

بهره گیری از ساختار موجودات زنده در کاهش مصرف انرژی با استفاده از مدل Dematel-ANP

لنا صفاییان^۱، زهره ترابی^{۲*}

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴ / ۰۹/۰۶

چکیده

بیان مساله: استفاده از علم بیونیک در طراحی فضاهای شهری علاوه بر زیبایی بصری، موجب کاهش مصرف انرژی در ساختمانها نیز می گردد.

اهمیت و ضرورت پژوهش: برای رسیدن به این اهداف ضروری است تا مرکزی برای تحقیقات و گسترش این علم در جامعه ایجاد شود، تا از طرفی به شناخت نظام طبیعت پرداخته و از طرف دیگر به گسترش کاربرد آن در علوم مختلف کمک نماید.

هدف تحقیق: این علم در پی کپی کردن و یا تقلید صرف از طبیعت نیست، بلکه هدف اصلی آن بکارگیری اصول و قواعد طبیعت و الگو برداری صحیح آن می باشد. از آنجایی که معرفی علم بیونیک به عنوان یکی از سه علم برتر دنیا از یک طرف و از طرفی ناکارآمدی و بهینه نبودن برخی ساخته‌های دست بشر ما را به سمتی سوق می‌دهد که از تجربه طبیعت در زمینه‌های مختلف یاری بگیریم.

روش تحقیق: در این راستا برای شناسایی روابط و تعیین اولویت معیارهای تحقیق حاضر از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل Dematel و ANP با رویکرد فازی استفاده شده است.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مهمترین عوامل محیطی است و زیر معیار حفظ وحدت عناصر با مکان و کیهان در عین کثرت گرایی بیشترین تاثیر را دارد. زیرمعیارهای تفکیک کیفی نواحی مختلف فضایی و پیوستگی سلسله مراتب فضایی، اقتباس از معماری بومی و جمعی بودن در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: موجودات زنده، مصرف انرژی، ساختمان‌های مسکونی، طراحی، بیونیک

۱- گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران (lenalenasafaiyan@gmail.com)

۲- گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران (zohrehtoraby@gmail.com)

مقدمه

اکنون در آستانه هزاره جدید، مفاهیم علمی، فلسفی و ایدئولوژیکی مربوط به دو مبحث تکنولوژی و بیولوژی، در حال دگرگون شدن است که بخشی از آن نتیجه کشفیات جدیدی است که در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی رخ داده‌اند. خودسازماندهی‌های مجذوب‌کننده سیستم‌های ساده در طبیعت، امروزه توجه بسیاری از دانشمندان در زمینه‌های مختلف علمی را به خود جلب کرده است. پیشرفت علم کامپیوتر و امکانات جدیدی که این علم در اختیار دانشمندان قرار داده نیز تحقیقات پیچیده‌ای را در این زمینه میسر ساخته است. هم‌چنان که شبیه‌سازی‌های کامپیوتری نشان می‌دهد، دو علم بیولوژی و تکنولوژی با تمام پیچیدگی‌هایشان براساس قوانین مشابه و ماوراء شکل گرفته‌اند. با ترکیب این دو علم می‌توان به عرصه جدیدی از دانش وارد شد که امکان نوآوری‌های بیشتر را در زمینه‌های مختلف فراهم می‌آورد [۵-۱].

در فرهنگ بریتانیا واژه بیونیک، "ساخت سیستم‌های مصنوعی که دارای برخی از ویژگی‌های موجودات زنده هستند" تعریف شده است. متشابه بودن واژه بیونیک و بیولوژی (زیست‌شناسی) ما را متوجه ارتباط این علم با موجودات زنده می‌کند. در ابتدای امر، بیونیک به کاربردهای علمی منحصر می‌شد و طرح‌هایی را که اساس شکل‌گیری آن‌ها موجودات زنده بودند بررسی می‌کرد [۶]. در بازه زمان تعریف جامع‌تری بدست آمد: "بیونیک عبارت است از هنر بکار گرفتن دانش سیستم‌های زنده برای حل مسائل فنی". این تعریف مبین این است که بیونیک از ابتدای حیات انسان همواره با ما همراه بوده و بسیاری از پژوهشگران پیش از آن که بیونیک به این نام معروف شود، آن را بکار گرفته‌اند. می‌توان گفت بیونیک یک انضباط بین علمی است که برای بهبود طراحی، ساخت ابزارها و ماشین‌های مورد استفاده بشر، بکار گرفته می‌شود و دستاوردهای بسیار سودمندی به بشر داده است. هدف اصلی و پرفایده از بکارگیری این دست‌آوردها این است که به جای بازآفرینی از موجودات زنده، اصول و قواعد طبیعت و سازگاری آن‌ها با یکدیگر مورد مطالعه قرار گیرد [۷-۸]. به بیان ساده-تر، بیونیک تأکید بر استفاده‌ی صحیح از منابع طبیعی و عدم تخریب محیط زیست دارد. هم‌چنین با نیم نگاهی به مسائل فنی و تکنولوژیکی خواستار طراحی به روش طبیعت است [۹].

از دیدگاه بیونیک ساده‌ترین راه برداشت از طبیعت، تقلید صادقانه از مدل است. هم‌اکنون بیشتر موجودات زنده حاصل دو میلیارد سال تکامل تدریجی هستند که در این بازه زمانی بسیار طولانی، طبیعت هر موجودی را که با هدف نهایی خلقت سازگاری نداشته از میان برداشته است. بنابراین طرح‌هایی که شبیه موجودات زنده هستند از این تجربه عظیم بهره‌مند می‌شوند. از طریق مطالعه فرآیند تکامل می‌توان به اطلاعات زیادی دست یافت و در علوم مختلف از آن بهره جست. یکی از این علوم معماری است. بیونیک کمک بسزایی به معماران می‌کند. یکی از دیدگاه‌های معماران پیرو این سبک این است که "ما در ساختمان‌ها زندگی می‌کنیم، کار می‌کنیم و با دیگران تعامل می‌کنیم و به نوعی ساختمان‌ها باید به عنوان پوستی برای انسان باشند." علاوه بر این ساختمان‌ها باید کیفیت زندگی را افزایش دهند و به شرایط محیطی زمین نیز نیم‌نگاهی داشته باشند [۱۰-۱۳].

از طرفی در اینجا باید گفت که بشر از ابتدای حضورش بر این کره خاکی، تاکنون همواره در ارتباط با طبیعت بوده که مواجهه اش با طبیعت در هر دوره زمانی، با توجه به نگرش‌هایش بصورت گوناگون کاملاً مشهود است. اما انسان عصر حاضر با فعالیت‌های خود، چنان تغییراتی در کنش و واکنش‌های محیط زیستی ایجاد کرده که کارایی بسیاری از مکانیزم‌های طبیعی را ضعیف و ناتوان ساخته است [۱۴]. بحران‌ها و مشکلات پیش آمده در محیط زیست، طبیعت بقای بشر و سایر موجودات را به خطر انداخته است. اکنون بشر به دنبال یافتن راه‌هایی بی خطر برای هم زیستی با طبیعت و حفظ میراث‌های آن است، بنابراین پژوهش حاضر به دنبال آن است تا با حفظ حریم طبیعی بتواند به خلق فضایی زنده و پویا در بستر کمک کند تا میراث معماری، زمین‌شناختی و زیست‌شناختی این منطقه، به نمایش گذاشته شود [۱۵].

از متغیرهای اصلی مورد بررسی در طراحی موجود در این پژوهش می توان به پردیس و رویکرد بیونیک اشاره داشت. با ایجاد پردیسی با همین رویکرد می توان به بهبود وضع محیط زیست و همچنین متغیرهای وابسته در این تحقیق که بیولوژیک، اکولوژیک و ژئولوژیک است، رسید.

از طرفی در گذشته بهره برداری از طبیعت تنها برای استفاده به عنوان یک عامل تولیدکننده بود ولی امروزه به صورت گسترده از منابع آن برای یافتن راه حل های خلاق برای مسائل فناورانه استفاده می شود. طبیعت بدلیل ویژگی های خاصی که دارد به عنوان یک منبع ویژه برای رشد و توسعه خلاقیت و نوآوری می باشد. عمده ترین این ویژگی ها عبارتند از:

- ۱- سیستم های زیستی میلیون ها سال است برای توسعه و تکامل بهینه شده اند.
 - ۲- آن ها به صورت چرخه هایی از مواد هستند که پشت سر هم با یکدیگر ترکیب شده و مواد زائد را مصرف می کنند.
 - ۳- سیستم های زیستی بر مبنای اصل خود سازمان دهی^۱ کار می کنند (سیستم هایی که خودشان تولید، تنظیم، تولید نسل و بهینه سازی می کنند).
 - ۴- سیستم های زیستی در اثر عوامل تکاملی در جهت افزایش بهره وری توسعه پیدا کرده اند. برای مثال گیاهان می توانند نیازهای خود را کاهش دهند، تهیه آب را بهبود بخشند، بهتر از نور استفاده کنند و در شرایط ناسازگار مقاومت بیشتری از خود نشان دهند.
 - ۵- سیستم های زیستی می توانند با جذب حداقل انرژی زنده بمانند و تولید نسل کنند.
 - ۶- سیستم های زیستی دارای توانایی برای نو شدن و ایجاد دوباره اجزاء خود می باشند بدون اینکه تغییری در ساختار اساسی آن ها ایجاد شود.
 - ۷- سیستم های زیستی شامل تعداد کمی از عوامل اساسی هستند که با یکدیگر در یک راه همکاری می کنند و تعداد زیادی از عملکردهای حیاتی را می توانند تولید نمایند (اصل حداقل نیروی مصرف شده).
- اهمیت ساختارهای زیستی در حوزه فناوری از سال ۱۹۶۰ به بعد افزایش یافته و از همین سال نیز بیونیک به صورت یک علم ویژه درآمده است و امروزه بر اهمیت بیونیک افزوده می شود.
- از طرفی محدودیت منابع انرژی فسیلی و افزایش آلودگی های زیست محیطی مسئله ای است که ضرورت کاهش مصرف انرژی های فسیلی را بیش از پیش آشکار می سازد. بدیهی است دستیابی به این مهم، جز با اقدامات اساسی در جهت بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش سهم انرژی های تجدید پذیر در تامین انرژی ممکن نمی باشد. از آنجا که بخش اعظمی از انرژی مصرفی کشور مربوط به بخش ساختمان است بهینه سازی مصرف انرژی در این بخش از اهمیت خاصی برخوردار بوده و معماران را به توجه و رعایت اصول معماری و توسعه پایدار سوق می دهد. یکی از روش های موثر جهت تحقق اهداف معماری پایدار، الهام از طبیعت و بررسی ساختارهای موجودات زنده است از این رو در این پژوهش معماری از طبیعت تحت عنوان ساختار موجودات زنده در جهت دستیابی به این مهم در نظر گرفته شده است.
- در این تحقیق سعی شده تا با تحلیل ژئولوژیکی، بیولوژیکی، اکولوژیکی، ساختار موجودات زنده با رویکرد بررسی انرژی ساختمان در طراحی فضاهای مسکونی در شهر زنجان و شناخت ویژگی های وضع موجود آن، کاربری هایی مناسب و متناسب با شأن فضایی بستر موردنظر، انتخاب نموده تا با ترغیب افراد به استفاده و فعالیت در فضاها، این منطقه خاص جغرافیایی مورد توجه بیشتر بازدیدکنندگان، مخاطبان و علاقه مندان قرار گیرد.

پیشینه تحقیق

Jia و همکاران (۲۰۱۹) به تعریف بکارگیری ساختار موجودات زنده و ارگانیک در معماری پرداخته است و تجلی آنرا در آثار زها حدید بررسی کرده است که چگونه در آثار خود از فرم بیونیک استفاده کرده و بعنوان معمار معاصر از او در سازه های اوست [۱۶].

^۱-Self Organization

Zúñiga و همکاران (۲۰۱۹) ابتدا به تعاریفی از «روح زمانه» یاد میشود که محیط زیست و محیط زیست مطلوب شهری پرداخته شده و سپس به معماری بیونیک و اندیشه های مربوط به آن اشاره شده و در نهایت نمونه هایی از جدیدترین آسمان خراش های الهام گرفته از طبیعت مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش که بر اساس مطالعات کتابخانه ای و میدانی صورت گرفته است، هدفش معرفی معماری بیونیک بعنوان محصول ترکیب علم بیولوژی و تکنولوژی در عرصه طراحی بنا و اهمیت محیط زیست و الگوهای برگرفته در آن می باشد [۱۷].

Malekzadeh و همکاران (۲۰۱۹) به تعریف جزیره حرارتی در تهران پرداخته اند و منطقه ۱۱ تهران را از این جهت بررسی نموده اند. در نهایت با بهره گیری ساختار موجودات زنده، راهکارهای مناسب معماری و شهرسازی برای کنترل و کاهش پدیده جزایر حرارتی که منجر به کاهش مصرف انرژی میگردد، را مورد بحث قرار داده اند [۱۸].

Bayhan و همکاران (۲۰۱۹) بر این معتقدند که نتایج نباید مستقیماً در معماری مطرح شود، بلکه در معماری باید به برداشت هایی کلی از علوم و قوانین طبیعت ارجاع کرد. فرآیند از جزء به کل و از کل به جزء در خلق معماری، اگر با اصول برگرفته از آموزه های طبیعت توأم باشد، نتایج پایداری را در محصولات معماری به وجود می آورد که در این مقاله به پژوهش در باب آنها پرداخته اند [۱۹].

Kumaresan و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله خود معتقد است طراحان برای استفاده و تقلید از فرم های طبیعی تاکنون دو شیوه بکار برده اند؛ اول اینکه هدف طراح فقط تقلید از ظاهر خارجی فرم های طبیعی باشد که در این صورت ساختمان ها فقط بازتابی از زیبایی ظاهری موجود در طبیعت محیط اطراف می باشد. شیوه دوم آنکه طراح از فرآیندهایی که فرم های طبیعی را شکل داده اند، برای خلق طرح های جدید الهام می گیرد. در این پژوهش به دنبال تعریف مفاهیم معماری بیونیک و نمونه-های کاربردی درس هایی که از طبیعت آموخته می شود، پرداخته است [۲۰].

Ervin و همکاران (۲۰۲۰) به تعاریف معماری پایدار و بیونیک پرداخته اند و معتقدند طرح های الهام گرفته از طبیعت، می تواند به کاهش صدمات زیست محیطی ناشی از ساختمان ها کمک شایانی کند و هدف این پژوهش معرفی شاخص ها و زمینه های بهره گیری از علم بیونیک در آثار معماری می باشد. روش تحقیق و گردآوری اطلاعات بصورت بررسی اسناد و منابع کتابخانه ای و تحلیل نمونه های موفق بوده است [۲۱].

Rozhkov و همکاران (۲۰۲۰) در این مقاله معتقدند که در طی دوران، نسبت به طراحی معماری به عنوان حاصل هماهنگ کننده انسان، محیط و فضا و چگونگی تعامل آن با طبیعت، رویکردهای مختلفی اتخاذ شده است که در این راستا به تعاریفی از مفهوم طبیعت و محیط زیست و اهمیت آن در چگونگی شکل گیری رابطه انسان با طبیعت پرداخته اند [۲۲].

روش تحقیق:

پژوهش حاضر به تحلیل کیفی و کمی بهره گیری از ساختار موجودات زنده در کاهش مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی زنجان می پردازد بنابراین از نظر هدف کاربردی و از نظر روش اجرا تحقیق پیمایشی است. پیمایشی به این دلیل که در این تحقیق پرسشنامه هایی جهت روش اجرایی پیاده سازی فرآیند مدیریت ریسک طراحی خواهد شد. با توجه به اینکه در مدل های تصمیم گیری چندمعیاره باید براساس یک سری معیارها تصمیم بهینه در فضای سه بعدی گرفته شود لذا فرضیه و به دنبال آن آزمون فرضی در این پژوهش مطرح نیست.

جامعه آماری پژوهش شامل، کارشناسان، مهندسان پروژه های مجتمع های تجاری، اجرایی و عمرانی خواهد بود (۷۸۲ نفر). کارشناسانی که شناخت و درک شرایط خاص پژوهش را دارند. برای تعیین حجم نمونه در این پژوهش از روش اشباع نظری استفاده خواهد در انتخاب نمونه برای بررسی موضوع سعی شده است از کارشناسان و مدیران و مهندسانی و سازمان هایی که به طور مستقیم با موضوع در ارتباط هستند استفاده شود. کارشناسان به طور هدفمند شده اند. هدفمند به این خاطر بود که کارشناس متخصص در ارتباط با موضوع باشد و نظرات و پیشنهادات قابل تاملی را ارائه نماید. با استفاده از روش کرونباخ تعداد

برای سنجش اعتبار پرسش نامه از روش های زیر می توان بهره گرفت:

– آلفای کرونباخ

– تست -تست مجدد (Test-Retest)

در این رساله برای پایداری ابزار سنجش از روش آلفای کرونباخ استفاده خواهد شد. آلفای کرونباخ یکی از متداول ترین روش‌ها برای تعیین اعتبار است. از طریق فرمول زیر ضریب آلفای کرونباخ محاسبه می‌شود.

$$r_a = \frac{j}{j-1} \left(1 - \frac{\sum S_j^2}{S^2} \right)$$

بحث و یافته‌ها

پس از آنکه محقق داده‌ها را گردآوری، استخراج و طبقه‌بندی نمود و جدول توزیع فراوانی و نسبت‌های توزیع را تهیه کرد باید مرحله جدیدی از فرایند تحقیق که به تجزیه و تحلیل داده‌ها معروف است، آغاز شود. در مرحله تجزیه و تحلیل، نکته مهم این است که محقق باید اطلاعات و داده‌ها را در مسیر هدف، پاسخ‌گویی به سؤال یا سؤالات تحقیق و نیز ارزیابی فرضیه‌های خود جهت داده و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. در این تحقیق برای شناسایی روابط و تعیین اولویت معیارهای تحقیق حاضر از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل AHP و ANP با رویکرد فازی استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از محیط نرم افزار تحلیل اکسل و کدنویسی متلب استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل در ادامه توضیح داده شده است.

شناسایی معیارها و زیرمعیارهای نهائی

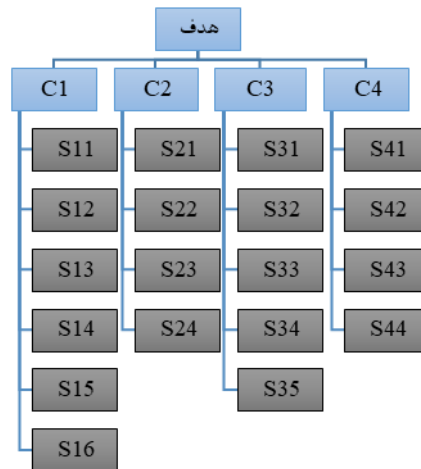
در گام نخست معیارها و زیر معیارهای مطالعه شناسایی و انتخاب شد. معیارهای اصلی مطالعه در مجموع ۵ معیار و ۱۹ زیرمعیار استفاده شده است که در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارها نهائی تصمیم‌گیری روند پروژه

نماد	معیار	زیر معیار	نماد
C1	عوامل نهادی	ارزش‌ها	S11
		هنجارها	S12
		تکنولوژی	S13
		عوامل اقتصادی	S14
		الگوهای استقرار	S15
		توجه به شکل‌های متنوع کهن‌الگوها و الهام از آن‌ها در مناطق مختلف دنیا	S16
C2	عوامل محیطی	طبیعت‌گرایی	S21
		زمینه‌گرایی	S22
		حوزه اقلیمی	S23
		اقتباس از معماری بومی	S24
C3	عوامل اجتماعی	جمعیت بودن	S31
		قابلیت ترکیب	S32
		نشانه‌ها و نمادها	S33
		تبعیت نکردن از یک هندسه خاص	S34
		توجه به جهت دهی	S35
		توجه به تناظر	S41
C4	عوامل فنی	حفظ وحدت عناصر با مکان و کیهان در عین کثرت‌گرایی	S42
		تفکیک کیفی نواحی مختلف فضایی و پیوستگی سلسله مراتب فضایی	S43
		توجه به پایداری فرم	S44

تعیین اولویت عناصر مدل با استفاده از تکنیک AHP فازی

در این پژوهش برای تعیین وزن معیارها و شاخص‌های مدل از تکنیک تحلیل شبکه (AHP) استفاده شده است. الگوی سلسله‌مراتبی مدل با استفاده از تکنیک (AHP) در شکل ۱ ترسیم شده است. همچنین معیارها و زیرمعیارهای تحقیق با اندیس عددی بصورت جدول ۱ نامگذاری شده‌اند تا در جریان تحقیق به سادگی قابل ردیابی و مطالعه باشد.



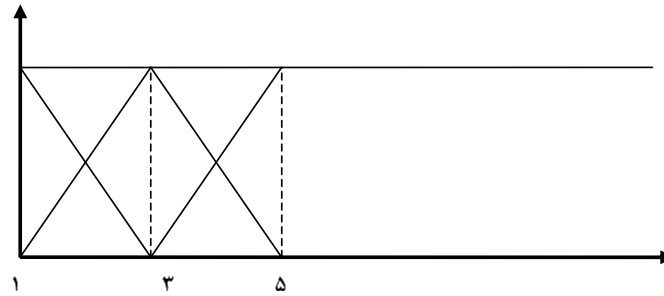
شکل ۱- الگوی سلسله‌مراتبی مدل تحقیق

تعیین اولویت معیارهای اصلی براساس هدف

برای انجام تحلیل شبکه نخست معیارهای اصلی براساس هدف بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. برای این منظور از نظر گروهی از خبرگان استفاده شده است. دیدگاه خبرگان با استفاده از مقیاس فازی کمی شده است. مقیاس فازی مورد استفاده در روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲- مقیاس متغیرهای زبانی با اعداد فازی مثلثی

ارزش	وضعیت مقایسه i نسبت به j	اعداد فازی			معکوس اعداد فازی		
		u	m	L	u	m	L
۱	ترجیح یکسان EquallyPreferred	1	1	1	1	1	1
۲	بینابین	1	0.5	0.333	3	2	1
۳	کمی مرجح Preferred moderately	0.5	0.333	0.25	4	3	2
۴	بینابین	0.333	0.25	0.2	5	4	3
۵	خیلی مرجح Preferred Strongly	0.25	0.2	0.166	6	5	4



شکل ۲- مقیاس متغیرهای زبانی با اعداد فازی مثلثی

پس از گردآوری دیدگاه خبرگان با طیف نه درجه ساعتی و فازی سازی دیدگاه خبرگان، با استفاده از میانگین فازی اقدام به تجمیع دیدگاه خبرگان گردیده است، برای محاسبه میانگین نظرات n پاسخ‌دهنده، میانگین فازی بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$F_i = (l_i, m_i, u_i)$$

$$fuzzyaverage = \left[\frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n}, \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}, \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n} \right]$$

با استفاده از میانگین فازی دیدگاه خبرگان، ماتریس مقایسه زوجی در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول ۳- میانگین فازی اولویت معیارهای اصلی پژوهش

	C1	C2	C3	C4
C1	1	7.1	7.6	8.1
C2	0.12	1	0.62	0.66
C3	0.13	0.14	1	0.20
C4	0.15	0.18	0.22	1

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی بدست آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. ابتدا جمع فازی هر سطر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{j=1}^n M_{g_1}^j$$

برای مثال بسط فازی جمع عناصر معیار نخست پژوهش بصورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_1}^j = (1, 1, 1) \oplus (7.1, 7.6, 8.1) \oplus (6.3, 7.0, 7.7) \oplus (4.5, 5.4, 6.3) = (41.2, 47.2, 53.2)$$

بنابراین بسط فازی ترجیحات هریک از معیارهای اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{j=1}^4 M_{g_1}^j = (41.200, 47.200, 53.200)$$

$$\sum_{j=2}^4 M_{g_2}^j = (2.686, 2.916, 3.316)$$

$$\sum_{j=3}^4 M_{g_3}^j = (9.533, 11.670, 13.870)$$

$$\sum_{j=4}^4 M_{g_4}^j = (20.362, 25.337, 30.309)$$

سپس جمع فازی مجموع عناصر ستون ترجیحات محاسبه می‌شود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}^n$$

مجموع عناصر ستون ترجیحات معیارهای اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}^f = (161.731, 192.674, 223.648)$$

برای نرمال سازی ترجیحات هر معیار، باید مجموع مقادیر آن معیار بر مجموع تمامی ترجیحات (عناصر ستون) تقسیم شود. چون مقادیر فازی هستند بنابراین جمع فازی هر سطر در معکوس مجموع ضرب می‌شود. معکوس مجموع باید محاسبه شود.

$$F_1^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$$

$$(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}^f)^{-1} = (0.006, 0.005, 0.004)$$

$$S_k = \sum_{i=1}^n M_{ik} * (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{ij}^f)^{-1}$$

بنابراین نتایج حاصل از نرمال سازی مقادیر بدست آمده به صورت زیر خواهد بود:

$$C1 = (0.184, 0.245, 0.329)$$

$$C2 = (0.012, 0.015, 0.021)$$

$$C3 = (0.043, 0.061, 0.086)$$

$$C4 = (0.091, 0.131, 0.187)$$

هریک از مقادیر بدست آمده وزن فازی و نرمال شده مربوط به معیارهای اصلی هستند. برای فازی زدائی مقادیر بدست آمده روش‌های متنوعی وجود دارد. یکی از روش‌های مورد استفاده برای فازی زدائی مقادیر محاسبه شده محاسبه درجه امکانپذیری و محاسبه عدد کریسپ است. در این مطالعه هم درجات امکانپذیری محاسبه شده است و هم از محاسبات عدد کریسپ استفاده شده است. نظر به انطباق نتایج و سادگی درک محاسبات کریسپ در ادامه از این روش برای فازی زدائی استفاده شده است. فازی زدائی برای محاسبه عدد کریسپ به صورت زیر است:

$$x_{\max}^1 = \frac{l + m + u}{3}$$

$$x_{\max}^2 = \frac{l + 2m + u}{4}$$

$$x_{\max}^3 = \frac{l + 4m + u}{6}$$

$$\text{Crisp number} = Z^* = \max \{ x_{\max}^1, x_{\max}^2, x_{\max}^3 \}$$

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت معیارهای اصلی به صورت زیر است:

جدول ۴- فازی زدائی اوزان نرمال محاسبه شده متغیرهای اصلی مطالعه

Normal	Deffuzy	X3max	X2max	X1max	Crisp
0.244	0.253	0.249	0.251	0.253	C1
0.015	0.016	0.016	0.016	0.016	C2
0.061	0.063	0.062	0.062	0.063	C3
0.132	0.137	0.134	0.135	0.137	C4

براساس جدول ۴ بردار ویژه اولویت معیارهای اصلی به صورت W_1 خواهد بود.

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.244 \\ 0.015 \\ 0.061 \end{pmatrix}$$

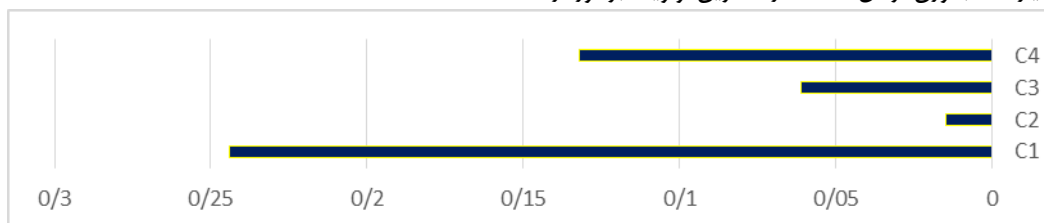
براساس بردار ویژه بدست آمده:

معیار C1 با وزن نرمال ۰/۲۴۴ از بیشترین اولویت برخوردار است.

معیار C4 با وزن نرمال ۰/۱۳۲ در اولویت سوم قرار دارد.

معیار C3 با وزن نرمال ۰/۰۶۱ در اولویت سوم قرار دارد.

معیار C2 با وزن نرمال ۰/۰۱۵ از کمترین اولویت برخوردار است.



شکل ۳- نمایش گرافیکی اولویت معیارهای اصلی پژوهش

محاسبه نرخ ناسازگاری

تلاش برای محاسبه نرخ ناسازگاری با محاسبات دستی بسیار سخت و پیچیده خواهد بود.

برای اینکه با روش محاسبه آن آشنا شوید، شیوه محاسبه نرخ ناسازگاری را به صورت گام به گام شرح می دهیم:

۱- در گام اول ماتریس مقایسات زوجی شاخص ها را در بردار وزن های نسبی به دست آمده از آن ضرب می کنیم.

۲- در گام دوم، جواب حاصل را بر بردار وزن های نسبی شاخص ها تقسیم می کنیم تا بردار سازگاری به دست آید.

۳- در گام سوم، میانگین حسابی عناصر این بردار را به دست می آوریم که λ نامیده می شود.

۴- در گام چهارم، شاخص ناسازگاری را به گونه زیر حساب می کنیم:

$$\Pi = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

۵- در گام پنجم شاخص IRI بر اساس n (تعداد شاخص ها)، از جدول شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی

زیر استخراج شده و نرخ ناسازگاری (IR) از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$IR = \frac{\Pi}{IRI}$$

که جدول شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی به قرار زیر است:

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
R.I	۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۹	۱.۵۱	۱.۴۸	۱.۵۶	۱.۵۷	۱.۵۹

جدول شاخص ناسازگاری

نرخ ناسازگاری مقایسه های انجام شده ۰/۰۷ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می باشد، و بنابراین می توان به

مقایسه های انجام شده اعتماد کرد.

مقایسه و تعیین اولویت زیرمعیارها

در گام دوم از تکنیک AHP زیرمعیارهای مربوط به هر معیار بصورت زوجی مقایسه شوند. ابتدا محاسبات انجام شده برای

فازی سازی میانگین دیدگاه کارشناسان جهت تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل نهادی (C1) (برروی سه متغیر به عنوان

نمونه آورده شده است) در جدول شماره ۶ ارائه شده است. چون این معیار از ۳ شاخص تشکیل شده است بنابراین ۳

مقایسه زوجی انجام گرفته است. مطابق فصل سوم تعدا خبرگان ۱۰ تا ۳۰ نفر می باشد که با توجه به محدودیت دسترسی

به خبرگان به دلیل شرایط کرونا ۱۰ نفر خبره در نظر گرفته شده است و نتایج ۳ شاخص از ۶ شاخص اولیه به عنوان نمونه

در جدول ۶ ارائه گردیده است.

جدول ۵- مقایسه زوجی زیرعوامل نهادی (C1)

S12-S13	S11-S13	S11-S12
---------	---------	---------

خبره ۱	۱	۱	۱	۰,۲۵	۰,۳۳۴	۰,۵	۰,۱۶۷	۰,۲	۰,۲۵
خبره ۲	۰,۱۶۷	۰,۲	۰,۲۵	۴	۵	۶	۴	۵	۶
خبره ۳	۱	۱	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۴
خبره ۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خبره ۵	۴	۵	۶	۴	۵	۶	۶	۷	۸
خبره ۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خبره ۷	۰,۱۱۲	۰,۱۱۲	۰,۱۱۲	۱	۱	۱	۹	۹	۹
خبره ۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
خبره ۹	۲	۳	۴	۰,۲۵	۰,۳۳۴	۰,۵	۱	۱	۱
خبره ۱۰	۰,۱۶۷	۰,۲	۰,۲۵	۰,۱۶۷	۰,۲	۰,۲۵	۴	۵	۶

CR = 0.083

با استفاده از میانگین فازی اقدام به تجمیع دیدگاه خبرگان گردیده است. ماتریس مقایسه زوجی حاصل در جدول ۷ نمایش داده شده است.

جدول ۶- میانگین فازی اولویت زیرعوامل نهادی (C1)

	S13	S12	S11
S11	۲,۱۲۵	۱,۷۸۷	۱,۴۶۷
S12	۳,۷۲۵	۳,۳۲۰	۲,۹۱۷
S13	۱	۱	۱

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی بدست آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. ابتدا جمع فازی هر سطر محاسبه می‌شود. بنابراین بسط فازی ترجیحات هریک از معیارهای اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^r M_{g_1}^j &= (3.611, 4.138, 4.686) \\ \sum_{j=2}^r M_{g_2}^j &= (4.557, 5.060, 5.599) \\ \sum_{j=1}^r M_{g_3}^j &= (1.739, 1.861, 2.025)\end{aligned}$$

مجموع عناصر ستون ترجیحات معیارهای اصلی به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r M_{g_i}^j &= (9.908, 11.059, 12.310) \\ (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M_{g_i}^j)^{-1} &= (0.081, 0.090, 0.101)\end{aligned}$$

بنابراین نتایج حاصل از نرمال‌سازی مقادیر بدست آمده به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned}S11 &= (0.293, 0.374, 0.473) \\ S12 &= (0.370, 0.458, 0.565) \\ S13 &= (0.141, 0.168, 0.204)\end{aligned}$$

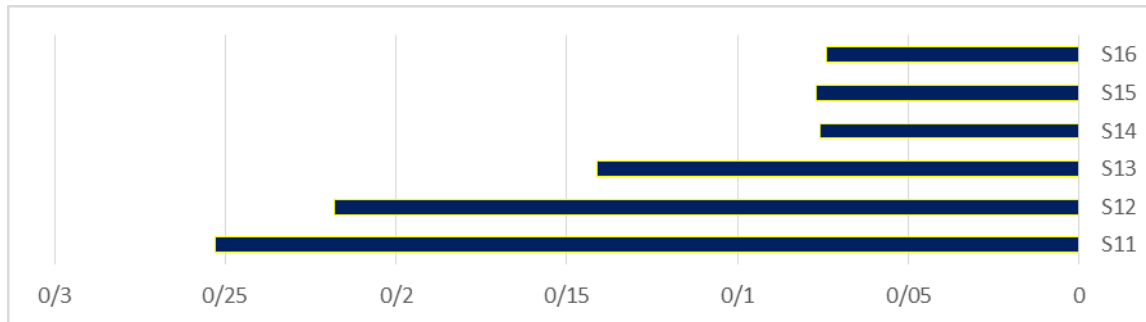
هریک از مقادیر بدست آمده وزن فازی و نرمال شده مربوط به معیارهای اصلی هستند. برای فازی‌زدائی مقادیر از محاسبات عدد کریسپ استفاده شده است. نتایج فازی زدائی با استفاده از عدد کریسپ به صورت زیر است:

جدول ۷- فازی زدائی اوزان نرمال محاسبه شده متغیرهای اصلی مطالعه

	Normal	Deffuzy	X ³ max	X ² max	X ¹ max
S11	۰,۳۷۴	۰,۳۸۰	۰,۳۷۷	۰,۳۷۹	۰,۳۸۰
S12	۰,۴۵۷	۰,۴۶۴	۰,۴۶۱	۰,۴۶۳	۰,۴۶۴
S13	۰,۱۶۹	۰,۱۷۱	۰,۱۷۰	۰,۱۷۱	۰,۱۷۱

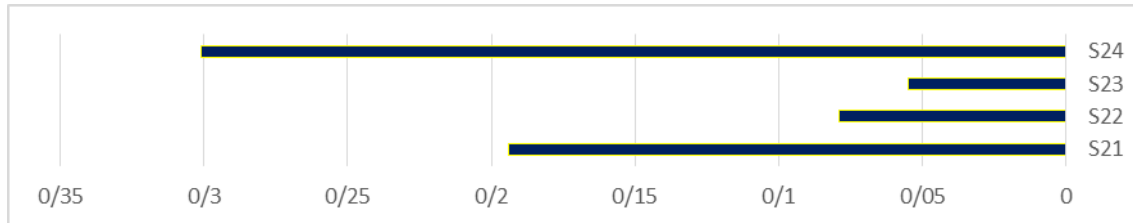
براساس جدول ۸ بردار ویژه اولویت شاخصهای معیارهای اصلی به صورت W₁ خواهد بود.

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.274 \\ 0.457 \\ 0.169 \end{pmatrix}$$

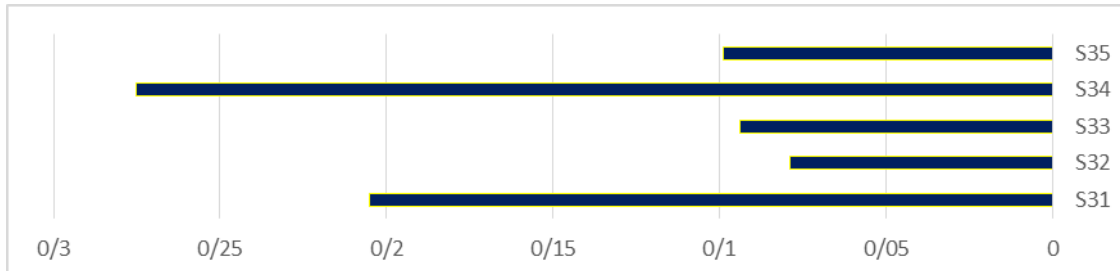


شکل ۴- نمایش گرافیکی اولویت شاخص‌های مربوط به معیار C1

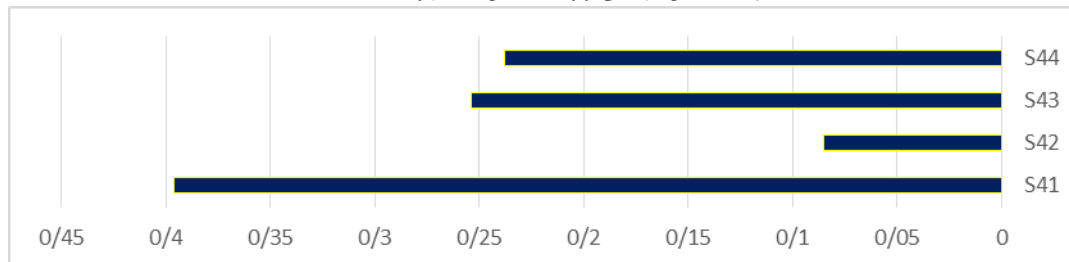
نظر به طولانی بودن حجم محاسبات فازی و مشابهت گام‌های طی شده برای تعیین اولویت هریک از زیرمعیارهای این مطالعه، از تکرار آنها در این بخش صرف نظر شده است. در ادامه اولویت زیرمعیارهای هر خوشه به صورت نمودار نمایش داده شده است.



شکل ۵- نمایش گرافیکی اولویت شاخص‌های مربوط به معیار C2



شکل ۶- نمایش گرافیکی اولویت شاخص‌های مربوط به معیار C3



شکل ۷- نمایش گرافیکی اولویت شاخص‌های مربوط به معیار C4

محاسبه روابط درونی با تکنیک DEMATEL

در روش ANP، شاخصی به نام نرخ ناسازگاری توسط نرم افزار محاسبه و اعلام می گردد که برای بررسی مفهوم پایایی استفاده می شود. این شاخص به گونه ای طراحی شده است که در صورت ناسازگار و متناقض بودن پاسخ های خبرگان، این مساله خود را نشان خواهد داد و ما بدین ترتیب به نامناسب بودن پرسشنامه و پاسخ ها پی می بریم و

در حالتی که ناسازگاری از حد نصاب اعلام شده (ده درصد) بیشتر باشد، لازم است ارزیابی ها مجدد انجام گردد پایایی پرسشنامه محاسبه گردید که نرخ ناسازگاری مقایسه های انجام شده ۰/۰۷ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می باشد، و بنابراین می توان به مقایسه های انجام شده اعتماد کرد.

روایی

با توجه به اینکه پرسشنامه روش ANP به تایید خبرگان موضوع می رسد، لذا روایی آن مورد تایید می باشد. براساس مدل تحقیق گام بعدی محاسبه روابط درونی شاخص های شناسائی شده می باشد. به این ترتیب ماتریس روابط معیارهای اصلی W22 بدست خواهد آمد. جهت انعکاس روابط درونی میان معیارهای اصلی از تکنیک ANP فازی استفاده شده است. به طوری که متخصصان قادرند با تسلط بیشتری به بیان نظرات خود در رابطه با اثرات (جهت و شدت اثرات) میان عوامل بپردازند. لازم به ذکر است که ماتریس حاصله از تکنیک دیماتل (ماتریس مدیریت داخلی)، هم رابطه علی و معلولی بین عوامل را نشان می دهد و هم اثرپذیری و اثرگذاری متغیرها را نمایش می دهد. طیف فازی مورد استفاده جدول ۸ آمده است.

جدول ۸- طیف فازی و تکنیک ANP

متغیر زبانی	معادل کمی	معادل کمی فازی		
		u	m	l
بدون تاثیر	۰	۰/۳	۰/۱	۰
تاثیر کم	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۱
تاثیر گذار	۲	۰/۷	۰/۵	۰/۱
تاثیر زیاد	۳	۰/۹	۰/۷	۰/۵
تاثیر خیلی زیاد	۴	۱	۰/۹	۰/۷

گام نخست: محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم (M)

در تکنیک ANP گروهی یعنی زمانیکه از دیدگاه چند کارشناس استفاده می شود از میانگین حسابی ساده نظرات استفاده می شود و ماتریس ارتباط مستقیم یا M را تشکیل می دهیم. در این مطالعه نخست دیدگاه تک تک خبرگان به صورت فازی درآمده است و با محاسبه میانگین فازی دیدگاه خبرگان، ماتریس ارتباط مستقیم یا M محاسبه شده است.

جدول ۹- ماتریس ارتباط مستقیم (M) فازی شده

	C4	C3	C2	C1
C1	(0, 0.1, 0.3)	(0.3, 0.5, 0.7)	(0.5, 0.7, 0.9)	(0, 0.1, 0.3)
C2	(0, 0.1, 0.3)	(0.1, 0.3, 0.5)	(0, 0.1, 0.3)	(0.7, 0.9, 1)
C3	(0.5, 0.7, 0.9)	(0, 0.1, 0.3)	(0.7, 0.9, 1)	(0.5, 0.7, 0.9)
C4	(0, 0.1, 0.3)	(0, 0.1, 0.3)	(0, 0.1, 0.3)	(0, 0.1, 0.3)

گام دوم: قطعی سازی ماتریس ارتباط مستقیم

برای فازی زدائی ماتریس ارتباط مستقیم از تکنیک CFCS^۲ استفاده شده است. تکنیک CFCS یک الگوریتم پنج مرحله ای به صورت زیر است:

- نرمال سازی مقادیر

$$xr_{ij}^n = (r_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max}$$

$$xm_{ij}^n = (m_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max}$$

$$l_{ij}^n = (l_{ij}^n - \min l_{ij}^n) / \Delta_{\min}^{\max}$$

² Converting Fuzzy numbers into Crisp Scores

- محاسبه کران بالا و پائین مقادیر نرمال

$$xrs_{ij}^n = xr_{ij}^n / (1 + xr_{ij}^n + xm_{ij}^n)$$

$$xls_{ij}^n = xm_{ij}^n / (1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n)$$

- محاسبه کل مقادیر نرمال شده کریسپ

$$x_{ij}^n = [xls_{ij}^n(1 - xls_{ij}^n) + xrs_{ij}^n \times xrs_{ij}^n] / [1 - xls_{ij}^n + xrs_{ij}^n]$$

- محاسبه مقادیر کریسپ (قطعی)

$$Z_{ij}^n = minl_{ij}^n + (X_{ij}^n \times \Delta_{min}^{max})$$

- تجمیع مقادیر قطعی شده

$$Z_{ij} = 1/h (Z_{ij}^1 + Z_{ij}^2 + \dots + Z_{ij}^h)$$

با توجه به الگوریتم CFCS مقادیر قطعی شده ماتریس مدیریت مستقیم به صورت زیر است:

جدول ۱۰- ماتریس ارتباط مستقیم (M) معیارهای اصلی

	C4	C3	C2	C1
C1	۰,۰۷۱	۰,۷۳۸	۰,۹۱۷	۰,۰۸۰
C2	۰,۷۳۸	۰,۰۷۱	۰,۹۱۷	۰,۰۸۰
C3	۰,۵۴۸	۰,۳۵۷	۰,۰۷۱	۰,۰۸۰
C4	۰,۰۷۱	۰,۰۷۱	۰,۷۳۸	۰,۰۸۰

گام سوم- محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم نرمال: $N = K * M$

ابتدا جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه می‌شود. معکوس بزرگترین عدد سطر و ستون k را تشکیل می‌دهد. براساس جدول ۱۱ بزرگترین عدد $۵/۶۵$ است و تمامی مقادیر جدول بر معکوس این عدد ضرب می‌شود تا ماتریس نرمال شود

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \frac{1}{5.65} = 0.177$$

$$N = 0.177 \Rightarrow M$$

جدول ۱۱- ماتریس نرمال شده (N) معیارهای اصلی

	C4	C3	C2	C1	N
C1	۰,۴۵۵	۴,۱۷۳	۵,۱۸۳	۰,۴۰۱	C1
C2	۰,۴۵۵	۵,۱۸۳	۰,۴۰۱	۴,۱۷۳	C2
C3	۰,۴۵۵	۰,۴۰۱	۲,۰۱۹	۳,۰۹۶	C3
C4	۰,۴۵۵	۴,۱۷۳	۰,۴۰۱	۰,۴۰۱	C4

گام چهارم- محاسبه ماتریس ارتباط کامل

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل را معکوس می‌کنیم. در نهایت ماتریس نرمال را در ماتریس معکوس ضرب می‌کنیم:

$$T = N \cdot (I - N)^{-1}$$

- محاسبه کران بالا و پائین مقادیر نرمال

$$xrs_{ij}^n = xr_{ij}^n / (1 + xr_{ij}^n + xm_{ij}^n)$$

$$xls_{ij}^n = xm_{ij}^n / (1 + xm_{ij}^n - xl_{ij}^n)$$

- محاسبه کل مقادیر نرمال شده کریسپ

$$x_{ij}^n = [xls_{ij}^n(1 - xls_{ij}^n) + xrs_{ij}^n \times xrs_{ij}^n] / [1 - xls_{ij}^n + xrs_{ij}^n]$$

- محاسبه مقادیر کریسپ (قطعی)

$$Z_{ij}^n = minl_{ij}^n + (X_{ij}^n \times \Delta_{min}^{max})$$

- تجمیع مقادیر قطعی شده

$$Z_{ij} = 1/h(Z_{ij}^1 + Z_{ij}^2 + \dots + Z_{ij}^h)$$

با توجه به الگوریتم CFCS مقادیر قطعی شده ماتریس مدیریت مستقیم به صورت زیر است:

جدول ۱۲- ماتریس ارتباط مستقیم (M) معیارهای اصلی

	C4	C3	C2	C1
C1	۰,۰۷۱	۰,۹۱۷	۰,۷۳۸	۰,۰۸۰
C2	۰,۷۳۸	۰,۰۷۱	۰,۹۱۷	۰,۰۸۰
C3	۰,۵۴۸	۰,۳۵۷	۰,۰۷۱	۰,۰۸۰
C4	۰,۰۷۱	۰,۰۷۱	۰,۷۳۸	۰,۰۸۰

گام پنجم- نمایش نقشه روابط شبکه

برای تعیین نقشه روابط شبکه (NRM) باید ارزش آستانه محاسبه شود. با این روش می توان از روابط جزئی صرف نظر کرده و شبکه روابط قابل اعتنا را ترسیم کرد. تنها روابطی که مقادیر آنها در ماتریس T از مقدار آستانه بزرگتر باشد در (NRM) نمایش داده خواهد شد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط کافی است تا میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه شود. بعد از آنکه شدت آستانه تعیین شد، تمامی مقادیر ماتریس T که کوچکتر از آستانه باشد صفر شده یعنی آن رابطه علی در نظر گرفته نمی شود. در این مطالعه ارزش آستانه برابر ۲/۶۵۳ بدست آمده است. بنابراین الگوی روابط معنی دار به صورت زیر است:

جدول ۱۳- الگوی روابط معنی دار معیارهای اصلی مدل

	C4	C3	C2	C1
C1	×	۳,۵۳۳	۳,۸۳۹	۴,۴۲۲
C2	×	۳,۳۴۳	×	×
C3	×	×	×	×
C4	×	×	×	×

با توجه به الگوی روابط می توان نمودار علی ترسیم کرد:

جدول ۱۴- الگوی روابط علی شاخص های انتخاب معیار

	D-R	D+R	R	D
عوامل نهادی	۴۱۶/۹	۷۹۱/۳۹	۱۸۷/۱۴	۶۰۴/۲۳
عوامل محیطی	۷۶۹/۱۷-	۳۸۹/۴۹	۵۷۹/۳۳	۸۱۰/۱۵
عوامل اجتماعی	۵۹۶/۲۸-	۷۴۸/۴۹	۱۷۲/۳۹	۵۷۶/۱۰
عوامل فنی	۳۱۱/۳۱-	۰۸۴/۴۶	۶۹۷/۳۸	۳۸۷/۷

در جدول ۱۴ جمع عناصر هر سطر (D) نشانگر میزان تاثیرگذاری آن عامل بر سایر عامل های سیستم است. براین اساس معیار حمایت و پشتیبانی از بیشترین تاثیرگذاری برخوردار است. معیار فرایند در جایگاه دوم قرار دارد. مدیریت تغییر و مدیریت دانش و یادگیری با تاثیرگذاری تقریباً مشابه در جایگاه بعدی قرار دارند. عوامل فنی نیز کمترین تاثیرگذاری را دارند.

جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل نشانگر میزان تاثیرپذیری آن عامل از سایر عامل های سیستم است. براین اساس معیار عوامل اجتماعی و عوامل فنی از میزان تاثیرپذیری بسیار زیادی برخوردار است. معیار حمایت و پشتیبانی نیز کمترین تاثیرپذیری را از سایر معیارها دارند.

اولویت نهائی شاخص ها با تکنیک DEMATEL

یکی از محدودیت‌های تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی عدم در نظر گرفتن روابط درونی عناصر مدل است. برای دستیابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تأثیرات متقابل، بردارهای اولویت‌های داخلی (یعنی همان Wهای محاسبه شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم‌بندی-شده³) که هر بخش از این ماتریس ارتباط بین یک دو خوشه در یک سیستم را نشان می‌دهد، بدست می‌آید. به عبارت دیگر سوپر ماتریس، ماتریسی از روابط بین اجزای شبکه می‌باشد که از بردارهای اولویت این روابط به دست می‌آید. این ماتریس چارچوبی برای مشخص کردن اهمیت نسبی گزینه‌ها پس از انجام مقایسه‌های زوجی در اختیار قرار می‌دهد. با توجه به محاسبات انجام گرفته در گام‌های اول تا چهارم سوپر ماتریس ناموزون (اولیه) بدست آمده است. در مرحله بعد با استفاده از مفهوم نرمال کردن، سوپر ماتریس ناموزون به سوپر ماتریس موزون (نرمال) تبدیل می‌شود. در سوپر ماتریس موزون جمع عناصر تمامی ستون‌ها برابر با یک می‌شود. گام بعدی محاسبه سوپر ماتریس حد می‌باشد. سوپر ماتریس حد با توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون بدست می‌آید. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا تمامی عناصر سوپر ماتریس شبیه هم شود. در این حالت تمامی درایه‌های سوپر ماتریس برابر صفر خواهد بود و تنها درایه‌های مربوط به زیرمعیارها عددی می‌شود که در تمامی سطر مربوط به آن درایه تکرار می‌شود. سوپر ماتریس حد محاسبه شده با نرم‌افزار متلب به صورت زیر است:

جدول ۱۵- وزن نهائی شاخص‌ها براساس سوپر ماتریس حد

نماد	شرح شاخص	وزن کلی	وزن نرمال	رتبه
S11	ارزش‌ها	۰,۰۰۶۵	۰,۰۰۶۹	۱۴
S12	هنگارها	۰,۰۰۲۶	۰,۰۰۲۸	۱۷
S13	تکنولوژی	۰,۰۰۱۹	۰,۰۰۲۰	۱۸
S14	عوامل اقتصادی	۰,۰۱۰۱	۰,۰۱۰۸	۱۲
S15	الگوهای استقرار	۰,۰۰۴۳	۰,۰۰۴۵	۱۵
S16	توجه به شکل‌های متنوع کهن الگوها و الهام از آن‌ها در مناطق مختلف دنیا	۰,۰۰۱۶	۰,۰۰۱۷	۱۸
S21	طبیعت‌گرایی	۰,۰۳۳۴	۰,۰۳۵۴	۶
S22	زمینه‌گرایی	۰,۰۱۳۰	۰,۰۱۳۸	۱۱
S23	حوزه اقلیمی	۰,۰۱۵۳	۰,۰۱۶۳	۱۰
S24	اقتباس از معماری بومی	۰,۰۴۴۹	۰,۰۴۷۶	۳
S31	جمعی بودن	۰,۰۴۴۵	۰,۰۴۷۲	۴
S32	قابلیت ترکیب	۰,۰۰۹۵	۰,۰۱۰۱	۱۳
S33	نشانه‌ها و نمادها	۰,۰۲۸۵	۰,۰۳۰۳	۷
S34	تبعیت نکردن از یک هندسه خاص	۰,۰۲۶۸	۰,۰۲۸۴	۸
S35	توجه به جهت دهی	۰,۰۰۳۱	۰,۰۰۳۳	۱۶
S41	توجه به تناظر	۰,۰۴۰۶	۰,۰۴۳۱	۵
S42	حفظ وحدت عناصر با مکان و کیهان در عین کثرت‌گرایی	۰,۰۸۶۳	۰,۰۹۱۶	۱
S43	تفکیک کیفی نواحی مختلف فضایی و پیوستگی سلسله مراتب فضایی	۰,۰۶۱۰	۰,۰۶۴۸	۲
S44	توجه به پایداری فرم	۰,۰۱۶۳	۰,۰۱۷۳	۹

براساس محاسبات صورت گرفته و سوپر ماتریس حد، برونداد نرم‌افزار متلب تعیین اولویت نهائی معیارها و زیرمعیارها مقدور است.

³ Partitioned matrix

بنابراین با توجه به محاسبات انجام شده وزن نهائی هریک از شاخص‌های مدل با تکنیک ANP محاسبه شده‌است. با مقایسه خروجی تکنیک ANP با خروجی تکنیک DEMATEL می‌توان ملاحظه کرد زمانیکه روابط درونی متغیرهای پژوهش نیز در نظر گرفته شود میزان اهمیت و رتبه شاخص‌های مطالعه تغییر خواهد کرد که این نشان می‌دهد با در نظر گرفتن مقایسه زوجی بین متغیرها وزن شاخص‌ها تغییر کرده و با مقایسه زوجی به وزن دقیق تری دست می‌یابیم. برای این منظور می‌توان از اوزان محاسبه شده برای شاخص‌ها برای تعیین اولویت با تکنیکی مانند تکنیک ANP استفاده کرد.

انتخاب با تکنیک ANP

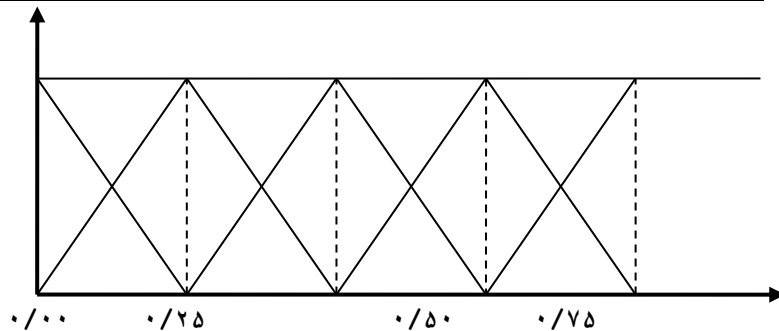
در یک مطالعه موردی از تکنیک ANP برای انتخاب مهمترین معیارها استفاده شده است. تکنیک ANP بوسیله هوانگ و یون^۴ در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. این روش یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین راهکار است. بهترین راهکار آن‌است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد.

گام نخست: تشکیل ماتریس تصمیم:

در این مطالعه از ۱۹ شاخص برای تصمیم‌گیری استفاده شده که در جدول ۲ ارائه گردیده‌اند. بنابراین ماتریس امتیازدهی گزینه‌ها براساس معیارها تشکیل شده است. برای امتیازدهی گزینه‌ها براساس هر شاخص از دیدگاه پهل خبرگان و طیف لیکرت استفاده شده است. مقادیر فازی معادل با هر پاسخ براساس جدول ۱۶ و شکل ۸ استفاده می‌شود.

جدول ۱۶- ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم

متغیر کلامی	عدد فازی	l	m	u
خیلی کم	(0 0 0.25)	0	0	0.25
کم	(0 0.25 0.5)	0	0.25	0.5
متوسط	(0.25 0.5 0.75)	0.25	0.5	0.75
زیاد	(0.5 0.75 1)	0.5	0.75	1
خیلی زیاد	(0.75 1 1)	0.75	1	1



شکل ۸- اعداد فازی مثلثی ارزش گذاری شاخص‌ها نسبت به هم

ماتریس تصمیم با n شاخص و m گزینه به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w} = \tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n$$

⁴ Hwang and Yoon

در این مطالعه تعداد شاخص‌های تصمیم‌گیری (n=44) و تعداد گزینه‌های تصمیم‌گیری (m=9) است. بنابراین ماتریس تصمیم‌گیری D_{9,44} می‌باشد.

در گام دوم بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم‌گیری با نرم صورت می‌گیرد. اگر ماتریس بی‌مقیاس شده را با N و هر درایه آن را با n_{ij} نشان می‌دهند. هر n_{ij} با تقسیم درایه متناظر در ماتریس اولیه بر جذر مجموع مربعات عناصر ستون متناظر و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m a_{ij}^2}}$$

زمانی که از رویکرد فازی با اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود برای نرمال سازی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$d_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$$

$$n_{ij} = (l_{ij}/u_{ij}, m_{ij}, u_{ij}/u_{ij})$$

همچنین می‌توان از رابطه زیر نیز استفاده کرد:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right)$$

در گام سوم باید ماتریس بی‌مقیاس موزون فازی $\tilde{V}$ را تشکیل داد. با در دست داشتن اوزان شاخص‌ها که با بردار $\tilde{W}_{ij}$ نمایش داده می‌شود خواهیم داشت:

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \cdot \tilde{w}_{ij}$$

بطور کلی در این گام باید ماتریس بی‌مقیاس (N) به ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) تبدیل شود. برای بدست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون باید اوزان شاخص‌ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل شبکه فازی (DEMATEL) محاسبه شده است که در جدول ۱۶ آمده است. به این منظور ماتریس بی‌مقیاس شده را در ماتریس مربعی (W_{n.n}) که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص‌ها و دیگر عناصر آن صفر است ضرب می‌کنیم. ماتریس حاصل را ماتریس بی‌مقیاس شده موزون گویند و با V نشان داده می‌شود. (مومنی و شریفی، ۱۳۹۷: ۱۵۳)

$$V = N \cdot W_{n \times n}$$

در گام بعد باید ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه شود:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-)$$

برای این منظور نخست ماتریس V فازی زدائی شده است. سپس ایده‌آل‌های مثبت و منفی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

برای هر شاخص مثبت، ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می‌باشد.

برای هر شاخص مثبت، ایده‌آل منفی کوچکترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می‌باشد.

برای هر شاخص منفی، ایده‌آل مثبت کوچکترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می‌باشد.

برای هر شاخص منفی، ایده‌آل منفی بزرگترین مقدار ستون مربوط در ماتریس V می‌باشد.

فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت با d^+ و فاصله با ایده‌آل منفی با d^- نمایش داده می‌شود. براین اساس فاصله هر گزینه از ایده‌آل منفی و مثبت به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_{ij}^+) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij} - \tilde{v}_{ij}^-) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

گام نهائی محاسبه راه حل ایده آل است. در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل حساب می شود. برای اینکار از فرمول زیر سود می بریم:

$$CL_i^* = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}$$

مقدار CL بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد راه کار به جواب ایده آل نزدیکتر است و راه کار بهتری می باشد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم (D9.44) و اخذ نظرات پهل خبرگان، داده های گردآوری شده به این صورت درآمده اند. ماتریس تصمیم در جدول ۱۷ ارائه شده است.

جدول (17) الف- ماتریس ارزیابی قبل از فازی سازی

	S24	S23	S22	S21	S16	S15	S14	S13	S12	S11	
C1	۳	۲	۳	۱	۴	۴	۳	۳	۵	۲	
C2	۲	۴	۲	۳	۱	۴	۱	۳	۲	۴	
C3	۵	۴	۱	۵	۳	۳	۱	۳	۵	۴	
C4	۱	۱	۵	۲	۲	۴	۴	۳	۱	۱	
C1		S44	S43	S42	S41	S35	S34	S33	S32	S31	
C2		۴	۱	۴	۱	۱	۴	۴	۱	۴	
C3		۴	۵	۳	۴	۲	۲	۴	۴	۱	
C4		۴	۲	۱	۱	۴	۲	۱	۴	۴	

جدول (۱۷) ب- ماتریس ارزیابی فازی سازی شده

	S14	S13	S12	S11	
C1	۰,۷۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۰
C2	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۵
C3	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۵
C4	۱	۰,۷۵	۰,۵	۰,۲۵	۰
	S22	S21	S16	S15	
C1	۰,۷۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۵
C2	۰,۵	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۵
C3	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۲۵
C4	۱	۰,۷۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۵
	S32	S31	S24	S23	
C1	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۲۵	۰
C2	۱	۰,۷۵	۰,۵	۰,۷۵	۰,۵
C3	۱	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۵
C4	۰,۵	۰,۲۵	۰	۰,۲۵	۰
	S41	S35	S34	S33	
C1	۰,۲۵	۰	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۵
C2	۱	۰,۷۵	۰,۵	۰,۷۵	۰,۵
C3	۰,۲۵	۰	۰,۲۵	۰	۰
C4	۰,۷۵	۰,۵	۰,۲۵	۰,۲۵	۰
	S44	S43	S42		

C1	۰,۵	۰,۷۵	۱	۰	۰	۰,۲۵	۰,۵	۰,۷۵	۱
C2	۰,۲۵	۰,۵	۰,۷۵	۱	۰,۷۵	۱	۰,۵	۰,۷۵	۱
C3	۰	۰	۰,۲۵	۰,۵	۰	۰,۲۵	۰,۵	۰,۷۵	۱
C4	۰,۵	۰,۷۵	۱	۰,۷۵	۱	۱	۰	۰	۰,۲۵

گام بعدی محاسبه ماتریس بی‌مقیاس است. بنابراین برون‌داد نرم افزار ANP برای ماتریس بی‌مقیاس شده N به صورت زیر است:

جدول ۱۸) ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس شده

	S11	S12	S13	S14					
C1	۰,۰۰	۰,۵۰	۱,۰۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۳۳	۰,۶۷	۱,۰۰	۰,۳۳
C2	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	۰,۳۳	۰,۶۷	۱,۰۰	۰,۰۰
C3	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۳۳	۰,۶۷	۱,۰۰	۰,۰۰
C4	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۳	۰,۶۷	۱,۰۰	۰,۵۰	۰,۷۵
	S15	S16	S21	S22					
C1	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۲۵
C2	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	۰,۵۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۰,۵۰
C3	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۷۵	۰,۷۵	۰,۲۵	۰,۷۵	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۲۵
C4	۲,۰۰	۳,۰۰	۴,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۰	۰,۰۰	۱,۰۰	۴,۰۰
	S23	S24	S31	S32					
C1	۰,۰۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۵۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۵
C2	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	۰,۵۰	۱,۰۰	۰,۵۰	۱,۵۰
C3	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۷۵	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۷۵	۱,۰۰
C4	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	S33	S34	S35	S41					
C1	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۲۵
C2	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۰,۰۰	۰,۵۰	۰,۵۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰
C3	۰,۰۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۵۰	۱,۰۰	۰,۷۵	۰,۲۵
C4	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	S42	S43	S44						
C1	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۷۵	۱,۰۰	۰,۰۰
C2	۰,۵۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۰,۵۰	۱,۰۰	۱,۵۰	۲,۰۰	۲,۰۰
C3	۰,۰۰	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۷۵	۰,۵۰	۱,۰۰	۰,۷۵	۰,۰۰
C4	۲,۰۰	۳,۰۰	۴,۰۰	۳,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰	۴,۰۰

در گام سوم ماتریس بی‌مقیاس موزون تشکیل شده است. ماتریس بی‌مقیاس موزون فازای زدائی شده در جدول ۱۹ ارائه شده است:

جدول ۱۹- ماتریس بی‌مقیاس موزون فازای زدائی شده

v	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S21	S22	S23	S24	S31	S32	S33	S34	S35	S41	S42	S43	S44
C1	0.021	0.048	0.110	0.033	0.060	0.000	0.005	0.002	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
C2	0.031	0.025	0.030	0.066	0.010	0.001	0.005	0.010	0.002	0.000	0.005	0.000	0.000	0.007	0.000	0.004	0.002	0.021	0.007
C3	0.031	0.048	0.030	0.022	0.040	0.001	0.000	0.005	0.003	0.003	0.003	0.000	0.003	0.001	0.005	0.000	0.003	0.003	0.003
C4	0.007	0.008	0.012	0.012	0.030	0.008	0.010	0.039	0.001	0.010	0.004	0.003	0.003	0.001	0.001	0.006	0.006	0.041	0.001

پس از محاسبه ماتریس بی‌مقیاس موزون، فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و فاصله با ایده‌آل منفی محاسبه شده است. ابتدا ایده‌آل‌های مثبت و منفی بدست آمده است:

$$V^+ = 0.031, 0.048, 0.014, 0.012, 0.132, 0.008, 0.012, 0.039, 0.010, 0.003, 0.004, 0.005, 0.007, 0.002, 0.014, 0.006, 0.006, 0.041, 0.007$$

$$V^- = 0.007, 0.008, 0.003, 0.003, 0.011, 0.001, 0.000, 0.000, 0.001, 0.001, 0.000, 0.000, 0.000, 0.001, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.001$$

فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت با d^+ و فاصله با ایده‌آل منفی با d^- نمایش داده می‌شود. برای محاسبه راه‌حل ایده‌آل، میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. هرچه مقدار CL به یک نزدیکتر باشد معیار به جواب ایده‌آل نزدیکتر است و معیار مهمتری می‌باشد.

خروجی نرم‌افزار ANP برای این معادلات به صورت جدول ۲۰ است:

جدول ۲۰- فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی			
	d^+	d^-	مقدار CL
C1	۰/۱۱۴	۰/۳۰۴	۰/۷۲۸
C2	۰/۳۷۲	۰/۱۰۸	۰/۲۲۸
C3	۰/۲۷۷	۰/۰۹۲	۰/۲۴۸
C4	۰/۲۶۰	۰/۱۴۹	۰/۳۶۴

بنابراین با توجه به مقادیر محاسبه شده مندرج در جدول ۲۰ می‌توان نتیجه گرفت مهمترین گزینه عامل C1 (عوامل نهادی) است.

نتیجه گیری

در این پژوهش به شناسایی و رتبه بندی عوامل موثر بر بهره گیری از ساختار موجودات زنده در کاهش مصرف انرژی با استفاده از روش های ANP و Dematel فازای پرداخته ایم. با مطالعه ادبیات موجود و منابع کتابخانه ای و مصاحبه با خبرگان، شاخص های موثر در این زمینه شناسایی شده و پس از غربا سازی آنها توسط خبرگان، شاخص های باقی مانده را با نظر سنجی از خبرگان و با استفاده از روش ANP فازای ارزیابی نمودیم و پس از تعیین شاخص های علت و معلولی، شاخص ها را اولویت بندی کرده و نمودار CRM رسم شد.

در جدول زیر اولویت بندی نهایی شاخص های پژوهش قابل ملاحظه است. براساس نتایج به دست آمده عوامل محیطی، عوامل نهادی و عوامل اجتماعی جز سه شاخص اول اولویت بندی شده است. جدول ۲۱ براساس میانگین وزنی گرفته شده طبق خروجی های زیر معیارهای در نظر گرفته شده، بدست آمده است.

جدول ۲۱- اولویت بندی معیارهای اصلی	
شاخص های اصلی	رتبه نهایی
عوامل محیطی	۱
عوامل نهادی	۲
عوامل اجتماعی	۳
عوامل فنی	۴

در بررسی نتایج این پژوهش در مقایسه با نتایج پژوهش های دیگر این نتیجه حاصل می شود که نتایج تحقیق قابل تایید است.

جدول ۲۲- مقایسه نتایج پژوهش با سایر پژوهش های انجام شده

شاخص ها	رتبه در تحقیق حاضر	[۵]	[۱]	[۱۱]	[۸]
عوامل نهادی	۲	۲	۲	۴	۲

عوامل محیطی	۱	۱	۳	۱
عوامل اجتماعی	۳	موجود نیست	موجود نیست	موجود نیست
عوامل فنی	۴	موجود نیست	۸	۱۱

تحقیقات انجام شده درباره بهره گیری از ساختار موجودات زنده در کاهش مصرف انرژی صورت گرفته است در صورتی که پژوهش حاضر به بررسی عواملی که باعث بهره گیری از ساختار موجودات زنده در کاهش مصرف انرژی می شود می پردازد که می توان وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات پیشین است.

ماخذ:

- Galkina, H., & Grinkrug, N. (2020, April). Unity of Natural and Architectural Space in Landscape Design of Komsomolsk-on-Amur. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 459, No. 3, p. 032081). IOP Publishing.
- Yuan, Y., Yu, X., Yang, X., Xiao, Y., Xiang, B., & Wang, Y. (2017). Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 771-787.
- Xu, L., Liao, Q., Liu, Y., Rosselló, M. P., & Wang, L. (2019, November). "Ant community": Community complex sustainable design based on design bionics—Case study of the Can Batlló community in Barcelona. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 376, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
- ABAEIAN, H., MADANI, R., & BAHRAMIAN, A. (2019). DESIGN OF AN INTEGRATED SYSTEM FOR THE IMPROVEMENT OF NATURAL VENTILATION IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF ARID AREAS. *Environmental Planning and Management*, 364.
- Krundyshev, K., Haezrahi, E., & Krundyshev, B. (2017). KINETIC PRINCIPLES OF DYNAMIC ARCHITECTURE AND HOUSING. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17, 929-936.
- Sopov, D., Protsenko, E., & Mironenko, V. (2020, August). Thesaurus of Parametric Formation Paradigm Architectural Space. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 907, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Olshak, Y. A., & Khimukhina, T. S. (2018). MORPHOLOGY OF STYLES IN A RESIDENTIAL INTERIOR OF THE XXI CENTURY. In *Professional English in Use* (pp. 160-165).
- Maslovskaja, O., Kopeva, A., Srikauska, L., Ivanova, O., & Khrapko, O. (2020, July). Humanization of the urban environment for children (on example of the residential yards in city of Vladivostok). In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 890, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- Isachenko, V. I., & Kurochkin, V. A. (2020). Universal Design as a Tool for the Humanization of Social Consciousness in Design Practice. *KnE Social Sciences*, 247-255.

- Melkumov, V. N., Chuykin, S. V., & Melnikova, A. A. (2016). TERRITORIAL PLANNING OF RECREATIONAL AREAS ADJACENT TO A RESIDENTIAL DEVELOPMENT AREA. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture & Civil Engineering.*, 31(3).
- Meseneva, N. V. (2020). Current trends in the design of urban neighborhoods. *MS&E*, 753(3), 032066.
- Krzemińska, A. E., Zaręba, A. D., Dzikowska, A., & Jarosz, K. R. (2019). Cities of the future—bionic systems of new urban environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8362-8370.
- Zahrah, W., & Putra, M. H. S. (2018). Design of Vertical Village in Pantai Burung Village Medan City (Ecology Architecture). *International Journal of Architecture and Urbanism*, 2(1), 1-10.
- Yousefi, K., & Rad, E. R. (2016). Biomimicry And Echomimicry In Iranian Architecture And Its Similarity With The Iranian Desert Architecture.
- Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (2020). Design and optimization of form and façade of an office building using the genetic algorithm. *Science and Technology for the Built Environment*, 26(2), 128-140.
- Jia, F., Tang, Y., Hu, K., & Wang, Y. (2019, October). Simulation Analysis on Pile-driving Process of Anti-flood Bionic Screw Pile. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 611, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
- Zúñiga, D. C., & Alyoshina, O. (2019). Análisis estructural numérico del modelo a escala 1: 10 del cascarón no-canónico “Yasuni” generado sobre la base de la arquitectura biónica Numerical structural analysis of the 1: 10 scale model of the “Yasuni” non-canonical shell generated on the basis of bionic. *Revista Killkana Técnica*. Vol, 3(1).
- Malekzadeh, M. S., Queißer, J. F., & Steil, J. J. (2019). Multi-level control architecture for Bionic Handling Assistant robot augmented by learning from demonstration for apple-picking. *Advanced Robotics*, 33(9), 469-485.
- Bayhan, H. G., & Karaca, E. (2019, February). SWOT Analysis of Biomimicry for Sustainable Buildings—A Literature Review of the Importance of Kinetic Architecture Applications in Sustainable Construction Projects. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 471, No. 8, p. 082047). IOP Publishing.
- Kumaresan, T., Gandhinathan, R., Ramu, M., & Gunaseelan, M. (2019). Biomechanical analysis of implantation of polyamide/hydroxyapatite shifted architecture porous scaffold in an injured femur bone. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 30(1), 16-30.
- Ervin, S. M. (2020). A Brief History and Tentative Taxonomy of Digital Landscape Architecture. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 2-11.
- Rozhkov, P. V., Prokopenko, V. I., Purikova, I. A., Tertitsa, S. V., & Dimitryuk, Y. S. (2020). General analysis of the Application of the Architectural Bionics in the Renovation and Reconstruction of Building Objects. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(2), 839-842.

Utilizing Biological Structures to Reduce Energy Consumption Using the DEMATEL-ANP Model

Abstract

Problem Statement: The application of bionic science in the design of urban spaces, in addition to enhancing visual aesthetics, leads to a reduction in energy consumption in buildings.

Significance and Necessity of the Research: Achieving these objectives requires the establishment of a dedicated center for research and the development of this field within society. Such a center would facilitate a deeper understanding of natural systems while simultaneously promoting the expansion of bionic applications across various scientific disciplines.

Research Objective: Bionic science does not aim at mere copying or direct imitation of nature; rather, its primary goal is the application of natural principles and rules through accurate and systematic modeling. On the one hand, the recognition of bionics as one of the world's leading scientific fields, and on the other hand, the inefficiency and lack of optimization in some human-made constructions, have directed researchers toward learning from nature's experiences in different domains.

Research Methodology: In this study, to identify the relationships and determine the priorities of the research criteria, multi-criteria decision-making models were employed. Specifically, the DEMATEL and ANP models with a fuzzy approach were utilized.

Findings and Conclusion: The results indicate that environmental factors are the most influential. Among the sub-criteria, maintaining unity among elements in relation to place and the cosmos, while allowing for diversity, has the greatest impact. Other sub-criteria, including qualitative differentiation of spatial zones, continuity of spatial hierarchy, adaptation from vernacular architecture, and collectiveness, are ranked in subsequent priorities.

Keywords: Living Organisms; Energy Consumption; Residential Buildings; Design; Bionics

Utilizing Biological Structures to Reduce Energy Consumption Using the DEMATEL-ANP Model

Extended Abstract

Problem Statement Rapid urbanization and the growing demand for energy have intensified environmental challenges in contemporary cities. In this context, the application of bionic science in the design of urban and residential spaces has gained increasing attention as a sustainable approach. By drawing inspiration from living organisms and natural systems, bionic design not only enhances the visual and aesthetic quality of urban spaces but also contributes significantly to reducing energy consumption in buildings.

Significance and Necessity of the Research Despite the global recognition of bionics as one of the leading scientific disciplines, its practical implementation in architecture and urban design remains limited in many regions. One of the major obstacles is the lack of organized research and development centers dedicated to the systematic study and dissemination of bionic principles. Establishing such centers is essential to improve the understanding of natural systems and to expand the application of bio-inspired approaches across various scientific and design-related fields, ultimately supporting sustainable urban development.

Research Objectives Bionic science does not aim at the direct imitation or replication of natural forms; rather, its primary objective is to identify, analyze, and apply the fundamental principles, rules, and mechanisms governing nature through accurate modeling and interpretation. Given the inefficiency and lack of optimization observed in many human-made structures, along with the increasing importance of sustainability, this research seeks to benefit from nature's experiences in order to develop more efficient and energy-conscious design strategies.

Research Methodology This study adopts a multi-criteria decision-making approach to analyze the factors affecting energy consumption reduction in bio-inspired urban and architectural design. The fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method is employed to identify causal relationships among the research criteria. Subsequently, the fuzzy Analytic Network Process (ANP) model is applied to determine the relative priorities and weights of the identified criteria and sub-criteria.

Findings The results of the analysis indicate that environmental factors have the greatest influence on reducing energy consumption in buildings. Among the sub-criteria, maintaining unity among spatial elements in relation to place and the

cosmos—while allowing for diversity—exerts the strongest impact. Other influential sub-criteria include qualitative differentiation of various spatial zones, continuity of spatial hierarchy, adaptation of vernacular architectural principles, and collective spatial organization.

Conclusion The findings of this research confirm that bio-inspired design approaches, grounded in the principles of bionic science, can play a significant role in reducing energy consumption in residential buildings and urban spaces. By emphasizing environmental factors and learning from the inherent order and efficiency of natural systems, designers and planners can develop spaces that are both energy-efficient and environmentally responsive. The prioritization of criteria such as unity within diversity, spatial hierarchy, and adaptation from vernacular architecture highlights the importance of holistic and context-oriented design strategies. Ultimately, the integration of bionic principles into urban design can contribute to sustainable development and improved quality of life.

Practical Implications The results of this study provide practical guidelines for architects, urban designers, and policymakers seeking to incorporate bionic principles into the built environment. The prioritization of criteria derived from the DEMATEL–ANP analysis can serve as a decision-support framework for energy-efficient design. Furthermore, the establishment of specialized research and educational centers can facilitate the transfer of bionic knowledge from theory to practice, enabling more effective and widespread implementation.

Limitations and Future Research Although this research offers valuable insights into the application of bionic principles for energy reduction, it is limited by the scope of selected criteria and the methodological framework employed. Future studies may expand the range of criteria, apply alternative multi-criteria decision-making methods, or investigate real-world case studies to validate and refine the proposed model. Additionally, integrating quantitative energy performance simulations with bionic design principles could further enhance the robustness of future research.