

## انتقال تکنولوژی در طراحی و ساخت موتور ها با استفاده از سیستم های هوشمند

### دکتر مرتضی صادق عمل نیک

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک و مهندسی صنایع دانشگاه تبریز

E-Mail: [sadeghamalnik@yahoo.com](mailto:sadeghamalnik@yahoo.com)

#### چکیده:

درفرآیند طراحی موتور ها ضروریست تا فرآیند ساخت هر یک از فیچر ها و اشکال هندسی طراحی شده از نظر قابلیت ساخت و مونتاژ و زمان و هزینه ماشینکاری بررسی و ارزیابی شود تا از یکطرف کلیه عوامل موثر در ساخت و تولید و متغیر های طراحی از نظر زمان و هزینه ماشینکاری و قابلیت های ساخت در ابتداء طراحی بررسی شود و از طرف دیگر پارامتر ها و متغیر های ماشینکاری به صورت بهیه انتخاب شود. بطور کلی بعضی از عملیات ماشینکاری در محیطی دینامیک انجام می شود و جهت بالابردن دقت و بدست آوردن صافی سطح بالا نیاز به تنظیم دقیق پارامتر های ماشینکاری می باشد. جهت اینکار نیاز به درک عمیق فیزیک فرآیند و دانش و تجربه در باره آن می باشد. برای ساده کردن و استاندارد کردن کاربردهای فرآیند های پیچیده ماشینکاری مانند ماشینکاری به روش الکتروشیمیایی ECM و یا تخلیه الکتریکی EDM، دستورالعمل های خاصی توسط محققین توصیه شده است. با این وجود اکثر توصیه های پیشنهاد شده بر اساس دانش شخصی، قضاوت و مهارت افراد بوده است. موقع بکارگیری این نوع فرآیند ها، تصمیمات زیادی در رابطه با این نوع فرآیند ها و متغیر ها بایستی گرفته شود. بسیاری از پارامتر های این فرآیند ها دارای اثرات متقابل بر هم می باشند که بطور مستقیم یا معکوس بر شکل هندسی قطعه نهایی، یکپارچگی و صافی سطح اثر می گذارد که در صورتی که نتوان آنها را کنترل نمود ممکن است به ابزار و یا قطعه کار یا ماسین آسیب رساند. جهت جلوگیری از آسیب رسیدن به ابزار و قطعه کار در این نوع فرآیند ها و افزایش بهره وری و کیفیت و کاهش زمان و هزینه های ماشینکاری می توان از سیستم های کامپیوتری پایگاه دانش استفاده نمود. اما طراحی و توسعه چنین سیستم هایی بسیار پیچیده و زمان گیر است و نیاز به مهارت ها و تجربیات زیادی می باشد. در چنین شرایطی اگر از یک سیستم سفارشی و یا تجاری آماده استفاده شود می تواند محاسن و منافع زیادی داشته باشد به صورتی که از یک طرف قابلیت ساخت طراحی را ارزیابی می کند و از طرف دیگر توصیه های لازم را برای انتخاب بهینه پارامتر های ماشینکاری در اختیار مهندس ساخت قرار می دهد. در این مقاله در باره بکار گیری چنین سیستم هایی بحث و بررسی می شود و یک مثال از سیستم هایی که توسط نویسندگان طراحی و ساخته شده و اطلاعاتی که در اختیار مهندس طراح و مهندس تولید جهت بهینه کردن طراحی و ساخت قرار می دهد توضیح داده می شود.

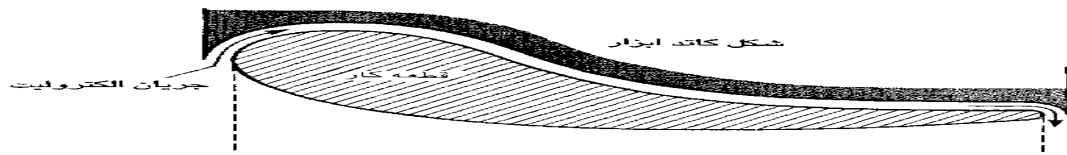
#### مقدمه:

در فرآیند طراحی بعد از طراحی هر فیچر یا شکل هندسی طراحی نیاز به سیستم هوشمندی می باشد که بتواند فرآیند ساخت را مشخص و زمان و هزینه ماشین کاری را محاسبه و قابلیت ساخت و کیفیت طراحی را بررسی نماید. در بسیاری از فرآیند مانند ماشینکاری از طریق الکتروشیمیایی و یا ماشینکاری از طریق تخلیه الکتریکی و غیره برای ماشینکاری قطعات پیچیده در مواد و آلیاژ های فلزی سخت استفاده می شود. جاذبه ECM این است که نرخ باربرداری بستگی به سختی قطعه ندارد. و

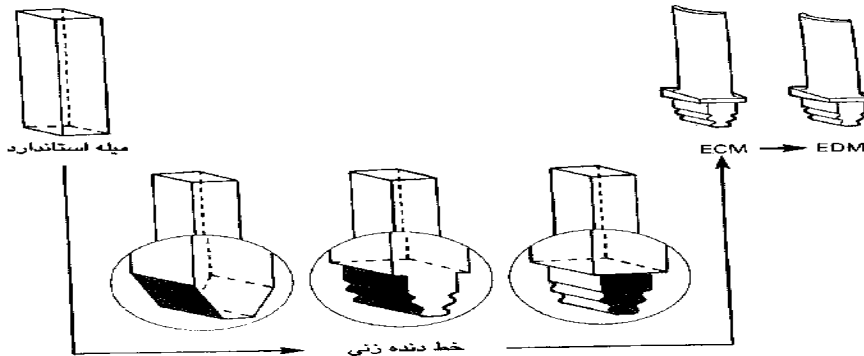
اتصال بین ابزار و قطعه کار وجود ندارد. بنابراین ابزار می‌تواند برخلاف روش های سنتی خیلی نرمتر از قطعه کار باشد [۱]. کاربرد جدید ECM شامل اهره کاری، سنگ زنی، پالس ECM، الکترو شیمیایی میکرو ماشینینگ توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۲]. ترکیبی از ماشینکاری به روش ECM و EDM موجب افزایش سرعت ماشینکاری می‌شود [۳] [۴]. مفهوم بکارگیری و استفاده از سیستم های هوشمند جهت انتخاب و بهینه کردن متغیر های فرایند های ماشینکاری در منابع [4-6] نشان داده شده است. هون اصول بکارگیری تکنیکهای هوش مصنوعی در برنامه ریزی استراتژیک انتخاب بهینه فرایند های ماشینکاری را از میان بسیاری از فرایندهای کاندید شده مشخص نموده است. در این مقاله اطلاعات و دانش مربوط به تعدادی از روش های ماشینکاری در پایگاه دانش ذخیره شده است [4]. میل و همکارانش تکنیک برنامه ریزی جنرتیو بر اساس مدلها و اشکال هندسی جنریک را برای ترتیب عملیات ماشینکاری هوشمند مشخص شده است [۵]. خیری یک روش ماشینکاری را از میان خانواده فرایند های خیر سنتی انتخاب و تاکید بیشتر بر استفاده از برنامه نویسی به زبان پرولوگ Prolog نموده است [6]. فنتون و گائون سیستم هوشمندی جهت انتخاب مواد برای عملیات برشکاری فلزات ارائه نمودند [۷]. کاربرد سیستم های پایگاه دانش یا سیستم های خبره جهت هدایت در انتخاب شرایط ماشینکاری بر ای روشهای ماشینکاری سنتی محدود می‌باشد [۸-۹]. این سیستم ها در زمینه های عیب یابی و تشخیص عیوب موفقیت آمیز بوده است [۱۰]. پایگاه های اطلاعاتی و سیستم های هوشمندی هم اکنون برای انتخاب مواد وجود دارد [۱۱]. عمل نیک و مک گیخ سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر قابلیت ساخت به روش ماشینکاری الکترو شیمیایی طراحی و توسعه داده است. در این سیستم از یکطرف برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و هزینه ماشینکاری را محاسبه و اطلاعات لازم را جهت بهینه کردن طراحی در اختیار مهندس طراح قرار می‌دهد و از طرف دیگر متغیر های ماشینکاری را انتخاب و توصیه های لازم را جهت انتخاب بهینه متغیر های ماشینکاری در اختیار مهندسین ساخت و تولید قرار می‌دهد [۱۲]. عمل نیک و همکارانش سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر زمان و هزینه و قابلیت ساخت از طریق ماشینکاری و ابر کات به روش ترکیبی از الکترو شیمیایی ECM و تخلیه الکتریکی EDM ارائه نموده است. در این سیستم برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و هزینه ماشینکاری محاسبه و اطلاعات لازم جهت بهینه کردن طراحی در اختیار طراح قرار می‌دهد و توصیه های لازم را جهت انتخاب بهینه پارامتر های ماشینکاری در اختیار مهندسین ساخت و تولید قرار می‌دهد [۱۳]. مونایری و همکارانش جهت بهینه کردن ماشینکاری میلینگ یک سیستم هوشمند شبکه عصبی به روش RBF طراحی و توسعه نموده است. در این مقاله یک سیستم یکپارچه توسعه محصول برای بهینه کردن ماشینکاری ارائه نموده است [۱۴]. عمل نیک و عمل نیک سیستم هوشمندی جهت تکسچر کردن ورق های مورد استفاده در بدنه اتومبیل طراحی و توسعه داده است که می‌تواند زمان و هزینه تکسچر کردن ورقهای فولادی را با ماشین های با اندازه مختلف حساب نموده و متغیر های ماشینکاری را بطور بهینه انتخاب نماید [۱۵]. ونگ و تسای مدل های هوشمندی برای پیش بینی صافی سطح، نرخ ماشینکاری و خوردگی ابزار را برای ماشینکاری مواد مختلف از طریق ماشینکاری EDM توسعه داده است [۱۶]. عمل نیک و عمل نیک سیستم هوشمندی جهت ارزیابی طراحی از نظر زمان و هزینه و قابلیت ساخت از طریق ماشینکاری به روش التراسونیک ارائه نموده است. در این سیستم برای هر شکل هندسی طراحی شده زمان و هزینه ماشینکاری محاسبه و اطلاعات لازم جهت بهینه کردن طراحی محصول و فرایند ساخت در اختیار مهندس طراحی محصول و مهندس طراح فرایند قرار داده می‌شود [۱۷]. کالپاکچیان و اشمید در کتاب خود تحت عنوان تکنولوژی مهندسی ساخت بکار گیری این سیستم ها را در فرایند طراحی و ساخت و تولید توصیه می‌کنند [۱۸]. جهت اطلاعات بیشتر به مقالات [۱۹-۲۳] رجوع کنید.

امروزه بسیاری از قطعات مکانیکی مورد استفاده در موتور خودروها و موتور هواپیما ها نیاز به عملیات ماشینکاری دارند و جهت ساخت و تولید آن از روش های مختلفی استفاده می‌شود. بعنوان مثال در صنعت موتور سازی هواپیما، برای ساخت پره توربین و یا پره های نازک کمپرسور با شکل دقیق و بازده بالا از ماشینکاری به روش الکتروشیمیایی و یا از روش تخلیه الکتریکی استفاده می‌شود. در شکل (۱) طراحی شکل کاتد ابزار برای ساخت پره توربین موتور هواپیما به روش ماشینکاری الکترو شیمیایی نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود شکل دهی کامل، فاصله دهانه در کل قطعه کار ثابت است. در تولید پره توربین سرعت پیشروی ثابت است و شدت جریان در کل سطح قطعه کار زیاد است و از جریان هایی به بزرگی ۱۰۰ آمپر در سانتی متر مربع استفاده می‌شود. از این روش شکل دهی برای ساخت پره های توربین و کمپرسور و قطعات

مشابه استفاده می شود. در شکل (۲) مراحل تولید پره کمپرسور نشان داده شده است پای پره با دنده زنی یک میله برش خورده از جنس الیاژ نیکل یا تیتانیوم ساخته می شود و سپس سطح پره با ECM شکل دهی می شود. ماشینکاری سوراخهای خنک کاری پره های توربین فشار بالا که نسبت عمق به قطر آنها بزرگ است توسط ماشینکاری الکترولیتی لوله فرم دار (STEM) انجام می شود. پره های توربین با عبور هوای خنک از مسیرهای شعاعی (غیر موازی) خنک می شوند. از سوراخها برای احاطه کردن پره های توربین با یک لایه هوا که دمای آن کمتر از دمای ورودی در همان مقطع پره است استفاده می شود. به این ترتیب یک لایه عایق بندی گرمایی پره را احاطه کرده و پره در دمای محیط بالاتر از نقطه ذوب جنس آن نیز می تواند کار کند. معمولا مسیر های شعاعی پره های توربین هنگام ریخته گری ایجاد می شوند و سوراخهای خنک کاری برای لایه هوا ماشینکاری می شود. بنابراین برای سوراخکاری و تولید کانال های خنک کاری در پره های توربینی که از فلز سخت مانند آلیاژهای پایه نیکل، ساخته می شود از ماشینکاری به روش EDM و یا ECM استفاده می شود.

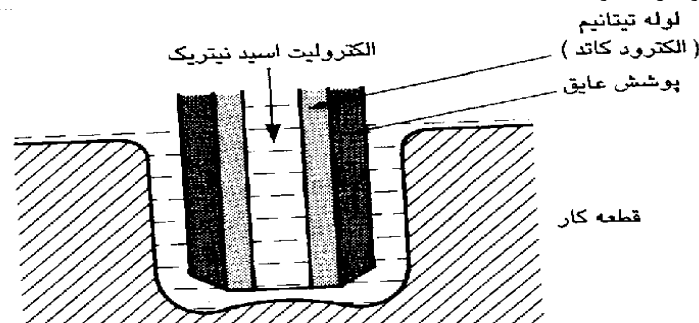


شکل (۱) طراحی شکل کاتد ابزار برای ساخت و تولید پره های توربین موتور هواپیمای جت



شکل (۲) مراحل تولید پره کمپرسور موتور هواپیمای جت

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، شکل الکتروودها مشابه الکتروود ECM است. الکتروود سوراخکاری کاتد از لوله تیتانیوم ساخته می شود و دیواره خارجی آن یک پوشش عایق دارد. محلول الکتروولیت اسید نیتریک ۱۵ درصد در دمای حدود ۲۰ درجه سانتی گراد با سرعت پمپ یک لیتر در دقیقه می باشد. با ابزار سوراخکاری به قطر ۰.۵۸ میلی متر و ولتاژ ۱۰ ولت و سرعت پیشروی ۲/۲ میلی متر در دقیقه برای کاتد ابزار می توان سوراخی به قطر ابتدایی ۰/۸۴ و قطر انتهایی ۰/۸۵ میلی متر و عمق حدود ۱۳۳ میلی متر در پره های توربین موتور هواپیما تولید کرد. در این روش که به روش سوراخکاری STEM معروف است قطبها به صورت تناوبی در هر ۰/۳ تا ۹ ثانیه معکوس می شوند تا از تجمع محصولات ماشینکاری حل نشده در سطح کاتد سوراخکاری جلوگیری شود.



شکل (۳) سوراخکاری پره های توربین موتور هواپیمای جت به روش STEM

### نیاز به سیستم هوشمند جهت انتقال تکنولوژی:

در شرایطی که ماشینکاری در محیط دینامیک و پیچیده ای انجام می شود، هر تغییری که در هر لحظه در ویژگیهای ابزار، قطعه کار و متغیرهای ورودی در شرایط عملی بوجود می آید تاثیر مستقیمی بر ویژگیهای ماشینکاری خواهد گذاشت. در چنین شرایطی اگر متخصص طراح فرایند خسته باشد و یا شرایط کاری مناسب نباشد و یا به هر دلیلی در شرایط عادی نباشد در این صورت امکان آن می رود که طراحی فرایند به صورت بهینه انجام نشود و عملیات ماشینکاری با مشکل روبرو شود. از طرف دیگر در صورتی که اتفاقی برای فرد متخصص پیش آید و یا به هر دلیل نتواند به کار خود ادامه دهد و یا استعفا دهد عملیات تولید با مشکل روبرو می شود. زیرا اکثر مهندسان و طراحان عمومی فرایند دارای اطلاعات محدودی در رابطه با متغیرها و پارامترهای ماشینکاری فرایندهایی مانند ECM دارند و بدنبال متخصصین در این زمینه هستند و یا برای حل مشکل خود بدنبال پیدا کردن منبع و کتاب ها و مقالات علمی می باشند. اطلاعات اینطور نیست که همیشه آماده و راحت بدست آید زیرا حجم زیادی از دانش فنی بر اساس تجربیات سالهای زیادی حاصل شده است که بطور مناسب ذخیره نشده است و یا به آسانی در بانگ های اطلاعاتی و مدارک قابل دستیابی نمی باشند. آموزش دادن نیروهای انسانی و جایگزین کردن آنها به جای نیروهای متخصص و با تجربه در کوتاه مدت کار بسیار مشکل و تقریباً امکان پذیر نیست. در چنین شرایطی اگر دانش مناسب از منبع قابل اطمینانی موجود نباشد، کار و قطعات در دست ماشینکاری با تاخیر انجام می شود و قطعات ماشینکاری شده از نظر زمان و هزینه و مرغوبیت همراه با ریسک خواهد بود. و امکان آسیب دیدن ماشین و ابزار و قطعه کار افزایش خواهد یافت.

جهت کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت و بهره وری و کمک به طراح و برنامه ریزی فرایند ساخت قطعات بوسیله ماشینکاری ECM یا EDM و غیره نیاز به سیستم هوشمندی می باشد تا کلیه عوامل موثر در هزینه و کیفیت و بهره وری در ابتداء طراحی در نظر گرفته شود. در این مقاله یک نوع از این سیستم های هوشمند که برای اولین بار توسط نویسنده مقاله طراحی و ساخته شده است توضیح داده می شود. سیستم خبره یا هوشمندی که در این مقاله توضیح داده می شود بعنوان یک سیستم مشاوره ای دانش عمل می کند که از یکطرف مهندس طراح را جهت انتخاب بهینه متغیرهای طراحی هدایت می کند و توصیه های لازم را جهت بهینه کردن طراحی ارائه می دهد و از طرف دیگر مهندسی فرایند ساخت را جهت انتخاب مناسب متغیرهای ماشینکاری برای رسیدن به اهداف مشخص شده هدایت می کند.

در سه دهه گذشته تلاشهای زیادی جهت طراحی و توسعه سیستم های خبره و یا سیستم های پایگاه دانش انجام شده است و در زمینه های مختلفی از جمله در زمینه های طراحی و ساخت و تولید، ارزیابی قابلیت ساخت طراحی از نظر زمان و هزینه و کیفیت ساخت، بهینه سازی، تشخیص عیوب، انتخاب ابزار، انتخاب ماشین، انتخاب مواد و غیره، سیستم های مختلفی طراحی، ساخته و تجاری شده اند. در بسیاری از موارد طراحی و ساخت چنین سیستم هایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. در ساخت موتورهای هواپیما و موتورهای خودرو که نیاز به عملیات ماشینکاری زیادی می باشد، میتوان از این سیستم ها جهت انتقال تکنولوژی و بهینه کردن متغیرهای طراحی، انتخاب بهینه ابزار، ماشین، مواد، و ترتیب عملیات ماشینکاری، کاهش ضایعات و بالا بردن ضریب اطمینان استفاده نمود.

امروزه در بسیاری از سیستم های طراحی و ساخت هوشمند از پایگاه های اطلاعاتی مختلفی استفاده می شوند که عبارتند از:

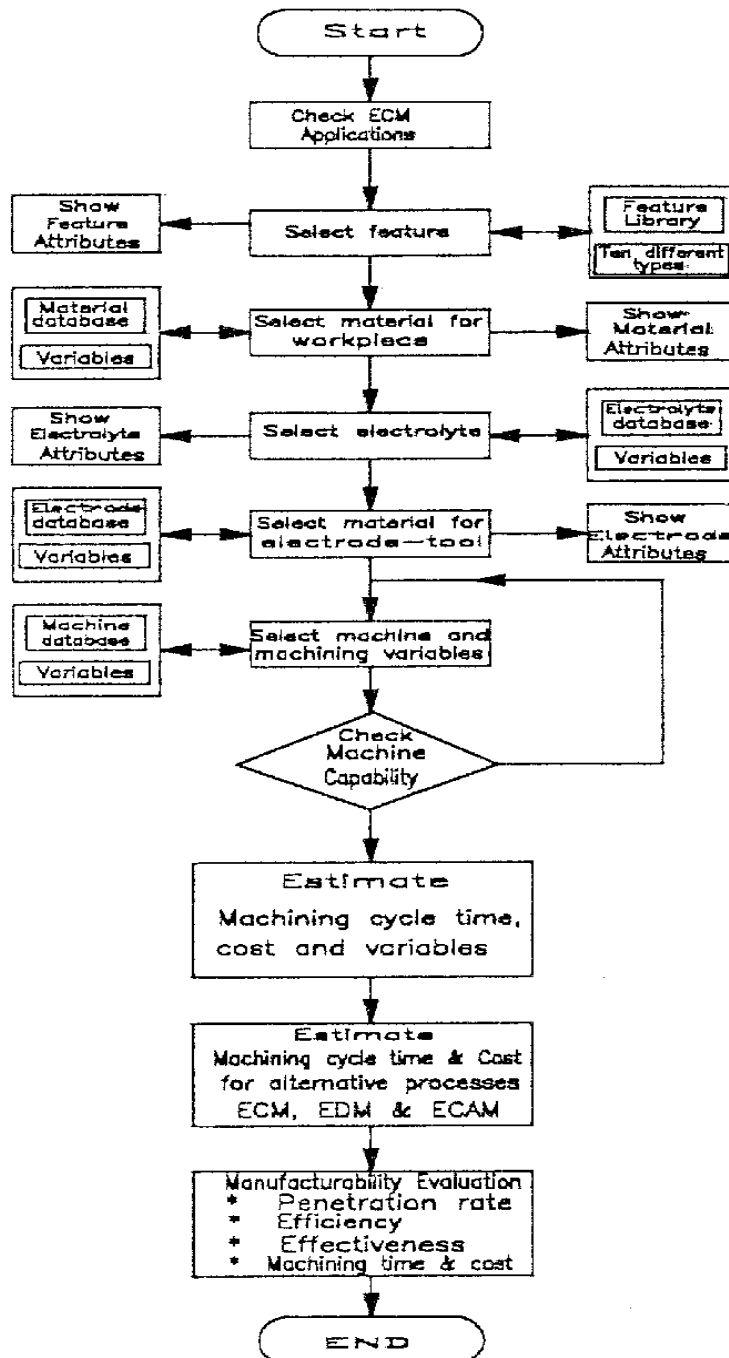
۱- پایگاه انتخاب مواد: از یک پایگاه اطلاعاتی جهت انتخاب مواد استفاده می کنند. در این پایگاه کلیه ویژگیهای مربوط به مواد مانند نام، جنس، و شماره یا کد استاندارد مواد سختی، صفتی، وزن مخصوص، وزن اتمی، تعداد الکترون های آخرین مدار، قیمت، مشخصات فیزیکی، شیمیایی، متالوژی و مکانیکی مواد آورده می شود.

۲- پایگاه انتخاب ابزار: در این پایگاه انواع ابزارهای مورد نیاز همراه با ویژگیها و خصوصیات، اندازه، قیمت و سایر ویژگی ها قرار داده می شود.

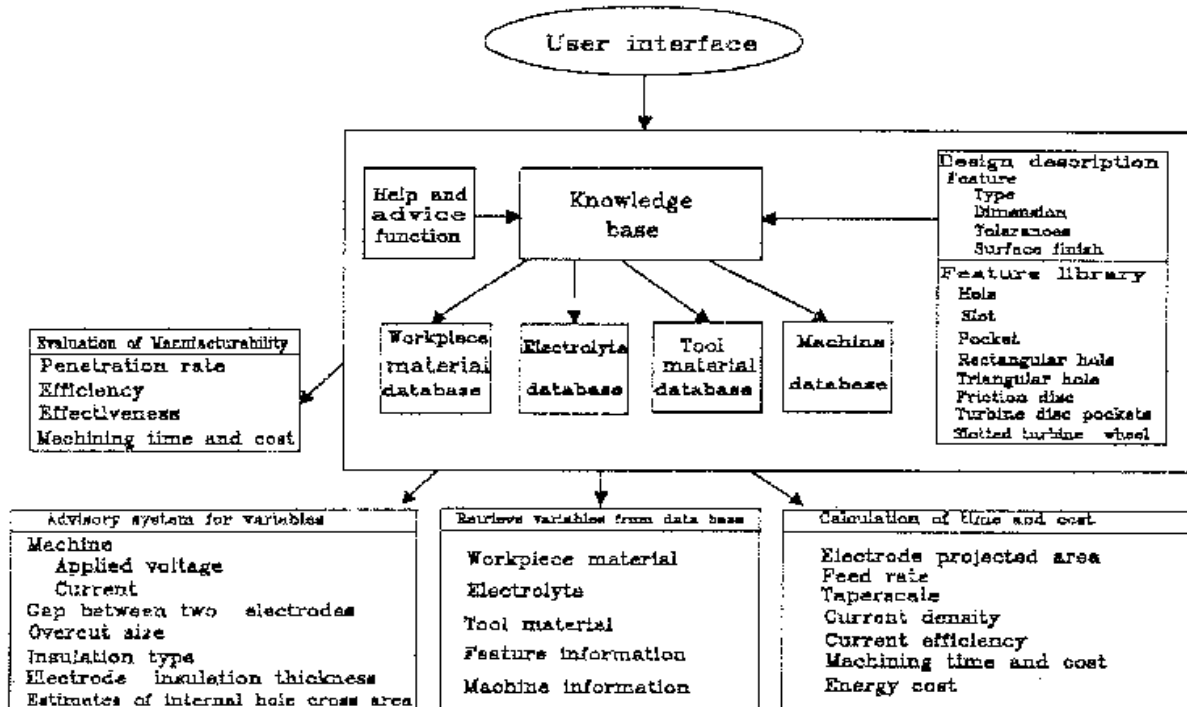
۳- پایگاه اطلاعاتی فیکسچر ها: در این پایگاه انواع فیکسچر های موجود همراه با مشخصات و ویژگی های آنها ذخیره می شود.

۴- پایگاه اطلاعاتی ماشینها: در این پایگاه اطلاعاتی انواع ماشین ها همراه با اندازه، قیمت، مشخصات و ویژگی های آنها ذخیره می شود.

- ۵- پایگاه متغیر ها و پارامتر های ماشینکاری: در این پایگاه کلیه متغیر ها و پارامتر های ماشینکاری ذخیره می شود.
- ۶- در صورتی که از فرایند های غیر مرسوم مانند ECM , EDM یا التراسونیک و غیره استفاده شود نیاز به پایگاه اطلاعاتی خاص برای فرایند های غیر سنتی: برای مایع الکترولیت، دی الکتریک و یا مایع ابرسیو و غیره وجود دارد.
- ۷- پایگاه اطلاعات طراحی: در این پایگاه اطلاعات هر یک از اشکال هندسی و فیچر های طراحی ذخیره شده است. از این پایگاه معمولا زمانی استفاده می شود که ارتباط متقابل و اینترفیسی بین طراحی محصول و طراحی فرایند ساخت وجود نداشته باشد. در شکل (۴) فلوجارت سیستم هوشمند به همراه پایگاههای اطلاعاتی آن که توسط نویسندگان طراحی توسعه داده شده نشان را می دهد. در شکل (۵) ساختار و خروجی های سیستم هوشمند نشان داده شده است.



شکل (۴) فلوجارت سیستم هوشمند همراه با پایگاههای اطلاعاتی آن



شکل (۵) ساختار و خروجی های سیستم هوشمند طراحی شده

#### ارزیابی تجربی سیستم هوشمند :

در شکل (۶) بعضی از اشکال هندسی را که سیستم هوشمند می تواند قابلیت ساخت آنها از نظر زمان و هزینه ارزیابی نماید و توصیه های لازم را جهت انتخاب بهینه ماشینکاری ارائه نماید نشان می دهد. و در شکل (۷) نمایش شی مدار سیستم هوشمند برابراحی و ساخت از طریق ماشینکاری الکتروشیمیایی نشان داده شده است. برای اطمینان از خروجی سیستم هوشمند هزینه و زمان و نرخ پیشروی ماشینکاری یک حفره دواری توسط سیستم هوشمند و ماشینکاری تجربی آن باهم مقایسه شده است. مقایسه زیر که در جدول (۱) مشخص شده است نشان می دهد که نتایج سیستم هوشمند بعلا انتخاب بهتر متغیر های ماشینکاری بهتر از نتایج سیستم تجربی می باشد. و طراح در کمتر از ۳۰ ثانیه می تواند قابلیت ساخت و هزینه و زمان هر شکل هندسی که طراحی می کند از طریق سیستم هوشمند دریافت نماید.

پایگاه اطلاعاتی دانش توضیح داده شده در بالا با نتیجه تجربی سوراخکاری مقایسه شده و نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است. در این آزمایش از ماشین ECM ۵۰۰ آمپری و الکترولیت نیترات سدیم ۳۰ درصدی با نرخ جریان الکترولیت ۳۰ لیتر در دقیقه و فشار حداکثر ۱۰۲۰،۴ کیلو نیوتن در متر مربع جهت انجام سوراخکاری استفاده شده است. ابزار الکتروود از جنس مس با قطر ۱۰ میلی متر استفاده شده است.

جدول (۱) نتایج مقایسه سیستم هوشمند با نتایج تجربی ماشینکاری

نرخ پیشروی میلی متر در دقیقه	هزینه ماشینکاری (پاند)	زمان (دقیقه) ماشینکاری	روش استفاده	قطر (میلی متر)	نوع فیچر
۰،۳۲	۱،۹۱	۷،۵۰	روش تجربه	۱۰	سوراخ ۱
۰،۳۷	۱،۸۴۱	۷،۲۵		۱۰	سوراخ ۲ سوراخ ۳
۰،۲۸	۱،۹۶۱	۷،۷۴		۱۰	
۱،۴۸	۱،۷۲	۶،۷۷	روش هوشمند	۱۰	سوراخ ۱
۱،۴۸	۱،۷۲	۶،۷۷		۱۰	سوراخ ۲ سوراخ ۳

۱,۴۸	۱,۷۲	۶,۷۷		۱۰	
------	------	------	--	----	--

در تجربه عملی ماشینکاری با ECM، بر آورد زمان و هزینه<sup>۴</sup> نرخ پیشروی و پارامتر های دیگر بسیار مشکل است. در مقابل سیستم هوشمند می تواند این بر آورد ها را ظرف کمتر از ۳۰ ثانیه محاسبه و توصیه های لازم را جهت بهینه کردن طراحی ارائه نماید. همچنین می تواند توصیه های لازم را به مهندس طراح فرایند و مهندسین ساخت و تولید ارائه نماید. بعضی از خروجی های سیستم هوشمند ECM طراحی شده برای سوراخکاری سوراخی به قطر و عمق ۱۰ میلی متر در زیر نشان داده شده است.

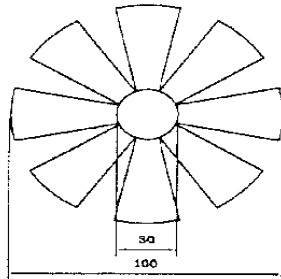


Fig. (a). Turning tool

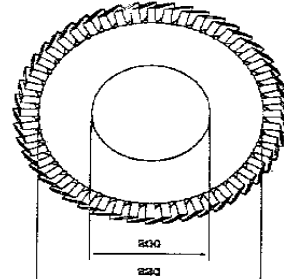


Fig. (e). Turbine wheel EC slots

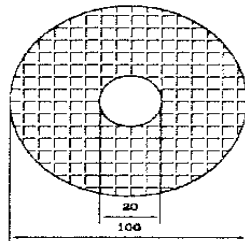


Fig. (b). Friction disc

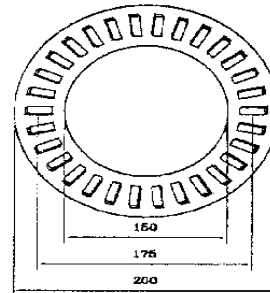


Fig. (f). Turbine wheel with pockets

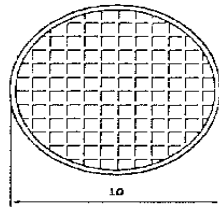


Fig. (c). Circular hole

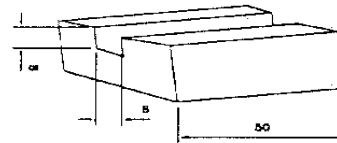


Fig. (g). Slot

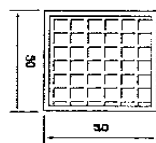


Fig. (d). Pocket

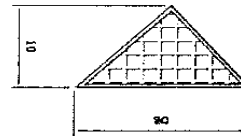


Fig. (h). Triangular hole

شکل (۵) تعدادی از فیچر های طراحی که توسط سیستم هوشمند قابلیت ساخت آنها بررسی شده است

اطلاعات دریافت شده از طریق پایگاه اطلاعاتی مواد، توسط سیستم هوشمند، که ویژگیهای ۷۲ مواد مختلف در آن ذخیره شده است. ویژگیهای مواد انتخاب شده عبارتند از:

- *Material. type=Cast Iron*
- *Material. valence=2.0*
- *Material. removal rate=17.39*
- *Material. atomic weight=55.85*
- *Material. removal rates at 1000 amperes per cm min=2.21*



- *Material. working voltage=15.0*
  - *Material. maximum current= 250.0*
- اطلاعات دریافت شده از طریق پایگاه اطلاعاتی الکترولیت، توسط سیستم هوشمند، که ویژگیهای انواع الکترولیت های مختلف در آن ذخیره شده است. ویژگیهای الکترولیت انتخاب شده عبارتند از:

- *Electrolyte. composition=  $\text{NaNO}_3$*
  - *Electrolyte. concentrations =240 gram per litre*
  - *Electrolyte. temperatures =38 degree of centigrade*
  - *Electrolyte. flow rate range = 0.95 litre per m per 100A*
  - *Electrolyte. velocity range = 1500 to 3000 m per min*
  - *Electrolyte. inlet pressure range =137 to 2060 kpa*
  - *Electrolyte. outlet pressure range = 0 to 310 kpa*
- اطلاعات دریافت شده از طریق پایگاه اطلاعاتی الکتروود ابزار، که توسط سیستم هوشمند، ویژگیها و مشخصات الکتروود ابزار انتخاب شده را نشان می دهد.

- *Electrode. type=Copper*
- *Electrode. electrical resistivity =1.71*
- *Electrode. electrode cost = medium*
- *Electrode. strength = 400.0*
- *Electrode. elasticity = 121.0*
- *Electrode. thermal conductivity =0.93*
- *Electrode. melting point = 1082.0*
- *Electrode. spark resistance = poor*
- *Electrode. repairability = fair*

گرفتن اطلاعات از پایگاه اطلاعات طراحی و ساخت توسط سیستم هوشمند ECM:

- *Feature. Type = circular hole*
- *Hole. diameter = 10.0 mm*
- *Hole. depth = 10.0 mm*
- *Hole. surface finish = 10 micrometer*
- *Hole. dimentional tolerance +, - =50*
- *Hole overall cut = 0.13*
- *Hole. taper =0.01*

پیشنهاد و انتخاب شرایط ماشینکاری مختلف در سیستم ماشینکاری هوشمند ECM:

- *Electrolyte. surface active agents = Necessary*
- *Electrolyte. surface finish improvers = Not necessary*
- *Electrolyte. activators = Not necessary*
- *Electrolyte. velocity = 2000.0*
- *Electrolyte. volume flow rate = 3000.0*
- *Electrode. insulation material type = epoxy*
- *Electrode. insulation thickness = 0.13 mm*
- *Electrode. internal hole type = circular hole*
- *Electrode. internal hole area = 0.20*
- *Electrode. percentage tool wear = 0.0*
- *Machine. gap between two electrodes = 0.3*
- *Machine. range of side overcuts mm = 0.3*
- *Machine. working voltage = 15.0*
- *Machine. maximum current = 175.0*
- *Machine. gap between two electrodes= 0.3*



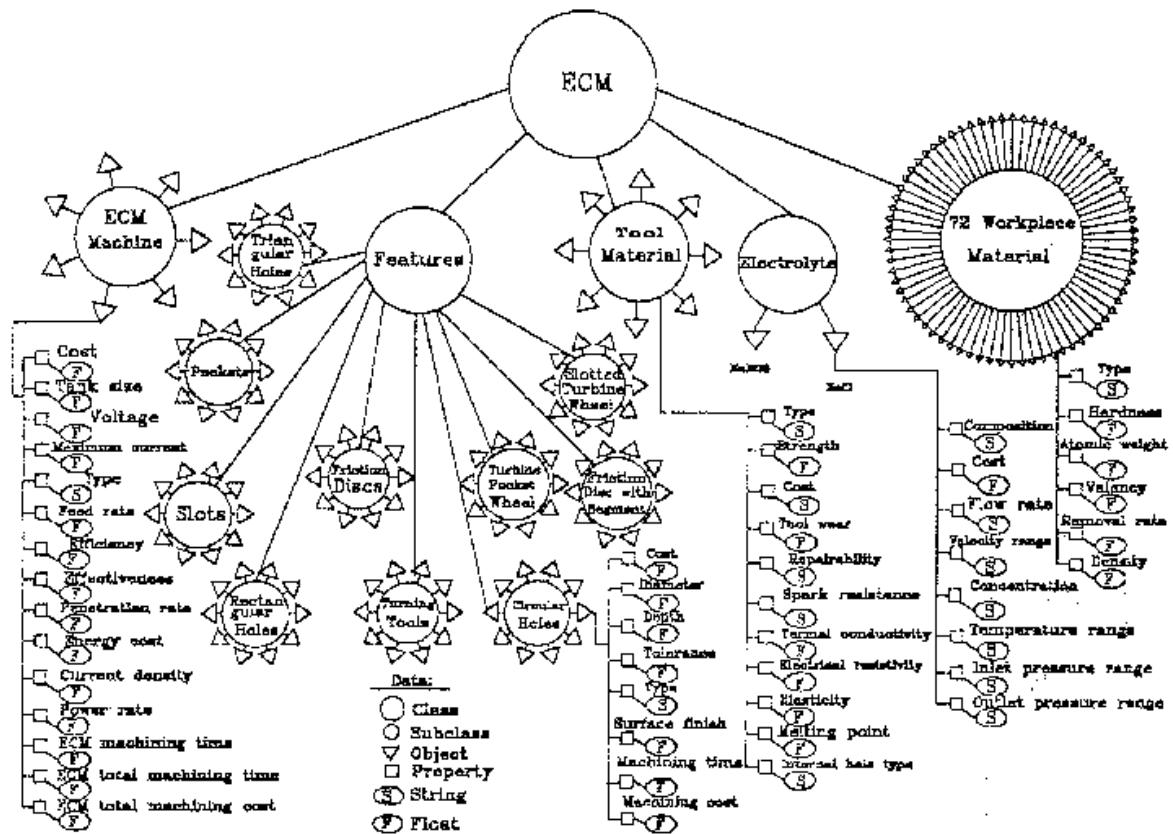
مشخص کردن پارامترها و زمان و هزینه ماشینکاری توسط سیستم هوشمند ECM

- *Material. type=Cast Iron*
- *Material. valence=2.0*
- *Material density = 7.86*
- *Material. removal rate=17.39*
- *Material. atomic weight=55.85*
- *Material. removal rates at 1000 amperes per cm min=2.21*
- *Material. working voltage=15.0*
- *Material. maximum current= 250.0*
- *Electrode. type=Copper*
- *Electrode. electrical resistivity =1.71*
- *Electrode. electrode cost = medium*
- *Electrode. strength = 400.0*
- *Electrode. elasticity = 121.0*
- *Electrode. thermal conductivity =0.93*
- *Electrode. melting point = 1082.0*
- *Electrode. spark resistance = poor*
- *Electrode. repearability = fair*
- *Electrolyte. composition= NaNo3*
- *Electrolyte. concentrations =240 gram per litre*
- *Electrolyte. temperatures =38 degree of centigrade*
- *Electrolyte. Flow rate range = 0.95 litre per m per 100A*
- *Electrolyte. Velocity range = 1500 to 3000 m per min*
- *Electrolyte. Inlet pressure range =137 to 2060 kpa*
- *Electrolyte. outlet pressure range = 0 to 310 kpa*
- *Feature. type = circular hole*
- *Hole. diameter = 10.0 mm*
- *Hole. depth = 10.0 mm*
- *Hole. surface finish = 10 micrometer*
- *Hole. dimensional tolerance +, - =50*
- *Hole overall cut = 0.13*
- *Hole. taper =0.01*
- *Machine. gap between two electrodes = 0.3*
- *Machine. range of side over cuts mm = 0.3*
- *Machine. working voltage = 15.0*
- *Machine. current density = 297.09*
- *Machine. current efficiency = 0.3*
- *Machine. maximum current = 175.0*
- *Machine. feed rate =1.55*
- *Machine. power rate = 2.63*
- *Machine. energy unit cost = 4.0*
- *Machine. ECM machining time = 6.77*
- *Machine. ECM energy cost = 0.01*
- *Machine. penetration rate = 1.48*

برآورد مجموعه زمان و هزینه ماشینکاری و هزینه های سربار و نیروی انسانی توسط سیستم هوشمند ECM:

- *Machine. ECM capital cost = 30000*
- *Machine. ECM depreciation hour cost = 1.71*

- Machine. ECM overhead hour cost = 3.0
- Machine. ECM labour minute cost = 0.17
- Machine. ECM machining maintenance time = 1.02
- Electrolyte. total cost of salt for 500 gallon 20 percent = 50.0
- Machine. ECM total machining cost = 1.72 British pond
- Machine. ECM depreciation cost per part
- Electrolyte. cost per part = 0.01
- Machine. ECM energy cost = 0.01
- Machine. ECM machining time = 6.77
- Machine. ECM depreciation cost per part = 0.25
- Machine. ECM total labour cost per part = 1.46
- Machine. ECM total machining time = 8.59
- Machine. ECM total machining cost = 1.72
- Machine. ECM batch size = 1000.0



شکل (۶) نمایش شی مدار (یا آبجکت اورینتد) سیستم هوشمند

### نتیجه گیری:

در این مقاله توضیح داده شد که یکی از روش هایی که جهت انتقال تکنولوژی می توان از آن استفاده نمود بکارگیری از سیستم های هوشمند است. این سیستم ها را می توان برای انجام کار مشخصی طراحی و یا بصورت آماده خریداری نمود. بعنوان مثال در شرایطی که از فرایند های پیچیده ای مانند EDM و یا ECM و غیره استفاده می شود و ماشینکاری در محیط پیچیده ای انجام می شود، هر تغییری که در هر لحظه در ویژگیهای ابزار، قطعه کار و متغییر های ورودی در شرایط عملی بوجود می آید تاثیر مستقیمی بر ویژگیهای ماشینکاری خواهد گذاشت. در چنین شرایطی از یکطرف اگر متخصص طراح فرایند خسته باشد و یا شرایط کاری مناسب نباشد و یا به هر دلیلی طراح فرایند در شرایط عادی نباشد در این صورت



امکان آن می رود که طراحی فرایند به صورت بهینه انجام نشود و عملیات ماشینکاری با مشکل روبرو شود. از طرف دیگر در صورتی که اتفاقی برای فرد متخصص پیش آید و یا به هر دلیل نتواند به کار خود ادامه دهد و یا استعفا دهد عملیات تولید بامشکل روبرو می شود. زیرا اکثر مهندسان و طراحان عمومی فرایند اطلاعات محدودی در رابطه با متغیرها و پارامترهای ماشینکاری فرایندهایی مانند ECM دارند و در صورت ایجاد چنین شرایطی، بدنبال متخصصین در این زمینه هستند و یا برای حل مشکل خود بدنبال پیدا کردن منبع و کتابها و مقالات علمی می باشند. اطلاعات اینطور نیست که همیشه از طریق مقالات و کتابهای مرجع آماده و راحت بدست آید، زیرا حجم زیادی از دانش فنی بر اساس تجربیات سالهای طولانی حاصل می شود که بطور مناسب در خارج از ذهن طراح فرایند ذخیره نشده است و یا به آسانی در بانگ های اطلاعاتی و مدارک قابل دستیابی نمی باشند. آموزش دادن نیروهای انسانی و جایگزین کردن آنها به جای نیروهای متخصص و با تجربه در کوتاه مدت کار بسیار مشکل و تقریباً امکان پذیر نیست. در چنین شرایطی اگر دانش مناسب از منبع قابل اطمینانی موجود نباشد، طراحی فرایند بطور بهینه انجام نمی شود و کار و قطعات در دست ماشینکاری با تاخیر انجام می شود و قطعات ماشینکاری شده از نظر زمان و هزینه و مرغوبیت همراه با ریسک خواهد بود. و امکان آسیب دیدن ماشین و ابزار و قطعه کار افزایش خواهد یافت. جهت کاهش زمان و هزینه و افزایش کیفیت و بهره وری و کمک به طراح و برنامه ریزی فرایند ساخت قطعات بوسیله ماشینکاری ECM یا EDM و غیره نیاز به سیستم هوشمندی می باشد تا کلیه عوامل موثر در هزینه و کیفیت و بهره وری در ابتداء طراحی در نظر گرفته شود و توصیه های لازم جهت بهینه کردن طراحی به طراح ارائه شود و از طرف دیگر پارامترهای ماشینکاری انتخاب و توصیه های لازم جهت انتخاب پارامترهای ماشینکاری ارائه شود. در این مقاله یک نوع از این سیستم های هوشمند که برای اولین بار توسط نویسنده مقاله طراحی و ساخته شده است از نظر انتقال تکنولوژی توضیح داده شد. از این سیستم خبره یا هوشمندی می توان بعنوان یک سیستم مشاوره ای دانش و تجربه مهندسین طراح محصول و طراحان فرایند استفاده نمایند به صورتی که از یکطرف به مهندس طراح جهت انتخاب بهینه متغیرهای طراحی کمک کند و توصیه های لازم را جهت بهینه کردن طراحی ارائه دهد و از طرف دیگر به مهندسین فرایند ساخت جهت انتخاب مناسب متغیرهای ماشینکاری کمک نماید.

#### منابع:

- [1] J.A. McGeough, *Principles of electrochemical machining*, Chapman and Hall, London, 1974
- [2] I.M. Crichton, J.A. McGeough, W. Munro and C. White, Comparative studies of ecm, edm and ecam, *J. Precision Eng. UK*, Vol 141, 1981, 155-160
- [۳] T.H. Drake and J.A. McGeough, Aspects of drilling by electrochemical arc machining, *Proc 22nd Machine Tool Des +Res Conf.*, Manchester Sept 1981, 361-369
- [۴] A.K. De Silva and J.A. McGeough, Surface effects on alloys drilled by electrochemical arc machining, *Proc. I Mech E*, Vol. 200, No. B4, 1986, 237-246
- [4] Hon, L., Selection of Machining Processes by Expert systems, Workshop on Expert System in Manufacturing, Nottingham University, 26-28 Sept. 1984
- [5] Mill, F., Alder, G., "An NC Oriented and Feature Based CAPP System", 5<sup>th</sup>- CAPE Conf Edinburgh 1989, pp 235-238
- [6] Khairy, A., A Knowledge Based System for the Optimum Selection of Machining Process, Fourth Inter. Conf. On Machine Tool design & Control (PADAC-4), Alexandria University., dec. 1989, pp 307-314
- [7] Fenton, R. and Gagnon, M., Computer aided material Selection for Metal cutting Operations, *Annals of the CIRP*, 1993, V.42, 1993, pp 565-568.
- [۸] Pham, D. and Pham, P., Expert system: A Review, in D.T. Pham (Ed.) *Expert Systems in Engineering*, IFS Pub., Kempston, U.K., 1988



- [9] Hays, C., Automated Process System for Prismatic Parts, in A. Kusaik(Ed.), Expert Systems: Strategies and Solutions, in Manufacturing Design and Planning, Society of Manufacturing Engineering, Dearborn, Mich. 1988, pp 151-183
- [10] Oldham, K. et al, Practical development of Knowledge Based Systems in Manufacturing, Proceed. Of the 30<sup>th</sup> Intern. MATADOR Conf., Manchester, 31<sup>st</sup> March-1<sup>st</sup> April 1993, pp 331-344
- [11] Stammers, M., Material Knowledge for Engineering, Metals Mater. 6, 1990
- [۱۲] Sadegh Amalnik Morteza and J.A. McGeough, An intelligent system for Manufacturability Evaluation of Design for Electrochemical Machining, Journal of Material Processing Technology, Vol.61, pp 130-139
- [۱۳] Sadegh Amalnik Morteza , H. El. Hofy and J.A. McGeough ,An Intelligent System for Manufacturability Evaluation of Design for Wire-Electroerosion Dissolution Machining, Journal of Material Processing Technology, Vol. 79, 1998 pp 155-162
- [1۴] El-Mounayri, H., Kishawy, H., and Briceno, J., Optimization of CNC ball end milling: a neural network-based model, Journal Material Processing Technology, 2004, pp1-13
- [15] Sadegh Amalnik Morteza and Sadegh Amalnik Mohammad, An intelligent knowledge based system for manufacturability evaluation of design for Electrodischarge Texturing for sheet rolled metal, Automation intelligent manufacturing conference, University of Maryland, USA, 2000
- [1۶] Wang, P.J. and Tsai, K.M., Semi-empirical model on work removal and tool wear in electrical discharge machining, J. Mater. Proc.Tech., 114(2001), pp 1-17
- [17] Sadegh Amalnik Morteza and Sadegh Amalnik Mohsen, An intelligent concurrent advisory and manufacturability evaluation system for Ultrasonic machining, Proceeding of the, Canada, 2001
- [18] Kalpakjian, S., Schmid S. R., *Manufacturing Engineering Technology*. Prentice Hall
- [19] Sadegh Amalnik Morteza, ,A knowledge based system for improving design and process for electrochemical machining, In computer and industrial engineering conference, Ca, USA, Nov. 2004
- [20] Sadegh Amalnik Morteza and Farhad momeni, Artificial Neural Network Approach in Predicting of Material Removal Rate and Surface Roughness in EDM Machining, Int.Conf. ICMSAO/05, Feb. 2005
- [21] Sadegh Amalnik Morteza ,A knowledge based system for improving design and manufacturing process for ultrasonic machining in CE environment, Int.Conf. ICMSAO/05, Feb. 2005
- [22] Sadegh Amalnik Morteza ,A knowledge based system for improving design and manufacturing process for ultrasonic machining in CE environment, Int.Conf. ICMSAO/05, Feb. 2005
- [23] Sadegh Amalnik Morteza ,A knowledge based system for optimization of design and manufacturing process for electro-discharge machining, Int.Conf. ICMSAO/05, Feb. 2005