

## کارکرد مهندسی ارزش در طراحی سامانه های کنترل مرکزی رفاهی و امنیت الکترونیک ساختمان

### (مطالعه موردی طراحی بهینه BMS با ابزار مهندسی ارزش)

محمد قلم چی<sup>۱</sup> دکترای فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه، موسسه خدمات مدیریت و فناوری رشد قلم چی  
سید احمد شیت الحمیدی<sup>۲</sup> دکترای مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، گروه مدیریت صنعتی  
سمیرا صبوری<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز کوه

#### چکیده

مدیریت هوشمند مرکزی ساختمان که کارکردهای رفاهی و امنیتی دارد، مفهوم گسترده و پیچیده ای است که هرکس از ظن خود یار آن شده. اینکه این سامانه چه بخش هایی را کنترل نماید، یا به بیان دیگر، چه ورودی و چه عملگر (Actuator) هایی داشته باشد تا با کمترین هزینه، بیشترین راندمان را در حوزه افزایش رفاه، کاهش مصرف انرژی و افزایش امنیت به ارمغان آورد، مسئله ای اساسی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته. در این مقاله با استفاده از متدولوژی مهندسی ارزش، روشی برای طراحی بهینه BMS ارائه خواهد شد. از آنجا که متغیرهای بسیار متعددی در طراحی BMS وجود دارد، طراحی BMS یک مجتمع مسکونی لوکس در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: ورودی، عملگر (Actuator)، BMS، مهندسی ارزش، تحلیل ارزش، امنیت الکترونیک

#### ۱- مقدمه

BMS مخفف Building Management System است که در علم نوین به زبان ساده، سیستم مدیریت هوشمند ساختمان معنا شده است. حال این سامانه کنترلی می تواند برای یک سازه بزرگ مانند یک برج یا فرودگاه طراحی شده باشد و یا برای یک منزل مسکونی یا ویلا که معمولاً در ایران به سیستم هوشمند یک منزل، Smart home یا خانه هوشمند می گویند. برای مدیریت واحد الکترونیکی ساختمان، عبارتهای دیگری نیز از جمله Building Automation System (BAS)، Building Intelligent System (BIS)، Energy Management System (EMS) بر اساس استانداردهای مختلف و شرکتهای تولید کننده استفاده شده است. اجزایی که در این سیستمها به آن پرداخته می شود تا حدودی با یکدیگر متفاوت می باشند، لکن عملکرد و کارکرد کلی تمامی عناوین فوق الذکر یکسان است. شایان ذکر است در این مقاله، به سامانه مدیریت واحد الکترونیکی ساختمان، بصورت خلاصه BMS می گوئیم.

همگان معتقدند اداره ای امور یک ساختمان نیازمند مدیریتی بهینه است که باید در هر یک از قسمتها به نحو احسن انجام شود تا بتواند بازدهی خوبی داشته باشد این بازدهی در افزایش رفاه ساکنین ساختمان، بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش

۱- ceo@gmtii.com

۱- sheibat@yahoo.com

۲- samira.saboori@gmail.com

سطح امنیت موثر خواهد بود. این مدیریت سبب می شود شما علاوه بر داشتن امکانات رفاهی و آسایشی، بتوانید ساختمان خود را با نوعی حفاظت ویژه و ایمنی تقویت شده تحت کنترل و نظارت خود قرار دهید. یعنی به زبان ساده تر، علاوه بر مدیریت انرژی مصرفی خود و اصلاح الگوی مصرف انرژی، هزینه های جاری زندگیتان را بسیار کاهش دهید. در عصر جدید، سیستم های الکترونیکی جدیدی به بازار عرضه شده اند که توانایی اداره ی امور را به صورت کاملاً دقیق و هوشمند به مشتریان می دهند که به آنها سیستم الکترونیکی هوشمند می گویند و کارشان صرفاً مدیریت است.

سیستم های BMS دارای تکنولوژی های گوناگونی برای پیاده سازی هستند. همچنین فارغ از نوع تکنولوژی، مواردی که در ساختمان توسط BMS کنترل می شود قابل انتخاب است. این مقاله با راهکار تحلیل و مهندسی ارزش، در گام نخست روشی برای انتخاب بهینه عناصری که کنترل خواهند شد و در گام دوم، انتخاب بهینه تکنولوژی معرفی می نماید.

## ۲- مولفه های کنترلی توسط BMS

در یک ساختمان، بخش های مختلفی قابل کنترل است که مهم ترین موارد آنها به شرح زیر آمده است. در این مقاله ما هر کدام از این بخش ها را یک زیر سامانه می نامیم:

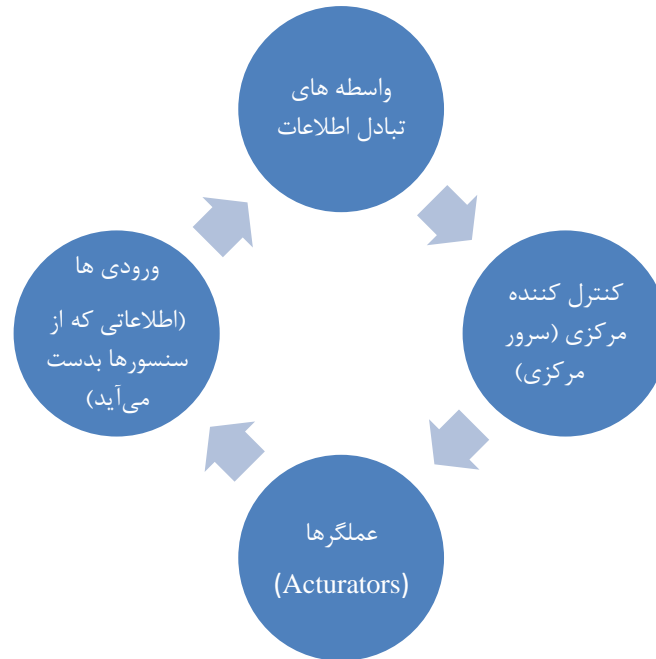
- سامانه برق
  - UPS
  - کنترل روشنایی و سیستم های نورپردازی فعال (اکتیو) و دیمینگ در بخش های مختلف ساختمان، محوطه و نما
  - سیستم اندازه گیری و ثبت و نمایش دیجیتال برق مصرفی
- سیستم تهویه هوای مطبوع (HVAC Control)
  - سیستم کنترل خودکار موتورخانه
  - آگزوز فن ها
  - سیستم اندازه گیری و ثبت و نمایش دیجیتال آب
  - سیستم اندازه گیری آب سرد و گرم برای گرمایش و سرمایش
  - سیستم اندازه گیری و ثبت و نمایش دیجیتال گاز شهری
  - سیستم کنترل خودکار دما و راه اندازی سونا و استخر
  - سیستم خودکار ارائه قبض ماهیانه مصرف انرژی و آب برای بخش ها یا واحد های مختلف به تفکیک
  - کنترل خودکار دما و رطوبت در ساختمان (داخل واحد ها و مشاعات)
  -
- سیستم های امنیت الکترونیک
  - سیستم اعلام و کنترل نشت گازهای خطرناک (CO, CO<sub>2</sub>, ...)
  - کنترل منابع ذخیره آب اضطراری
  - کنترل اطاق امن با سیستم های کنترل و ارتباطی و زیستی در مواقع خاص و بروز بلایای طبیعی
  - کنترل گاو صندوق با سیستم دسترسی زیست سنجی
  - مقابله با آتش سوزی
    - سیستم اعلام حریق
    - سیستم اطفاء حریق
  - سیستم کنترل دسترسی

- آسانسور ها
- سیستم خودکار باز و بست دریها و پنجره ها
- کنترل درب های خروج اضطراری
- سیستم درب باز کن تصویری، گوشی های فرعی درب باز کن، آشپزخانه، حمام، اتاقها و دیگر بخش های مختلف
- درهای اتوماتیک داخل ساختمان (Sliding doors)
- گیت ها
- در اتوماتیک پارکینگ
- 
- سامانه نظارت تصویری
  - دوربین های مدار بسته و اتاق مانیتورینگ
  - انتقال تصاویر
  - آنالیز تصویر چهره (شناسایی چهره)
  - آنالیز پلاک (شناسایی پلاک خودروهای ورودی به پارکینگ)
- سیستم اعلام و کنترل نشت آب یا آب گرفتگی
- کنترل هوشمند سرویس های بهداشتی ( روشنایی، موسیقی، تهویه، گرمایش و سرمایش، و ... )
- کنترل اتاق و گوشی نگهبانی
- کنترل مرکزی سامانه های مخابراتی
  - سیستم مرکزی تلفن سانترال یا VOIP (Voice Over IP)
  - سیستم آنتن مرکزی، ماهواره، شبکه داخلی
  - سیستم تقویت تماس موبایل و یا از بین بردن آنتن دهی یک محل خاص
  - سیستم شبکه کامپیوتری و فایروال
- سامانه های لوکس و رفاهی
  - کنترل وسائل برقی خانگی به صورت باس، مدار الکتریکی و یا تحت شبکه (به منظور کنترل از راه دور به عنوان مثال یخچال، تلویزیون و ...)
  - سیستم صوتی و موزیک مرکزی
  - سیستم های تصویری پیشرفته مانند سینمای خانگی بدون نقشه دکوراسیون
  - سیستم کنترل خودکار پرده ها و حفاظ متحرک

شایان ذکر است با توجه به ویژگی های خاص سازه ها، موارد دیگر نیز قابل افزودن به کارکردهای BMS می باشد.

### ۳- توپولوژی عمومی BMS

ساختار کلی یک سامانه BMS صورت زیر است:



شکل ۱- توپولوژی BMS

### ۴- تکنولوژی های مورد استفاده در پیاده سازی بخش BMS

هر بخش سامانه، می تواند از تکنولوژی های متفاوتی تشکیل گردد. در هر بخش، اهم تکنولوژی های مورد استفاده معرفی گردیده اند. معمولاً برندهای بزرگ تولید کننده BMS، با توجه به استراتژی ویژه خود در مدیریت مشتری، کمتر اجازه انتخاب می دهند و مشتری مجبور به انتخاب در دایره محدود تولید کننده برند است، اما اگر طراح توانایی کار با پروتوکل های استاندارد و یا استفاده از تکنولوژی های جدید فارغ از برند را داشته باشد، می تواند طراحی مهندسی تری را ارائه دهد.

#### ۹-۱-۴- ورودی ها (سنسورها و یا دتکتورها)

تکنولوژی ورودی (سنسور یا دتکتور) ها، با توجه به زیر سامانه مورد مصرف، با اسامی تجاری و یا نام های تکنولوژیک خاصی مطرح می گردد. اما این تکنولوژی ها به دو گونه اصلی دیجیتال و آنالوگ قابل تقسیم هستند. در هر بخش، سنسورها به دسته های مختلفی تقسیم می گردند. به عنوان نمونه، در تکنولوژی آنالوگ، گونه های ولتاژی و جریانی وجود دارند.

#### ۹-۲-۴- واسطه های تبادل اطلاعات

با توجه به نوع تکنولوژی مورد استفاده (PLC یا Ethernet) و همچنین نوع ورودی ها و خروجی ها، واسطه های تبدیلی متعددی وجود دارند که انتخاب بهینه آن ها اهمیت ویژه ای دارد. هر کدام از تکنولوژی ها فرصت ها و تهدیدهایی دارند که در پروژه باید بررسی شود. البته نسل PLC ها رو به انقراض بوده، به دلیل فرصت های غیرقابل رقابت Ethernet base ها، طراحان حرفه ای جهان بر روی این گزینه فکوس بیشتری دارند.

### ۹-۳-۴- عملگرها (Acturators)

محدوده عملگرها، با توجه به وظایف متعددی که دارند، از تکنولوژی های متفاوتی استفاده می کنند که امکان بررسی تمامی آنها در این مقاله موجود نیست، اما آنچه برای طراح BMS اهمیت بیشتری دارد، نوع تبادل اطلاعات با عملگرهاست که معمولاً عملگرها نیز به دسته های کلی آنالوگ و دیجیتال تقسیم بندی می شوند.

### ۹-۴-۴- کنترل کننده مرکزی (سرور مرکزی)

تکنولوژی بکار رفته در کنترل کننده مرکزی، ارتباط با تکنولوژی مورد استفاده در واسط های تبدیلی دارد.

### ۵- به کارگیری مهندسی ارزش در طراحی و بهبود BMS

از مهندسی ارزش نه تنها در بهبود ارزش محصولات و پروژه ها، بلکه در بهبود فرآیندها و سیستم ها، همچنین در زمینه های امنیت الکترونیک، افزایش بهره وری انرژی، افزایش رفاه و کاهش هزینه های طول عمر استفاده می شود. در سال ۱۹۹۵ "ناثالی پرووست" به همراه "راگر گیروکس" در مقاله ای با موضوع «چگونه می توان با استفاده از تحلیل ارزش، فرآیندهای نرم را بهبود داد»، از قوانین و مقررات و رویه ها به عنوان فرآیندهای نرم یاد کردند و در نهایت تحقیقات آنها منجر به ساده سازی فعالیت های ارتباطی توسعه یک رویکرد در حال آماده باش برای بهبود رویه ها و فرآیندهایی شد که در معرض ریسک تفسیر به رایی و سوء استفاده قرار داشتند. [۱]

در شرکت هندی CGL، بکارگیری مهندسی ارزش در حوزه الکترونیک و IT (که زیرساختهای BMS هستند)، صرفه جویی های قابل ملاحظه ای صورت گرفته که در جدول زیر می آید. [۳ و ۲]

| سال  | مبلغ صرفه جویی |
|------|----------------|
| ۱۹۹۵ | ۹۵۰            |
| ۱۹۹۶ | ۱۶۴۲           |
| ۱۹۹۷ | ۱۴۶۰           |
| ۱۹۹۸ | ۱۲۴۲           |

جدول ۱- مقدار صرفه جویی در شرکت CGL هند با روش مهندسی ارزش

### ۶- مهندسی ارزش و چگونگی به کارگیری آن

جامعه مهندسی ارزش آمریکا (SAVE) در تعریف مهندسی ارزش می گوید، مهندسی ارزش مجموعه تکنیک های سیستماتیک و کاربردی برای تشخیص وظایف یک محصول یا خدمت یا فرآیند و تولید آن وظایف با حداقل هزینه است. [۴ ص ۱] مهندسی ارزش ابزاری برای بهبود ارزش محصول یا پروژه است. افزایش کیفیت محصول، کاهش هزینه و به طور کلی حذف ضایعات از پیامدهای به کارگیری تکنیک مذکور می باشد. [۴ ص ۳۸۰]

کارکرد، مفهوم اصلی و اساس مهندسی و مدیریت ارزش است. بدین ترتیب تحلیل کارکرد، مرحله مهمی در مطالعه ارزش محسوب می شود. یک سوال اساسی برای شناسایی کارکرد هر محصول یا پروژه این است که «آیا اگر محصول آن کارکرد را

<sup>۱</sup> Nathalie Provost .

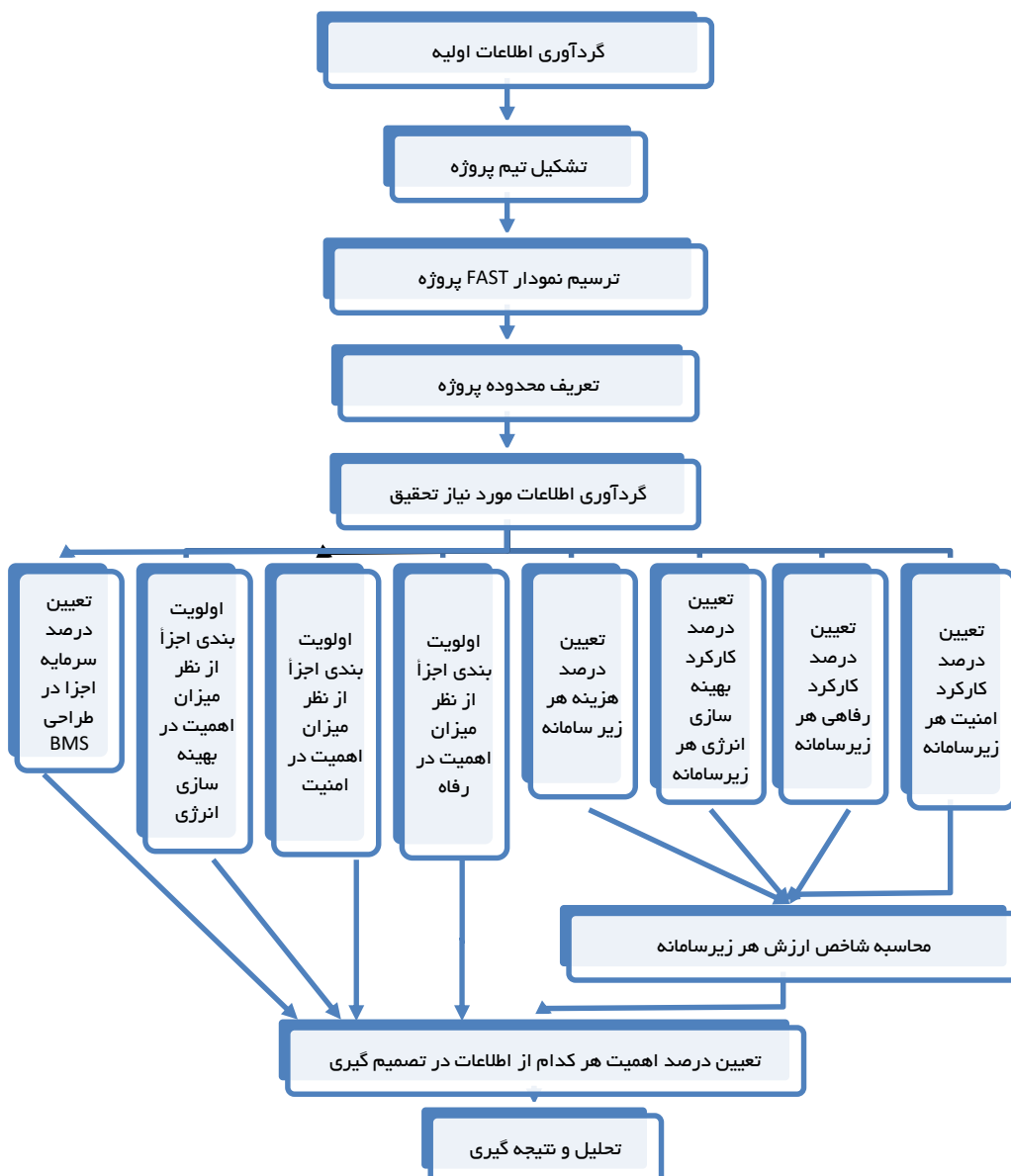
<sup>۲</sup> Roger Giroux .

انجام ندهد، دلیلی برای موجودیت آن وجود دارد یا خیر؟» در صورتی که پاسخ این سؤال منفی باشد، همان کارکرد محصول می‌باشد، به بیان دیگر «کارکرد» ماموریت هر محصول محسوب می‌شود [۶ ص ۳].

یکی از وجوه تمایز مهندسی ارزش با دیگر فنون مدیریتی نگاه «کارکردگرای» آن می‌باشد. شاخص ارزش از دیگر مفاهیم مورد توجه مهندسی ارزش است. شاخص ارزش یک محصول، خدمت یا پروژه به این معناست که به ازای هزینه صرف شده چه ارزشی برای مشتری خلق شده است. شاخص ارزش بهترین ملاک انتخاب اجزاء یا کارکردها برای بهبود است. [۷، ۸، ۵، ۴]

## ۷- مراحل تصمیم‌گیری برای طراحی بهینه BMS با استفاده از AHP و VE

در این تحقیق از آنجا که انجام مرحله خلاقیت مهندسی ارزش به دلیل مشخص بودن گزینه‌های بهبود ضرورتی نداشت، باید در مرحله ارزیابی بر اساس اطلاعات به دست آمده از مرحله تحلیل کارکرد و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از میان گزینه‌های موجود بهترین روش را انتخاب کنیم.



شکل ۲ - روش انجام تحقیق موضوع این مقاله

## ۸- روش تحقیق

از نظر هدف این تحقیق در رده «تحقیقات کاربردی» قرار می‌گیرد. با توجه به فرآیند انجام تحقیق که در ادامه بدان اشاره خواهد شد، چند جامعه آماری، با توجه به هدف مقاله، به عنوان Stakeholderهای موضوع مقاله معرفی می‌شوند:

- ا. مشتریان واحدهای مسکونی شمال تهران
- ب. سازندگان واحدهای مسکونی
- ج. خبرگان صاحب نظر BMS
- د. کارشناسان فروش ملک (آژانس املاک)

در این تحقیق، از جامعه آماری کلیه جوامع از نمونه‌گیری استفاده شده است. حجم نمونه‌ها در مورد جامعه‌ی مشتریان ۴۰ نفر بوده که از قاعده‌ی تعیین حجم نمونه‌ی مطابق با اصل دموورگان استفاده شده و حجم نمونه‌ی جامعه‌ی سازندگان نیز ۵ نفر بوده است. تعداد خبرگان ۱۲ نفر بوده که در نهایت ۱۰ نفر از آن‌ها با تیم پروژه همکاری داشتند. جامعه کارشناسان املاک نیز ۷ نفر بودند.

برای اخذ اطلاعات از جامعه بند الف از روش پرسشنامه و داده‌های بند ب و ج و د از مصاحبه و ماتریس مقایسات زوجی به دست آمده است. روایی پرسشنامه‌ها به تایید صاحب نظران و متخصصان امر رسیده و برای پایایی، از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. مقدار ضریب مذکور برای کل سئوالات پرسشنامه‌ی مشتریان با استفاده از نرم افزار SPSS، عدد ۰/۸۷ را نشان می‌دهد. برای اطمینان از سازگاری میان ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی، در روش AHP، نسبت سازگاری بدست آمده برای همه آن‌ها کمتر از ۰/۱ بوده که حاکی از وجود سازگاری و قابلیت اطمینان در مورد داده‌های حاصل از آن‌ها می‌باشد.

## ۹- انجام تحقیق

### ۹-۱ تیم مهندسی ارزش

تعیین صحیح اعضای تیم در مطالعه ارزش، یکی از مهمترین مراحل به شمار می‌آید، زیرا در صورتی که افراد تیم به درستی انتخاب شده و از رهبری آگاه نیز برخوردار باشند، می‌توان مطمئن بود که تحلیل/مهندسی ارزش مطالعه اثربخشی باشد. در این میان نقش رهبر تیم، تعیین کننده است. [۸، ص ۱۴۷].

عملکرد گروه و موثر بودن بستگی زیادی به شخصیت رهبر سیستم مهارت و عملکرد وی دارد [۱، ص ۱۷۸]. به منظور تعریف سیستم ابتدا واحدهای درگیر شناسایی شده و سپس افراد مورد نیاز از هر کدام واحدها به همکاری در پروژه دعوت می‌شوند. توجه به سه عامل اطلاعات کافی، علاقه مندی و صرف زمان کافی برای پروژه، از ملاک های انتخاب تیم پروژه خواهد بود. تعداد افراد تیم ۹ نفر بوده که از خریداران واحدهای مسکونی، سازنده واحد ساختمانی، مهندس معمار، مهندس تاسیسات، مهندس ناظر، کارشناس BMS، کارشناس اعلام اطفاء حریق، کارشناس برق انتخاب شده اند.

### ۹-۲ ترسیم و تحلیل نمودار FAST

ابزار FAST با رویکرد کارکردگرای مهندسی ارزش، با بررسی راهکارهای متفاوت حل مسئله، راهکاری را که بیشترین بازدهی باتوجه به نیازهای پروژه را خواهد داشت، شناسایی خواهد نمود. به منظور پیاده سازی BMS در یک ساختمان، سه راهکار کلی به شرح زیر قابل انجام است:

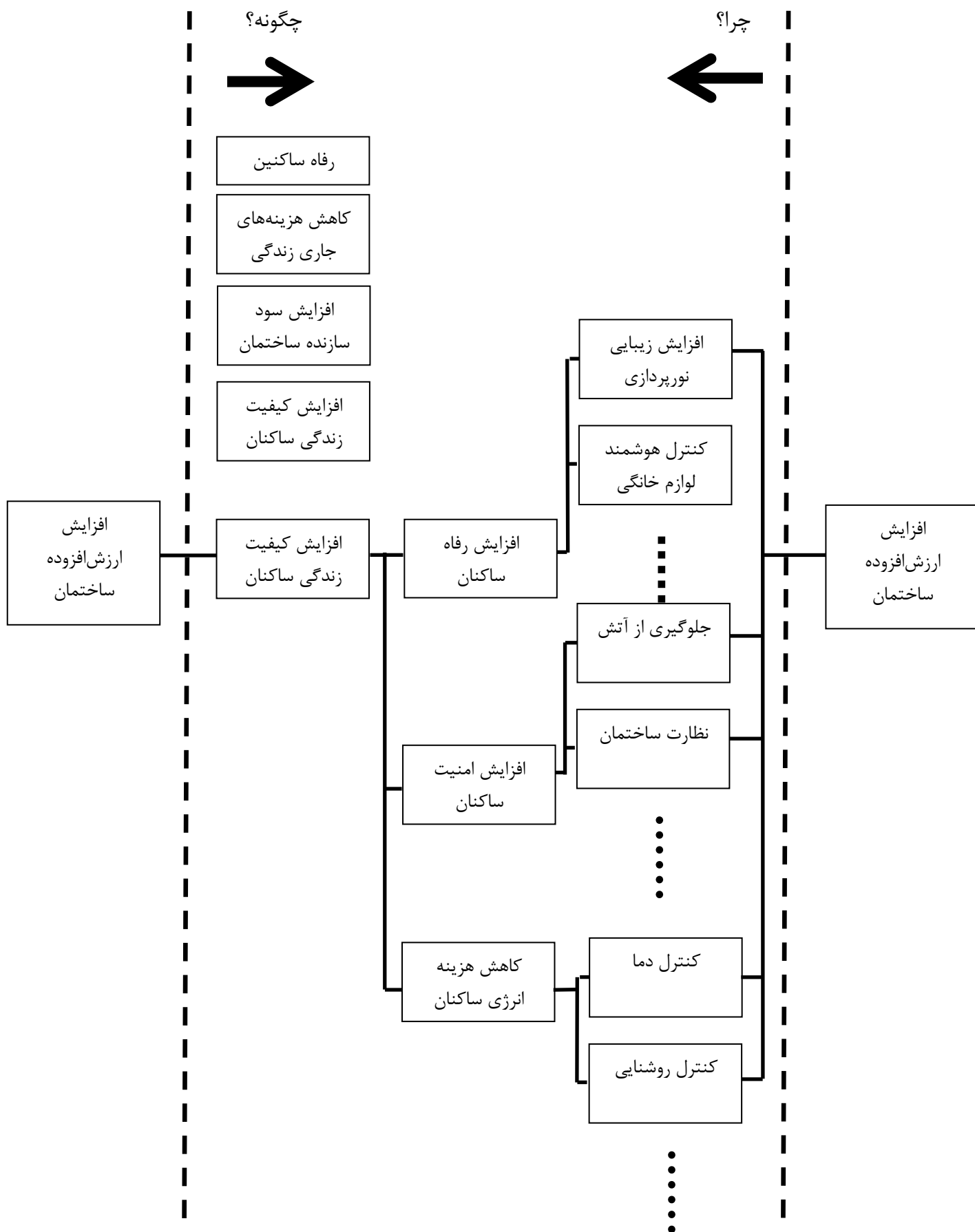
- ۱- پیاده‌سازی هر زیرسامانه بصورت مجزا و اتصال آن‌ها از طریق BMS با تکنولوژی PLC Based به یکدیگر
  - ۲- پیاده‌سازی زیر سامانه‌های امنیتی بصورت مجزا و سایر زیرسامانه‌ها بصورت مستقیم با BMS با تکنولوژی IP Based
  - ۳- پیاده‌سازی تمامی زیرسامانه‌ها بصورت مستقیم با BMS با تکنولوژی IP Based
- با توجه به لزوم دقت بر هزینه تمام شده، اهمیت رضایت مشتریان، سهولت تعمیرات بعدی، عدم وابستگی به یک برند خاص و امکان بهره‌مندی از مزیت‌های تمامی برندها، راهکار سوم مورد بررسی قرار گرفت. فرصت‌ها و تهدیدهای هر راهکار در جدول زیر آمده است:

| شماره راهکار | فرصت‌ها   | تهدیدها  |
|--------------|---|--|
| راهکار اول   | افزایش افزونگی (رداندنسی)<br>افزایش امنیت   | کاهش قابلیت‌های کنترل<br>هزینه بالای پیاده سازی<br>محدودیت به راهکارهای یک یا چند برند خاص<br>امکان بروز مشکلات عدم تولید قطعات یا تحریم در<br>نگهداری بلند مدت سامانه<br>محدودیت در برنامه ریزی سیستم<br>هزینه بالای سرویس و نگهداری فصلی |
| راهکار دوم   | افزایش نسبی افزونگی (رداندنسی)<br>افزایش امنیت  | کاهش قابلیت‌های کنترل<br>هزینه بالای پیاده سازی<br>محدودیت به راهکارهای یک یا چند برند خاص<br>امکان بروز مشکلات عدم تولید قطعات یا تحریم در<br>نگهداری بلند مدت سامانه   |
| راهکار سوم   | کاهش قابلیت‌های کنترل<br>حذف هزینه کنترل گرهای میانی<br>عدم محدودیت به راهکارهای یک یا چند برند<br>خاص<br>حذف مشکلات عدم تولید قطعات یا تحریم در<br>نگهداری بلند مدت سامانه | کاهش افزونگی (رداندنسی)  |

جدول ۲- فرصت‌ها و تهدیدهای راهکارهای سه‌گانه پیاده‌سازی BMS

با توجه به مطالب بالا، نمودار FAST برای طراحی بهینه BMS ساختمان مسکونی به شرح صفحه بعد ترسیم گردید:



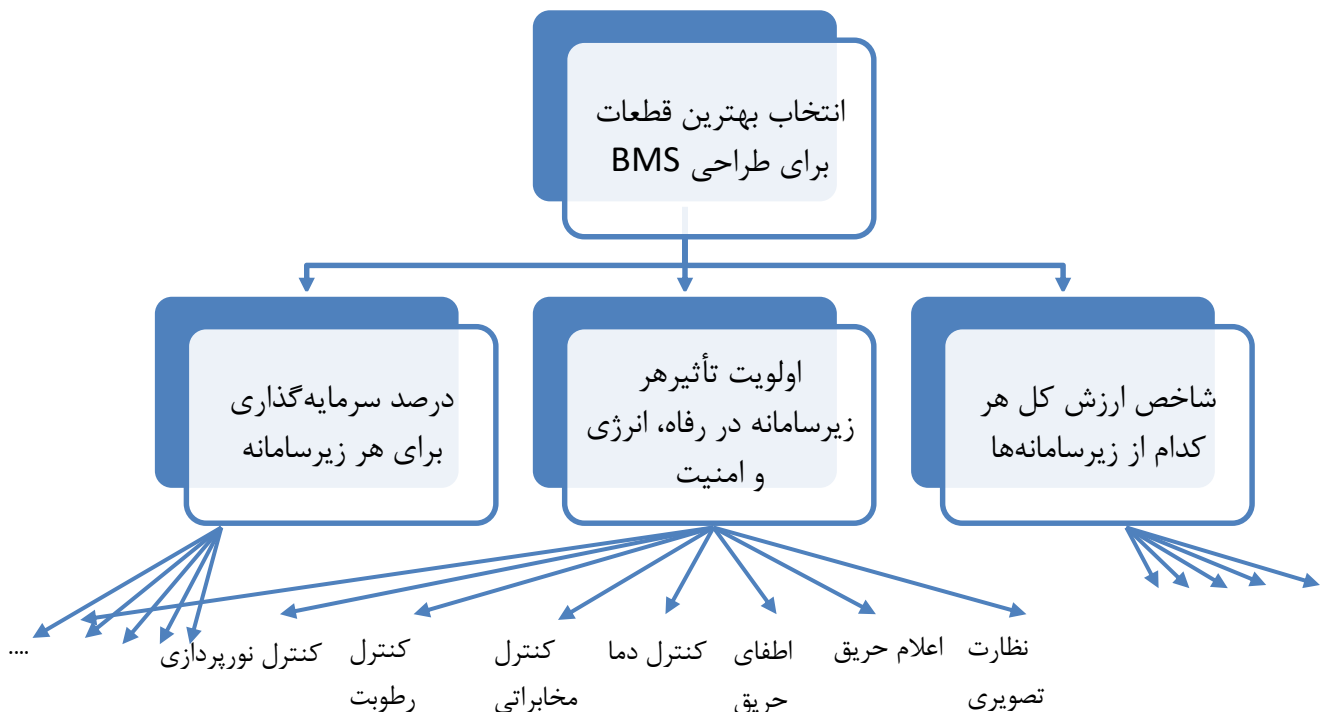


### ۹-۳ تعریف محدوده مسئله

تیم تحلیل/مهندسی ارزش، محدوده‌ی مطالعه را برای انجام یک مطالعه‌ی مشخص تعریف می‌کند. این محدوده بر اساس موضوعیت مطالعه ارزش مشخص می‌شود. برای مثال، در صورتی که قرار باشد BMS از نظر امنیت، انرژی و رفاه مورد تحلیل قرار گیرد، کارکردها، عملکردها، اجزاء و قطعاتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیری در این مقوله‌ها ندارند از محدوده‌ی مطالعه خارج می‌شوند. تعیین محدوده‌ی مطالعه از آن جهت اهمیت دارد که حتی‌الامکان از انحراف مطالعه جلوگیری می‌کنند و توانایی تیم را بر موضوع خاصی برای دستیابی به بهترین نتایج متمرکز می‌سازد. محدوده‌ی مطالعه نقطه‌ی آغاز و نقطه‌ی پایان (تکمیل) مطالعه را نشان می‌دهد؛ بدین ترتیب هر آنچه را که شامل مطالعه‌ی مذکور نمی‌شود، تعیین می‌کند. تعیین محدوده‌ی مطالعه کمک شایان توجهی در «مرحله اطلاعات» برای تعریف اطلاعات لازم و «مرحله تحلیل عملکرد» برای ترسیم مدل کارکردها به تیم تحلیل/مهندسی ارزش خواهد کرد. [۹، ص ۴]

### ۹-۴ گردآوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق

داده‌ها و اطلاعات بدست آمده در این مرحله، در واقع اساس و بنیان انجام محاسبات و تجزیه و تحلیل‌هایی است که نتایج تحقیق را دربر خواهد داشت. از جمله فعالیت‌های مهم این مرحله می‌توان به طراحی و توزیع پرسشنامه، مصاحبه با طراحان و خبرگان BMS برای تکمیل ماتریس‌های مقایسات زوجی و محاسبه هزینه امنیت، بهینه‌سازی انرژی و رفاه و تعیین مقدار سرمایه گذاری در پروژه می‌توان اشاره کرد. تلفیق داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها، «شاخص ارزش» کارکردهای امنیتی، رفاهی و بهینه‌سازی انرژی هر کدام از زیرسامانه‌های BMS را مشخص می‌کند.



شکل ۵ - تشریح مسئله بر اساس درخت AHP

## ۵-۹ تعیین اهمیت هر بخش

اهمیت، یک عامل کیفی می‌باشد و برای آنکه به همراه هزینه بتوانم از آن استفاده کرد، باید آن را نیز بصورت کمی درآورد. برای این کار روش‌های مختلفی وجود دارد. در متدولوژی مهندسی ارزش از چندین روش استفاده می‌شود. طراحی و استفاده از پرسشنامه‌هایی که بتواند نظر مشتری یا کسانی که صلاحیت تعیین اهمیت (بهای) کارکردها یا اجزای محصول را دارند، اندازه‌گیری نماید، راهکار مناسبی خواهد بود. در این حالت استفاده از تکنیک رتبه‌بندی ساده، کاربرد بیشتری دارد. از دیگر فنون مورد استفاده برای سنجش اهمیت یک کارکرد یا سامانه می‌توان به تکنیک رتبه‌بندی متناوب<sup>۲</sup>، تکنیک رتبه‌بندی پی‌درپی<sup>۳</sup>، تکنیک مقایسات زوجی<sup>۴</sup> (شامل مقایسات زوجی ساده<sup>۵</sup> و وزنی<sup>۶</sup>)، روش مقایسات زوجی هزینه‌ای، روش تخمین مستقیم اهمیت (DME)<sup>۷</sup>، روش نرخ‌دهی دسته‌ای (طبقه‌ای)<sup>۸</sup> و نیز تکنیک آنالیز معیار اشاره کرد.

در رتبه‌بندی ساده، سپس به آن‌ها مقدار اختصاص داده می‌شود؛ به عبارت دیگر، موارد لیست شده بر اساس اهمیت مرتب می‌شوند، سپس عددی به هر مورد اختصاص می‌یابد؛ به طوری که بالاترین عدد به معنای بهترین مورد باشد. بدین ترتیب در پرسشنامه‌ای که برای اندازه‌گیری اهمیت و ارزش چندین مورد طراحی می‌شود، می‌توان یک طیف امتیاز را برای آن‌ها در نظر گرفت [۱۰، ص ۲۱].

در پرسشنامه‌ی تهیه شده که توسط مشتریان برای تعیین میزان زیبایی هر قطعه تکمیل شده، از روش رتبه‌بندی ساده استفاده شده است. با توجه به آنکه مقیاس طیف ۹ امتیازی پرسشنامه از نوع مقیاس فاصله‌ای می‌باشد، بهترین شاخص برای جمع‌بندی داده‌های هر قطعه از میان نظرات مشتریان، محاسبه‌ی میانگین امتیازها به ازاء هر قطعه می‌باشد. از طرف دیگر می‌دانیم که باید در طراحی BMS، هماهنگی زیرسامانه‌های هم‌خانواده حفظ شود.

بدین ترتیب برای محاسبه‌ی درصد اهمیت زیرسامانه‌ها، بر اساس میانگین نمرات مرتبط با پرسشنامه‌ها محاسبه شده که نتیجه‌ی آن در جدول ۳ آمده است. همچنین با تکنیک‌ها فوق الذکر، درصد اهمیت هر کارکرد BMS در جدول شماره ۴ محاسبه شده است.

| ردیف | نام زیرسامانه          | نمره رفاهی | نمره امنیتی | نمره بهره‌وری انرژی | نمره نرمال شده هزینه |
|------|------------------------|------------|-------------|---------------------|----------------------|
| ۱    | ثبت آب مصرفی           | ۰,۰۱       | ۰,۰۲        | ۰,۳۶                | ۰,۰۰۹                |
| ۲    | ثبت گاز مصرفی          | ۰,۰۱       | ۰,۰۶        | ۰,۲۴                | ۰,۰۱۱                |
| ۳    | ثبت انرژی گرمایی مصرفی | ۰,۰۴       | ۰,۱۲        | ۰,۴۱                | ۰,۰۱۷                |

<sup>۱</sup>Simple Ranking

<sup>۲</sup>Alternate Ranking

<sup>۳</sup>Successive Ranking

<sup>۴</sup>Pair Comparison

<sup>۵</sup>Regular pair Comparison

<sup>۶</sup>Scaled Pair Comparison

<sup>۷</sup>Pair Cost Comparison

<sup>۸</sup>Direct Magnitude Estimation

<sup>۹</sup>Category Scaling

<sup>۱۰</sup>Criteria Analysis

| ردیف   | نام زیرسامانه                           | نمره رفاهی | نمره امنیتی | نمره بهره‌وری انرژی | نمره نرمال شده هزینه |
|--------|---|------------|-------------|---------------------|----------------------|
| ۴      | ثبات برق مصرفی                          | ۰,۰۴       | ۰,۲۴        | ۰,۶۴                | ۰,۰۱۱                |
| ۵      | کنترل گاو صندوق و منابع حیاتی           | ۰,۲۵       | ۰,۳۴        | ۰,۰۲                | ۰,۰۸۶                |
| ۶      | سامانه کنترل مرکزی استخر و سونا         | ۰,۱۴       | ۰,۰۹        | ۰,۴۷                | ۰,۱۱۴                |
| ۷      | کنترل روشنایی                           | ۰,۳۶       | ۰,۳۲        | ۰,۳۲                | ۰,۰۱۱                |
| ۸      | سامانه تهویه هوای مطبوع                 | ۰,۴۲       | ۰,۳۱        | ۰,۴                 | ۰,۰۰۹                |
| ۹      | سامانه نظارت تصویری                     | ۰,۰۸       | ۰,۹۰        | ۰,۰۲                | ۰,۰۵۷                |
| ۱۰     | سامانه اعلام حریق                       | ۰,۰۳       | ۰,۸۲        | ۰,۰۲                | ۰,۰۱۷                |
| ۱۱     | سامانه اطفای حریق                       | ۰,۰۵       | ۰,۹۳        | ۰,۰۲                | ۰,۴۲۹                |
| ۱۲     | کنترل آسانسورها                         | ۰,۱۱       | ۰,۱         | ۰,۰۸                | ۰,۰۰۶                |
| ۱۳     | سیستم کنترل دسترسی                      | ۰,۲۳       | ۰,۳۸        | ۰,۰۱                | ۰,۰۲۳                |
| ۱۴     | کنترل مرکزی سامانه‌های مخابراتی         | ۰,۲۱       | ۰,۳۲        | ۰,۰۲                | ۰,۰۱۱                |
| ۱۵     | سیستم اعلام و کنترل نشت آب یا آب گرفتگی | ۰,۱        | ۰,۱۹        | ۰,۰۷                | ۰,۰۱۷                |
| ۱۶     | پیچینگ و موزیک مرکزی                    | ۰,۳۲       | ۰,۲۱        | ۰,۰۱                | ۰,۰۲۳                |
| ۱۷     | کنترل خودکار پرده                       | ۰,۳۷       | ۰,۱۱        | ۰,۱۳                | ۰,۰۲۹                |
| ۱۸     | سامانه‌های لوکس و رفاهی                 | ۰,۷۳       | ۰,۰۸        | ۰,۱۸                | ۰,۱۱۴                |
| جمع کل |   |            |             |                     |                      |

جدول ۳ - درصد رفاهی، امنیتی، بهره‌وری انرژی و هزینه بر بودن هر سامانه

| ردیف   | نام کارکرد     | شماره سئوالات ترکیب شده | میانگین میانگین‌ها (شاخص ارزش کارکرد) |
|--------|----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| ۱      | رفاهی          | ۵ و ۲                   | ۰,۳۷                                  |
| ۲      | امنیتی         | ۱۳ و ۴                  | ۰,۴۲                                  |
| ۳      | بهره‌وری انرژی | ۸ و ۷                   | ۰,۲۱                                  |
| جمع کل |                |                         |                                       |

جدول ۴ - اهمیت نرمال شده هر کدام از کارکردهای رفاهی، امنیتی و بهره‌وری انرژی

## ۹-۶ تعیین ارزش هر کارکرد

به ازاء هر کارکردی در نمودار FAST، باید اجزای مربوط به آن کارکرد نیز در خود نمودار یا در جدول جداگانه‌ای مشخص شوند. عموماً با استفاده از اطلاعات هزینه‌یابی، هزینه‌ی هر کدام از اجزاء و سامانه‌ها که برای هر کارکرد مشخص شده‌اند، به دست می‌آید.

در صورتی که کارکردهای مشخص شده از نظر اجزاء و زیرسامانه‌ها، هیچ‌گونه همپوشانی و اشتراکی با هم نداشته باشند، بدین معنا که در مجموعه قطعات مربوط به هر کارکرد، در کارکرد دیگر مورد استفاده نباشد (که در عالم واقع تقریباً چنین اتفاقی

غیرممکن به نظر می‌رسد)، تخصیص هزینه‌ها به سادگی انجام می‌شود؛ اما در صورتی که کارکردها از نظر سامانه‌ها با هم اشتراک و همپوشانی داشته باشند، با استفاده از نظر خبرگان، ابتدا باید تعیین شود که به لحاظ هزینه‌ای، چند درصد هزینه زیرسامانه‌ی مربوط به هریک از کارکردهاست، سپس درصد هزینه‌ی هر زیرسامانه برای هر کارکرد در کل هزینه‌ی آن زیرسامانه ضرب شده که مجموع آن برای کلیه‌ی زیرسامانه مربوط به یک کارکرد، هزینه‌ی آن کارکرد را مشخص می‌کند [۱۱، ص ۲۵؛ ۳]

برای محاسبه‌ی شاخص ارزش لازم است تا هزینه‌ای را که برای اجزاء یا کارکرد مورد مطالعه صرف می‌کنیم، در اختیار داشته باشیم. بدیهی است که در این مرحله علاوه بر روش‌های کمی، می‌توان از روش‌های کیفی مانند تکنیک گروه‌اسمی، طوفان فکری، دلفی و... استفاده کرد. برای بدست آوردن هزینه‌ی انرژی، رفاه و امنیت، محاسبات انجام گرفته و پرسشنامه‌هایی که توسط صاحب‌نظران در این زمینه تکمیل شد، مبنای کار قرار گرفت. با توجه به نوع مقیاس داده‌ها، بهترین روش تعیین یک عدد به عنوان هزینه‌ی امنیت، رفاه و انرژی هر سامانه‌ها آن است که میانگین نظر ۱۰ نفر متخصص به دست آید. برای محاسبه شاخص ارزش هر زیر سامانه، از فرمول زیر استفاده کردیم:

$$\text{نمره کارکرد امنیتی} * \text{نمره نرمال امنیت} + \text{نمره کارکرد رفاهی} * \text{نمره نرمال رفاه} + \text{نمره کارکرد انرژی} * \text{نمره نرمال انرژی}$$

ارزش اولیه زیرسامانه =

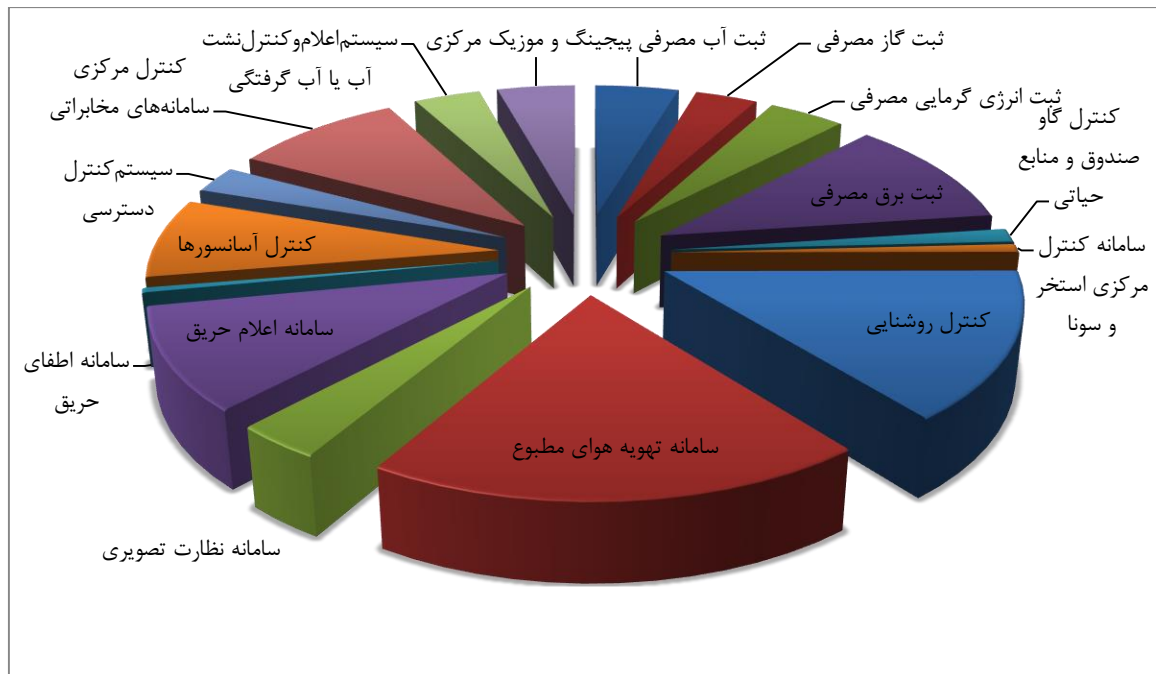
نمره نرمال شده هزینه زیر سامانه

که پس از محاسبه ارزش اولیه، از آنجا که هزینه‌ها نرمال شده بودند، ماکزیمم ارزش محاسبه شده را برای سهولت در محاسبات به ۱ اسکیل کرده، سپس با این روش شاخص ارزش هر زیر سامانه محاسبه شد. نتایج در جدول ۵ قابل ملاحظه است.

| ردیف | نام زیرسامانه                           | ارزش   |
|------|---|--------|
| ۱    | ثبت آب مصرفی                            | ۰.۲۳۲۰ |
| ۲    | ثبت گاز مصرفی                           | ۰.۱۷۱۶ |
| ۳    | ثبت انرژی گرمایی مصرفی                  | ۰.۲۱۱۹ |
| ۴    | ثبت برق مصرفی                           | ۰.۵۴۱۱ |
| ۵    | کنترل گاو صندوق و منابع حیاتی           | ۰.۰۶۶۳ |
| ۶    | سامانه کنترل مرکزی استخر و سونا         | ۰.۰۳۹۳ |
| ۷    | کنترل روشنایی                           | ۰.۷۲۴۷ |
| ۸    | سامانه تهویه هوای مطبوع                 | ۰.۹۷۷۸ |
| ۹    | سامانه نظارت تصویری                     | ۰.۱۷۲۰ |
| ۱۰   | سامانه اعلام حریق                       | ۰.۵۰۳۸ |
| ۱۱   | سامانه اطفای حریق                       | ۰.۰۲۲۹ |
| ۱۲   | کنترل آسانسورها                         | ۰.۳۹۴۸ |
| ۱۳   | سیستم کنترل دسترسی                      | ۰.۱۳۳۷ |
| ۱۴   | کنترل مرکزی سامانه‌های مخابراتی         | ۰.۴۶۸۲ |
| ۱۵   | سیستم اعلام و کنترل نشت آب یا آب گرفتگی | ۰.۱۸۴۲ |

|        |                         |    |
|--------|-------------------------|----|
| ۰.۲۱۶۰ | پیچینگ و موزیک مرکزی    | ۱۶ |
| ۰.۱۷۲۷ | کنترل خودکار پرده       | ۱۷ |
| ۰.۰۷۱۳ | سامانه‌های لوکس و رفاهی | ۱۸ |

جدول ۵ - شاخص ارزش هر زیرسامانه در BMS



شکل ۶ - نمودار ارزش محاسبه شده هر زیرسامانه

### ۱۰- تصمیم‌گیری (ارزیابی) برای تعیین بهترین زیر سامانه‌ها در طراحی BMS

همانطور که دیدیم در سه مرحله مجزاء، اطلاعات مورد نیاز برای تصمیم‌گیری در مورد طرح جدید BMS احصاء شد و در گام بعدی اهمیت و ارزشمندی هر کدام از آن‌ها به دست آمد و شاخص ارزش هر زیرسامانه محاسبه گردید. بدین ترتیب اساس این تحقیق مبتنی بر سه دسته اطلاعات مذکور، به علاوه اهمیت هر کدام، تصمیم بهینه را برای سازمان رقم خواهد زد. در جدول زیر، با توجه به شاخص ارزش، زیرسامانه‌ها به ترتیب ارزش مرتب شده اند:

| ارزش   | نام زیرسامانه                           | ردیف (اولویت طراحی) |
|--------|---|---------------------|
| ۰.۹۷۷۸ | سامانه تهویه هوای مطبوع                 | ۱                   |
| ۰.۷۲۴۷ | کنترل روشنایی                           | ۲                   |
| ۰.۵۴۱۱ | ثابت برق مصرفی                          | ۳                   |
| ۰.۵۰۳۸ | سامانه اعلام حریق                       | ۴                   |
| ۰.۴۶۸۲ | کنترل مرکزی سامانه‌های مخابراتی         | ۵                   |
| ۰.۳۹۴۸ | کنترل آسانسورها                         | ۶                   |
| ۰.۲۳۲  | ثابت آب مصرفی                           | ۷                   |
| ۰.۲۱۶  | پیچینگ و موزیک مرکزی                    | ۸                   |
| ۰.۲۱۱۹ | ثابت انرژی گرمایی مصرفی                 | ۹                   |
| ۰.۱۸۴۲ | سیستم اعلام و کنترل نشت آب یا آب گرفتگی | ۱۰                  |
| ۰.۱۷۲۷ | کنترل خودکار پرده                       | ۱۱                  |
| ۰.۱۷۲  | سامانه نظارت تصویری                     | ۱۲                  |
| ۰.۱۷۱۶ | ثابت گاز مصرفی                          | ۱۳                  |

|        |                                 |    |
|--------|---------------------------------|----|
| ۰.۱۳۳۷ | سیستم کنترل دسترسی              | ۱۴ |
| ۰.۰۷۱۳ | سامانه‌های لوکس و رفاهی         | ۱۵ |
| ۰.۰۶۶۳ | کنترل گاو صندوق و منابع حیاتی   | ۱۶ |
| ۰.۰۳۹۳ | سامانه کنترل مرکزی استخر و سونا | ۱۷ |
| ۰.۰۲۲۹ | سامانه اطفای حریق               | ۱۸ |

جدول ۶ - اولویت هر زیرسامانه در BMS مجتمع مسکونی لوکس

## ۱۱- نتیجه گیری

با ملاحظه جدول ۶ و نیز با توجه به آنکه محدوده‌ی سرمایه‌گذاری مدنظر BMS، پاسخ سوال اصلی تحقیق و نتیجه‌گیری حاصل از آن به صورت زیر خواهد بود:

- با برآورد بودجه در نظر گرفته شده برای BMS، به ترتیب اولویت های ۱۸ گانه، طراحی زیرسامانه‌ها در دستور کار قرار گیرد.
- بکارگیری BMS با تکنولوژی تحت شبکه (Ethernet Based) در این تحقیق بهینه بدست آمده است.
- طراحی های صورت گرفته معمول در BMS واحدهای مسکونی، مغایرت قابل توجه با جدول ارزشی فوق داشته، لذا عدم رضایت سازندگان و مصرف‌کنندگان از BMS های موجود به نظر می‌رسد به همین دلیل باشد.

## مراجع

- [1] J.Taylor S.; "Value planning communities"; *SAVE International Conference, Proceeding*, 2000.
- [2] D.Miles L.; "Techniques of value analysis & value engineering"; Lawrence D.Miles Value Foundation, Washigton D.C., 1989.
- [3] D.Miles L.; "Techniques of value analysis & value engineering"; Lawrence D.Miles Value Foundation, Washigton D.C., 2006.
- [4] M. Larry Sh., Willey J., Inc. S.; "Value: It's Measurement Design & Management"; United State, 1992.
- [5] W.Bryant J.; "Value methodology standards"; *Save International The Value Society*, October 1998
- [6] ربانی م.، رضائی ک.، حاجی علی اکبر م.؛ «مدیریت مهندسی ارزش مبتنی بر استانداردهای EN12973:2000 و SAVE»، شرکت مشارکتی ار-توف با همکاری نشر آتنا، ۱۳۸۳.
- [7] Borsic D., Volante C.; Value engineering in the product development process: "An application in automotive industry"; *Save International Conference Proceedings*, 1999.
- [8] J.Demarle D., Shillito M.L.; "Value engineering"; *Eastman Kodak Company*, The United State, 1990.
- [9] Parker G.E.(J)., "Product FAST Diagram"; *Save International Conference Proceedings*, 1996.
- [10] Provost N., Giroux R.; "How to Improve Soft Process with VA"; *Save International Conference Proceeding*, 1995.
- [11] R Dugupta K.J.M.: "Mujumdar, value engineering management in an industry a case study of CGL": *Save International Conference Proceeding*, 2000