ارائه‌ی مدل تلفیقی مهندسی معکوس و مهندسی ارزش برای طراحی محصول(مطالعه‌ی موردی در صنایع هوافضا)

حسام زندحسامی
دکتری مدیریت تولید
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی قزوین
Zandhessami@yahoo.com
میرمجید رضویان
دکتری مدیریت تولید
مدیر پژوهشکده‌ی علوم و فناوری مکانیک سازمان هوافضا
آرش جاوید
کارشناس ارشد مدیریت تولید- دانشگاه شهید بهشتی
Arash3318@yahoo.com

چکیده

آیا پیمودن راهی که کشورها و سازمان‌های توسعه‌یافته در صد سال پیموده‌اند، برای کشورها و سازمان‌های در حال توسعه نیز صد سال طول خواهد کشید؟ امروزه کشورها و سازمان‌های در حال توسعه با توجه به محدودیت‌های انتقال تکنولوژی(اعم از محدودیت‌های مالی، تحریم‌های اقتصادی و سیاسی و از این قبیل موارد) و لزوم انتقال تکنولوژی جهت دست‌یابی به دانش روز و تقویت رقابت‌پذیری به روش‌ها، تکنیک‌ها و ابزارهای متعددی روی آورده‌اند، تا با استفاده از این روش‌ها، تکنولوژی را بومی کرده و از مطالعه‌ی آن، راهی برای خلق دانش و ایجاد تکنولوژی فراهم آورند. دراین راستا یکی از روش‌ها و ابزارهای سودمند که تا کنون بارها آزمایش شده است روش مهندسی معکوس می‌باشد. با مطالعه‌ای بر ادبیات موضوعی و مراجعه به بهترین تجارب عملی در بکارگیری این روش می‌توان دریافت که بسیاری از کشورها و سازمان‌های توسعه‌یافته امروزی سالیانی پیش با استفاده از مهندسی معکوس به تکنولوژی‌های روز دست یافته و پس از مدتی خود خالق تکنولوژی‌های نوین شده‌اند. در این پژوهش محققین با طرح این پرسش که آیا مهندسی معکوس به تنهایی جوابگوی مشکلات امروزی است، با توجه به یافته‌های علمی و تجارب عملی خود و با استفاده از روش تحقیق کیفی(موردکاوی) به ارائه‌ی مدل تلفیقی مهندسی معکوس و مهندسی ارزش پرداختند و نهایتا مدل پیشنهادی در یکی از پروژه‌های صنایع سازمان هوافضا مورد بررسی و آزمون قرار گرفت و نتایج بی‌سابقه‌ای را دربرداشت که نهایتا علاوه بر کسب دانش فنی، کاهش هزینه تولید، کاهش اقلام تشکیل‌دهنده، افزایش کارایی و قابلیت‌های محصول را دربرداشت.

کلمات کلیدی: مهندسی معکوس- مهندسی ارزش- طراحی مجدد- طراحی محصول

Value Engineering Knowledge Reference
مرجع دانش مهندسی ارزش ایران
www.IranValue.org
info@IranValue.org

۱. مقدمه

آیا پیمودن راهی که کشورها و سازمان‌های توسعه‌یافته در صد سال پیموده‌اند، برای کشورها و سازمان‌های در حال توسعه نیز صد سال طول خواهد کشید؟!

این سئوالی است که شاید بارها و بارها پرسیده شده و مورد بحث قرار گرفته است. سئوال دیگری که معمولاً مطرح می‌شود این است که با توجه به سرعت سرسام‌آور رشد تکنولوژی کشورها و سازمان‌های توسعه‌یافته، آیا مجالی برای کشورها و سازمان‌های در حال توسعه وجود دارد که روزی خود را در زمرهٔ کشور و یا سازمان توسعه یافته و صنعتی ببینند و یا این فاصلهٔ همیشگی وجود دارد و بیشتر هم خواهد شد؟! چگونه می‌توان به تکنولوژی مورد نظر دست یافت؟ آیا یک مجموعه (یک کشور) باید در تمام زمینه‌ها پیشرو باشد و یا سیاست انتخاب مناسب‌ترین گزینه و پیشرو بودن در آن مناسب‌تر است؟ و.... این‌ها سئوالاتی هستند که در رده‌های راهبردی کشورها و سازمان‌ها همواره مورد بحث و بررسی بوده است. در تحقیق حاضر با اتکا بر تجارب محققین بر ارایهٔ راه حل و پاسخی به برخی از سئوالات مطرح شده پرداخته شده است.

امروزه کشورها و سازمان‌های در حال توسعه با توجه به محدودیت‌های انتقال تکنولوژی (اعم از؛ محدودیت‌های مالی، تحریم‌های اقتصادی و سیاسی و از این قبیل موارد) و لزوم انتقال تکنولوژی جهت دستیابی به دانش روز و تقویت رقابت‌پذیری به روش‌ها، تکنیک‌ها و ابزارهای متعددی روی آورده‌اند تا علی‌رغم محدودیت‌هایی که در انتقال تکنولوژی روز وجود دارد، با استفاده از این روش‌ها، تکنولوژی را خانگی کرده و با مطالعه بر آن، راهی برای خلق دانش و ایجاد تکنولوژی را فراهم آورند. از این رو یکی از روش‌ها و ابزارهای سودمند که تا کنون بارها و بارها آزمایش شده است، روش مهندسی معکوس می باشد. با مطالعه‌ای بر ادبیات موضوعی و مراجعه به بهترین تجارب عملی در بکارگیری این روش می توان دریافت که بسیاری از کشورها و سازمان‌های توسعه‌یافته و صاحب تکنولوژی سالیانی پیش با استفاده از مهندسی معکوس به تکنولوژی‌های روز دست یافته و پس از مدتی خود خالق تکنولوژی‌های نوین شده‌اند.

تجربه نشان داده است که تلفیق رویکردهای نوین، اثربخشی آنها را افزایش می دهد. با توجه به ماهیت رویکرد مهندسی معکوس، با دیدگاه رویکرد تلفیقی[1] با تلفیق این رویکرد با رویکردهای دیگر می توان کارایی و اثر بخشی آنرا را ارتقاء داد.

در این تحقیق سعی خواهد شد با بررسی‌ها و جستجوهای صورت گرفته به سئوالات اساسی پاسخ داده شود.

مهندسی معکوس را به چه صورت می توان از طریق مهندسی ارزش توسعه داد؟

آیا می توان بر مبنای رویکرد تلفیقی مهندسی معکوس و مهندسی ارزش به رویکردی نوین و مؤثر برای دستیابی به دانش فنی، انتقال تکنولوژی و بهبود تکنولوژی ایجاد کرد؟

۲. مهندسی معکوس

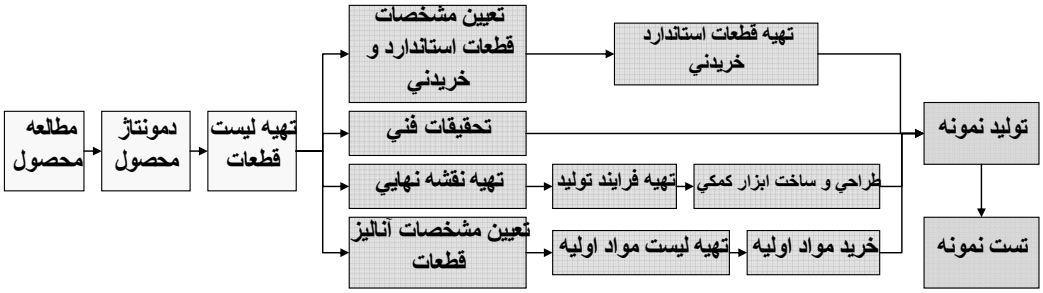
کشورهای در حال توسعه برای دستیابی به تکنولوژیهای پیچیده و رشد و توسعه‌آنها، نیازمند روشی هستند که پایه‌های اساسی تکنولوژی مورد نیاز را استوار سازد و شکاف تکنولوژیکی بین این کشورها و کشورهای پیشرفته را در زمان مناسب پر نماید. در بین روشهای مختلف دستیابی به دانش فنی، مهندسی‌معکوس مناسب‌ترین روش دسترسی به تکنولوژی پیچیده و رشد و توسعه آن می‌باشد. در این روش متخصصین و محققین رشته‌های مختلف علوم کاربردی توسط دستگاه‌ها و تجهیزات مدرن و دقیق آزمایشگاهی و نمونه‌سازی، سعی در بدست‌آوردن مدارک و نقشه‌های طراحی محصول مورد نظر می‌نمایند. از سوی دیگر باید توجه داشت که مهندسی معکوس به عنوان یکی از روشهای اصولی در دستیابی به دانش فنی، حسب اینکه از چه میزان اطلاعات و دانش فنی، و یا از چه نوع الگو و مدلی استفاده نماید، به روشهای فرعی دیگری قابل تفکیک است. روش‌هایی چون؛ بیونیک، تکنونیک، مهندسی معکوس در روند انتقال تکنولوژی، و مهندسی معکوس از روی کارخانه موجود، روشهای معمول مهندسی معکوس هستند. مهندسی معکوس به عنوان فرآیند مشخص کردن مشخصات و اطلاعات یک سیستم سخت‌افزاری پیچیده یا بخشی از آن، از طریق بررسی‌های منظم نمونه‌هایی از محصول مورد نظر آغاز می‌گردد. بررسی این مشخصات و ویژگی‌ها توسط اشخاصی غیر از طراحان اصلی محصول صورت می‌پذیرد. در عملیات مهندسی معکوس لازم

[1] Hybrid Architecture

است که مراحل تحقیقات کاربردی، کارخانه تولیدی، نگهداری و توزیع، مصرف و سیاست‌های تعمیرونگهداری به دقت مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگیرد. یکی از نکات کلیدی و حساس در انجام فرآیند مهندسی معکوس یک محصول پیچیده توجه به ساختار سلسله مراتبی محصول می‌باشد. در ارائه مدلی سیستماتیک جهت کشف و تثبیت اطلاعات و مشخصات، از مفهوم دو سطحی مجموعه و عناصر استفاده شده که در بالاترین سطح سلسله مراتب، محصول معادل مجموعه و در پایین‌ترین سطح سلسله مراتب، قطعات معادل عناصر خواهند بود. توجه به مفهوم ساختار سلسله مراتب محصول، ساختار سلسله مراتب مشخصات را بهتر روشن می‌نماید. بدون کشف و تثبیت مشخصات عملیاتی و ابعادی محصول، آشکار کردن مشخصات عملیاتی و ابعادی قطعات امکانپذیر نخواهد بود. لذا چرخه‌های مدام کشف اطلاعات از بالاترین سطح‌سلسله مراتب شروع شده و تا پایین‌ترین سطح سلسله مراتب ادامه پیدا می‌کند. مشابه چرخه‌های "کشف" اطلاعات در مراحل دمونتاژ و مونتاژ، چرخه‌های "تثبیت" مداوم اطلاعات و مشخصات، در مراحل مونتاژ و تعمیرات محصولات انجام می‌پذیرد تا سلسله مراتب مشخصات محصول نیز تثبیت گردد.

مهندسی معکوس روشی آگاهانه برای دستیابی به فن‌آوری حاضر و محصولات موجود است. این رویکرد روشی منطقی و نظام‌مند برای تعیین میزان کمبود اطلاعات فنی به منظور پشتیبانی از تولید یک محصول و انجام یک کار تیمی منسجم برای تکمیل این اطلاعات است.

در این روش، متخصصین رشته‌های مختلف علوم پایه و کاربردی از قبیل مکانیک، فیزیک اپتیک، مکاترونیک، شیمی پلیمر، متالورژی، الکترونیک و ... جهت شناخت کامل نحوه عملکرد و کارکرد یک محصول که الگوی فن‌آوری مذکور می‌باشد تشکیل گروه‌های تخصصی داده و توسط تجهیزات پیشرفته و دستگاه‌های دقیق آزمایشگاهی به همراه سازماندهی مناسب تشکیلات تحقیقات و توسعه (R&D) سعی در به دست آوردن مدارک و نقشه‌های طراحی محصول مورد نظر دارند تا پس از مراحل نمونه‌سازی (Prototyping) و ساخت نیمه صنعتی (Pilot plant) در صورت لزوم، تولید محصول مورد نظر طبق استاندارد فنی محصول الگو انجام شود. همان‌گونه که اشاره شد استفاده از روش مهندسی معکوس برای کشورهای در حال توسعه یا عقب مانده روش بسیار مناسبی جهت دسترسی به فن‌آوری، رشد و توسعه می‌باشد. این کشور ها که در موارد بسیاری از فن‌آوری ها در سطح پایینی قرار دارند، در کنار روش ها و سیاست های دریافت دانش فنی، مهندسی معکوس را مناسب ترین روش دسترسی به فن آوری تشخیص داده و سعی می کنند با استفاده از روش مهندسی معکوس، اطلاعات و دانش فنی محصولات موجود، مکانیزم عملکرد و هزاران اطلاعات مهم دیگر را بازیابی کرده و در کنار استفاده ار روش های مهندسی مستقیم (Forward Engineering) و روش های ساخت قطعات، تجهیزات، تسترهای مورد استفاده در خط مونتاژ و ساخت مانند قالب ها، گیجها و فیکسچرها و دستگاههای کنترل، نسبت به ایجاد کارخانه ای پیشرفته و مجهز جهت تولید محصولات فوق اقدام نمایند. همچنین ممکن است مهندسی معکوس، برای رفع معایب و افزایش قابلیت های محصولات موجود نیز مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال در کشور آمریکا، مهندسی معکوس توسط شرکت "جنرال موتورز" روی محصولات کمپانی "فورد " و نیز بر عکس، برای حفظ وضعیت رقابتی و رفع نواقص محصولات به کار برده شده است.



شکل۱: مدل مهندسی معکوس

۲,۱. شناخت محصول و جمع آوری اطلاعات

در این مرحله مشخصات فنی، فیزیکی، قابلیتها و امتیازات، معایب و محدودیتهای محصول و. . . مورد بررسی قرار گرفته و مواردی مانند چگونگی بکارگیری دقیق و صحیح آن، چگونگی عملکرد مجموعه‌ها و قطعات، چگونگی بازکردن و بستن قطعات، سرویس و نگهداری، استفاده از تجهیزات و ابزارهای جانبی، چگونگی ارتباط با دستگاهها و سیستمهای پیرامونی که محصول با آنها در ارتباط است(در صورت وجود) مشخص می شوند.

۲,۲. دمونتاژ محصول

در این مرحله ابتدا محصول به صورت مجموعه های مستقل دمونتاژ شده و سپس هر مجموعه بصورت قطعات تکی دمونتاژ می شود. پس از دمونتاژ، کلیه قطعات شستشو داده می شوند و برای مشخص شدن جایگاه هرقطعه در مجموعه و جلوگیری از جابجایی قطعات، آنها را با برچسبهایی از یکدیگر متمایز می کنند. پس از این مرحله، از هرمجموعه در حالت مونتاژی و انفجاری عکسهایی تهیه می شوند و سپس از مراحل مونتاژ مجموعه ها فیلم و کروکی های لازم تهیه خواهد شد.

۲,۳. تهیه لیست قطعات

در این مرحله لیست قطعات شامل اطلاعاتی مانند ردیف، شماره تصویر، نام قطعه، شماره قطعه، تعداد هر کد در محصول، نوع و محل ساخت و سایر ملاحظات تهیه می گردد.

۲,۴. تعیین مشخصات قطعات استاندارد و خریدنی

در این مرحله قطعات استاندارد، نزدیک به استاندارد و خریدنی بهمراه مشخصات آنها مشخص شده و اطلاعات کاملی از آنها در لیستهای مربوطه درج می شوند.

۲,۵. تحقیقات فنی

در این مرحله پس از انجام تحلیل مکانیکی(استاتیکی و دینامیکی) که با استفاده از آن می‌توان در مورد تغییر جنس، ابعاد، روش ساخت قطعات و عیوب احتمالی در هنگام تولید تصمیم‌گیری نمود، اقدام به انجام تحقیقات جایگزینی خواهد شد. تحقیقات جایگزینی عبارتست از انجام کلیه فعالیت‌های لازم جهت جایگزین نمودن قطعه یا مجموعه‌ای بجای قطعه یا مجموعه‌ای دیگر.

۲,۶. تهیه نقشه اصلی

در این مرحله ابتدا به منظور ثبت اندازه‌ها و انتقال آنها یک کروکی دستی(Sketch) تهیه می‌شود، سپس با استفاده از این کروکی قطعه به روش کامپیوتری طراحی شده و اصلاحات لازم بر آن اعمال می‌شود.

بعد از تهیه نقشهٔ کامپیوتری اندازه‌های اسمی، تلرانس‌ها، صافی سطوح و سایر اطلاعات تکمیلی تعیین شده و تغییرات لازم در نقشه اعمال می‌شود. در انتها پس از تهیه نقشه های مادر و نهایی و اطمینان از صحت کلیهٔ اطلاعات آن نقشه‌های تصویب شده جهت اجرایی شدن آماده می‌گردد.

۲,۷. تعیین مشخصات متالورژیکی قطعات

در این مرحله پس از جداسازی قسمتی از قطعهٔ اصلی، آزمایشاتی از قبیل سختی سنجی، آنالیز، متالوگرافی، ماکرواچ و تست کشش و ضربه انجام می‌شود. سپس لیست مواد اولیه مورد نیاز تهیه و فعالیت‌های مربوط به خرید و تامین مواد صورت می‌گیرد. در انتها نقشه های فورج و ریخته‌گری قطعات تهیه می‌شود.

۲,۸. تهیه فرایند تولید

در این مرحله چگونگی و مراحل انجام کار برای تولید قطعه در فرمت‌های مشخصی تنظیم شده و ابزارهای کمکی مورد نیاز تولید طراحی و ساخته می‌شود.

۲,۹. تولید نمونه

در این مرحله اقدام به ساخت قطعات تشکیل دهندهٔ محصول و نهایتاً مونتاژ محصول نمونه می‌شود.

۲,۱۰. تست نمونه

به علت عدم اطمینان از کیفیت مورد نیاز مواد مصرفی، روش ساخت بکار رفته، ایمنی و عملکرد صحیح قطعات، مجموعه‌ها و محصول، لازم است تست‌هایی طراحی شوند تا در زمینهٔ موارد فوق‌الذکر اطمینان مورد نظر حاصل شود. هدف از انجام تست پس از مرحله نمونه سازی علاوه بر کنترل صحت انجام مراحل ساخت، کنترل صحت و سلامت طرح و مدارک ساخت نیز می‌باشد.

البته با توجه به پیشرفت علوم کامپیوتری و توانمندشدن نرم‌افزارهای موجود در زمینه طراحی و ساخت، امروزه چندین مرحله از کار از جمله طراحی تا تولید و تست نمونه قبلاً در کامپیوتر مورد بررسی قرار گرفته و اعتبارسنجی می‌شود.

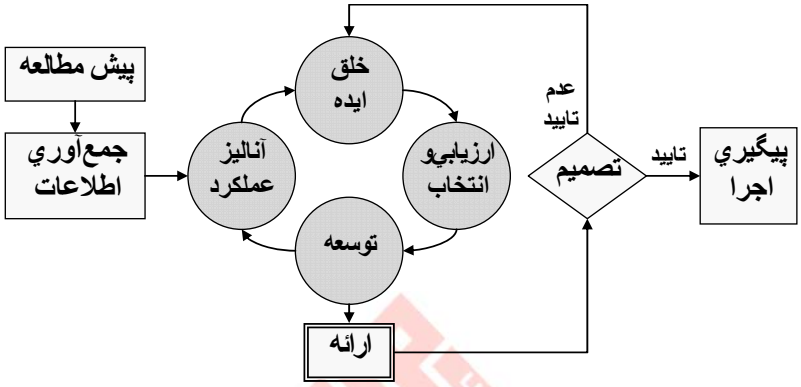
۳. مهندسی ارزش

مهندسی ارزش یک فن‌آوری نظام‌یافته و مبتنی بر خلاقیت و تفکر جمعی است که با تحلیل کارکرد محصول, پروژه یا یک سیستم سعی دارد کارکردهای مورد نیاز را با حداقل هزینه و با حفظ ارزش از جمله عملکرد، امکان‌پذیری، زیبائی واز این قبیل موارد را تامین نماید. این روش مشخصاً بر اساس تحلیل کارکرد پایه‌گذاری شده است.

کاربرد نظام‌مند مهندسی ارزش در پروژه‌های عمرانی و صنعتی موجب اثربخشی (گزینش بهینه طرح) و کارائی (اجرای بهینه پروژه) می‌شود.

۳,۱. فرایند مدیریت/ مهندسی ارزش

مهندسی ارزش یک فرایند مستمر و دائمی است که با ۶ گام کلی می توان آنرا نشان داد. مدل زیر که نمونه‌ای برداشت شده از استاندارد اروپایی EN 12973:2000 می‌باشد این چرخه را نشان می دهد. همانطور که در مدل نیز مشهود است چرخهٔ ارزش بطور دائمی در جریان بوده و بهبود مستمری را در برخواهد داشت.



شکل ۲: مدل چرخهٔ مهندسی ارزش

۳,۲. تحلیل کارکرد در مرحله طراحی مفهومی

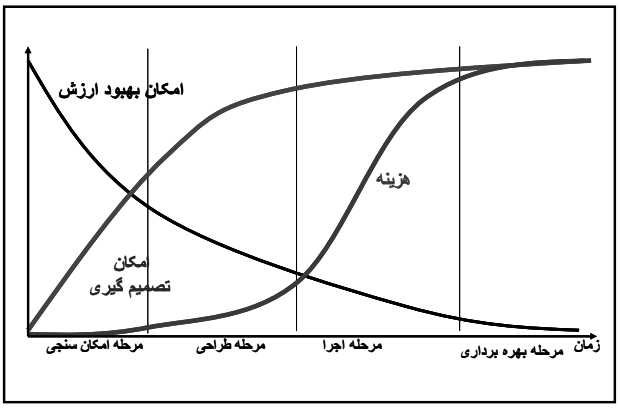
تحلیل کارکرد در مرحله طراحی مفهومی به منظور کاهش هزینه‌ها با تحلیل کارکردهای اصلی صورت می‌گیرد. این روش، راهی برای طراحی پروژه بر اساس اهداف تعریف شده است. تحلیل کارکرد در مرحله طراحی مفهومی موجب مشخص شدن مشکلات خرد و کلان پروژه می‌شود و کمک می‌کند تا مسائل و مشکلات بزرگ به مسائل قابل حل تبدیل شود.

بطور کلی تحلیل کارکرد در مرحله مفهومی باعث می‌شود که اجرای پروژه با هزینهٔ کمتری صورت پذیرد. مهندسی ارزش در این مرحله کمک می‌کند تا انگیزه همه در جهت صرفه‌جویی پروژه بروز نماید. تحلیل کارکرد در مرحله مفهومی باعث شفافیت پروژه در مراحل اولیه و انجام موفقیت‌آمیز آن در مراحل بعدی می‌شود. از این رو در طراحی مدل تلفیقی تحلیل کارکرد از پایه های اساسی بوده است.

۳,۳. مناسب‌ترین زمان اجرای مهندسی ارزش

معمولاً ۲ عامل میزان صرفه جویی(ارزش‌آفرینی) و درجهٔ پذیرش با تغییر در انتخاب زمان مناسب برای اجرای متدولوژیهای ارزش تاثیرگذار می‌باشد.

همانطور که در نمودار ذیل که حاصل پژوهش‌های متعدد در زمینه ارزش است نشان داده شده است، بیشترین کاربرد و اثربخشی مطالعات ارزش در مراحل اولیه پروژه‌ها، به عبارت دیگر در مرحله طراحی پروژه‌ها است.



نمودار۱: پتانسیل بهبود با توجه به مراحل پروژه

۳,۴. موارد کاربرد مهندسی ارزش

از مهندسی و متدولوژی‌های ارزش می‌توان در ابعاد و جنبه‌های گوناگونی استفاده کرد. معمولاً نتایج حاصل از بکارگیری متدولوژی‌های ارزش را می‌توان برای کاهش هزینه، خطرپذیری کمتر، کوتاه‌سازی زمان فرایند، دستیابی به

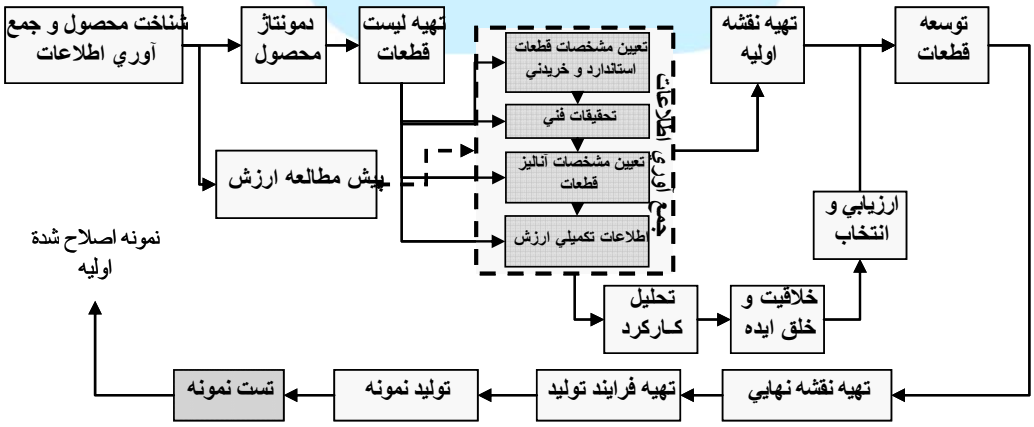
فن‌آوری مطلوب، حفاظت از محیط‌زیست، حداقل‌سازی اثرات منفی اجتماعی، سازگاری بیشتر معیارهای پروژه، سادگی در ساخت و راحتی در بهره برداری و نگهداری و از این قبیل موارد بکار برد.

۳.۵. برخی از موانع و مشکلات اجرایی پروژه های مهندسی ارزش

طی بیش از نیم قرن بکارگیری متدولوژی‌های مختلف ارزش و بکارگیری آن در پروژه‌های متنوع و متعدد نتایج مختلفی حاصل شده است و نکته حایز اهمیت این است که برخی از این پروژه ها با شکست مواجه شده اند که در این راستا می‌توان برخی از موانع اجرایی پروژه‌های مهندسی ارزش را چنین برشمرد؛ کمبود زمان برای دستیابی به نتیجه، پیچیدگی و دشواری روش اجرایی مهندسی ارزش، عدم آگاهی و آشنایی با متدولوژی مهندسی ارزش، هزینه‌بر بودن اجرای پروژه‌ها، بی‌اعتقادی مجریان و تعریف پروژه‌های اجباری.

۴. مدل تلفیقی مهندسی ارزش و مهندسی معکوس

پس از مطالعهٔ مدل‌های ارائه شده برای مهندسی / مدیریت ارزش و مهندسی معکوس و با روش مطالعه موردی محققین نهایتاً مدل حاضر را پس از ۴ مرحله مدلسازی آزمایشی و انجام اصلاحات لازم مورد استفادهٔ نهایی قرار دادند. مدل ارائه شده با استفاده از پرسشنامه‌ای که به همین منظور و با توجه به روش نظرسنجی خبرگان تهیه شده بود، اعتبارسنجی شد و نهایتاً با پیاده‌سازی مدل ارائه شده در فرایند دستیابی به دانش فنی و ساخت نمونهٔ یکی از قطعات پروژه‌ای در سازمان هوافضا بطور عملی نیز مورد آزمون و اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج بکارگیری مدل ارائه شده متعاقباً اشاره شده است.



شکل ۳: مدل تلفیقی مهندسی معکوس و مهندسی ارزش

۵. نتایج حاصل از بکارگیری مدل تلفیقی در فرایند دستیابی به دانش فنی و ساخت نمونه

در این پژوهش یکی از پروژه‌های ارزشمند و حیاتی سازمان هوا فضای جمهوری اسلامی ایران به عنوان نمونه در نظر گرفته شد. از آنجا که پروژه فوق الذکر بالغ بر ۳۵۰۰ قطعه و زیرسیستم داشت، یکی از قطعات که از اهمیت خاصی به لحاظ تکرار در پروژه برخوردار بود انتخاب و نتایج دستیابی به دانش فنی و محصول نمونه بطور جداگانه با ۲ روش مهندسی معکوس و مدل تلفیقی مهندسی معکوس و مهندسی ارزش مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، ابتدا نقشهٔ قطعهٔ مورد نظر با روش مهندسی معکوس تهیه و فرایند تولید با توجه به نمونه اصلی تهیه و تدوین گردید، سپس با توجه به مدل ارائه شده و با استفاده از فرایند مهندسی ارزش تغییراتی در جنس, طرح و روش ساخت قطعه اعمال گردید. نهایتاً قطعهٔ مورد نظر(S&A) با دو جنس مواد و فرایند ساخت کاملاً متفاوت (بدنهٔ فلزی و بدنهٔ پلیمری) ساخته شد که اطلاعات مقایسه‌ای ۲ روش مذکور در ذیل اشاره شده است.

۵،۱. مقایسهٔ زمان بهای تمام شده و میزان صرفه‌جویی

با توجه به تاکیدات مهندسی ارزش و با استفاده از اطلاعات مهندسی معکوس، پس از استخراج نقشه‌ها و فرایندهای ساخت اقلام تشکیل دهنده هزینه‌ای دو روش استخراج و در جداول ۱ و۲ نشان داده شده است.

عنوان هزینهٔ اقلام	هزینه(رِیال)
هزینه مواد اولیه	11,820
هزینه تبدیل	134,241
هزینه ضایعات	13,424
هزینه بسته بندی	1,300
جمع هزینه ساخت یک واحد فلزی	160,784

جدول۱: محاسبه بهای تمام شدهٔ ساخت قطعهٔ فلزی(با استفاده از مهندسی معکوس)

عنوان هزینهٔ اقلام	هزینه(رِیال)
جمع هزینه تحقیقات	6,500
هزینه طراحی و ساخت قالب	6,945
هزینه مواد اولیه	2,600
هزینه فرایند ساخت	12,315
هزینه ضایعات	5,184
هزینه بسته بندی	1,300
جمع هزینه ساخت یک واحدپلیمری	34,844

جدول۲: محاسبه بهای تمام شدهٔ ساخت قطعهٔ پلیمری(با استفاده از تلفیق مهندسی معکوس و مهندسی ارزش)

همانطور که در جداول ۱و۲ مقایسهٔ بهای تمام شدهٔ ساخت یک واحد S&A با بدنهٔ فلزی و بدنهٔ پلیمری نشان داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که با ساخت هر واحد پلیمری معادل ۱۲۵،۹۴۰ریال (۱۲۵،۹۴۰ = 34,844 -160,784) صرفه جویی صورت خواهد گرفت. از آنجا که حداقل تعداد مورد نیاز از این قطعه ۱۰،۰۰۰ عدد می باشد، صرفه‌جویی کل حدوداً معادل ۲،۹۰۳،۶۱۰،۰۰۰ ریال خواهد شد.

۵،۲. مقایسهٔ زمان تولید

با توجه به جنس قطعات و دشواری فرایند هر یک، پس از آزمایشات صورت گرفته نتایج ذیل حاصل شده است.

نوع قطعه تولیدی	نرخ تولید در یک شیفت کاری	نرخ تولید با کیفیت	قطعات قابل بسته بندی
قطعهٔ فلزی	۱۰	٪۹۰	۹
قطعهٔ پلیمری	۲۰۰	٪۵۰	۱۰۰

جدول۳: جدول مقایسه ای زمان تولید

نسبت قطعات تایید شده پلیمری به قطعات تایید شده فلزی نشان دهندهٔ میزان کارایی روش جدید می باشد.

طبق توزین های انجام شده وزن بدنهٔ فلزی ۲۸/۶ گرم و وزن بدنهٔ پلیمری با اینسرت های فلزی کاشته شده در ان ۱۵/۲۱ گرم است. در نتیجه قطعه پلیمری حدوداً ٪۵۰ سبک تر از قطعهٔ فلزی است که با توجه به کاربرد این قطعه در صنایع هوافضا این کاهش وزن اهمیت بسزایی در کاهش وزن کلی محصول و در نتیجه صرفه جویی در سوخت دارد.

۶. نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش می توان گفت اولاً تلفیق مدل مهندسی معکوس و مهندسی ارزش اثرات قابل توجهی را در کیفیت دست یابی به دانش فنی و بکارگیری آن در صنایع مشابه خواهد داشت، ثانیاً مدل ارائه شده از اعتبار لازم برخوردار بوده و می‌توان از این مدل مفهومی به عنوان پایه ای برای مطالعات گسترده تر در این خصوص بهره جست.

از آنجا که می‌توان از مدل‌های مفهومی تعابیر مختلف داشت و معمولاً اعتبار آنها با آزمایشات متعدد افزایش پیدا می‌کند، پژوهشگران با عنایت به این موضوع مدل مورد نظر را با نگرش بهبود مستمر طراحی و بسط داده‌اند که برای مطالعات آتی مدل ارائه شده باید در صنایع مختلف مورد آزمایش قرار گیرد و در صورت نیاز تعدیل و تکمیل شود.

مراجع

۱. اکبرپور شیرازی، محسن، مهندسی معکوس، رهیافتی برای توسعهٔ تکنولوژی، رسالهٔ دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۹

۲. عنی، عسگر، کاربرد مهندسی معکوس در دسترسی به تکنولوژی محصولات پیچیده، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۷۴

۳. موافقی محلی، احمد، بررسی عوامل موثر بر انتقال تکنولوژی از طریق مهندسی ارزش، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ۱۳۷۸

۴. میر محمد صادقی- سید علیرضا،" مرحلهٔ طراحی مفهومی برای پروژه های عمرانی"، فصل نامهٔ مهندسی ارزش، سال اول، شماره۱، بهار۱۳۸۴

۵. ربانی- مسعود، رضایی- کامران، حاجی علی اکبر- مهدیه،" مدیریت/ مهندسی ارزش مبتنی بر استانداردهای EN12973:2000, SAVE، انتشارات آتنا و ار- وی- توف، چاپ اول، پاییز ۱۳۸۳

6. British standard , 2000,"Value Management EN 12973:2000"

7. SAVE, "Value Methodology Standard", USA: SAVE International 'The Value Society', 1997.

8. Value Management Group VM Summary Department of Civil Engineering, University of Leeds UK (1996) Available at: http://www.leeds.ac.uk/civil/research/conman/value/value.htm
9. von Mayrhauser and A. Vans. From code understanding needs to reverse engineering tool capabilities. In Proceedings of CASE-93, Singapore, pages 230–239,July 1993.
10. Jordan, John M & Bradlary, Johannal, "Expanding the capabilities of Reverse Engineering", vol. 70, Nov. 1997.
11. Reverse Engineering, Mechanical Engineering, vol 118, Jan. 1996.
12. Hacker Robert C, "Reverse Engineering", Target Marketing, vol. 21, July 1998