مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۷)
دوره‌ی ۱-۳۴، شماره‌ی ۱/۲، ص. ۸۹-۹۹، (یادداشت فنی)

Research Note

توجیه سرمایه گذاری فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید برای شرکت قطعه‌ساز با استفاده از طراحی بدیهه‌گرا

مصطفی مصطفوی (استادیار)
دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
ساره رهبری گنجه * (کارشناسی ارشد)
گرایش مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

سرمایه‌گذاری در فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید، به ویژه سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی، برای پاسخگویی سریع به نوسانات تقاضا، بهبود عملکرد سازمان و افزایش رضایت مشتریان امری ضروری است. پیاده‌سازی این سیستم‌ها منافع ملموس و ناملموس بسیاری به همراه دارد. اما با توجه به عوامل مختلفی که باید در فرایند ارزیابی در نظر گرفته شوند، توجیه این سیستم‌ها دشوار است. در این مقاله، ضمن مرور رویکردهای موجود برای ارزیابی و توجیه فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید، با استفاده از روش طراحی بدیهه‌گرا، ابزاری برای طراحی نظام‌مند، یک چارچوب جامع برای توجیه سرمایه‌گذاری ارائه می‌شود. این چارچوب با مدنظر قرار دادن ملاحظات مالی و راهبردی، در برگیرنده‌ی جنبه‌های مهم مورد نیاز برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده و تحلیل تصمیم‌های استراتژیک است. بر اساس چارچوب به دست آمده سرمایه‌گذاری یک شرکت قطعه‌ساز در برنامه‌ریزی منابع سازمانی (ERP) از لحاظ استراتژیک و اقتصادی بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی: ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی (CIM)، فنّاوری های پیشرفته‌ی ساخت و تولید، توجیه، طراحی بدیهه‌گرا (AD).

mostafavi@sharif.edu
Sa_rg20012 @yahoo.com

۱. مقدمه

تغییر و افزایش انتظارات مشتریان و ناکارآمدی تولید متعارف، موجب گرایش تولیدکنندگان به رویکردهای نوین تولید، مانند فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید شده است. از آنجایی که این فنّاوری‌های قادر به بهبود کیفیت، انعطاف پذیری و به‌طور هم‌زمان کاهش هزینه‌ها هستند، به ابزار استراتژیک حیاتی برای بسیاری از صنایع تبدیل شده‌اند.[۱] با وجود این، همچنان بین تصمیم‌گیری و سرمایه‌گذاری در این سیستم‌ها و دستیابی نهایی به منافع مورد انتظار شکاف بزرگی وجود دارد.[۲] سیستم ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی[۱]، از طریق یکپارچه‌سازی مؤثر فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید (AMT) [۲] مختلف در سطح سازمان موجب تسهیل جریان فرایندهای تولید می‌شود؛ از این‌رو، کمّی کردن منافع و هزینه‌های مرتبط با این سیستم‌ها به دلیل وجود متغیرهای ملموس و ناملموس بسیار حاصل از یکپارچه‌سازی، دشوار است.[۳]

در یک محیط ساخت و تولید هرگونه سرمایه‌گذاری پیش از این که به مرحله‌ی اجرا برسد، به‌منظور برآورده ساختن اهداف استراتژیک و مالی شرکت باید توجیه شود.[۴] در تحقیقات پیشین، رویکردهای مختلفی برای توجیه پیشنهاد شده است. بوودن و دیل[۵] اظهار داشته‌اند که هر کاربردی از CIM به دو نوع توجیه استراتژیک (به عبارتی مفهوم CIM) و توجیه اجزای تکی نیاز دارد. بنابراین توجیه CIM را می‌توان به دو بخش توجیه مفهومی و توجیه تجهیزات دسته‌بندی کرد. توجیه مفهومی بیشتر مرتبط با اهداف استراتژیک سازمان است و کمتر به جنبه‌های هزینه‌یی توجه دارد؛ در حالی که توجیه تجهیزات مستقیماً در ارتباط با هزینه‌های هر جز به صورت مجزاست. آنها اشاره می‌کنند که تقسیم‌بندی توجیه به دو بخش مجزا به‌منظور ایجاد تمایز بین CIM به عنوان یک مفهوم کلی و اجزای مختلف آن ضروری است.

سولیوان[۶] بین دو نوع از تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری تاکتیکی و استراتژیک تمایز قائل شده و تأکید کرده است توجیهی که به رویکرد استراتژیک وابسته باشد منجر به بهره‌گیری ازاتوماسیون می‌شود. همچنین او اشاره می‌کند که این مسئله نشان‌دهنده‌ی این است که هر سرمایه‌گذاری در CIM یک موضوع استراتژیک است تا یک تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری تاکتیکی؛ بنابراین توجیه مالی باید در بردارنده‌ی تحلیل عامل‌های استراتژیک باشد. به‌طور مشابه، پارسایی و ویلهلم[۷] معتقدند تصمیم سرمایه‌گذاری در چنین سیستم‌هایی باید در سطح استراتژیک گرفته شود. به علاوه، این تصمیمات باید شامل منافع غیرکمّی و ناملموس برای برآورده ساختن اهداف استراتژیک باشند. برای این منظور آنها از یک رویکرد دو مرحله‌یی و دو مجموعه

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۱۰/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۵/۵/۲۲، پذیرش ۱۳۹۵/۱۱/۲۵.
DOI:10.24200/J65.2018.5609

مقیاس عددی برای وزن‌دهی به منافع ناملموس حاصل از پیاده‌سازی گزینه‌های اتوماسیونی استفاده کرده‌اند. این نحوه‌ی توجیه فقط توجهات استراتژیک و تاکتیکی را در بر می‌گیرد.

مردیث و منتل اظهار داشته‌اند که می‌توان مدل‌های تصمیم‌گیری را به دو بخش عددی و غیرعددی تقسیم‌بندی کرد به نقل از[۸] در این تقسیم‌بندی، مدل‌های غیر عددی شامل ضرورت‌های عملیاتی، ضرورت‌های رقابتی، توسعه‌ی خطوط تولید و مدل‌های مقایسه‌یی مزایا و مدل‌های عددی شامل مدل‌های اقتصادی و مدل‌های امتیازدهی است.

مک‌کی وگالبریث (۱۹۸۹) رویکردهای توجیه را با توجه به روش‌های حسابداری به سه بخش طبقه‌بندی کردند. گروه اول اظهار می‌کنند که سیستم‌های حسابداری فعلی از طریق تحلیل جزئی یا کمّی ساختن مزایای ناملموس کافی هستند و نتیجه‌ی آن‌ها در فرایند کلی توجیه جای می‌گیرد. گروه دوم مسائل استراتژیک را مسئله‌ی اصلی در فرایند توجیه برای فنّاوری‌های پیشرفته درنظر می‌گیرند. به علاوه، این گروه کاربرد روش‌های حسابداری مرسوم را رد می‌کنند و بر مزایای بلند مدت تأکید دارند. گروه سوم بیان می‌کنند که سرمایه‌گذاری در AMT‌ها طبیعت بسیار پیچیده‌یی نسبت به محاسبات سرمایه‌گذاری ساده دارد و بنابراین به روش‌های تحلیل عددی پیچیده‌تر و با دقت بیشتر نیاز است.[۴]

کاکاتی و دهر[۹] پیشنهاد داده‌اند که پروژه‌های AMT باید در دو مرحله ارزیابی شوند: ابتدا، از طریق توجیه مالی، و سپس چنانچه پروژه در برآورده ساختن معیارهای مالی شکست بخورد، بررسی استراتژیک انجام شود.

برخی از محققان همچون وراکینگ [۱۰] معتقدند که استدلال بر اساس مقایسه با رقبا و آگاهی از پیشتازی و انتظار توسعه‌ی آتی در صنعت، باید به عنوان عوامل افزوده برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های AMT مدنظر قرار گیرند. بنابراین، در فرایند تصمیم‌گیری و توجیه فنّاوری‌های پیشرفته‌ی تولید، معیار استراتژیک را مهم‌تر از معیارهای مالی می‌دانند.[۱۱]

مردیث و سورش (۱۹۸۶)، پیشینه‌ی مربوط به توجیه فنّاوری‌های پیشرفته را به سه گروه تقسیم بندی کردند:[۳-۱۲]

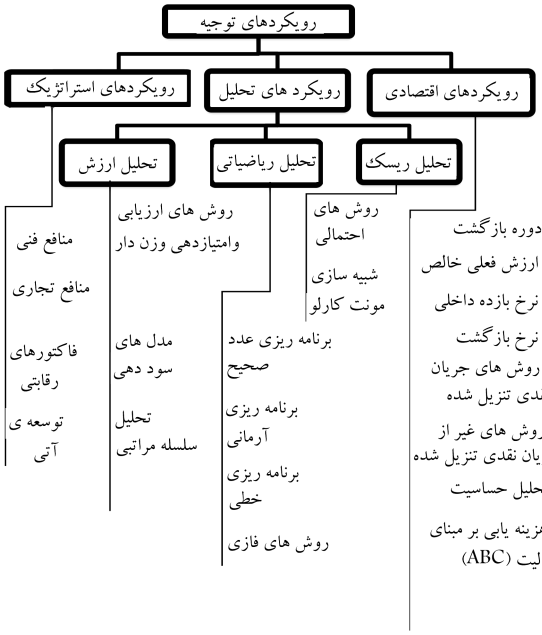
۱. رویکردهای توجیه اقتصادی؛ که در ارتباط با توابع ساده‌ی اقتصادی هستند؛

۲. رویکرد توجیه تحلیلی؛ که شامل مدل‌های تحلیلی است؛

۳. رویکردهای توجیه استراتژیک.

در واقع هدف از این تقسیم بندی، تأکید بر این نکته است که توجیه فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید شامل عامل‌های استراتژیک و ناملموس است و بنابراین ترکیب هر سه رویکرد را برای تحلیل تصمیم‌گیری پیشنهاد می‌کنند. به‌طور خلاصه رویکردهای موجود برای توجیه در شکل ۱ آمده است.

رویکردهای توجیه اقتصادی، توجیه را با توابع ساده‌ی اقتصادی همچون دوره‌ی بازگشت (PB) [۳]، بازده سرمایه (ROI) [۴]، نرخ بازده داخلی (IRR) [۵]، ارزش خالص فعلی (NPV) [۶] و غیره تحلیل می‌کنند. این رویکردها نمی‌توانند مزایای استراتژیک و غیر اقتصادی را تحلیل کنند[۳] و بسیاری از محققان همچون پی‌یرسون با توجه به پژوهش انجام شده[۱۳] معتقدند که به کارگیری این روش‌ها منجر به عدم سرمایه‌گذاری در فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید می‌شود. با این حال، کاپلان بیان می‌کند که رویکردهای جریان نقدی تنزیل شده (DCF) [۷] حتی برای توجیه فنّاوری‌های نوین ساخت و تولید نیز باید به کار برده شوند. او اشاره می‌کند که مشکلات مرتبط با این روش‌ها ناشی از کاربرد نامناسب رویکردهای DCF است.[۱۳]



شکل ۱. رویکردهای موجود برای توجیه.[۱۵،۱۲]

رویکردهای تحلیلی عمدتاً کمّی و نسبت به روش‌های اقتصادی پیچیده‌تر هستند. این رویکردها ابزار مناسبی برای تحلیل سیستم‌هایی هستند که مزایای اقتصادی و غیراقتصادی دارند. این روش‌ها اطلاعات بیشتری را جمع‌آوری می‌کنند و تأثیرات و اندازه‌های چندگانه را مدنظر قرار می‌دهند. برتری این روش‌ها این است که قضاوت ذهنی و عامل‌های بیشتری را در نظر می‌گیرند و واقعی‌تر هستند.[۱۴]

رویکردهای توجیه استراتژیک در مقایسه با سایر رویکردها کمتر فنی هستند. اما، مزیت آنها در مدنظر قرار دادن اهداف شرکت است.[۱۵،۱۴] این رویکرد بر موارد کیفی شامل استراتژی کسب و کار، انعطاف‌پذیری در برآوردن تقاضای مشتری و مزیت رقابتی تأکید می‌کنند.[۳]

بسیاری از رویکردهای سنتی توجیه بستر لازم برای تحلیل مسائل چندمعیاره، ارزیابی منافع ناملموس گسترده و استراتژیک و وارد کردن آنها در فرایند ارزیابی به شکلی یکپارچه را ندارند.[۴-۱۶]

همچنین، آنها تأثیر سرمایه‌گذاری را فقط محدود به بخشی می‌دانند که تجهیزات در آن پیاده‌سازی شده است. در این پژوهش با توجه به رویکردهای موجود برای توجیه چارچوبی ارائه شده است که پاسخگوی یک تصمیم‌گیری استراتژیک باشد. در بخش ۲ مقاله، منافع ناملموس حاصل از پیاده‌سازی سیستم‌های ساخت و تولید پیشرفته و روش کمّی‌سازی آنها بررسی شده است. در بخش ۳ طراحی بدیهه‌گرا (AD) [۸] و اصول آن به عنوان ابزاری برای ایجاد چارچوب توجیه و ارزیابی شرح داده شده و سپس، با استفاده از این نظریه در بخش ۴ چارچوب توجیه ارائه شده است.

۲. منافع ناملموس

بسیاری از منافع حاصل از پیاده‌سازی سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی ناملموس هستند. بنابراین، چنانچه این معیارها به شکل پولی کمّی نشوند، روش‌های سنتی برای ارزیابی پروژه شکست خواهند خورد. مجموعه‌ی اول شامل منافع ناملموسی است که در ارتباط با بهبود عملکرد یا عملیات‌های داخلی است.

این موارد شامل تغییر در فرایندهای تولید، روش‌های مدیریت عملیات و تغییر در ارزش تولید و زنجیره‌ی فرایند است که موجب افزایش تولید یا کاهش هزینه‌های تولید می‌شود.[۱۷] این مجموعه سهم بزرگی از منافع ناملموس را تشکیل می‌دهد. مجموعه‌ی دوم شامل منافع ناملموسی است که در اثر آموزش کارکنان و بهبود شرایط کاری کارگران، همچون حذف کارهای خطرناک و تکراری ایجاد می‌شوند. مجموعه‌ی سوم منافع ناشی از بهبود استراتژی کسب‌وکار و قابلیت تطبیق با تغییرات بازار است که منجر به افزایش رضایت مشتریان می‌شود. این مجموعه برای اندازه‌گیری بسیار دشوار است زیرا تحت تأثیر عوامل خارجی مختلفی است. در جدول ۱ چارچوب منافع و میزان ملموس بودن و کمّی‌پذیری آنها آمده است.

با توجه به منافع ناملموس بسیار حاصل از پیاده‌سازی CIM، ضروری است که به وسیله‌ی روشی فاصله‌ی بین منافع ملموس و ناملموس را برطرف کنیم.

چارچوب کمّی‌سازی هریس و رویل (۱۹۹۴) از مجموعه‌یی از مراحل برای تبدیل منافع ناملموس و وارد کردن آنها به جریان نقدی استفاده می‌کند. این مراحل شامل: شناسایی منافع؛ قابل اندازه‌گیری کردن منافع؛ پیش‌بینی نتایج در اصطلاح فیزیکی و ارزیابی نتایج جریان نقدی حاصل از این منافع ناملموس با استفاده از روش‌هایی همچون ROI، NPV، IRR و غیره به‌منظور توجیه بازگشت سرمایه‌گذاری است به نقل از مورفی.[۱۷] البته، آناندراجان و ون[۱۶] نیز برای کمّی کردن منافع ناملموس از روش مشابهی استفاده کرده‌اند. در این روش، از افراد مورد نظر (متشکل از عده‌یی از سهام‌داران) خواسته شده است توزیع احتمال سود یا زیان مرتبط با عامل‌های ملموس و ناملموس را بررسی کنند. از این توزیع احتمال برای تحلیل ریسک هر عامل، با توجه به کل پروژه، استفاده شده است. تایری و کرول بیان کرده‌اند که حداقل برخی از منافع ناملموس را می‌توان با جانشین کردن شاخص‌هایی که قابل اندازه‌گیری هستند، کمّی کرد. استفاده از این شاخص‌های قابل اندازه‌گیری به عنوان جانشینی برای منافع ناملموس، موجب تحلیل بهتر می‌شود به نقل از مورفی.[۱۷] در این پژوهش روش هریس و رویل برای کمّی کردن منافع ناملموس پیشنهاد شده است.

مرحله‌ی اول از روش هریس و رویل، برای کمّی کردن منافع ناملموس شناسایی منافعی است که باید کمّی شوند. دو منبع مناسب از اطلاعات برای شناسایی این منافع عبارت‌اند از: عامل‌های حیاتی موفقیت (CSFs) [۹] و فهرست منافع ناملموس. در این پژوهش از جدول منافع (جدول ۱) برای شناسایی منافع استفاده شده است. نکته‌ی مهم این است که در طول ارزیابی سیستم هدف اصلی شناسایی شود. مرحله دوم این است که منافع ناملموس را قابل اندازه‌گیری کنیم. این مرحله شامل شرح مجدد منافع شناسایی شده به شکل اصطلاحات قابل اندازه‌گیری است. از تجزیه و تعریف مجدد متغیرها می‌توان برای قابل اندازه‌گیری کردن بسیاری از منافع ناملموس حاصل از پیاده‌سازی AMTها استفاده کرد. تجزیه رویکردی است که در آن متغیرهای ناملموس به متغیرهای ملموس و کمیت‌پذیر تبدیل می‌شوند. این رویکرد پیش‌تر توسط پریمروز و لئونارد[۱۸] ارائه شده است و یک مثال نوعی از تجزیه‌ی موارد ناملموس توسط آنها برای متغیر «بهبود کیفیت» شرح داده شده است. آنها بیان کرده‌اند که این متغیر می‌تواند به شکل کاهش ضایعات، دوباره‌کاری، توقف تولید، پرداخت‌های ضمانت‌نامه و افزایش فروش محصولات با کیفیت بالاتر نمود پیدا کند. همچنین، آناندراجان و ون[۱۶] نیز از روش مشابهی استفاده کرده‌اند. برای نمونه، افزایش انعطاف‌پذیری را به صورت افزایش تولید و کاهش ضرر و زیان فروش موجودی کالای نهایی در نظر گرفته‌اند. از سوی دیگر، تعریف مجدد روشی است که در آن متغیرهای ناملموس از دیدگاه‌های مختلف مطرح می‌شود؛[۴] در واقع در این روش عواقب منافع بررسی می‌شود. مرحله‌ی سوم، پیش‌بینی منافع در اصطلاح فیزیکی است. این مرحله ممکن است به دلیل استفاده از روش‌های بسیار برای تبدیل معیارها به اعداد واقعی دشوار باشد. ریلی (۱۹۹۸) سه روش برای ارزش‌گذاری فنّاوری، یعنی رویکرد بازارمحور، هزینه‌محور و رویکرد درآمد محور ارائه داده است. رویکرد هزینه محور مبتنی‌بر برآورد هزینه‌ی ایجاد یا دستیابی به همان عملیات با استفاده از فنّاوری‌ها مختلف، فرایندها یا منافع انسانی است. این رویکرد با تحقیق از سهام داران آگاه در زمینه‌ی این پروژه‌ها اجرا می‌شود. این روش از چند وجه جالب

جدول ۱. منافع حاصل از پیاده‌سازی سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه رایانه‌یی

ابعاد	متغیر	حد ملموس بودن	میزان کمی‌پذیری
	کمینه کردن کار مستقیم	کاملاً	کاملاً
	کاهش هزینه‌ی مواد	کاملاً	کاملاً
	کاهش هزینه‌های جابه‌جایی مواد	زیاد	زیاد
	کاهش هزینه‌های جابه‌جایی مواد	زیاد	زیاد
	کاهش هزینه‌های تجهیز / قید و بست‌ها فیکسچر	زیاد	زیاد
	کاهش هزینه‌ی ضایعات	کاملاً	کاملاً
	کاهش هزینه‌ی نگهداری و تعمیرات	زیاد	زیاد
	کاهش هزینه‌های کنترل و برنامه‌ریزی تولید	متوسط	زیاد
	کاهش هزینه‌های فضای کارخانه و زمین	کاملاً	زیاد
	کاهش هزینه‌های بازرسی	زیاد	زیاد
	افزایش بهره‌وری ساخت و تولید	متوسط	زیاد
	بهبود بهره‌برداری از ماشین‌ها	کاملاً	کاملاً
	کاهش هزینه‌های در جریان ساخت	کاملاً	کاملاً
عملیاتی	کاهش هزینه‌های دوباره‌کاری	زیاد	زیاد
	کاهش load time	زیاد	کاملاً
	کاهش هزینه‌های کارهای دفتری	زیاد	زیاد
	حمایت از تغییرات سازمانی	کم	کم
	بهبود شرایط کاری	کم	کم
	افزایش رقابت پذیری	کم	متوسط
	بهبود شرایط کاری با حذف کارهای خطرناک و نامطلوب	متوسط	زیاد
سازمانی	افزایش رضایت کارگران	متوسط	متوسط

توجه است. ۱ درک شرکت و مشتریان را می‌توان هم‌تراز قرار داد و توافقی بر معادل پولی به دست آورد. ۲ این بررسی‌ها آینده‌نگر هستند و می‌توانند منجر به اقدامات پیشگیرانه برای افزایش ارزش پروژه شوند.[۱۷] از طرفی، با وجود پتانسیل بسیار زیاد آن در سایر زمینه‌ها، در حوزه‌ی ارزش‌گذاری منافع ناملموس مناسب نیست، زیرا که روش یاد شده ارزش ذاتی و اقتصادی منافع را منعکس نمی‌کند.

در رویکرد بازارمحور، ارزش‌گذاری مبتنی‌بر سایر معاملات فنّاوری انجام شده در بازار آزاد و کار است که با فنّاوری مورد نظر قابل مقایسه باشد. به عبارت دیگر در این روش، بازار پایه‌یی برای به دست آوردن ارزش یک دارایی ناملموس استفاده می‌شود. با وجود این، داشتن قابلیت قیاس با فنّاوری‌های مشابه که در بازار معامله شده‌اند، اصلی‌ترین مشکل روش بازار محور به شمار می‌آید. تعداد کم معاملات و فقدان شفافیت درباره‌ی ویژگی‌های آنها موجب کاهش اطمینان و دقت این روش می‌شود.

رویکرد درآمد محور مبتنی‌بر ارزیابی منافع اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی فنّاوری مورد ارزیابی است. در این روش که عموماً بر جریان درآمدهای آتی حاصل از به کارگیری فنّاوری تمرکز دارند، تلاش می‌شود تا ارزش فعلی درآمدهای احتمالی برنامه‌ریزی شده و پیش‌بینی شده با پیاده‌سازی فنّاوری مورد نظر محاسبه شود.[۱۹] در این روش تخمین‌ها توسط مدیریت به صورت هزینه‌ها و منافعی که تحقق خواهند یافت، به دست می‌آید. مدیر ارشد که فعالیت او توسط پروژه پشتیبانی می‌شود، اما مسئولیتی در پروژه ندارد، باید نقش عمده‌یی در ایجاد این تخمین‌ها داشته باشد. البته، مشکلی که در رابطه با تخمین مدیریتی وجود دارد این است که آنها اغلب بر مبنای شواهد و در نتیجه واکنشی هستند.[۱۷]

۳. طراحی بدیهه‌گرا و اصول آن

نظریه‌ی طراحی بدیهه‌گرا (AD) چارچوب ارزشمندی برای کمک به طراحان، از طریق فرایند تصمیم برای دستیابی به نتیجه‌ی مثبت را فراهم می‌آورد.[۲۰] از طریق رویکرد بدیهه‌گرا، مسئله‌ی طراحی به ساختاری سلسله مراتبی تجزیه می‌شود که در آن نیازمندی‌های عملیاتی و راه‌حل‌های آن جدا شده‌اند. چهار حوزه‌ی طراحی عبارت‌اند از: حوزه‌ی مشتری، عملیاتی، فیزیکی و حوزه‌ی فرایند. با نگاشت بین حوزه‌ها فرایند آغاز و ویژگی‌های طراحی نمادپردازی می‌شود. نیازمندی‌های عملیاتی (FRها)[۱۰] (FRها) در حوزه‌ی عملیاتی به‌منظور برآورده‌ساختن نیازهای تعریف شده در حوزه‌ی مشتری تعریف می‌شوند. همچنین، پارامترهای طراحی خروجی نگاشت FRها در حوزه‌ی فیزیکی هستند. مسئله‌ی اصلی باید به‌منظورکاستن از پیچیدگی آن تجزیه شود. این کار باعث می‌شود سلسله مراتب حل مسئله شکل گیرد. عملیات تجزیه یکی از مهم‌ترین منافع رویکرد طراحی بدیهه‌گراست که مسئله‌ی طراحی و حل آن را ساده می‌کند. از این‌رو، ابزار علمی مناسبی برای تصمیم‌گیری است.[۲۰]

بدیهیات اصول پذیرفته شده‌یی هستند که مفاهیم اساسی فرایند طراحی بدیهه‌گرا را تشکیل می‌دهند. بدیهه‌ی اول طراحی به عنوان بدیهه‌ی استقلال شناخته می‌شود و بدیهه‌ی دوم، بدیهه‌ی اطلاعات است. که به شرح زیر هستند:

۱. بدیهه‌ی استقلال: نیازمندی‌های عملیاتی از هم مستقل باشند.

۲. بدیهه‌ی اطلاعات: میزان اطلاعات کمینه باشد.

بدیهه‌ی استقلال بیان می‌کند که استقلال نیازمندی‌های عملیاتی (FR) همواره باید حفظ شود. در این فرایند، نیازمندی‌های عملیاتی، مجموعه‌یی کمینه از نیازمندی‌های مستقل عملیاتی است که اهداف طراحی را توصیف می‌کند. از لحاظ ریاضی، ارتباط بین FRها و پارامترهای طراحی (DPها)[۱۱] (المان‌های طراحی که برای برآورده ساختن FR خاص انتخاب شده‌اند) به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$\{FR\} = |A|\{DP\}$$

$\{FR\} =$ بردار نیازمندی‌های عملیاتی

$\{DP\} =$ بردار پارامترهای طراحی

$|A| =$ ماتریس طراحی که طراحی را توصیف می‌کند (۱)

به‌طورکلی هر درایه‌ی a_{ij}یی از ماتریس A مرتبط با iامین FR و jامین DP است. ساختار ماتریس $|A|$ نوع طراحی مدنظر را تعیین می‌کند. به‌منظور برآورده ساختن بدیهه‌ی استقلال، ماتریس باید یک طراحی مستقل[۱۲] یا مجزا[۱۳] داشته باشد. بدیهه‌ی اطلاعات بیان می‌کند که میان طرح‌هایی که بدیهه‌ی استقلال را برآورده می‌کنند، طرحی که مفروضات اطلاعاتی کمتری داشته باشد، بهترین طرح است. اطلاعات به عنوان اصطلاح مفروضات اطلاعاتی[۱۴] (l_i) مرتبط با ساده‌ترین شکل احتمال برآورده ساختن FR هاست. مفروضات اطلاعاتی برای FR_i به شکل رابطه‌ی ۲ تعریف می‌شود:

$$l_i = log_۲\left(\frac{۱}{p_i}\right) \quad (۲)$$

که در آن P_i احتمال دستیابی به نیازمندی FR_i و لگاریتم بر مبنای ۲ است.

بر مبنای ویژگی‌های ماتریس A، طراحی در سه حالت طبقه‌بندی می‌شود: اگر ماتریس A یک ماتریس قطری باشد (برای $i \neq j$، $a_{ij} = ۰$ و $a_{ii} \neq ۰$) طراحی مستقل است. اگر ماتریس A بالامثلثی یا پایین‌مثلثی باشد (برای$i \succ j$ ، $a_{ij} = ۰$ و برای $i \leq j$، $a_{ij} \neq ۰$ و برعکس) ماتریس طراحی مجزاست؛ در غیر این صورت طراحی وابسته[۱۵] است.[۲۱]

۴. طراحی چارچوبی برای ارزیابی و توجیه CIM برمبنای رویکرد AD

در این بخش از نظریه‌ی طراحی بدیهه‌گرا برای تعیین یک چارچوب مناسب برای ارزیابی و توجیه CIM استفاده شده است. اصول و رویه‌های نشان داده شده در اینجا، همان ماهیت مشخص نیازمندی‌های عملیاتی برای برآورده ساختن نیازهای یک چارچوب ارزیابی و توجیه مناسب است. همان‌طورکه در مرور پیشینه شرح داده شد، یک چارچوب مناسب و جامع برای ارزیابی و توجیه CIM باید در برگیرنده‌ی توجهات استراتژیک، تحلیلی و مالی باشد. این نیازها باید در حوزه‌ی عملیاتی منعکس و FRها ایجاد شوند. در این بررسی هدف طراحی یک چارچوب ارزیابی و توجیه CIM است که قابلیت توجیه و ارزیابی سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی یا هر فنّاوری پیشرفته‌ی دیگری را داشته باشد.

۱.۴. تعیین FRها در حوزه‌ی عملیاتی

مرحله‌ی اول در طراحی یک چارچوب توجیه مناسب تعیین نیازمندی عملیاتی در بالاترین سطح است. مهم‌ترین FRهای ممکن برای توجیه عبارت‌اند از: در نظر گرفتن معیارهای استراتژیک، ارزیابی معیارهای عملکرد، در نظرگرفتن معیارهای مالی. نکته‌ی قابل توجه این است تمام FRها با فعل شروع می‌شوند. این مسئله باعث می‌شود که بتوانیم به خوبی FR را از DP تشخیص دهیم، زیرا DP در صورت امکان با اسم شروع می‌شود.

۲.۴. نگاشت FRها در حوزه‌ی فیزیکی

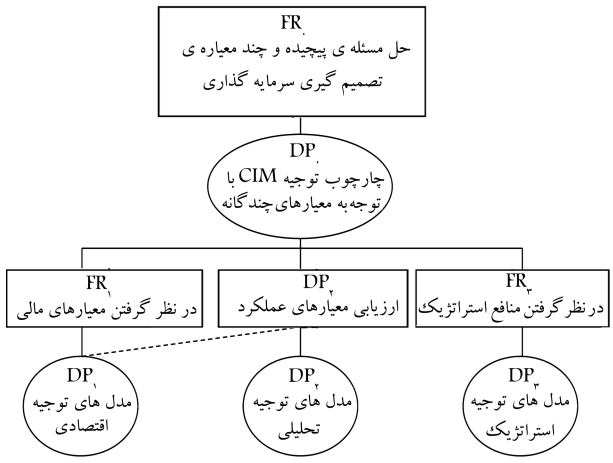
مرحله‌ی دوم، نگاشت حوزه‌ی عملیاتی به حوزه‌ی فیزیکی و تعیین پارامترهای طراحی برای برآورده ساختن نیازهای عملیاتی است. چارچوب مناسب برای ارزیابی و توجیه سیستم CIM زمانی طراحی می‌شود که DPها یا به عبارتی مدل‌های مناسب برای ارزیابی با توجه به FRها انتخاب شوند. با توجه به نیازمندی‌های سطح اول، سطح بعدی ساختار توسعه می‌یابد که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای ارزیابی معیارهای عملکرد باید از روش‌های توجیه تحلیلی همچون تحلیل سلسله مراتبی،[16] (AHP) یا روش‌های امتیاز دهی استفاده کرد. چنانچه نیاز به تحلیلی جامع‌تر بود، روش تحلیل سلسله مراتبی و چنانچه روش ساده‌تری مدنظر بود، روش امتیازدهی پیشنهاد می‌شود. مدل‌های امتیازدهی شامل کمّی کردن اهمیت متغیرها با تخصیص وزن است. همچنین برای ارزیابی معیارهای عملکرد یا به عبارتی تحلیل مقایسه‌یی بین وضعیت فعلی و مطلوب می‌توان از بدیهه‌ی ۲ نیز استفاده کرد. ماتریس طراحی سطح اول به صورت رابطه‌ی ۳ است:

$$\begin{bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

X ارتباط قوی بین FRها و DPها را نشان می‌دهد. ماتریس طراحی مجزاست، زیرا FR_2 و FR_1 توسط DP_1 پوشش داده می‌شوند.

۳.۴. ارتباط بین FR_1 و FR_2

همان‌طورکه در شکل ۲ نشان داده شد، DP_1 (مدل‌های توجیه اقتصادی)، FR_1 و FR_2 را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، ماتریس طراحی مجزاست. در این بخش دلایل این ارتباط شرح داده می‌شود. پیاده‌سازی CIM و فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید منافع کیفی و ناملموس بسیاری را به همراه دارد که برای تحلیل مقایسه‌یی بین وضعیت فعلی و مطلوب (ارزیابی معیار عملکرد) مد نظر قرار می‌گیرند. اگرچه این منافع در روش‌های سنتی توجیه اقتصادی وارد نمی‌شدند، این منافع ناملموس بر هزینه‌ها و صرفه‌جویی‌های ملموس تأثیر می‌گذارند. با توجه به روش‌هایی که برای کمّی کردن منافع ناملموس شرح داده شد، مدل‌های توجیه اقتصادی قابلیت بالقوه‌ی وارد کردن منافع ناملموس در فرایند توجیه را دارند.



شکل ۲. سطح اول ساختار ایجاد شده.

۴.۴. تجزیه‌ی FR_1

مدل‌های توجیه اقتصادی (DP_1) پارامتر جامعی است که نیاز به بررسی دقیق‌تر دارد. بنابراین، برای دستیابی به سطح عملی برای ارزیابی، باید FR_1 را تجزیه کرد. به‌منظور ارزیابی سرمایه‌گذاری از لحاظ مالی باید تمام هزینه‌ها و منافع حاصل از سرمایه‌گذاری را بررسی کرد.

برای محاسبه‌ی منافع ملموس باید صرفه‌جویی‌های حاصل شده را تعیین کرد و برای محاسبه‌ی هزینه‌ها باید تمام هزینه‌های پیاده‌سازی را در نظرگرفت. برای این منظور جدول ۲ بر اساس تحقیقات انجام شده[22,23] تهیه شده است که هزینه‌های مرتبط با پیاده‌سازی را نشان می‌دهد.

شکل ۳، تجزیه‌ی FR_1 را نشان می‌دهد. ماتریس طراحی سطح دوم در رابطه‌ی ۴ نشان داده شده است.

$$\begin{bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{bmatrix} \quad (4)$$

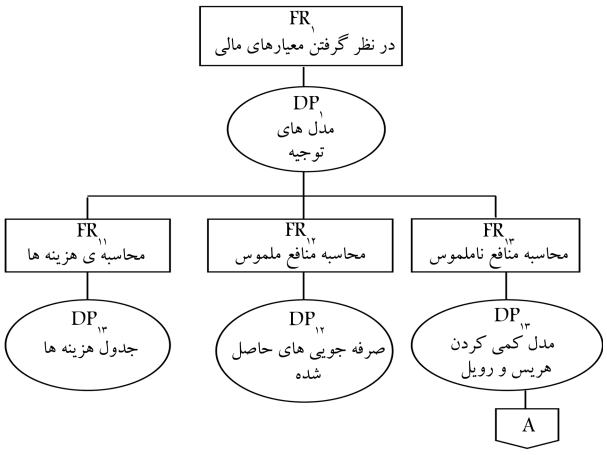
ماتریس طراحی سطح دوم مستقل است.

۵.۴. تجزیه‌ی FR_{13}

برای محاسبه‌ی منافع ناملموس پیشنهاد می‌شود که از روش هریس و رویل استفاده شود. نیازمندی‌های عملیاتی و پارامترهای طراحی سطح دوم در شکل ۴ نشان داده شده است. ماتریس طراحی سطح سوم به شکل رابطه‌ی ۵ است:

$$\begin{bmatrix} FR_{131} \\ FR_{132} \\ FR_{133} \\ FR_{134} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DP_{131} \\ DP_{132} \\ DP_{133} \\ DP_{134} \end{bmatrix} \quad (5)$$

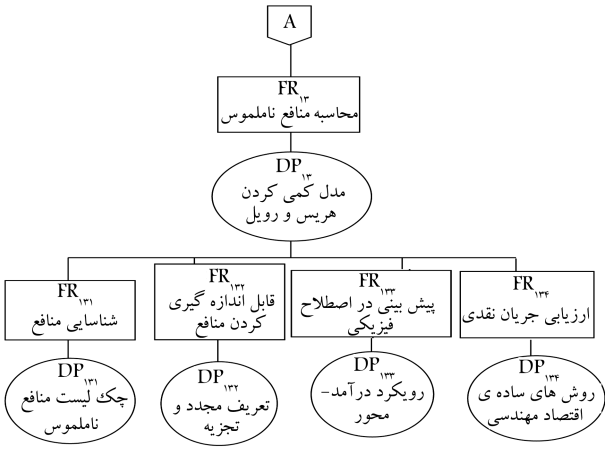
همان‌طور که مشخص است ماتریس طراحی، قطری و در نتیجه طراحی مستقل است.



شکل ۳. سطح دوم ساختار توسعه‌یافته.

جدول ۲. طبقه‌بندی هزینه‌های سرمایه گذاری.

نوع هزینه	طبقه‌بندی هزینه‌ها	توضیحات
هزینه‌های مستقیم	هزینه‌ی تجهیزات و ماشین آلات	به عنوان نمونه، CNC، تجهیزات آزمون و کنترل رایانه‌یی، دستگاه برش لیزری، ربات‌ها، AGV، اندازه‌گیری لیزری و هزینه‌های وسایل و ابزارآلات و ...
	هزینه‌های سخت افزار	رایانه‌های مدیریت مرکزی شامل رایانه‌های بزرگ، تجهیزات خروجی و ذخیره سازی، تجهیزات پردازش online، شبکه‌های نامحدود (WAN) و همچنین رایانه‌های توزیع شده. این هزینه‌ها معمولاً به دقت به عنوان دارایی سازمان ثبت می‌شوند.
	هزینه‌های نرم‌افزار	هزینه‌ی خرید سیستم نرم‌افزاری، middleware، و برنامه‌های کاربردی سازمان، خرید بسته‌های برنامه‌های کاربردی نرم‌افزاری.
	هزینه‌های نصب و پیکربندی	پشتیبانی از سیستم‌ها، نصب سخت‌افزارها، ایجاد ارتباط و اتصال، مهندسی مجدد فرایندها، هزینه‌ی یکپارچه سازی با سایر سیستم‌ها و سایر هزینه‌های مربوطه.
	هزینه‌های استهلاک	این هزینه‌ها در ارتباط با عمر مفید دارایی‌ها و وضعیت سوددهی سازمان است.
	هزینه‌های مهندسی و مشاوره	این هزینه‌ها، معمولا جزو هزینه‌های پیش از پیاده‌سازی در نظر گرفته می‌شوند.
	هزینه‌های آموزش	دوره‌های آشنایی با نرم‌افزارها و ماشین آلات و سایر دوره‌های آموزشی مرتبط.
	هزینه‌های نگهداری و پشتیبانی	قراردادهای خدمات سالیانه یا فصلی
	تغییر در دستمزدها	تغییر در دستمزدها معمولا به علت تغییر سطح شغلی و استخدام افراد با صلاحیت بالاتر و یا هزینه‌های مربوط به اخراج یا ترک شغل می‌باشد.
هزینه‌های غیر مستقیم	جمع آوری و تهیه داده	این هزینه‌ها با تخمین حقوق و ذخیره سازی مورد نیاز برای ایجاد منابع داده‌یی هستند که پایه‌یی برای تولید و خدمات ایجاد می‌کنند. این داده‌ها دارایی‌هایی هستند که برای به‌روز ماندن به نگهداری دائمی نیاز دارند.



شکل ۴. سطح سوم ساختار، تجزیه‌ی FR_{13}

۵. ساختاری برای ارزیابی و توجیه

برای ارزیابی و توجیه سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه رایانه‌یی، با توجه به معیارهای متعدد مرتبط با تصمیم سرمایه‌گذاری، در واقع اقدام به حل یک مسئله‌ی چندمعیاره می‌کنیم. جنبه‌های ذاتی طراحی بدیهه‌گرا همچون جداسازی اهداف و راه‌حل‌ها، بدیهه‌ی استقلال و ساختار سلسله مراتبی به ارائه‌ی یک چارچوب مناسب برای ارزیابی و توجیه کمک می‌کند. ساختار طراحی بدیهه‌گرا نه تنها مسئله‌ی تصمیم سرمایه‌گذاری را فرمول‌بندی می‌کند بلکه به یافتن راهی مناسب برای ارزیابی کمک می‌کند.

ساختار AD از طریق فهرستی از عامل‌های مختلف مربوط به ارزیابی و توجیه CIM چارچوبی برای توجیه فراهم می‌آورد. پایین‌ترین سطح هر شاخه نقطه‌ی شروع فرایند ارزیابی است. بنابراین، برای توجیه و ارزیابی سیستم‌های ساخت و تولید یکپارچه‌ی رایانه‌یی ابتدا باید اهداف استراتژیک سازمان شناسایی شود، تا مشخص شود آیا سرمایه‌گذاری پیشنهادی با استراتژی تولید سازگاری دارد یا خیر؟ برای این منظور شاخص‌های مربوط به کاهش هزینه‌ی مستقیم، کاهش هزینه‌ی غیرمستقیم، بهبود بهره‌وری مرتبط با عوامل تولید، بهبود بهره‌وری مرتبط با نیروی انسانی و بهبود کسب‌وکار درنظرگرفته و با تحلیل سلسله مراتبی وزن هر شاخص محاسبه می‌شود.

برای تحلیل مقایسه‌یی بین وضعیت فعلی و مطلوب، همان‌طورکه پیش‌تر مطرح شد، می‌توان از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یا روش امتیازدهی ساده استفاده کرد. در این مرحله وضعیت فعلی و مطلوب با توجه به شاخص‌های وزن‌دهی شده در بخش قبل، رتبه‌دهی می‌شود. بخش مهم هر توجیه سرمایه‌گذاری، ارزیابی مالی آن است. برای این منظور تمام منافع و هزینه‌ها محاسبه شده است. به این ترتیب با در نظرگرفتن تمام جوانب سرمایه‌گذاری کاستی‌های ارزیابی سنتی را برطرف ساخته‌ایم.

۶. مطالعه‌ی موردی

شرکت «A» بزرگترین تولیدکننده‌ی دریچه‌ی هوا و کاربراتور یکی از مطرح‌ترین سازندگان واتر پمپ، اویل پمپ و قطعات ریخته‌گری خودرو در ایران است. در اواخر دهه‌ی ۸۰ این شرکت با چالش‌های بسیاری از جمله افزایش مستمر قیمت مواد و دستمزدها در کشور و به ویژه هزینه‌ی انرژی، ساختار نامناسب مالی، ممکن نبودن محاسبه‌ی دقیق قیمت تمام شده، و مشکلات بسیار دیگری در بخش ساخت و

تولید مواجه شد. این شرکت، به‌منظور احیای سودآوری، چندین برنامه‌ی استراتژیک الزام‌آور را در دستور کار خود قرار داد که اهم آن به شرح زیر است:

۱. کاهش هزینه‌های سربار؛

۲. کاهش پرسنل؛

۳. اصلاح سیاست‌های فروش؛

۴. سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زود بازده؛

۵. اصلاح ساختار مالی.

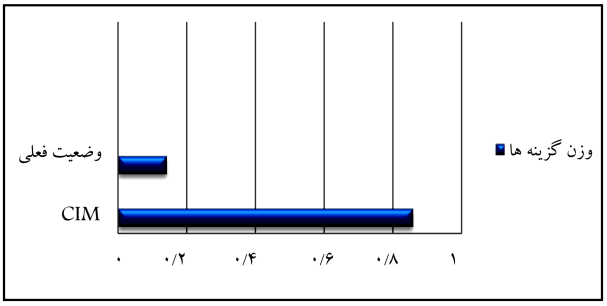
یکی از بخش‌های اجرای برنامه برای دستیابی به اهداف تعیین شده، ایجاد یک زنجیره‌ی تأمین یکپارچه شامل تهیه و تدارک، تولید و فرایندهای سفارش‌دهی و همچنین به کارگیری نظام مالی ـ حسابداری روزآمد بود. بنابراین، شرکت A در سال ۱۳۸۸ ضمن عقد قرارداد با یکی از شرکت‌های برتر ارائه‌دهنده‌ی راه حل برنامه‌ریزی منابع سازمانی (EPR) [۱۷]، اقدام به پیاده‌سازی برخی از بخش‌های این سیستم شامل: حسابداری مالی، حقوق و دستمزد، خزانه‌داری، مدیریت زنجیره‌ی تأمین (SCM) [۱۸]، برنامه‌ریزی تولید، کنترل تولید، سیستم فروش، قیمت تمام شده به روش هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت (ABC) [۱۹] کرد و به این ترتیب، گامی در جهت یکپارچه‌سازی سطح اطلاعاتی برداشت. با استفاده از چارچوب به دست آمده، تصمیم به سرمایه‌گذاری این شرکت ارزیابی شده است.

۱.۶. توجیه استراتژیک

شرکت در نظر دارد با توجه به هدف رشد کمّی و کیفی صنعت خودرو در ایران خود را با آن هماهنگ سازد و حتی به عنوان یک مرجع صاحب‌نظر و دارای فنّاوری مطرح شود. به‌طور کلی چشم‌انداز شرکت «سودآوری از راه کارآفرینی» بیان شده است.

وجود تهدیدها و فرصت‌های فراوان در صنعت خودرو و قطعه‌سازی لزوم به کارگیری فنّاوری‌های نوین و تغییر در روش‌های ساخت و تولید سنتی را نشان می‌دهد. در همین راستا، با توجه به اهداف استراتژیک شرکت، یکی از مدیران ارشد اولویت‌بندی سطوح مختلف و مقایسات زوجی متغیرها در تحلیل سلسله مراتبی را مشخص کردند. ورودی روش تحلیل سلسله مراتبی قضاوت در مورد اهمیت مربوط به هر معیار و ارزیابی هرگزینه‌ی تصمیم با توجه به هر معیار است. خروجی AHP رتبه‌یی است که نشان‌دهنده‌ی ارجحیت کلی برای هرگزینه است. در سطح صفر هدف تصمیم‌گیری (تصمیم استراتژیک) قرار می‌گیرد و در سطح اول شاخص‌ها شامل هزینه‌های مستقیم، هزینه‌های غیرمستقیم، بهبود بهره‌وری مرتبط با عوامل تولید، بهبود بهره‌وری مرتبط با نیروی انسانی و بهبود کسب‌وکار قرار دارند. در سطح دوم نیز شاخص‌های فرعی هر کدام از شاخص‌های سطح ۱ قرار می‌گیرند. در جدول‌های ۳ تا ۸ این معیارها مشخص شده‌اند. پس از اینکه شاخص‌های اصلی و فرعی مشخص شدند، بین شاخص‌ها مقایسات زوجی انجام گرفت. در مرحله‌ی بعد برای هر معیار بین گزینه‌ها مقایسه‌ی زوجی انجام می‌گیرد. سپس، با استفاده از نرم‌افزار Expert choice۱۱ نتیجه‌ی حاصل شده از مقایسات زوجی و اولویت‌ها به دست آمد. بنابراین، طبق جدول‌های ۳ تا ۸ در بین معیارهای مطرح شده در سطح اول تحلیل سلسله مراتبی، به ترتیب معیارهای کاهش هزینه‌های مستقیم، بهبود بهره‌وری مرتبط با تولید و استراتژی کسب‌وکار از اولویت بیشتری برخوردارند. در سطح دوم، در رابطه با متغیر کاهش هزینه‌ی مستقیم، به ترتیب هزینه‌ی مواد و ضایعات ارجحیت بالاتری دارند. همچنین، در رابطه با کاهش هزینه‌های غیرمستقیم، کنترل و برنامه‌ریزی تولید و هزینه‌های نگهداری در اولویت شرکت هستند. در رابطه با متغیر بهبود بهره‌وری مرتبط با عوامل تولید، معیارهای بهره‌وری ساخت و تولید و کاهش کالای در جریان ساخت رتبه‌ی بالاتری دارند. به علاوه، رشد محصول و قابلیت معرفی محصول جدید مرتبط با استراتژی کسب‌وکار از اولویت بالایی برخوردارند.

با توجه به وزن‌های به دست آمده از مقایسات زوجی و ارزیابی وضعیت فعلی و مطلوب با پیاده‌سازی کامل CIM وزن هرکدام از گزینه‌ها به دست آمد. شکل ۵ وزن گزینه‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین، نتایج نشان می‌دهند که پیاده‌سازی CIM و



شکل ۵. نمودار وزن گزینه‌ها.

جدول ۳. وزن متغیرها در سطح ۱.

متغیر	وزن به دست آمده از AHP
کاهش هزینه‌های مستقیم	۰/۴۰۶
کاهش هزینه‌های غیرمستقیم	۰/۰۶۷
بهبود بهره‌وری ـ عوامل مرتبط با تولید	۰/۳۴۶
بهبود بهره‌وری ـ عوامل مرتبط با نیروی انسانی	۰/۰۴۱
استراتژی کسب‌وکار	۰/۱۳۹

نوع ناسازگاری = ۰/۱۰

جدول ۴. وزن معیارها در سطح ۲ برای متغیر کاهش هزینه‌ی مستقیم.

متغیرهای مرتبط با DCR	وزن به دست آمده از AHP
کار مستقیم	۰/۱۲۷
هزینه‌ی مواد	۰/۵۳۰
هزینه‌ی انتقال مواد	۰/۰۲۷
هزینه‌ی Tooling/fixture	۰/۰۵۲
هزینه‌ی ضایعات	۰/۲۶۴

نوع ناسازگاری = ۰/۰۹

جدول ۵. وزن معیارها در سطح ۲ برای متغیر کاهش هزینه‌ی غیرمستقیم.

متغیرهای مرتبط با ICR	وزن به دست آمده از AHP
هزینه‌های نگهداری	۰/۳۰۹
کنترل و برنامه‌ریزی تولید	۰/۵۲۵
فضای کارخانه	۰/۰۷۱
هزینه‌ی بازرسی	۰/۰۹۵

نوع ناسازگاری = ۰/۱۰

جدول ۶. وزن معیارها در سطح ۲ برای متغیر بهبود بهره‌وری مرتبط با تولید.

متغیرهای مرتبط با PIPF	وزن به دست آمده از AHP
بهره‌وری ساخت و تولید	۰/۵۴۱
بهره‌وری و استفاده از ماشین آلات	۰/۱۰۱
در جریان ساخت	۰/۲۲۶
دوباره‌کاری	۰/۱۰۱
Lead time	۰/۰۳۲

نرخ ناسازگاری = ۰/۱۷ (اگرچه نرخ ناسازگاری بزرگتر از ۰/۱ است با موافقت مدیریت مقایسات پذیرفته شده است.)

جدول ۷. وزن معیارها برای متغیر بهبود بهره‌وری مرتبط با عوامل انسانی.

متغیرهای مرتبط با PIPF	وزن به دست آمده از AHP
افزایش انعطاف‌پذیری طراحی	۰/۳۱۱
افزایش انعطاف‌پذیری تولید	۰/۴۹۱
بهبود شرایط کاری	۰/۱۵۸
کاهش کارهای دفتری	۰/۰۴۰

نرخ ناسازگاری = ۰/۰۸

جدول ۸. وزن معیارها در سطح ۲ برای متغیرهای مرتبط با استراتژی کسب‌وکار.

استراتژی کسب‌وکار	وزن به دست آمده از AHP
رشد محصول	۰/۵۴۱
کاهش زمان تحویل	۰/۱۲۲
قابلیت معرفی محصلات جدید	۰/۲۹۳
قابلیت توسعه‌ی سیستم	۰/۰۴۴

نرخ ناسازگاری = ۰/۰۹

زیرسیستم‌های آن کاملاً منطبق بر اهداف استراتژیک شرکت و در مقایسه با ادامه‌ی روند فعلی از اولویت بالایی برخوردار است.

۲.۶. ارزیابی معیارهای عملکرد

شرکت A از فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید از جمله طراحی و ساخت به کمک رایانه (CAD) [۲۰] /(CAM) [۲۱]، کنترل عددی رایانه‌یی (CNC) [۲۲]، سیستم‌های کنترل عددی مستقیم (DNC) [۲۳]، سیستم‌های ساخت‌وتولید انعطاف‌پذیر (FMS) [۲۴]، ربات، فنّاوری گروهی (GT) [۲۵]، ماشین اندازه‌گیری تناسب (CMM) [۲۶] برای تولید محصولات خود بهره می‌برد. مدیران این شرکت عدم کارایی سیستم‌های سنتی و دستی را از عوامل به کارگیری این فنّاوری‌های می‌دانند. همچنین، آنها استفاده از این فنّاوری‌ها را عاملی درکاهش نیروی انسانی، افزایش کیفیت محصولات، افزایش تولید، کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و ایجاد سرعت در فعالیت‌ها می‌دانند. این شرکت توان این را دارد که با استفاده از نرم‌افزار CATIA و Solid works از مدل سه بعدی طراحی شده، برنامه‌ی قطعه را ایجاد و به کمک رایانه‌ی شخصی، به حافظه‌ی CNC برای ساخت منتقل کند. همچنین، در همه‌ی خطوط ماشین‌کاری، فرزکاری، تراشکاری و سری‌تراشی از ماشین کنترل عددی NC و CNC استفاده می‌شود.

در بخش ریخته‌گری تحت فشار (دایکست) از ربات برای ریختن آلومینیوم مذاب استفاده می‌شود که دخالت نیروی انسانی و در نتیجه حوادث در این بخش را حذف کرده است. اگرچه عموماً صنایع مشابه در این حوزه از سیستم‌های CAD/CAM و CNC استفاده می‌کنند، این شرکت از لحاظ فنّاوری جزو برترین شرکت‌ها در صنایع مشابه است.

از سوی دیگر، مشکلات شرکت در رابطه با برنامه‌ریزی و مدیریت نیازمندی‌های مواد و قطعات، برنامه‌ریزی تولید، انبارگردانی، موجودی در جریان ساخت (موجودی پای خط) غیرقابل کنترل، عدم تطابق کامل اطلاعات مهندسی محصول و اطلاعات تولید محصول، و همچنین نیاز به اصلاح ساختار مالی و محاسبه‌ی دقیق قیمت تمام شده و خصوصاً نبود یک بستر اطلاعاتی یکپارچه در سطح شرکت ضرورت به‌کارگیری یک سیستم اطلاعاتی یکپارچه را مشخص می‌کند.

در نتیجه، با توجه به وضعیت فعلی شرکت و اولویت‌های تعیین شده در مرحله‌ی شناسایی اهداف استراتژیک، پیاده‌سازی ERP به عنوان زیرسیستمی از سطح عملیات اطلاعاتی در ارجحیت قرار دارد و جهت‌گیری مناسبی در راستای دستیابی به اهداف شرکت است.

۳.۶. ارزیابی معیارهای مالی

جمع‌آوری اطلاعات مرتبط با پیاده‌سازی، منافع و هزینه‌های آن از طریق مراجعه به کارخانه و دفتر مرکزی و دریافت اطلاعات جزئی همچون هزینه‌های خدمات، پشتیبانی، آموزش و همچنین بررسی حساب‌های مالی، سوابق و مستندات و مصاحبه با مدیران انجام گرفت. در محاسبات انجام گرفته موارد زیر لحاظ شده است:

- سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای سرمایه‌گذاری پروژه‌ی ERP به‌طور کامل از طریق شرکت، به‌عنوان تنها منبع سرمایه‌گذاری، تأمین شده و از سایر منابع وام گرفته نشده است.
- در طول ده سال گذشته شرکت ماشین‌آلات جدید خریداری نکرده است.
- طبق آیین‌نامه استهلاکات موضوع ماده ۱۵۱ قانون مالیات‌های مستقیم، دارایی نامشهود نرم‌افزار مالی طی ۴ سال به روش خط مستقیم مستهلک می‌شود. این استهلاک برای نرم‌افزار ERP از سال ۹۰ تا ۹۳ محاسبه می‌شود.
- افق برنامه‌ریزی ۵ سال در نظرگرفته شده است.
- کمینه‌ی نرخ جذاب سرمایه‌گذاری (MARR) [۲۷] برای محاسبات بر مبنای سال ۸۸ (سال اول سرمایه‌گذاری) ۱۵ درصد در نظرگرفته شده است.
- با توجه به معافیت‌های مالی شرکت، نرخ مالیات بر درآمد ۲۰ درصد است.

جدول ۹. خلاصه‌ی وضعیت ارزیابی مالی پروژه (ای آر پی) (کلیه مبالغ به میلیون ریال).

شرح	سال ۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸
صرفه‌جویی قطعات برگشتی	-	۴۵۴	۳۲۸	۶۵۵	۵۹۴	-
صرفه‌جویی مواد	۷٫۸۰۹	۷۶۴	۷۴۰	۱۰٫۲۵۶	۷٫۲۷۸	-
صرفه‌جویی WIP	۷۴۱	-	-	۱۴٫۱۴۹	۸٫۰۲۳	-
صرفه‌جویی نیروی انسانی	۱۹۰	۱۵۵	۱۲۶	۱۱۴	۹۵	-
هزینه‌ها	۶۲۱	۸۱۴	۲۲۱	۵۱۴	۱٫۲۰۱	۷۰۷
صرفه‌جویی خالص	۸٫۱۲۰	۵۵۹	۹۲۷	۲۴٫۶۶۱	۱۴٫۷۹۰	-
استهلاک	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	-	-
مالیات	۱٫۵۶۴	۵۱	۱۰۰	۴٫۸۷۲	۲٫۹۵۸	۰
جریان نقدی خالص پس از مالیات	۶٫۵۵۶	۵۰۷	۸۷۱	۱۹٫۷۸۹	۱۱٫۸۳۲	-۷۰۷
ارزش خالص فعلی NPV (سال ۸۸) (نرخ بهره ۱۵٪)						۲۸٫۶۶۷
ROR						٪۱۷۲۷٫۱۳
دوره‌ی بازگشت (PB)						۲۲ روز

مأخذ: محاسبات دانشجو بر مبنای گزارش‌های مالی شرکت و شرکت ارائه‌دهنده‌ی ERP

از جمله اقدامات انجام شده در راستای پیاده‌سازی ERP برای شرکت می‌توان به بازبینی مرکز تولیدی محصول، اصلاح نوع ظرف بسته‌بندی و چیدمان آن (به ویژه ایجاد انبارهای میانی)، راه‌اندازی کانبان و اصلاح ظرفیت‌ها، اصلاح روش هزینه‌یابی محصول و تغییر از روش استاندارد به روش هزینه‌یابی بر مبنای فعالیت (ABC) اشاره کرد.

همچنین، در خصوص اطلاعات پایه‌ی مهندسی، درصد ضایعات مجاز مواد مصرفی و فرایند تولیدی و مقدار ریالی آن بررسی و محاسبه شد. فهرست مواد (ساختار محصول) (BOM) [28] برای همه‌ی محصولات ایجاد شد و میزان مصرف مواد در فهرست مواد محصول با توجه به تغییر درصد ضایعات فرایند و مواد، کاهش یا افزایش یافت. پیاده‌سازی ERP برای سازمان منافع ملموس و ناملموس بسیاری به همراه داشته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بهنگام شدن اطلاعات فهرست مواد محصول.
- یکسان شدن واحدهای اندازه‌گیری انبار با واحدهای اندازه‌گیری مهندسی.
- شناسایی مشکلاتی که مانع از اجرای صحیح فرایند تولید تعریف شده توسط واحد مهندسی شده بودند.
- سهولت شناسایی مواد مورد نیاز هر مرکز تولیدی.
- عدم نیاز به محاسبات میزان مواد مورد نیاز برای تولید توسط سرپرستان.
- اشراف کامل بر وضعیت و مقدار مواد، نیمه‌ساخته و محصولات در سطح کارخانه.
- کاهش سرمایه‌گذاری در کالای در جریان ساخت (WIP) [29].
- مدیریت لحظه‌یی مصرف مواد و پیگیری مغایرت‌ها.
- افزایش حس مسئولیت و دقت پرسنل تولیدی در قبال چگونگی مصرف مواد (به دلیل الزام دریافت تأیید مدیر تولید برای دریافت مواد بیشتر از سهمیه‌ی آزاد شده برای مرکز تولیدی).
- بهنگام کردن اطلاعات، که امکان محاسبه‌ی مواد قابل دریافت، موجودی پای خط و وضعیت مصرف مرکز تولیدی را در لحظه برای تحلیل‌گران مهیا می‌کند.
- کاهش زمان انبارگردانی، ایجاد خودکار اسناد حسابداری و کاهش زمان ثبت اسناد مالی.

با توجه به منافع حاصل از پیاده‌سازی ERP و با در نظر گرفتن همه‌ی هزینه‌ها ارزیابی اقتصادی این پروژه انجام گرفت. در جدول ۹ شاخص‌های اقتصادی متداول آمده است.

به‌طور خلاصه، روش ارزش خالص فعلی (NPV) تمام هزینه‌های تخمین زده شده را با تمام درآمدها یا صرفه‌جویی‌ها مقایسه می‌کند. چنانچه منافع و صرفه‌جویی‌ها

با در نظرگرفتن ارزش زمانی پول بیش از هزینه‌ها باشند، پروژه قابل قبول است. برای محاسبه‌ی نرخ بازده داخلی، هدف پیدا کردن نرخ تنزیلی است که مجموع ارزش‌های حال جریان‌های نقدی آینده را با سرمایه‌گذاری اولیه برابر کند و دوره‌ی بازگشت سرمایه عبارت است از مدت زمان لازم برای بازگشت سرمایه‌گذاری اولیه، از محل خالص جریان‌های نقدی ورودی. هرچه دوره‌ی بازگشت کوتاه‌تر باشد، سرمایه‌گذاری مطلوب‌تر خواهد بود.

نتایج ارزیابی مالی نشان می‌دهد که پیاده‌سازی فقط یکی از زیرسیستم‌های CIM تأثیر قابل توجهی بر عملکرد سازمان داشته است؛ به‌طوری که حتی بدون در نظر گرفتن ارزش پولی منافع ناملموس، دوره‌ی بازگشت کم‌تر از یک ماه محاسبه شد. باید به یاد داشت که منافع حاصل از ERP فراتر از نتایج مالی است و نتایج ناملموس بسیاری را نیز در بر می‌گیرد که چنانچه با روش رویل و هریس کمّی شوند تأثیر زیادی بر نتایج مالی خواهند داشت.

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پیاده‌سازی فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید، خصوصاً CIM، منافع و هزینه‌های ملموس و ناملموس زیادی دارد. با وجود این، بسیاری از مدیران ساخت و تولید بدون در نظرگرفتن نتایج حاصل از بهره‌گیری از این سیستم‌ها هزینه‌های بالا و ریسک سرمایه‌گذاری در این سیستم‌ها را مانعی برای پیاده‌سازی می‌دانند. همچنین روش‌های سنتی ارزیابی که تنها بر شاخص‌های مالی متکی هستند، برای توجیه این سیستم‌ها مناسب نیستند. در این مقاله با استفاده از نظریه‌ی طراحی بدیهه‌گرا، چارچوبی برای توجیه و ارزیابی فنّاوری‌های پیشرفته‌ی ساخت و تولید ارائه شد. با توجه به نیازمندی‌های یک چارچوب مناسب برای ارزیابی، ترکیب روش‌های استراتژیک، تحلیلی و اقتصادی برای تحلیل فرایند سرمایه‌گذاری پیشنهاد شد. همچنین، با کمّی کردن منافع ناملموس از طریق یک روش ۴ مرحله‌یی می‌توان ارزش پولی منافع را محاسبه و وارد جریان نقدی کرد و کاستی‌های روش‌های سنتی اقتصادی را برطرف کرد. در نهایت، با استفاده از چارچوب توجیه به دست آمده پیاده‌سازی سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمانی به عنوان یکی از زیرسیستم‌های یکپارچه‌ی اطلاعاتی CIM در یک شرکت بزرگ قطعه‌ساز توجیه شد.

بدیهی است که پژوهش درباره‌ی مسئله‌ی سرمایه‌گذاری در فنّاوری‌های پیشرفته، به خصوص با پیشرفت روزافزون فنّاوری اطلاعات و مکانیک به پایان نرسیده است. تجربه‌های جدید و فهم عمیق‌تری که در آینده به دست می‌آیند ممکن است نتایج جدیدی را نشان دهند. یکی از مواردی که برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود، استفاده از اصل دوم نظریه‌ی طراحی بدیهه‌گرا (اصل کمینه‌سازی اطلاعات) برای تحلیل مقایسه‌یی بین وضعیت فعلی و مطلوب است.

منابع (References)

1. Ghazinurri, S., Olfat, L. and Farhadyar, F. "Relation of applying advanced manufacturing technologies with competitive priorities and performance of SMEs in the textile industry", *Journal of Technology management, First year*, **4**, Iran (2014).
2. Park, C.S. and Son, Y.K. "An economic evaluation model for advanced manufacturing systems", *The Engineering Economist*, **34**(1), PP 1-26 (1988).
3. Nagalingam, S.V. and Lin, G.C.I. "A Unified approach towards CIM justification", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, **10**(2), PP 133-145 (1997).
4. Nagalingam, S.V. and Lin, G.C.I., *CIM Justification and optimization*, TAYLOR & FRANCIS, USA and UK (2000).
5. Boaden, R.J. and Dale, B., "Technical Management Notes", *IEEE Transactions on Engineering Management*, **37**(4), PP. 291-296 (1990).
6. Sullivan, K.H., "Models IEs can use to include strategic non-monetary factors in automation decision", Ind. Eng, PP. 42-50 (1986).
7. Parsaei, H. R. and Wilhelm, M.R., "A justification methodology for automated manufacturing technologies", *Computers Ind. Engineering*, **16**(3), pp. 363-373 (1989).
8. Meredith, J.R. and Suresh, N. "Justifying multi-machine systems: An integrated strategic approach", *Journal of manufacturing systems*, **4**(2), PP. 117-134 (1985).

پانوشت‌ها

1. computer integrated manufacturing
2. advanced manufacturing technology
3. pay back
4. return on investment
5. internal rate of return
6. net present value
7. discounted cash flow
8. design axiomatic
9. critical success factors
10. functional requirements
11. design parameters
12. uncoupled
13. decoupled
14. information content
15. coupled
16. analytic hierarchy process
17. enterprise resource planning
18. supply chain management
19. activity based costing
20. computer aided design
21. computer aided manufacturing
22. computer numerical control
23. direct numerical control
24. flexible manufacturing systems
25. group technology
26. coordinate measuring machine
27. minimum attractive rate of return
28. bill of material
29. work in process

9. Kakati, M. and Dhar, U.R., "Investment justification in flexible manufacturing systems", *Engineering Costs and Production Economics*, **21**(3), PP. 203-209 (1991).

10. Vrakking, W.J. "Consultants' role in technological process innovation", *Journal of Management Consulting*, **5**(3), PP. 17-24 (1989).

11. Slagmulder, R. and Bruggeman, W., "Investment justification of flexible manufacturing technologies: inferences from field research", *International Journal of Operation and Production Management*, **12**(7-8), PP. 168-186 (1992).

12. Meredith, J.R. and Suresh, N., "Justification techniques for advanced manufacturing technologies",*Int. J. Prod. RRS*, **24**(5), PP. 1043-1057 (1986).

13. Swamidass, P.M. and Waller, M.A., "A Classification of approaches to planning and justifying new manufacturing technologies", *Journal of Manufacturing systems*, **9**(3), PP. 181-193 (1990).

14. Chan, F.T.S, Chan, M.H., Lau, H. and IP, R.W.L. "Investment appraisal techniques for advanced manufacturing technology (AMT): a literature review", *Integrated Manufacturing Systems*, **12**(1), PP. 35-47 (2001).

15. Lavelle, J.P., Liggett, H.R. and Parsaei, H.R., *Economic Evaluation of Advance Technologies: Techniques and Case Studies (Automation and Production Systems*, TAYLOR & FRANCIS, USA and UK (2001).

16. Anandarajan, A. and Wen, H. J. "Evaluation of information technology investment", *Journal of Management Decision*, **37**(4), PP. 329-337 (1999).

17. Murphy, K., Simon, S. J. "Intangible benefits valuation in ERP projects", *Information Systems Journal*, **12**, PP. 301-320 (2002).

18. Primrose, P.L. and Leonard, R., "The financial evaluation and economic application of Advanced manufacturing technology", *Proceedings of planning for Automated Manufacture*, pp.49-54 (1986).

19. Molaei, F., "Study of technology pricing methods", *Journal of Basparesh*, **2**, PP. 59-65, Iran (2012).

20. Houshmand, M. and Jamshidnezhad, B. "A lean manufacturing roadmap for an automative body assembly line within axiomatic design framework", *IJE Transactions A: Basic*, **17**(1), PP. 51-72 (2004).

21. Kulak, O., Cebi, S. and Kahraman, C. "Applications of axiomatic design principles: A literature review", *Expert systems with application*, **37**, PP. 6705-6717 (2010).

22. Love, P.E.D , Irani, Z., "Evaluation of IT costs in construction", *Automation in construction*,**10**, PP. 649-658 (2001).

23. Irani, Z., Ezingeard, J.N. and Grieve, R. J., "Integrating the costs of a manufacturing IT/IS infrastructure into the investment decision making process", *Technovation*, **17**(11), 12, PP. 695-706 (1997).