



## مدل‌سازی ریاضی تأثیر پارامتر ماشین‌ابزار در طرح‌ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت در قطعه‌های منسوري

داود منافی<sup>۱</sup>، محمدجواد ناطق<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

\* تهران، صندوق پستی ۱۴۳، ۴۱۱۵-۰۰۰، nategh@modares.ac.ir

### چکیده

سامانه‌های طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به کمک رایانه می‌باشند که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن می‌باشد. فیچرهای که درون یک ستاپ قرار می‌گیرند؛ علاوه بر مشترک بودن در جهت ابزار و رعایت قواعد ماشین‌کاری هندسی و تکنیکی، باید در ماشین‌ابزار و تجهیزات موردنیاز برای ماشین‌کاری نیز مشترک باشند. درصورتی که فیچرهای درون یک ستاپ به تجهیزات با ماشین‌ابزارهای متفاوتی نیاز داشته باشند؛ باید طرح‌ریزی ستاپ‌ها انجام شود. از این‌رو ضروری است که تأثیر تجهیزات ماشین‌کاری از جمله ماشین‌ابزار جن طرح‌ریزی ستاپ‌ها نیز در نظر گرفته شود تا نیازی به طرح‌ریزی مجدد ستاپ‌ها نباشد. بنابراین در این مقاله چگونگی اضافه کردن پارامتر ماشین‌ابزار به روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت مطالعه و روابط ریاضی حاکم بر آن ارائه شده است. همچنین بعد از بدست آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح‌ریزی ستاپ‌ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده و در برنامه پایتون اوسی سی پیاده‌سازی و روی یک قطعه کار آزمایش گردیده است.

کلیدواژگان: طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه، طرح‌ریزی ستاپ‌ها، ماشین‌ابزار، مدل‌سازی ریاضی، جایگشت

## Mathematical modeling for effect of machine tools in setup planning method based on permutation for prismatic parts

Davood Manafi, Mohammad Javad Nategh\*

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 14115-143 Tehran, Iran, nategh@modares.ac.ir

### ABSTRACT

Setup planning is an important function in CAPP systems which is a bridge for integration of CAD and CAPP systems. All features in a specific setup must have the same TAD and satisfy the technical and geometrical rules. Also, these features must be machined in one machine tool. Setup planning must be regenerated if features in a specific setup need different equipment and machine tools. So, it is important for machine tools to be considered during the setup planning to avoid the setup replanning. In this paper, the effect of machine tools on the setup planning was studied and the mathematical formulas were introduced for this purpose. Finally, setup planning method was developed based on these mathematical formulas. The algorithm was programmed and verified in PythonOCC.

**Keywords:** CAPP, Machine Tools, Mathematical modeling, Permutation, Setup Planning.

### ۱- مقدمه

کرده‌اند. لبه‌ها در گراف ارتباط ترانسی را نشان می‌دهند که به عنوان قواعد ماشین‌کاری در طرح‌ریزی ستاپ‌ها استفاده می‌شوند. هیال و مهتا [۴] به یکپارچه‌سازی طرح‌ریزی ستاپ‌ها با طراحی قیدوبند پرداخته‌اند. آن‌ها با گروه‌بندی مرحله به مرحله به طرح‌ریزی ستاپ مناسبی دست پیدا کرده‌اند. سان و همکاران [۵] روش تئوری گراف را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها بهبود داده‌اند. آن‌ها از ماتریس درجه نامتashابی برای اعمال یکسان بودن ماشین‌ابزار بین فیچرهای درون یک ستاپ استفاده کرده‌اند. عابدینی و همکاران [۶,۷] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌های قطعات منشوری معرفی کرده‌اند که در آن سطوح مرجع نیز در نظر گرفته می‌شود. آن‌ها برای این کار دو اصطلاح سطح کنترل و سطح پیرو را معرفی نموده‌اند. منافی [۸] روشی برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها برپایه جایگشت ارائه داده است که در آن پارامترهای

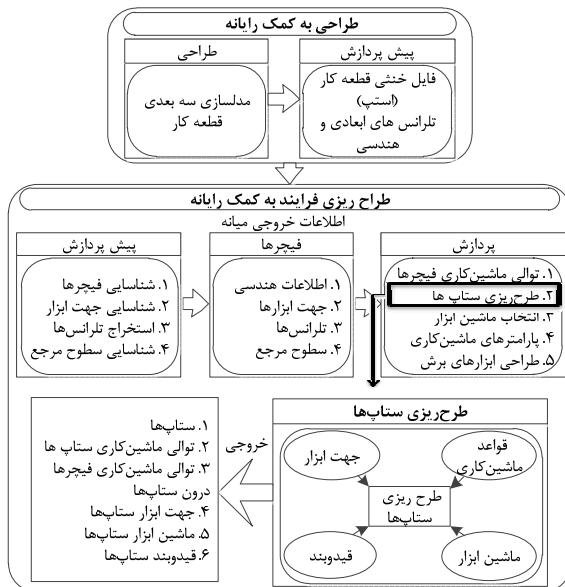
طرح‌ریزی فرایند به کمک رایانه پلی برای یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و تولید به کمک رایانه می‌باشد که طرح‌ریزی ستاپ‌ها مهم‌ترین قسمت آن است. وظایف طرح‌ریزی ستاپ‌ها شامل شناسایی جهت ابزار، شناسایی سطوح مرجع ماشین‌کاری، تعیین ستاپ‌ها، تعیین توالی ستاپ‌ها، تعیین توالی ماشین‌کاری فیچرها درون هر ستاپ، طراحی قیدوبند و/یا راهنمایی برای طراحی قیدوبند برای هر ستاپ می‌باشد [۲,۱].

پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی طرح‌ریزی ستاپ‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند که دسته‌ی اول به ارائه روش طرح‌ریزی ستاپ‌ها و دسته‌ی دوم به بررسی پارامترهای مؤثر بر طرح‌ریزی ستاپ‌ها می‌پردازند. در دسته‌ی اول، زانگ و لین [۳] روش گراف ترکیبی را برای طرح‌ریزی ستاپ‌ها معرفی

Please cite this article using:

N. Surname, Title Title Title Title Title Title Title Title, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 139-143, 2015 (in Persian) [فارسی]

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:



شکل ۱. یکپارچه‌سازی سامانه‌های طراحی و طرح ریزی فرایند

فیچرهای درون یک ستاپ باید روی یک ماشین ابزار ماشین کاری شوند [۱۲]. بنابراین فیچرهایی که به تجهیزات و ماشین ابزار متفاوتی نیاز دارند نباید درون یک ستاپ قرار داده شوند. همچنین برای هر ستاپ نیز باید ماشین ابزارهای جایگزین تعیین شود تا در صورت خرابی ماشین ابزار انتخاب شده، ماشین ابزار دیگری جایگزین آن گردد.

طراحی قیدوبند مناسب برای هر ستاپ ضروری است؛ در غیر این صورت طرح ریزی ستاپ‌ها باید دوباره انجام گیرد. یکپارچه‌سازی طرح ریزی ستاپ‌ها با قیدوبند یکی از چالش‌های پیش روی سامانه‌های کمپ می‌باشد که در پژوهش‌های آینده به آن پرداخته خواهد شد.

### ۱-۳- توالی ماشین کاری فیچرهای

توالی ماشین کاری فیچرهای براساس قواعد ماشین کاری تکنیکی و هندسی تعیین می‌گردد. قواعد ماشین کاری تکنیکی براساس دانش فنی بین فیچرهای وجود می‌آیند. برخی از قواعد ماشین کاری تکنیکی بدین صورت می‌باشند:  $TR_1$ =اگر سطوح تکیه‌گاه یا بست موردنیاز برای ماشین کاری فیچر ۱، با ماشین کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آن‌گاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری شود [۱۵].

$TR_2$ =اگر سطح موقعیت‌دهی ابزار فیچر ۱ با ماشین کاری فیچر ۲ از بین رود؛ آن‌گاه فیچر ۱ باید زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری شود [۱۷].

$TR_3$ =اگر سطوحی از فیچر ۱، جزء سطوح مرجع فیچر ۲ باشد؛ آن‌گاه فیچر ۱ زودتر از فیچر ۲ ماشین کاری می‌شود [۱۸].

قواعد ماشین کاری هندسی زمانی بین فیچرهای ایجاد می‌گردد که فیچرهای یکدیگر تداخل هندسی داشته باشند. در تداخل‌های هندسی، فیچرهای تنها در برخی لبه‌ها با یکدیگر اشتراک دارند. تداخل‌های هندسی به دو نوع سطحی و حجمی تقسیم می‌شوند. برای تداخل‌های هندسی سطحی، قاعده‌ی ماشین کاری ۱ رعایت می‌شود که در آن فیچر پایه، فیچری است که در آن همه‌ی لبه‌های مشترک در یک سطح فیچر قرار دارد. برای تداخل‌های حجمی نیز قاعده‌ی ماشین کاری ۲ رعایت می‌شود [۱۸].

طرح ریزی ستاپ‌ها، حین طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شود. برخی دیگر از پژوهشگران نیز با استفاده از هوش مصنوعی و تعریف تابع‌های هدف مثل کمترین زمان/هزینه به حل مسائل طرح ریزی ستاپ‌ها پرداخته‌اند [۱۱-۹]. در اکثر این روش‌ها، تنها قواعد ماشین کاری در نظر گرفته شده و به دیگر پارامترهای ستاپ از جمله قیدوبند توجهی نشده است.

در دسته دوم، وانگ و همکاران [۱۲] هفت قاعده برای طرح ریزی ستاپ‌ها بیان کرده‌اند که یکی از این قواعد، یکسان بودن ماشین ابزار فیچرهای درون یک ستاپ می‌باشد. هوانگ و خو [۱۳] چهار شرط برای طرح ریزی ستاپ‌ها به زبان ریاضی بیان کرده‌اند که شامل ماشین کاری تمام سطوح قطعه کار، یکسان بودن جهت ابزار فیچرهای درون ستاپ با جهت ابزار ستاپ، نبودن سطح جاساز بین سطوح ماشین کاری ستاپ و انتخاب سطوح جاساز از بین سطوح ماشین کاری شده می‌باشند. وانگ و همکاران [۱۴] پنج قاعده‌ی هندسی براساس حجم ماشین کاری فیچرهای برای تعیین توالی ماشین کاری فیچرهای معرفی کرده‌اند. آن‌ها از این قواعد برای تعیین توالی ماشین کاری فیچرهای و ستاپ‌ها استفاده نموده‌اند. ای‌یو و وانگ [۱۵] به بررسی تعیین توالی فیچرهای و طرح ریزی ستاپ‌ها براساس قواعد ماشین کاری هندسی و تکنیکی پرداخته‌اند.

در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، به پارامتر ماشین ابزار کمتر توجه شده است؛ به طوری که به بیان تأثیر این پارامتر بسته و کمتر به ارائه روشی برای اعمال آن در طرح ریزی ستاپ‌ها پرداخته شده است. همچنین در برخی پژوهش‌ها پارامتر ماشین ابزار حین طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته نشده است. از این‌رو در این مقاله به ارائه روشی پرداخته می‌شود که پارامتر ماشین ابزار حین طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر شود. همچنین روابط ریاضی حاکم بر آن نیز بیان می‌شود.

### ۲- یکپارچه‌سازی سامانه‌های کمپ<sup>۱</sup> و کمپ<sup>۲</sup>

نحوه‌ی یکپارچه‌سازی سامانه‌های سامانه‌های کمپ و کمپ در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا قطعه کار در سامانه‌های کمپ طراحی و سپس اطلاعات طراحی قطعه کار به سیستم کمپ ارسال می‌شود. اطلاعات طراحی یک سری اطلاعات سطح پایینی هستند که برای تولید مناسب نیستند؛ از این‌رو پیش‌پردازش‌هایی مثل شناسایی فیچرهای جهت ابزار روی این اطلاعات انجام می‌گیرد و این اطلاعات را به اطلاعات تولیدی مثل فیچرهای تبدیل می‌کند (خرجی میانه در شکل ۱). این اطلاعات تولیدی به قسمت پردازش ارسال می‌شود تا طرح ریزی فرایند برای قطعه کار صورت گیرد.

در این مقاله از روش گرف-مینا [۱۶] برای شناسایی فیچرهای استفاده و ده نوع فیچر ماشین کاری شناسایی شده است (جدول ۱). همچنین هر فیچر با توجه به نوعش، تعداد معینی سطح دارد که به این تعداد سطوح، "تعداد سطوح تشکیل دهنده فیچر" گفته می‌شود. از NSSF برای شناسایی قواعد ماشین کاری هندسی استفاده می‌شود [۸].

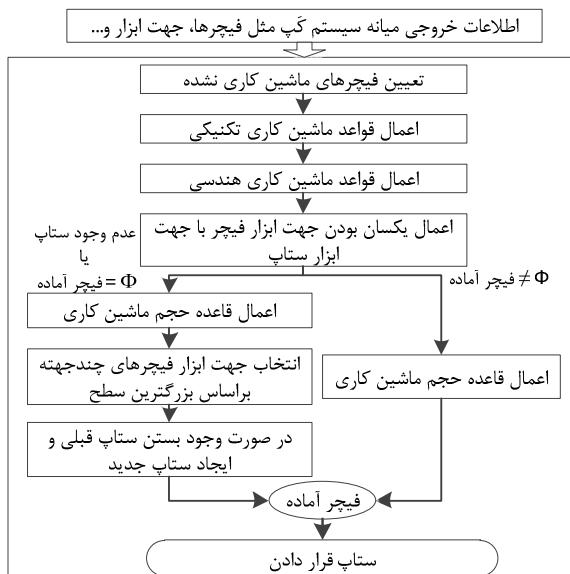
### ۳- پارامترهای مؤثر بر طرح ریزی ستاپ‌ها

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است طرح ریزی ستاپ‌ها به پارامترهایی همچون قواعد ماشین کاری، جهت ابزار فیچرهای ماشین ابزار و طراحی قیدوبند بستگی دارد و همه‌ی آن‌ها باید هنگام طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته شوند.

1. CAD

2. CAPP

3. Number of Constituting Surfaces of Feature



شکل ۲ طرح ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت برای یک مرحله

قواعد ماشین کاری هندسی اعمال می‌شود تا فیچرهای مشخص شوند که آماده‌ی ماشین کاری هستند. حال اگر ستاپی قبلًا ایجاد شده باشد جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مقایسه می‌شود و اگر یکی از جهت ابزارهای فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک باشد فیچر درون ستاپ قرار داده می‌شود. در غیر این صورت اگر جهت ابزار فیچر با جهت ابزار ستاپ مشترک نباشد یا ستاپی قبلًا ایجاد شده باشد (مرحله اول) ستاپی ایجاد می‌شود که جهت ابزار ستاپ با فیچر آماده برای ماشین کاری یکسان باشد و فیچر درون ستاپ ایجاد شده قرار داده می‌شود. این مراحل تا تعیین ستاپ همه‌ی فیچرها تکرار می‌شوند. به عبارت دیگر این مراحل به تعداد فیچرها تکرار خواهد شد. برای اضافه کردن تأثیر ماشین ابزار در این روش، شرط مشترک بودن ماشین ابزار بین فیچرها و ستاپ نیز باید به مجموع شرایط اضافه شود. در شکل ۳ نحوه اضافه شدن این پارامتر به روش طرح ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت نشان داده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است در این حالت فیچری در ستاپ  $i$  قرار می‌گیرد که هر دو شرط مشترک بودن در جهت ابزار و ماشین ابزار فیچر را با جهت ابزار و ماشین ابزار ستاپ داشته باشد. برای این که فیچری شرط لازم برای قرار گیری در ستاپ  $i$  را از نظر مشترک بودن ماشین ابزار را داشته باشد کافی است رابطه  $(1)$  برقرار باشد؛ در غیر این صورت فیچر براساس شرط ماشین ابزار درون ستاپ قرار نمی‌گیرد.

$$(1) (MT_{setup})_i \cap MT_F \neq \emptyset$$

که در آن  $MT_F$  ماشین ابزارهای فیچر،  $MT_{setup}$  ماشین ابزارهای ستاپ  $i$  شماره ستاپ می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد در این روش ستاپ برایهای فیچری ایجاد می‌شود که آماده ماشین کاری است. بنابراین موقع ایجاد ستاپ، ماشین ابزارهای فیچر آماده به ستاپ نسبت داده می‌شود ( $j=1$ ). در مراحل بعدی که فیچرهای بیشتری درون ستاپ قرار داده می‌شود؛ ماشین ابزارهای ستاپ بروز رسانی می‌شوند که این بروز رسانی از طریق اشتراک‌گیری بین ماشین ابزارهای فیچرها و ستاپ انجام می‌گیرد. با این کار علاوه بر در نظر گرفتن ماشین ابزار حین طرح ریزی ستاپ‌ها، برای آن‌ها ماشین ابزار و ماشین ابزارهای جایگزین نیز تعیین می‌گردد. رابطه ریاضی مربوطه در رابطه  $(2)$  آورده شده است.

جدول ۱ فیچرهای ماشین کاری

NSSF	نوع فیچر	NSSF	نوع فیچر
۲	پله	۱	روتراشی
۴	شیار نیمه‌کور	۳	شیار سرتاسری
۳	پاکت ۲-طرفه	۵	شیار کور
۵	پاکت ۳-طرفه	۴	پاکت ۳-طرفه
۳	سوراخ کور	۲	سوراخ سرتاسری

=اگر فیچرهای  $F_1$  و  $F_2$  تداخل هندسی سطحی داشته باشند و  $F_1$  فیچر پایه باشد؛ آنگاه فیچر  $F_1$  زودتر از فیچر  $F_2$  ماشین کاری می‌شود.

=اگر فیچرهای  $F_1$  و  $F_2$  تداخل حجمی داشته باشند و تعداد سطوح فیچر  $F_1$  بیشتر از تعداد استاندارد سطح آن فیچر باشد؛ آنگاه فیچر  $F_1$  زودتر از فیچر  $F_2$  ماشین کاری می‌شود.

برای آن دسته از فیچرهای که تداخل‌های هندسی و تکنیکی ندارند و درنتیجه نمی‌توان برای آن‌ها توالی ماشین کاری در نظر گرفت، از قواعد ماشین کاری استفاده می‌شود که رعایت کردن آن‌ها سبب تولید محصولی باکیفیت بهتر و زمان تولیدی کم می‌شود. دو قواعد زیر برای فیچرهای بدون تداخل رعایت می‌شود [۱۵,۱۴].

= $OR_1$  فیچرهای که ابزار مشابهی دارند کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند.

= $OR_2$  فیچری که حجم ماشین کاری بیشتری دارد زودتر ماشین کاری می‌شود.

### ۲-۳- جهت ابزار فیچرها

جهت ابزار برای یک فیچر، جهتی است که ابزار بتواند بدون هیچ مانعی به تمام نقاط فیچر در قطعه کار دسترسی پیدا کند. فیچرها با توجه به جهت ابزارشان به دو نوع تک‌جهته و چند‌جهته تقسیم می‌شوند. همه‌ی فیچرهای که درون یک ستاپ قرار می‌گیرند؛ باید در یک جهت ابزار مشترک باشند که به این جهت ابزار مشترک، جهت ابزار ستاپ گفته می‌شود [۱۹,۳].

فیچرهای یک‌جهته در ستاپی قرار می‌گیرند که جهت ابزار ستاپ با جهت ابزار آن یکسان باشد. همچنین برای آن‌ها فقط عدم تداخل ابزار با قطعه کار و تجهیزات ماشین کاری برسی می‌شود. این در حالی است که برای فیچرهای چند‌جهته علاوه‌بر برسی عدم تداخل ابزار، تعیین جهت ابزار مناسب نیز مطرح می‌باشد؛ زیرا با انتخاب هر یک از جهت‌های ابزار فیچر چند‌جهته، فیچر می‌تواند در ستاپ‌های متفاوتی قرار گیرد. جهت ابزار مناسب برای فیچرهای چند‌جهته با توجه به پارامترهای همچون ارتباط با دیگر فیچرهای، کمینه شدن تعداد ستاپ‌ها، تداخل با قیدوبند/سایر اجزای ماشین ابزار و بیشترین پایداری فیچر در آن راستا تعیین می‌شود.

### ۴- روش طرح ریزی ستاپ‌ها با در نظر گرفتن ماشین ابزار

در روش طرح ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت، طرح ریزی ستاپ‌ها مرحله به مرحله انجام و پارامترهای مؤثر بر آن، جن طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شوند. شکل شماتیکی این روش در شکل ۲ آورده شده است. به دلیل اینکه پارامترها حین طرح ریزی ستاپ‌ها در نظر گرفته می‌شود از مزیت‌های همچون عدم ایجاد سیکل بین ستاپ‌ها و انتخاب خودکار جهت ابزار برای فیچرهای چند‌جهته برخوردار می‌باشد. همچنین قابلیت توسعه دادن آن نیز از دیگر مزیت‌های این روش می‌باشد. در این روش توالی ماشین کاری فیچرها و ستاپ‌ها همراه با ایجاد ستاپ‌ها تعیین می‌گردد [۸].

رونده‌کلی در این روش بدین صورت است که در هر مرحله ابتدا بین فیچرهایی که نیاز به ماشین کاری دارند، قواعد ماشین کاری تکنیکی و سپس

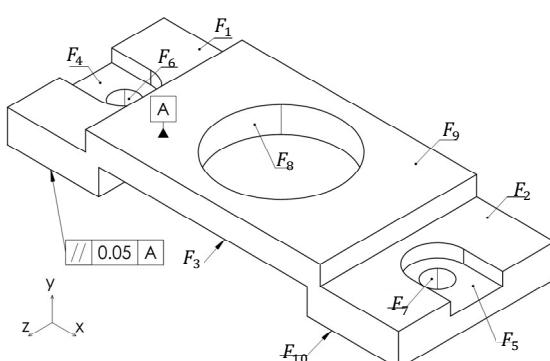
- ۵- برو به مرحله ۳.
- ۶- ستاپ‌های قبل ایجاد شده است درنتیجه مراحل ۱-۸ تا ۸-ز را اجرا کن.
- ۷- فیچرهای از  $RF_2$  را شناسایی کن که جهت ابزاری مشترکی با جهت ابزار ستاپ فعلی دارد و در  $RF_3$  ذخیره کن.
- ۸- فیچرهای از  $RF_3$  را شناسایی که ماشین ابزارهای مشترکی با ماشین ابزارهای ستاپ فعلی دارد و در  $RF_4$  ذخیره کن.
- ۹- اگر  $RF_4$  آنگاه مراحل ۱-۷ تا ۷-ه انجام بد (فیچر آمده برای قرارگیری در ستاپ وجود ندارد)
- ۱۰- فیچر را شناسایی کن که بیشترین حجم ماشین کاری را بین فیچرهای  $RF_4$  دارد و در  $RF$  ذخیره کن.
- ۱۱-  $RF$  را در ستاپ قرار بده
- ۱۲- اشتراک ماشین ابزارهای ستاپ را با ماشین ابزارهای فیچر  $RF$  حساب کن و این اشتراک را به عنوان ماشین ابزارهای ستاپ در نظر بگیر (بروز رسانی ماشین ابزارهای ستاپ).
- ۱۳- برو به مرحله ۳.
- ۱۴- پایان.

## ۵- آزمایش مدل

برای آزمایش الگوریتم پیشنهادی از قطعه کار شکل ۴ استفاده شده است. شماره فیچرهای که نیاز به ماشین کاری دارند نیز در شکل ۴ آورده شده است. همچنین جهت ابزار فیچرهای نتایج حاصل از قواعد ماشین کاری و ماشین ابزارهای کاندید برای ماشین کاری فیچرهای در جدول ۲ آورده شده است. ماشین ابزار فرز سه محوره  $CNC$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  فرز سه محوره و دریل می‌باشد.

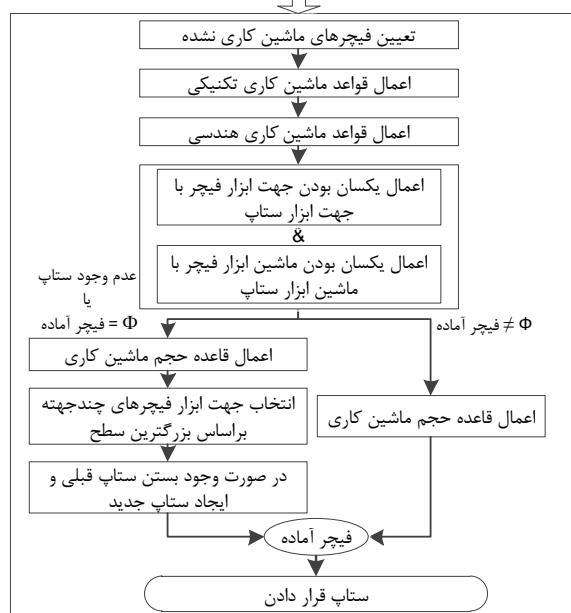
طرح ریزی ستاپ‌ها بدون در نظر گرفتن ماشین ابزار در شکل ۵-(الف) و طرح ریزی مجدد ستاپ‌ها با در نظر گرفتن ماشین ابزار با روش پیشنهادی در شکل ۵-(ب) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر ماشین ابزار روی ستاپ‌ها هم زمان با طرح ریزی ستاپ‌ها اعمال شده و فیچرهایی که به ماشین ابزار متفاوتی نیاز دارند در ستاپ‌های متفاوتی قرار داده شده‌اند. برای مثال فیچرهای  $F_6$  و  $F_7$  که ماشین ابزار متفاوتی نسبت به فیچرهای درون ستاپ‌ها ۳ شکل ۵-(الف) دارند از این ستاپ‌ها جدا و در ستاپ ۴ شکل ۵-(ب) جای داده شده‌اند.

با روش پیشنهادی علاوه بر اعمال تأثیر ماشین ابزار روی ستاپ‌ها، ماشین ابزار آن‌ها نیز مشخص می‌شود. ماشین ابزارهای هر یک از این ستاپ‌ها که به کمک روش پیشنهادی تعیین شده‌اند نیز در شکل ۵-(ب) آورده شده است. در این روش برای ستاپ‌ها، تمام ماشین ابزارهای ممکن تعیین می‌شوند.



شکل ۴ قطعه کار آزمایش شده و شماره فیچرهای

اطلاعات خروجی میانه سیستم کپ مثل فیچرهای جهت ابزار و...



شکل ۳ طرح ریزی ستاپ‌ها به روش جایگشت با در نظر گرفتن ماشین ابزار برای یک مرحله

$$(MT_{\text{setup}})_i = \begin{cases} MT_F & j = 1 \\ \bigcap_{j=1}^{m_i} (MT_F)_j & j \neq 1 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن  $z$  گام‌های درون ستاپ  $i$  و  $m_i$  تعداد فیچرهای درون ستاپ  $i$  می‌باشد.

الگوریتم توسعه داده شده برای طرح ریزی ستاپ‌ها بر پایه‌ی جایگشت با در نظر گرفتن پارامتر ماشین ابزار بدین صورت می‌باشد:

- شروع.
- اطلاعات مربوط به فیچرها، جهت ابزارها، قواعد ماشین کاری تکنیکی، قواعد ماشین کاری هندسی، حجم ماشین کاری فیچرها و ماشین ابزارها را دریافت کن.
- فیچرهایی که نیاز به ماشین کاری دارند را شناسایی کن و در  $F$  ذخیره کن.
- اگر  $F = \Phi$  برنامه را تمام کن.

۵- روی  $F$  قواعد ماشین کاری تکنیکی را اعمال کن و آن‌ها را در  $RF_1$  ذخیره کن که از این لحظه، آمده ماشین کاری هستند.

۶- روی  $RF_1$  قواعد ماشین کاری هندسی را اعمال کن و آن‌ها را در  $RF_2$  ذخیره کن که از این لحظه، آمده ماشین کاری هستند.

۷- اگر تاکنون ستاپ ایجاد نشده است/ نیاز به ایجاد ستاپ جدید می‌باشد مراحل ۱-۷ تا ۷-ه را اجرا کن

۸- فیچری که بیشترین حجم ماشین کاری بین  $RF_2$  دارد را شناسایی و در  $RF$  ذخیره کن.

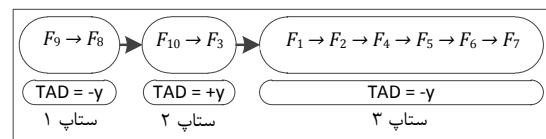
۹- اگر  $RF$  چندجهته باشد راستایی را به عنوان جهت ابزار فیچر انتخاب کن که در آن راستا بیشترین مساحت سطح را دارد.

۱۰- ستاپی هم جهت با  $RF$  ایجاد کن و فیچر  $RF$  را در آن قرار بده.

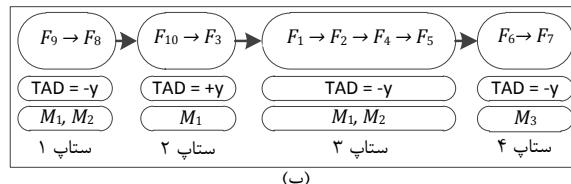
۱۱- ماشین ابزارهای ستاپ ایجاد شده را همان ماشین ابزارهای فیچر  $RF$  در نظر بگیر.

## -۷ مراجع

- [1] N. Xu, S. H. Huang, Y. K. Rong, Automatic setup planning: current state-of-the-art and future perspective, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 193-208, 2007.
- [2] X. Xu, L. Wang, S. T. Newman, Computer-aided process planning - A critical review of recent developments and future trends, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-31, 2010.
- [3] H.-C. Zhang, E. Lin, A hybrid-graph approach for automated setup planning in CAPP, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 1, pp. 89-100, 1999.
- [4] S. S. Hebbal, N. K. Mehta, Setup planning for machining the features of prismatic parts, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 12, pp. 3241-3257, 2008.
- [5] X. Sun, X. Chu, Y. Su, C. Tang, A new directed graph approach for automated setup planning in CAPP, *International Journal of Production Research*, Vol. 48, No. 22, pp. 6583-6612, 2010.
- [6] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, H. Baseri, Automated process planning system: A new method for setup planning and a mathematical model for fixture design, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1849-1859, 2013.
- [7] V. Abedini, M. Shakeri, M. H. Siahmargouei, Automatic Machining Setup Generation for Prismatic Components, *Advanced Materials Research*, Vol. 445, pp. 953-958, 2012.
- [8] D. Manafi, *Development of an automatic system for setup planning and determining the sequence of operation in machining parts*, M.S. Thesis Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, 2015. [In Persian]
- [9] M. Salehi, A. Bahreininejad, Optimization process planning using hybrid genetic algorithm and intelligent search for job shop machining, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, pp. 643-652, 2011.
- [10] S. Kafashi, M. Shakeri, V. Abedini, Automated setup planning in CAPP: a modified particle swarm optimisation-based approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 15, pp. 4127-4140, 2011.
- [11] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, GA-based adaptive setup planning toward process planning and scheduling integration, *International Journal of Production Research*, Vol. 47, No. 10, pp. 2745-2766, 2009.
- [12] Y. Zhang, W. Hu, Y. Rong, D. W. Yen, Graph-based set-up planning and tolerance decomposition for computer-aided fixture design, *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 14, pp. 3109-3126, 2001.
- [13] S. H. Huang, N. Xu, Automatic set-up planning for metal cutting: an integrated methodology, *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 18, pp. 4339-4356, 2003.
- [14] L. Wang, N. Cai, H. Y. Feng, Z. Liu, Enriched machining feature-based reasoning for generic machining process sequencing, *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 8, pp. 1479-1501, 2006.
- [15] Z. Liu, L. Wang, Sequencing of interacting prismatic machining features for process planning, *Computers in Industry*, Vol. 58, No. 4, pp. 295-303, 2007.
- [16] S. Joshi, T. C. Chang, Graph-based heuristics for recognition of machined features from a 3D solid model, *Computer-Aided Design*, Vol. 20, No. 2, pp. 58-66, 1988.
- [17] A. C. Lin, S.-Y. Lin, D. Diganta, W. F. Lu, An integrated approach to determining the sequence of machining operations for prismatic parts with interacting features, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 73, No. 1-3, pp. 234-250, 1998.
- [18] Y. F. Zhang, A. Y. C. Nee, S. K. Ong, A hybrid approach for set-up planning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 183-190, 1995. English
- [19] N. Cai, L. Wang, H.-Y. Feng, Adaptive setup planning of prismatic parts for machine tools with varying configurations, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 3, pp. 571-594, 2008.



(الف)



(ب)

شکل ۵ طرح ریزی ستاپ ها (الف) بدون در نظر گرفتن ماشین ابزار (ب) با در نظر گرفتن ماشین ابزار

جدول ۲ جهت ابزار، قواعد ماشین کاری و ماشین ابزارهای فیچرها

شماره فیچر	TAD	قواعد هندسی	قواعد تکنیکی	ماشین ابزار کاندید
$F_1$	$x, -y, \pm z$	بعد از $F_9$	قبل از $F_3$	$M_1, M_2$
$F_2$	$-x, -y, \pm z$	بعد از $F_9$	قبل از $F_3$	$M_1, M_2$
$F_3$	$y, \pm z$	بعد از $F_{10}$	بعد از $F_8$	$M_1, M_2$
$F_4$	$-y$	بعد از $F_1$	-	$M_1, M_2$
$F_5$	$-y$	بعد از $F_2$	-	$M_1, M_2$
$F_6$	$\pm y$	بعد از $F_4$	-	$M_3$
$F_7$	$\pm y$	بعد از $F_5$	-	$M_3$
$F_8$	$\pm y$	بعد از $F_9$ و $F_3$	-	$M_1$
$F_9$	$\pm x, -y, \pm z$	-	-	$M_1, M_2$
$F_{10}$	$\pm x, y, \pm z$	-	بعد از $F_9$	$M_1, M_2$

این کار تعیین ماشین ابزارهای جایگزین را آسان می کند. برای مثال در شکل ۵-(ب) دو ماشین ابزار برای ستاپ ها ۱ و ۲ یک ماشین ابزار برای ستاپ ها ۳ تعیین شده است. لازم به ذکر می باشد که برای ستاپ هایی که بیش از یک ماشین ابزار تعیین شده است یکی از آن ها به عنوان ماشین ابزار اصلی انتخاب و بقیه به عنوان ماشین ابزار جایگزین معرفی می شود.

## ۶- نتیجه گیری

طرح ریزی ستاپ ها هسته ای اصلی سامانه های کپ می باشد که به جهت ابزار، قواعد ماشین کاری، ماشین ابزار و طراحی قید و بند وابسته است. در این مقاله چگونگی اضافه شدن پارامتر ماشین ابزار به طرح ریزی ستاپ بر پایه جایگشت بحث و روابط ریاضی حاکم بر آن بیان شده است. روش پیشنهادی به طور هم زمان ماشین ابزارهای مناسب برای ستاپ ها را از بین ماشین ابزارهای فیچر انتخاب و تأثیر ماشین ابزار را روی طرح ریزی ستاپ ها اعمال می کند؛ به طوری که اگر فیچرهای دارای جهت ابزار مشترک باشند اما در ماشین ابزار اشتراکی نداشته باشند درون یک ستاپ قرار داده نمی شوند. با این کار از طرح ریزی مجدد ستاپ ها جلوگیری می شود. در این روش تمام ماشین ابزارهای ممکن برای ستاپ انتخاب می شود و سپس از بین این ماشین ابزارها، یکی به عنوان ماشین ابزار اصلی ستاپ انتخاب و بقیه به عنوان ماشین ابزار جایگزین معرفی می شوند. علاوه بر بدست آوردن روابط ریاضی، الگوریتم طرح ریزی ستاپ ها بر پایه جایگشت برای این کار توسعه داده شده است. این الگوریتم در برنامه پایتون اوسی سی پایاده سازی و روی یک قطعه کار آرمایش شده است.