه ریز استفاده می‌شود و در سایر نواحی که در فرایند برش نقش چندانی ندارد، از شبکه بزرگتر استفاده می‌شود. از طرفی باید در نظر داشت که با ریز شدن بیش از حد اندازه شبکه نیز، به علت تعداد زیاد اجزا، خطای ناشی از گرد کردن در محاسبات به وجود خواهد آمد. در مدل‌سازی از المان CAX4R استفاده شده است. المان CAX4R عبارت است از المان چهار گرهی پیوسته متقاضان، این المان‌ها به دلیل توانایی غیر قابل تراکم بودن، دچار قفل شدگی نخواهد شد و در زمان نسبتاً کوتاهی می‌توان به جواب رسید.

### ۱-۲-۱ حساسیت نسبت به اندازه المان<sup>۲</sup>

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

سرانجام حالت تنشهای هیدرولاستاتیک در اندازه اجزای  $4 \times 10^4 \text{ mm}^3$  به حالت پایدار می‌رسد. نکته‌ای که

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

## ۲-۱-۱ مدل‌سازی فرایند

### ۲-۱-۲-۱ مدل‌سازی به روش FEM

برای شبیه‌سازی از قطعه‌ای با مقطع دایره‌ای شکل با قطر  $24 \text{ mm}$  و ضخامت  $4/5 \text{ mm}$  استفاده شده است. تمامی اجزا به جز ورق، از نوع صلب و ورق از نوع شکل پذیر انتخاب شد. در این مدل، ورق با تک‌تک اجزای دیگر تماس دارد. در تمامی سطوح، شرایط اصطکاک کولمب با ضریب اصطکاک  $0.1$  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 مرحله دوم سنبه به طرف پایین حرکت کرده و در ورق نفوذ می‌کند. برای اندازه گیری میزان بشقابی شدن، مرحله 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 اندازه گیری شود.

همچنین برای بررسی پدیده بشقابی شدن نیروی سنبه مخالف حذف شد.

در هر مرحله باید زمان گام با توجه به ارتفاع  $V$ -رینگ، سرعت سنبه و ضخامت ورق تعیین شود. به منظور 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. بقیه اجزای صلب در تمامی جهت‌ها به جز در جهت حرکت سنبه مقید می‌شوند.

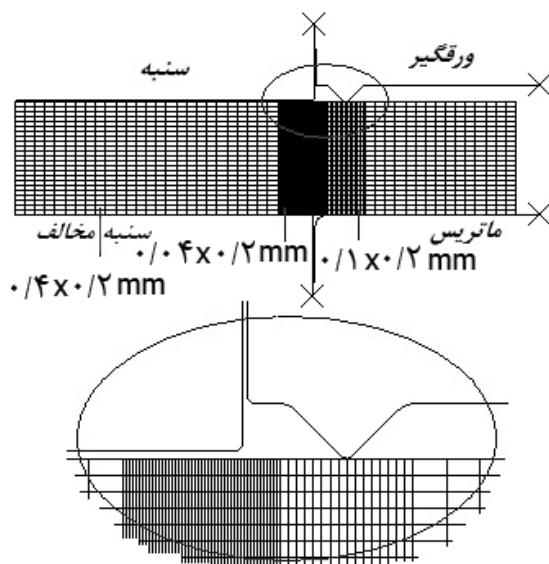
1. Mesh  
2. Mesh-Sensitivity

تحلیل فرایند برش دقیق در برنامه Abaqus/Explicit به صورت الاستیک - پلاستیک، غیر خطی<sup>۱</sup> و تقارن محوری آنجام شد.

**۲-۲-۲ مدل سازی به کمک شبکه 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 به راحتی قابل حل نیستند. با توجه به این موضوع، علاقه فرازینده‌ای 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.<sup>[۱۰]</sup> بایاس عبارت است از تنظیم وزن ورودی اول شبکه بر اساس قوانین لونبرگ-مارکوارت به گونه‌ای 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

در تحلیل بهروش المان محدود باید در نظر گرفت، این است که نسبت ابعاد المان‌ها، به منظور جلوگیری از افزایش خطأ در محاسبات نباید بزرگ باشد. لذا اندازه المان‌ها در جهت ضخامت ورق برابر  $0.2$  میلی‌متر در نظر گرفته شد که نسبت ابعادی المان‌ها در ناحیه فاصله آزادبین سنبه و ماتریس در این حالت برابر  $5$  و مقدار قابل قبولی است. در شکل (۳) مدل همراه با مشبنده به کار رفته مشاهده می‌شود.



شکل ۳ شبکه‌بندي و اندازه اجزا در مدل

در این بررسی از ماده‌ای از جنس AISI-1045 با خواص مکانیکی مطابق جدول (۱) - که از رابطه  $\bar{\sigma} = k \bar{\epsilon}^n$  تبعیت می‌کند - استفاده شده است.<sup>[۹, ۲]</sup>

جدول ۱ مشخصات مکانیکی ماده مورد استفاده

نسبت پواسن	مدول الاستیک (Gpa)	نش تسلیم (Mpa)	نش نهایی (Mpa)	توان کارسختی (n)	ضریب کارسختی (k)
۰.۳	۲۰۹	۵۰۵	۵۸۵	۰.۱۱	۱۰۲۰

$$n = w_{ji} \times u_i + b_j \quad (3)$$

خروجی‌های تابع تائزانت سیگموئید بین اعداد ۱ و -۱ قرار دارد. یکی از الگوریتم‌های آموزشی مرسوم الگوریتم آموزشی پس انتشار خط است. روش پس انتشار خط، یکی از موفق‌ترین روش‌های موجود است [۱۱]. در این تحقیق از الگوریتم پس انتشار خطی لونبرگ-مارکوارت که یکی از روش‌های بهینه‌سازی مرتبه دوم مبتنی بر مشتقات مرتبه دوم تابع خط است، استفاده شده است. برخی از روش‌های آماری نظیر RMS، MSE، و درصد میانگین خط برای بررسی صحت نتایج استفاده شوند. در این تحقیق خط یا کارایی شبکه برایه مجدور میانگین خط (MSE) به صورت زیر قابل ارزیابی است:

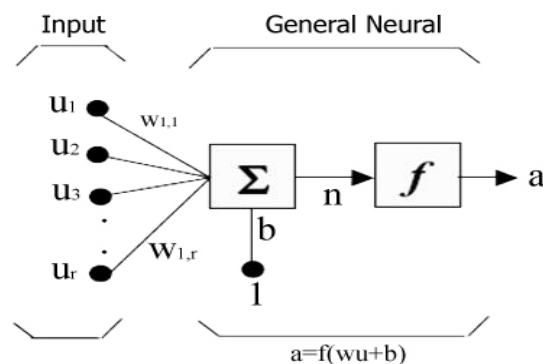
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2 \quad (4)$$

$t_i$  مقادیر نرمالیزه تولیدی توسط شبکه عصبی است.  $o_i$  مقادیر واقعی نرمالیزه بر اساس متغیرهای ورودی می‌باشد.  $n$  متناظر با تعداد ورودی‌های مستقل برای آموزش شبکه است [۱۰]. مقادیر ورودی و خروجی به شبکه عصبی برای افزایش دقت و یادگیری شبکه بین (۱، -۱) نرمالیزه شده است. برای نرمالیزه کردن مقادیر ورودی و خروجی به شبکه عصبی از رابطه زیر استفاده شده است:

$$N_n = (2N - (Min_N + Max_N)) / (Max_N - Min_N) \quad (5)$$

که  $Min_N$  کوچکترین متغیر و  $Max_N$  بزرگترین متغیر مورد استفاده در نرمالیزه کردن است.  $N$  متغیر واقعی و  $N_n$  متغیر نرمالیزه متناسب با آن است. برای تبدیل مقادیر نرمالیزه به مقادیر واقعی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

یک لایه خروجی هستند. شکل (۴) نرون دلخواه را با چند ورودی و یک خروجی نشان می‌دهد.



شکل ۴ نرون دلخواه با چند ورودی و یک خروجی [۱۰]

ضرایب یا وزن‌های تأثیر  $w$ ، بر روی هر یک از متغیرهای ورودی براساس مقدار تأثیر آن متغیر در محاسبات تأثیر می‌گذارند. از جمع متغیرهای وزن‌دهی شده با بایاس  $b$ ، مقدار ورودی تابع فعال سازی ( $F$ ) به دست می‌آید.

مقدار خروجی به دست آمده از نرون به صورت زیر است:

$$a = f \left( \sum_{i=1}^r w_{i,i} u_i + b \right) \quad (1)$$

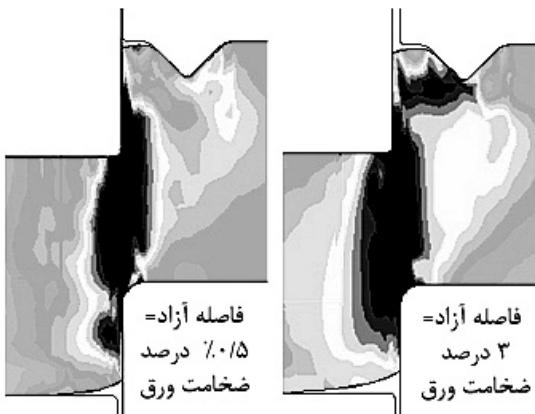
از توابع فعال سازی برای استخراج روابط تحلیلی مورد نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این توابع می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند. تابع فعال سازی مورد استفاده در این پروژه برای لایه ورودی خطی اما برای لایه میانی از غیرخطی پیوسته و مشتق‌پذیر از نوع تائزانت سیگموئید است.

تابع تائزانت سیگموئید به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\tan sig(n) = 2 / (1 + \exp(-2 \times n)) - 1 \quad (2)$$

که در آن  $n$  عبارت است از:

در شکل (۶) کانتور تنش معادل با  $50\%$  نفوذ سنبه در فاصله آزادبین سنبه و ماتریس  $0/5$  و  $3$  درصد ضخامت ورق مشاهده می‌شود. اندازه منطقه شعاعی در این شکل قابل مقایسه است. با افزایش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، گستره تنش معادل و باند کرنش افزایش می‌یابد و قسمت بیشتری از ماده در فضای فاصله آزادبین سنبه و ماتریس دچار تغییر شکل پلاستیک می‌شود. بنابراین با کاهش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس این نواحی متراکم‌تر شده و لب برش از دقیق و کیفیت بالاتری برخوردار می‌شود.



شکل ۶ کانتور تنش معادل در فاصله آزادبین سنبه و ماتریس  $0/5\%$  و  $3\%$  ضخامت

در شکل ۷ منحنی نیروی لازم برای نفوذ سنبه به داخل ورق تا عمق  $50\%$  ضخامت ورق مشاهده می‌شود. با توجه به این شکل، افزایش نیروی سنبه از Oتا 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 مشخصه کار سختی ماده ورق است و بهمین دلیل نیروی سنبه در این مرحله افزایش می‌یابد. اما از نقطه B به بعد،

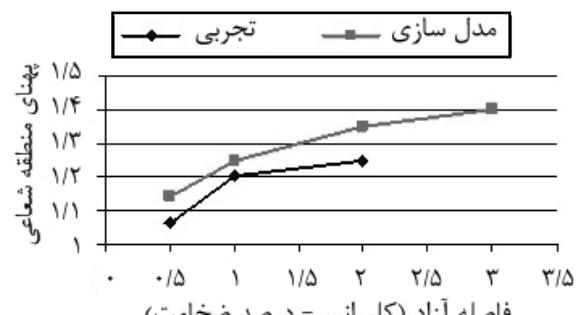
$$N_n = \text{Min}_N(N_N + 1) \cdot (\text{Max}_N - \text{Min}_N) / 2 \quad (6)$$

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

### ۳- نتایج و بحث

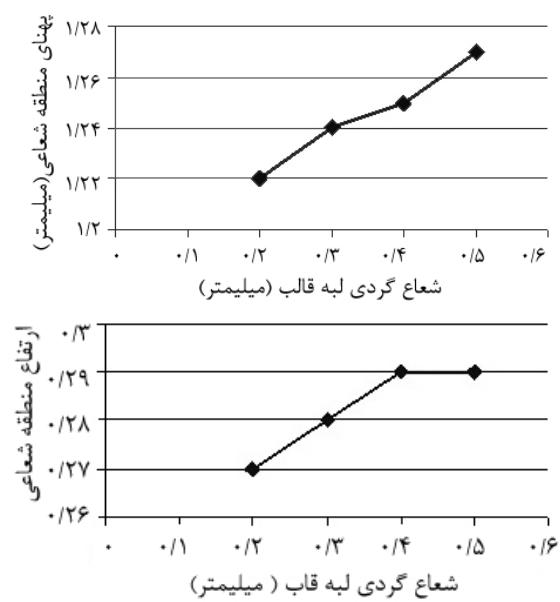
#### ۳-۱ نتایج حاصل از FEM

شکل ۵ اثر فاصله آزادبین سنبه و ماتریس را بر ارتفاع و پهنای منطقه شعاعی<sup>۱</sup> نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، با افزایش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنای منطقه شعاعی افزایش می‌یابد که با نتایج آزمایش‌های قبلی سازگار بوده و فقط بین  $3$  تا  $10\%$  خطأ مشاهده می‌شود [۹].



شکل ۵ اثر فاصله آزادبین سنبه و ماتریس بر پهنای منطقه شعاعی (بالا) و ارتفاع منطقه شعاعی (پایین)

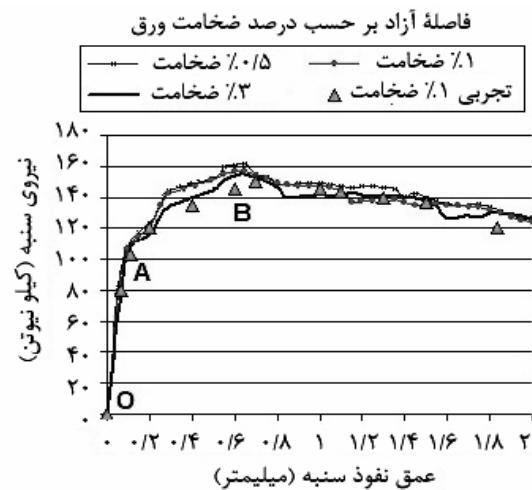
نه شعاع لبه ماتریس، لذا میتوان از شعاع لبه ماتریس برای تمرکز تنفس و جریان بهتر مواد(اکسترود سرد<sup>۱</sup>) در لبه ماتریس و تأخیر در شروع ترک از این ناحیه استفاده کرد، که باعث افزایش عمق برش می‌گردد.



شکل ۸ اثر شعاع لبه قالب بر پهنهای منطقه شعاعی(بالا) و ارتفاع منطقه شعاعی(پایین)

به طور کلی می‌توان گفت، مزایای استفاده از شعاع در لبه ماتریس بیشتر از معایب آن است. در این حالت فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، برابر با ۱٪ ضخامت ورق درنظر گرفته شد. یکی از معایب ایجاد شده در قطعات برش، بشتابی شدن<sup>۲</sup> است. نفوذ رینگ ۷ شکل در ورق، قبل از نفوذ سنبه با ایجاد تنشهای شعاعی، به پدیده بشتابی شدن کمک می‌کند. با بزرگ شدن و کاهش فاصله رینگ از سنبه، این حالت تشدید می‌گردد. با توجه به شکل ۹، علت این امر را

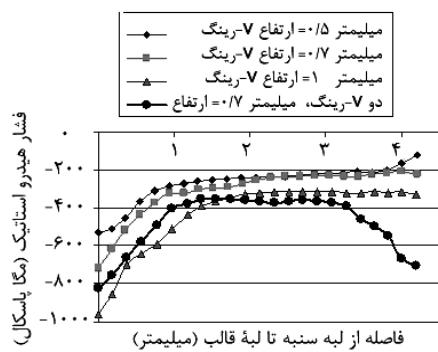
اگرچه کار سختی بیشتری ممکن است رخ دهد، اما نیروی سنبه مناسب با کاهش سطح برشی کاهش می‌یابد. در فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس ۱٪ نیروی لازم برای برش برابر ۱۵۸KN است که با مقدار تجربی (۱۵۰KN)، تطابق خوبی (۵٪ خطأ) دارد. در این شکل اثر فاصله آزادبین سنبه و ماتریس در نیروی برش دیده می‌شود. با کاهش فاصله آزادبین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



شکل ۷ اثر فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس بر نیروی برشی سنبه

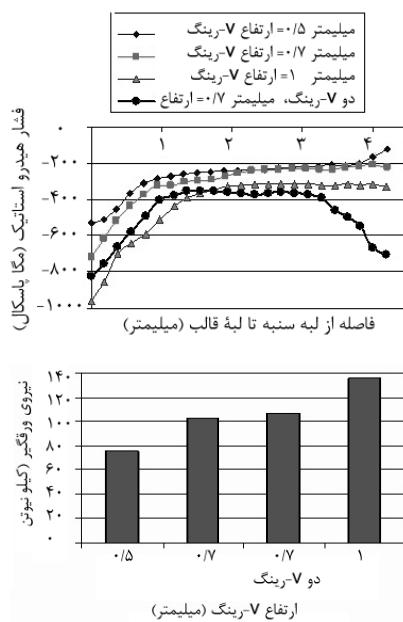
برطبق شکل ۸ شعاع لبه قالب تأثیر چندانی بر ارتفاع و پهنهای منطقه شعاعی ندارد. در ابتدای نفوذ سنبه به داخل ورق، با شعاع لبه قالب بیشتر، تغییر شکل بیشتر در منطقه شعاعی دیده می‌شود، اما سرانجام با نفوذ بیشتر سنبه در عمقی به اندازه شعاع لبه قالب، منطقه شعاعی شکل اضافی با لبه شعاعی قالب تماس پیدا کرده و از منطقه شعاعی حذف می‌شود. اندازه منطقه شعاعی بستگی زیادی به فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس دارد و در این ناحیه شکل می‌گیرد. با توجه به اینکه اندازه پلیسه در قطعه تولیدی، به شعاع لبه سنبه بستگی دارد و

1. Cold Extrusion  
2. Dishing



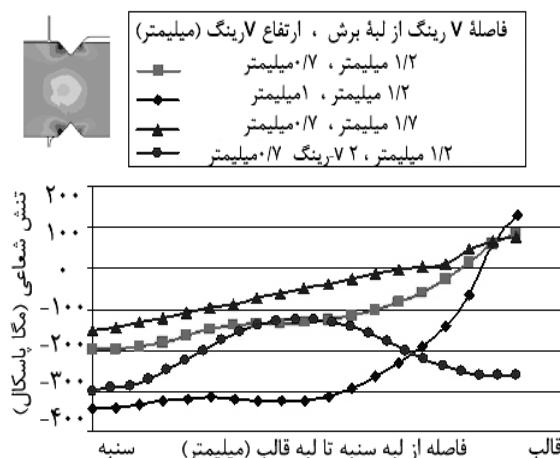
شکل ۱۰ اثر ارتفاع ۷-رینگ بر تنشهای شعاعی در دیواره سنیه

این در حالی است که این تغییرات در رینگ ۷ شکل، باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک و در نتیجه افزایش عمق برش می‌شود. بر طبق شکل ۱۱، به کارگیری ۷ رینگ در ماتریس باعث افزایش و توزیع یکنواخت‌تر فشار هیدرواستاتیک در ناحیه فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس می‌شود. این در حالی است که برای نفوذ رینگ‌های ۷-شکل، به نیروی اضافی در ورقگیر نیاز نیست.



شکل ۱۱ اثر ارتفاع ۷-رینگ بر فشار هیدرواستاتیک(بالا) و نیروی نفوذ ورقگیر(پایین)

می‌توان افزایش تنشهای شعاعی فشاری در طرف سنبه و تنشهای شعاعی کششی در طرف ماتریس دانست که به افزایش ممان و بشقابی شدن در هنگام نفوذ سنبه کمک می‌کند. به کارگیری رینگ ۷ شکل در ماتریس و مقابله رینگ ورقگیر، این اثر منفی را خنثی می‌کند. در شکل ۹ تأثیر رینگ ۷ شکل در ماتریس و ورقگیر نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۹ اثر ارتفاع و فاصله ۷-رینگ و ۷-رینگ در ماتریس بر تنشهای شعاعی

در این حالت تنشهای شعاعی، متقارن و فشاری شده که اثر مثبتی در افزایش و توزیع یکنواخت‌تر فشار هیدرواستاتیک در ناحیه فاصله آزاد سنبه و ماتریس دارد.

در شکل ۱۰ اثر ارتفاع رینگ ۷ شکل بر تنشهای شعاعی در عمق نفوذ ۵۰٪/دیده می‌شود. با توجه به این شکل، با افزایش ابعاد و نیروی رینگ ۷ شکل، بر مقدار تنشهای شعاعی در دیواره سنبه افزوده می‌شود. این تنشهای شعاعی باعث افزایش اصطکاک بین ورق و سنبه و در نتیجه فرسایش سریعتر لب برش و دیواره سنبه و افزایش انرژی برش سنبه می‌شود.

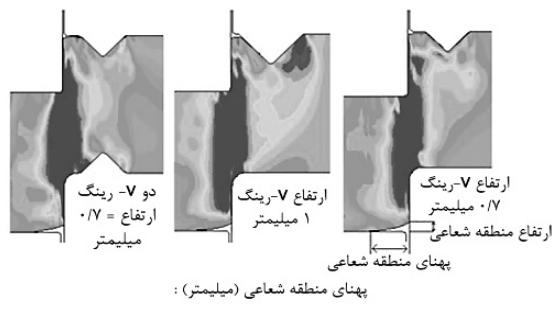
نرمالیزه کردن مقادیر در هر بازه عددی وجود دارد، اما با توجه به اینکه مقادیر خروجی تابع تانزانات سیگموید بین ۱ و -۱ است، اعداد ورودی برای آموزش شبکه نیز در این بازه نرمالیزه شد.

**جدول ۲** ورودی‌ها و خروجی‌های مورد نظر برای آموزش و آزمودن شبکه عصبی

ردیفهای آزمودن	ردیفهای آموزش	D: جهت	W: جهت	z: جهت	y: جهت	x: جهت	پیش
	-0/18	-0/07	-0/025	1	-0/2	1	
	-0/21	1/11	-0/05	1	-0/2	2	
	-0/26	1/2	0/1	1	-0/2	2	
	-0/21	1/29	-0/15	1	-0/2	4	
	-0/23	1/16	-0/025	0/8	-0/2	5	
	-0/25	1/22	-0/05	0/8	-0/2	6	
	-0/13	1/26	0/1	-0/8	-0/2	7	
	-0/26	1/38	-0/15	0/8	-0/2	8	
	-0/22	1/29	-0/025	0/5	-0/2	9	
	-0/24	1/34	-0/05	0/5	-0/2	10	
	-0/29	1/43	0/1	0/5	-0/2	11	
	-0/24	1/52	-0/15	0/5	-0/2	12	
	-0/19	1/09	-0/025	1	-0/3	13	
	-0/22	1/14	-0/05	1	-0/3	14	
	-0/27	1/23	0/1	1	-0/3	15	
	-0/22	1/32	-0/15	1	-0/3	16	
	-0/25	1/18	-0/025	0/8	-0/3	17	
	-0/27	1/24	-0/05	0/8	-0/3	18	
	-0/22	1/32	0/1	-0/8	-0/3	19	
	-0/28	1/41	-0/15	0/8	-0/3	20	
	-0/21	1/32	-0/025	0/5	-0/3	21	
	-0/25	1/36	-0/05	0/5	-0/3	22	
	-0/4	1/45	0/1	-0/5	-0/3	23	
	-0/46	1/55	-0/15	0/5	-0/3	24	
	-0/2	1/11	-0/025	1	-0/4	25	
-0/25	1/31	-0/22	1/2	-0/05	1	-0/4	26
	-0/28	1/25	0/1	1	-0/4	27	
	-0/34	1/34	-0/15	1	-0/4	28	
-0/31	1/05	-0/26	1/14	-0/025	0/8	-0/4	29
-0/32	1/2	-0/29	1/25	-0/05	0/8	-0/4	30
-0/33	1/25	-0/34	1/34	0/1	0/8	-0/4	31
	-0/39	1/41	-0/15	0/8	-0/4	32	
	-0/35	1/34	-0/025	0/5	-0/4	33	
1/31	1/5	-0/34	1/45	-0/05	0/5	-0/4	34
	-0/43	1/5	0/1	0/5	-0/4	35	
	-0/47	1/57	-0/15	0/5	-0/4	36	

با استفاده از ۷ رینگ در ماتریس می‌توان نیروی سببه مخالف را برای کاهش سایش ماتریس و اثرهای منفی آن بر عمر قالب و نیروی برشی سببه کاهش داد.

شکل ۱۰ اثر ارتفاع رینگ ۷‌شکل و ۷‌رینگ در ماتریس را بر ارتفاع منطقه شعاعی نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع ۷ رینگ این منطقه کوچکتر شده و به کیفیت و دقت قطعه افزوده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، استفاده از ۷ رینگ ۷ شکل در ماتریس اثر مثبتی بر کاهش اندازه این منطقه دارد. تنها عیب استفاده از ۷ رینگ ۷ شکل در ماتریس، افزایش هزینه ساخت و سنگردن برای تیز کردن ماتریس است.

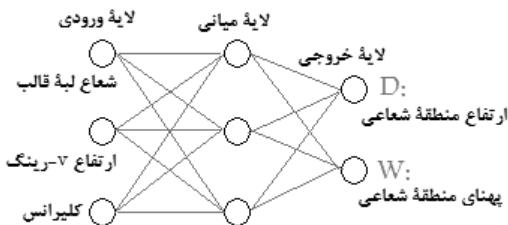


شکل ۱۲ اثر ۷ رینگ بر اندازه منطقه شعاعی

### ۳-۲-۱ نتایج حاصل از ANN<sup>1</sup>

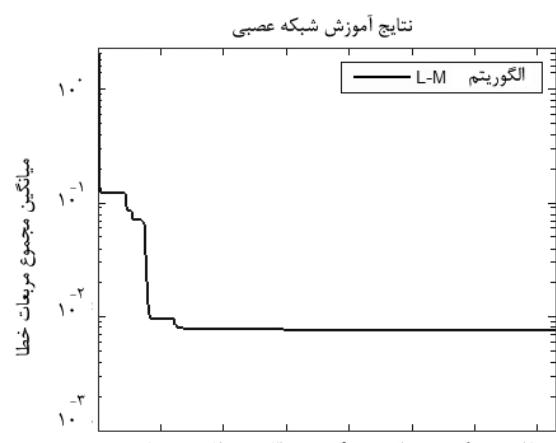
در این قسمت برای آموزش شبکه با توجه به اعتبار سنجی صورت گرفته در قسمت المان محدود، از نتایج این قسمت و نتایج عملی موجود در [۲ و ۹] استفاده شد. از میان ۳۶ ورودی، پنج ورودی که دو تای آن حاوی نتایج عملی نیز هست، برای آزمایش شبکه در نظر گرفته شد. این ورودیها به صورت سایه‌دار در ردیفهای ۴، ۱۱، ۱۴، ۲۶، ۳۶ 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

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 خطأ (MSE) در زمان آموزش شبکه عصبی که بیانگر همگرایی شبکه است، در شکل ۱۴ قابل مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴ همگرایی شبکه عصبی با مقادیر نرمالیزه شده

پس از آموزش شبکه از داده‌های موجود در جدول (۲) که به صورت سایه‌دار نشان داده شده - برای ارزیابی کارایی شبکه استفاده شد. طبق جدول (۴) و شکل ۱۵ مقادیر به دست آمده از شبکه عصبی در سه نمونه اول، یعنی داده‌های ردیف ۱۴، ۱۱، ۴ تطابق خوبی با نتایج المان

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 خطأ بهترین جوابها با یک لایه مخفی به دست آمد. برای شناسایی بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد سلولها یا نرونها 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 به عنوان شبکه عصبی مرجع انتخاب شد. شبکه با ساختار L-M، بهترین دقت را در شناسایی عملکرد سیستم داشت. در نرون‌های لایه بیرونی از دوتابع جمع استفاده شده. که خروجی آنها بیانگر D یا عمق منطقه شعاعی و W یا طول منطقه شعاعی است. ورودی‌های شبکه، شعاع لبه قالب، ارتفاع ۷-رینگ و فاصله 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 لبه قالب ناچیز بود. در این بخش نیز ضریب تأثیر این پارامتر بسیار کمتر از دو پارامتر دیگر به دست آمد.

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

D: MSE	W: MSE	تعداد نرونها
۳	.۰۰۰۱۹۰۰۶	.۰۰۰۳۴۴۱۵
۴	.۰۰۰۱۹۴۳۶	.۰۰۰۵۲۰۲۸
۵	.۰۰۲۹۱۱۱	.۰۱۵۲۹۵
۶	.۰۰۴۸۷۷۲	.۰۰۱۰۲۳۵
۷	.۰۰۲۱۲۱	.۰۱۴۴۴۸
۸	.۰۰۰۴۳۹۰۷	.۰۰۰۹۵۵۶۱
۹	.۰۰۰۳۵۶۵۹	.۰۰۳۳۹۹۲
۱۰	.۰۰۰۸۴۱۴	.۰۰۱۹۴۴۷

با توجه به جدول(۴)، خطای حاصل از شبکه عصبی در مورد پهنهای راکورد  $W$  کمتر از مقدار خطای در ارتفاع راکوردهای  $D$  است. زیرا اندازه ارتفاع راکوردهای در مقایسه با پهنهای آن کمتر است و خطای یکسان در اندازه‌گیری ارتفاع و پهنهای راکوردهای درصد خطای بیشتری را در ارتفاع راکوردهای (منطقه شعاعی) نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۵ و نتایج ارائه شده در جدول (۴)، می‌توان گفت که آموزش شبکه با موفقیت انجام شده است. میانگین خطای در مقایسه با نتایج المان محدود در پهنهای راکوردهای برابر  $1\%$  و در ارتفاع راکوردهای  $4\%$  است.

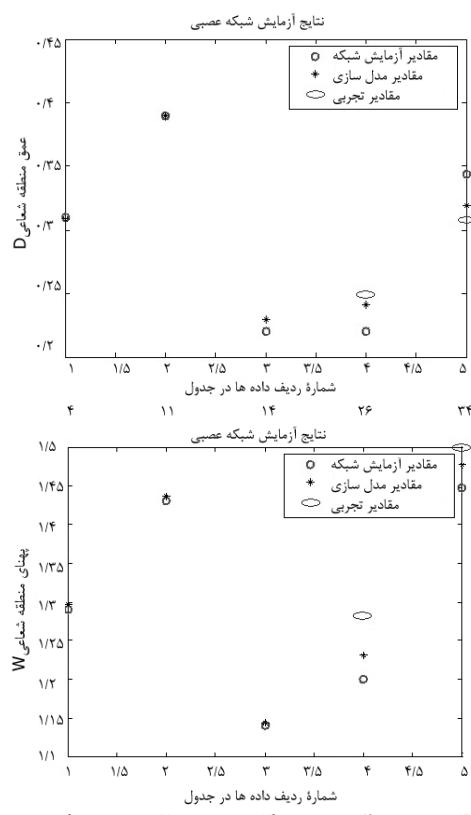
#### ۴- نتیجه‌گیری

با افزایش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنهای منطقه راکورد افزایش می‌یابد که با نتایج عملی تطابق خوبی را نشان می‌دهد. افزایش ارتفاع ۷ رینگ، باعث کوچکتر شدن منطقه راکوردهای و افزایش فشار هیدرولاستاتیک و توزیع یکنواخت‌تر آن در ناحیه فاصله آزادبین سنبه و ماتریس و در نتیجه باعث افزایش عمق برش و دقت قطعه می‌شود. در این حالت تنش شعاعی در دیواره ابزار افزایش یافته و باعث فرسایش بیشتر ابزار می‌شود. به کارگیری رینگ ۷ شکل در ماتریس، باعث کاهش تنشهای شعاعی و کاهش بشقابی شدن و همچنین باعث توزیع یکنواخت تنشهای هیدرولاستاتیک و پایداری آن تا عمق نفوذ بیشتر در ناحیه فاصله آزادبین سنبه و ماتریس می‌شود. در نتیجه می‌توان از نیروی ورقگیر و سنبه مخالف که برای افزایش فشار هیدرولاستاتیک استفاده می‌شود کاست، که در این صورت از استهلاک دستگاه و قالب کاسته می‌شود. در پایان، با توجه به نتایج بدست آمده از روش المان محدود و شبکه عصبی، این دو، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی

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

**جدول ۴** خروجی حاصل از آزمون شبکه و درصد خطای در مقایسه با داده‌های عملی و المان محدود

D: شبکه عصبی	D: مدل سازی	D: تجربی	درصد خطای	W: شبکه عصبی	W: مدل سازی	W: تجربی	درصد خطای	ردیف
.۰۳۱	.۰۳۱	*	.	۱/۳	۱/۲۹	*	.۰۷	۴
.۰۳۹	.۰۳۹	*	.	۱/۴	۱/۴۳	*	.۰۶	۱۱
.۰۲۳	.۰۲۲	*	۴/۵	۱/۱۵	۱/۱۴	*	.۰۸	۱۴
.۰۲۴	.۰۲۲	۱/۲۵	F:9-- E:4	۱/۱۳	۱/۲	۱/۳۱	F:2.5-- E:6	۲۶
۱/۳۲	۱/۳۴	۱/۳۷	F:6-- E:3	۱/۴۷	۱/۴۵	۱/۵	F:1-- E:2	۲۴
			میانگین ٪۴				میانگین ٪۱	



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

[5] Metal Handbook, Volume 14,"Forming and Forging", Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee, 9<sup>th</sup> Ed, (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.دیتر، ترجمه شهره 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).

کیفیت و دقت قطعه تولیدی و عمر ابزار در روش برش دقیق است. اما با توجه به تعدد پارامترها و پیچیدگی مسئله، تحقیقات بیشتری در این زمینه ضروری است.

## ۵- مراجع

- [1] F.klocke, K.Sweeney, "Improved tool design for fine blanking through the application of numerical 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