مقاله پژوهشی

توسعه مدل طراحی محصول با روش طراحی برای هزینه (DFC) در محصول الکترواپتیکی

مهدی کرباسیان*

(نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، ایران mkarbasi@mut-es.ac.ir

ام‌البنین یوسفی

استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع. ایران. yousefi_1302@yahoo.com

ابوطالب شفقت

استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، ایران shafaghat@mut.ac.ir

لیلا اصغرزاده

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران leila.asgharzadeh.1371@gmail.com

چکیده: طراحی برای هزینه که در مرحله طراحی مفهومی استفاده می‌شود، شاخه ای از طراحی برای x است که با استفاده از ابزارهای مختلف هزینه چرخه عمر طرح های مختلف یک محصول را قبل از ساخت محصول برآورد می‌کند و می توان با مقایسه هزینه، درآمد و سود بهترین طرح برای ساخت محصول را انتخاب نمود. هدف از این پژوهش، اجرا و پیاده‌سازی روش طراحی برای هزینه در یکی از محصولات الکترواپتیکی است. در پژوهش حاضر برخلاف سایر پژوهش‌ها از روش طراحی بدیهه‌گرا برای تحلیل نیازهای مشتریان و تبدیل آن‌ها به ویژگی‌های طراحی استفاده شده است. در قسمت برآورد هزینه چرخه عمر با مطالعه مدل‌های مختلف با توجه به ساختار هزینه‌ها و اطلاعات در دسترس صنعت مورد مطالعه به توسعه مدلی جهت برآورد پرداخته و ضمن ایجاد پایگاه دانش مناسب و فرمول‌های ریاضی به محاسبه هزینه چرخه عمر طرح‌های A و B محصول پرداخته شده است. نتایج به دست آمده در محصول مورد مطالعه نشان دهنده مقرون به صرفه بودن تولید طرح A محصول ازنظر اقتصادی و در طول چرخه عمر آن است.

واژگان کلیدی: طراحی برای هزینه، پایگاه دانش، برآورد هزینه چرخه عمر، روش طراحی بدیهه‌گرا.

۱- مقدمه

طراحی برای X یک اصطلاح کلی است که در دنیای مهندسی به کار می‌رود و X بسته به اهداف خاص سرمایه‌گذاری متغیر است. برخی از جایگزین‌های متداول X شامل طراحی برای مونتاژ، طراحی برای هزینه، طراحی برای لجستیک، طراحی برای ساخت، طراحی برای قابلیت اطمینان، طراحی برای سرویس‌دهی یا تعمیرپذیری و غیره است. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است طراحی برای هزینه روشی است که ضمن تبدیل نیاز مشتریان به پارامترهای طراحی و ایجاد پایگاه داده‌ای از اطلاعات هزینه‌ای محصول، هزینه چرخه عمر محصول را تحلیل و ارزیابی می‌کند و به طراح کمک می‌کند تا طرح‌های ارائه شده از محصول را برای کاهش هزینه‌ها اصلاح کند [۱]. توجه به رضایت مشتری و برآورده کردن نیازهای وی، روز به روز اهمیت بیشتری پیدا کرده است. زیرا شناسایی نیازهای مشتری به هر سازمانی کمک می‌کند تا محصولاتشان را به گونه‌ای طراحی و تولید کنند که مزایای آن مطابق با خواسته‌ی مشتری باشد و این کار موجب افزایش سودآوری سازمان می‌شود. بنابراین، شناسایی نیازهای مشتریان روش مناسب تجزیه و تحلیل نیازهای مشتریان برای هر سازمانی یک مسئله مهم است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
دوره ۱۰/ شماره ۳
صفحات ۱۷۱-۱۸۸

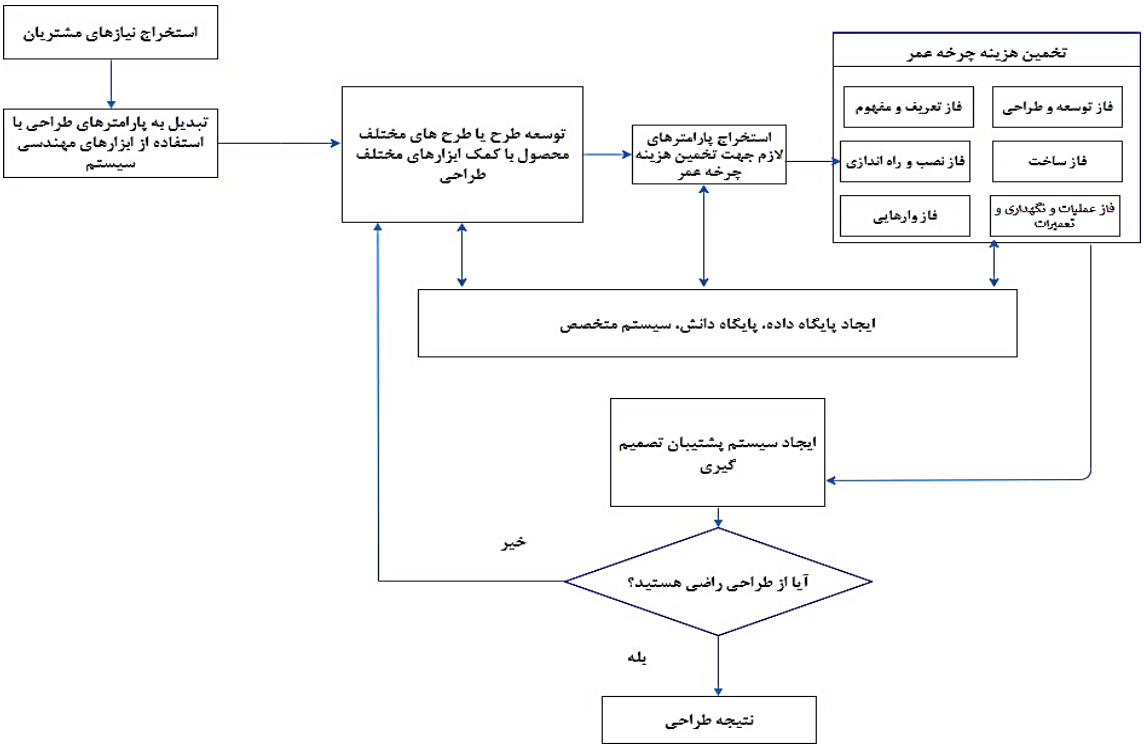
*(Corresponding author) mkarbasi@mut-es.ac.ir

روش‌های موجود برای تجزیه و تحلیل و تبدیل آن‌ها به ویژگی‌های محصولات و خدمات امری حیاتی برای رقابتی ماندن در بازار است[۲].

نیازهای مشتریان و تبدیل آن‌ها به ویژگی‌های طراحی، مدل گسترش عملکرد کیفیت، مدل کانو و روش‌های مهندسی سیستم از جمله روش طراحی بدیهه‌گرا است. مسئله مهم دیگر برای هر سازمان ایجاد پایگاه داده مناسب برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به محصول است. ایجاد پایگاه داده از آن جهت حائز اهمیت است که می‌توان اطلاعات هزینه‌ای مرتبط با محصول را به گونه‌ای ساختار یافته مرتب و طبقه‌بندی کرد تا در هر زمان قابل دسترسی باشد. در نتیجه هر سازمانی برای برآورد هزینه‌های محصول مورد نظر به ایجاد پایگاه داده مناسب نیاز دارد. برآورد هزینه‌های محصول دارای روش‌های کمی و کیفی بسیاری است. روش‌های کمی برآورد هزینه دارای دقت بیشتری نسبت به روش‌های کیفی برآورد هزینه است. بنابراین، هر سازمانی مطابق با سطح دقیق بودن اطلاعات هزینه‌ای محصول یکی از روش‌های برآورد هزینه را انتخاب می‌کند. روش طراحی برای هزینه، هزینه‌های چرخه عمر محصول (شامل هزینه تولید، هزینه فروش، هزینه استفاده، هزینه نگهداری و تعمیرات، هزینه‌های بازیافت، و غیره) را تجزیه و تحلیل و ارزیابی می‌کند و متناسب با آن هزینه‌ها طرح‌های محصول را برای کاهش هزینه‌ها تغییر می‌دهد[۳]. در تعیین هزینه یک محصول یا خدمت خاص، مفهوم هزینه چرخه عمر به معنی آن است که به جای توجه صرف به مبلغ اولیه دارایی در خرید و تهیه مواد اولیه، باید به محیط، اجتماع هزینه‌ها و منافع اقتصادی که در طول عمر یک محصول یا خدمت رخ می‌دهد، توجه نمود[۴]. مسئله مهم دیگر انتخاب مدل مناسب برآورد هزینه چرخه عمر محصول است که بتواند تمام هزینه‌های محصول از مرحله طراحی محصول تا زوال آن را در برگیرد. مدل‌های زیادی برای برآورد هزینه چرخه عمر محصول ارائه شده است و هر سازمانی باید مدلی متناسب با استراتژی هزینه‌ای خود اتخاذ کند. روش طراحی برای هزینه با تجزیه و تحلیل نیاز مشتریان و تبدیل آن‌ها به پارامترهای طراحی و همچنین ایجاد پایگاه داده و برآورد هزینه‌های چرخه عمر به سازمان‌ها کمک می‌کند تا طرحی با بیشترین تطابق با نیازهای مشتریان و کم‌ترین هزینه چرخه عمر را برای محصول تولیدی خود انتخاب نمایند. در مقالات مطالعه شده از روش گسترش عملکرد کیفیت برای شناسایی نیازهای مشتریان استفاده شده است. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با به کارگیری روش گسترش عملکرد کیفیت، مشخص شده است که بزرگ‌ترین مانع بر سر استفاده از این روش، عدم وجود ارتباط مشخص و روشن میان نیازمندی‌های مشتری و ویژگی‌های کیفیت تعیین شده است. چرا که در این روش تنها به میزان اهمیت هر نیازمندی فنی در برآورده سازی نیازمندی‌های مشتری توجه می‌شود و میزان وابستگی نیازمندی‌های مشخص شده مشتری براساس تأثیرات نیازمندی‌های فنی برآورده کننده آن‌ها بر یکدیگر، توجهی نمی‌شود. همچنین، به دلیل عدم وجود ساختار تصمیم‌گیری بالا به پایین و سلسله مراتبی، استفاده از این روش به عنوان چارچوبی برای انتخاب طراحی مناسب با چالشی اساس روبه روست. یکی از مزیت‌های تئوری بدیهه‌گرا نسبت به روش گسترش عملکرد کیفیت ساختار سلسله مراتبی آن است که این امکان را به طراحان می‌دهد تا بتوانند به نحوی آسان‌تر با مسائل طراحی پیچیده برخورد نمایند. این هدف با انجام حرکت‌های رفت و برگشتی میان دامنه‌های مختلف طراحی و درواقع میان سطوح مختلف ساختار سلسله مراتبی موجود در دامنه‌ها، حاصل می‌شود به طوریکه در هر مرحله می‌توان با استفاده از دو بدیهه موجود در این تئوری، از درست بودن تصمیمات طراحی اطمینان حاصل نمود و سپس وارد جزئیات بیشتر مسئله گردید [۵]. سپس در گام بعدی با انتخاب و توسعه مناسب‌ترین مدل برآورد هزینه چرخه عمر، هزینه طرح‌های مختلف محصول را در تمام چرخه عمر آن از طراحی تا زوال در مرحله طراحی محصول برآورد کرد و بهترین طرح محصول که دارای کم‌ترین هزینه می‌باشد را برای تولید محصول مورد مطالعه انتخاب کرد

۲- پیشینه پژوهش

ویلانوئوا و همکاران (۲۰۲۰)، طراحی برای محیط زیست و طراحی برای هزینه را به دلیل ارزیابی هزینه مالی و تأثیرات زیست محیطی در خدمات یا سرویس دهی مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف این مقاله تحلیل رویکردهای نمایندگی خدمات براساس دو روش طراحی برای هزینه و طراحی برای محیط زیست و بیان شباتها و تفاوت‌های آن‌ها می‌باشد تا شرکت‌های خدماتی را از هزینه‌های خود و مسئولیت‌های زیست محیطی آگاه‌تر کند[۶].



شکل (۱): مدل مفهومی طراحی برای هزینه [۱۲]

دورتا ویکک و داریوش ویکک[1] (۲۰۱۹)، معتقد است در مرحله طراحی محصول برآورد هزینه مشکل است زیرا هنوز عناصر به طور قطعی طراحی نشده‌اند و بسته به مقدار اطلاعات موجود روش‌های برآورد هزینه کم و بیش دقیق استفاده می‌شود. هدف این مقاله ارائه روشی برای برآورد هزینه بر پایه طراحی برای هزینه است که این امکان را می‌دهد که براساس نرخ‌های فعلی در یک دوره زمانی مشخص، هزینه‌ای که به واقعیت نزدیک‌تر است برآورد شود. روش پیشنهادی با سیستم‌های تولیدی که در شرایط واحد و مقدار کمی تولید کار می‌کنند، تنظیم شده است[۷].

رانگ هووان و همکاران[2] (۲۰۱۸)، روش طراحی بهینه سازی برای کاهش هزینه چرخه عمر یک سیستم خنک‌کننده یکپارچه ارائه می‌دهند که ترکیبی از حلقه ترموسفون و یخچال فشرده‌سازی بخار است. سیستم خنک‌کننده یکپارچه دارای سه حالت مختلف عملیاتی مربوط به شرایط مختلف در فضای باز است و روش طراحی بهینه سازی مدل فیزیکی سیستم خنک کننده را با حالت‌های چند کاره تعریف کرده است. با توجه به کاهش هزینه چرخه عمر سیستم به عنوان تابع هدف، پارامترهای اصلی هر جزء بهینه‌سازی و توسط برنامه‌نویسی درجه دوم طراحی شده است. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد، مدل اثر قابل توجهی در صرفه‌جویی انرژی داشته، و هزینه چرخه عمر سیستم خنک‌کننده تقریبا ۱۰٪ در مقایسه با سیستم موجود کاهش یافته است[۸].

دورتا ویکک و داریوش ویکک[3] (۲۰۱۹)، معتقد است در مرحله طراحی محصول برآورد هزینه مشکل است زیرا هنوز عناصر به طور قطعی طراحی نشده‌اند و بسته به مقدار اطلاعات موجود روش‌های برآورد هزینه کم و بیش دقیق استفاده می‌شود. هدف این مقاله ارائه روشی برای برآورد هزینه بر پایه طراحی برای هزینه است که این امکان را می‌دهد که براساس نرخ‌های فعلی در یک دوره زمانی مشخص، هزینه‌ای که به واقعیت نزدیک‌تر است برآورد شود. روش پیشنهادی با سیستم‌های تولیدی که در شرایط واحد و مقدار کمی تولید کار می‌کنند، تنظیم شده است[۷].

رانگ هووان و همکاران[4] (۲۰۱۸)، روش طراحی بهینه سازی برای کاهش هزینه چرخه عمر یک سیستم خنک‌کننده یکپارچه ارائه می‌دهند که ترکیبی از حلقه ترموسفون و یخچال فشرده‌سازی

[1] Dorota WIĘCEK, Dariusz WIĘCEK
[2] Rong-Huan Fu, et, al.
[3] Dorota WIĘCEK, Dariusz WIĘCEK
[4] Rong-Huan Fu, et, al.

بخار است. سیستم خنک کننده یکپارچه دارای سه حالت مختلف عملیاتی مربوط به شرایط مختلف در فضای باز است و روش طراحی بهینه سازی مدل فیزیکی سیستم خنک‌کننده را با حالت‌های چند کاره تعریف کرده است. با توجه به کاهش هزینه چرخه عمر سیستم به عنوان تابع هدف، پارامترهای اصلی هر جزء بهینه‌سازی و توسط برنامه‌نویسی درجه دوم طراحی شده است. نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد، مدل اثر قابل توجهی در صرفه‌جویی انرژی داشته، و هزینه چرخه عمر سیستم خنک کننده تقریبا ۱۰٪ در مقایسه با سیستم موجود کاهش یافته است[۸].

منگونی و همکاران[۵] (۲۰۱۶)، یک سیستم مبتنی بر دانش طراحی کرده‌اند که مدل اتوکد سه بعدی محصول را تجزیه و تحلیل می‌کند و به طور خودکار عملیات تولید که توسعه یافته است را تعیین می‌کند. این سیستم شامل یک پلت فرم مقیاس‌پذیر[۶] است که روش "طراحی برای هزینه" را اجرا می‌کند. در واقع قادر به تشخیص ویژگی‌های هندسی و غیر هندسی از مدل سه بعدی و ویژگی‌های آن است و هزینه نهایی را به عنوان مجموع مواد خام با کمک مجموعه‌ای از قوانین مبتنی بر دانش نقشه‌برداری، تولید فرآیندها و ویژگی‌های مدل‌سازی محاسبه می‌کند. این مقاله یک مورد کاربردی در صنعت دریچه‌های بال با استفاده از یک روش ساختاری مبتنی بر رویکرد مهندسی سیستماتیک ارائه می‌دهد. از پلت فرم در مراحل مختلف چرخه عمر محصول استفاده شده است. نتایج به دست آمده برای محاسبه هزینه‌های محصول مقایسه می‌شود[۹].

بشار الخاصونه[۷] (۲۰۱۳)، معتقد است که روند توسعه طراحی براساس تعدادی از محدودیت‌ها و الزامات پیش می‌رود. در کشورهای در حال توسعه طراحان با محدودیت های زیادی روبه رو هستند. از این رو، وظیفه طراح است که اجزای مناسب سازگار با نیازهای عملکردی سیستم را شناسایی کند. این مقاله فرآیند توسعه سیستم یا محصول را با در نظر گرفتن واقعیت بازارهای محلی در حال توسعه جهانی، پوشش می‌دهد. مقاله با مرور ادبیات مربوط به طراحی برای X شروع می‌شود، و سپس نشان می‌دهد که چگونه طراحی برای دسترس‌پذیری و هزینه باید در روند طراحی گنجانده شود[۱۰].

شلدون و همکاران[۸] (۲۰۰۷)، تعدادی از شیوه‌های تولید و ساخت و ساز را در بخش‌های مختلف صنعتی، از جمله شیمیایی، الکترونیکی، و مکانیکی مورد بحث قرار داده‌اند. هدف مقاله بررسی روش‌های طراحی برای هزینه است و نویسندگان آن معتقدند که شرکت‌ها قبل از پیاده‌سازی روش طراحی برای هزینه فکر می‌کنند که همیشه به دنبال اصل طراحی برای کاهش هزینه بوده‌اند. آن‌ها اعتقاد دارند که تحقیقات آینده برای شناسایی جنبه‌های عمومی طراحی برای هزینه می‌تواند به زیرساخت‌های شرکت به عنوان یک اصل پایه کمک کند[۳].

مقالات ارائه شده در این زمینه، در ابتدا به بررسی روش‌های موجود در زمینه کاهش هزینه و ارائه روش‌های جدید یا توسعه روش‌های موجود می‌پردازند. بیشتر مقالات برای تجزیه و تحلیل نیازهای مشتری از روش گسترش عملکرد کیفیت استفاده کرده‌اند. برای برآورد هزینه روش‌های متفاوتی وجود دارد که با توجه به مراحل مختلف طراحی انتخاب می‌شوند. تعدادی از مقالات روش پیشنهادی خود را در یک مطالعه موردی بکار برده و نتایج را نیز نشان داده‌اند. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد طراحی برای هزینه و پیاده‌سازی آن در محصول الکترواپتیکی نیازهای مشتریان را با استفاده از روش طراحی بدیهه‌گرا به بهترین حالت ممکن شناسایی و تجزیه و تحلیل نموده و آن‌ها را به پارامترهای طراحی تبدیل و هزینه طرح‌های مختلف محصول را برآورد و با مقایسه هزینه چرخه عمر طرح‌ها، بهترین طرح انتخاب می‌گردد.

۳-روش تحقیق

پژوهش حاضر براساس هدف به دلیل توسعه دانش کاربردی در زمینه خاص از نوع کاربردی – توسعه ای، و براساس نوع داده‌ها کمی – کیفی می‌باشد. و در بازه زمانی پاییز ۱۳۹۷ تا زمستان سال ۱۳۹۸ انجام گردیده است.

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، مراحل انجام پژوهش شامل ۹ گام است که با شناسایی و استخراج نیازهای مشتریان ، آغاز شده سپس این نیازها به پارامترهای طراحی تبدیل و طرح‌های مختلف محصول استخراج می‌شوند. در گام‌های بعدی پس از انتخاب مدل چرخه عمر، انتخاب مدل هزینه چرخه عمر و

[5] M.Mengoni, et.al.

[۶] Scalable platform

[۷] Bashar S. El-Khasawneh

[۸] F. Sheldon, et, al.

انتخاب روش برآورد هزینه، پارامترهای لازم جهت برآورد هزینه چرخه عمر محصول استخراج و در پایگاه دانش ذخیره می‌شوند. سپس هزینه چرخه عمر طرح‌های محصول برآورد شده و برای انتخاب بهترین طرح تصمیم‌گیری می‌شود. در ادامه به تشریح هر یک از گام‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱- استخراج نیاز مشتریان

شناسایی نیازهای مشتریان و تبدیل آن‌ها به ویژگی‌های طراحی محصولات و خدمات، امری حیاتی برای رقابتی ماندن در بازاراست. در این گام با استفاده از قراردادهای محصول، نیازهای مشتریان و همچنین عملکرد سامانه نظرسنجی محصول، نیازهای مشتریان مشخص و شناسایی می‌شوند.

۳-۲- تبدیل نیاز مشتریان به پارامترهای طراحی و استخراج طرح های مختلف محصول

پس از استخراج نیازهای مشتریان باید آن‌ها را تجزیه و تحلیل و سپس به پارامترهای طراحی تبدیل نمود تا طراح بتواند طرح‌های محصول را طراحی کند. رویکرد بدیهه‌گرا ابزاریست که ضمن در نظر گرفتن تمامی نیازمندی‌ها و بدیهیات ممکن به ارزیابی و انتخاب نیازمندی‌های اساسی و جداسازی نیازمندی‌ها از راه‌حل‌ها و محدودیت‌های طراحی پرداخته و با سازوکار مرحله‌بندی و امکان بازگشت به عقب و بررسی راهکارها و حصول اطمینان از مناسب بودن پارامتر طراحی با نیاز مطرح شده جلو دوباره کاری‌ها و تلفات ناشی از سعی و خطا را می‌گیرد و با ایجاد روندی منظم و جامع به طراح این امکان را می‌دهد که در طی تمامی مراحل طراحی از سناریوی اصلی مطلع بوده و نیازهای اصلی مشتری که در پس تعریف متغیرهای فرآیند بوده را در نظر داشته باشد [۵]. پس از مشخص شدن پارامترهای طراحی، طراح با کمک ابزارهای مختلف طراحی، طرح یا طرح‌هایی از محصول را منطبق با نیاز مشتریان ترسیم می‌کند. در پژوهش حاضر با توجه به مدل‌های تجزیه و تحلیل نیازهای مشتریان روش طراحی بدیهه‌گرا انتخاب شده است. بنابراین نیازهای استخراج شده مشتریان به کمک فرآیند زیگزاگی در این روش به الزامات کارکردی و پارامترهای طراحی تبدیل می‌شوند. الزامات کارکردی و پارامترهای طراحی و همچنین ارتباط بین آن‌ها در قالب درخت سلسله مراتبی با مراجعه حضوری با خبرگان مشخص می‌شوند

مدل‌های بسیاری برای چرخه عمر وجود دارد. به دلیل نقش و اهمیت چرخه عمر در فرآیند توسعه و تکامل یک سیستم جدید، هر سازمان با توجه به ماهیت سیستم موردنیاز، پیچیدگی‌های فرآیندی آن و ساختار سازمانی و استراتژی‌های طراحی خود، چرخه عمر مشخصی را برای افزایش اثربخشی و ارزش آفرینی کسب و کار خود تعریف نموده و اجرای آن را در تمامی پروژه‌های خود دنبال می‌نماید. از این رو، بدیهی است که نمی‌توان یک چرخه عمر واحد را برای تمامی سازمان‌ها توصیه کرد اما با توجه به شواهد علمی و عملیاتی سازمان‌های پیشرو، در نگاه کلان، گام‌ها و توالی چرخه عمر محصول جدید، یکسان بوده و به فراخور مقتضیات محیطی، سازمانی و سیستم، برخی فازها تفکیک یا ترکیب شده و سطح و نوع فعالیت در آن‌ها تغییر می‌کند[۱۱].

۳-۴- انتخاب مدل هزینه چرخه عمر

مانند چرخه عمر برای هزینه چرخه عمر نیز مدل‌های بسیاری وجود دارند. بدیهی است که نمی‌توان یک مدل هزینه چرخه عمر واحدی را برای تمامی سازمان‌ها توصیه کرد. بنابراین هر سازمانی با توجه به ماهیت سازمان و محصولی که قرار است آن را تولید کند مدل هزینه چرخه عمری را تعریف می‌کند و با توجه به آن مدل به بررسی هزینه چرخه عمر محصول یا سیستم خود می‌پردازد.

۳-۵- انتخاب روش برآورد هزینه

برای برآورد هزینه چرخه عمر روش‌های کیفی و کمی بسیاری وجود دارد. در جدول (۱) برخی از این روش‌ها بیان شده و از طریق بیان مزایا و معایب هر روش با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۳-۶- استخراج پارامترهای لازم جهت برآورد هزینه چرخه عمر طرح‌ها

در این گام، پارامترهای لازم برای برآورد هزینه چرخه عمر طرح یا طرح‌های محصول استخراج و در پایگاه داده ذخیره می‌شوند تا بتوان همچنین در آینده از این پارامترها استفاده کرد.

شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

۳-۷- ایجاد پایگاه داده (پایگاه دانش، سیستم متخصص)

پایگاه دانش یک فناوری است که برای ذخیره‌سازی اطلاعات پیچیده و ساختار یافته از ساختار سیستم رایانه‌ای استفاده می‌کند. یکی از مهم‌ترین نکات کلیدی برای ایجاد یک پایگاه دانش سودمند این است که حجم مناسبی از اطلاعات را ارائه دهد و کاربر بتواند به راحتی اطلاعات موردنیاز خود را در پایگاه دانش پیدا کند، و اگر به مشکلاتی در پایگاه دانش برخورد کرد بتواند به راحتی آن را رفع کند و دارای سیستم پشتیبان و امنیت حفظ اطلاعات باشد. زمانی که ویژگی‌های طراحی به دست آمد، طراح بر اساس آن ویژگی‌ها چندین طرح منطبق با نیاز مشتری ترسیم می‌کند. با توجه به طرح‌های ترسیم شده می‌توان لیست قطعات و مواد و فرآیندهای مرتبط با ساخت و تجهیزات ساخت را شناسایی کرد. این اطلاعات پس از شناسایی برای ادامه روند طراحی برای هزینه در پایگاه دانشی ذخیره و مستندسازی می‌شوند تا به هنگام برآورد هزینه طرح‌ها، بتوان به راحتی هر اطلاعاتی که نیاز داریم را استفاده کنیم. علاوه بر این اگر محصولی مشابه محصول فعلی در آینده پیشنهاد شد که از نظر برخی از هزینه‌ها در برآورد مشابه هستند می‌توان از همان اطلاعات هزینه‌ای که قبلا در پایگاه دانش ذخیره شده‌اند استفاده کرد.

۳-۸- محاسبه هزینه چرخه عمر محصول مطابق مدل پیشنهادی

هزینه چرخه عمر محصول شامل هزینه تمامی مراحل در نظر گرفته شده برای محصول می‌باشد. برخی از هزینه‌های چرخه عمر محصول در ابتدا و مرحله مفهومی با استفاده از تکنیک‌های ریاضی قابل محاسبه هستند. دسته دیگری از هزینه‌ها بر اساس پروژه‌های گذشته و نظر خبرگان و متخصصان صنعت پیش‌بینی می‌شوند.

۳-۹- تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین طرح محصول

پس از آنکه هزینه طرح‌های مختلف برآورد شد، طرح‌ها به همراه هزینه‌ای که بر سازمان تحمیل می‌کنند به هیئت تصمیم‌گیری که می‌تواند شامل هیئت مدیره سازمان، خبرگان، و متخصصین باشد داده می‌شود و تیم تصمیم‌گیری با توجه به هزینه طرح و سودی که پس از ساخت محصول متوجه سازمان می‌شود، و با استفاده از نمودارهای مقایسه‌ای و ایجاد شاخص‌های مقایسه‌ای طرح نهایی را انتخاب می‌کنند. تصمیم‌گیری نهایی شامل دو حالت است:

۱) انتخاب یک طرح از بین چندین طرح،

۲) مقایسه هزینه و سود یک طرح برای درک اینکه آیا ساخت محصول به صرفه است و یا سازمان بودجه ساخت محصول را می‌تواند تأمین کند یا خیر.

۳-۹-۱- شاخص‌های عملکردی برای تصمیم‌گیری نهایی

شاخص‌های عملکردی شامل موارد زیر است:

- ✓ درصد برآورده شدن نیاز مشتری بعد از طراحی و ساخت
- ✓ درصد اختلاف هزینه چرخه عمر طرح منتخب نسبت به میانگین هزینه چرخه عمر طرح‌های موجود پیشنهادی
- ✓ درصد اختلاف هزینه طرح منتخب با حداکثر هزینه چرخه عمر طرح‌های موجود پیشنهادی:

۴- مطالعه موردی

محصول مورد مطالعه در این پژوهش یکی از محصولات الکترواپتیکی است. هدف صنایع الکترواپتیکی پی‌ریزی یک صنعت مدرن و پویا در طراحی و ساخت انواع قطعات دقیق نوری و تجهیزات و ارائه خدمات فنی و مهندسی و مشاوره در جهت رضایت مشتریان است. این صنعت از متخصصین و کارشناسان آموزش دیده و با مهارت برای تولید محصولات خود استفاده می‌کند و با برنامه‌ریزی دقیق و استفاده از فناوری‌های نوین در تولیدات خود توانسته در بازار رقابت مورد توجه زیادی قرار گیرد. بنا به دلایل امنیتی از بردن نام محصول و اجزای آن معذوریم. رویکرد طراحی برای هزینه را بر روی محصول مورد مطالعه پیاده‌سازی و اجرا نموده‌ایم و به ترتیب نتایج هر مرحله رویکرد را در ادامه نشان می‌دهیم.

۴-۱- استخراج نیاز مشتریان

با استفاده از قراردادهای محصول و با مشورت با خبرگان و متخصصان صنعت نیازهای مشتریان مشخص و شناسایی شدند. ۸ تا از نیازهای مشتریان شناسایی شد که در جدول (۲) آمده‌اند. در پژوهش حاضر تنها شناسایی نیازها مهم است .

۴-۲- استخراج الزامات کارکردی و پارامترهای طراحی و استخراج طرح های مختلف محصول

اولین اقدامی که طراحان انجام می‌دهند توسعه مجموعه‌ای از الزامات کارکردی پیش از در نظر گرفتن شرایط عملیاتی، حجم، هزینه و...، و بدون در نظر گرفتن راه حل‌های ممکن است. پس از تعریف الزامات کارکردی در دامنه عملکردی وظیفه بعدی تصور پارامترهای طراحی جهت برآورده کردن نیازهای عملکردی می‌باشد. این حرکت از الزامات کارکردی به پارامترهای طراحی در واقع طراحی محصول است. به منظور کامل نمودن فرآیند طراحی، باید میان دامنه‌ها حرکت رفت و برگشتی انجام گیرد. به منظور تکمیل فرآیند طراحی تجزیه الزامات کارکردی به پارامترهای طراحی از سطوح بالا به صورت لایه به لایه صورت می‌گیرد تا زمانی که طراحی به لایه آخر برسد، یعنی جایی که طراحی می‌تواند اجرا گردد. رابطه بین الزامات کارکردی و پارامترهای طراحی با مشورت گروه خبرگان یک رابطه یک و یک است. در جدول (۳) الزامات کاکردی و پارامترهای طراحی در سطح اول مشخص شده‌اند.

جدول(۲): نیازهای مشتریان (CNs)	
ردیف	نیازهای مشتریان (CNs)
۱	هدف را شناسایی کند و بتواند آن را جست و جو و ردیابی کند.
۲	بتواند با حامل تبادل اطلاعاتی داشته باشد.
۳	توانایی مقابله با جنگ الکترونیک را داشته باشد.
۴	در شرایط محیطی تعریف شده بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد.
۵	در محدودیت‌های فیزیکی عملکرد قابل قبولی داشته باشد.
۶	در تمامی زمان‌های شبانه روز توانایی کارکردن داشته باشد.
۷	در زمان و قیمت مناسب طراحی آن به پایان برسد.
۸	بتواند با سایت زمینی تبادل اطلاعاتی داشته باشد.

جدول(۳): الزامات کارکردی و پارامترهای طراحی		
ردیف	پارامترهای فیزیکی (DP)	الزامات کارکردی (FR)
۱	DP_1: الگوریتم جست و جو و شناسایی هدف	FR_1: جست و جو کردن وشناسایی و ردیابی هدف
۲	DP_2: الگوریتم تبادل اطلاعات با حامل	FR_2: تبادل اطلاعات با حامل
۳	DP_3: الگوریتم مقابله با جنگ الکترونیک	FR_3: مقابله با جنگ الکترونیک
۴	DP_4: الگوریتم عملکرد در شرایط محیطی	FR_4: عملکرد در شرایط محیطی تعریف شده
۵	DP_5: الگوریتم عملکرد در شرایط فیزیکی	FR_5: عملکرد در محدودیت های فیزیکی
۶	DP_6: الگوریتم عملکرد در اوقات شبانه روز	FR_6: عملکرد در اوقات شبانه روز
۷	DP_7: الگوریتم بهینه‌سازی	FR_7: پایان یافتن در زمان و قیمت مناسب
۸	DP_8: الگوریتم تبادل اطلاعات با سایت زمینی	FR_8: تبادل اطلاعات با سایت زمینی

۴-۳- انتخاب مدل چرخه عمر

همانطور که قبلا ذکر شد مدل‌های بسیاری برای چرخه عمر وجود دارد و یک چرخه عمر واحد وجود ندارد. بنابراین هر سازمانی متناسب با ماهیت محصول یا خدمت یا سیستم خود چرخه عمری را توسعه می‌دهد. در پژوهش حاضر با مشورت با خبرگان و متخصصین صنعت و مقایسه مدل‌های چرخه عمر، مدل چرخه عمر استاندارد ایزو انتخاب گردید. مطابق با مدل چرخه عمر ایزو که در شکل (۳) نشان داده شده است، شش فاز مفهوم، توسعه، تولید، بهره‌برداری، پشتیبانی و از رده خارج کردن برای محصول مورد مطالعه در نظر گرفته شده است.

۴-۴- انتخاب مدل هزینه چرخه عمر

هزینه چرخه عمر نیز مانند چرخه عمر مدل‌های بسیاری دارد و نمی‌توان گفت که برای همه سازمان یک مدل هزینه چرخه عمر وجود دارد. بنابراین هر سازمانی باید مدل هزینه چرخه عمر را متناسب با ماهیت سیستم و محصول خود توسعه دهد. برای شناسایی هزینه‌های چرخه عمر مدل‌های بسیاری مانند: مدل هزینه چرخه عمر اداره ارتش آمریکا، مدل هزینه چرخه عمر جزیورک، مدل هزینه چرخه عمر استاندارد IEC، مدل هزینه چرخه عمر ریچ، مدل هزینه چرخه عمر لاکس، و مدل هزینه چرخه عمر دیلون و... مطالعه شده است که به دلیل طولانی شدن مطالب از بیان کلیه مدل‌ها صرف نظر شده است و برای نمونه مدل چرخه عمر اداره ارتش آمریکا در شکل (۴) نشان داده شده است. در پژوهش حاضر با مشورت با خبرگان صنعت و مقایسه مدل‌های هزینه چرخه عمر مدلی پیشنهاد شد که در شکل (۵) نشان داده شده است. مدل ارائه شده دارای شش فاز اصلی هزینه-ای از جمله هزینه تعریف و مفهوم، هزینه توسعه و طراحی، هزینه ساخت، هزینه نصب و راه‌اندازی، هزینه عملیات و نگهداری و تعمیرات و هزینه وارهایی محصول می‌باشد.

۴-۵- انتخاب روش برآورد هزینه

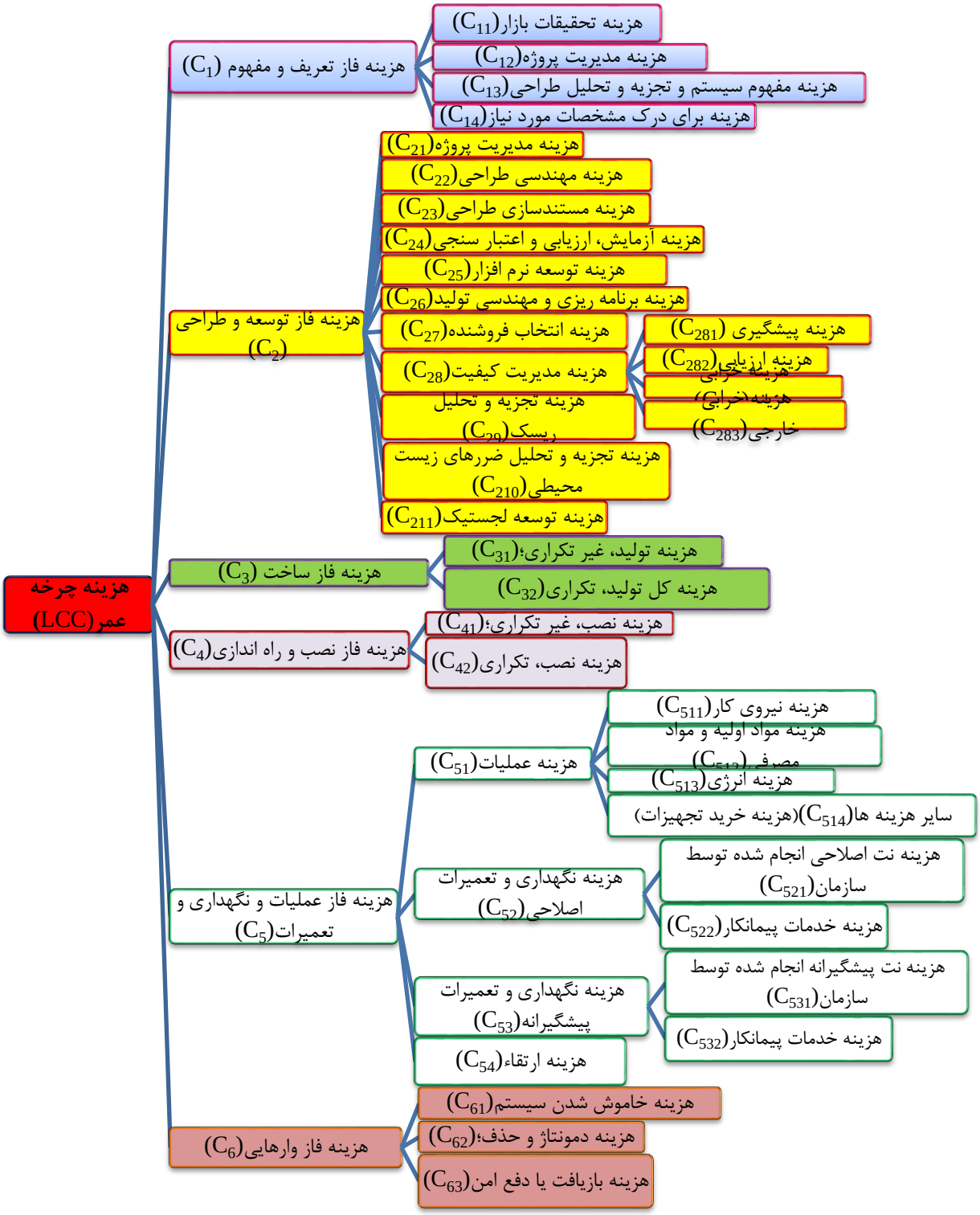
برای برآورد هزینه روش‌های کمی و کیفی بسیاری وجود دارد. در پژوهش حاضر با مشورت با خبرگان و متخصصین صنعت و مقایسه روش‌های موجود برآورد هزینه، از ترکیب روش پارامتریک و روش اقتصاد مهندسی و نظر خبرگان استفاده شده است. در جدول (۴) هزینه‌ها را با توجه به نوع روش برآورد هزینه دسته‌بندی کرده‌ایم.

شکل (۳): مدل چرخه عمر ایزو[۱۳]

۴-۶- استخراج پارامترهای لازم جهت برآورد هزینه چرخه عمر طرح ها

پارامترهای لازم جهت برآورد هزینه چرخه عمر با مشورت با خبرگان صنعت و مطالعه اطلاعات محصولات مشابه استخراج شده‌اند.

شکل ۴: مدل هزینه چرخه عمر اداره ارتش آمریکا[۱۴]


هزینه چرخه عمر(LCC)
هزینه فاز تعریف و مفهوم (C_1)
هزینه تحقیقات بازار(C_{11})
هزینه مدیریت پروژه(C_{12})
هزینه مفهوم سیستم و تجزیه و تحلیل طراحی(C_{13})
هزینه برای درک مشخصات مورد نیاز(C_{14})
هزینه فاز توسعه و طراحی (C_2)
هزینه مدیریت پروژه(C_{21})
هزینه مهندسی طراحی(C_{22})
هزینه مستندسازی طراحی(C_{23})
هزینه آزمایش، ارزیابی و اعتبار سنجی(C_{24})
هزینه توسعه نرم افزار(C_{25})
هزینه برنامه ریزی و مهندسی تولید(C_{26})
هزینه انتخاب فروشنده(C_{27})
هزینه مدیریت کیفیت(C_{28})
هزینه پیشگیری (C_{281})
هزینه ارزیابی(C_{282})
هزینه خرابی خارجی(C_{283})
هزینه تجزیه و تحلیل ریسک(C_{29})
هزینه تجزیه و تحلیل ضررهای زیست محیطی(C_{210})
هزینه توسعه لجستیک(C_{211})
هزینه فاز ساخت (C_3)
هزینه تولید، غیر تکراری؛(C_{31})
هزینه کل تولید، تکراری(C_{32})
هزینه فاز نصب و راه اندازی(C_4)
هزینه نصب، غیر تکراری؛(C_{41})
هزینه نصب، تکراری(C_{42})
هزینه فاز عملیات و نگهداری و تعمیرات(C_5)
هزینه عملیات(C_{51})
هزینه نیروی کار(C_{511})
هزینه مواد اولیه و مواد مصرفی (C_{512})
هزینه انرژی(C_{513})
سایر هزینه ها(C_{514})(هزینه خرید تجهیزات)
هزینه نگهداری و تعمیرات اصلاحی(C_{52})
هزینه نت اصلاحی انجام شده توسط سازمان(C_{521})
هزینه خدمات پیمانکار(C_{522})
هزینه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه(C_{53})
هزینه نت پیشگیرانه انجام شده توسط سازمان(C_{531})
هزینه خدمات پیمانکار(C_{532})
هزینه ارتقاء(C_{54})
هزینه فاز وارهایی(C_6)
هزینه خاموش شدن سیستم(C_{61})
هزینه دمونتاژ و حذف؛(C_{62})
هزینه بازیافت یا دفع امن(C_{63})

هزینه های محاسبه شده با نظر خبرگان	هزینه های محاسبه شده به روش پارامتریک	هزینه های محاسبه شده با روش اقتصاد مهندسی
- هزینه تحقیقات بازار - هزینه مدیریت پروژه در فاز تعریف و مفهوم - هزینه مفهوم سیستم و تحلیل طراحی - هزینه درک مشخصات موردنیاز محصول - هزینه مدیریت پروژه در فاز توسعه و طراحی - هزینه مهندسی طراحی - هزینه مستند سازی طراحی - هزینه آزمایش، ارزیابی و اعتبار سنجی - هزینه توسعه نرم افزار - هزینه برنامه ریزی و مهندسی تولید - هزینه انتخاب فروشنده - هزینه تحلیل ریسک - هزینه تحلیل ضررهای زیست محیطی - هزینه توسعه لجستیک - هزینه غیر تکراری تولید - هزینه تکراری تولید - هزینه غیر تکراری نصب - هزینه تکراری نصب - هزینه مواد اولیه و مواد مصرفی عملیات - هزینه مصرف انرژی - سایر هزینه های عملیات - هزینه خدمات پیمانکار نت اصلاحی - هزینه خدمات پیمانکار نت پیشگیرانه - هزینه سوختن سیستم	- هزینه آموزش کیفیت - هزینه اجرای کیفیت - هزینه طرح ریزی کیفیت - هزینه ممیزی کیفیت - هزینه طراحی وسایل اندازه گیری و آزمون - هزینه بررسی قابلیت فرآیند تولید و کنترل فرآیند - هزینه کالیبراسیون وسایل اندازه گیری و آزمون - هزینه کالیبراسیون دستگاه‌ها و تجهیزات تولید - هزینه تأیید صلاحیت - هزینه آزمون حین تولید - هزینه آزمون مواد اولیه - هزینه آزمون محصول - هزینه محصول غیر قابل اصلاح - هزینه دوباره کاری ها - هزینه طراحی مجدد - هزینه ضایعات خرید - هزینه خدمات پس از فروش - هزینه نیروی کار عملیات - هزینه نت اصلاحی انجام شده توسط سازمان - هزینه نت پیشگیرانه انجام شده توسط سازمان	- کل هزینه نگهداری و تعمیرات (نت اصلاحی + نت پیشگیرانه) - کل هزینه چرخه عمر محصول

جدول (۴):دسته بندی هزینه‌ها بر اساس نوع روش برآورد هزینه آن‌ها

۴-۷- ایجاد پایگاه دانش

برای برآورد هزینه چرخه عمر طرح‌های محصول نیاز به پایگاه دانشی هست که اطلاعات و پارامترهای هزینه‌ای در آن ذخیره شود. پایگاه دانش شامل دو دسته اطلاعات هزینه‌ای است. دسته اول پارامترهای هزینه‌ای برای محاسبه هزینه‌ها با استفاده از روابط ریاضی می‌باشد که در جدول (۵) مشخص شده‌اند، و دسته دوم شامل هزینه‌هایی از محصول است که بدون نیاز به روابط ریاضی و توسط خبرگان صنعت با توجه به تجربه و اطلاعات هزینه‌ای محصولات مشابه برآورد می‌شوند و در جدول (۶) مشخص شده‌اند.

جدول ۵: هزینه‌های برآورد شده با روابط ریاضی

ردیف	کد هزینه	نام هزینه
۱	C_{28}	هزینه مدیریت کیفیت
۲	C_{51}	هزینه عملیات
۳	C_{52}	پیشگیرانه هزینه نگهداری و تعمیرات
۴	C_{53}	اصلاحی هزینه نگهداری و تعمیرات
۵	C_{54}	هزینه ارتقاء

جدول ۶: هزینه‌های برآورد شده با نظر کارشناسان سازمان

ردیف	نام هزینه
۱	هزینه تحقیقات بازار
۲	هزینه مدیریت پروژه در فاز تعریف و مفهوم و فاز توسعه و طراحی محصول
۳	هزینه مفهوم سیستم و تجزیه و تحلیل طراحی
۴	هزینه برای درک مشخصات مورد نیاز محصول
۵	هزینه مهندسی طراحی
۶	هزینه مستندسازی طراحی
۷	هزینه آزمایش، ارزیابی و اعتبار سنجی
۸	هزینه توسعه نرم افزار
۹	هزینه برنامه ریزی و مهندسی تولید
۱۰	هزینه انتخاب فروشنده
۱۱	هزینه تجزیه و تحلیل ریسک
۱۲	هزینه تجزیه و تحلیل ضررهای زیست محیطی
۱۳	هزینه های تکراری تولید محصول
۱۴	هزینه های غیر تکراری تولید محصول
۱۵	هزینه های تکراری نصب و راه اندازی
۱۶	هزینه های غیرتکراری نصب و راه اندازی
۱۷	هزینه مواد اولیه و مواد مصرفی
۱۸	هزینه انرژی (برق، گاز و...)
۱۹	سایر هزینه های عملیات
۲۰	هزینه ارتقاء تجهیزات
۲۱	هزینه خاموش شدن (سوختن) محصول
۲۲	هزینه دمونتاژ و حذف محصول
۲۳	هزینه بازیافت یا دفع امن

۴-۸- برآورد هزینه چرخه عمر محصول

با استفاده از اطلاعات موجود در پایگاه دانش و روابط ریاضی و اقتصاد مهندسی هزینه چرخه عمر محصول را به طور جداگانه برای هر سطح چرخه عمر برآورد می‌کنیم. مدل هزینه چرخه عمر از پنج سطح تشکیل شده است که از سطح صفر تا چهارم شماره گذاری کرده‌ایم. سطح صفر هزینه کل چرخه عمر محصول می‌باشد. هر سطحی از هزینه‌ها باید محاسبه شوند تا بتوانیم هزینه‌های سطح قبلی را محاسبه کنیم، برای مثال هزینه‌های سطح چهارم جزئی‌ترین هزینه‌ها را شامل می‌شوند که با محاسبه آن‌ها می‌توان هزینه‌های سطح سوم را محاسبه کرد و این روند ادامه دارد تا به سطح صفر یا هزینه کل چرخه عمر محصول برسیم. از میان هزینه‌ها، هزینه نگهداری و تعمیرات به صورت سالانه محاسبه شده که با استفاده از فاکتور برگشت سرمایه اقتصاد مهندسی به هزینه فعلی تبدیل می‌شود تا مانند سایر هزینه‌ها شود، سپس مجموع تمام هزینه‌ها نیز با استفاده از رابطه ارزش فعلی یک بار پرداخت اقتصاد مهندسی به هزینه پایانی چرخه عمر محصول تبدیل می‌شوند. هزینه‌های چرخه عمر طرح‌های ارائه شده برای محصول موردنظر همانطور که در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده است برآورد شده‌اند. به طور کلی برای تمام طرح هایی که طراح ارائه می‌دهد هزینه چرخه عمر برآورد می‌شود و با مقایسه هزینه های طرح‌های مختلف، طرح با هزینه کمتر انتخاب می‌گردد. در این پژوهش، طراح از محصول موردنظر دو طرح را ارائه داده است که برای هر طرح به صورت جداگانه هزینه‌های موجود در طول چرخه عمر و در نهایت هزینه نهایی چرخه عمر محصول برآورد شده است. به دلیل طولانی شدن مطالب نمونه‌ای از روابط ریاضی در پیوست انتهای مقاله آورده شده است. هزینه فر صت از دست رفته برابر است با عایدی سودآورترین انتخاب منهای عایدی انتخاب انجام شده و چون در این پژوهش طرح انتخاب شده سودآورترین طرح ممکن بوده است در نتیجه هزینه فرصت از دست رفته برابر صفر است

جدول ۷: مقدار هزینه های اصلی

ردیف	کد هزینه	نام هزینه	محاسبه هزینه طرح (A)	محاسبه هزینه طرح (B)
۱	C1	هزینه فاز تعریف و مفهوم	۱۹۳۰۰۰۰	۱۹۳۰۰۰۰
۲	C2	هزینه فاز توسعه و طراحی	۵۵۴۵۹۵۰۰	۵۴۵۰۱۵۰۰
۳	C3	هزینه فاز ساخت	۲۱۷۰۰۰	۲۱۷۰۰۰
۴	C4	هزینه فاز نصب و راه اندازی	۱۰۵۰۰۰	۱۰۵۰۰۰
۵	C5	هزینه فاز عملیات و نگهداری و تعمیرات	۹۹۶۴۳۰۰	۱۱۰۷۰۳۶۰
۶	C6	هزینه فاز وارهایی	۱۱۵۸۰۰۰	۱۱۵۵۰۰۰

جدول ۸: هزینه چرخه عمر محصول در زمان حال و در پایان عمر مفید

هزینه فعلی چرخه عمر طرح (A)	هزینه فعلی چرخه عمر طرح (B)	نرخ بهره سالانه	هزینه چرخه عمر طرح (A) در پایان عمر مفید	هزینه چرخه عمر طرح (B) در پایان عمر مفید
۹۰۵۱۹۱۶۶٫۸۴	۹۳۸۶۵۲۹۲٫۵۲	۰٫۲	۱۱۲۰۹۴۱۶۴٫۵	۱۱۶۲۳۷۸۳۰٫۱

۴-۹- تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین طرح محصول

در این مرحله هر دوحالت مقایسه هزینه دو طرح، و مقایسه سود یا هزینه یک طرح را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این گام میزان سود یا زیان طرح اهمیت دارد. اگر اطلاعات درآمد را نداشتیم به مقایسه هزینه‌ها می‌پردازیم. برای محصول مورد مطالعه طراح سازمان دو طرحی که تفاوت‌های اندکی داشتند را ایجاد کرد که در ادامه به مقایسه این دو طرح می‌پردازیم.

۴-۹-۱- مقایسه سود یا هزینه کل چرخه عمر طرح‌های محصول

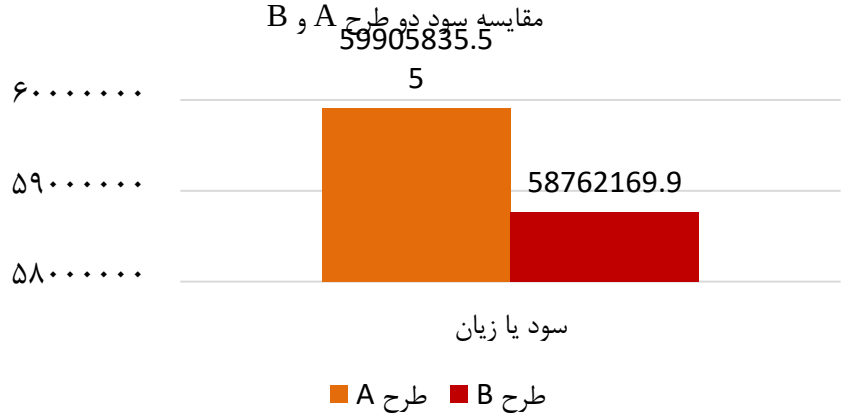
در این حالت هزینه و سود طرح های A و B را با استفاده از اطلاعات هزینه و درآمد که در جدول (۹) نشان داده شده مقایسه کرده و نتایج در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۹: مقادیر طرح A و B

نام مقادیر	مقادیر برای طرح A	مقادیر برای طرح B
هزینه	۱۱۲۰۹۴۱۶۴,۵	۱۱۶۲۳۷۸۳۰,۱
درآمد	۱۷۲۰۰۰۰۰۰	۱۷۵۰۰۰۰۰۰
سود یا زیان	۵۹۹۰۵۸۳۵,۵۵	۵۸۷۶۲۱۷۰

✓ **مقایسه سود دو طرح A و B**

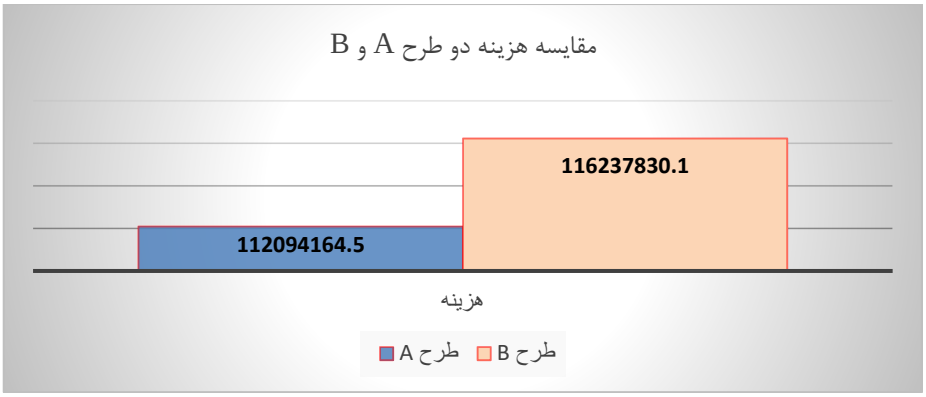
سود دو طرح A و B در شکل (۶) نشان داده شده است. با مقایسه سودهای طرح A و B، طرح A با اختلاف ۱۱۴۳۶۶۵,۶۴۳واحد پول از طرح B سودآورتر می‌باشد. بنابراین با مقایسه سودها طرح A انتخاب می‌گردد.



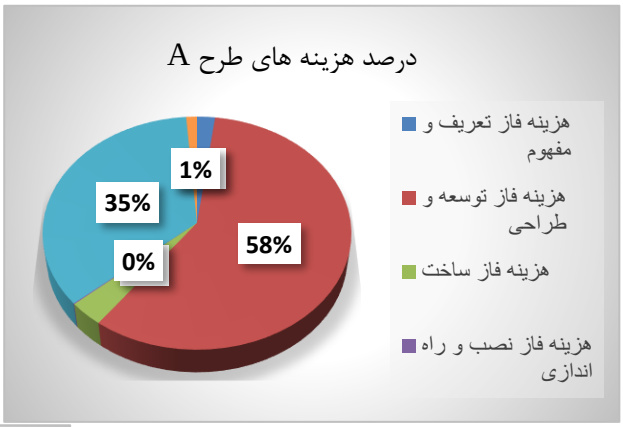
شکل (۶): میزان سود طرح های A و B

مقایسه هزینه‌های کلی دو طرح A و B

اگر برآورد میزان درآمد طرح‌ها برای سازمان مشکل باشد، به مقایسه هزینه‌ها پرداخته می‌شود و طرحی که هزینه کمتری داشته باشد انتخاب می‌گردد. هزینه دو طرح A و B در شکل (۷) نشان داده شده است. طرح B با اختلاف هزینه‌ای ۴۵۵۲۳۲۰,۲۴۷ واحد پول نسبت به طرح A پر هزینه‌تر است. بنابراین با مقایسه هزینه‌ها طرح A انتخاب می‌گردد.



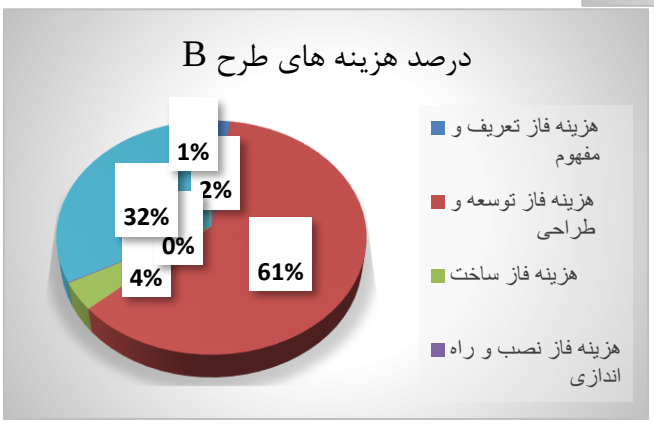
شکل (۷): مقدار هزینه طرح های A و B



شکل (۸): مقایسه هزینه‌های فازهای مختلف چرخه عمر طرح A

✓ **مقایسه هزینه‌های مختلف در چرخه عمر دو طرح A و B**

هزینه‌های مختلف طرح A و B را با یکدیگر مقایسه کرده‌ایم، مطابق با شکل‌های (۸) و (۹) هزینه فاز توسعه و طراحی در طرح A با ۵۸ درصد و در طرح B با ۶۱ درصد بیشترین مقدار هزینه را به خود اختصاص داده است.



شکل (۹): مقایسه هزینه‌های فازهای مختلف چرخه عمر طرح B

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امروزه در بازار رقابتی، شرکت‌های تولید کننده باید بتوانند به سرعت محصولاتی را تولید کنند که پاسخ‌گوی نیاز مشتری باشد، متناسب با نیاز مشتریان تغییر کند و این محصولات برای آن‌ها سودآوری و در عین حال کیفیت مناسبی داشته باشد. پاسخ‌گویی به این چالش باید در مرحله طراحی آغاز شود، هنگامی که تصمیمات بیشترین تأثیر را بر روی هزینه محصول می‌گذارند. معرفی اطلاعات دقیق در مورد هزینه در فرآیند طراحی برای هزینه می‌تواند روش‌های طراحی

محصول را بهبود ببخشد و سودآوری کلی را افزایش دهد. در این مقاله مدل طراحی برای هزینه را در یکی از محصولات الکترواپتیکی در صنایع شهید رضازاده پیاده‌سازی و اجرا نموده‌ایم. با توجه به سیاست سازمان می‌توان یکی از طرح‌ها را برای ورود به مرحله ساخت و تولید انتخاب کرد. در پژوهش حاضر با توجه به پارامترهای طراحی دو طرح A و B برای محصول استخراج گردیده است. سپس هزینه چرخه عمر دو طرح A و B براساس پارامترهای هزینه و روابط ریاضی محاسبه شده و برای انتخاب مناسب‌ترین طرح برای تولید محصول به مقایسه دو طرح از نظر میزان سودآوری و میزان هزینه چرخه عمر پرداخته ایم. در مقایسه بر اساس میزان سودآوری طرح A با اختلاف ۱۱۴۳۶۶۵,۶۴۳واحد پول از طرح B سودآورتر می‌باشد. بنابراین با مقایسه سودها طرح A انتخاب می‌گردد. در مقایسه براساس میزان هزینه چرخه عمر از میان طرح‌های ارائه شده طرح A با اختلاف هزینه‌ای۴۵۵۲۳۲۰,۲۴۷ واحد پول نسبت به طرح B کم هزینه‌تر است. بنابراین طرح A با میزان هزینه ۱۱۲۰۹۴۱۶۴,۵ و میزان سود ۵۹۹۰۵۸۳۵,۵۵ انتخاب می‌گردد. در گام آخر علاوه بر مقایسه سود و هزینه دو طرح موجود مجموعه هزینه‌های هر طرح به صورت جداگانه مقایسه شدند. بنابراین با توجه به نتایج هزینه فاز توسعه و طراحی در طرح A با ۵۸ درصد و در طرح B با ۶۱ درصد بیشترین مقدار هزینه را به خود اختصاص داده است. رویکرد طراحی برای هزینه دارای مراحل مهمی از جمله جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل نیازهای مشتریان، ایجاد پایگاه دانش و برآورد هزینه چرخه عمر می‌باشد که تمام این مراحل باید به بهترین نحو انجام شوند تا به نتایج کارآمد و مناسبی دست یابیم. در تحقیقات قبلی روش‌های مدل کانو و گسترش عملکرد کیفیت برای شناسایی محصولات استفاده شده است در تحقیق حاضر، روش طراحی بدیهه گرا برای شناسایی محصولات به کار برده شده است. همچنین در تحقیق حاضر برخلاف تحقیقات گذشته مدل چرخه عمر برای محصولات ارائه شده است. پیشنهاد می‌گردد از تکنیک‌های دیگر مهندسی سیستم مانند روش ترکیبی کانو و گسترش عملکرد کیفیت و... برای تبدیل نیازهای مشتریان به پارامترهای طراحی و الزامات کارکردی استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد از سایر مدل‌های چرخه عمر برای چرخه عمر محصول استفاده گردد. پژوهشگران و سازمان‌ها می‌توانند مدل برآورد هزینه چرخه عمر ارائه شده در این پژوهش را متناسب با ساختار سازمان و محصول مورد نظر توسعه دهند، همچنین روش برآورد هزینه ارائه شده در این پژوهش را متناسب با ساختار سازمان و سطح دسترسی به اطلاعات هزینه‌ای محصول توسعه دهند و از سایر روش‌های برآورد هزینه استفاده کنند.

۶- معادل لاتین عبارات بیان شده در متن

1. Design For X
2. Design For Assembly
3. Design For Cost
4. Design For logistics
5. Design For manufacturability
6. Design For reliability
7. Design For serviceability and/or reparability
8. Design For Enviroment
9. Life Cycle Cost
10. Quality Function Deployment
11. Axiomatic Design
12. Customer Needs
13. Functional Requirements
14. Design parameters
15. knowledge base
16. Expert System
17. ISO Standard
18. International Electro technical Commission
19. Department of the army

۷- منابع

[1] Xu, Q., Jiao, R.J., Yang, X., and Helander, M. (2009), An analytical Kano model for customer need analysis, Design Studies, Vol.30, No. 1.

[2] Tontini, G. (2003), Deployment of Customer Needs in the QFD Using a Modified Kano Model, Journal of the Academy of Business and Economics.

[3] Chen, X., J. Shao, and Z. Tain. Family cars' life cycle cost (LCC) estimation model based on the neural network ensemble. in International Conference on Programming Languages for Manufacturing. 2006. Springer.

[۴] مصطفی یوسفی، سعید رمضانی، محسن طاهری و عباس شریفی،" بهینه‌سازی زمان جایگزینی و تعویض تجهیزات با استفاده از هزینه چرخه عمر(مطالعه موردی :ناوگان اتوبوســـرانی شرکت جوان‌سیر ایثار)"، مرکز مطالعات و پژوهش‌های لجستیکی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۱۳۹۰.

[۵] مریم مکوندی، "طراحی بدیهه گرا به عنوان ابزاری جهت بهبود طراحی و کیفیت محصول (خدمات) در تعامل با سایر ابزارها"، کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در مهندسی صنایع و مدیریت،۱۳۹۷.

[6] Villanueva, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., Vautier, M., & Vaija, S. (2020, May). DESIGN-FOR-COST-AND-ENVIRONMENT: ONTOLOGICAL ANALYSIS AND COMPARISON OF SERVICE REPRESENTATION APPROACHES. In Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference (Vol. 1, pp. 2197-2206). Cambridge University Press.

[7] Więcek, D., Więcek, D., & Kuric, I. (2019). Cost estimation methods of machine elements at the design stage in unit and small lot production conditions. Management Systems in Production Engineering, 27(1), 12-17.

[8] Fu, R.-H., Z.-G. He, and X. Zhang, Life cycle cost based optimization design method for an integrated cooling system with multi-operating modes. Applied Thermal Engineering, 2018. 140: p. 432-441.

[9] Mengoni, M., et al., A scalable “Design for Costing” platform: a practical case in ball valves industry. Procedia CIRP, 2016. 50: p. 311-317.

[10] El-Khasawneh, B. S. (2013, August). Design for Availability (DFAV) and Design for Cost (DFC): Developing World Peculiarities. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 55911, p. V004T05A018). American Society of Mechanical Engineers.

[۱۱] سیداحمد حسینی مونس و علی کیا، " مهندسی سیستم‌ها"، مؤسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، ۱۳۹۸.

[12] Xiaochuan, C., et al. Methodology and technology of design for cost (DFC). in Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No. 04EX788). 2004. IEEE.

[13] ISO/ IEC 15288, Systems and software engineering – System life cycle processes, IEEE Std 15288- 2015.

[14] Department of Army. 1976. Operating and support cost guide for Army material systems. Pamphlet no. 11 – 14. Department of the Army, Washington, D. c.

۸- پیوست

جدول۱: هزینه محصول غیر قابل اصلاح

کد هزینه	فرمول هزینه	جزئیات هزینه
هزینه محصول غیرقابل اصلاح(C_{2831})	$C_{2831}= C_{28311}+ C_{28312}+ C_{28313}$	C_{28311} = هزینه جابجایی محصولات خراب C_{28312} = هزینه انتقال و معدوم سازی ضایعات C_{28313} = هزینه خسارات ناشی از ضایعات بر نیروی انسانی
هزینه جابجایی محصولات خراب(C_{28311})	C_{28311} = (J*C12) + D12	J = حقوق متوسط یک ساعت کارشناسی افراد درگیر C12 = نفر ساعت صرف شده جهت جابجایی محصولات خراب در حین تولید و پس از پایان عمر محصول D12 = هزینه نگهداری و انبارش محصولات خراب در حین تولید و پس از پایان عمر محصول
هزینه انتقال و معدوم سازی ضایعات(C_{28312})	C_{28312}= (J*E12) +G12	J = حقوق متوسط یک ساعت کارشناسی افراد درگیر E12 = نفر ساعت صرف شده جهت انتقال و معدوم سازی ضایعات در حین تولید و پس از پایان عمر محصول
هزینه خسارات ناشی از ضایعات بر نیروی انسانی(C_{28313})	C_{28313}= H12+I12	H12 = هزینه های مربوط به درمان حوادث نیروی انسانی (جراحت ،سوختگی، شکستگی، نقص عضو، قطع عضو و ...) I12 = هزینه های دیه جراحات و آسیب نیروی انسانی (جراحت ،سوختگی، شکستگی، نقص عضو، قطع عضو، مرگ و ...)

جدول۲: روابط هزینه فاز نگهداری و تعمیرات انجام شده توسط سازمان

کد هزینه	فرمول هزینه	جزئیات هزینه
C_{52} = هزینه نت اصلاحی C_{53} = هزینه نت پیشگیرانه	C_{52}, C_{53} =C_h * N_c *J + C_C * N_c	Ch = متوسط نفر ساعت مورد نیاز برای نگهداری و تعمیرات اصلاحی(پیشگیرانه) Nc = تعداد اقدامات نگهداری و تعمیرات اصلاحی(پیشگیرانه) در یک سال J = هزینه هر ساعت نیروی کار CC = متوسط هزینه مصرف مواد در هر دوره نگهداری و تعمیرات اصلاحی(پیشگیرانه)

جدول ۳: روابط اقتصاد مهندسی برای تبدیل هزینه‌ها به هزینه آتی

نام فاکتور (ضریب)	رابطه	توضیحات رابطه
ارزش فعلی یک بار پرداخت	$F = P (1+i)^n$ = P (F/P, i ,n)	P = ارزش فعلی (پارامتر معلوم) F = ارزش آینده (پارامتر مجهول) I = نرخ بهره
ارزش آتی یک بار پرداخت	P = F (1+i)-n = F (P/F, i ,n)	P = ارزش فعلی (پارامتر مجهول) F = ارزش آینده (پارامتر معلوم) I = نرخ بهره
وجوه استهلاکی یا پرداخت منظم سالانه	$= A = F \frac{i}{(1+i)^n-1}$ F (A/F, i ,n)	A = هزینه / درآمد یکنواخت سالانه (پارامتر مجهول) F = ارزش آینده (پارامتر معلوم) I = نرخ بهره
پرداخت مساوی برای مقدار مرکب یا مرکب یک سری یکنواخت	$= F = A \frac{(1+i)^n-1}{i}$ A (F/A, i ,n)	A = هزینه / درآمد یکنواخت سالانه (پارامتر معلوم) F = ارزش آینده (پارامتر مجهول) I = نرخ بهره
برگشت سرمایه یا بازیافت سرمایه	$= A = P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$ P (A/P, i ,n)	A = هزینه / درآمد یکنواخت سالانه (پارامتر مجهول) P = ارزش فعلی(پارامتر معلوم) I = نرخ بهره
ارزش فعلی سری یکنواخت یا ارزش فعلی اقساط سالانه	$= P = A \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$ A (P/A, i ,n)	A = هزینه / درآمد یکنواخت سالانه (پارامتر معلوم) F = ارزش آینده (پارامتر مجهول) I = نرخ بهره