فصلنامه آموزش مهندسی ایران، شماره ۳۶، سال نهم، ص۷۹- ۵۹

متدولوژی نوین مهندسی ارزش و نوآوری نظام یافته*: راهبردی مؤثر در کاهش هزینه پروژه‌های کلان عمرانی و خدماتی

سیامک فرشاد[۱]، بابک ابراهیمی[۲] و احسان خاوندکار[۱]

۱. دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲. دانشکده اقتصاد، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده : مهندسی ارزش متدولوژی سامانه‌مند و گروه‌گرایی است که با تجزیه و تحلیل کارکردهای محصول/خدمت تلاش می‌کند تا با ارزش‌ترین کارکرد با صرف کمترین هزینه را بدون چشمپوشی از ایمنی، قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و تعمیرات، کیفیت و سایر مشخصه‌های مطلوب محصول/خدمت محقق سازد. از سوی دیگر، متدولوژی TRIZ با گردآوری کاراترین تجربه‌های حاصل از اختراعات و حل مسائل پیچیده طراحی و مهندسی, امکان شناسایی همزمان کارکردهای مفید و زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی یک محصول/خدمت و ارائه بهبود یافته‌ترین کارکرد جایگزین برای آن را داراست. در این میان، بروز قابلیتهای هم‌افزایی این دو متدولوژی امکان کاربری همزمان آنها را در حل مسائل، بهبود کارکرد و افزایش ارزش جالب توجه می‌سازد. استقرار سامانه‌ای مهندسی با رویکرد عام همواره یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران در پروژه‌هاست. در این مقاله ضمن معرفی ابزار توانمند و کارایTRIZ و بازنمایی نقاط ضعف مهندسی ارزش در مرحله آنالیز کارکرد-نمودارFAST و فرایند ایده پردازی، از خلال بررسی امکان هم‌افزایی این دو متدولوژی، به ارائه مدل کارکردی جدیدUHP-FAST برای آنالیز کارکرد پرداخته شده است. همچنین، از خلال مدل ارائه شده و قابلیتهای افزوده شده توسط آن در مرحله اطلاعات و مدل بهبود یافته طوفان ذهنی به وسیله TRIZ در قالب طوفان ذهنی جهتدار، به فرایند ایده‌پردازی مرحله خلاقیت پرداخته شده است. در نهایت، با توجه به مدل ارائه شده و اعمال این مدلها و پیشفرضها در برنامه کاری سنتی مهندسی ارزش، برنامه کاری جدید برای مهندسی ارزش و استقرار سامانه‌ای مهندسی و فراگیرتر پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: مهندسی ارزش، TRIZ، مدل آنالیز کارکردی **UHP-FAST، طوفان ذهنی جهتدار و برنامه کاری.

---

*. TRIZ

** مدل آنالیز کارکردهای مفید و زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه(Useful, Harmful, Physical component Functions Analysis System Technique)

۱. مقدمه

دستیابی به کارکرد بهبود یافته و ارزش‌افزون‌تر، به همراه کاهش هزینه، به عنوان گزینه‌ای ایده‌آل و تأثیرگذار در حوزه تصمیم‌گیری مدیریتی مطرح است. از این‌رو، از نظر مدیریت، متدولوژیهای ارزش‌محور به عنوان رویکردی ارزش‌افزا همواره به عنوان ابزاری قابل اتکا برای تغییر پنداشته شده است[۱و۳]. اما بروز پیچیدگیهای جدید در شرایط بازار و دشواری بقا در فضای رقابتی حاضر، لزوم روزآمدی و تطبیق مهندسی به‌کار رفته در فرایند بهبود ارزش با شرایط پیش آمده را ضروری ساخته است. مهندسی به کار رفته در فرایند بهبود ارزش یا به عبارت بهتر، مهندسی ارزش باید ساختکار تحلیل و خلاقیت‌زایی لازم برای کارکردهای سامانه و ارائه ایده‌های ارتقای آن را با خود به همراه داشته باشد.

بایستگی وجود برنامه‌کاری با قابلیت تحلیل تمام کارکردها [اعم از مفید و زیانبار] و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه و فرایندی ساخت یافته به منظور ارائه ایده‌ها، برای تیم مهندسی ارزش فرصتی به منظور رهایی از پوسته‌های سنتی مهندسی ارزش را فراهم می‌آورد که ضرورت انجام دادن مطالعات موازی برای شناسایی و به‌کارگیری متدولوژیها و ابزارهایی برای بهبود فرایند حاضر را بیش از پیش نمایان می‌سازد. در این میان، TRIZ به عنوان متدولوژی نظام‌مند و ابزاری خلاقانه برای حل مسئله این توانایی را داراست تا ضمن پوشش نقایص برنامه‌کاری مهندسی ارزش به ترکیبی هم‌افزا و کارا با آن دست یابد و مدلی است که علاوه بر ارائه تحلیلی همه جانبه از کارکردهای سامانه، به خلق ایده‌هایی با قابلیت اجرا و صرفه جویی در هزینه بالا می انجامد.

در نحوه ارائه مطالب فرض بر این بوده است که اکثر مخاطبان با مفاهیم مهندسی ارزش آشنا هستند، لذا، صرفاً مختصری راجع به برنامه‌کاری مهندسی ارزش که در مقاله حاضر مبنا قرار داده شده، صحبت به میان آمده است. از آنجایی که تصور بر آن بوده است که مخاطبان کمتر با مفاهیم TRIZ آشنایی دارند، لذا، توضیح مفصل‌تری درباره آن ارائه شده است. بحث اصلی مقاله با مقایسه دو متدولوژی

مهندسی ارزش و TRIZ آغاز و سپس به ارائه و توصیف مدل کارکردیUHP-FAST, بر اساس قابلیتهای هم‌افزایی مهندسی ارزش و TRIZ به عنوان جایگزین نمودار FAST پرداخته شده است و پس از آن مدل بهبود یافته فرایند ایده‌پردازی با استفاده از ابزار TRIZ ارائه و در نهایت، مدل ترکیبی برنامه کاری مهندسی ارزش و TRIZ پیشنهاد شده است.

۲. روشها و موضوعات مورد نظر

۱.۲. برنامه کاری مهندسی ارزش

همانند سایر مطالعات و برنامه‌های کاری ارزش_محور، مهندسی ارزش نیز دارای برنامه کاری نظام‌مند و ساخت‌یافته‌ای است[۴]. این برنامه کاری فعالیتهای مطالعه مهندسی ارزش را در قالب شش مرحله به انجام می‌رساند. مراحل برنامه‌کاری حاضر با تکیه بر همپوشانی مرحله‌ها ارائه شده است [۱۲و۱۱,۹,۲].

جدول ۱ : برنامه‌کاری مهندسی ارزش

گام	رویه
اطلاعات	در این مرحله تیم مهندسی ارزش سامانه پیشنهادی را، به منظور شناسایی کارکردهای اساسی که از طریق آن کارایی و صرفه‌جویی افزایش می‌یابد، شناسایی و ارزیابی می کند. این کارکردها و وظایف در قالب نمودارهای FAST ساماندهی می‌شوند. نمودارهای FAST برای تحلیل و ارزیابی سازگاری جایگزینها و امکانها در طراحی کلی پروژه اولویت بندی می‌شوند.
خلاقیت	در این مرحله تیم مهندسی ارزش کارکردهای خاصی را برای تحلیل بیشتر و با اولویت هزینه و امکان بهبود انتخاب می‌کند. برگزاری جلسات طوفان ذهنی و گاهی دیگر شیوه های خلاقیت‌زایی، به منظور ایجاد کارکردها یا روشهای جایگزینی برای کارکردهای اساسی انتخاب شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
ارزیابی	در این مرحله عموماً ایده‌های حاصل از برگزاری جلسات طوفان ذهنی ارزیابی و ایده‌های مشابه ترکیب و دسته‌بندی می‌شوند. تیم مهندسی ارزش در خصوص منافع نسبی و معایب هر ایده به بحث و تبادل نظر می‌پردازد. روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره و سایر روشها در این مرحله به کارگرفته می‌شوند تا ایده‌ها را بر معیار استفاده از منابع، بهبود کارکرد و قابلیت اجرا اولویت بندی کنند. ایده‌هایی که در نهایت برای بهبود برگزیده می‌شوند، در جهت توسعه کارکرد کلی سیستم به کار گرفته خواهند شد.

ادامه جدول ۱

توسعه و ایجاد	در این مرحله بر روی ایده‌هایی که در مرحله ارزیابی برگزیده شده‌اند، آزمایشهای فنی دامنه داری شامل کمیتهای خاص، هزینه‌ها و محاسبات صورت می‌پذیرد. در گام بعدی بر روی ایده‌هایی که از نظر فنی انجام شدنی به نظر رسیده‌اند، تحلیلهای اقتصادی صورت می‌پذیرد. ایده‌های مطلوب پس از این گام به صورت طرح پیشنهادی رسمی داخل پروژه می‌شوند.
ارائه و گزارش	همه ایده‌ها، محاسبات و تحلیلهای هزینه که در طول فرایند مهندسی ارزش تا بدین مرحله صورت پذیرفته است، در قالب نتایج مطالعه به تصمیم‌گیران کلیدی پروژه ارائه می‌شود و در نهایت، گزارشی با هدف مستندسازی متدولوژی تحلیل نتایج مهندسی ارزش فراهم می‌آید.
پیاده‌سازی	طرح پیشنهادی پذیرفته شده در پروژه به اجرا در می‌آید.

۲.۲.نظریه حل ابتکاری مسئله (TRIZ)

درست در همان زمانی که میلز مهندسی ارزش را پایه‌ریزی می‌کرد، آلتشولر* به دنبال یافتن روشی برای حل خلاقانه مسئله بود. مسئله‌ای که ذهن او را به خود مشغول می‌کرد حاوی این پرسش بود که آیا اختراع صرفاً محصول نبوغ خلاقانه است یا بر پایه ساختار یا روشی که توسط آنها اختراعات پدید می‌آیند استوار است. از ۲۰۰/۰۰۰ اختراعی که او به مطالعه آنها پرداخت، ۴۰ طرح و الگوی نوآوری را در آنها آشکار ساخت. آلتشولر معتقد بود که این الگوها می‌توانند پایه و اساس یک متدولوژی ساخت یافته نوآوری باشند و او این متدولوژی ساخت یافته را TRIZ نامید[۸].

۱.۲.۲. ابزارهای متدولوژی TRIZ

ابزارهای متدولوژی TRIZ به دو دسته ابزارهای تحلیلی برای تعریف و ساختاردهی مسئله و ابزارهای مبتنی بر دانش، که پایگاه اطلاعاتی لازم برای خلق ایده‌ها را فراهم می‌آورند، تقسیم می‌شوند[۶].

---

* . Altshuller

۱.۱.۲.۲. ابزارهای تحلیلی برای تعریف و ساختاردهی مسئله

ابزارهای تحلیل‌گرای TRIZ به منظور شناسایی و ساختاردهی مسائل در قالب دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

پرسشنامه شناخت موقعیتهای نوآوری: به منظور پیاده سازی TRIZ باید مسئله به صورت صحیح تعریف و مختصات آن شناسایی شود. از این رو، پرسشنامه شناخت موقعیتهای نوآوری برای جمع‌آوری و مستندسازی اطلاعات لازم توسط تیم مجری TRIZ تهیه و تکمیل می‌شود. ایده‌پردازی توسط اعضای تیم به عنوان عاملی اساسی برای تکمیل این پرسشنامه به شمار می‌رود. اطلاعات مندرج در این پرسشنامه در باره موضوعات زیر است:

- سامانه‌ای که مایل به ایجاد یا بهبود آن هستیم و محیط پیرامونی آن(اسم، ساختار، کارکردها و دلیل اجرای آنها و محیط سامانه)؛
- موقعیت مسئله (تاریخچه پیدایش, ایجاد بهبودهای مطلوب یا حذف اثرهای فرایندی که باعث ایجاد مسئله شده است)؛
- تغییر دادن سامانه (تغییرات ممکن در سامانه و محدودیتهایی که برای تغییر سامانه وجود دارد)؛
- منابع موجود، تمام داراییها و موقعیتهای درون سامانه و محیط اطراف آن که برای بهبود سامانه به کار گرفته می‌شوند. این منابع در ۶ سطح طبقه بندی می‌شوند: منابع کارکردی، اطلاعاتی، زمانی، مکانی، مواد و زمینه‌ها؛
- تاریخچه راه‌حلهای آزمایش شده روی مسئله (تلاشهایی که در گذشته برای سامانه‌هایی با مسائل مشابه انجام شده است)؛
- معیار انتخاب ایده‌های راه‌حل (مشخصات فنی و اقتصادی مطلوب، زمانبندی مطلوب و سطح نوگرایی مورد انتظار)[۱۵].

فرموله‌کردن مسئله: فرموله‌کردن به منظور ساختار دهی مسئله و تعیین کارکردهای مفید و زیانبار سامانه و رابطه بین آنها به کار برده می‌شود. با استفاده از این ابزار مسئله بر حسب تناقضهای فنی بیان و سپس، این نکته بررسی می‌شود که آیا بهبود یک مشخصه فنی موجب بدتر شدن دیگر مشخصات فنی و ایجاد مسائل ثانویه دیگر می شود یا خیر. کارکردهای زیانبار شامل ورودیهای نامطلوبی چون هزینه، انرژی مصرف شده ، آلودگی، خطر و فضای اشغال شده هستند. حالت ایده‌آل شرایطی است که فقط منافع وجود داشته باشد. از این رو، از نظر طراحی مهندسان باید به پیگیری منافع بیشتر و کاهش هزینه کار، مواد، انرژی و تأثیرات منفی بپردازند[۱۶].

۲.۱.۲.۲. ابزارهای حل مسئله مبتنی بر دانش

این ابزارها که به ابزار کلاسیک TRIZ نیز شهرت دارند به چهار گونه زیر تقسیم می‌شوند:

تحلیل تناقض: از این ابزار برای حل مسائلی که به شکل یکی از تناقضهایی که با انطباق پارامترهای ۳۹ گانه پدیدار شده است، استفاده می‌شود. این ابزار بیشترین کاربرد را در TRIZ کلاسیک دارند. از نظرگاه TRIZ همه مسائل تکنیکی حداقل دارای یک تناقض هستند. این موضوع بدان معناست که اگر برای مثال کارکرد *الف* به وقوع کارکرد *ج* نیازمند باشد و ایجاد کردن *ج* نیز به کارکرد *ب* لطمه وارد کند یا کارکرد منفی *ب* را به وجود آورد، این بدان معناست که ما با یک تناقض روبه رو شده‌ایم. TRIZ با به کارگیری جدول تناقضها از اطلاعات موجود و اسناد ثبت اختراع برای پیدا کردن راه حلهای احتمالی استفاده می‌کند[۱۳].

ایده‌آل سازی: این ابزار بیشتر در فرموله کردن و حل تناقضها به کار می‌رود. در این ابزار حل مسئله با فرمول بندی آن آغاز می‌شود و این امر سبب می‌شود تا کارکردهای زیانبار و همین طور کارکردهای مفید مسئله مورد شناسایی قرار گیرند. از دریچه TRIZ ایده‌آل بودن نسبت مجموع کارکردهای مفید سامانه به مجموع

کارکردهای زیانبار آن است. ایده‌آل بودن برای هر سامانه در اثر تغییراتی ایجاد می شود که موجب کاهش کارکردهای زیانبار آن سامانه می‌شود.

الگوهای تکامل: ابزار قدرتمندی برای تسهیل طراحی نسلهای بعدی (آینده) یک محصول یا فرایند هستند.

تحلیل شیء ـ اثر: این ابزار برای ایجاد ایده‌هایی در خصوص طراحی‌های موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد که از دیگر حوزه‌های دانش برای طراحیهای موجود استفاده می‌شود[۶ و ۱۴].

۳.۲. مقایسه کارکردهای مهندسی ارزش و TRIZ

حال با توجه به ارائه تعاریف و بازشناسی برنامه کاری متدولوژیهای مهندسی ارزش و همچنین، TRIZ به مقایسه کارکرد و نتایج پیاده‌سازی این دو روش به طور مجزا پرداخته می شود.

جدول ۲ : مقایسه کارکردهای مهندسی ارزش و TRIZ

TRIZ	مهندسی ارزش
هرچند در آغاز بر مسائل مکانیکی متمرکز بوده است، اما بیشترین کارایی را در خصوص مسائل فنی دارد و در عین حال برای مطالعه مسائل مدیریتی کارایی کافی ندارد.	در گستره وسیعی از مسائل همچون فرایندها و مطالعات مدیریتی، پیش مطالعات اجرای پروژه‌ها و غیره کارایی دارد.
دارای معیاری برای اندازه‌گیری مجموع کارایی سامانه است و می‌تواند میزان تکامل فرایند را اندازه‌گیری کند.	توانایی اندازه‌گیری میزان پیشرفت فرایند و مجموع کارایی سامانه را ندارد.
به سرعت مسائل و پارامترهای مقداری را تحلیل می کند و راه‌حلها و راهکارهای ممکن پیشنهادی خود را ارائه می‌دهد.	به اندازه TRIZدر شناخت مسئله اصلی و مرکزی کارا نیست.
امکان فرموله کردن مسئله و همچنین، شناسایی کارکردهای زیانبار و کارکردهای مفید و روابط میان آنها را دارد.	نمودارهای FAST توانایی شناسایی کارکردهای زیانبار را ندارند و نمی‌توانند روابط بین کارکردهای زیانبار را با سایر کارکردها به اندازه TRIZشناسایی کنند.
راه‌حلهایی ابتکاری و با گستره وسیع برای مسائل ارائه می‌کند.	نوآوری به تحلیل و تجربه تیم مهندسی ارزش محدود است.
یک پایگاه نرم افزاری مفید و کارا با گستره ابداع وسیع است.	پایگاه نرم‌افزاری برای ابداع ندارد و پارامترهای مهندسی و فیزیکی TRIZ را ندارد.

ادامه جدول ۲

از آنجایی‌که TRIZ معمولاً به عنوان فرایند بهبود کلی سامانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، توانایی اعمال بهبودها بر روی زیر سیستم ها را نیز دارد و پتانسیل رویارویی با کارکردهای ثانویه را داراست.	توانایی اعمال تغییرات کوچک و قابلیت تجدید نظر در کل سامانه و اصلاح آن را دارد. از مجموعه‌ای از ابزارهای ارزیابی مانند مقایسات دوگانه در طول مرحله تحلیل استفاده می‌کند.
مستقیماً به منظور ایجاد فرایندهای گروه‌گرا به کار نمی‌رود. اگر تیم TRIZو تیم پروژه جدا از هم تشکیل شوند. عموماً کارکرد ارتباطی متفاوتی با هم پیدا می‌کنند.	به ایده‌آل فرایند کارگروهی نزدیک‌تر است، به‌ویژه با قابلیت تحلیل کارکرد در مطالعات توسعه فرایند نسلهای بعدی محصول/خدمات و FACDS
فقط راه‌حلها و مزایای فنی را ارائه می‌کند و تحلیل هزینه/سود را بر عهده تیم پروژه می‌گذارد.	مهندسی ارزش به عنوان یک شیوه کاری طرحهای پیشنهادی خود را در شکلی با قابلیت پیاده‌سازی و به همراه تحلیل هزینه/سود ارئه می‌دهد.
حاوی استراتژی پیاده‌سازی نیست.	راهبردهای پیاده سازی جزء ذاتی متدولوژی مهندسی ارزش است.

۳. بحث

۱.۳. بهبود متدولوژی مهندسی ارزش با به کارگیری ابزارهای TRIZ

با توجه به جدول مقایسه کارکردهای مهندسی ارزش و TRIZ، لزوم انجام یافتن مطالعات موازی و امکان‌سنجی قابلیتهای هم‌افزایی این دو متدولوژی بیش از پیش آشکار می‌شود. از این رو، در این مقاله به عنوان بخشی از نتیجه مطالعات همزمان مهندسی ارزش و TRIZ، از خلال تحلیل ضعفهای برنامه کاری مهندسی ارزش در آنالیز کارکردی و نمودار FAST (مرحله اطلاعات) و همچنین، کرانمندی فرایند ایده‌پردازی آن (مرحله خلاقیت)، به ارائه مدل آنالیز کارکردی(UHP-FAST) بر اساس کارکردهای مفید، زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه و روابط میان آنها، به جای نمودار FAST و همین‌طور مدل ارتقا یافته‌ای برای فرایند ایده‌پردازی با تکیه بر منطق و ابزار FAST پرداخته شده است. در نهایت، فرایندهای بهبود یافته در قالب برنامه کاری ترکیبی مهندسی ارزش-TRIZ به عنوان جایگزین برنامه کاری سنتی مهندسی ارزش پیشنهاد شده است.

۲.۳. چارچوب‌بندی مدل آنالیز کارکردی UHP-FAST*

مدل آنالیز کارکردی با تأکید بر افزودن کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه برپایه نمودار FAST از طریق به کارگیری منطق ابزارهایISQ، ایده‌آل سازی، فرموله کردن، متدولوژی TRIZ و به عنوان جایگزینی برای نمودار FAST مرحله اطلاعات متدولوژی مهندسی ارزش ارائه شده است.

۱.۲.۳. اجزای مدل محتوایی متدلوژی

کارکردهای این مدل به قرار زیر است:

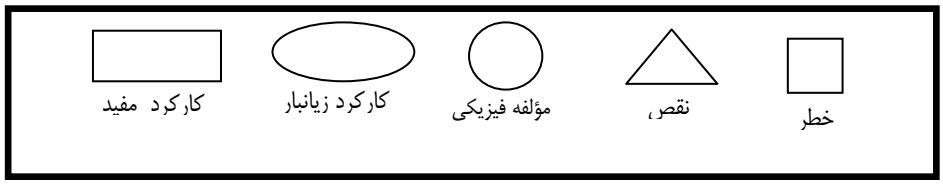
کارکردهای مفید اولیه: کارکردهای اساسی که سامانه برای تحقق آنها طراحی شده است .

کارکردهای مفید ثانویه: کارکردهای مفیدی که سامانه علاوه بر کارکردهای اولیه فراهم می‌کند.

کارکردهای مفید کمکی: کارکردهایی که به منظور پشتیبانی از کارکردهای اساسی سامانه انجام می‌پذیرد.

کارکردهای زیانبار: کارکردهایی ناخواسته و زیانبار که یک سامانه در کنار کارکردهای مفید اساسی ایجاد می‌کند.

مؤلفه‌های فیزیکی: مؤلفه‌هایی که به‌واسطه به کارگیری مستقیم آنها کارکردهای سامانه پدید می‌آیند.



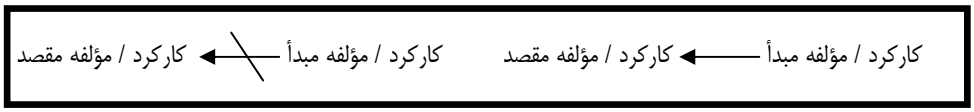
شکل ۱: نشانهای گرافیکی اجزای مدل

---

* . Useful,Harmful,Physical Component Function Analysis System Technique

۲.۲.۳. توصیف ارتباط کارکردها و مؤلفه‌ها در مدل

ارتباطات کارکردها و مؤلفه‌ها در قالب فلش نشان داده می‌شوند. فلش ساده به معنای تولید کارکرد/ مؤلفه مقصد توسط کارکرد/ مؤلفه مبدأ است. فلش با یک خط بر روی آن به معنای خنثی کردن اثر کارکرد/مؤلفه مقصد به واسطه کارکرد/ مؤلفه مبدا است. ارتباطات حاضر با الهام از ابزار فرموله کردن TRIZ شکل گرفته است.



شکل ۲: نشانهای گرافیکی ارتباطات ، کارکردها و مؤلفه های فیزیکی سامانه

۳.۲.۳. متدلوژی پیاده‌سازی مدل کارکردی UHP-FAST

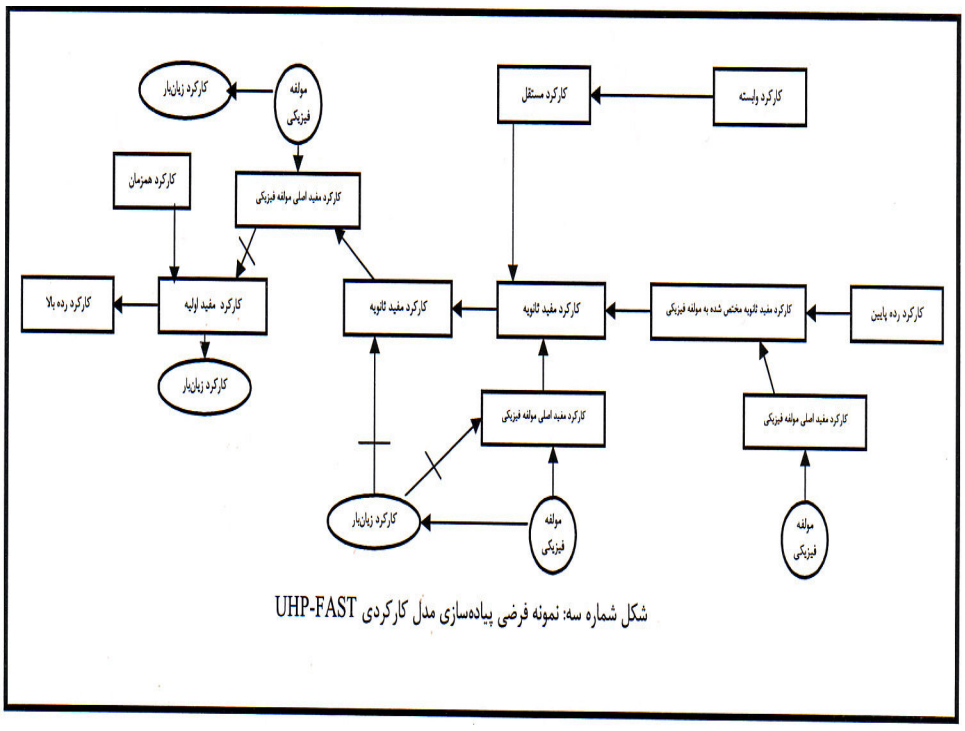
پیاده‌سازی مدل حاضر در سه بخش زیر انجام می‌پذیرد :

بخش اول: رسم و تبدیل نمودار FAST به مدلی کارکردی: نتایج تحلیل اولیه کارکردها در قالب نمودار FAST و براساس کارکردهای مفید رسم می‌شود. حال تمام روابط موجود که در قالب خطوط ساده نشان داده شده‌اند، در جهت چرا (Why) با فلشهای ساده جایگزین می‌شوند. بدین ترتیب، حرکت از سمت راست به چپ این معنا را متبادر خواهد ساخت که کارکرد سمت راست باعث تولید کارکرد سمت چپ می‌شود. سه نکته اساسی در این بخش باید مورد توجه قرار گیرد که عبارت‌اند از: ۱. مفهوم میدان در شکل ظاهری آن زدوده می‌شود، بدین معنا که مدل در سمت راست آن با کارکرد رده پایین آغاز می شود و در سمت چپ با کارکرد رده بالا پایان می‌یابد. ۲. سایر کارکردها که در شاخه اصلی قرار ندارند، در مسیر افقی از کارکرد چپ به راست فلش‌گذاری و اگر در مسیر عمودی قرار دارند، به سمت شاخه اصلی فلش‌گذاری می‌شوند. حال می‌توان مدل کارکردی را از نظر سنجش فرصتهای بهبود کارکردهای مفید بررسی کرد. در این بخش برای بررسی فرصتهای بهبود کارکردهای مفید می‌توان با انتخاب کارکردی که انتظار بهبود آن می‌رود، به ۴۰ اصل نوآوری TRIZ رجوع کرد.

بخش دوم: وارد کردن مؤلفه‌های فیزیکی سامانه در مدل: این بخش در واقع، دریچه عبور از FAST سنتی است. با افزودن مؤلفه‌های فیزیکی سامانه باید کارکرد فیزیکی اصلی این مؤلفه‌ها، که دلیل اساسی طراحی و جایگذاری آنها در سامانه است، به مدل افزوده شود. مؤلفه‌های فیزیکی و کارکردهای اصلی آنها در امتداد (When) به مدل افزوده می‌شوند. با افزوده شدن این کارکردها باید نقطه اتصال این کارکردها با کارکردهای شاخه اصلی تحلیل شود. اگر کارکرد اصلی یکی از مؤلفه‌ها در شاخه اصلی قبلاً قید شده باشد، باید عنوان کارکرد شاخه اصلی تغییر کرده و تأثیر مؤلفه‌های حاضر به عنوان آن کارکرد افزوده شده باشد. اگر کارکرد اصلی مؤلفه‌ای، پس از تعریف، در تقدم و تأخر کارکردهای شاخه اصلی از نظر ویژگی کارکردی ارتباطی میانجی داشته باشد، باید روابط شاخه اصلی اصلاح شود، به طوری که کارکرد متقدم شاخه اصلی به کارکرد مؤلفه متصل و کارکرد مؤلفه به کارکرد بعدی شاخه اصلی متصل شود. اگر کارکرد اصلی مؤلفه‌ای به خنثی‌سازی کارکرد دیگری بینجامد، باید با فلش و خط به آن کارکرد متصل شود. در این بخش می‌توان برای بهبود کارکردهای مفید و مؤلفه‌های سامانه رجوع مجددی به ۴۰ اصل نوآورانه TRIZ داشت.

بخش سوم: وارد کردن کارکردهای زیانبار سامانه در مدل: کارکردهای زیانبار سامانه در قالب کارکردهای زیانبار فیزیکی و کارکردهای زیانبار هزینه به مدل افزوده می‌شوند. کارکردهای زیانبار فیزیکی کارکردهایی هستند که به تحمیل تأثیرات نامطلوب به سامانه منجر می شوند. کارکردهای زیانبار هزینه کارکردهایی هستند که حجمی از هزینه را به سامانه تحمیل می‌کنند؛ این کارکردها نیز در راستای(When) به مدل افزوده خواهند شد و هیچ کارکرد زیانباری به شاخه اصلی افزوده نخواهد شد. کارکردهای زیانبار محصول مؤلفه‌های فیزیکی یا کارکردی همزمان کارکردهای مفید سامانه هستند. از این رو، باید در مدل این‌کارکردها به مؤلفه‌های فیزیکی یا کارکردهای مفید متصل و فلشها نیز به سمت کارکردهای زیانبار ترسیم شوند. اگر کارکرد زیانبار محصول کارکرد مفیدی از شاخه اصلی بر کارکرد اصلی مؤلفه‌های فیزیکی یا کارکرد

مفید دیگری از شاخه اصلی تأثیر بگذارد و اثر آن را خنثی کند، باید این تأثیر در قالب فلش و خط به آن کارکرد متصل شود. در این حالت، کارکرد زیانبار مبدأ فلش و خط خواهد بود. در این بخش می‌توان از ابزار حل تناقضات، ایده‌آل سازی و اصول نوآورانه TRIZ برای کاهش و حذف کارکردهای زیانبار و تناقضات استفاده کرد. نمونه فرضی پیاده‌سازی شده‌ای از مدل کارکردی UHP-FAST در قالب شکل ۳ ارائه شده است که نشان دهنده روابط موجود میان کارکردهای مفید، کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه فرضی است.



شکل شماره سه: نمونه فرضی پیاده‌سازی مدل کارکردی UHP-FAST

٤.٢.٣. بهبود فرایند و ساختکار ایده‌پردازی بر اساس مدل UHP-FAST با اعمال متدولوژی TRIZ

مدل آنالیز کارکردی UHP-FAST پیشنهاد شده تمام زوایای کارکردی یک سامانه، اثرها و تعاملات متقابل کارکردها و مؤلفه‌های سامانه را به روشنی آشکار می‌سازد. در برنامهٔ کاری سنتی مهندسی ارزش در مرحله خلاقیت، بر اساس آنالیز کارکردی و نمودار FAST چارچوب ایده‌پردازی بر تیم مهندسی ارزش تعیین می‌شود. در حالی که نمودار FAST صرفاً بر اساس کارکردهای مفید پایه‌ریزی شده است و توانایی تحلیل کارکردهای زیانبار، کارکردها و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه را با خود به همراه ندارد[۴و۱۰]. در این میان، شناخت کارکردهای زیانبار به عنوان عواملی اساسی در تحمیل هزینه‌های سامانه، زمینه‌ای مؤثر در ایده‌پردازی به منظور کاهش هزینه‌های تحمیلی فراهم می سازد.

ضعف اساسی مهندسی ارزش در درک مفهومی و شناخت مسائل در چارچوب روشهای روانشناختی طوفان ذهنی است. هنگامی که تیم مهندسی ارزش مسئله یا کارکردی را مورد طوفان ذهنی قرار می‌دهد، اعضای تیم با معضل لختی روانشناختی روبه رو هستند. لختی روانشناختی نتیجه کرانمندی تجربه‌های بشری و محصول سعی کاربران آن برای یافتن راه‌حلهای مسئله با تکیه بر تجربه‌های گذشته خود است. هر چند مشارکت‌کنندگان در جلسات طوفان ذهنی به دلیل استفاده از گستره جمعی تجربه‌هایشان تا حدودی بر این مسئله فایق می‌آیند، با وجود این، لختی روانشناختی هرگز به طور کامل رفع نمی‌شود. از آنجا که اصول نوآورانه TRIZ بر پایه پایگاه اطلاعاتی دانش محوری استوار است، امکان ارائه راه‌حلهایی انتزاعی برای مسائل را فرآهم می‌آورد. این قابلیت، لختی روانشناختی را در جریان سیال ذهن و کانالهای دانش محور TRIZ حل می‌کند.

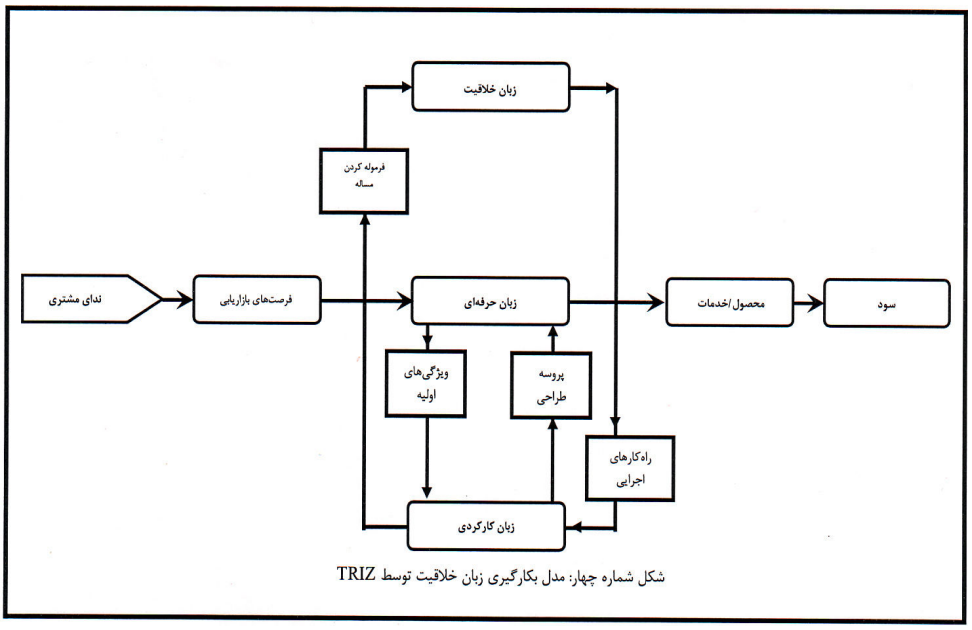
در واقع، TRIZ با اتکا بر روشهای حل مسئله خود، ایده پردازان را از انحرافات ذهنی حاصل از عدم شناخت موقعیت و شرایط مسئله و طی مسیرهایی که به واسطه

آن هر لحظه از راه‌حل فاصله می‌گیرد، به دور می‌دارد. TRIZ با ارائه ابزارهای تحلیل مسئله و ارائه راهکارهای استاندارد و اصول نوآورانه می‌تواند جلسات طوفان ذهنی را درست در مسیر ارائه ایده‌های بهبود، متناسب و متناظر با مسائل هدایت کند.

از سوی دیگر، ضعف اساسی در مرحله خلاقیت مهندسی ارزش، تعریف نشدن صحیح سامانه و روابط کارکردی میان اجزای آن است. نمودارهایFAST که به عنوان انعکاسی از روابط سامانه و مسیرها و فرصتهای بهبود برای اعضای تیم در فرایند ایده‌پردازی مطرح‌اند، از آنجایی که صرفاً بر پایه کارکردهای مفید سامانه پایه‌ریزی شده‌اند، از بازتاب کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه عاجزند. مدل ارائه شده UHP-FAST با تکیه بر تحلیل کارکردهای مفید و کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی و روابط میان آنها و تأثیرات متقابلشان، ضمن تصویر شمایلی روشن برای اعضای تیم، فرصت شناخت مسئله و انتخاب ابزارهای مناسب TRIZ برای حل مسئله را فراهم می‌آورد.

از این رو، می‌توان با ترکیب TRIZ و مهندسی ارزش در گام ارائه ایده، با تکیه بر مدل UHP-FAST به روند تولید ایده با گستره‌ای افزون‌تر و توسعه ایده‌ها به سوی تفکراتی با قابلیت اجرایی بیشتر حرکت کرد. در این میان، هم‌افزایی و برهم‌کنش مثبت TRIZ مهندسی ارزش سبب می‌شود تا از یک سو به آنالیز هزینه مورد نیاز به واسطه شناخت کارکردهای زیانبار در مدل UHP-FAST و فرموله کردن مسائل در نقطه تأثیرات متقابل کارکردهای مفید و زیانبار در قالب تناقضات و در نهایت، استفاده از جدول تناقضات TRIZ برای حل آن و حرکت ایده‌های توسعه‌یافته جدید به سمت اجرایی شدن و از سوی دیگر، به سطوح بالایی از خلاقیت در ایده‌پردازی دست یافت.

فرموله کردن مسائل در متدولوژی TRIZ نتایج زبان کارکردی ارائه شده در مهندسی ارزش را به زبان خلاقیت مبدل می‌سازد. فرایند حاضر در قالب شکل شماره ۴ نشان داده شده است. این شکل مبین نحوه کارکرد و تأثیر اعمال TRIZ بر فرایند طراحی و در نهایت، تغییر در کیفیت و میزان سود و رضایت مشتری است.



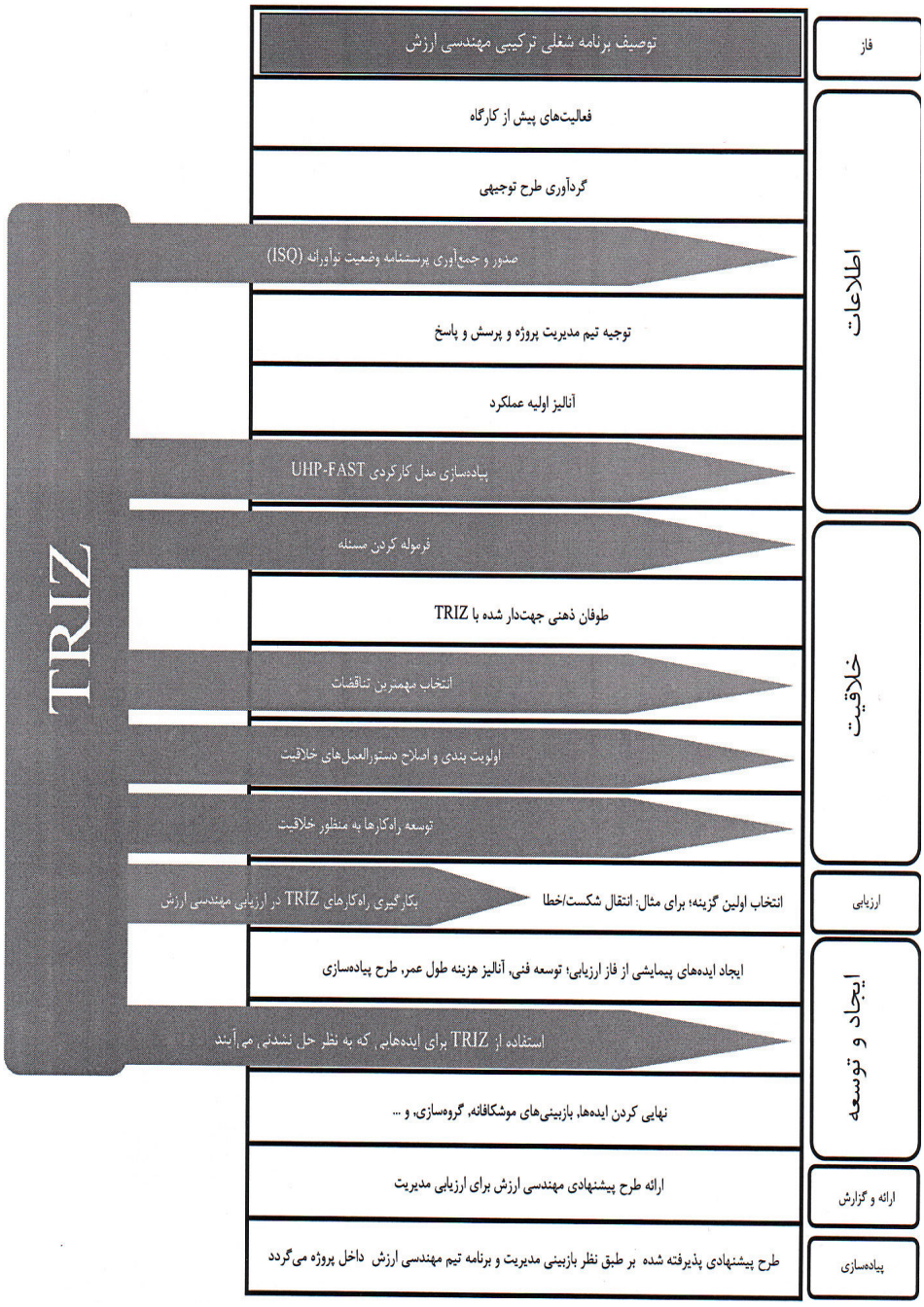
شکل شماره چهار: مدل بکارگیری زبان خلاقیت توسط TRIZ

ابزارهای TRIZ بر پایه قوانین مهندسی تکامل سامانه پایه‌گذاری شده است. روشهای پیش‌بینی و بهبود یک سامانه بر پایه کاربردهای قوانین مهندسی تکامل سامانه شامل دو مرحله تعریف مسئله با به کارگیری قوانین مهندسی تکامل سامانه و سپس، حل آن است[۱۳]. قوانین مهندسی تکامل سامانه برای پیش‌بینی توسعه یک محصول، خدمات یا فناوری، بهبود کیفیت و قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها به کار می‌رود. با به کارگیری یکی از روشهای LESE ما قادر به تعریف و تعیین مهم‌ترین و با ارزش ترین مسائل برای بهبود یک سامانه خواهیم بود که قابل تسری برای تمام زیر سامانه‌ها و ابرسامانه‌ها خواهد بود. توسعه حقیقی در نظام مهندسی در روش TRIZ تنها زمانی رخ خواهد داد که میزان نزدیکی به سامانه خیالی ایده‌آل افزایش یابد. این جمله بدان معنی است که بهبودهای لازم بدون هیچ نوع تغییر و تأثیر زیانبار و هزینه‌ای برای اجرا صورت پذیرد.

در این میان، تغییر سامانه نیازمند شناسایی تصویر سامانه ایده‌آل است که باید برای تمام زیر سامانه‌ها و ابر سامانه‌ها نیز مورد نظر قرار گیرد. تصور یک سیستم ایده‌آل و راه‌حل ایده‌آل به ما کمک خواهد کرد تا بر عقاید از پیش شکل گرفته خود و لختی روانشناختی به طور کامل غلبه کنیم، مسیر حل مسائل و بهبودها را به دست آوردیم و از اتلاف وقت در فرایند ایده‌پردازی اجتناب کنیم. افزایش میزان نزدیکی به سیستم خیالی ایده‌آل، بر خلاف طوفان ذهنی، به تولید انبوهی از ایده‌های ممکن نیاز نخواهد داشت. قاعده ترکیبی جدید طوفان ذهنی جهتدار شده با TRIZ نامگذاری می‌شود.

۵.۲.۳. ارائه برنامه کاری ترکیبی مهندسی ارزش و TRIZ

پس از ارائه مدل کارکردیUHP-FAST و ترکیب و بازآفرینی فرایند ایده‌پردازی مهندسی ارزش در مدل ترکیبی آن با TRIZ، حال به ارائه برنامه کاری جدید مهندسی ارزش منطبق بر متدولوژی TRIZ و با اعمال مدل کارکردیUHP-FAST (در مرحله اطلاعات) و طوفان ذهنی جهتدار شده با متدلوژی TRIZ در قالب شکل ۵ پرداخته می شود.



شکل ۵ : برنامه کاری جدید ترکیبی مهندسی ارزش TRIZ

٦. نتیجه گیری

در این مقاله به طورکلی، برنامه کاری مهندسی ارزش و مفاهیم کلی و ابزارهای متدولوژی TRIZ بررسی شد. همچنین، مدل کارکردی جدید UHP-FAST بر اساس کارکردهای مفید، کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی برای آنالیز کارکردی سامانه به عنوان جایگزین نمودار FAST در مهندسی ارزش ارائه شد. از خلال مدل ارائه شده به بررسی اعمال ابزارهای TRIZ در جهت بهبود فرایند ایده‌پردازی مرحله خلاقیت مهندسی ارزش پرداخته و برنامه کاری جدید ترکیبی مهندسی ارزش و متدولوژی TRIZ براساس بهبودهای اعمال شده در مرحله اطلاعات و خلاقیت مهندسی ارزش پیشنهاد شد.

یکی از مهم ترین دغدغه‌های مدیران پروژه همواره بر استقرار سامانه‌ای متمرکز است تا بتواند رویکردهای مهندسی مفروض مهندسی در اجرای پروژه را به صورتی فراگیر در تمام لایه های اجرایی پروژه‌ها برقرار سازد. مدل کارکردی ارائۀ شده UHP-FAST با تکیه بر آنالیز کارکردهای مفید و کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی سامانه و ارتباطات میان آنها، ضمن افزایش امکان ترکیب مهندسی ارزش و متدولوژی TRIZ و بهبود قابلیتهای هم‌افزایی این دو، نسبت به نمودار FAST سنتی مهندسی ارزش علاوه بر آشکارسازی زوایای ارتباطات بیاکارکردی پنهان سامانه، با توجه به افزودن کارکردهای زیانبار و مؤلفه‌های فیزیکی، فرصتهای بهبود مضاعفی را به منظور کاهش هزینه‌ها و بهبود اثرهای نامطلوب فیزیکی سامانه پیش روی تیم مهندسی ارزش قرار می‌دهد. از سوی دیگر، امکان سازی این مدل برای روبه‌رویی تیم ایده‌پردازی مهندسی ارزش با مسائلی به مختصات و محیط تعیین شده و به‌کارگیری ابزار متدولوژی TRIZ در فرایند ایده‌پردازی و حل مسئله، ضمن پیشگیری از ایجاد لختی روانشناختی در ایده‌پردازی، نزدیکی سامانه را به تصور ایده‌آل میسر می‌سازد و بهبودیافته‌ترین راه‌حل ممکن را پیش روی تیم مهندسی ارزش قرار می‌دهد.

به طور کلی، می‌توان بهبودهای موجود در مدل ارائه شده را نسبت به FAST در قالب موارد زیر خلاصه کرد:

- توانایی افزوده‌شدن مؤلفه‌های فیزیکی، پارامترها، کارکردهای اصلی مؤلفه‌های فیزیکی و کارکردهای زیانبار را دارد.
- فرصت بهبود بیشتری برای کارکردهای مفید سامانه پیش رو قرار می‌دهد.
- ارتباطات پنهان موجود بین مؤلفه‌های فیزیکی، کارکردهای مفید و کارکردهای زیانبار را هویدا می‌سازد.
- تأثیرات متقابل کارکردهای اصلی مؤلفه‌های فیزیکی و کارکردهای مثبت و منفی سامانه را نمایان می‌سازد.
- امکان بهبود طراحی را به واسطه افزوده شدن مؤلفه‌های فیزیکی فراهم می‌سازد.
- امکان کاهش هزینه‌های سامانه را به سبب افزوده‌شدن کارکردهای زیانبار به عنوان عوامل تحمیل هزینه به مدل ایجاد می‌کند.
- شناخت تأثیرات نامطلوب فیزیکی حاصل از کارکردهای زیانبار را میسر می‌سازد.
- فرصت بهبود سامانه را از طریق بهبود مؤلفه‌های فیزیکی و کارکردهایشان و حذف کارکردهای زیانبار را فراهم می‌سازد.
- کارکردهای مفید و زیانبار و کارکردهای اصلی مؤلفه‌های فیزیکی را می‌توان به مفهوم ایده‌آل بودن نزدیک کرد.
- اصلاح سامانه را به واسطه تغییرات در زیر سامانه‌ها و تغییرات با مقیاس کوچک امکان پذیر می‌کند.
- از قواعد FAST ساختارزدایی می‌کند و امکان آنالیز کارکردی جامع‌تری پدید می‌آورد.

- امکان توسعه کارکردهای ثانویه سامانه را در جهت خنثی سازی کارکردهای زیانبار فراهم می سازد.
- از طریق شناسایی اجزای کارکردی و فیزیکی سامانه چارچوبی مناسب برای ایده‌پردازی شکل می‌دهد.
- شرایط به‌کارگیری اصول مبتکرانه و ابزارهای TRIZ را در مرحله خلاقیت به وجود می‌آورد.

از این‌رو، برنامه کاری ترکیبی مهندسی ارزش و TRIZ با اعمال بهبودهای صورت پذیرفته در مراحل اطلاعات و خلاقیت، ضمن رفع نواقص برنامه کاری سنتی مهندسی ارزش، به عنوان راهکاری قابل اطمینان برای اتخاذ رویکردی خلاقیت‌زا و مهندسی در پیاده‌سازی مهندسی ارزش پیشنهاد می‌شود.

مراجع

۱. اس اس، ای یر؛ **روش به کارگیری مهندسی ارزش**؛ چاپ دوم ، ترجمه محمد سعید جبل عاملی و علیرضا میرمحمد صادقی، انتشارات فرات، ۱۳۸۱.

۲. محمد سعید جبل عاملی؛ **جایگاه مهندسی ارزش در مدیریت پروژه**؛ چاپ اول، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی،۱۳۸۳.

۳. محمد سعید جبل عاملی و علی محمدی؛ "مدیریت ارزش و مفاهیم مرتبط" ؛نهمین همایش دانشجویی مهندسی صنایع ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران ، ۱۳۸۲.

۴. محمدرضا امام و رضا بنی رضی مطلق؛ "تجربه‌ای موفق از اعمال آنالیز ارزش در برنامه مهندسی ارزش"؛ مجله سامانه، شماره ۱۳ ، تابستان ۱۳۸۰.

۵. مهندسین مشاور مترا؛ "گزارش کارگاه مهندسی ارزش پروژه راه‌آهن شیراز _ بوشهر" ؛ شرکت مترا، ۱۳۸۲.

۶. جان ترنینکو، آلازوسمن و بوریس زلاتین؛ **نوآوری نظام یافته: مقدمه‌ای بر TRIZ**؛ ترجمه: مصطفی جعفری و همکاران، مؤسسه خدمات فرهنگی رسا ،۱۳۸۰.

7. Genrich Altshuler; **Crativity as an Exact Science**; Translated by Anthony Williams, Gordan and Bleach Science Publishers, 1984.
8. Stan Kaplan; **An Introduction to TRIZ: The Russian Theory of Inventive Problem Solving**; Ideation International Inc.1998.
9. L. Jacques Lochnitt; **Analyse la valeur**, Third Editation, French University Publishers, 1994.
10. Kanaeo Akiyama,; **Function Analysis-Systematic Improvement of Quality and Performance**", Productivity Press, 1991.
11. M. larry, Shilito; **Value It`s Measurement, Design, And Management**; John Wiley and Sons Inc, 1999.
12. J. Demarle and M. Shilito; **Value Engineering**; Industrial Management Hands Book, Jhon Wiley and Sons, 1982.
13. W. Clarker Dana; "Integrating TRIZ with Value Engineering: Discovering Alternative to Traditional Brain Storming and the Selection and Vse of Ideas"; Save International Conference Preceding, 1999.
14. Donald Hannan; "Value Methodology, Creative Problem Solving Strategies And TRIZ"; Save International Conference Proceeding, 2000.
15. Zinovy Royzen; "Application TRIZ In Value Management And Quality Improvement "; International Conference Of The Society Of American Value Engineering , Fort Lauderdale , Florida , 1993.
16. C. bernerd Dull; "Comparing And Combining Value Engineering and TRIZ Techniques "; Save International Conference Proceedings, 1999.

سایر مراجعی که به طور غیرمستقیم در نگارش این مقاله از آنها استفاده شده است؛

۱۷. علیرضا منصوریان و فاطمه حیدریان نائینی؛ "لزوم آموزش مباحث خلاقیت و نوآوری در دانشگاهها"؛ فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال هشتم، شماره ۳۲، زمستان ۱۳۸۵.

(تاریخ دریافت مقاله: ۲۹ /۱۳۸۶/۱)
(تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۶/۲۱)