

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

عباس پیرقلی^۱، سید محمد ابراهیم درخشانی^۲، کارن ابری نیا^۳، فرامرز جوانرودی^{۴*}

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 ۱۶۳-۱۶۷۶۵

f.roodi@ic.ac.uk

(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۶، 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 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 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. به کارگیری 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 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 هیدرواستاتیک، المان محدود، شبکه عصبی مصنوعی.

۱- مقدمه

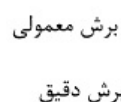
به همین دلیل درک فرایند برش در فلزها و عوامل مؤثر بر

آن می‌تواند در کاهش هزینه‌های تولید و افزایش کیفیت، تأثیر به‌سزایی داشته باشد. یکی از روشهای دقیق در زمینه شکل‌دهی فلزها- که معمولاً به عملیات بعدی نیاز ندارد -

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.

برش توسط پرسهای مجهز 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 هیدرواستاتیک بالا قرار می گیرد و حاصل کار، قطعه ای بسیار دقیق تر 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 پرس های مورد نیاز نیز از نوع سه مرحله ای هیدرولیکی بوده و ترتیب و زمان عمل اجزای قالب، به طور دقیق و در قالبهای پیچیده با سیستم هیدرولیکی CNC تنظیم و کنترل می شود.

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



Raedt و Klocke برای کاهش اصطکاک و سایش ابزار از پوشش سرامیکی به روش CVD^۳ بر روی سطح ابزار استفاده کرده‌اند. در بردش دقیق به دلیل سرعت پایین سنبه و کاهش ضربه می‌توان از این نوع پوششها در ابزار استفاده کرد. تاکنون کار بهای متعددی برای استفاده از

سرعت سنبه نسبت به روش معمولی بسیار کمتر است (۵-۱۵ mm/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 ۲۰ mm می‌رسد.

2. Fine-Blanking
3. Chemical Vapor Deposition

1. Clearance

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

Kwak و Kim تأثیر رینگ V شکل را روی سطح برشی در فرایند برش دقیق با استفاده از روش المان محدود بررسی کرده‌اند. ارتفاع و موقعیت رینگ V شکل، تأثیر به‌سزایی در کیفیت قطعه 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 ناحیه برش، سختی در این ناحیه افزایش می‌یابد [۳].

Hatanaca و Yamaguchi رابطه‌ای را برای محاسبه عمق نفوذ و ارتفاع منطقه برش براساس ضخامت، جنس و عدد سختی n به‌دست آوردند. تغییر شکل ورق نظیر شکل‌گیری منطقه شعاعی و بشقابی شدن با نفوذ سنبه به میزان تقریباً ۰.۴٪ ضخامت ورق کامل می‌شود [۴].

به‌دلیل محدود بودن مواد در ناحیه برش و وجود فشار هیدرواستاتیک، محققان این فرایند را به عملیات اکستروژن سرد تشبیه کرده‌اند که قطعه 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 [۶]. 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 [۶].

در برش دقیق، تخریب حفره‌ای^۱ 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 فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس بر اندازه منطقه 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 لبه قالب بر منطقه 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 کارگیری V-رینگ در ماتریس همراه با V-رینگ

1. Void-Damage

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 به روش FEM

برای شبیه‌سازی از قطعه‌ای با مقطع دایره‌ای شکل با قطر ۲۴ mm و ضخامت ۴/۵ mm استفاده شده است. تمامی اجزا به جز 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 سوم 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 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. بقیهٔ اجزای صلب در تمامی جهت‌ها به جز در جهت حرکت سنبه مقید می‌شوند.

در این نوع شبیه‌سازی (صلب-تغییر شکل پذیر) فقط لازم است اجزای تغییر شکل پذیر (ورق) شبکهٔ 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، میانمایی‌ها 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 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 به وجود خواهد آمد. در مدل‌سازی از المان CAX4R استفاده شده است. المان CAX4R عبارت است از المان چهار گرهی پیوستهٔ متقارن، این المان‌ها به دلیل 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^۱

علاوه بر نوع، اندازه المان نیز در شبیه‌سازی مهم بوده و نتایج حاصل، به آن وابسته است. اندازهٔ المان‌ها باید به گونه‌ای 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 هیدرو استاتیک در اندازهٔ اجزای ۰/۰۴mm به حالت پایدار می‌رسد. نکته‌ای که

1. Mesh

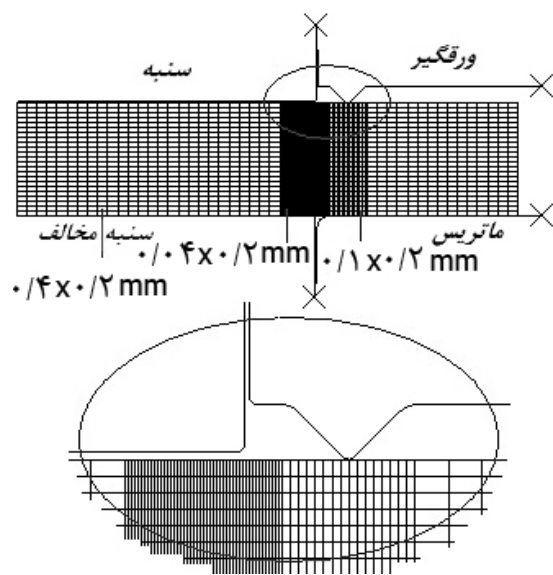
2. Mesh-Sensitivity

تحلیل فرایند برش دقیق در برنامه Abaqus/Explicit به صورت الاستیک - پلاستیک، غیر خطی^۱ و تقارن محوری^۲ انجام شد.

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 بوده ایم که برای آنها راه حلی موجود نیست یا به راحتی قابل حل نیستند. با توجه به این موضوع، علاقه فزاینده ای در توسعه سیستمهای دینامیکی هوشمند آزاد از مدل که مبتنی بر داده های تجربی هستند، ایجاد شده است. "شبکه های عصبی مصنوعی" جزو این دسته از سیستمهای دینامیکی هستند که با پردازش داده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در داده ها را به ساختار خود منتقل می کنند. اصلی ترین جزو شبکه عصبی نرون نام دارد. شبکه های عصبی مصنوعی از اتصال اختیاری تعدادی نرون به دست می آیند. هر یک از نرونها دارای مشخصه ورودی و خروجی مشخصی بوده و محاسبات محلی مشخصی را انجام می دهند. الگوریتم آموزش شبکه، حلقه آموزشی تکرارشونده ای است که تا رسیدن به دقت مورد نظر تکرار می شود. 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 تنظیم وزن ورودی اول شبکه بر اساس قوانین لونیبرگ - مارکوارت به گونه ای که به همگرایی بهتر شبکه کمک کند. هدف اصلی از طراحی و آموزش شبکه های عصبی، ایجاد شبکه ای با قابلیت پاسخگویی صحیح به مقادیر پیش بینی نشده است. شبکه های عصبی معمولاً شامل یک لایه ورودی و چندین لایه میانی و

در تحلیل به روش المان محدود باید در نظر گرفت، این است که نسبت ابعاد المان ها، به منظور جلوگیری از افزایش خطا در محاسبات نباید بزرگ باشد. لذا اندازه المان ها در جهت ضخامت ورق برابر ۰/۲ میلی متر در نظر گرفته شد که نسبت ابعادی المان ها در ناحیه فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس در این حالت برابر ۵ و مقدار قابل قبولی است. در شکل (۳) مدل همراه با مش بندی به کار رفته مشاهده می شود.



شکل ۳ شبکه بندی و اندازه اجزا در مدل

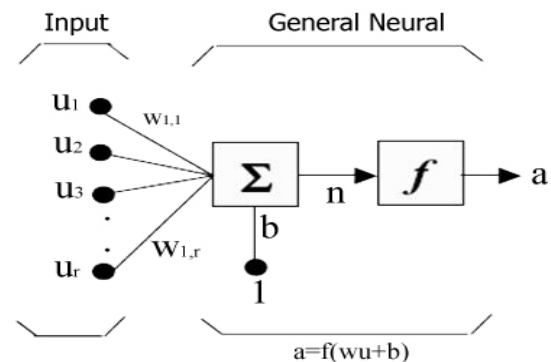
در این بررسی از ماده ای از جنس AISI-1045 با خواص مکانیکی مطابق جدول (۱) - که از رابطه $\bar{\sigma} = k\bar{\epsilon}^n$ تبعیت می کند - استفاده شده است [۹،۲].

جدول ۱ مشخصات مکانیکی ماده 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

1. Nonlinear
2. Axisymmetric

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) به‌دست می‌آید. مقدار خروجی به‌دست آمده از نرون به‌صورت زیر است:

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

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

تابع تانژانت 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:

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

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

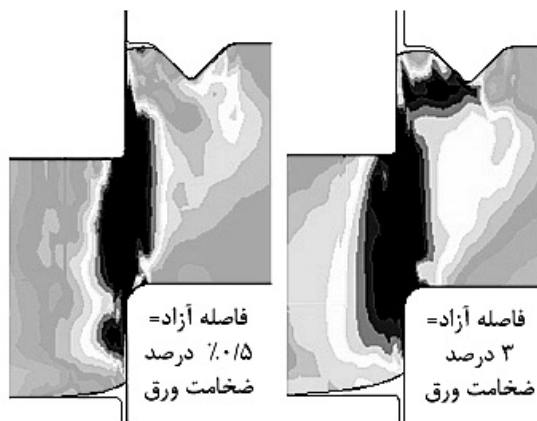
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - o_i)^2 \quad (4)$$

o_i مقادیر نرمالیزه تولیدی توسط شبکه عصبی است. t_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:

در شکل (۶) کانتور تنش معادل با ۵۰٪ نفوذ سنبه در فاصله آزادبین سنبه و ماتریس ۰/۵ و ۳ 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 متمرکزتر شده و لبه برش از دقت و کیفیت بالاتری برخوردار می‌شود.



شکل ۶ کانتور تنش معادل در فاصله 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 مشخصه کار سختی ماده ورق است و به همین دلیل نیروی سنبه در این مرحله افزایش می‌یابد. اما از نقطه B به بعد،

$$N_n = \frac{Min_N (N_N + 1) \cdot (Max_N - Min_N)}{2} \quad (6)$$

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 شبکه عصبی نوشته شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از FEM

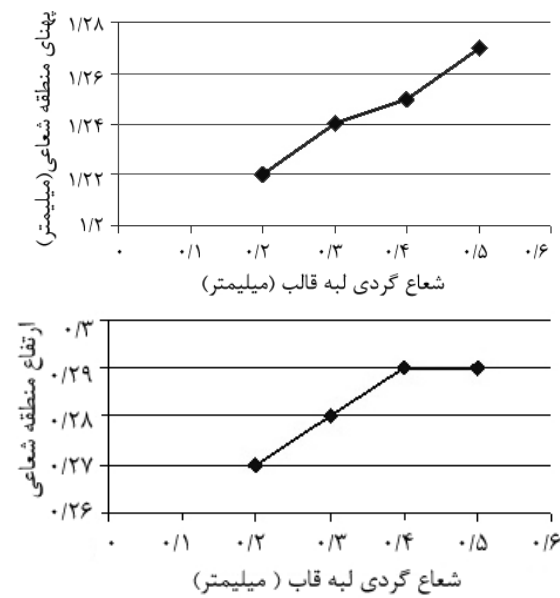
شکل ۵ اثر فاصله آزادبین سنبه و ماتریس را بر ارتفاع و پهنای منطقه شعاعی^۱ نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، با افزایش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنای منطقه شعاعی افزایش می‌یابد که با نتایج آزمایشهای قبلی سازگار بوده و فقط بین ۳ تا ۱۰٪ خطا مشاهده می‌شود [۹].



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

1. Die-Roll

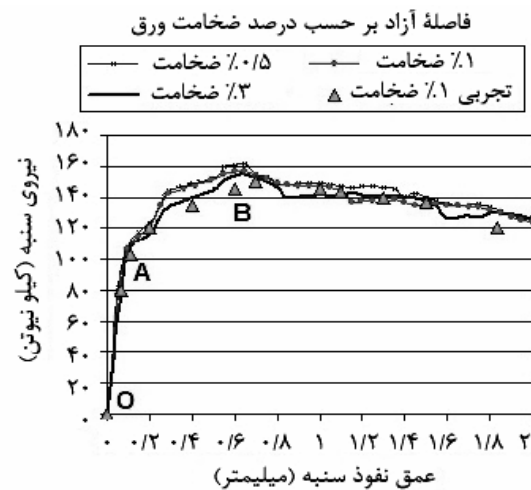
نه شعاع لبه ماتریس، لذا میتوان از شعاع لبه ماتریس برای تمرکز تنش و جریان بهتر مواد (اکستروژ سرد^۱) در لبه ماتریس و تأخیر در شروع ترک از این ناحیه استفاده کرد، که باعث افزایش عمق برش می‌گردد.



شکل ۸ اثر شعاع لبه قالب بر پهنای 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 آزاد بین سنبه و ماتریس، برابر با ۱٪ ضخامت ورق در نظر گرفته شد. یکی از معایب ایجاد شده در قطعات برش، بشقابی شدن^۲ است. نفوذ رینگ V شکل در ورق، قبل از نفوذ سنبه با ایجاد تنشهای شعاعی، به پدیده بشقابی شدن کمک می‌کند. با بزرگ شدن و کاهش فاصله V رینگ از سنبه، این حالت تشدید می‌گردد. با توجه به شکل ۹، علت این امر را

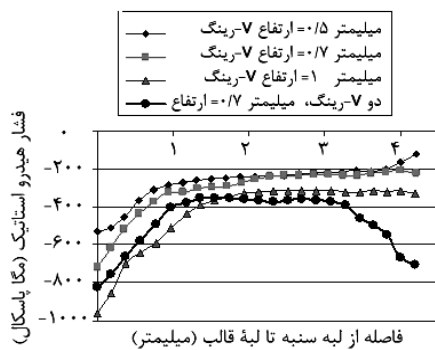
اگرچه کار سختی بیشتری ممکن است رخ دهد، اما نیروی سنبه متناسب با کاهش سطح برشی کاهش می‌یابد. در فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس ۱٪ نیروی لازم برای برش برابر ۱۵۸ KN است که با مقدار تجربی (۱۵۰ KN)، تطابق خوبی (۵٪ خطا) دارد. در این شکل اثر فاصله آزاد بین سنبه و ماتریس در نیروی برش دیده می‌شود. با کاهش فاصله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



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

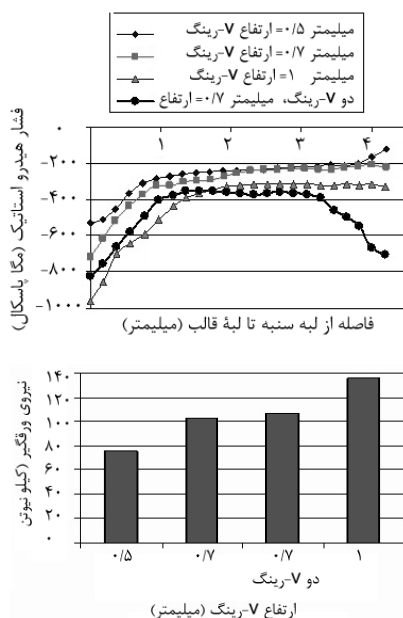
بر طبق شکل ۸ شعاع لبه قالب تأثیر چندانی بر ارتفاع و پهنای منطقه شعاعی ندارد. در ابتدای نفوذ سنبه به داخل ورق، با شعاع لبه قالب بیشتر، تغییر شکل بیشتری در منطقه شعاعی دیده می‌شود، اما سرانجام با نفوذ بیشتر سنبه در عمقی به اندازه شعاع لبه قالب، منطقه تغییر شکل اضافی با لبه شعاعی قالب تماس پیدا کرده و از 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



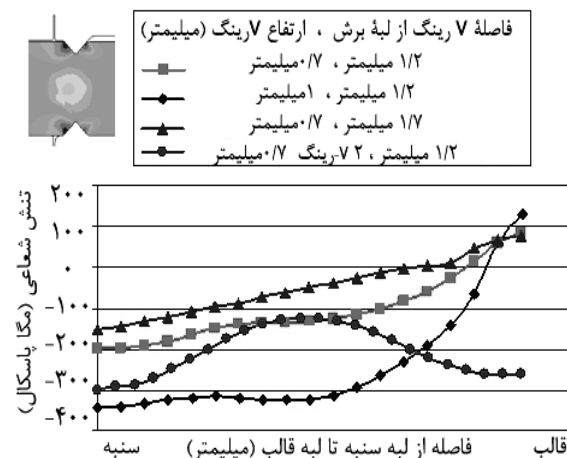
شکل ۱۰ اثر ارتفاع V-رینگ بر تنشهای شعاعی در دیواره سنبه

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



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

می توان 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 می کند. به کارگیری رینگ V شکل در ماتریس و مقابل رینگ ورقگیر، این اثر منفی را خنثی می کند. در شکل ۹ تأثیر رینگ V شکل در ماتریس و ورقگیر نیز مشاهده می شود.



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

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

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

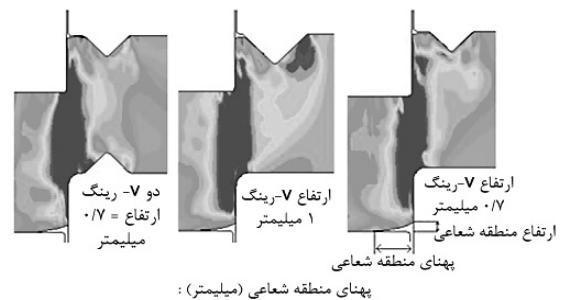
نرمالیزه کردن مقادیر در هر بازه عددی وجود دارد، اما با توجه به اینکه مقادیر خروجی تابع تانزانت سیگموئید بین ۱ و -۱ است، اعداد ورودی برای آموزش شبکه نیز در این بازه نرمالیزه شد.

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

ردیف	شعاع کانال	ارتفاع کانال	پهنای پهنای شعاعی	D: منحنی شعاعی	نتایج شبیه‌سازی
۱	۰/۲	۱	۰/۰۲۵	۰/۱۸	
۲	۰/۲	۱	۰/۰۵	۰/۲۱	
۳	۰/۲	۱	۰/۱	۰/۲۶	
۴	۰/۲	۱	۰/۱۵	۰/۳۱	
۵	۰/۲	۰/۸	۰/۰۲۵	۰/۲۳	
۶	۰/۲	۰/۸	۰/۰۵	۰/۲۵	
۷	۰/۲	۰/۸	۰/۱	۰/۳	
۸	۰/۲	۰/۸	۰/۱۵	۰/۳۶	
۹	۰/۲	۰/۵	۰/۰۲۵	۰/۳۲	
۱۰	۰/۲	۰/۵	۰/۰۵	۰/۳۴	
۱۱	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۰/۳۹	
۱۲	۰/۲	۰/۵	۰/۱۵	۰/۳۴	
۱۳	۰/۳	۱	۰/۰۲۵	۰/۱۹	
۱۴	۰/۳	۱	۰/۰۵	۰/۲۲	
۱۵	۰/۳	۱	۰/۱	۰/۲۷	
۱۶	۰/۳	۱	۰/۱۵	۰/۳۲	
۱۷	۰/۳	۰/۸	۰/۰۲۵	۰/۲۵	
۱۸	۰/۳	۰/۸	۰/۰۵	۰/۲۷	
۱۹	۰/۳	۰/۸	۰/۱	۰/۳۲	
۲۰	۰/۳	۰/۸	۰/۱۵	۰/۳۸	
۲۱	۰/۳	۰/۵	۰/۰۲۵	۰/۳۱	
۲۲	۰/۳	۰/۵	۰/۰۵	۰/۳۵	
۲۳	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۴	
۲۴	۰/۳	۰/۵	۰/۱۵	۰/۴۶	
۲۵	۰/۴	۱	۰/۰۲۵	۰/۲	
۲۶	۰/۴	۱	۰/۰۵	۰/۲۲	۱/۳۱
۲۷	۰/۴	۱	۰/۱	۰/۲۸	
۲۸	۰/۴	۱	۰/۱۵	۰/۳۴	
۲۹	۰/۴	۰/۸	۰/۰۲۵	۰/۲۶	۱/۰۵
۳۰	۰/۴	۰/۸	۰/۰۵	۰/۲۹	۱/۲
۳۱	۰/۴	۰/۸	۰/۱	۰/۳۴	۱/۲۵
۳۲	۰/۴	۰/۸	۰/۱۵	۰/۳۹	
۳۳	۰/۴	۰/۵	۰/۰۲۵	۰/۳۵	
۳۴	۰/۴	۰/۵	۰/۰۵	۰/۳۴	۱/۵
۳۵	۰/۴	۰/۵	۰/۱	۰/۴۳	
۳۶	۰/۴	۰/۵	۰/۱۵	۰/۴۷	

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

شکل ۱۰ اثر ارتفاع رینگ ۷ شکل ۷ رینگ 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 رینگ ۷ شکل در ماتریس اثر مثبتی بر کاهش اندازه این منطقه دارد. تنها عیب استفاده از رینگ ۷ شکل در ماتریس، افزایش هزینه ساخت و سنگینی برای تیز کردن ماتریس است.



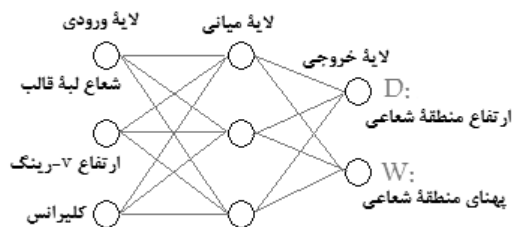
شکل ۱۲ اثر ۷ رینگ بر اندازه منطقه شعاعی

۲-۳ نتایج حاصل از ANN¹

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

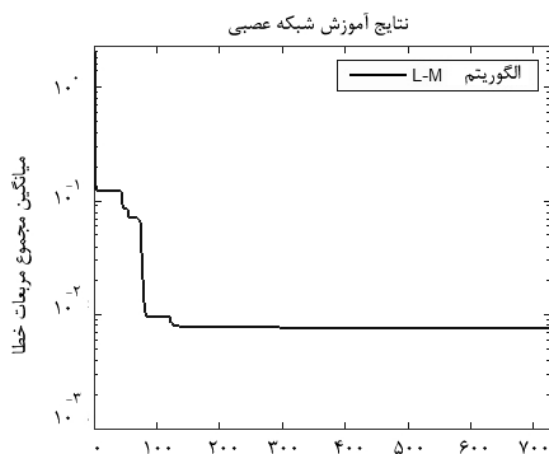
1. Artificial Neural Networks

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 می شود.



شکل ۱۴ همگرایی شبکه عصبی با مقادیر نرمالیزه شده

پس از آموزش شبکه از داده های موجود در جدول (۲) که به صورت سایه دار 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 داده های ردیف ۴، ۱۱، ۱۴ تطابق خوبی با نتایج المان

بین لایه های ورودی و خروجی، لایه های مخفی قرار می شود که در آنها عمل نگاشت مجدد و محاسبات انجام می شود. در این تحقیق با روش سعی و خطا بهترین جوابها با یک لایه مخفی به دست 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)، شبکه ای که MSE آن نسبت به سایر سلولها کمتر بود به عنوان شبکه 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 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. همان طور 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	۰/۰۰۰۱۹۰۰۶	۰/۰۰۰۳۴۴۱۵
۴	۰/۰۰۰۱۹۴۳۶	۰/۰۰۰۵۲۰۲۸
۵	۰/۰۰۲۹۱۱۱	۰/۰۱۵۲۹۵
۶	۰/۰۰۴۸۷۷۲	۰/۰۱۰۲۳۵
۷	۰/۰۰۲۱۲۱	۰/۰۱۴۴۴۸
۸	۰/۰۰۴۳۹۰۷	۰/۰۰۰۹۵۵۶۱
۹	۰/۰۰۰۳۵۶۵۹	۰/۰۰۳۳۹۹۲
۱۰	۰/۰۰۸۴۱۴	۰/۰۰۱۹۴۴۷

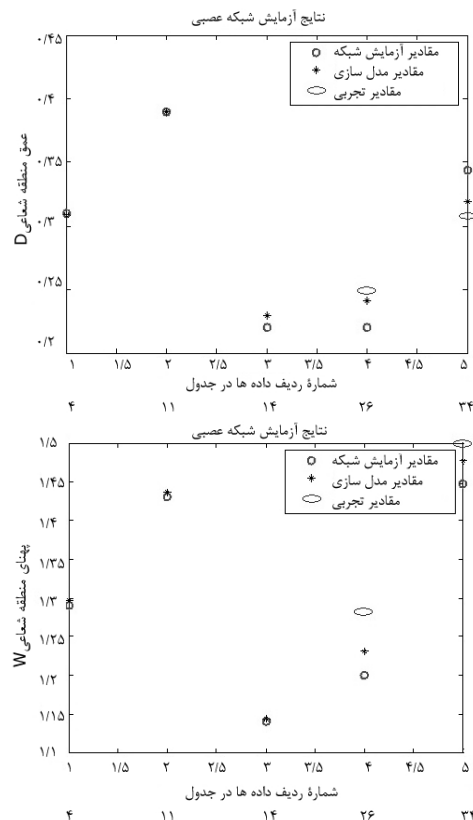
محدود دارد. در دو نمونه آخر به علت استفاده از نتایج و داده‌های عملی در این ناحیه، خطای خروجی شبکه عصبی نسبت به نتایج المان محدود افزایش یافته است.

جدول ۴ خروجی حاصل از آزمون شبکه و درصد 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 ۱/۱				میانگین ۴/۴			

۴- نتیجه گیری

با افزایش فاصله آزادبین سنبه و ماتریس، ارتفاع و پهنای منطقه راکورد افزایش می‌یابد که با نتایج عملی تطابق خوبی را نشان می‌دهد. افزایش ارتفاع V رینگ، باعث کوچک‌تر شدن منطقه راکورد و افزایش فشار هیدرواستاتیک 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 هیدرواستاتیک 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 هیدرواستاتیک استفاده می‌شود کاست، که در این صورت از استهلاک دستگاه و قالب کاسته می‌شود. در پایان، با توجه به نتایج به دست آمده از روش المان محدود و شبکه عصبی، این دو، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی



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, 9th Ed, (1993)

[6] www.metal forming.com

[7] William F. Hosford, Robert M. Caddell, "Metal forming Mechanics and Metallurgy", University of Michigan 1983

[۸] متالورژی مکانیکی، جورج ای. دیتز، 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 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 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