فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی شریف
پاییز ۱۳۸۶، شماره‌ی سی و نهم، ص. ۷۵-۸۵، (یادداشت فنّی)

سنجش و تحلیل بهینه‌ی فرایندهای غیرمستقیم ابزارسازی سریع به‌روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

یگانه خویی (کارشناس ارشد)
سید حسین میرحسینی (کارشناس ارشد)
عبدالرضا سیم‌چی (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی و علم‌مواد، دانشگاه صنعتی شریف

فنّاوری نمونه‌سازی سریع[۱] یکی از جذاب‌ترین روش‌هایی است که برای تسریع مراحل طراحی و ساخت قطعات صنعتی به‌کار می‌رود. گسترش کاربرد این فنّاوری در ابزارسازی سریع به حدی است که امروزه از آن به‌عنوان یکی از عناصر اصلی ساخت و تولید نام می‌برند. با این وجود، تعدد بسیار زیاد روش‌ها با قابلیت‌های متفاوت، و تنوع محصولات تولیدی به گونه‌یی است که انتخاب روش بهینه با توجه به نیازهای صنعت کاری دشوار و توأم با ریسک سرمایه‌گذاری است. در این پژوهش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[۲] (AHP) برای مقایسه و تحلیل قابلیت‌های فرایندهای مختلف ابزارسازی سریع به‌روش غیرمستقیم با توجه به‌شرایط کشور مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان مطالعه‌ی موردی این عملیات در واحد نمونه‌سازی سریع شرکت ساپکو اجرا شد که نتایج حاصل در این نوشتار ارائه می‌شود.

مقدمه

امروزه جایگاه فنّاوری «نمونه‌سازی، ابزارسازی و قطعه‌سازی سریع» [۳] یا اصطلاحاً RPTM در چرخه‌ی طراحی و تولید محصولات صنعتی به‌خوبی شناخته شده است. اهمیت موضوع به حدی است که دهه‌ی اولِ قرن حاضر را «دهه‌ی سرعت» نام‌گذاری کرده‌اند.[۱] برای ساخت قطعه توسط این فنّاوری، ابتدا مدل سه بُعدیِ جسم به کمک رایانه و نرم‌افزار سه‌بُعدی CAD طراحی، و سپس اطلاعات به فرمت STL [۴] تبدیل می‌شود. پس از لایه‌زنی و کنترل اطلاعات، محصول به‌صورت لایه به لایه توسط یکی از دستگاه‌های نمونه‌سازی سریع ساخته می‌شود.[۲] نتایج مطالعات مختلف[۳] نشان می‌دهند که با استفاده از این فنّاوری می‌توان ضمن کاستن از هزینه‌های تولید، سرعت طراحی و ساخت را به میزان قابل ملاحظه‌یی افزایش داد.

در سال‌های اخیر کاربرد فنّاوری نمونه‌سازی سریع در ساخت ابزار و قالب بسیار گسترش یافته است. این روش که به «ابزارسازی سریع» موسوم است به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم دسته‌بندی می‌شود. در روش مستقیم، ابزار بدون نیاز به الگوی مادر و توسط یکی از فرایندهای نمونه‌سازی سریع ساخته می‌شود. اما در روش غیرمستقیم به یک الگوی مادر نیاز است که ابتدا توسط فرایند نمونه‌سازی سریع ساخته و سپس با روش‌های مختلف به قالب مورد نیاز تبدیل می‌شود.[۴] علاوه بر این دسته‌بندی، این فرایندها را می‌توان در دو گروه سخت و نرم نیز در نظر گرفت. تفاوت فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم نرم و سخت در مواد مصرفی، تیراژ، هزینه و روش تولید است. البته در بین این دو گروه، فرایندهای ابزارسازی نیمه‌سخت نیز وجود دارد.[۵و۶] در جدول‌های ۱ و ۲ مهم‌ترین روش‌های نرم و سختِ ابزارسازی سریع غیرمستقیم و برخی از ویژگی‌های آنها ـ مانند نوع مواد مصرفی، کاربردها، مزایا و معایب ـ به‌صورت خلاصه ذکر شده است. اگر چه مزایای استفاده از این فرایندها بر کسی پوشیده نیست، هنوز بسیاری از شرکت‌ها از این فنّاوری بهره نمی‌گیرند. شاید محدودیت‌های فنی در روش‌های موجود، عدم آگاهی کامل از قابلیت‌های تکنیکی فرایند، و ریسک زیاد سرمایه‌گذاری دلایل اصلی این مسئله باشد. از طرف دیگر، تنوع زیاد روش‌ها و مواد مصرفی و وجود مزایا و محدودیت‌های متعدد، انتخاب یک روش از روش‌های موجود را بسیار مشکل کرده است. تحت این شرایط ارائه‌ی یک رویه‌ی اصولی برای انتخاب فرایندهای RPTM، به‌ویژه برای شرکت‌هایی که خواهان خرید و راه‌اندازی تجهیزات لازم این روش‌ها هستند، بسیار مفید خواهد بود. اگرچه در مطالعات گذشته روش‌های رایانه‌یی برای تحلیل داده‌ها ارائه شده است، پیچیدگی بیش از حد روابط به کار رفته و کارایی آنها را برای انتخاب سریع و مفید روش‌ها در فاز اولیه‌ی تحلیل بسیار مشکل می‌سازد.[۷] از طرف دیگر، برنامه‌های رایانه‌یی موجود بیشتر برای انتخاب فرایندهای نمونه‌سازی سریع به کار می‌روند و کار قابل توجهی برای انتخاب فرایندهای ابزارسازی سریع گزارش نشده است. باید توجه داشت که برای خرید تجهیزات و انتخاب فرایند مناسب برای یک شرکت، نمی‌توان صرفاً تولید یک قطعه را در نظر گرفت، بلکه تنوع

جدول ۱. مشخصات و ویژگی‌های برخی از روش‌های نرم ابزارسازی سریع به روش غیرمستقیم.

نام روش	مراحل فرایند	کاربرد	مواد مصرفی	مزایا	معایب
قالب‌های لاستیک سیلیکونی	آویختن نمونه RP در داخل یک‌جعبه و ریختن سیلیکون در اطراف آن، بریدن قالب سیلیکونی از خط جدایش و خارج کردن نمونه	قالب‌گیری پلیمرها	پلی اورتان و اپوکسی	سرعت تولید بالا، ارزانی نسبی، قابلیت ساخت قطعات بزرگ و کوچک، مناسب برای تولید درتعداد کم، دقت کپی برداری بالا	عمر کم قالب، زمان طولانی چرخه تولید
ریخته‌گری در خلأ	استفاده از قالب سیلیکونی، گاززدایی ماده پلیمری، ریختن در داخل قالب و پخت محصول در کوره	ریخته‌گری قطعات پلاستیکی	پلی اورتان و اپوکسی	سرعت تولید بالا، ارزانی نسبی، مناسب برای تولید و تعداد کم، دقت کپی‌برداری بالا	عمر کم قالب، چرخه‌ی طولانی تولید
قالب‌گیری تزریقی واکنشی	استفاده از قالب سیلیکونی، مخلوط‌سازی دو منومر مایع واکنش دهنده و تزریق به داخل قالب	ساخت قطعات پلاستیکی	ABS و پلی‌استایرن	عمر قالب بیشتر، سرعت تولید بالا، مناسب برای ساخت در تعداد کم	تعداد مراحل تولید
قالب‌گیری تزریقی باموم	استفاده از قالب سیلیکونی، تزریق موم نیمه مذاب به داخل قالب، سردکردن قالب	ساخت قطعات مومی	موم‌های ریخته‌گری دقیق	امکان تولید قالب‌های فلزی	هزینه و زمان تولید
ریخته‌گری گریز از مرکز	استفاده‌از قالب سیلیکونی در ماشین ریخته‌گری گریز ازمرکز، چرخش دستگاه و رانده‌شدن فلز یا پلاستیک مذاب به‌داخل قالب	ساخت قطعات فلزی و پلیمری	فلزات بانقطه ذوب پایین مانند روی؛ پلاستیک‌ها مانند پلی‌اورتان، اپوکسی و مواد مومی	گستره وسیع مواد مصرفی، فرایند نسبتاً سریع، تجهیزات ارزان قیمت، دقت و کیفیت سطحی خوب	محدودیت ابعادی و پیچیدگی
قالب‌های رزینی	قرار دادن مدل در قالب، پرکردن نیمه قالب توسط رزین اپوکسی یا پلی‌اورتان و شکل‌دهی نصف ابزار، تکرار عملیات برای نیمه دیگر	قالب‌های تزریق مواد ترموپلاستیک	ABS و پلی پروپیلن	سرعت تولید بالا، ارزانی نسبی، قابلیت استفاده برای ترموپلاستیک‌ها، هدایت حرارتی خوب قالب	مقاومت مکانیکی کم قالب، مناسب برای قطعات ساده، تعدد مراحل فرایند
پاشش فلز	ایجاد پوسته‌یی نازک به طریقه پاشش آلیاژهای بانقطه ذوب پایین بر روی مدل RP، پشت‌بندی پوسته	شکل دادن ورق، قالب‌گیری تحت فشار، تراکمی و دمشی و ساخت قالب‌های فولادی، برنزی و آلومینیومی	پلی پروپیلن، ABS، پلی‌استایرن و نایلون تقویت شده با پلی‌کربنات	سریع و اقتصادی بودن فرایند، مناسب برای رزین‌های مختلف و ساخت قطعات بزرگ	استحکام کم قالب، قیمت بالای قطعه و محدودیت در فشار تزریق
قالب‌های گچی	ساخت قالب معکوس و ایجاد الگوی قطعه از جنس سیلیکون، قالب‌گیری الگوی سیلیکونی با گچ و ساخت قالب گچی	ریخته‌گری فلزات و آلیاژهای ریختگی	گچ	قیمت پایین قالب، جزئیات سطحی خوب، مناسب برای قطعات بزرگ و سادگی روش	نرخ سرد شدن پایین، خواص مکانیکی پایین قطعه، نرم‌بودن سطح قطعه و نیاز به قالب جدید برای هر قطعه

محصولات تولیدی بایستی مدّ نظر قرار گیرد. تحت این شرایط بهتر است از آزمونی شناخته شده و به‌صورت تحلیلی فرایندهای مختلف مقایسه شوند.

در این نوشتار از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP برای سنجش و مقایسه‌ی قابلیت‌های فرایندهای غیرمستقیم ابزارسازی سریع استفاده شده است. این روش به‌صورت مطالعه‌ی موردی برای واحد نمونه‌سازی شرکت ساپکو انجام شده است که در این نوشتار نتایج حاصل مورد تحلیل و بحث قرار می‌گیرند.

جدول ۲. مشخصات و ویژگی‌های برخی از روش‌های سخت ابزارسازی سریع به روش غیرمستقیم.

نام روش	مراحل فرایند	کاربردها	مواد مصرفی	مزایا	معایب
پاشش فولاد	پاشش فولاد بر روی مدلRP	ساخت قالب‌های فولادی	فولاد	مناسب برای قالب‌های بزرگ، نرخ رسوب بالا، ارزان‌تربودن نسبت به‌روش‌های ماشین‌کاری	قیمت بالای تجهیزات، محدودیت در پاشش به شکاف‌ها و سوراخ‌ها
انجماد سریع	تبدیل فلز مذاب به‌قطرات ریز باجریان گاز خنثی، حمل قطرات توسط گاز تا سطح قطعه و انجماد در برخورد با سطح قطعه	ساخت قالب‌های فولادی	فولادهای ابزار و زنگ نزن	خواص مکانیکی خوب و نزدیک به فولادهای ابزار	هزینه‌ی بسیار زیاد
شکل‌دادن الکتریکی	فلزکاری سطح نمونه (پاشش لاک بر روی نمونه)، آبکاری لایه نازک روی الگوی مادر، پشت‌بندی لایه نازک با مس یا قلع	ساخت الکترود EDM	مس و قلع	امکان ایجاد جزئیات ظریف قالب، دقت ابعادی بالا، هدایت حرارتی خوب، امکان ایجاد لوله‌های خنک‌کننده، عدم‌وجود انقباض درحین ساخت قالب	کند بودن فرایند، نامناسب بودن برای سوراخ‌ها و شکاف‌های عمیق
CKT	ایجاد قالب سیلیکونی در اطراف مدل RP، ریختن سرامیک در داخل قالب سیلیکونی، قالب‌گیری نمونه سرامیکی با آلیاژ مذاب	تولید قطعات پلاستیکی	آلیاژ Kirksite	فرایند ساده و ارزانی نسبی، امکان استفاده از رزین‌های مختلف، خواص مکانیکی نسبتاً خوب	دقت پایین، امکان تخریب ابزار درحین ریخته‌گری، محدودیت شکل
ریخته‌گری دقیق	ایجاد چندلایه دوغاب سرامیکی به دور مدل RP مومی، حرارت دادن پوسته سرامیکی و مدل، ساختن مدل، ریختن آلیاژ مذاب به داخل قالب سرامیکی	ساخت قطعاتی از آلیاژهای آلومینیوم، آهن، نیکل و کبالت	سیلیکا	کیفیت سطحی مناسب، قابلیت استفاده از آلیاژهای فلزی یا مواد غیرفلزی	نیاز به ماشین‌کاری، اعوجاج نمونه و محدودیت ابعادی، چندمرحله‌یی بودن فرایند
کلتول	ساخت قالب و قطعه سیلیکونی بااستفاده از مدل SLA، ریختن دوغاب پودر فولاد به‌همراه چسب و حلال، تبخیر حلال و سخت شدن دوغاب، قراردادن دوغاب سخت‌شده درکوره، فلز خورانی قالب توسط مس	ساخت قالب‌های تزریق پلاستیک یا ریخته‌گری تحت فشار	برنز و Stellite	جزئیات سطحی و کیفیت سطحی خوب، مشابهت خواص با قالب‌های فلزی، امکان قالب‌گیری انواع رزین‌ها، عمر طولانی قالب	محدودیت ابعادی، طولانی بودن زمان فرایند
EDM	ساخت الکترود از جنس مس یا گرافیت به شکل معکوس قالب، عبور جریان از الکترود و ایجاد قوس در سطح قطعه کار، تبخیر سطح قطعه کار و ایجاد حفره	تولید قالب از جنس مواد مختلف	فولادهای ابزار	امکان ساخت اشکال پیچیده، ساخت مستقیم قالب	هزینه زیاد و زمان طولانی

۲. روش تحقیق در فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است.[۸] در این فرایند گزینه‌های مختلف در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شوند و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. چهار اصل مطرح شده به‌عنوان اصول فرایند AHP عبارت‌اند از:

الف) شرط معکوسی: اگر ترجیح عنصر A بر B برابر n باشد، ترجیح عنصر Bبر A برابر ۱/n خواهد بود.

ب) اصل همگنی: عنصر A باید با عنصر B همگن و قابل مقایسه باشد. به بیان دیگر، تأثیر عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

ج) وابستگی: هر عنصر سلسله‌مراتبی می‌تواند به عنصر سطح بالاتر

خود وابسته باشد؛ این وابستگی ممکن است به‌صورت خطی تا بالاترین سطح ادامه یابد.

د) انتظارات: هرگاه تغییری در ساختمان سلسله مراتبی رخ دهد، باید فرایند ارزیابی تکرار شود.

در این پژوهش از روش سلسله مراتبی برای مقایسه و تحلیل فرایندهای ابزارسازی سریع غیرمستقیم استفاده شده است. برای این کار می‌بایست مراحل مختلفی انجام شود. مرحله‌ی اول شامل ساختن یک نمایش گرافیکی از مسئله است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارهایی همچون قیمت، زمان و کیفیت و نیز گزینه‌های در برگیرنده‌ی روش‌های موجود قرار دارند (شکل ۱). از آنجا که شدت اثر عوامل موثر بر فرایند تحلیل یکسان نیست باید ابتدا نسبت به تعیین وزن هر عامل اقدام شود. برای این منظور وزن‌های نسبی و مطلق تعریف می‌شوند. وزن نسبی از مقایسه‌ی زوجی عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه در سطح بالاتر محاسبه می‌شود، به گونه‌یی که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، اهمیت i بر j یکی از حالات زیر است که به ترتیب با امتیاز ۱ تا ۹ در نظر گرفته می‌شود:

ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان: وزن ۱

کمی مرجّح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر: وزن ۳

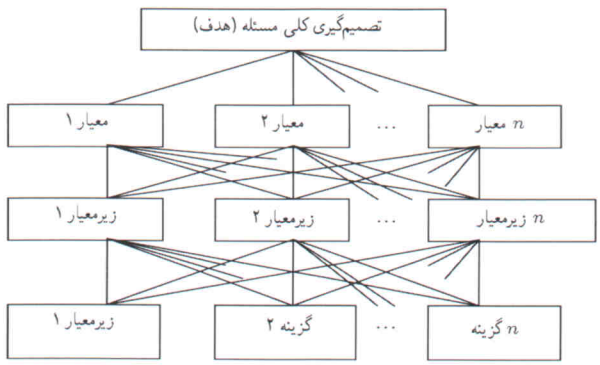
ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی: وزن ۵

ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی: وزن ۷

کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر: وزن ۹

شایان ذکر است مقادیر ۲، ۴، ۶، ۸ به‌عنوان مقادیر میانی، و مقدار ۱ در حالتی که هیچ یک ترجیحی بر هم نداشته باشند، انتخاب می‌شود.

به‌منظور محاسبه‌ی وزن نسبی هر گزینه با استفاده از ماتریس مقایسه‌ی زوجی، روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است.[۸] در این پژوهش از روش میانگین حسابی استفاده شد که در آن ابتدا هر ستون یکنواخت (نرمالیزه) شده و سپس میانگین سطری عناصر محاسبه می‌شود تا بردار وزن به دست آید. برای محاسبه‌ی وزن مطلق هر گزینه



شکل ۱. صورت کلی روش سلسله‌مراتبی.[۸]

نیز از مجموع حاصل ضرب وزن نسبی معیارها در وزن نسبی گزینه‌ها استفاده شد.

برای کنترل درستی یا نادرستی ارزیابی، بررسی سازگاری ماتریس‌های تولیدی ضروری است. در صورتی که ماتریس مقایسه‌ی زوجی A و بردار وزن W در نظر گرفته شود، برای به‌دست آوردن میزان ناسازگاری باید مراحل زیر را انجام داد:[۹]

الف) به‌دست آوردن مقدار ویژه‌ی ماتریس A(λ_{max}): گام اول ضرب بردار Wدر ماتریس A است تا تخمین مناسبی از λ_{max}W به‌دست آید($A.W=\lambda_{max}W$) . گام بعدی تقسیم مقادیر به‌دست آمده برای λ_{max}W بر W مربوطه است تا λ_{max} به‌دست آید. مقدار متوسط λ_{max}های به‌دست آمده، برابر با λ_{max} خواهد بود.

ب) به‌دست آوردن مقدار شاخص ناسازگاری[۵] (I.I.) با استفاده از معادله‌ی ۱:

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - ۱} \qquad (۱)$$

ج) به‌دست آوردن نسبت ناسازگاری[۶] (I.R.) با استفاده از معادله‌ی ۲:

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \qquad (۲)$$

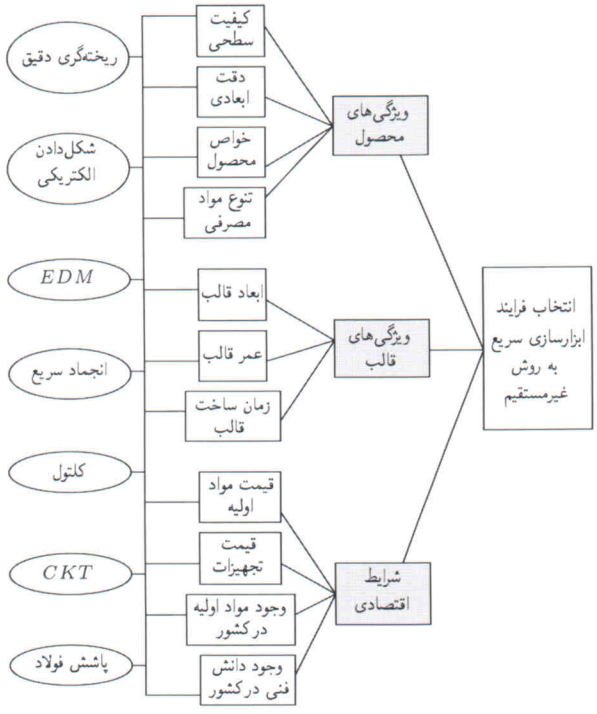
شاخص ناسازگاری برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملاً تصادفی اختیار شده باشد، محاسبه و آن‌را «شاخص ناسازگاری ماتریس» تصادفی[۷] (I.I.R.) می‌نامند. این شاخص‌ها برای ماتریس‌های n بعدی در جدول ۳ ارائه شده است. براساس مبانی فرایند AHP اگر نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و گرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر کرد.[۷]

۳. نتایج و بحث

روش تحلیلی AHP به‌عنوان فرایندی کارآمد در انتخاب و تصمیم‌گیری برای تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری استفاده شده است. برای سنجش صحیح فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم، آنها را در دو گروه فرایندهای سخت و نرم مورد مقایسه قرار می‌دهیم. در شکل ۲ نمودار گرافیکی سلسله‌مراتب مورد استفاده ارائه شده است. در سطح اول، سلسله‌مراتب هدف قرار می‌گیرد. برای سهولت مقایسه، ابتدا معیارهای مقایسه در سه گروه شامل ویژگی‌های قالب، ویژگی‌های محصول و شرایط اقتصادی دسته‌بندی می‌شود. این معیارها سطح دوم سلسله‌مراتب را

جدول ۳. شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی.

بعد ماتریس	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵



شکل ۲. ارتباط هدف، معیارها، زیرمعیارها با فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم سخت.

تشکیل می‌دهند. هر معیار خود به زیرمعیارهایی تقسیم می‌شود. معیار ویژگی‌های قالب به زیرمعیارهای ابعاد قالب، عمر قالب و زمان ساخت قالب تقسیم می‌شود؛ معیار ویژگی‌های محصول به چهار زیرمعیار کیفیت سطحی، دقت ابعادی، تنوع مواد ریختنی و خواص محصول دسته‌بندی می‌شود و معیار شرایط اقتصادی نیز زیرمعیارهای قیمت مواد اولیه، قیمت تجهیزات، وجود مواد اولیه درکشور و وجود دانش فنی درکشور را شامل می‌شود. این زیرمعیارها در سطح سوم سلسله‌مراتب قرار می‌گیرند و در سطح چهارم نیز فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم قرار خواهند گرفت.

ماتریس مقایسه زوجی سه معیار مذکور در جدول ۴ آمده است. ماتریس‌های مربوط به مقایسه‌ی زوجی زیرمعیارهای هر معیار نیز به ترتیب در جدول‌های ۵ تا ۷ آمده است. در نهایت مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم سخت نسبت به تمام زیرمعیارها انجام شد. ماتریس‌های حاصل از این مقایسه در جدول‌های ۸ تا ۱۸ آمده است. مقادیر λ_{max}، I.I و I.R برای هر ماتریس مقایسه‌ی زوجی نیز محاسبه شد که در زیر هر جدول مقادیر آنها را می‌توان یافت. مقادیر I.R نشان می‌دهد میزان ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی درحد قابل قبول است.

برای تعیین وزن نسبی ابتدا وزن نسبی هر معیارها و زیرمعیارهای مربوط به آن محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول‌های ۱۹ و ۲۰ آمده است. سپس وزن نسبی فرایندها نسبت به زیرمعیارهای سه معیار ویژگی‌های محصول، ویژگی‌های قالب و شرایط اقتصادی محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول‌های ۲۱ تا ۲۳ ذکر شده است. در اینجا لازم است وزن نسبی فرایندها نسبت به هر زیرمعیار در وزن نسبی هر زیرمعیار (جدول ۲۱) ضرب شود تا وزن نسبی آنها نسبت به هر سه معیار به دست آید. مقادیر این وزن‌ها در جدول ۲۴ آمده است.

برای تعیین وزن مطلق هر روش باید وزن نسبی معیارها (جدول ۱۹) در وزن نسبی فرایندها نسبت به هر معیار (جدول ۲۴) ضرب شود که

جدول ۴. ماتریس مقایسه زوجی معیارها.

معیار	ویژگی‌های محصول	ویژگی‌های قالب	شرایط اقتصادی
ویژگی‌های محصول	۱	۲	۱
ویژگی‌های قالب	۰/۵	۱	۰/۳۳
شرایط اقتصادی	۱	۳	۱

$I.R = ۰/۰۱۵۸ \quad I.I = ۰/۰۰۹۱ \quad \lambda max = ۳/۰۱۸۳$

جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای ویژگی‌های محصول.

زیرمعیار	کیفیت سطحی	دقت ابعادی	تنوع مواد ریختنی	خواص محصول
کیفیت سطحی	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲
دقت ابعادی	۵	۱	۳	۱
تنوع مواد ریختنی	۵	۰/۳۳	۱	۰/۳۳
خواص محصول	۵	۱	۳	۱

$I.R = ۰/۰۵۸۷ \quad I.I = ۰/۰۵۲۹ \quad \lambda max = ۴/۱۵۸۶$

جدول ۶. ماتریس مقایسه زوجی زیرمعیارهای ویژگی‌های قالب.

زیرمعیار	ابعاد قالب	عمر قالب	زمان ساخت قالب
ابعاد قالب	۱	۰/۳۳	۱
عمر قالب	۳	۱	۳
زمان ساخت قالب	۱	۰/۳۳	۱

$I.R = ۰ \quad I.I = ۰ \quad \lambda max = ۳$

جدول ۷. ماتریس مقایسه‌ی زوجی زیرمعیارهای شرایط اقتصادی.

زیرمعیار	قیمت مواد اولیه	قیمت تجهیزات	وجود مواداولیه درکشور	وجود دانش‌فنی درکشور
قیمت مواد اولیه	۱	۰/۲	۱	۰/۲
قیمت تجهیزات	۵	۱	۵	۱
وجود مواد اولیه درکشور	۱	۰/۲	۱	۰/۲
وجود دانش‌فنی درکشور	۵	۱	۵	۱

$I.R = ۰ \quad I.I = ۰ \quad \lambda max = ۴$

جدول ۸. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار کیفیت سطحی.

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱
EDM	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱
شکل‌دادن الکتریکی	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱
انجماد سریع	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۳۳	۰/۳۳
پاشش فولاد	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۰/۳۳	۰/۳۳
کلتول	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱
CKT	۱	۱	۱	۳	۳	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۹. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار دقت ابعادی.

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل‌دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱
EDM	۳	۱	۱	۳	۳	۳	۳
شکل دادن الکتریکی	۳	۱	۱	۳	۳	۳	۳
انجماد سریع	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱
پاشش فولاد	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱
کلتول	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱
CKT	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۱	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۰. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «تنوع مواد مصرفی».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱
EDM	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱
شکل‌دادن الکتریکی	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱
انجماد سریع	۵	۵	۵	۱	۵	۵	۵
پاشش فولاد	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱
کلتول	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱
CKT	۱	۱	۱	۰/۲	۱	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۱. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «خواص محصول».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته گری دقیق	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۵
EDM	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۵
شکل دادن الکتریکی	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱
انجماد سریع	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۵
پاشش فولاد	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۵
کلتول	۱	۱	۵	۱	۱	۱	۵
CKT	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۲. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «ابعاد قالب».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته گری دقیق	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱
EDM	۵	۱	۵	۵	۵	۵	۵
شکل دادن الکتریکی	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱
انجماد سریع	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱
پاشش فولاد	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱
کلتول	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱
CKT	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۳. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «عمر قالب».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته گری دقیق	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱
EDM	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱
شکل دادن الکتریکی	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱
انجماد سریع	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱
پاشش فولاد	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱
کلتول	۵	۵	۵	۵	۵	۱	۵
CKT	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۴. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «زمان ساخت قالب».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲
EDM	۱	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲
شکل دادن الکتریکی	۳	۳	۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۳	۰/۳۳
انجماد سریع	۵	۵	۳	۱	۱	۵	۱
پاشش فولاد	۵	۵	۳	۱	۱	۵	۱
کلتول	۱	۱	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۱	۰/۲
CKT	۵	۵	۳	۱	۱	۵	۱

$\lambda max = ۷/۰۶۴۵ \quad I.I = ۰/۰۱۰۷ \quad I.R = ۰/۰۰۸۱$

جدول ۱۵. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «قیمت مواد اولیه».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۵
EDM	۰/۲	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۱	۱
شکل دادن الکتریکی	۰/۲	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۱	۱
انجماد سریع	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۵
پاشش فولاد	۱	۵	۵	۱	۱	۵	۵
کلتول	۰/۲	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۱	۱
CKT	۰/۲	۱	۱	۰/۲	۰/۲	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۶. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «قیمت تجهیزات».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل‌دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۱
EDM	۰/۲	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۲
شکل دادن الکتریکی	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۱
انجماد سریع	۰/۲	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۲
پاشش فولاد	۰/۲	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۲
کلتول	۰/۲	۱	۰/۲	۱	۱	۱	۰/۲
CKT	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۷. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «وجود مواد اولیه در کشور».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹
EDM	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹
شکل‌دادن الکتریکی	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹
انجماد سریع	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹
پاشش فولاد	۱	۱	۱	۱	۱	۵	۹
کلتول	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱	۵
CKT	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۲	۱

$\lambda max = ۷/۱۱۴۸ \quad I.I = ۰/۰۱۹۱ \quad I.R = ۰/۰۱۴۵$

جدول ۱۸. ماتریس مقایسه‌ی زوجی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیار «وجود دانش فنی در کشور».

روش	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
ریخته‌گری دقیق	۱	۱	۱	۹	۹	۹	۹
EDM	۱	۱	۱	۹	۹	۹	۹
شکل دادن الکتریکی	۱	۱	۱	۹	۹	۹	۹
انجماد سریع	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۱	۱	۱	۱
پاشش فولاد	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۱	۱	۱	۱
کلتول	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۱	۱	۱	۱
CKT	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۱	۱	۱	۱

$\lambda max = ۷ \quad I.I = ۰ \quad I.R = ۰$

جدول ۱۹. وزن نسبی معیارها.

معیار	ویژگی‌های محصول	ویژگی‌های قالب	شرایط اقتصادی
وزن نسبی	۰/۳۸۷۳	۰/۱۶۹۸	۰/۴۴۲۹

نتایج حاصل در جدول ۲۵ خلاصه شده است. در شکل‌های ۳ و ۴ نیز وزن مطلق برای فرایندهای مختلف با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرایندهای ریخته‌گری دقیق و شکل دادن الکتریکی در اولویت‌های اول سرمایه‌گذاری قرار می‌گیرند. قیمت پایین مواد اولیه و تجهیزات و همچنین وجود دانش فنی در کشور از مهم‌ترین مزایای روش ریخته‌گری دقیق است. اما زمان ساخت نسبتاً طولانی به‌دلیل مراحل متعدد تولید مهم‌ترین عیب این روش است. نتایج مطالعه با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی نشان می‌دهد که این فنّاوری در حال حاضر برای شرکت ساپکو می‌تواند مفیدتر باشد. روش شکل دادن الکتریکی با فاصله‌ی بسیار کم و نیز روش ماشین‌کاری با تخلیه‌ی الکتریکی در اولویت‌های بعدی قرار دارند. وجود دانش فنی در کشور، دقت ابعادی بالا و قیمت پایین تجهیزات از مزایای روش شکل‌دادن الکتریکی است در حالی که قیمت بالای مواد اولیه و خواص محصول از معایب این روش به شمار می‌روند. از مزایای روش ماشین‌کاری با تخلیه الکتریکی

جدول ۲۰. وزن نسبی زیرمعیارها.

زیر معیار	معیار ویژگی‌های محصول				معیار ویژگی‌های قالب			معیار شرایط اقتصادی			
	کیفیت سطحی	دقت ابعادی	تنوع موادمصرفی	خواص محصول	ابعاد قالب	عمر قالب	زمان ساخت قالب	قیمت مواداولیه	قیمت تجهیزات	وجود مواد اولیه درکشور	وجود دانش فنی درکشور
وزن نسبی	۰٫۰۶۲۰	۰٫۳۷۹۷	۰٫۱۷۸۶	۰٫۳۷۹۷	۰٫۲	۰٫۶	۰٫۲	۰٫۰۸۳۳	۰٫۴۱۶۷	۰٫۰۸۳۳	۰٫۴۱۶۷

جدول ۲۱. وزن نسبی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیارهای «ویژگی‌های محصول».

روش ابزارسازی سخت	زیرمعیارهای ویژگی‌های محصول			
	کیفیت سطحی	دقت ابعادی	تنوع مواد مصرفی	خواص محصول
ریخته‌گری دقیق	۰٫۱۷۶۵	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۱۸۵۲
EDM	۰٫۱۷۶۵	۰٫۲۷۲۷	۰٫۰۹۰۹	۰٫۱۸۵۲
شکل‌دادن الکتریکی	۰٫۱۷۶۵	۰٫۲۷۲۷	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۳۷۰
انجماد سریع	۰٫۰۵۸۸	۰٫۰۹۰۹	۰٫۴۵۴۵	۰٫۱۸۵۲
پاشش فولاد	۰٫۰۵۸۸	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۱۸۵۲
کلتول	۰٫۱۷۶۵	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۱۸۵۲
CKT	۰٫۱۷۶۵	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۳۷۰

جدول ۲۲. وزن نسبی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیارهای ویژگی‌های قالب.

روش ابزارسازی سخت	زیرمعیارهای ویژگی‌های قالب		
	ابعاد قالب	عمر قالب	زمان ساخت قالب
ریخته‌گری دقیق	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۴۶۵
EDM	۰٫۴۵۴۵	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۴۶۵
شکل‌دادن الکتریکی	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۱۱۰۵
انجماد سریع	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۲۵۰۱
پاشش فولاد	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۲۵۰۱
کلتول	۰٫۰۹۰۹	۰٫۴۵۴۵	۰٫۰۴۶۵
CKT	۰٫۰۹۰۹	۰٫۰۹۰۹	۰٫۲۵۰۱

جدول ۲۳. وزن نسبی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به زیرمعیارهای «شرایط اقتصادی».

روش ابزارسازی سخت	زیرمعیارهای شرایط اقتصادی			
	قیمت مواد اولیه	قیمت تجهیزات	وجود مواد اولیه درکشور	وجود دانش فنی درکشور
ریخته‌گری دقیق	۰٫۲۶۳۱	۰٫۲۶۳۱	۰٫۱۸۷۰	۰٫۲۹۰۳
EDM	۰٫۰۵۲۶	۰٫۰۵۲۶	۰٫۱۸۷۰	۰٫۲۹۰۳
شکل‌دادن‌الکتریکی	۰٫۰۵۲۶	۰٫۲۶۳۱	۰٫۱۸۷۰	۰٫۲۹۰۳
انجماد سریع	۰٫۲۶۳۱	۰٫۰۵۲۶	۰٫۱۸۷۰	۰٫۰۳۲۳
پاشش فولاد	۰٫۲۶۳۱	۰٫۰۵۲۶	۰٫۱۸۷۰	۰٫۰۳۲۳
کلتول	۰٫۰۵۲۶	۰٫۰۵۲۶	۰٫۰۴۶۳	۰٫۰۳۲۳
CKT	۰٫۰۵۲۶	۰٫۲۶۳۱	۰٫۰۱۸۸	۰٫۰۳۲۳

جدول ۲۴. وزن نسبی فرایندهای ابزارسازی سخت نسبت به معیارها.

روش ابزارسازی سخت	معیار		
	ویژگی‌های محصول	ویژگی‌های قالب	شرایط اقتصادی
ریخته‌گری دقیق	۰٫۱۳۲۰	۰٫۰۸۲۰	۰٫۲۶۸۱
EDM	۰٫۲۰۱۰	۰٫۱۵۴۷	۰٫۱۶۲۹
شکل دادن الکتریکی	۰٫۱۴۴۸	۰٫۰۹۴۸	۰٫۲۵۰۶
انجماد سریع	۰٫۱۸۹۷	۰٫۱۲۲۷	۰٫۰۷۲۹
پاشش فولاد	۰٫۱۲۴۷	۰٫۱۲۲۷	۰٫۰۷۲۹
کلتول	۰٫۱۳۲۰	۰٫۳۰۰۲	۰٫۰۴۳۶
CKT	۰٫۰۷۵۸	۰٫۱۲۲۷	۰٫۱۲۹۰

جدول ۲۵. مقادیر وزن مطلق فرایندهای ابزارسازی سخت.

روش ابزارسازی سخت	ریخته‌گری دقیق	EDM	شکل‌دادن الکتریکی	انجماد سریع	پاشش فولاد	کلتول	CKT
وزن‌مطلق	۰٫۱۸۳۸	۰٫۱۷۶۳	۰٫۱۸۳۱	۰٫۱۲۶۶	۰٫۱۰۱۴	۰٫۱۲۱۴	۰٫۱۰۷۳

جدول ۲۶. مقادیر وزن نسبی فرایندهای ابزارسازی نرم نسبت به معیارها.

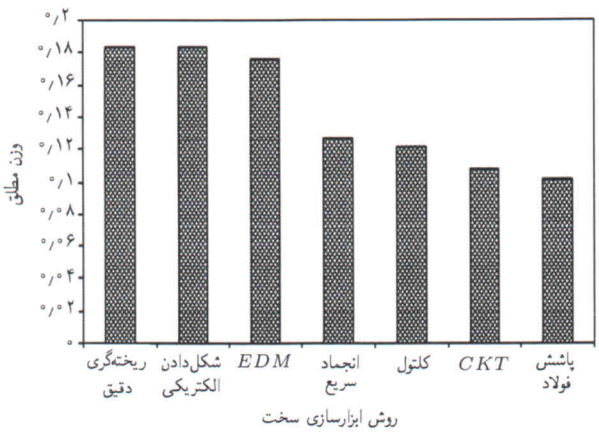
روش ابزارسازی نرم	معیار		
	ویژگی‌های محصول	ویژگی‌های قالب	شرایط اقتصادی
قالب‌های لاستیک سیلیکونی	۰٫۱۴۸۴	۰٫۰۹۴۶	۰٫۱۶۶۷
ریخته‌گری در خلأ	۰٫۱۴۸۴	۰٫۰۹۴۶	۰٫۱۳۵۸
قالب‌گیری تزریقی واکنشی	۰٫۱۳۵۸	۰٫۱۴۵۵	۰٫۱۳۵۸
قالب‌گیری تزریقی با موم	۰٫۱۴۸۴	۰٫۱۴۵۵	۰٫۱۱۶۴
ریخته‌گری گریز از مرکز	۰٫۰۹۵۵	۰٫۲۳۱۵	۰٫۰۸۷۶
قالب‌های رزینی	۰٫۰۸۵۸	۰٫۱۲۵۵	۰٫۱۲۳۹
پاشش فلز	۰٫۰۸۵۱	۰٫۰۶۶۰	۰٫۱۶۲۰
قالب‌های گچی	۰٫۱۵۳۳	۰٫۰۹۶۹	۰٫۰۸۷۷

نسبت به سایر روش‌ها می‌توان به ساخت قالب با ابعاد مختلف، دقت ابعادی بالا و وجود دانش فنی درکشور اشاره کرد. اما زمان طولانی ساخت قالب و گران قیمت بودن تجهیزات و مواد اولیه از معایب اصلی این روش است.

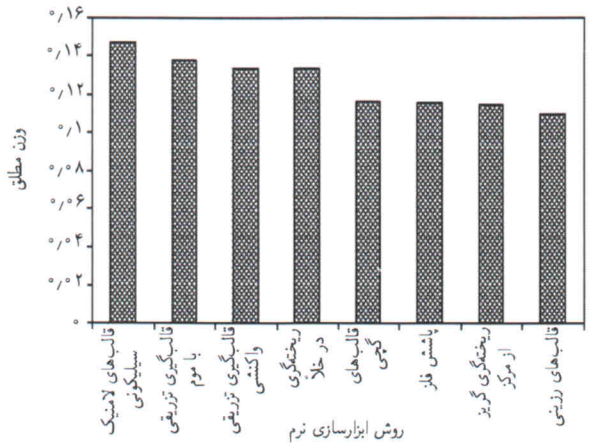
با تکرار روند محاسبات در مورد فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم

جدول ۲۷. وزن مطلق فرایندهای ابزارسازی نرم.

روش ابزارسازی نرم	قالب‌های لاستیک سیلیکونی	ریخته‌گری در خلأ	قالب‌گیری تزریقی واکنشی	قالب‌گیری تزریقی باموم	ریخته‌گری گریز ازمرکز	قالب‌های رزینی	پاشش فلز	قالب‌های گچی
وزن مطلق	۰/۱۴۷۳	۰/۱۳۳۷	۰/۱۳۳۷	۰/۱۳۷۴	۰/۱۱۴۷	۰/۱۰۹۲	۰/۱۱۵۱	۰/۱۱۵۹



شکل ۳. وزن مطلق فرایندهای ابزارسازی سخت از دیدگاه ویژگی‌های محصول، ویژگی‌های قالب و شرایط اقتصادی.



شکل ۴. وزن مطلق فرایندهای ابزارسازی نرم از دیدگاه ویژگی‌های محصول، ویژگی‌های قالب و شرایط اقتصادی.

نرم، وزن‌های نسبی این فرایندها نیز نسبت به سه معیار ویژگی‌های محصول، ویژگی‌های قالب و شرایط اقتصادی به دست می‌آید (جدول ۲۶). مشابه فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم سخت، با ضرب ماتریس وزن‌های نسبی این روش‌ها در ماتریس وزن‌های نسبی معیارها، وزن مطلق فرایندهای نرم به دست می‌آید (جدول ۲۷). با یکنواخت کردن اعداد مشخص می‌شود که فرایند قالب‌های لاستیک سیلیکونی در مقایسه با سایر روش‌ها از اولویت بیشتری برخوردار است. سهولت، در دسترس بودن مواد اولیه و گستردگی کاربرد فرایند نسبت به روش‌های دیگر مزایای عمده‌ی این فنّاوری هستند. به همین ترتیب فرایندهای قالب‌گیری تزریقی با موم و قالب‌گیری تزریقی واکنشی در الویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. عمر بیشتر قالب‌های تولیدی و کم‌تر بودن هزینه‌ی نسبی مزایای اصلی این فنّاوری‌ها هستند.

اگر چه ارزیابی سلسله‌مراتب تحلیلی برای ابزارسازی سریع به‌صورت مطالعه‌ی موردی برای شرکت ساپکو انجام شده، ولی می‌توان از نتایج آن برای ارزیابی این فنّاوری در سطح گسترده‌تر و برای کشور نیز استفاده کرد. باید توجه داشت که برای کسب نتایج بهتر می‌توان این عملیات را برای یک قطعه‌ی خاص با مشخصات و ویژگی‌های تعریف شده انجام داد، ولی باید دقت داشت که خرید تجهیزات نمی‌تواند تنها به یک قطعه‌ی خاص محدود شود و می‌بایست تحلیل در سطح کلان صورت گیرد. در این نوشتار با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی این کلیت به بحث و بررسی گذاشته شد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای مقایسه و انتخاب فرایندهای غیرمستقیم ابزارسازی سریع با دو شیوه‌ی سخت و نرم استفاده شد. در این روش، عوامل و معیارهای مهم و مؤثر بر فرایند انتخاب و براساس درجه‌ی اهمیت وزن‌گذاری شدند. سپس برای هر معیار، ارزشی به‌صورت نسبی و مقایسه‌یی در نظر گرفته شد. پس از طی یک سلسله تحلیل و مقایسه‌ی زوجی فرایندها، مناسب‌ترین روش بر مبنای ملاحظات فنی -اقتصادی انتخاب شد. نتایج حاصل نشان می‌دهند که با استفاده از این روش می‌توان با تقریب خوبی نسبت به بررسی اولویت‌های سرمایه‌گذاری اقدام کرد تا ریسک سرمایه‌گذاری کاهش یابد. به‌عنوان مطالعه‌ی موردی، این عملیات برای واحد نمونه‌سازی شرکت ساپکو انجام شد. نتایج حاصل از اعمال روش AHP نشان می‌دهد که با توجه به نیازهای این واحد، از میان فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم سخت، روش ریخته‌گری دقیق اولویت اول را برای سرمایه‌گذاری دارد. در بین فرایندهای ابزارسازی غیرمستقیم نرم نیز قالب‌های لاستیک سیلیکونی، قالب‌گیری تزریقی واکنشی، قالب‌گیری تزریقی با موم و ریخته‌گری در خلأ از لحاظ فنی-اقتصادی امتیاز نسبی بیشتری دارند و بنابراین برای سرمایه‌گذاری مفیدتر برآورد می‌شوند.

پانوشت

1. rapid prototyping
2. analytic hierarchy process
3. rapid prototyping, rapid tooling and rapid manufacturing
4. stereolithography
5. inconsistency index
6. inconsistency ratio
7. inconsistency index of random matrix

منابع

1. Orland, M. and Jetzfellner, E. "Reverse engineering: high speed process loop from the model to the finished component", URapid Conference, Berlin, Germany (2000).
2. http: //www.me.psu.edu/ lamancusa/ rapidpro/ primer/ chapter2.htm (Accede on August 2002).
3. Wohlers, T. "Rapid prototyping and tolling wordwide: stalled growth, countless benefits, vast confusion", *CATIA Solution Magazine*, (Jan/Feb 2000).
4. www.wohlerassociates.com/rt.html (Accede on August 2002).
5. Atkinson, D. "Rapid prototyping and tooling", Strategy Publication Ltd., UK (1997).
6. Hague, R.J.M. & Reeves, P.E. "Rapid prototyping & tooling & manufacturing", *Review Report*, **10**(9), pp. 1-17 (2000).
7. Muller, H. and Schimmel, A. "The decision dilemma assessment and selection of rapid prototyping", 8th European conference, Bringham, UK, pp. 177-191 (1999).

۸. قدسی‌پور، سید حسن. «فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP»، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (۱۳۷۹).

۹. اصغرزاده، حامد؛ اعظمی، محمود و سیم‌چی، عبدالرضا. «سنجش و تحلیل بهینه‌ی فرایندهای مستقیم ابزارسازی سریع به‌روش تحلیل سلسله‌مراتبی»، *مجله علمی و پژوهشی شریف*، شماره‌ی بیست و هشتم، ص. ۳-۱۴ (۱۳۸۳).