Journal of Structural and Construction Engineering, 8(6), 2021, pp. 241-262

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

# Managing Energy Conservation Optimization with Zero Energy Building Approach by Using the Fuzzy Method

**Mojtaba Hakimi[1], Mohammad Javad Kazemini[2*], Abbas Tajdodini[3]**

*1- Master of Civil Engineering, Construction Management, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran*
*2- Assistant Professor of Civil Engineering, Construction Management, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran*

## ABSTRACT

*Considering that a significant portion of the share of energy consumption among consumer sectors is in the home and commercial sectors and this share is still increasing, there is a need for research in energy consumption management and evaluation of effective indicators in the building industry. Building the country is vital to optimizing energy consumption. One of the most appropriate ways to optimize fuel consumption in the building and housing sector is the implementation of zero energy buildings which is considered as the main solution in the world. In this research, after analyzing the population and statistical sample, data were collected to evaluate effective criteria and options related to energy consumption management. First, fuzzy Delphi method was used to evaluate the sub-criteria and select the main options of each. At first level the criterion is discussed and at the second level the data analysis and research model is analyzed through paired comparisons using fuzzy hierarchical analysis technique. Finally, the most important indicators and criteria are obtained using fuzzy hierarchical analysis. According to the research findings, among the energy consumption optimization management indices investigated by the FAHP method, the economic, construction and utilities indices with 0.333, 0. 201 and 0.176 have the highest management priority, respectively. Energy-efficient optimization has a zero-energy building approach.*

## ARTICLE INFO

**Receive Date:** 24 August 2019
**Revise Date:** 24 February 2020
**Accept Date:** 29 February 2020

**Keywords:**
*Zero energy building;*
*Energy management;*
*Optimization;*
*Energy cycle;*
*Energy consumption;*
*Fuzzy delphi;*
*FAHP*

**All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.**

**doi: 10.22065/JSCE.2020.199064.1932**

*Corresponding author: Mohammad Javad Kazemini
Email address: Mjkazemeini@kiau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

# مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی

مجتبی حکیمی[۱]، محمد جواد کاظمینی*[۲]، عباس تاج الدینی[۳]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مدیریت ساخت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲- استادیارگروه مهندسی عمران، مدیریت ساخت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

## چکیده

*با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از میزان سهم مصرف انرژی در بین بخشهای مصرف کننده، مربوط به بخش خانگی و تجاری می باشد و این سهم همچنان رو به افزایش بوده، لزوم تحقیق در مدیریت مصرف انرژی و بررسی شاخص های موثر در صنعت ساختمان سازی کشور در راستای بهینه سازی مصرف انرژی حیاتی به نظر می رسد. یکی از مناسب ترین روش ها، بهینه سازی مصرف سوخت در بخش ساختمان و مسکن، اجرای ساختمان های با مصرف انرژی صفر بوده که در دنیا به عنوان راهکار اصلی در این خصوص مد نظر قرار گرفته است. در این تحقیق پس از بررسی جامعه و نمونه آماری اقدام به جمع آوری داده ها جهت بررسی معیارهای موثر و گزینه های مرتبط با مدیریت مصرف انرژی پرداخته شده است، در ابتدا با روش دلفی فازی نسبت به بررسی زیرمعیارها وانتخاب گزینه های اصلی هر معیار در سطح ابتدایی پرداخته و در سطح دوم به تجزیه و تحلیل اطلاعات و مدل تحقیق از طریق بررسی مقایسات زوجی با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداخته شده است. در نهایت مهمترین شاخص ها و معیارها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی حاصل می گردد. براساس یافته های تحقیق، در بین شاخصهای مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی مورد بررسی به روش FAHP قابل مشاهده است که گزینه شاخص اقتصادی، عمرانی و تاسیساتی به ترتیب با ضرایب ۰/۳۳۳ ، ۰/۲۰۱ و ۰/۱۷۶ از بالاترین اولویت مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر برخوردارست.*

**کلمات کلیدی: ساختمان انرژی صفر، مدیریت انرژی، بهینه سازی، چرخه انرژی، مصرف انرژی، دلفی فازی، FAHP**

| سابقه مقاله: | | | | | شناسه دیجیتال: | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | 10.22065/JSCE.2020.199064.1932 | doi: |
| ۱۳۹۸/۰۶/۰۲ | ۱۳۹۸/۱۲/۰۵ | ۱۳۹۸/۱۲/۱۰ | ۱۳۹۸/۱۲/۱۰ | ۱۴۰۰/۰۶/۳۰ | https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.199064.1932 | |

*نویسنده مسئول: محمد جواد کاظمینی
پست الکترونیکی: Mjkazemeini@kiau.ac.ir

## ۱- مقدمه

با گسترش شهر نشینی و صنعتی شدن شهرها و افزایش آلودگی‌های محیطی بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای که در نتیجه استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه و ساختمان‌ها (که بیشترین سهم مصرف این‌گونه سوخت‌ها را دارند)، اتفاق می‌افتد که با معضلاتی همچون تخریب محیط زیست در بسیاری از کلان شهرها همراه است. توجه به این موضوع به‌قدری از اهمیت بالایی برخوردار بوده که از نیمه دوم قرن گذشته و به‌ویژه از دهه هفتاد میلادی، اقلیم و حفاظت محیطی پیوسته مورد توجه قرار گرفته و گروه‌های مختلف طرفدار محیط زیست در اقصی نقاط دنیا تشکیل شده است. این گروه‌ها عمدتا خواستار حفظ و احیای محیط زیست، با استفاده از فن آوری همگون با محیط طبیعی ، بازیافت ضایعات صنعتی و استفاده از انرژیهای پاک می باشند [۱].

از این زمان در حوزه ساختمان، (چه در ساخت وچه در بهره برداری از آن)، با توجه به میزان بالای مصرف انرژی در آنها، توجه به محیط زیست و تلاش در جهت طراحی ساختمان‌های اقلیمی (سبز) افزایش یافته است، در این میان دست‌یابی به یک راهکار مناسب، طراحی پایدار، می‌تواند تا حدودی از این معضلات بکاهد. استفاده بهینه از انرژی و به‌کارگیری مصالح قابل بازیافت در ساخت بنا توجه به جنبه‌های بومی و فرهنگی محل از مفاهیم اصلی کاربرد اکولوژی در طراحی ساختمان است، که در مبانی معماری در دو دهه اخیر گسترش یافته است. [۱].

ساختمان انرژی صفر از آن جهت ساختمان با تامین انرژی تجدیدپذیر نام گرفته است که می تواند دقیقا معادل انرژی مصرفی خود را تولید کند. این بنا را می توان به صورت کاملا مجزا از شبکه های رفاهی خارجی یا حتی فاضلاب شهری ساخت [۲].

راهکارهای مختلفی برای رسیدن به طراحی یک ساختمان با انرژی تجدیدپذیر وجود دارد که عبارتند از [۳]:

- تلفیق معماری سنتی و مدرن،
- عایقکاری وجلوگیری از هدر رفت انرژی،
- استفاده از تکنولوژی و تجهیزات با بازدهی بالا،
- مدیریت مصرف انرژی با استفاده ار تکنولوژی های جدید و خودکار،
- تولید انرژی در محل،و
- ایجاد فضای سبز در محل جهت تسویه طبیعی و ایجاد حس نشاط.

در ادامه نیز به بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار، بر ساخت ساختمانی با انرژی تجدیدپذیر پرداخته می شود.

مسکن و انرژی منشأ اصلی و اساس زندگی انسان‌هاست. منابع انرژی‌های سنتی، سوختهای فسیلی و برق حاصل از شکافت هسته ای عملاً بر چگونگی سیستم عرضه انرژی در جهان امروز تسلط دارند ولی وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی فسیلی به خصوص نفت و گاز و به کارگیری و مصرف بی رویه آنها ممکن است منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرین زمین تشکیل شده است، تخلیه نماید [۴].

کشور ما حدود ۱٪ جمعیت جهان را دارد و در حدود ۲٪ از انرژی جهان را مصرف می‌کند. مصرف انرژی در بخش مسکونی و اداری ۴۱٪ از سهم انرژی کل کشور را به خود اختصاص داده که عملاً از مجموع مصارف انرژی در بخش های صنعت و کشاورزی بیشتر می‌باشد [۵].

کشور ایران در یکی از بهترین مناطق دنیا از نظر تابش خورشید قرار دارد. یعنی ایران آنقدر از خورشید انرژی دریافت می‌کند که می‌تواند علاوه بر تامین نیازهای خود، به صادرات انرژی به کشورهای همسایه نیز اقدام کند. اما متاسفانه سیاست‌های انرژی کشور به این منبع رایگان توجه جدی نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد جامعه ایرانی بشدت نیازمند تغییر نگرش به سمت و سوی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و توجه به حفظ محیط‌زیست است [۶].

از ویژگیهای مهم دیگری که توجه بشر امروز را به انرژی‌های پاک (تجدیدپذیر) معطوف داشته بحث آلودگی های زیست محیطی است. از جمله این انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است. خورشید نه تنها منبع عظیم انرژی است. بلکه سرآغاز حیات و منشاء تمام انرژی‌های دیگر نیز می‌باشد. در این میان از آن جا که سهم عمده استفاده از انرژی را، ساختمان‌ها برعهده دارند، ضرورت استفاده از انرژی‌های پاک و از جمله انرژی خورشیدی در این بخش آشکارتر می‌گردد. توجه به چگونگی تأمین انرژی در ساختمان‌ها، هم بر روی حفظ سلامت محیط زیست و هم بر روی استفاده بهینه از منابع موجود در کره زمین، تأثیرگذار می‌باشد. امروز معماری با تأکید بر موضوع بحران انرژی و پشت سر گذاشتن تجربیات اولیه در زمینه معماری خورشیدی، به سوی فردایی روشن قدم برمی‌دارد [۷].

هدف از این تحقیق بیان لزوم توجه به سیاست های کشور در مقوله مدیریت انرژی ساختمان و استفاده از انرژی های تجدید پذیر، با توجه به ملاحظات زیست محیطی از طریق آشنایی با معیارهای موثر در بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانهای انرژی صفر در ایران و کشورهای مختلف، بررسی شاخصهای اصلی در بهینه سازی انرژی، بررسی گزینه‌های موثردر هر معیار، استانداردهای مورد استناد و اولویت بندی آلترناتیوهای موثر به منظور بهینه‌سازی انرژی بود. به منظور نیل به این اهداف، ادبیات موضوع و تئوری‌های مرتبط در زمینه مصرف انرژی در ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی معیارهای موثر در کنترل مصرف انرژی در صنعت ساختمان در مطالعات موردی، مشاهده گردید که در اکثر کشورهای توسعه یافته، توجه گسترده به زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و راهکارهای کنترل هدر رفت انرژی از طریق ساختمانهای انرژی صفر مد نظر قرار گرفته است. اکثر کشورهای پیشرفته به دنبال دسترسی به ساختمانهای انرژی صفر، با کمترین اثرات زیست محیطی در آینده بسیار نزدیک هستند. با بررسی آماری مقالات ارائه شده در زمینه مدیریت انرژی در صنعت ساخت ایران، مشاهده شد که در اکثر تحقیقات انجام گرفته در داخل کشور به بررسی عوامل تاثیر گذار در جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان تنها از طریق بررسی مطالعات آکادمیک و به صورت بسیار محدود و به طور موردی توجه شده است.

از آنجاییکه مدیریت انرژی به مجموعه روش ها و اقداماتی اطلاق می شود که در سیستم های مختلف با هدف مصرف صحیح انرژی و حداکثر نمودن منافع یا حداقل‌سازی هزینه ها بدون کاهش کیفیت محصولات یا خدمات انجام می شود و نیز این مدیریت انرژی باید به اهداف عملی سازمان متصل گردد و نه اینکه در یک مسیر منفک و جدا افتاده حرکت کند، لذا با توجه به استراتژی مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی، ضرورت بررسی عوامل در تمامی زمینه‌ها در بالاترین اولویت قرار دارد و از آنجا که زیرساخت های کافی برای نیل به کاهش مصرف انرژی در صنعت ساختمان در کشور وجود ندارد، لذا در این تحقیق پس از معرفی و مقایسه معیارهای موثر در رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان، بر اساس تکنیک های منطبق بر منطق فازی نسبت به مقایسه گزینه‌های هر شاخص اقدام و سپس سهم و میزان تأثیر هر یک از عناصر انرژی بر، در اتلاف انرژی به درصد به صورت تفکیک شده مشخص و موثر ترین معیار بر اساس اهمیت شاخص‌های اصلی در راستای بهینه سازی مصرف انرژی ارائه گردید.

با عنایت به بحث آلودگی های زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه سوختهای فسیلی و خطرات و آسیب‌های جبران ناپذیر آن بر جوامع بشری باعث شده در این مقاله علاوه بر پرداختن به موضوع ضرورت توسعه انرژی‌های پاک، معیارهای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و راهکارهای جلوگیری از هدر رفت انرژی و راههای تولید انرژی در محل پرداخته شود. به این منظور عواملی نظیر راه های جلوگیری از هدر رفت انرژی، کاهش مصرف انرژی در ساختمان، روش های تولید انرژی در محل، انواع روش های تهویه هوا از طریق معماری سنتی و مدرن، بررسی تجهیزات الکتریکی و روشنایی فوق کم مصرف و مقایسه آن با تجهیزات رایج و استفاده از فضا سازی سبز و ایجاد حس نشاط برای ساکنین و بررسی سیستم های تشویقی وهمچنین راهکارهای لازم الاجرا بودن آن و در نهایت روش های مختلف رسیدن به ساختمان صفر انرژی بررسی خواهد شد.

## ۲- پیشینه تحقیق

به منظور بهینه‌سازی و بهبود کارایی انرژی در ساختمان قبل از انجام هر اقدامی لازم است عناصر کلیدی موفقیت در بهینه‌سازی مصرف انرژی شناسایی شوند. بررسی مولفه‌های اصلی یکی از ارزشمندترین راهکارها است . بدین منظور، سیستم مدیریت انرژی بر پیاده

سازی و بررسی پارامترهای انرژی‌بر درساختمان پایش می شوند و عناصر اصلی موثر بر بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان شناسایی می-گردد.

این راهبرد بر اساس تکنیک های آماری داده کاوی به روش انتخاب ویژگی و مبنی بر منطق فازی بوده و داده های موثر را در عملکرد ساختمان‌های انرژی صفرمشخص نموده و با استفاده از نتایج حاصل از تحقیق، متغیرهای شناسایی شده، سهم و میزان تأثیر هر یک از عناصر انرژی بر در اتلاف انرژی به درصد به صورت تفکیک شده مشخص می شود [۸]

با عنایت به اهمیت موضوع، در زمینه ساختمان‌های انرژی صفر در داخل و خارج از کشور، مقالات متعددی منتشر شده است لذا بررسی و ذکر عناوین تحقیقات برای رهنمودهای لازم در تحقیق حاضر امری اجتناب ناپذیر است.

میکونو و زانزوترا( ۲۰۱۵)، در مقاله‌ای در یک نمونه موردی به مدل‌سازی انرژی برای ساختمان انرژی صفر پرداختند. این مقاله به مدل‌سازی دینامیکی انرژی برای رسیدن به یک ساختمان انرژی صفر توجه کرده است. این مدل‌سازی، از طراحی اولیه تا الزامات ساخت را در برمی‌گیرد. ابزار مدل‌سازی VE به منظور کمک در طراحی پلان و نیز اهداف پایداری استفاده شده است[۹]

ساز(۲۰۱۴)،در مقاله خود، مدل‌سازی المان‌های سیستم تهویه مطبوع و نیز پیاده‌سازی آن‌ها را در ساختمان‌های انرژی صفر انجام دادند. در این مقاله، مدل‌سازی اجزای سیستم تهویه مطبوع برای یک ساختمان هوشمند با انرژی صفر انجام شده است. همچنین مدل‌سازی ریاضی برای انرژی نیز انجام شده است. مدل‌سازی انجام شده در این مقاله برای به‌کار گیری در نرم‌افزارهای مختلف سودمند خواهد بود[۱۰].

ورجینی و همکاران(۲۰۱۴)، در مقاله خود، مدل‌سازی ساختمان صفر انرژی یا استفاده از نقشه فازی سه سطحی انجام دادند. در این مقاله، مفهوم ساختمان انرژی صفر به طور مختصر مرور شده و مشخصات آن ارائه گردیده است. سپس تلاش گردیده است تا با استفاده از تئوری‌های ریاضی و الگوریتم فازی ساختمان انرژی صفر طراحی شود. این مدل‌سازی جدید برای انجام شبیه‌سازی ساختمان در فصل تابستان و زمستان مناسب می‌باشد[۱۱].

آلینی و کنکالوز(۲۰۱۴)، در مقاله خود یک ساختمان خورشیدی را با مفهوم انرژی صفر باز طراحی کردند. در این مقاله، همه تئوری‌های لازم برای ساخت یک ساختمان اداری انرژی صفر در کشور پرتغال بررسی شده است[۱۲].

زرندی و علی‌اکبری(۱۳۹۳) ،انرژی صفر در ساختمان و راهکارهای رسیدن به آن را بررسی کردند. در این تحقیق تلاش شده است تا اطلاعات مختصر از انرژی صفر در ساختمان و چگونگی رسیدن به این انرژی و تفاوت ها وشباهت های آن با معماری پایدار ارائه گردد[۱۳].

چرکزی و همکاران(۱۳۹۳) ، طراحی ساختمان با مبحث انرژی صفر را انجام دادند. در این مقاله ابتدا به تعاریف و تاریخچه ساختمان های انرژی صفر پرداخته شده وسپس به بررسی راهکار های رسیدن به اهداف ساختمان های انرژی صفر توجه شده است.

ساختمان های انرژی صفر به دنبال دو هدف می‌باشد که هدف اول کاهش مصرف انرژی در ساختمان به حداقل ممکن و هدف دوم تولید انرژی در ساختمان بواسطه منابع تجدیدپذیر میباشد وسپس به بررسی راهکارهای ممکن برای رسیدن به این اهداف پرداخته شده است. در پایان به بررسی تاثیر رفتار مصرف کننده و همچنین استراتژی های موثر طراحی ساختمان انرژی صفر توجه شده است[۱۴].

جلیلی(۱۳۹۴)، جایگاه ساختمان های صفر انرژی در معماری پایدار با رویکرد کاهش مصرف انرژی را بررسی کرده است. در این مقاله هدف آن است تا ضمن تعریف مختصر از ساختمان های با مصرف انرژی صفر با ویژگی های این ساختمان ها و چگونگی رسیدن به این انرژی و تفاوت ها و شباهت های آن با معماری پایدار آشنا گردید که از طریق مطالعات اسنادی انجام می شود. روش تحقیق در پژوهش حاضر به صورت توصیفی - تحلیلی خواهد بود که به بررسی ضرورت تجدید نظر در منابع انرژی و جایگزینی انرژی ها نو به وسیله منابع تجدیدپذیر به جهت کاهش آلودگی های زیست محیطی ،ذخیره سازی سوخت های فسیلی و کاهش مصرف انرژی در معماری می‌پردازد[۱۵].

عباس غفاری و همکاران (۱۳۹۷) نسبت به بررسی و شناخت عوامل موثر در طراحی ساختمانهایی با انرژی صفراقدام نموده‌اند. در ابتدا نسبت به اهمیت بررسی موارد ویژه دیگر در طراحی ساختمان انرژی صفر علاوه بر رعایت موارد معمول در ساختمانهای متداول، تاکید نموده‌اند. سپس نسبت به بررسی اصول طراحی ساختمانهایی با انرژی صفر از طریق شناخت لازم و کافی از اقلیم، بررسی محیط اطراف ساختمان (درختان، ساختمانها و...)، تمرکز بر طراحی غیر فعال و کاهش نیاز انرژی ساختمان (عایقکاری مناسب، سایبان، تهویه طبیعی و بهره‌گیری از نور روز)، بهره‌گیری از سیستمهای کارامد (راندمان بالاتر در سیستمهای الکتریکی و مکانیکی، چراغها و لامپهای پربازده)، بهره‌گیری از مصالح هوشمند، بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید انرژی، تاثیر پوسته هوشمند در طراحی محیط اقدام و در خاتمه نتیجه گیری اینکه یکی از مهمترین مباحث مطرح شده در سال های اخیر بحران انرژی است و مواجهه با بحران انرژی موجب شده است به حداقل رساندن اتلاف انرژی در ساختمان ها مورد توجه قرار گیرد.[۱۶].

بهنام رحیمی و همکاران(۱۳۹۷) ساختمان‌های صفر انرژی را به عنوان راه حلی برای بحران انرژی معرفی نموده‌اند، و در این راستا در خصوص بررسی معیارهایی همچون: بایسته‌های طراحی و آنالیز ساختمان‌های انرژی صفر، عوامل موثر برکاهش مصرف انرژی در ساختمان از طریق کنترل انرژی‌های نهان، عایق‌کاری، مصرف کنندگان داخلی، مدیریت انرژی، بررسی عوامل تولید انرژی در ساختمان همچون: انرژی خورشید، انرژی گرمایی، انرژی الکتریکی فتوولتائیک، انرژی باد، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی‌های زیستی، عوامل موثر در سیستم‌های پربازده کاربردی همچون سیستم چرخشی آب، سیستم دیوار خورشیدی، سیستم هیت یا منبع زیرزمینی پرداخته‌اند[۱۷].

فاضل خیاطیان و همکاران(۱۳۹۲) در مقاله خود در خصوص انرژی مصرفی جهت ساخت بنا، اولویت استفاده از سازه‌های مختلف در خانه‌های صفر کربن و صفر انرژی، انرژی مصرفی در زمان استفاده از بنا، روش‌های استفاده از انرژی خورشید و باد در ساختمان، انواع انرژی‌های تجدیدپذیر و کاربرد آنها در ساختمان، معرفی نرم افزارهای شبیه سازی انرژی و عملکرد آنها پرداخته است[۱۸].

محمد حیدری و همکاران(۱۳۹۷) در مقاله خود با عنوان پروژه های ساختمانی راهبر[1]توسعه یافته بر مبنای مفهوم ساختمان های آلاینده صفر استفاده از مصالح و عوامل موثر در کاهش آلاینده‌ها در فرآیند ساخت و بهره‌برداری در ساختمان‌های مسکونی جدید و بازسازی ساختمان‌های موجود وتبدیل آن به ساختمان نیروگاهی۲ پرداخته است[۱۹].

نسترن پورموید و همکاران (۱۳۹۵)در خصوص مدیریت انرژی در ساختمان‌های هوشمند با حضور منابع تجدید پذیر و بررسی میزان تولید و مصرف انرژی در ساختمان و فروش برق تولیدی به شبکه سراسری برق پرداخته است[۲۰].

وحید قلیزاده (۱۳۹۷)در مقاله خود نسبت به شناسایی معیارهای انرژی صفر وتاثیر مثبت آن در طراحی سازه‌ها و با توجه به مسایل زیست محیطی، ضرورت ضرورت ساختمان‌های انرژی صفر را بررسی و راهکارهای معماری در خصوص بهینه سازی و ذخیره انرژی خورشید در ساختمان از طریق روش‌های غیر فعال[3] مانند استفاده مستقیم از نور خورشید، دیوار با ظرفیت حرارتی بالا، دیوار ترومب، بالکن‌های خورشیدی یا فضای خورشیدی و حیاط مرکزی و روش فعال[4]مانند استفاده از آبگرمکن خورشیدی و حمام خورشیدی، کوره خورشیدی، سیستم فتوولتائیک و پنل‌های خورشیدی پرداخته است[۲۱].

هماطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است تفاوت تحقیقات قبلی با پژوهش حاضر نحوه شناسائی عوامل و معیارهای تاثیر گذار در کاهش مصرف انرژی با رویکرد توازن انرژی یا ساختمانهای با انرژی صفر است که میتوان جنبه نوآوری و تفاوت با تحقیقات گذشته را در جمعیت آن دانسته که موفق شدیم در ۶ گروه معماری – عمران- محیط زیست – تاسیسات – اقتصاد و مدیریت عوامل تاثیر گذار را شناسائی و تدقیق نمائیم. تفاوت بارز دوم که خود نیز نوآوری تحقیق میباشد استفاده از روشهای فازی برای شناسائی و اولویت بندی معیارهای موثر بوده است همچون روش دلفی فازی و تحلیل سلسه مراتبی فازی.

[1] Projects Pilot
[2] Powerhouse
[3] Passive method
[4] Active method

جدول ۱: پژوهشهای پیشین.

| پژوهشگر و عنوان مقاله | حوزه کاری | روش تحقیق | معیارها و نتایج |
|---|---|---|---|
| Application and suitability analysis of the key technologies in nearly zero energy buildings in China 2019 | | | |
| Zhijian Liu | انرژی و فن آوری های انرژی تجدید پذیر (RET) در NZEB | روش انتقال حرارت ISO 18292 | سیستم عایق بندی حرارتی و سیستم خورشیدی |
| A review of Net Zero Energy Buildings with reflections on the Australian context 2018 | | | |
| Louise Wells | بررسی خصوصیات ساختمان انرژی صفر. | روش مقایسه معیارها و بصورت مطالعات کتابخانه ای | کاهش قابل ملاحظه تقاضای انرژی ، هزینه های انرژی برابر با صفر یا خالص گاز گلخانه ای صفر |
| A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBs) in representative climates across2018 | | | |
| Delia D'Agostino | بهینه هزینه برای ساختمانهای جدید | بهینه سازی مبتنی بر شبیه سازی با نرم افزار BEopt بصورت دینامیکی | تاثیر نور و وسایل کارآمد بر عملکرد انرژی ساختمان |
| Multi-objective optimization methodology for net zero energy buildings 2018 | | | |
| Fatima Harkouss | بهینه سازی ساختمانهای انرژی خالص صفر | تصمیم گیری چند معیاره با روش ELECTRE | بررسی سیستم های RE |
| Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building 2016 | | | |
| Panagiotis Chastas | انرژی چرخه زندگی درساختمانهای مسکونی | بررسی ویژگیهای ساختمان انرژی صفر بصورت مطالعاتی | کاهش در عمر چرخه می تواند تا ۵۰٪ برسد |
| Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings 2017 | | | |
| Delia D'agostino | کاهش مصرف انرژی ساختمان های موجود و دستیابی به ساختمان های انرژی صفر | الزامات عملکرد انرژی و روش های محاسبه موجود در اطراف NZEBs | توجه به نوسازی NZEB ها |
| Transition towards zero energy 2019 | | | |
| Paula Kivimaa | تغییر در اکوسیستم های تجاری برای انرژی تجدیدپذیر | مطالعات کتابخانه ای در مورد اکوسیستم های نوظهور در زمینه پایدار | سوخت های فسیلی برای گرمایش ، سرمایش و روشنایی ساختمان ها |
| Development and analysis of strategies to facilitate the conversion of Canadian houses into net zero energy buildings 2019 | | | |
| Rasoul Asaee | راهکارهایی برای ساختمانهای انرژی صفر | روش مقایسه ای برای شناسایی و کاهش مصرف انرژی | پس انداز قابل توجه انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از نظر فنی از نظر اقتصادی |
| Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings2017 | | | |
| Jesus Lizana | ذخیره انرژی حرارتی برای مصارف ساختمان | انتخاب معیارها و بررسی مزایا و معایب مواد TEC | بهینه سازی شرایط بهره برداری ، کارایی ، هزینه ها و طراحی سیستم مورد نیاز است |
| Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings 2015 | | | |
| Yuehong Lu | کنترل سیستمهای تولید / ذخیره انرژی | کاربردهای روشهای MPC و فناوریهای کنترل هوشمند | کنترل سیستمهای تولید / ذخیره انرژی و فناوریهای کنترل هوشمند |
| Impact of introducing penalty-cost on optimal design of renewable energy systems for net zero energy buildings 2019 | | | |
| Yuehong Lu | انتخاب گزینه مقرون به صرفه سیستمی برای ساختمان انرژی خالص / صفر | در نظر گرفتن ضریب اطمینان با پارامترهای موجود | این مطالعه ، یک هزینه مجازات را در فرایند طراحی RES برای NZEB معرفی می کند |

## ۳- ادبیات پژوهش

**معماری پایدار:** در یک چارچوب کلی می توان معماری پایدار را به معنای خلق محیط پایدار انسان‌ساخت تعبیر کرد. محیط پایدار، شرط اساسی در نیل به پایداری محیطی، برقراری تعادل پویا میان نظام‌های مختلف محیط است.[۲۲].

**صرفه جویی در منابع:** اصل صرفه جویی در منابع[5]، از یک سو به بهره‌برداری مناسب از منابع و انرژی‌های تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی، در جهت کاهش مصرف می‌پردازد و از سوی دیگر به کنترل و به کارگیری هرچه بهتر منابع طبیعی به عنوان ذخایری تجدید پذیر و ماندگار توجه جدی دارد.[ ۲۳].

[5] Economy of Resources

**معماری سبز:** معماری سبز، یکی از گرایش‌ها و رویکردهای نوین معماری و ساختمان سازی است که در سال‌های اخیر مورد توجه عده زیادی از طراحان سازه و معماران معاصر جهان و مهندسان مرتبط با ساخت و ساز قرار گرفته است. هدف از ایجاد ساختمان‌های سبز بهبود یافتن آب و هوا ، جلوگیری از اتلاف انرژی مصرف شده جهت سرمایش و گرمایش و جلوگیری از اثرات منفی ساخت و ساز بر محیط زیست است[ ۲۴].

## ۴- روشها و آمار توصیفی

در ابتدا عوامل متعدد بر مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های انرژی صفر را شناسایی و به روش دلفی فازی، عوامل موثر برای استفاده در پرسشنامه نهایی را انتخاب می نماییم. در نهایت برای اولویت بندی این عوامل از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی[۶] (FAHP) بهره می‌گیریم. بدین منظور از طریق کد نویسی در نرم‌افزار متلب استفاده شده(Matlab) و اوزان نسبی و نهایی همه معیارها توسط برنامه مذکور محاسبه شده است. روش تحلیل سلسله مراتبی جزو روش‌های ارزیابی چند معیاره است که در آن امکان تحلیل و ارائه کلیه اطلاعات موجود در گزینه‌ها بر اساس معیارهای متفاوت و چند بعدی وجود دارد. روش تحلیل سلسله مراتبی، مانند آنچه در مغز انسان انجام می گردد، به تجزیه و تحلیل مسایل پرداخته و تصمیم گیرندگان را قادر می‌سازد اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیت های پیچیده و نامعین را تعیین کنند[ ۲۵]. برای حل مسایل تصمیم گیری از طریق AHP، باید مساله را به دقت و با همه جزییات، تبیین و جزییات آن را به گونه ساختار سلسله مراتبی رسم کرد.

لذا AHP ابزاری کلی برای ایجاد مدل سلسله مراتبی مسائل تصمیم گیری، پردازش کلی فرآیند و ارزیابی هر کدام از فرآیند هاست. فرآیند ارزیابی در AHP از ترکیب خطی وزن‌دار ساده برای محاسبهٔ مقادیر هرکدام از سلول‌های رسترها استفاده می‌کند.اما از این لحاظ که AHP امکان استفاده مستقیم از آرا کارشناسان را فراهم می‌آورد، می‌توان برای محاسبه وزن‌های معیار Wj از این روش استفاده کرد. بعلاوه برای حل مشکل عدم توانایی تحلیلی سلسله مراتبی برای مدلسازی روابط، هنگامی که تعداد معیارها زیاد باشد می‌توان از FAHP استفاده کرد چرا که در بسیاری از موارد، تعریف یک رابطهٔ دقیق برای تعداد زیاد معیارها غیرممکن است.

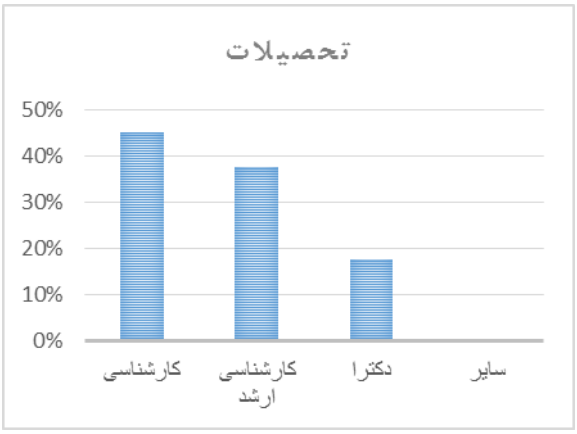
برای فازی نمودن اعداد، یکی از کاربردی ترین اعداد فازی عدد فازی مثلثی است و با $M = (m_1, \alpha, \beta)$ نشان داده می شود که m نما، $\alpha$ فاصله نما تا کرانه پایین و $\beta$ فاصله نما تا کرانه بالا است. فازی ذوزنقه را به گونه $M = (m_1, m_2, \alpha, \beta)$ نشان می دهند اگر $m_1 = m_2$ باشد و تابع عضویت به صورت خطی باشد تبدیل به عدد فازی مثلثی می شود. دلیل استفاده از اعداد فازی مثلثی، کمک به تصمیم گیرنده در تصمیم گیری ساده‌تر است.

با توجه به ماهیت موضوع و مولفه‌های مورد بررسی، رویکرد حاکم برای این پژوهش از لحاظ هدف کاربردی– توسعه‌ای واز لحاظ روش، توصیفی– تحلیلی و پیمایشی است و بر اساس ماهیت از نوع کمّی است. چارچوب نظری و گردآوری داده‌ها بر اساس روش کتابخانه-ای و پیمایشی و نیز مطالعه میدانی و مرور ادبیات مربوط به مدل‌سازی و مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی انجام می‌گیرد. برای تعین حجم نمونه از روش‌های مختلفی استفاده می شود که در این پژوهش نمونه آماری با استفاده از فرمول کوکران در رابطه ( ۱ ) برابر ۴۰ نفر می شود.

$$n = \frac{(z)^2 \times \frac{pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \times (\frac{(z)^2 \times pq}{(d)^2} - 1)} = \frac{(1.96)^2 \times \frac{0.5^2}{0.05^2}}{1 + \frac{1}{45} \times (\frac{(1.96)^2 \times 0.5^2}{(0.05)^2} - 1)} = 40 \qquad (۱)$$

با توجه به وضعیت جامعه آماری وضعیت جمعیت شناختی این تحقیق با توجه به جنسیت، مدرک تحصیلی و سابقه کاری به صورت جداول۲تا ۵ و اشکال ۲ تا ۵ ارائه شده است.

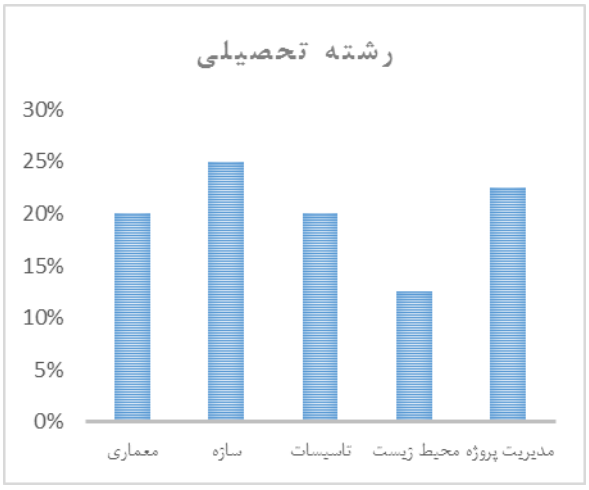
[6] Fuzzy Analytical Hierarchy Process




شکل ۲: تحصیلات مصاحبه شوندگان ( درصد)

جدول ۲: تحصیلات مصاحبه شوندگان

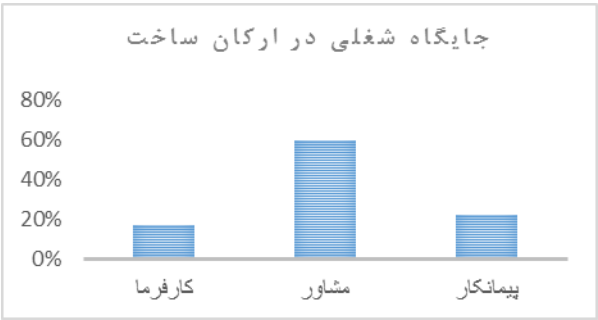
| تحصیلات | | |
|---|---|---|
| شرح | تعداد | درصد |
| کارشناسی | ۱۸ | ۴۵ |
| کارشناسی ارشد | ۱۵ | ۳۷/۵ |
| دکترا | ۷ | ۱۷/۵ |
| سایر | ۰ | ۰ |
| جمع | ۴۰ | ۱۰۰ |




شکل۳: تخصص تحصیلی مصاحبه شوندگان ( درصد)

جدول ۳: تخصص تحصیلی مصاحبه شوندگان

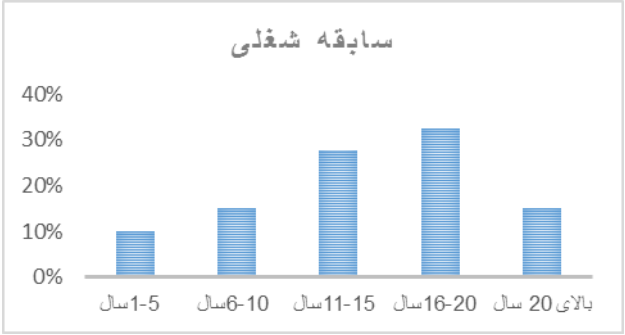
| رشته تحصیلی | | |
|---|---|---|
| شرح | تعداد | درصد |
| معماری | ۸ | ۲۰٪ |
| سازه | ۱۰ | ۲۵٪ |
| تاسیسات | ۸ | ۲۰٪ |
| محیط زیست | ۵ | ۱۳٪ |
| مدیریت پروژه | ۹ | ۲۳٪ |
| مجموع | ۴۰ | ۱۰۰٪ |




شکل ۴: جایگاه شغلی مصاحبه شوندگان ( درصد )

جدول ۴: جایگاه شغلی مصاحبه شوندگان

| جایگاه شغلی در ارکان ساخت | | |
|---|---|---|
| شرح | تعداد | درصد |
| کارفرما | ۷ | ۱۸٪ |
| مشاور | ۲۴ | ۶۰٪ |
| پیمانکار | ۹ | ۲۳٪ |
| مجموع | ۴۰ | ۱۰۰٪ |




شکل ۵: سابقه شغلی مصاحبه شوندگان ( درصد )

جدول ۵: سابقه شغلی مصاحبه شوندگان

| سابقه در بخش ساخت | | |
|---|---|---|
| سابقه | تعداد | درصد |
| ۱-۵سال | ۴ | ۱۰٪ |
| ۶-۱۰سال | ۶ | ۱۵٪ |
| ۱۱-۱۵سال | ۱۱ | ۲۸٪ |
| ۱۶-۲۰سال | ۱۳ | ۳۳٪ |
| بالای ۲۰ سال | ۶ | ۱۵٪ |
| مجموع | ۴۰ | ۱۰۰٪ |

**شناخت عوامل موثر بر بهینه سازی و بهره‌وری انرژی در ساختمان انرژی صفر**

همه تحقیقاتی که در زمینه ساختمانهای انرژی صفر انجام شده اند، به اهمیت آن در آینده نزدیک در جهت کنترل مسائل زیست محیطی و صرفه جویی انرژی در صنعت ساختمان اذعان دارند. در دهه اخیر، روش های زیادی جهت مدیریت بهینه سازی انرژی به کار گرفته شده اند. با بررسی آماری مقالات با موضوع مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان ایران، مشاهده شد که بطور متوسط بسیاری از آنها به مقوله انرژی در ۶ شاخص اصلی زیر متفق القول هستند

الف- شاخصه های اصلی مبانی معماری
ب- شاخصه های اصلی مبانی عمرانی
ج- شاخصه های اصلی مبانی تاسیساتی
د- شاخصه های اصلی زیست محیطی
ه- شاخصه های اصلی اقتصادی
و- شاخصه های اصلی مبانی مدیریتی.

## ۵- تجزیه و تحلیل استنباطی

به منظور تعیین ویژگی روایی در این پژوهش، ابتدا با بررسی متون نظری و تجربی منابع داخلی و خارجی و تحقیقات انجام شده در مقالات معتبر و در ارتباط با موضوع، فهرستی از عوامل بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت ساخت از طریق نظرسنجی متخصصان و خبرگان با استفاده از روش دلفی مشخص و انتخاب شد و در قالب یک پرسش‌نامه به عنوان ابزاراصلی در جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

اعضا پانل دلفی متشکل از ۵ نفر خبره در زمینه پروژه‌های ساخت، آشنائی با شیوه‌های مختلف اجرای پروژه‌ها و تجربه فعالیت در حداقل ۴ پروژه ساخت و با استفاده از روش‌های نمونه‌گیری غیراحتمالی شناسایی و انتخاب گردیدند.

با شناسایی و مشخص شدن اعضا پانل و ملاقات اولیه از ایشان خواسته شد تا میزان اهمیت هر یک از شاخصهای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ساخت را مشخص نموده و علاوه بر شاخص‌های مطرح شده در قالب پرسش‌نامه شاخصهای مورد نظر خود را نیز وارد کنند و این روند در دو مرحله به روش دلفی انجام شده و پرسش نامه‌های هر مرحله به صورت حضوری توزیع و جمع‌آوری گردید و درنهایت از ۸۳ معیار که مطرح شده بود ۳۵ فاکتور حذف و با ۴۸ معیار که زیر مجموعه ۶ گزینه اصلی( معماری- عمرانی-تاسیساتی- محیط زیست- اقتصادی- مدیریتی) می‌باشند پرسشنامه نهائی تهیه شد. بررسی پرسش‌نامه‌ها در دور اول نشان داد شاخص‌های پیشنهادی از سوی پاسخ دهندگان با عوامل شناسایی شده دارای ادبیات و مفهوم یکسان می‌باشند. و در نهایت پرسشنامه اصلی تهیه و در اختیار اعضاء با جامعه آماری ۴۰ نفر قرار گرفت.

جدول۶ آمارهای پایایی نظرات کارشناسان و متخصصان در مورد مولفه‌های پژوهش را با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ نشان می‌دهد:

جدول۶-ضریب آلفای کرونباخ جهت پایائی پرسشنامه.

| تعداد آیتم ها | آلفای کرونباخ |
|---|---|
| ۸۳ | ۰/۷۲۵ |

نتایج مربوط به آمارهای پایایی، میانگین ضرایب آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ محاسبه شده است که نشان می‌دهد نظرات و خبرگان متخصص قابل اعتماد بوده و پایایی مناسبی دارند

## ۵-۱- روش دلفی-فازی

این روش در ۱۹۸۰ میلادی توسط کافمن و گویتا ابداع شد[۲۶]. روش دلفی- فازی، روشی است به منظور تصمیم‌گیری و اجماع بر مسائلی که اهداف و پارامترهای آن به صراحت مشخص نیستند[۲۷]. ویژگی مهم این روش، ارائه چارچوبی انعطاف پذیر است که بسیاری از موانع مربوط به عدم دقت وصراحت را تحت پوشش قرار می‌دهد. روش دلفی- فازی ترکیبی از روش دلفی سنتی و تئوری فازی است. در روش دلفی- فازی، اطلاعات لازم در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ شده و به صورت فازی مورد تحلیل قرار می‌گیرند[۲۸]. تصمیم‌های اتخاذ شده خبرگان براساس صلاحیت فردی آنان و داده ها به جای اعداد قطعی با اعداد فازی نمایش داده شوند.

پرسشنامه ارائه شده در پژوهش حاضر با هدف کسب نظر خبرگان در مورد میزان موافقت آنها با مولفه‌ها و معیارهای مدل، طراحی شده است، لذا خبرگان از طریق متغیرهای کلامی نظیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد میزان موافقت خود را ابراز می‌نمایند. از آنجا که خصوصیات متفاوت افراد بر تعابیر ذهنی آنها نسبت به متغیرهای کیفی تاثیرگذار است لذا با تعریف دامنه متغیرهای کیفی، خبرگان با ذهنیت یکسان به سوالها پاسخ داده اند. این متغیرها با توجه به جدول ۷ به شکل اعداد فازی مثلثی تعریف می‌شوند.

جدول۷: تعریف متغیرهای زبانی[۳۰].

| متغیرهای کلامی | عدد فازی مثلثی | عدد فازی قطعی شده |
|---|---|---|
| خیلی کم (VL) | (۰/۰۰ ،۰/۰۰ ،۰/۲۰) | (۰/۰۶۶) |
| کم (L) | (۰/۰۰,۰/۲۰,۰/۴۰) | (۰/۲۰) |
| متوسط (M) | (۰/۳۰,۰/۵۰,۰/۷۰) | (۰/۵۰) |
| زیاد (H) | (۰/۶۰,۰/۸۰,۱/۰۰) | (۰/۸۰) |
| خیلی زیاد (VH) | (۰/۸۰,۱/۰۰,۱/۰۰) | (۰/۹۳۳) |

سپس براساس روش دلفی- فازی، نظرات گروه تصمیم گیرنده جمع آوری می‌گردد. انتخاب گروه داوران، بخش بسیار مهمی از روش تحقیق دلفی است، بنابراین گروه داوران دلفی بر اساس تخصص انتخاب می‌شوند. در مورد تعداد متخصصینی که برای روش دلفی- فازی انتخاب می‌شوند نظرات متعددی وجود دارد اما در اکثر موارد به این موضوع اشاره شده است که تعداد متخصصین با توجه به نظر محقق در مورد میزان آگاهی، تجربه و تخصص آنها در مورد موضوع تحقیق تعیین می‌گردد[۳۱]

پس از اینکه هر یک از خبرگان ، پرسشنامه‌های اولیه را پر نمودند، داده‌های کلامی لیکرت را به داده‌های عددی تبدیل می کنیم. اکنون با توجه به نتایج به دست آمده از پرسشنامه اولیه و با استفاده از روابط (۲) و(۳) میانگین فازی هریک از عوامل را به دست می‌آوریم:

$$\left(a_1^i, a_2^i, a_3^i\right)\ i = 1, 2, 3, \ldots n = A_i \qquad (۲)$$

در این رابطه $A_i$ بیانگر دیدگاه خبره ( i ) ام و n تعداد خبرگان است.

$$A_{ave} = \left(m_1, m_2, m_3\right) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_1^i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_2^i, \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_3^i\right) \qquad (۳)$$

در مرحله بعد باید اعداد فازی به اعداد دیفازی تبدیل می‌گردند و برای این منظور از روش میانگین فازی، رابطه(۴) استفاده می گردد:

$$X(m) = (a_1 + a_2 + a_3)/3 \quad (۴)$$

نتایج پاسخ‌های ارائه شده در مرحلهٔ دوم، همانند مرحلهٔ اول تحلیل می‌گردد و با توجه به نتایج به دست آمده فاکتورهایی که در دامنه " کم" و " خیلی کم" ( میانگین کمتر از ۰/۵) قرارگر فته اند از نظرسنجی حذف و سپس پرسشنامه اصلی ، مطابق با جداول ۹ الی ۱۴ تدوین و به منظور اولویت‌بندی و به صورت مقایسات زوجی در اختیار جامعه آماری مورد نظر قرار داده می‌شود.

چنانچه اختلاف بین دو مرحلهٔ نظرسنجی کمتر از حد آستانه خیلی‌کم (۰/۱) باشد، فرایند نظرسنجی متوقف می‌شود[۲۶]. بنابراین در مرحلهٔ دوم نظرسنجی، نظرهای قبلی هر خبره و میزان اختلاف آنها با دیدگاه سایرخبرگان، همراه با پرسشنامه بار دیگر در اختیار اعضای گروه خبره قرار می‌گیرد.

با توجه به جدول۸ و مقادیر حاصل از تفاضل مراحل اول و دوم مشاهده می‌شود که اختلاف نظر در مرحله اول و دوم در همه فاکتورها، کمتر از آستانه خیلی‌کم (۰/۱) است و این بدان معنا است که اعضای گروه خبره در همه فاکتورها به وحدت نظر رسیده‌اند.

**جدول ۸:میانگین دیدگاه‌های خبرگان در اهمیت معیارهای پرسشنامه .**

| ردیف | گزینه | عوامل | میانگین اول | میانگین دوم | اختلاف |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | X1 | X2 | X1-X2 |
| ۱ | معماری | عوامل وابسته به جانمایی فضاهای داخلی (کاربری) | ۰/۸۵۳ | ۰/۸۵۳ | ۰/۰۰۰ |
| ۲ | | اهمیت جهت گیری ساختمان | ۰/۸۵۳ | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۵۳ |
| ۳ | | انواع نما (بنایی، شیشه ای، کامپوزیت، ...) | ۰/۸۸۰ | ۰/۸۸۰ | ۰/۰۰۰ |
| ۴ | | جدار نور گذر | ۰/۸۸۰ | ۰/۸۲۰ | ۰/۰۶۰ |
| ۵ | | کاهش نفوذ هوای ناخواسته | ۰/۸۲۰ | ۰/۸۸۰ | ۰/۰۶۰ |
| ۶ | | تاثیر وجود سایبان | ۰/۸۵۳ | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۵۳ |
| ۷ | | تاثیر انتخاب نوع رنگ | ۰/۷۹۳ | ۰/۷۹۳ | ۰/۰۰۰ |
| ۸ | | تاثیر نوع کاربری بام (بام سبز، ...) | ۰/۸۵۳ | ۰/۷۹۳ | ۰/۰۶۰ |
| ۹ | عمرانی | تأثیر انواع کف ساختمانی(متالدک،دال بتنی،کامپوزیت،بابلدک،کرومیت) | ۰/۶۲۰ | ۰/۷۰۷ | ۰/۰۸۷ |
| ۱۰ | | تأثیر هسته اصلی دیواره های خارجی ساختمان (سفالی،آجری،۳ Dپانل،بلوک لکیا) | ۰/۹۰۷ | ۰/۹۳۳ | ۰/۰۲۷ |
| ۱۱ | | تأثیر عایق بندی دیوار(پشم شیشه،پشم سنگ،گچ و خاک) | ۰/۹۳۳ | ۰/۹۳۳ | ۰/۰۰۰ |
| ۱۲ | | تأثیر انتخاب نوع پنجره(تک جداره،دوجداره،سه جداره،پروفیل پنجره | ۰/۹۳۳ | ۰/۹۳۳ | ۰/۰۰۰ |
| ۱۳ | | تأثیر مکانیزم درب ها(معمولی،اتوماتیک) | ۰/۷۶۷ | ۰/۷۰۷ | ۰/۰۶۰ |
| ۱۴ | | تأثیر انتخاب نوع عایق بندی(پشم سنگ،پشم شیشه، پلی استایرن،) | ۰/۹۰۷ | ۰/۹۳۳ | ۰/۰۲۷ |
| ۱۵ | | تأثیر عایق بندی بام ساختمان(پشم سنگ،پشم شیشه،پلی استایرن،) | ۰/۹۳۳ | ۰/۹۳۳ | ۰/۰۰۰ |
| ۱۶ | | تأثیر نوع اسکلت ساختمان(فلزیفبتنی،آلومینیومی) | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۵۶ | ۰/۰۶۰ |
| ۱۷ | تاسیساتی | تأثیر نوع سیستم گرمایشی(شوفاژ مرکزی،بخاری،شومینه) | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۲۷ |
| ۱۸ | | تأثیر نوع سیستم سرمایشی(چیلر،اسپیلت،Vrv...) | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۲۷ |
| ۱۹ | | راندمان مصرف دستگاهای الکتریکی | ۰,۸۵۳ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۵۳ |
| ۲۰ | | سیستم فتوولتائیک | ۰,۷۹۳ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۶۰ |
| ۲۱ | | سیستم آبگرمکن خورشیدی | ۰,۷۶۷ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۸۷ |
| ۲۲ | | استفاده از تجهیزات کم مصرف روشنائی | ۰/۸۸۰ | ۰/۹۰۷ | ۰/۰۲۷ |
| ۲۳ | | آسایش محیط | ۰,۷۶۷ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۸۷ |
| ۲۴ | | تهویه | ۰,۶۲۰ | ۰,۷۰۷ | ۰,۰۸۷ |
| ۲۵ | | استفاده از روشنایی نور | ۰,۷۶۷ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۸۷ |
| ۲۶ | ـه ـن | *قابلیت بازیافت مصالح* | *۰,۷۶۷* | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۸۷ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ۲۷ | | *کاهش ضایعات تولید* | ۰,۸۵۳ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۵۳ |
| ۲۸ | | کاهش تولید گازهای so2،co2و ذرات معلق | ۰,۹۰۷ | ۰۹۳۳. | ۰,۰۲۷ |
| ۲۹ | | کاهش الودگی صوتی | ۰,۶۲۰ | ۰,۶۸۰ | ۰,۰۶۰ |
| ۳۰ | | کاهش تولید مواد سمی ۰,۷۶۷ | ۰,۷۶۷ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۸۷ |
| ۳۱ | | کاهش آب خاکستری | ۰,۸۸۰ | ۰,۹۳۳ | ۰,۰۵۳ |
| ۳۲ | | قابلیت استحصال آبباران در چرخه | ۰,۸۲۷ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۵۳ |
| ۳۳ | اقتصادی | کمک هزینه های ملی دولت | ۰,۹۰۷ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۰۰ |
| ۳۴ | | گواهی نامه دار نمودن ساختمان های انرژی صفر | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۲۷ |
| ۳۵ | | هزینه نگهداری تجهیزات | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۲۷ | ۰,۰۲۷ |
| ۳۶ | | هزینه اولیه | ۰,۸۸۰ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۰۰ |
| ۳۷ | | میزان هزینه مصرفی انرژی | ۰,۸۲۰ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۶۰ |
| ۳۸ | | قیمت تمام شده مصرف کننده | ۰,۸۵۳ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۵۳ |
| ۳۹ | | قیمت فروش برق | ۰,۸۸۰ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۲۷ |
| ۴۰ | مدیریتی | عوامل وابسته به مراحل استفاده از متریال،نیروی انسانی و تجهیزات برای تولید | ۰,۶۲۰ | ۰,۷۰۷ | ۰,۰۸۷ |
| ۴۱ | | عوامل وابسته به کیفیت اجرای پروژه | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۵۳ | ۰,۰۰۰ |
| ۴۲ | | عوامل وابسته به استفاده از تکنیکها و روشهای محص.ل نهائی پروژه | ۰/۶۸۰ | ۰/۷۰۷ | ۰/۰۲۷ |
| ۴۳ | | سنجش سیستماتیک خواسته های کارفرما و افزایش ارزش محصول نهایی پروژه | ۰,۶۳۳ | ۰,۶۲۰ | ۰,۰۱۳ |
| ۴۴ | | به کارگیری روش های استاندارد سازی برای نیل به اهداف پروژه | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۲۷ |
| ۴۵ | | مقررات و ضوابط شهری | ۰,۶۸۰ | ۰,۷۶۷ | ۰,۰۸۷ |
| ۴۶ | | قوانین فروش برق | ۰,۹۰۷ | ۰,۹۰۷ | ۰,۰۸۷ |
| ۴۷ | | لازم الاجرا بودن ساختمان انرژی صفر | ۰,۸۸۰ | ۰,۹۳۳ | ۰,۰۵۳ |
| ۴۸ | | فرهنگ سازی و آموزش ایجاد ساختمان های انرژی صفر | ۰,۸۵۳ | ۰,۸۸۰ | ۰,۰۲۷ |

**جدول ۹: معیارهای کنترلی وابسته به مبانی طراحی معماری (C1)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A11 | عوامل وابسته به جانمایی فضاهای داخلی (کاربری) | A15 | کاهش نفوذ هوای ناخواسته |
| A12 | اهمیت جهت گیری ساختمان | A16 | تاثیر وجود سایبان |
| A13 | انواع نما (بنایی، شیشه ای، کامپوزیت، ...) | A17 | تاثیر انتخاب نوع رنگ |
| A14 | جدار نور گذر | A18 | تاثیر نوع کاربری بام (بام سبز، ...) |

**جدول ۱۰: معیارهای کنترلی وابسته به مبانی عمرانی (C2)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A21 | تاثیر انواع کف ساختمانی (متالدک، دال بتنی، کامپوزیت، بابلدک، | A25 | تاثیر مکانیزم درب ها (معمولی، اتوماتیک) |
| A22 | تاثیر هسته اصلی دیوارهای خارجی ساختمان (سفالی، آجری، d۳ | A26 | تاثیر انتخاب نوع عایق بندی (پشم سنگ، پشم شیشه، پلی استایرن، ) |
| A23 | تاثیر عایق بندی دیوار (پشم شیشه، پشم سنگ، گچ وخاک،...) | A27 | تاثیر عایق بندی بام ساختمان (پشم سنگ، پشم شیشه، پلی استایرن، |
| A24 | تاثیر انتخاب نوع پنجره (تک جداره، دوجداره، سه جداره، پروفیل ) | A28 | تاثیر نوع اسکلت ساختمان (فلزی، بتنی، آلومینیومی، ...) |

**جدول۱۱: معیارهای کنترلی وابسته به مبانی تاسیساتی(C3)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A31 | تاثیر نوع سیستم گرمایشی (شوفاژخانه مرکزی، بخاری، شومینه، ...) | A36 | استفاده از تجهیزات کم مصرف روشنایی |
| A32 | تاثیر نوع سیستم سرمایشی (چیلر، اسپیلت، VRV، ...) | A37 | آسایش محیط |
| A33 | راندمان مصرف دستگاههای الکتریکی | A38 | تهویه |
| A34 | سیستم فتوولتائیک | A39 | استفاده از روشنایی روز |
| A35 | سیستم آبگرمکن خورشیدی | | |

**جدول ۱۲: معیارهای کنترلی وابسته به شاخصه اصلی زیست‌محیطی(C4)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A41 | قابلیت بازیافت مصالح | A45 | کاهش تولید مواد سمی |
| A42 | کاهش ضایعات تولید | A46 | سیستم آب خاکستری |
| A43 | کاهش تولید گازهای CO2، SO2، وذرات معلق | A47 | قابلیت استحصال آب باران در چرخه |
| A44 | کاهش آلودگی صوتی | | |

**جدول ۱۳: معیارهای کنترلی وابسته به شاخصه اصلی مبانی اقتصادی(C5)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A51 | کمک هزینه های مالی دولت | A55 | میزان هزینه مصرفی انرژی |
| A52 | گواهی نامه دار نمودن ساختمان های انرژی صفر | A56 | قیمت تمام شده مصرف کننده |
| A53 | هزینه نگهداری تجهیزات | A57 | قیمت فروش برق |
| A54 | هزینه اولیه | | |

**جدول ۱۴: معیارهای کنترلی وابسته به شاخصه اصلی مبانی مدیریتی(C6)**

| | | | |
|---|---|---|---|
| A61 | عوامل وابسته به مراحل استفاده از متریال، نیروی انسانی و تجهیزات برای تولید محصول نهایی پروژه | A66 | مقررات و ضوابط شهری |
| A62 | عوامل وابسته به کیفیت اجرای پروژه | A67 | قوانین فروش برق |
| A63 | عوامل وابسته به استفاده از تکنیک ها و روش های اجرای پروژه | A68 | لازم الاجرا بودن ساختمان انرژی صفر |
| A64 | سنجش سیستماتیک خواسته های کارفرما و افزایش ارزش محصول نهایی پروژه | A69 | فرهنگ سازی و آموزش ایجاد ساختمان های انرژی صفر |
| A65 | به‌کارگیری روش‌های استانداردسازی برای نیل به اهداف پروژه | | |

## ۵-۲- رتبه بندی معیارهای پژوهش با استفاده ازAHP

در سال ۱۹۸۳ دو محقق هلندی به نامهای «لارهورن و پدریک[۷]» روشی را برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی پیشنهاد کردند که بر اساس روش حداقل مجذورات لگاریتمی بنا نهاده شده بود. میزان محاسبات و پیچیدگی مراحل روش آنها باعث شد مورد اقبال قرار نگیرد. در سال ۱۹۹۶ روش دیگری تحت عنوان «روش تحلیل توسعه‌ای[۸] (EA)» توسط یک محقق چینی به نام «چانگ[۹]»، ارایه گردید. اعداد به کار رفته در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. روش AHP فازی بر اساس روش EA براساس مراحل زیر می‌باشد[۳۳].

**الف- رسم نمودار سلسله مراتبی:**

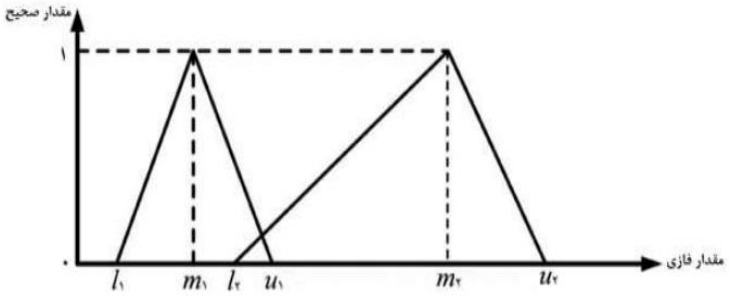
در هر تحلیل چند معیاره ای رسم نمودار سلسله مراتبی (درخت تصمیم) یکی از گامهای اولیه و البته مهم است. زیرا پس از ترسیم این نمودار است که ما به روشنی، هدف، ساختار سلسله مراتب شاخص ها و زیر شاخص ها، و گزینه ها را می دانیم.

**ب- تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه های زوجی:**

در این مرحله لازم است اعداد فازی خود را که برای انجام مقایسه های زوجی نیاز است تعریف نمایید تا خبرگان طبق آن نسبت به ارائه پاسخ های خود اقدام نمایند. برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیر معیارها، دو به دو آنها را با هم مقایسه می‌کنیم.

**ج- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به کار گیری اعداد فازی،**

دو عدد مثلثی $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ که در شکل ۷ رسم شده‌اند در نظر گرفته می‌شوند.




**شکل۷: اعداد مثلثی M1 و M2 [۳۳].**

[7] Laarhoren & Padrycz
[8] Extent Analysis method
[9] Chang

عملگرهای ریاضی آن‌ها به گونه‌ی روابط (۵)،(۶)،(۷) تعریف می‌شود:

$$M_1+M_2=(l_1+l_2,\ m_1+m_2,\ u_1+u_2) \quad (۵)$$

$$M_1\times M_2=(l_1\times l_2,\ m_1\times m_2,\ u_1\times u_2) \quad (۶)$$

$$M_1^{-1}=\left(\frac{1}{u_1},\frac{1}{m_1},\frac{1}{l_1}\right),\ M_2^{-1}=\left(\frac{1}{u_2},\frac{1}{m_2},\frac{1}{l_2}\right) \quad (۷)$$

باید توجه داشت که حاصل ضرب دو عدد فازی مثلثی، یا معکوس یک عدد فازی مثلثی، دیگر یک عدد فازی مثلثی نیست. این روابط، فقط تقریبی از حاصل ضرب واقعی دو عدد فازی مثلثی و معکوس یک عدد فازی مثلثی را بیان می‌کنند[۳۳].

در روش چانگ، هریک از سطرهای ماتریس مقایسات زوجی، که خود یک عدد مثلثی است، به صورت روابط (۸)،(۹)،(۱۰) محاسبه می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}=\left(\sum_{j=1}^{m} l_j,\sum_{j=1}^{m} m_j,\sum_{j=1}^{m} u_j\right) \quad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}=\left(\sum_{i=1}^{n} l_i,\sum_{i=1}^{n} m_i,\sum_{i=1}^{n} u_i\right) \quad (۹)$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}=\left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i},\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad (۱۰)$$

i و j به ترتیب نشان دهنده گزینه‌ها و شاخص‌ها هستند.

**د- محاسبه ماتریس S برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی،**

Sها اعداد فازی مثلثی هستند که از رابطه (۱۱) محاسبه می شوند:

$$S_i=\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\otimes\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (۱۱)$$

که در رابطه فوق، M اعداد فازی مثلثی داخل ماتریس مقایسه های زوجی هستند. در حقیقت هنگام محاسبه ماتریسS ، هر یک از اجزاء اعداد فازی را نظیر به نظیر جمع می زنیم و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می کنیم. این مرحله شبیه محاسبه وزن های نرمال شده در روش AHP معمولی، ولی با اعداد فازی است.

**ه- محاسبه درجه بزرگی S ها نسبت به همدیگر،**

در این مرحله $S_i$ ها از نظر درجه بزرگی بر اساس روابط (۱۲) و (۱۳) با یکدیگر مقایسه می‌شوند. درجه بزرگی $M_1$ بر $M_2$ با $V$ $(M_2\geq M_1)$ نشان داده می‌شود.

$$V(M_2 \geq M_1) = 1 \text{ if } m_2 \geq m_1$$
$$V(M_2 \geq M_1) = 0 \text{ if } l_2 \geq u_1 \quad (۱۲)$$

در غیر اینصورت:

$$hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{m_2}(d) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_2 - l_1)} \quad (۱۳)$$

که $M_1=(l_1,m_1,u_1)$ و $M_2=(l_2,m_2,u_2)$ دو عدد فازی مثلثی هستند.

**و- محاسبه وزن معیارها و گزینه ها در ماتریس های مقایسه زوجی،و**

در این مرحله، بردار وزن نرمالایز نشده را با محاسبه کمترین مقدار (مینیموم) V های محاسبه‌شده در مرحله قبل، بدست می-آوریم.

$$V(M_1 \geq M_2, \ldots, Mk) = Min\left[V(M_1 \geq M_2), \ldots, V(M_1 \geq M_2)\right] \quad (۱۴)$$

**ز- محاسبه بردار وزن نهایی.**

در مرحله آخر، بردار وزن بدست آمده از مرحله قبل که نرمال نشده بود، را نرمالایز می کنیم تا بردار وزن نهایی که هدف نهایی ما از محاسبات فازی است را بدست آوریم.برای محاسبه وزن شاخص‌ها در ماتریس مقایسه زوجی این‌گونه حساب می‌کنیم:

$$W'(x_i) = Min\{V(S_i \geq S_k)\}, \quad k=1, 2, \ldots, n, \quad k \neq i \quad (۱۵)$$

بنابراین، بردار وزن شاخص‌ها به گونه زیر خواهد بود:

$$W' = \left[W'(c_1), W'(c_2), \ldots, W'(c_n)\right] \quad (۱۶)$$

**سنجش نرخ ناسازگاری**

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. به عبارت دیگر در تشکیل ماتریس مقایسه دودویی معیارها، چقدر سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است؟ وقتی اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد. مکانیزمی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ناسازگاری(IR) است که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) به شاخص تصادفی بودن (R.I) حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. در روش AHP فازی از نرخ ناسازگاری گوگوس و بوچر استفاده می شود. گوگوس و بوچر در سال ۱۹۹۸ پیشنهاد دادند برای بررسی سازگاری، دو ماتریس (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر ماتریس فازی مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس بر اساس روش ساعتی محاسبه شود.

**محاسبه نرخ ناسازگاری(CR).**

برای محاسبه نرخ ناسازگاری(CR)، شاخص سازگاری (CI) هریک از ماتریس‌ها را بر شاخص تصادفی آن تقسیم می‌کنیم. در صورتیکه مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس‌ها سازگار قلمداد می‌شود ومی‌توان به نتایج حاصل از آنها اعتماد کرد.

$$CR_m = \frac{CI_m}{RI_m} \quad (۱۷)$$

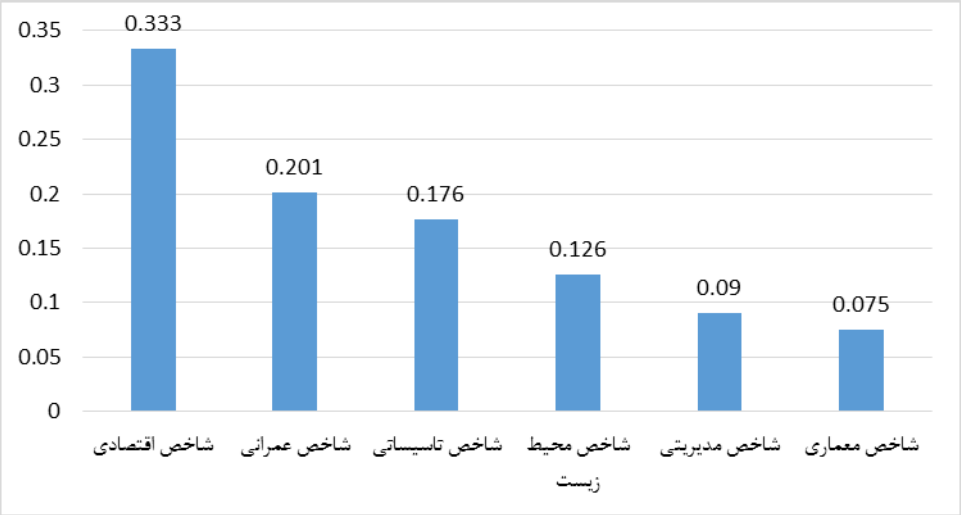
$$CR_g = \frac{CI_g}{RI_g} \quad (۱۸)$$

نتایج کنترل نرخ ناسازگاری گزینه‌های معماری، عمران، تاسیساتی، محیط‌زیست،اقتصادی و مدیریتی و همچنین معیارهای هر گزینه در جدول ۱۵ درج گردیده است.همانگونه که مشاهده می‌گردد نرخ ناسازگاری در تمامی گزینه‌ها و معیارهای مربوطه از ۰/۱ کمتر است، بنابراین سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است.

**جدول۱۵: نرخ ناسازگاری معیارها و گزینه های مرتبط**

| | شاخص ناسازگاری | | شاخص ناسازگاری تصادفی | | نرخ ناسازگاری | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | CIm | CIg | RIm | RIg | CRm | CRg |
| گزینه های اصلی | ۰/۰۲۴۱ | ۰/۰۲۳۵ | ۱/۱۹۹۶ | ۰/۳۸۱۸ | ۰/۰۲۰۱ | ۰/۰۶۱۷ |
| معیارهای معماری | ۰/۰۳۷۱ | ۰/۰۳۷۶ | ۱/۳۴۱۰ | ۰/۴۱۶۴ | ۰/۰۲۷۷ | ۰/۰۹۰۲ |
| معیارهای عمرانی | ۰/۰۱۲۴ | ۰/۰۱۲۱ | ۱/۳۴۱۰ | ۰/۴۱۶۴ | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۰۲۹۰ |
| معیارهای تاسیساتی | ۰/۰۱۷۹ | ۰/۰۱۶۳ | ۱/۳۷۹۳ | ۰/۴۳۴۸ | ۰/۰۱۳۰ | ۰/۰۳۷۶ |
| معیارهای زیست محیطی | ۰/۰۵۵۴ | ۰/۰۳۴۹ | ۱/۲۸۷۴ | ۰/۴۰۹۰ | ۰/۰۴۳۰ | ۰/۰۸۵۲ |
| معیارهای اقتصادی | ۰/۰۱۸۳ | ۰/۰۱۷۸ | ۱/۲۸۷۴ | ۰/۴۰۹۰ | ۰/۰۱۴۳ | ۰/۰۴۳۶ |
| معیارهای مدیریتی | ۰/۰۴۵۳ | ۰/۰۴۳۳ | ۱/۳۷۹۳ | ۰/۴۳۴۸ | ۰/۰۳۲۹ | ۰/۰۹۹۶ |

پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی گزینه‌ها و معیارهای آنها، برای بدست آوردن وزن هر گزینه، با استفاده از روابط (۱۱) الی (۱۶) از طریق نرم افزار(MATLAB) به دست می‌آوریم. در ادامه این قسمت، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم افزار مذکور در شکل ۸ ارائه می‌گردد.




**شکل۸: وزن نهائی گزینه‌ها.**

در خاتمه اولویت بندی معیارهای مورد بررسی که بر اساس وزن‌های آنها درجه بندی گردیده است در جدول ۱۶ به ترتیب ارائه می‌گردد.

**جدول ۱۶: اولویت بندی نهایی معیارها**

| ردیف | شرح گزینه | درصد |
|---|---|---|
| ۱ | هزینه اولیه | ٪۹/۶۹۰ |
| ۲ | میزان هزینه مصرفی انرژی | ٪۶/۵۹۳ |
| ۳ | قیمت تمام شده مصرف کننده | ٪۵/۵۶۱ |
| ۴ | تاثیر عایق بندی دیوار (پشم شیشه، پشم سنگ، گچ وخاک،...) | ٪۵/۴۷۸ |
| ۵ | کاهش تولید مواد سمی | ٪۴/۴۹۸ |
| ۶ | قیمت فروش برق | ٪۴/۲۶۲ |
| ۷ | تاثیر عایق بندی بام ساختمان (پشم سنگ، پشم شیشه، پلی استایرن، ...) | ٪۴/۰۴۰ |
| ۸ | تاثیر نوع سیستم سرمایشی (چیلر، اسپیلت، VRV، ...) | ٪۳/۹۰۷ |
| ۹ | کمک هزینه های مالی دولت | ٪۳/۴۹۸ |
| ۱۰ | تاثیر انتخاب نوع عایق بندی (پشم سنگ، پشم شیشه، پلی استایرن، ...) | ٪۳/۴۱۷ |
| ۱۱ | سیستم آب خاکستری | ٪۳/۰۴۹ |
| ۱۲ | سیستم آبگرمکن خورشیدی | ٪۲/۸۳۴ |
| ۱۳ | تاثیر انتخاب نوع پنجره (تک جداره، دوجداره، سه جداره، پروفیل پنجره، ...) | ٪۲/۷۹۴ |
| ۱۴ | راندمان مصرف دستگاههای الکتریکی | ٪۲/۶۰۵ |
| ۱۵ | لازم الاجرا بودن ساختمان انرژی صفر | ٪۲/۵۲۹ |
| ۱۶ | استفاده از تجهیزات کم مصرف روشنایی | ٪۲/۲۵۳ |
| ۱۷ | تاثیر هسته اصلی دیوارهای خارجی ساختمان (سفالی، آجری، d۳ پانل، بلوک لیکا، ...) | ٪۱/۹۷۰ |
| ۱۸ | اهمیت جهت گیری ساختمان | ٪۱/۹۶۵ |
| ۱۹ | گواهی نامه دار نمودن ساختمان های انرژی صفر | ٪۱/۹۶۵ |
| ۲۰ | فرهنگ سازی و آموزش ایجاد ساختمان های انرژی صفر | ٪۱/۸۹۹ |
| ۲۱ | قابلیت استحصال آب باران در چرخه | ٪۱/۸۵۲ |
| ۲۲ | تاثیر نوع سیستم گرمایشی (شوفاژخانه مرکزی، بخاری، شومینه، ...) | ٪۱/۷۴۲ |
| ۲۳ | هزینه نگهداری تجهیزات | ٪۱/۶۹۸ |
| ۲۴ | کاهش نفوذ هوای ناخواسته | ٪۱/۵۶۸ |
| ۲۵ | قابلیت بازیافت مصالح | ٪۱/۴۸۷ |
| ۲۶ | سیستم فتوولتائیک | ٪۱/۴۷۸ |
| ۲۷ | عوامل وابسته به کیفیت اجرای پروژه | ٪۱/۴۳۱ |
| ۲۸ | جدار نور گذر | ٪۱/۲۵۳ |
| ۲۹ | آسایش محیط | ٪۱/۱۰۹ |
| ۳۰ | تهویه | ٪۰/۹۱۵ |
| ۳۱ | قوانین فروش برق | ٪۰/۸۶۴ |
| ۳۲ | اثیر وجود سایبان | ٪۰/۸۲۵ |
| ۳۳ | تاثیر مکانیزم درب ها (معمولی، اتوماتیک) | ٪۰/۸۲۴ |
| ۳۴ | تاثیر نوع اسکلت ساختمان (فلزی، بتنی، آلومینیومی، ...) | ٪۰/۸۰۴ |
| ۳۵ | تاثیر انواع کف ساختمانی (متالدک، دال بتنی، کامپوزیت، بابلدک، کرومیت، ...) | ٪۰/۷۶۴ |
| ۳۶ | استفاده از روشنایی روز | ٪۰/۷۳۹ |
| ۳۷ | عوامل وابسته به استفاده از تکنیک ها و روش های اجرای پروژه | ٪۰/۷۳۸ |
| ۳۸ | کاهش ضایعات تولید | ٪۰/۷۰۶ |
| ۳۹ | انواع نما (بنایی، شیشه ای، کامپوزیت، ...) | ٪۰/۷۰۵ |
| ۴۰ | تاثیر نوع کاربری بام (بام سبز، ...) | ٪۰/۶۲۳ |
| ۴۱ | به‌کارگیری روش‌های استانداردسازی برای نیل به اهداف پروژه | ٪۰/۵۹۴ |
| ۴۲ | کاهش تولید گازهای CO2، SO2، وذرات معلق | ٪۰/۵۶۷ |
| ۴۳ | کاهش آلودگی صوتی | ٪۰/۴۴۱ |
| ۴۴ | عوامل وابسته به مراحل استفاده از متریال، نیروی انسانی و تجهیزات برای تولید محصول نهایی پروژه | ٪۰/۴۱۴ |
| ۴۵ | عوامل وابسته به جانمایی فضاهای داخلی (کاربری) | ٪۰/۳۰۰ |
| ۴۶ | سنجش سیستماتیک خواسته های کارفرما و افزایش ارزش محصول نهایی پروژه | ٪۰/۲۷۹ |
| ۴۷ | مقررات و ضوابط شهری | ٪۰/۲۶۱ |
| ۴۸ | تاثیر انتخاب نوع رنگ | ٪۰/۲۵۵ |

## ۶-نتیجه‌گیری

پس از بررسی معیارهای موثر در کنترل مصرف انرژی در صنعت ساختمان در مطالعات موردی، مشاهده گردید که در اکثر کشورهای توسعه یافته، توجه گسترده به زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان و راهکارهای کنترل هدر رفت انرژی از طریق ساختمان‌های انرژی صفر مد نظر قرار گرفته است. اکثر کشورهای پیشرفته به دنبال دسترسی به ساختمان‌های انرژی صفر، با کمترین اثرات زیست محیطی در آینده بسیار نزدیک هستند. براساس یافته‌های تحقیق ، در بین شاخصهای مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی مورد بررسی به روشFAHP قابل مشاهده است که گزینه شاخص اقتصادی، عمرانی و تاسیساتی به ترتیب با ضرایب ۰/۳۳۳ ، ۰/۲۰۱ و ۰/۱۷۶ از بالاترین اولویت مدیریت بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر برخورداراست.

در بخش اقتصادی بیشترین تاکید بر اساس مدیریت هزینه استوار است. بدین معنا که با توجه به اینکه مبحث ساختمان‌های انرژی صفر در ایران نوپا می‌باشد لذا لازمه اصلی توجیه هزینه‌های اولیه ساخت می‌باشد که این مهم، از طریق فرهنگ سازی ویا اعطای کمک‌های دولتی در این خصوص می‌تواند راهگشا باشد. در بخش عمرانی مبحث انتخاب تکنیک بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان مورد تاکید کارشناسان بوده، این تاکید بر عایق‌سازی صحیح و استفاده از مصالح مناسب با کمترین ضایعات و بر مبنای معماری پایدار بنا شده‌است. در مبحث معیارهای تاسیساتی، استفاده از تکنیک‌های نوین همچون سیستم‌های گرمایشی و همچنین تولید انرژی در ساختمان همچون سیستم‌های سلول‌های خورشیدی ویا سیستم فتوولتائیک بسیار مدنظر قرار گرفته شده‌است. همچنین با بررسی معیارهای زیست-محیطی می‌توان تاکید دوباره بر ارجحیت معیارهای تاسیساتی و استفاده از مصالحی در صنعت ساخت،که دارای کمترین ضایعات تولید ونیز آلوده کننده محیط زیست نباشد را مد نظر قرارداد. معیارهای مدیریتی همگی بر اساس سیاست‌های کلان کشوری همچون فرهنگ‌سازی، ایجاد سیاست‌های تشویقی مانند اعطای تجهیزات روز با قیمت‌های مناسب و خرید انرژی از مالک به عنوان کمک هزینه‌های جبرانی در راستای احداث ساختمان‌های انرژی صفر می‌باشد.

## پیشنهادهای کاربردی:

در راستای بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت ساختمان پیشنهادهای زیر جهت آیندگان میتواند مفید باشد :

۱- فرهنگ سازی لزوم ساخت ساختمان‌های صفر انرژی یا سبز.

۲- استفاده از تکنولوژی‌های جدید در راستای بهره‌برداری از مصالح جدید با در نظر گرفتن کمترین زیان‌های زیست محیطی.

۳- تدوین سیاست‌های کلی کشور در راستای اعطای بسته‌های حمایتی جهت ساخت ساختمان‌های انرژی صفر.

۴- الزام دولت به خرید انرژی تولیدی از مالکان ساختمان.

۵- آموزش‌های لازم به جامعه مهندسی کشور در خصوص نظارت دقیق بر روش اجرای ساختمان، علی الخصوص معیارهای مستقیم با عایق‌بندی های حرارتی.

۶- از آنجاییکه مبحث مالیات در تمام کشورهای پیشرفته حائز اهمیت است، لذا می‌توان با ارائه سیاست‌های تشویقی همچون تخفیف در عوارض سالیانه، تخفیف در اعمال مالیات بر ارزش افزوده به ساختمان‌های دارای رتبه‌ی انرژی صفرسعی در همگانی سازی ساخت ساختمان‌های انرژی صفر نمود.

۷- لازم‌الاجرایی رعایت کاهش مصرف انرژی در صنعت ساختمان از طریق احداث ساختمان‌های انرژی صفر.

۸- همگام سازی دانش احداث ساختمان‌های انرژی صفر با روش‌های پیشرفته رایج.

**لذا جهت پیشبرد تحقیق در پژوهش‌های آتی موارد زیر برای سایر محققین پیشنهاد می شود:**

در این مقاله اهمیت فاکتورها مشخص گردیده است لذا سایر محققین می توانند با توجه به اهمیت های داده شده به شرح ذیل اقدام نمایند:

الف-نسبت به بررسی هر فاکتور به صورت مجزا و بر اساس گزینه های مختلف با در نظر گرفتن هزینه ، ضریب تبادل حرارتی ،... با استفاده از نرم افزارهای گوناگون مانند انرژی پلاس عمل نمایند.

ب- استفاده از سیستم خبره و تکنیک‌های هوش مصنوعی، به ویژه شبکه عصبی مصنوعی و مهمترین و مرتبط‌ترین الگوریتم‌های موجود در حوزه هوش مصنوعی، به‌منظور افزایش غنای محتوایی سیستم خبره مذکور و نیز بهبود فرآیند استنتاج فازی آن برای معیارهای مؤثر معیارهای موثر در کنترل مصرف انرژی در صنعت ساختمان.

ج- مدل سازی جامع با استفاده از تصمیم گیری چند هدفه مانند برنامه ریزی آرمانی( GP) و برنامه ریزی سازشی( CP) و تحلیل پوششی داده ها (DEA) در بین معیارهای مؤثر بر موثر در کنترل مصرف انرژی در صنعت ساختمان به منظور تحلیل دقیقتر پژوهش با استفاده از منطق فازی.

## جنبه نوآوری و جدید بودن تحقیق

در خاتمه، با توجه به بررسی تحقیقات صورت پذیرفته که توسط محققین و دیگر پژوهشگران در زمینه ساختمان های انرژی صفر و مدیریت بهینه سازی انرژی انجام گرفت، اکثریت این تحقیقات با تمرکز بر یک موضوع مانند عایق کاری، جنبه های معماری، تجهیزات تاسیساتی مانند سیستم های سرمایشی، گرمایشی و سیستم های فتوولتائیک و ... بود لذا می توان جنبه نوآوری این تحقیق را اینگونه اعلام نمود که نگارنده سعی در بررسی شاخص‌ها و گزینه‌های مرتبط به صورت کلان تر و از دید شاخصه های مدیریتی نموده است.

## ۷-مراجع


[۱] محمودی، محمد مهدی، ۱۳۸۸، توسعه مسکن همساز با توسعه پایدار. تهران:انتشارات دانشگاه تهران.

[۲] مهردادی, مهسا و وحید وزیری، ۱۳۹۴، راهکارهای انرژی صفر در مجتمع های مسکونی، کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر، تبریز، مرکز مطالعات راهبردی معماری و شهرسازی.

[۳] احمدرضا توکلی، سعید امانی، الهام شاه‌حسینی،۱۳۹۳، ساختمانهای انرژی صفر، ضرورتی بربهره‌وری انرژی وبکارگیری انرژیهای تجدیدپذیر، دهمین همایش بین‌المللی انرژی.

[۴] نجف قلی, زهرا؛ مصطفی رحیم نژاد؛ قاسم نجف پور و پانیذ ایزدی، ۱۳۹۱، رسوبات به عنوان منبع جدیدی از انرژی پاک برای تولید جریان الکتریسیته،سومین همایش بیوانرژی ایران (بیوماس و بیوگاز) ، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا.

[۵] نصراللهی, فرشاد، ۱۳۹۰، ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان ها، نشست کمیته ملی انرژی ایران.

[۶] تجدد, امین و شیما عرب، ۱۳۹۷، بررسی پارک های علم و فناوری با نگرش ساختمان های صفر انرژی، ماهنامه پایاشهر.

[۷] ناصری منش, معصومه، ۱۳۹۵، بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر در طراحی ساختمان با تاکید بر انرژی خورشیدی، دومین همایش بین المللی معماری، عمران و شهرسازی در آغاز هزاره سوم، تهران. کنسرسیوم آنابافت شهر انجمن معماری و شهرسازی استان البرز، جامعه مهندسان شهرساز موسسه بناشهر پایدار - موسسه فرهنگی هنری سلوی نصر.

[۸] روژین بناء درخشان ، دکتر عباس طلوعی اشلقی، ۱۳۹۴، شناسایی عناصر کلیدی موفقیت در بهینه‌سازی مصرف انرژی در شهرداری منطقه ۷ تهران، نشریه انرژی ایران ، دوره ۱۸، شماره ۲.

[9] C. Miconoa and G. Zanzottera, 2015, Energy Modeling for NZEBs: A Case-study, Energy Procedia Volume 78, November, Pages 2034-2039.

[10] C. Szasz, 2014, HVAC elements modeling and implementation for net-zero energy building applications, Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), IEEE 9th International Symposium.

[11] Eleni S. Vergini, Theodora-Eleni Ch. Kostoula, P. P. Groumpos, 2015,Modeling Zero Energy Building with a Three-Level Fuzzy Cognitive Map, Recent Advances in Environmental and Earth Sciences and Economics.

[12] L. Aelenei, and H. Gonçalves, 2014, from solar building design to Net Zero Energy Buildings: performance insights of an office building, Energy Procedia 48, 1236 – 1243.

[۱۳] محمودی زرندی, مهناز و پریا علی اکبری، ۱۳۹۳، انرژی صفر در ساختمان zero energy building و راهکارهای رسیدن به آن، همایش ملی مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، گرگان، سازمان ملی استاندارد استان گلستان.

[۱۴]چرکزی, گزل؛ محمد فرخ زاد و حسام الدین سالاریان، ۱۳۹۳، طراحی ساختمان با مبحث انرژی صفر، چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس.

[۱۵] لیلی, فاطمه، ۱۳۹۴، جایگاه ساختمان های صفر انرژی در معماری پایدار با رویکرد کاهش مصرف انرژی، نخستین همایش ملی انرژی ساختمان و شهر، ساری، موسسه پژوهشی شبستان.

[۱۶] غفاری, عباس؛ زهره عباس زاده و محمدحسین اسلامپور، ۱۳۹۷، بررسی و شناخت عوامل موثر در طراحی ساختمانهایی با انرژی صفر، کنفرانس عمران, معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز.

[۱۷] رحیمی, بهنام و پروین رحیمی سریزدی، ۱۳۹۷، معرفی ساختمان های صفر انرژی به عنوان راه حلی برای بحران انرژی، سومین کنفرانس بین المللی عمران ، معماری و طراحی شهری، تبریز، دبیرخانه دایمی کنفرانس -دانشگاه میعاد با همکاری دانشگاه هنر اسلامی تبریز-دانشگاه خوارزمی- دانشگاه شهرکرد.

[۱۸] خیاطیان, فاضل و محمدمهدی رئیس سمیعی، ۱۳۹۲، مقدمه ای برطراحی خانه های صفرانرژی، اولین همایش منطقه ای معماری، معماری پایدار و شهرسازی، ایذه، دانشکده فنی و حرفه‌ای سما واحد ایذه.

[۱۹] حیدری, محمد و احسان مجتهدین یزدی، ۱۳۹۷، پروژه های ساختمانی راهبر (Pilot Projects) توسعه یافته بر مبنای مفهوم ساختمان های آلاینده صفر (ZEB) ، دومین کنفرانس ملی پیشرفت های نوین در حوزه انرژی و صنایع نفت و گاز، ساوه، موسسه آموزش عالی انرژی.

[۲۰] پورموید, نسترن و سیدمهدی حکیمی، ۱۳۹۵، مدیریت انرژی در ساختمان های هوشمند با حضور منابع تجدید پذیر، نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق با محوریت انرژی های نو، علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علی آباد کتول.

[۲۱] قلیزاده, وحید و شیوا ولایتی، ۱۳۹۷، شناسایی معیار های انرژی صفر و تاثیر مثبت آن در طراحی سازه ها، کنفرانس عمران, معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، دانشگاه تبریز دانشگاه شهید مدنی آذربایجان - دانشگاه علمی کاربردی شهرداری تبریز.

[۲۲] بیرانوند، مسلم،۱۳۹۰، «بازشناسی معماری پایدار و جایگاه آن در دستیابی به اهداف توسعه پایدار»، ماهنامه دانش، نما، شماره۱۹۷.

[23] Gold, M. V.1999. "Sustainable agriculture: definitions and terms. Special Reference Briefs Series No. SRB 99-02. National Agricultural Library." Agricultural Research Service, US Department of Agriculture: Beltsville, MD, USA.

[۲۴]دانلد واتسون، کنت لبز، ۱۳۷۲، طراحی اقلیمی: اصول نظری و اجرائی کاربرد انرژی در ساختمان ؛ وحید قبادیان، محمد فیض مهدوی. تهران : دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ.

[۲۵] قدسی پور، حسن. ۱۳۸۸ ،فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک تهران)، چاپ هفتم.

[26] Cheng, Ching-Hsue, and Yin Lin., 2002. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. European Jornal of Operational Research, 174-186

[۲۷]توکلی، حسین، محمد فیاض و مریم حسن نژاد، ۱۳۹۲، بررسی عملکرد طرح‌های مرتع‌داری استان خراسان رضوی با رویکرد دلفی فازی و مدلهای تصمیم گیری چند معیاره، نشریه اقتصادی و توسعه کشاورزی ۳۷-۵۰.

[۲۸] کفاش پور آذر, علیزاده زوارم علی. "به کارگیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی (FDAHP) و تحلیل خوشه سلسله مراتبی (HCA) در مدل آر. اف. ام (RFM) جهت تعیین ارزش دوره عمر مشتری." ۵۱-۶۸.

[۲۹] میرسپاسی ناصر و یاران، ۱۳۸۹، طراحی مدل تعالی منابع انسانی در سازمانهای دولتی ایران با استفاده از تکنیک دلفی فازی، مجله پژوهش‌های مدیریت، شماره ۸۷.

[30] Shu-Jen, Chen, and Hwang Chin-Lai. Fuzzy multiple attribute decision making. Berlin etc.: Springer, 1992.
[31] Grisham, T. 2009. The Delphi technique: a method for testing complex and multifaceted topics. International Jornal of Managing Projects in Business, 112-130.

[۳۲] مومنی، منصور، مباحث نوین تحقیق در عملیات، ۱۳۸۹، ناشر: مولف.

[33] Chang, D. Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European journal of operational research, 95(3), 649-655.

[34] Gogus, O. and Boucher, T.O., 1998. Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. Fuzzy Sets and Systems, 94(1), pp.133-14