

جبران سازی خاصیت برگشت فنری در خم کاری

علی شقاقی مقدم (کارشناسی ارشد)

احمد عاصم پور (دانشیار)، محمدرضا موحدی (دانشیار)

چکیده

در هنگام شکل دهی، ورق تحت تاثیر نیرو (یا جابجایی) تغییر شکل می یابد قسمتی از ورق تحت تغییر شکل الاستیک و قسمتی دیگر تحت تغییر شکل پلاستیک قرار می گیرد. پس از باربرداری به دلیل تنشهای داخلی که در ورق وجود دارد انحرافی در شکل قطعه بوجود می آید که به این خاصیت، خاصیت برگشت فنری می گویند. در این مقاله ابتدا دو الگوریتم متداول در زمینه جبران سازی بررسی می شوند. این دو الگوریتم یکی بر اساس جابجای گره ها و دیگری بر اساس میدان نیروی اعمال شده به ورق در موقع پرسکاری اقدام به تصحیح قالب می نمایند. جنس ورق، ضخامت ورق، اصطکاک و نیروی ویق گیر در این دو الگوریتم مد نظر گرفته نمی شوند. بعد از معرفی دو الگوریتم فوق، الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می گیرد. این الگوریتم دقیقاً با همان مکانیزمی که برگشت فنری در ورق رخ می دهد اقدام به جبران آن می نماید. به این صورت که با عبور دادن کمان از تمامی سه گره مجاور در دو مش مرجع و برگشت فنری و مقایسه کمان های متقابل رابطه ای برای برگشت فنری در هر گره تقریب زده می شود. حال با دانستن رفتار ورق در هر گره می توانیم سطح جبران شده را طوری پیدا کنیم که پس از برگشت فنری سطح مطلوب حاصل گردد. این الگوریتم تعداد تکرار کمتری نسبت به الگوریتمهای دیگر برای رسیدن به تolerانس مطلوب مورد نیاز می باشد. در نهایت ساخت چند قطعه صنعتی که با این الگوریتم طراحی قالب در آن صورت گرفته برای معتبر سازی الگوریتم آورده می شود.

کلمات کلیدی: برگشت فنری-جبران سازی-ورق کاری-شکل دهی U

مقدمه

ورق کاری یکی از مهمترین فرایندهای تولید در صنعت می باشد. به عنوان مثال بیشتر در صنعت خودرو و هوافضا شاهد این فرایند می باشیم. بیشتر قطعاتی که ورق کاری می شوند جزئی از یک مجموعه بزرگتر می باشند که بعداً می بایست بصورت مجموعه سوار شوند. حال اگر هر کدام از قطعات دارای انحراف غیرمجاز باشد باعث بروز مشکلات اساسی هنگام اسمبل کردن می گردد. بنابراین رسیدن به قطعه مطلوب از اهمیت به سزای در ورق کاری برخوردار می باشد [1,7]. به صورت سنتی برای رسیدن به این هدف ابتدا قالب را بصورت شکل نهایی قطعه می ساختند. پس از عملیات ورق کاری، مقدار بازگشت فنری را بصورت عینی مشاهده نموده و اقدام به تصحیح قالب بصورت تجربی می نمودند [4]. این کار نیاز به تجربه بالا داشت و در بعضی مواقع باعث از کار افتادگی قالب می گشت. امروزه با گسترده شدن کدهای نرم افزاری FE (Finite element) کار روش نو به خود گرفته است به این صورت که با یک تحلیل دقیق تنش و کرنش با استفاده از این کدها، کاربر قادر می باشد که شکل نهایی ورق را پس از برگشت فنری را بدست آورد و با استفاده از اطلاعات بدست آمده از انحراف شکل با قطعه ایدال اقدام به تصحیح قالب نماید [13]. این روش هزینه خیلی کم نسبت به روش سنتی دارد و دقت کار بسیار بالا می رود. در این پروژه از بسته نرم افزاری ABAQUS برای تحلیل FE و از MATLAB برای بهینه سازی و همچنین از Solidworks برای طراحی قطعات استفاده شده است. الگوریتمهای مختلفی برای جبران سازی خاصیت برگشت فنری معرفی شده است [2,4,5,6] که می توان از میان آنها به روش Displacement Adjustment نام برد که دارای الگوریتم نسبتاً ساده می باشد. تقریبهای خطی استفاده شده در این الگوریتم باعث پایین آمدن زمان محاسبه شده است ولی در عین حال باعث کم شدن دقت کار نیز می گردد. روش دیگر Spring forward می باشد که مناسب برای جبران سازی اشکال ساده می باشد. در ابتدا با بررسی شکل دهی کمان تحت شرایط کرنش صفحه ای، رابطه تحلیلی مربوط به این شکل دهی استخراج می شود. این رابطه بیان می دارد که اگر کمانی به شعاع R از یک ورق با جنس و ضخامت مشخص فرم داده شود پس از باربرداری شعاع آن به R' تغییر می کند که از رابطه تحلیلی می توانیم این شعاع برگشت فنری را بدست آوریم [8]. از این ایده می توانیم استفاده کنیم و اقدام به تصحیح قالب نماییم به این صورت که با مش بندی پروفیل مرجع و برگشت فنری انحنای کمان در هر نقطه از دو مش را بدست می آوریم. از این اطلاعات استفاده می کنیم و رابطه تحلیلی بدست آمده برای شکل دهی کمان را تصحیح می کنیم. در نهایت با استفاده از این رابطه تصحیح شده مش تصحیح شده را بدست می آوریم. این الگوریتم دقیقاً با همان مکانیزمی که برگشت فنری در ورق رخ می دهد اقدام به جبران آن می نماید. به همین دلیل تعداد تکرار کمتری نسبت به الگوریتمهای دیگر برای رسیدن به تolerانس مطلوب مورد نیاز می باشد.

استراتژی جبران کردن برگشت فنری

حتی پس از بهینه کردن قطعه تولیدی و فرایند کشش عمیق از نظر کم کردن برگشت فنری، قطعه تولید شده پس از باربرداری انحرافاتی در خود به خاطر تنش های داخلی می بیند. بنابراین جبران کردن برگشت فنری لازم به نظر می رسد تا اینکه قطعه با تolerانس مناسب تولید گردد. بعد از بهینه سازی اولیه در طراحی قطعه و فرایند کشش عمیق، کارنهایی بهینه سازی شکل قالب و پانچ می باشد. به این مرحله over bending گویند که به معنای تغییر شکل قالب به نحوی که بعد از برگشت فنری قطعه ایجاد شده به قطعه مطلوب برسد. مساله جبران کردن برگشت فنری به صورت سنتی روالی بمانند ذیل را طی می کند. اول با توجه به شکل مطلوب، پروفیل های قالب و پانچ را درست می کنند. پس از اجرای پرسکاری، چند نمونه را انتخاب نموده و شکل آن را بصورت دقیق وارد رایانه می نمایند و با مقایسه با شکل مطلوب، تصمیم گیری بر چگونگی تغییر قالب انجام می گیرد سپس دوباره فرایند تکرار می گردد این عمل چندین

بار برای رسیدن به تolerانس مطلوب تکرار می گردد [11]. اگر چه این روش تا حد مورد قبولی مناسب می باشد ولی از لحاظ زمانی و مالی بسیار هزینه بر می باشد. امروزه با رایج شدن بسته های نرم افزاری المان محدود کار بسیار ساده شده است دیگر هزینه هایی که کاربر مجبور به پرداخت برای نمونه سازی بود نیاز نمی باشد و تمام جبران کردن توسط نرم افزار صورت گرفته و نتیجه نهایی برای ساخت به دستگاه CNC ارسال می شود. البته بسیار مهم می باشد که از یک نرم افزار قابل اطمینان استفاده گردد چرا که در غیر اینصورت هزینه ها بیشتر می گردد. نکته مهم اینجاست که بهینه کردن شکل قالب، برگشت فوری را کم نمی کند بلکه حتی در بعضی مواقع احتمال زیاد شدن برگشت فوری نیز می باشد. در ادامه بحث الگوریتم های متداول برای بررسی این مساله مورد بحث قرار می گیرند.

روش Displacement Adjustment

در روش سنتی برای اینکه اثرات برگشت فوری را جبران کنند به این صورت عمل می کنند که ابتدا قالب را به شکل قطعه درست می کنند [3,4]. وقتی ورق داخل قالب قرار گرفته با حرکت پانچ ورق شکل قالب را به خود می گیرد. اما به محض آزاد سازی ورق از قالب بخاطر تنش های پسماند داخلی، انحرافی در شکل ورق ایجاد می گردد. با اندازه گیری این انحرافات، کاربر با توجه به تجربه، شروع به اصلاح قالب می کرد بنحوی که اثرات برگشت فوری را به حداقل برساند این روش بسیار هزینه بر هم از لحاظ زمانی و مالی بود و نیاز به تجربه بسیار زیاد می داشت. امروزه با توسعه یافتن بسته های نرم افزاری المان محدود روند کار مسیری نو به خود گرفته است به این معنی که مدلسازی پرسکاری توسط این نرم افزارها صورت گرفته و دیگر نیازی به هزینه کردن برای ساخت و تصحیح واقعی قالب تا رسیدن به حالت نهایی نمی باشد.

روش DA, Displacement Adjustment، دارای همان منطقی می باشد که توضیح داده شد. این روش در عین سادگی دارای کاربرد مناسبی برای موارد عملی می باشد. مرحله اول این روش در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل قالب و نوع ورق، محاسبات المان محدود انجام گرفته پس از اتمام کار، دو مرحله از انجام کل فرآیند بسیار مهم می باشد اول مش ورق هنگامی که پانچ در پایین ترین نقطه خود قرار داده شده است و دیگری مش ورق پس از بار برداری. با مقایسه این دو مش با یکدیگر می توانیم یک میدان گسسته برای جابجایی المانها بدست آوریم. برای اصلاح شکل قالب، این میدان گسسته را در ضریب overbending معمولاً 1.3- می باشد ضرب کرده و از مش مرجع کم می کنیم. نهایت می توانیم مش قالب تصحیح شده را بدست آوریم.

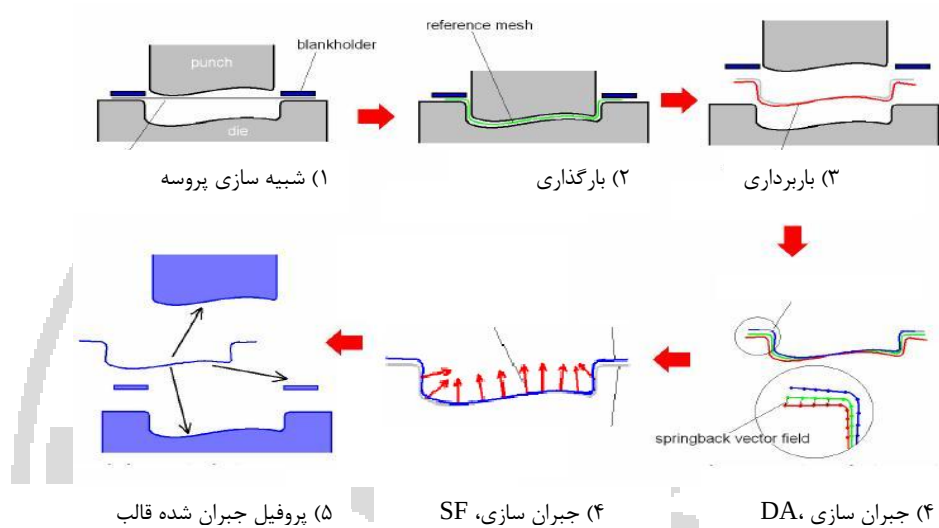
$$\bar{C} = \bar{R} + a(\bar{S} - \bar{R}) \Leftrightarrow \bar{c}_i = \bar{r}_i + a(\bar{s}_i - \bar{r}_i) \quad \forall i \quad (1)$$

بطوری که S, R مشخص کننده مش مرجع و برگشت فوری می باشند.

$$\bar{R} = \{\bar{r}_i : \bar{r}_i \in \square^3, 1 \leq i \leq n\} \quad (2)$$

$$\bar{S} = \{\bar{s}_i : \bar{s}_i \in \square^3, 1 \leq i \leq n\} \quad (3)$$

با انجام این فرآیند در چند مرحله تکرار می توانیم به نتیجه مطلوب برسیم و شکل نهایی را در تolerانس مطلوب قرار دهیم، شکل ۱.



شکل ۱: جبران سازی با استفاده از روش SF , DA [3]

روش Spring forward

این روش توسط Karafillis و Boyce برای جبران کردن برگشت فنری معرفی گردیده است [3,4]. در این روش نیروهای در حین فرایند به منظور جبران کردن برگشت فنری و تصحیح شکل قالب بکار برده می شوند. تکرار اول این روش در شکل 1 نشان داده شده است. در مرحله اول ورق روی قالب قرار گرفته و فرایند پرسکاری مدل می شود درست در هنگامی که پانچ به آخر کورس خود می رسد نیروهای وارد به پانچ از طرف ورق محاسبه می شود و بصورت یک میدان نیرویی نگهداری می شود. برای جبران کردن برگشت فنری همان میدان نیرویی F به قطعه تولید شده در یک محاسبه همان محدود جدید اعمال می گردد. ایده اصلی این استراتژی از آنجاست که وقتی ورق در داخل قالب محبوس گشته است بخاطر میدان نیروی F که از طرف پانچ به آن اعمال می شود ورق شکل خود را حفظ می کند به محض اینکه ورق از قالب آزاد می شود فرض می شود که در ورق بخاطر عملکرد نیروی $-F$ ، برگشت فنری رخ می دهد. حال با اعمال نیروی F به هندسه مرجع، شکل جدید قالب و پانچ بدست می آید که باعث جبران کردن برگشت فنری می گردد. مزیت استفاده از این روش آنجاست که مساله جبران کردن برگشت فنری به طوری جبران می شود که برگشت فنری ایجاد می گردد. مشکل این روش معمولاً در کندبودن روند حل مساله می باشد و یا اینکه در بعضی مواقع احتمال واگرا شدن مساله نیز وجود دارد.

همچنین این الگوریتم بسیار حساس به چگونگی تعریف شرایط مرزی برای محاسبه برگشت فنی می باشد. مساله اصلی اینجاست که هیچگونه هندسه مرجع ثابت وجود ندارد و الگوریتم ممکن است به جواب دیگری منتهی شود.

الگوریتم پیشنهادی

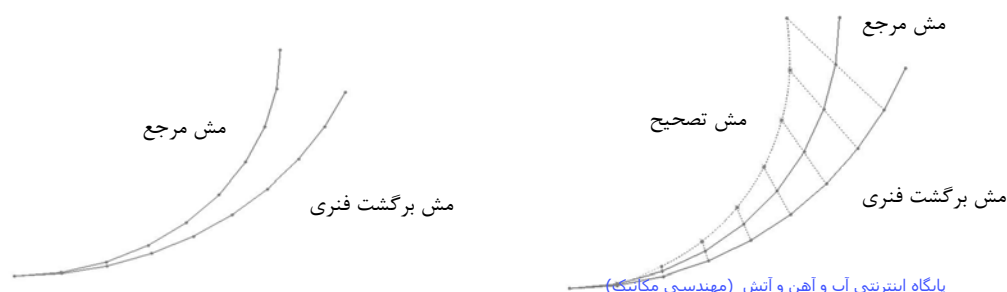
همانطور که مشاهده گردید الگوریتم های DA و SF هر کدام مزایا و معایبی را به همراه داشتند. الگوریتم SF بیشتر برای اشکال ساده به کار برده می شود و هیچگونه تضمینی برای همگرا شدن وجود ندارد. الگوریتم DA در عین سادگی، الگوریتمی مناسب بوده و بسیار کاربردی می باشد. مهمترین معایب الگوریتم DA را می توان به نداشتن پایه علمی برای جابجایی مشها و حداقل نیاز داشتن به ۴ مرحله تکرار برای رسیدن به جواب مناسب را برشمرد. گفته شد که میزان انحراف بین مش مرجع و مش برگشت فنی به منظور تصحیح مش قالب استفاده می گردد به این صورت که این میدان را در ضریب $Overbending$ که معمولاً ۱٫۳- می باشد ضرب می کنند و از مش قالب کم می نمایند. با این کار می توانند مش قالب تصحیح شده را به دست آورند. مشخص است که در این الگوریتم هیچگونه تفاوتی مابین مشها در نظر گرفته نشده و رفتار تمامی المانها مشابه در نظر گرفته شده است.

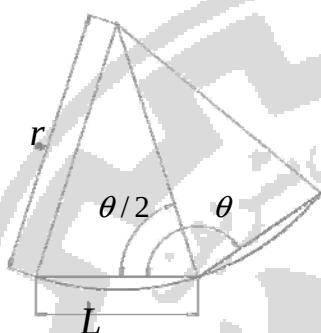
برای بررسی الگوریتم پیشنهادی فرم دهی یک کمان به شعاع I از ورق با جنس و ضخامت مشخص را در نظر می گیریم. با فرض اینکه مرحله پرسکاری انجام شده می توانیم مش برگشت فنی را بدست آوریم. ورق در ابتدا به شکل قالب تغییر شکل می دهد اما بمحض باربرداری انحرافی در شکل آن ایجاد می گردد. پروفیل مرجع و برگشت فنی را می توانیم با استفاده دو میدان گسسته که از اجرای برنامه المان محدود بدست آمده مشخص کنیم. شکل زیر این دو مش را کنار هم نشان می دهد.

برای بدست آوردن مش تصحیح شده با استفاده از الگوریتم DA ، بردار انحراف هر مش را از شکل ۲ بدست می آوریم در نهایت این بردار انحراف را در ضریب ثابت $Overbending$ ضرب کرده و از مش مرجع کم می کنیم. شکل ۳ گویای این استراتژی می باشد.

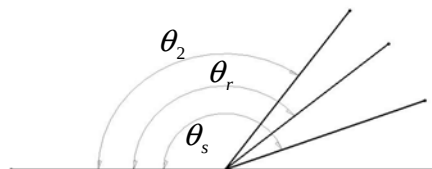
همانطور که ملاحظه شد این الگوریتم بدون توجه به جنس و ضخامت ورق اقدام به تصحیح قالب نمود. تنها داده موری نیاز برای این الگوریتم مش مرجع و برگشت فنی می باشد. مشکل دیگر این الگوریتم همانطور که از شکل ۳ مشخص است حفظ نکردن طول المانها می باشد. با توجه به موقعیت گره ها طول یک المان ممکن است منبسط و یا منقبض گردد. به عنوان مثال در این مثال طول مش مرجع و برگشت فنی برابر ۰٫۱۵۲۳ و طول مش تصحیح شده برابر ۰٫۱۶۳۷ می باشد.

الگوریتم پیشنهادی به صورت دیگری عمل نموده که بسیار موثرتر از الگوریتم DA می باشد. سه گره از مش مرجع را در نظر بگیرید. از این سه گره می توانیم کمانی به شعاع I عبور دهیم، شکل ۴، که از رابطه زیر می توانیم این شعاع را بدست آوریم.





شکل ۴: کمان عبوری از سه گره



شکل ۵: جبران کردن زاویه بین

$$\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{L}{2r} \Rightarrow r = \frac{L}{2\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (4)$$

این سه گره پس از باربرداری موقعیت های جدیدی را بخود می گیرند. زاویه بین خطوط رابط مابین آنها از θ به θ' تغییر می یابد و در بعضی مواقع طول این خطوط نیز تغییر می یابد. حال دوباره از این سه گره کمانی عبور می دهیم. شعاع این کمان (r') از رابطه مشابه بدست می آید.

$$r' = \frac{L'}{2\cos\left(\frac{\theta'}{2}\right)} \quad (5)$$

همانطور که مشخص می باشد شعاع پس از باربرداری به پارامترهای مختلفی از جمله جنس و ضخامت ورق، شرایط پرسکاری از جمله اصطکاک و نیروی ورق گیر بستگی دارد که این بستگی را بصورت زیر نشان می دهیم.

$$R' = f(R, k, n, r, t, F_{blankholder}, \mu) \quad (6)$$

و یا

$$R' = g(R, k, n, r, t)h(F_{blankholder}, \mu) \quad (7)$$

در صورت خمکاری ساده، بدون اصطکاک و نیروی ورق گیر می توانیم رابطه بین R' ، R را بصورت زیر بنویسیم [8].

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{R'} = A \frac{1}{t} \left(\frac{t}{2R}\right)^n \quad (8)$$

$$A = k \left(\frac{1+r}{\sqrt{1+2r}} \right)^{1+n} \left(\frac{3(1-\nu^2)}{E(1+n)} \right) \quad (9)$$

با دوباره نویسی این رابطه می توانیم θ, θ' را به هم مربوط نماییم.

$$\cos(\theta/2) - \cos(\theta'/2) = A \times \frac{1}{2} \times (t/L)^{n-1} \times (\cos(\theta/2))^n \quad (10)$$

این رابطه بیان می دارد که اگر سه گره را که در ابتدا روی یک خط مستقیم واقع بودند طوری تغییر شکل دهیم که خطوط رابط بین آنها زاویه θ نسبت به هم داشته باشند پس از باربرداری این زاویه به θ' تغییر می یابد. حال در یک شکل دهی کمان واقعی که عوامل مختلفی در آن اثر دارد دیگر این رابطه صادق نمی باشد. از اولین اجرای برنامه المان محدود دو مش مرجع و برگشت فنی بدست می آید. با استفاده از این دو مش می توانیم زاویه بین خطوط مجاور روی هر دو مش را بدست آوریم. در صورت نبود عوامل دیگر زاویه بین دو خط روی مش مرجع و زاویه بین همان دو خط روی مش برگشت فنی می بایست در رابطه صدق کند. بدلیل عوامل مختلف این رابطه صدق نمی کند. برای اینکه اثر عوامل دیگر را لحاظ نماییم بطوری که این رابطه برای هر گره صدق کند می توانیم از یک ضریب ثابت (C) در رابطه استفاده کنیم.

$$\cos(\theta/2) - \cos(\theta'/2) = A \times \frac{C}{2} \times (t/L)^{n-1} \times (\cos(\theta/2))^n \quad (11)$$

از داده بدست آمده از اجرای المان محدود در تکرار اول می توانیم با داشتن زاویه بین دو خط روی مش مرجع (θ) و زاویه بین همان دو خط روی مش برگشت فنی (θ')، C مربوطه را بدست آوریم. اگر تعداد المانها n باشد به اندازه $n-1$ خط رابط مابین آنها وجود دارد. پس با داشتن $n-1$ زاویه θ, θ' می توانیم $n-1$ عدد C محاسبه نماییم. حال با تصحیح رابطه با C مربوطه می توانیم زاویه اصلاح شده را بدست آوریم.

با توجه به پروفیل ایده ال می توانیم زاویه مرجع یا مطلوب بین خطوط را بدست آوریم. در تکرار اول قالب را طوری می سازیم که به شکل پروفیل مطلوب باشد. بنابراین زاویه بین خطوط همان زاویه مرجع مربوطه باشد. ملاحظه می شود که پس از باربرداری این زاویه تغییر می نماید. از این داده استفاده نمودیم و رابطه را برای هر گره تصحیح نمودیم. با توجه به شکل ۵ هدف پیدا کردن زاویه θ_2 می باشد بطوری که پس از باربرداری این زاویه به θ_r تغییر یابد.

چون می خواهیم زاویه برگشت فنی θ_r باشد پس در رابطه بجای θ' می بایست θ_r مربوطه را بگذاریم. با حل رابطه زیر می توانیم θ_2 را بدست آوریم.

$$\cos(\theta/2) - \cos(\theta_r/2) = A \times \frac{C}{2} \times (t/L)^{n-1} \times (\cos(\theta/2))^n \quad (12)$$

با پیدا کردن این زاویه برای تک تک گره ها می توانیم مش تصحیح شده را بدست آوریم.

برای اینکه کارایی این الگوریتم را در مسائل عملی نشان دهیم شکل دهی U را بررسی می نماییم. شکل دهی U تحت شرایط کرنش صفحه ای برگشت فنی زیادی را پس از باربرداری متحمل می شود. در اینجا جبران سازی این مساله را با دو روش پیشنهادی و DA انجام می دهیم و نتایج را با هم مقایسه می نماییم.

- شکل ۶ فرم قطعه مطلوب را نشان می دهد. مشخصات ورق و قالب در جدول ۱ آورده شده است.
- همانطور که قبلاً ذکر گردید برای مدلسازی فرایند از بسته های نرم افزاری *FE* استفاده می شود. در این پروژه از بسته نرم افزاری *ASAQUS* استفاده شده است. برای انجام این منظور مراحل زیر می بایست سپری گردد.
- (۱) مدلسازی ورق، سنبه و ماتریس، این فرایند توسط نرم افزار *Solid Works* انجام گرفته و داخل *ABAQUS* وارد می گردد.
 - (۲) وارد کردن مشخصات جنس، دیاگرام تنش کرنش و پارامترهای دیگر ورق.
 - چونکه جنس سنبه و ماتریس بسیار سخت تر و مستحکم تر از ورق می باشد دور از واقعیت نیست که سنبه و ماتریس را به صورت صلب در نظر بگیریم.
 - (۳) مشخص نمودن مراحل انجام پروسه مثلاً نگه داشتن ورق، حرکت سنبه به پایین و ...
 - (۴) مش بندی

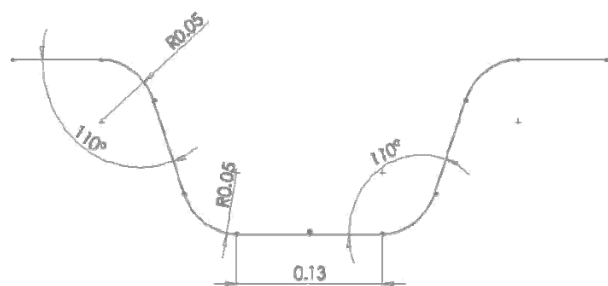
جدول ۱: مشخصات ورق

K(Mpa)	681
n	0.218
E(Gpa)	70
v	0.3
t(mm)	5
Rp(mm)	50
Rd(mm)	50
punch travel(mm)	140

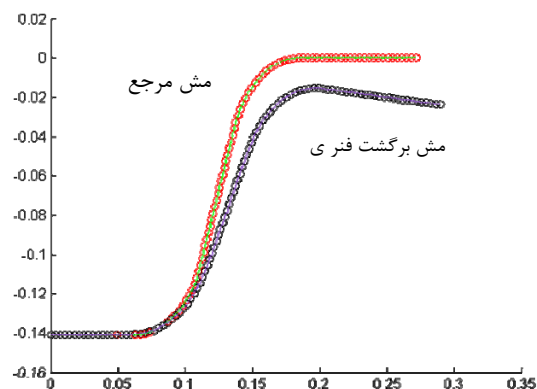
جدول ۲- متوسط مجذور خطا

تکرار	روش DA	الگوریتم پیشنهادی
1	0.016	0.016
2	0.013	0.0107

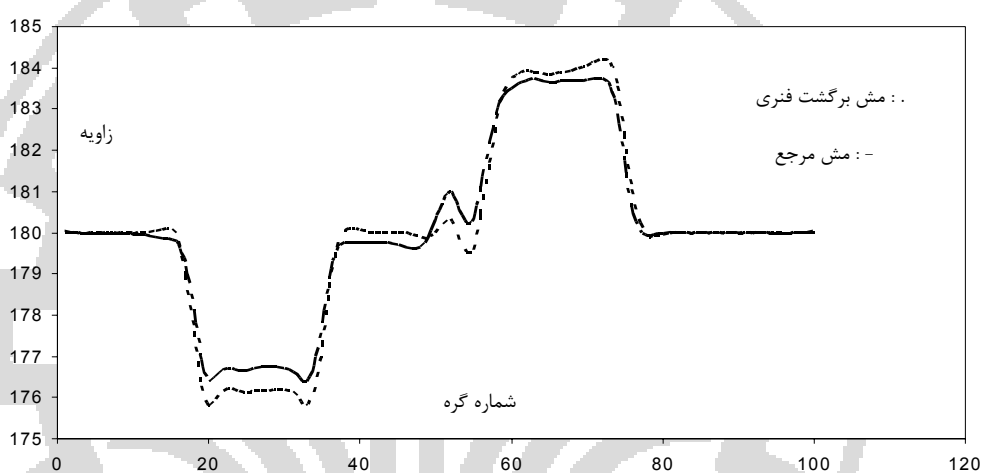
پس از مدلسازی مساله در محیط *Abaqus* و اجرای اولین مرحله تکرار می توانیم مش برگشت فتری را بدست آوریم، شکل ۷. حال می بایست بردار جابجایی هر گره (مورد نیاز برای الگوریتم *DA*)، اندازه خطوط رابط بین گره ها و زاویه بین این خطوط روی هر دو مش مرجع و برگشت فتری (مورد نیاز برای الگوریتم پیشنهادی) را بدست آوریم. شکل ۹.



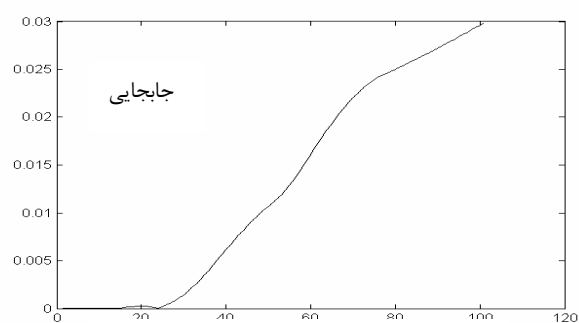
شکل ۶: نمایی از قطعه مطلوب



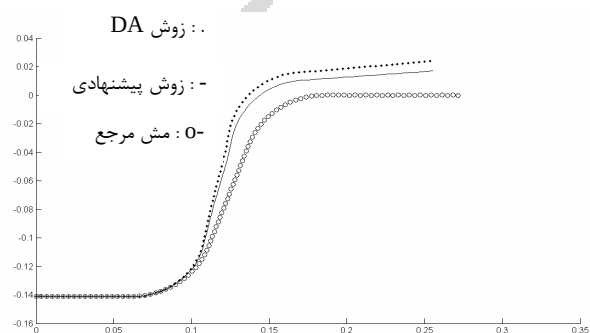
شکل ۷: مش مرجع و برگشت فتری



شکل ۸: زاویه بین خطوط روی دو مش مرجع و برگشت فتری



شکل ۹: جابجایی گره ها پس از باربرداری در تکرار اول

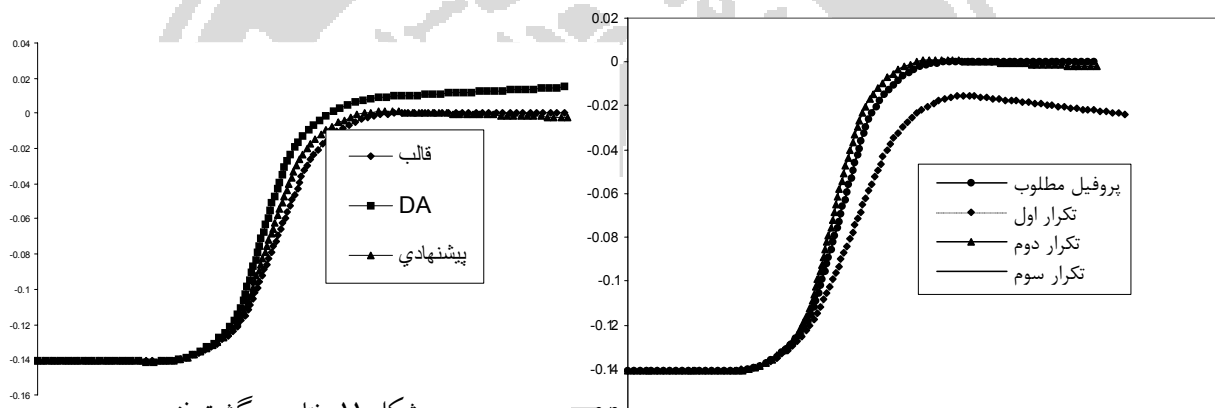


شکل ۱۰: نتایج مربوط به جبران سازی شکل قالب در تکرار اول

حال با داشتن این اطلاعات می توانیم با هر دو روش پروفیل جبران شده را بدست آوریم. نتایج هر دو روش برای تصحیح قالب در شکل ۱۰ آورده شده است. با استفاده از این پروفیل های تصحیح شده دوباره برنامه المان محدود اجرا می شود تا اینکه مش برگشت فنی در دو حالت بدست آید. معیار متوسط خطا برای ارزیابی چگونگی عملکرد این روشها مورد استفاده قرار گرفته است [3].

$$error = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}} \quad (13)$$

بطوری که d انحراف هر گره می باشد. ملاحظه می شود که الگوریتم پیشنهادی بسیار موفق تر عمل می کند. جدول ۲ متوسط مجذور خطا را برای هر دو الگوریتم نشان می دهد. مشخص است که کارایی الگوریتم جدید بسیار بالا می باشد. شکل ۱۲ چگونگی همگرایی را در روش پیشنهادی نشان می دهد.



شکل ۱۱- نتایج برگشت فنی مربوط به تصحیح قالب

شکل ۱۲- نتایج برگشت فنی مربوط به تصحیح قالب توسط الگوریتم پیشنهادی

مثالهای کاربردی از صنعت

همانطور که می دانیم ورق کاری یکی از پروسه های تولید بسیار مهم در صنعت می باشد. به نحوی که اکثر صنایع بویژه خودرو با آن در تعامل مستقیم می باشند. با توجه به اهمیت این فرایند بسیار مهم می باشد که قطعات تولید شده در محدوده تoleransi مطلوب باشند. چرا که در غیر این صورت باعث مشکلات در اسمبل کردن قطعات می گردد. در این قسمت قطعات تولید شده برای یک تراک میکسر بررسی می گردند که هر کدام بنحوی باعث بروز مشکلات فراوان در ساخت می گردند اگر بصورت درست فرایند ساخت آنها طراحی نشود. شوت، شلوارک، پرگی و سکوی زیر رولیک مهمترین قسمتهای یک میکسر می باشند، شکل ۱۱، که حاصل از یک فرایند ورق کاری می باشند در صورت عدم انطباق هر محصول با تoleransi مربوطه فرایند ساخت بسیار طولانی گشته و هزینه زمانی و مالی زیادی می بایست برای آن صرف گردد. همچنین برای اسمبل کردن مجموعه به دلیل عدم انطباق نیاز به فرایندهای سنتی و دستی می باشد که باعث کم شدن کیفیت محصول تا حد زیادی می گردد. در این قسمت ساخت هر کدام به طور جداگانه بررسی شده است.

شوت و شلوارک

شکل ۱۳ نمایی از شوت و شلوارک را نشان می دهد این قطعات به منظور راهنمایی سیمان برای تخلیه به کار برده می شوند. بخاطر سایش زیاد این قطعات بدلیل تماس با سیمان جنس این قطعات از St52 ضد سایش با ورق ۴ mm استفاده می شود. بصورت سنتی برای ساختن این قطعات از دستگاه نورد استفاده می شد که به خاطر دقت کم باعث بروز مشکلات فراوان می گردید. همچنین زمان ساخت قطعات طولانی می گردید. تشابه بین محصولات پارامتر بسیار مهمی می باشد چرا که در غیر این صورت برای هر قطعه می بایست فرایند جداگانه ای برای اسمبل کردن در نظر گرفت که مناسب نمی باشد. هر چقدر فرایند بصورت ماشینی انجام گیرد و مهارت اپراتور نقش کمتری داشته باشد تشابه محصولات بیشتر گردیده و فرایند سریعتر انجام می شود. در هر کدام از این مثالها با توجه به الگوریتم پیشنهادی خاصیت برگشت فنری جبران شده است. با توجه به قالب تصحیح شده، فرایند پرسکاری انجام شده است. نتایج در شکل ۱۳ آورده شده است.



شکل ۱۳- نمایی از شوت و شلوارک



نتیجه گیری

هدف از این مقاله ارائه الگوریتمی برای بهینه کردن سطح ابزار در فرآیند کشتش عمیق به منظور جبران کردن خاصیت برگشت فنی بود. با توجه به جبران سازی حصول به محصول نهایی با تلرانس دلخواه میسر می گردد. در این پروژه ابتدا الگوریتم های مهمی که هم اکنون در این زمینه مورد استفاده قرار می گیرند مورد بررسی قرار گرفتند که این روشها عبارتند از DAM و SFM. مزایا و معایب هر دو روش مورد بررسی قرار گرفت. سپس الگوریتم دیگری که مکانیزم متفاوتی را برای جبران کردن برگشت فنی در نظر می گرفت معرفی گشت. همانطور که ملاحظه شد الگوریتم پیشنهادی برای جبران سازی با در نظر گرفتن جنس، ضخامت و رفتار ورق در هر مرحله اقدام به تصحیح شکل قالب می نمود. این الگوریتم اثرات اصطکاک و نیروی ورق گیر را مد نظر می گیرد که همین امر موجب سریعتر شدن همگرایی می گردد. در این الگوریتم به همان صورت که برگشت فنی در قطعه اتفاق می افتد جبران سازی انجام می شود. با عبور دادن کمان از هر سه گره مجاور در روی مش مرجع و برگشت فنی و تصحیح رابطه برگشت فنی می توانیم کمان تصحیح شده را بدست آوریم. با انجام این عمل برای تمامی گره ها در سراسر ورق می توانستیم یک توده ای از نقاط مشخص کننده مش تصحیح شده بدست آوریم. استفاده از روش پیشنهادی باعث کم شدن هزینه زمانی انجام مسأله می گردد و نیاز به تکرار کمتری دارد.

تقدیر و تشکر

مؤلف تشکر و قدردانی خود را از دکتر عاصم پور و دکتر موحدی جهت راهنمایی این پروژه و همچنین شرکت بتون ماشین جهت فراهم سازی شرایط برای معتبر سازی عملی این پروژه بیان می دارد.

مراجع

- 1 - W.P. Carden, R.H. Wagoner. "Simulation of springback". International Journal of Mechanical Sciences 44 (2002) 103-122
- 2- A. Rosochowski. "Die compensation strategy to negate Die deflection and component springback" International journal of mechanical science. 115(2001) 187-191
- 3- Wei Gan, R.H. Wagoner. "Die design method for sheet springback". International Journal of Mechanical Sciences 46 (2004) 1097-1113
- 4- R. Lingbeek, J. Weiher. "The development of a finite elements based springback compensation tool for sheet metal products". Journal of Materials Processing Technology 169 (2005) 115-125
- 5- J. Weiher, B. Rietman, K. Kose, S. Ohnimus, M. Petzoldt, "Controlling springback with compensation strategies", in: NUMIFORM2004 Proceedings, Columbus, 2004, pp. 1011-1015.
- 6- R. Wagoner, "Design of sheet forming dies for springback compensation", V. Brucato (Ed.), Proceedings of ESAFORM2003, Salerno, 2003, pp. 7-14.
- 7- R. Wagoner, "Fundamental aspects of springback in sheet metal forming" D. Yang, et al. (Eds.), Proceedings of NUMISHEET2002, 2002, pp. 13-19.
- 8- M. Samuel. "Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in U-bendings of anisotropic sheet metals", Journal of Materials Processing Technology 105 (2000) 382-393
- 9 -Nan Chou, Chinghua Hung. "Finite element analysis and optimization on springback Reduction", International Journal of Machine Tools & Manufacture 39 (1999) 517-536
- 10 -Haydar Livatyali, Gary L. Kinzel. "Computer aided die design of straight flanging using approximate numerical analysis". Journal of Materials Processing Technology 142 (2003) 532-543
- 11- Kyung K. Choi and Nam H. Kim. "Design Optimization of Springback in a Deepdrawing Process", AIAA JOURNAL, Vol. 40, No. 1, January 2002
- 12- Wu L. "Tooling mesh generation technique for iterative FEM die surface design algorithm to compensate for springback in sheet metal stamping". Engineering Computations 1997;14:630-48
- 13- ABAQUS user Manual, version 5.8.