جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱٤۰۱، دوره۵، شماره۲، صص٦۵-۵۰

مدلسازی مکان بهینه استقرار پانل های خورشیدی در پشت بام ساختمان ها با استفاده ازتحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی و GIS (مطالعه موردی شهرتهران)

سعید راستی*[۱]، دکترنجمه سامانی نیسانی [۲] دکتر ابوذر نصیری[۳]

۱- دانشجویی کارشناسی ارشد سستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران ایران*

saeed.rasti95@ut.ac.ir

۲- دانشیار دانشگاه تهران،دانشکده جغرافیا،RS & GIS تهران ایران

۳- استادیار آموزش عالی فیروزآباد، RS & GIS فیروزآباد ایران

تاریخ دریافت:۱٤۰۱/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۱/۱۹

چکیده:

با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت مناسب محیطی، انرژی خورشیدی یکی از کارآمدترین انرژی‌های تجدید پذیر در ایران محسوب می‌گردد. این تحقیق به دنبال ارائه مدلی در خصوص شناسایی مکان‌های بهینه استقرار پانل‌ها خورشیدی در محیط شهری هست. پتانسیل فراوان و فضای مناسب پشت بام ساختمان‌ها با ارتفاع زیاد و قرارگیری آن‌ها در معرض مستقیم نور خورشید و استفاده نکردن بهینه از این فضاها، لزوم مکان گزینی بهینه استقرار پانل ها خورشیدی را برای تولید انرژی ارزان و آسان ضروری کرده است. در این تحقیق،ابتدا ویژگی مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی در محیط شهری و منبع تولید لایه‌های موردنیاز شناسایی گردید. لایه‌های موردنیاز جهت دستیابی به مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی تهیه و مدل‌سازی فضایی شد. هدف نهایی این مقاله ارائه یک مدل علمی و عملی برای جایگزین کردن انرژی های تجدید پذیر به جای سوخت های فسیلی در ایران است .بر اساس روش شناسایی دلفی فازی و تلفیق ان با سیستم اطلاعات جغرافیایی در این مطالعه روش مناسب برای ارزیابی و انتخاب بهترین مکان برای بهره برداری از انرژی های تجدید پذیر ارائه گردید.

کلید واژگان: سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، پانل‌های خورشیدی، تحلیل سلسله مراتب دلفی فازی

doi: 10.22034/GAHR.2022.334388.1686 شاپا الکترونیکی:645-3851

مقدمه :

تولید ارزان و آسان انرژی یکی از مؤلفه‌هایی ضروری برای کلیه فعالیت‌های بشر در زندگی امروزی است. لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به‌طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر۷۷ ٪ کل انرژی مصرفی جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند. تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای، ناشی از سوخت‌های فسیلی منجر به تخریب لایه ازون و تهدید محیط‌زیست در کره زمین شده که یکی از علائم آن، افزایش دمای کره زمین است (رشیدی و غریب 1390). افزایش جمعیت، گسترش و پراکندگی آن و نیز همگام با نیاز روزافزون بشر به انرژی‌های جدید و پاک‌تر با بازدهی بیشتر، لازمه توسعه پایدار اقتصادی است. سوخت‌های فسیلی به‌سرعت در حال اتمام بوده ونمی توانند منبع قابل‌اطمینانی برای آینده باشند و با توجه به تغییرات جهانی اقلیم و گرم شدن زمین ،مصرف سوخت‌های فسیلی باید به‌سرعت کاسته شود (مونیر و همکاران، ۲۰۰۱). انرژی خورشیدی یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین انرژی‌های تجدید پذیر در ایران محسوب می‌گردد، که نه‌تنها بسیاری از دغدغه های زیست محیطی را جوابگواست. بلکه به‌عنوان منبعی پایان‌ناپذیر، با توجه به شرایط جغرافیایی، محیطی و اقلیمی ایران، می‌تواند به‌خوبی در ایران مورد بهره‌برداری قرار گیرد(پاک‌طینت، ۱۳۹۱ ؛ طاوسی، 1390 ؛ کمالی و مرادی، ۱۳۸٤). یکی از مزایایی که انرژی خورشیدی را از سایر منابع متمایز می‌کند، فراوانی و دسترسی آسان، به آن است، به‌طوری‌که اگر انسان می‌توانست کل انرژی که در طول یک روز به زمین ساطع می‌شود را مهار کند می‌توانست انرژی یک سال کل کره زمین را تأمین کند (چاپو ۲۰۰۸). سیستم های فتوولتائیک، یکی از پربازده‌ترین سیستم های تولید الکتریسیته خورشیدی است که با گسترش آن می‌توان بخش قابل‌توجهی از نیازهای فزاینده جمعیت روزافزون را فراهم آورد. از مشکلات اساسی برای ایجاد نیروگاه‌های فتوولتائیک توان تولید انرژی با توجیه اقتصادی به منظور اتصال به شبکه انتقال و توزیع در کنار نیاز به اراضی فوق‌العاده بزرگ برای نصب این پانل‌ها است. از طرف دیگر هزینه انتقال الکتریسیته از محل تولید به محل مصرف و نیز اتلاف انرژی زیاد است. لذا برای مقابله با این مشکل‌ها، سیستم‌های فتوولتائیک پراکنده با نصب در پشت‌بام‌ها پیشنهاد شد. با توجه به اینکه مقدار تولید این سیستم‌ها به مقدار زیادی وابسته به جهت، زاویه و مکان نصب پانل‌ها است، ازاین‌رو شناسایی مکان بهینه استقرار این پانل‌ها بر پشت‌بام ساختمان‌های مناطق شهری می‌تواند اثر قابل‌توجهی در افزایش راندمان تولید انرژی داشته باشد (پاک‌طینت، ۱۳۹۱). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و برخورداری مناسب از تابش خورشیدی، استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند به‌عنوان یکی از بهترین و فراوان‌ترین انرژی‌ها گسترش یابد. کشور ایران روی کمربند خورشیدی جهان قرارگرفته است و یکی از کشورهایی است که از تابش نور خورشید باقدرت وتوان مطلوب برخوردار بوده و از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی است (ثقفی، ٦۳:۱۳۸۸). بر اساس اطلس جامع GIS[1] انرژی خورشیدی ایران میزان متوسط سالیانه انرژی تابش کل خورشید بر سطح افقی و مقدار متوسط

سالانه ساعات آفتابی در ایران به ترتیب برابر با ۵۲۳۷ وات برساعت بر مترمربع در روز و ۳۱۵۳/۲ ساعت برآورد شده است

(حق‌پرست کاشانی و همکاران، ۱۵۸۱۳۸۸: -۱٦۹). یا به‌عبارت دیگر میزان تابش نور خورشید در کشور ایران حدود

۵ کیلووات ساعت انرژی در روز در مترمربع است و بیش از 90 درصد خاک ایران در سال ۳۰۰ روز در معرض تابش نور خورشید قرار دارد (ثقفی ٦۳:۱۳۸۸). در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی به‌ویژه سیستم‌های فتوولتائیک یکی از مهم‌ترین پارامترها در بازدهی سیستم، مکان و شرایط نصب پانل‌های این سیستم‌ها است. متأسفانه توسعه تکنولوژی فتوولتائیک هنوز به حدی نرسیده است که قابلیت رقابت با سیستم‌های تولید الکتریسیته متداول را داشته باشد (درننت و همکاران، ۲۹-۲٤: ۱۹۹٦). دلیل عمده برای قیمت زیاد مولدهای فتوولتائیک سرمایه زیاد موردنیاز برای تولید الکتریسیته نسبتاً کم از طریق این مولدها است (یابرتینی و دسیدریا ۱۸۵۰-۱۸۳۳ :۲۰۰۳). خوشبختانه زمان بازگشت سرمایه برای سیستم‌های فتوولتایک در دو دهه اخیر کاهش‌یافته است (گاسدورف، ۱۱۷۳ :۱۹۹۲) لذا برای فراگیر شدن استفاده از سلول‌های خورشیدی به منظور تولید برق، باید هزینه تولید برق از این سلول‌ها را تا حد امکان پایین آورد. پیدا کردن مکان‌های بهینه برای نصب این سیستم‌ها می‌تواند اولین قدم برای افزایش راندمان و درنتیجه کاهش هزینه‌های تولید الکتریسیته توسط سلول‌های خورشیدی باشد. متأسفانه تا به امروز تحقیقات اندکی درباره پتانسیل سنجی پشت‌بام‌ها به‌منظور نصب تجهیزات فتوولتائیک انجام شده است. در ایران تا به حال تحقیقات کمی در این زمینه صورت گرفته است و در سطح دنیا نیز تحقیقات اندکی انجام‌گرفته است (برلیان و همکاران ۲۰۱۰). در مطالعه‌ای دیگر در دانشگاه آریزونا امکان‌سنجی نصب سیستم‌های فتوولتائیک در پشت بام های ساختمان‌های عمومی شهر فینکس بررسی شد. در این مطالعه ۳٦٤ ساختمان بررسی شد که از بین آن‌ها ۸۵ ساختمان برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک با پتانسیل زیاد تشخیص داده شد. این مطالعه سطح بام های مناسب را ۲۳٤۰۵۰۰ فوت مربع برآورد کرد(برایان و همکاران ۲۰۱۰) ایزد کرد و همکاران (۲۰۰۸) با روش پتانسیل سلسله مراتبی شامل سه مرحله پتانسیل فیزیکی و جغرافیایی و تکنیکی، پتانسیل فتوولتائیک را در مناطق مختلف اسپانیا به دست آوردند. سپس با استفاده از روشی که بر پایه سهولت دسترسی به داده ها (مانند کاربری، تراکم جمعیت و تراکم ساختمان‌ها) بسط داده بودند سطح بام‌های مناسب برای تجهیزات فتوولتائیک را به دست آوردند و سطوح مناسب برای تجهیزات فتوولتائیک با ضریب اطمینان ۹۵ ٪ به دست آمد(ایزکیوردو و همکاران ۹۲۹ :۲۰۰۸) (چاوز و باهیل ۲۰۱۰). با استفاده از مدل رقومی و مدل‌سازی LIDAR ارتفاع به‌دست‌آمده از تصاویر به‌صورت پایلوت، GIS تابش خورشیدی در پشت بام های مناسب بر ای نصب سیستم‌های فتوولتائیک در محدوده چهار مایل مربعی اطراف دانشگاه آریزونا را شناسایی کردند (چاوز و باهیل ۲۰۱۰). در مطالعه دیگری امکان‌سنجی نصب

سیستم‌های فتوولتائیک در پشت‌بام‌های ساختمان‌های عمومی در حد واسط خیابان وصال تا قدس شهر تهران بررسی شد همچنین از تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار ترکیبی (OWA) استفاده شد با نتایج، حاصل ضریبی برابر ۰.۷۷۱ را نمایش می دهد(عشورنژاد ۱۳۹۳). در تحقیق مکان‌یابی بیمارستان در شهرستان ملارد با استفاده از مدل AHP Fuzzy مکان های بهینه برای استقرار مکان‌یابی بیمارستان و مراکز ارائه دهنده خدمات درمانی بر روی منطقه مشخص شدند. نتایج تحقیق، به خوبی نشان می دهد که ساخت بیمارستان جدید در بخش خصوصی ودولتی به مکان‌یابی علمی ودقیق نیاز دارد.

داده‌ها و روش شناسی

برای طراحی مدل، ویژگی‌های مکان مناسب استقرار پانل های خورشیدی در محیط شهری شناسایی شد. مکان استقرار این پانل ها بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها می‌باشد، شیب کمتر از ۳۵ درجه، جهت مناسب (به سمت جنوب یا افقی) و دارای بیشترین دریافت انرژی خورشیدی در طول سال باشد (چاوز و باهیل ۲۰۱۰). در ادامه، مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین در منطقه موردمطالعه تهیه شد. در این تحقیق سعی شد تا از داده‌ای برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین استفاده شود، که برای اکثر مناطق شهری کشور قابل تهیه و دارای دقت قابل قبولی باشد. ازاین‌روی با توجه به تهیه نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ برای اکثر مناطق شهری کشور از اطلاعات ارتفاعی این نقشه‌ها برای استخراج ارتفاع بلوک‌های ساختمانی استفاده شد. همچنین لایه‌های مورد نیاز برای دست‌یابی به مکان‌های مناسب استقرار پانل های خورشیدی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه و مدل‌سازی فضایی در این نرم‌افزار انجام گردید. با توجه به اینکه مکان‌های مناسب استقرار پانل های خورشیدی باید و به طور مطلق بر روی پشت بام ساختمان‌ها باشد، از شیب کمتر از ۳۵ درجه و جهت مناسب (به سمت جنوب یا افقی) برخوردار باشد از عملگرAND برای شناسایی پشت بام هایی با تمامی این شرایط استفاده شد. ازآنجایی‌که استقرار این پانل‌ها دارای هزینه‌های اولیه می‌باشد و باید دارای توجیه اقتصادی باشد (نقشه میزان تناسب استقرار) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (Delphi fuzzy) محاسبه شدند.

جدول 1 معیارهای مؤثر در مکان‌یابی پانل‌های خورشیدی

ردیف	عنوان	توضیحات
1	جمعیت	باید در ساختمان‌ها به تعدادی جمعیت وجود داشته باشد که به‌صرفه اقتصادی را ایجاد نمایید.
۲	شیب	شیب باید بیشتر از ۳٦درجه نباشد وگرنه نامناسب است.
۳	جهت شیب	جهت معمولاً باید از به سمت جنوب یا افق باشد.مکان‌یابی پنل ها طوری باشد که انرژی خورشیدی را به‌طور حداکثر دریافت کنند.
٤	ارتفاع ساختمان‌ها	ارتفاع ساختمان‌ها به‌گونه‌ای باشد که سایه دیگر ساختمان‌ها مانع رسیدن انرژی خورشیدی به آن‌ها نشود.
۵	میزان انرژی خورشیدی سالیانه	میزان انرژی سالیانه باید به‌اندازه‌ای باشد که پانل‌ها را به‌طور مداوم شارژ نگه دارد یعنی میزان برق تولیدی آن‌ها کافی باشد.
٦	اقلیم	میزان ابرناکی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.
۷	کاربری اراضی	این ساختمان‌های که ما از آن‌ها برای نصب پانل‌های خورشیدی می‌خواهیم استفاده نماییم شخصی هستند یا دولتی

منبع : مطالعات نگارندگان

روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی

ترکیب روش دلفی و منطق فازی نخستین بار توسط کوفمان ۲ و گوپتا ۳ صورت گرفت (عطایی ۷٤ :۲۰۱۰). در روش دلفی، پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط افراد خبره در قالب اعداد قطعی بیان می‌شوند، درحالی‌که استفاده از اعداد قطعی برای پیش‌بینی‌های بلندمدت، آن را از دنیای واقعی دور می‌سازد. از طرفی افراد خبره از شایستگی‌ها و توانایی‌های ذهنی خود برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند و این نشان می‌دهدکه عدم قطعیت حاکم بر این شرایط از نو امکانی است نه احتمالی. امکانی بودن عدم قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگاری دارد و بنابر این بهتر آن است که با استفاده از مجموعه‌های فازی به پیش بینی بلندمدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخته شود. بدین ترتیب باید اطلاعات لازم را در قالب زبان طبیعی از خبرگان اخذ کرده و مورد تحلیل قرارداد. این روش تحلیل، روش دلفی فازی نامیده می‌شود (آذر وحجتی ۲۰۰۸). بسیاری از مسائل و مشکلات موجود در تصمیم‌گیری از اطلاعات نادقیق و ناقص نشأت می‌گیرد؛ بنابراین بهتر است داده‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری به روش دلفی طیفی از مقادیر را شامل شوند (برخلاف دلفی کلاسیک که داده‌ها مقادیر قطعی هستند) بنابراین می‌توان با کاربرد تئوری فازی نقایصی مانند عدم دسترسی به اطلاعات دقیق ، متأثر بودن اظهار نظرهای خبرگان و تصمیم‌گیرندگان از

ذهنیات فردی و دشواری ارائه تمام دانش فرد در قالب تنها یک عدد را مرتفع نمود(جعفری ٤٤ :٢٠٠٧). گونه‌های مختلف از اعداد فازی را می‌توان برای اخذ نظرات خبرگان مورداستفاده قرارداد، اما معمولاً برای سهولت محاسبات از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود. در این روش در مرحله نخستین نظرات کارشناسان دریافت می‌شود، در مرحله بعد به محاسبه اعداد فازی ($\tilde{a}ij$) پرداخته می‌شود. این اعداد به‌صورت روابط چهارگانه تعریف می‌شوند:

رابطه (۱)

$Aij= (\alpha ij ,\beta ij ,\Upsilon ij)$

$\alpha ij= (Min (\beta ij), K=1\ldots n$

$\delta ij= (\prod_{k=1}^{n} \beta\ ijK)1/3$
$\Upsilon ij= Max(\beta ij)$

درروابط فوق نشان‌دهنده اهمیت نسبی پارامتر i به پارامتر j ا ز دیدگاه کارشناس k ام Υij حد بالای نظرات کارشناسان و αij حد پایین نظرات کارشناسان برای متغیرها می‌باشد.در این روابط δij میانگین هندسی نظرات کارشناسان خواهد بود. بدیهی است که مؤلفه‌های فازی به‌گونه‌ای تعریف گردیده‌اند. که : $\alpha ij \leq \delta ij \leq \Upsilon ij$ باشد. در ضمن مقادیر مؤلفه‌ها یا اعداد فازی جهت ارزش‌گذاری کارشناسان به شاخص‌های پژوهش در جدول زیر آمده است.

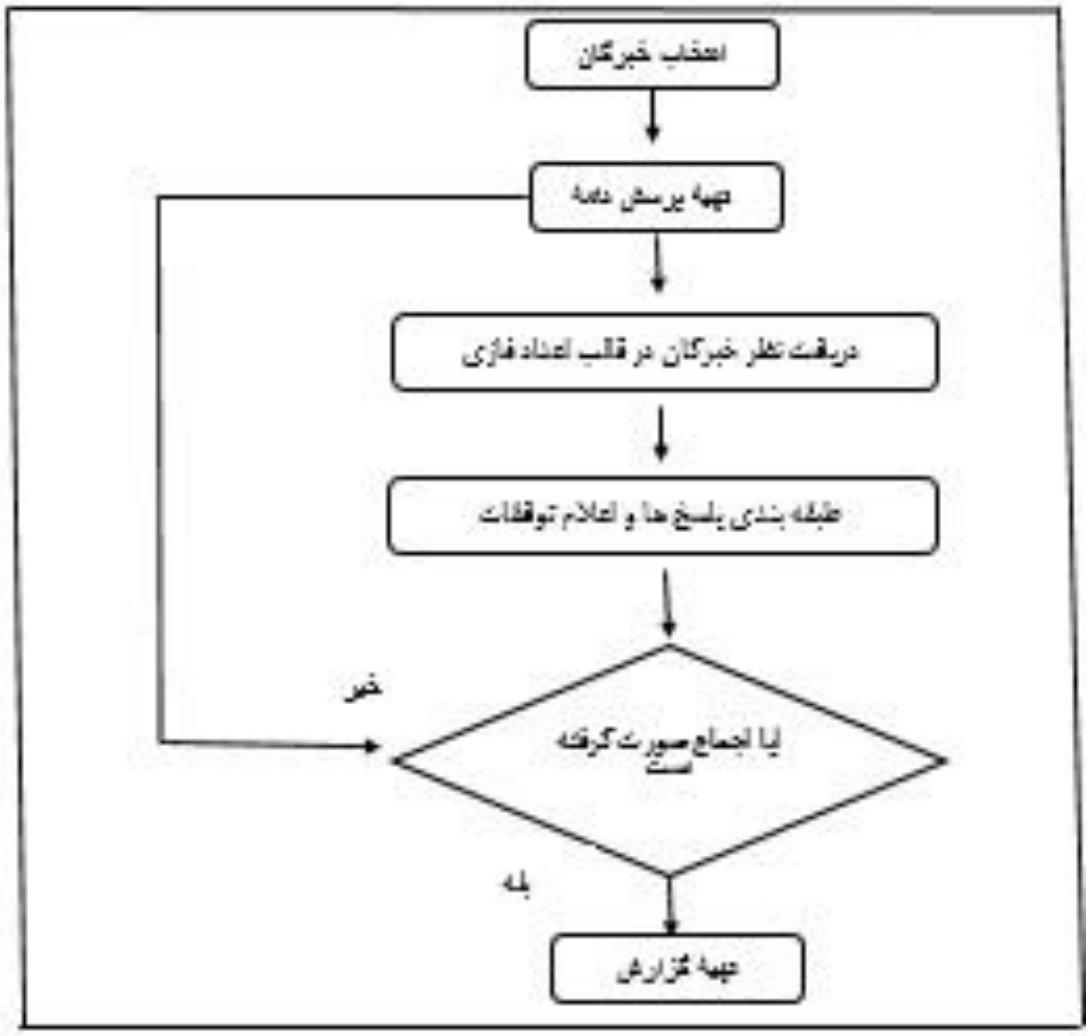
جدول ۲ متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت شاخص‌ها

اهمیت شاخص‌ها	عدد فازی
خیلی زیاد	(۰.۷۵،۱،۱)
زیاد	(0.5،۰.۷۵،۱)
متوسط	(۰.۲۵،۰.۵،۰.۷۵)
کم	(۰،۰.۲۵،۰.۵)
خیلی کم	(۰،۰،۰.۲۵)

منبع: (Arash Habibi.2015.pp.130-143)

در مرحله بعد روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی ماتریس معکوس فازی باید تشکیل شود. و در مرحله آخر در مدل تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی، غیر فازی سازی وزن شاخص‌ها خواهد بود که با استفاده از رابطه زیر صورت گرفته است.

$\tilde{A}= [\tilde{a}ij]\tilde{a}ij^{\times}\tilde{a}ij \sim 1\square i, j =1,2\ldots, n$



شکل 1 فرآیند مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی–منبع (Arash Habibi.2015.pp.130-143)

با توجه به توضیحات اشاره شده مراحل گام به‌گام تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی به شرح مراحل ذیل است.

الف_ نظرسنجی از متخصصان: در این مرحله ابتدا از متخصصان مختلف در مورد عوامل مؤثر در مکان گزینی پانل‌های خورشیدی به صورت کیفی یا در صورت امکان کمّی نظرسنجی به عمل می اید(بر اساس جدول شماره ۲).

ب_ محاسبه اعداد فازی: برای محاسبه اعداد فازی ($\tilde{a}ij$) نظرهای حاصل ازنظر سنجی از متخصصان به‌طور مستقیم مدنظر قرار می‌گیرند. در این حالت مؤلفه‌های یک عدد فازی به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود. بدیهی است که مؤلفه‌های عدد فازی به‌گونه‌ای تعریف‌شده‌اندکه $\alpha ij \leq \delta ij \leq Yij$ در ضمن مقادیر این مؤلفه‌ها در بازه $[0,1]$ تغییر می‌کند.

ج _ تشکیل ماتریس معکوس فازی: در این مرحله با توجه به اعداد فازی به‌دست‌آمده در مرحله قبل، ماتریس مقیاس زوجی فازی بین پارامترها مختلف تشکیل می‌شود.

د _ محاسبه وزن فازی نسبی پارامترها: درنهایت اوزان فازی نسبی پارامترها تعیین می‌شوند.

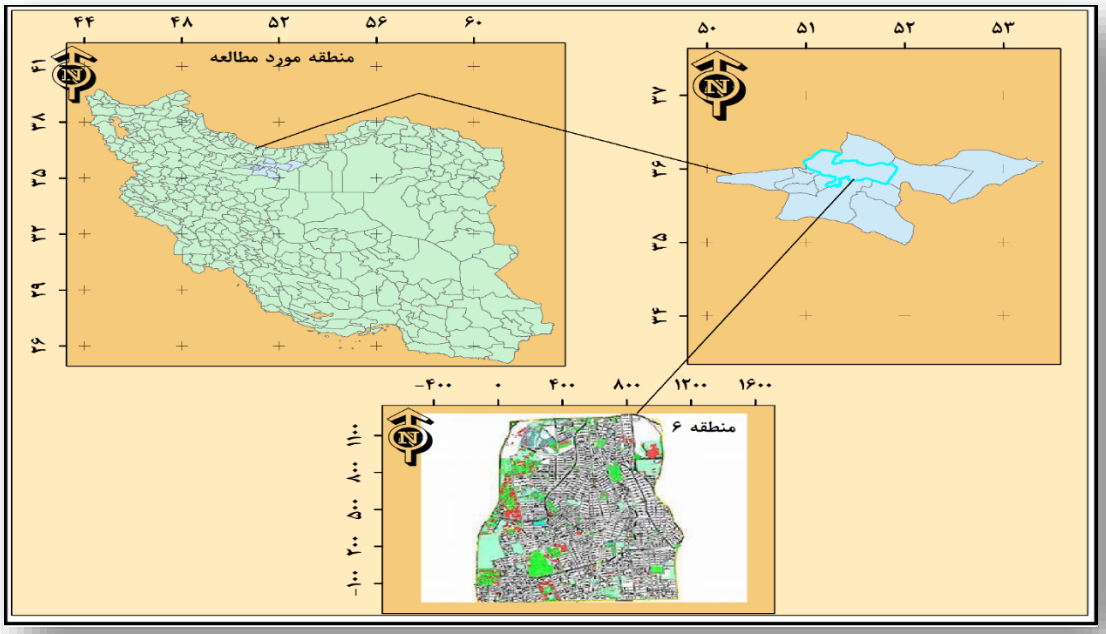
و _ غیر فازی کردن وزن پارامترها: در این مرحله به‌منظور غیر فازی کردن وزن پارامترها، طبق رابطه (۲) میانگین هندسی مؤلفه‌های عدد فازی، وزن پارامترها به دست می‌آید و بدین ترتیب وزن پارامترها به صورت یک عدد قطعی بیان می‌شوند . (Zhu et al, 1999)

رابطه (۲)

$$w= (\prod_{j}^{n} = 1wij)1/3$$

منطقه موردمطالعه:

منطقه ٦ شهرداری تهران یکی ازمناطق شهری تهران است که درمرکز این شهر با مختصات جغرافیایی **۳۵**–۳۹۹٤٦۷۲–۷۲۱۱۱۸٦،٥۱ واقع شده است.این منطقه ازشمال به بزرگراه همت از غرب به بزرگراه چمران از شرق به بزرگراه مدرس وخیابان مفتح همچنین از جنوب به خیابان انقلاب محدود می شود.این منطقه با مساحتی معادله ٤٥/۲۱۳۸هکتار حدود۳/۲درصد از شهر تهران را شامل می شود.بخش عمده کاربری های موجود در این منطقه از نوع اداری–آموزشی می باشد. شکل (۲)



شکل۲ منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق:

مقاله حاضر با توجه به محتوای پژوهشی و ساختار نظری آن از روش تحقیق توصیفی تحلیلی بهره جسته است. روش یافته اندوزی این مطالعه بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیل محتوا و همچنین پرسشنامه و مصاحبه صورت گرفته است روش تحلیلی مورداستفاده در این مقاله تلفیق روش سلسله مراتبی دلفی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد. ابتدا از طریق روش تحلیل سلسله مراتبی دلفی فازی به شناسایی مهم‌ترین معیارهای مؤثر بر مکان‌یابی پانل‌های خورشیدی پرداخته‌شده است؛ سپس با کمک توابع تحلیلی GIS مکان‌های مناسب برای احداث پانل‌های خورشیدی در محدوده موردمطالعه شناسایی‌شده است. از آنجا که در رابطه با شاخص‌های مکان‌یابی پانل‌های خورشیدی در شهرهای کشور، ضوابط خاصی وجود ندارد، در این تحقیق از روش دلفی فازی برای به دست آوردن مؤلفه‌های تأثیرگذار در رابطه با مکان‌یابی پانل‌های خورشیدی شهری استفاده‌شده است. نحوه اعمال این روش در نوشته حاضر بدین‌صورت بوده که ابتدا با مطالعه منابع موجود و جمع‌آوری مؤلفه‌های احتمالی تعداد ۷شاخص فهرست شده و در اختیار کارشناسان مربوطه قرارگرفته است؛ سپس تعداد 15پرسشنامه برای کارشناسان مرتبط با موضوع، به‌عنوان خبره ارسال‌شده است. در مرحله بعد از کارشناسان خواسته شد که با توجه به مقیاس ۵کمیتی ساعتی (روش تحلیل سلسله مراتبی) به شاخص‌های فهرست شده امتیاز دهند. در بخشی از

پرسشنامه نیز از کارشناسان تقاضا شده بود که معیارهایی که در پرسشنامه مرحله اول به آن‌ها اشاره نشده است را در بخش مربوطه اعلام نمایند.

جدول ۳ نمونه پرسشنامه به‌کاررفته در پژوهش

معیار	امتیاز بر اساس مقیاس ۵ کمیتی روش تحلیل سلسله مراتبی				
جمعیت	۵	٤	۳	۲	۱
شیب	۵	٤	۳	۲	۱
جهت شیب	۵	٤	۳	۲	۱
ارتفاع ساختمان	۵	٤	۳	۲	۱
میزان انرژی سالیانه خورشیدی	۵	٤	۳	۲	۱
....	۵	٤	۳	۲	۱

بعدازاین مرحله پرسشنامه های کارشناسان مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و معیارهای نامرتبط و یا بسیار کم اهمیت حذف شدند و پرسشنامه تکمیلی حاوی ۵ معیار که اغلب خبرگان امتیاز بالا به آن اختصاص داده بودند تدوین‌شده است. در ادامه با توجه به پرسشنامه موجود، ماتریس‌های مقایسه زوجی متناظر با هریک از پارامترها ازنظر متخصصان مختلف به‌صورت جداگانه برای هر متخصص تشکیل و تا زمان رسیدن به اجماع نظرات در این تحقیق (۲مرحله) فرایند تکمیل پرسشنامه ادامه داشته است. به دلیل حجم بسیار زیاد محاسبات صورت گرفته از ارائه ماتریس‌های مقایسه زوجی صرف نظرمیگردد. همچنین ازآنجاکه کارشناسان از اعداد قطعی برای تکمیل پرسشنامه استفاده می‌کنند، مقایسات زوجی بر اساس جدول شماره ۲ و بر اساس منطق فازی موردمحاسبه و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و امتیاز قطعی که کارشناسان به معیارها اختصاص داده‌اند، فازی سازی شده است.

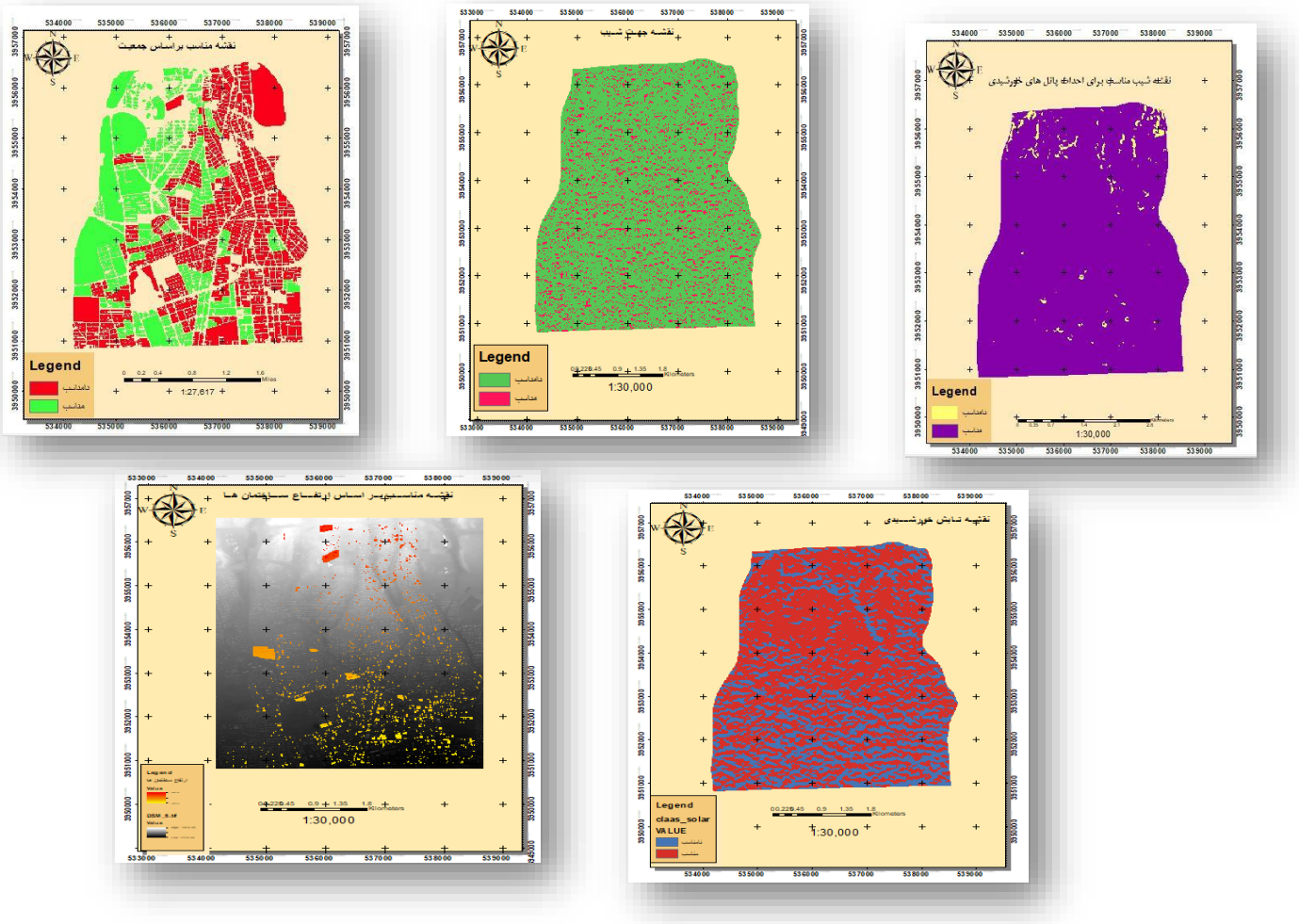
بعدازاین مرحله وزن فازی و غیر فازی معیارها مشخص خواهد شد.

جدول٤ محاسبه وزن فازی و غیر فازی برای معیارهای پنج‌گانه

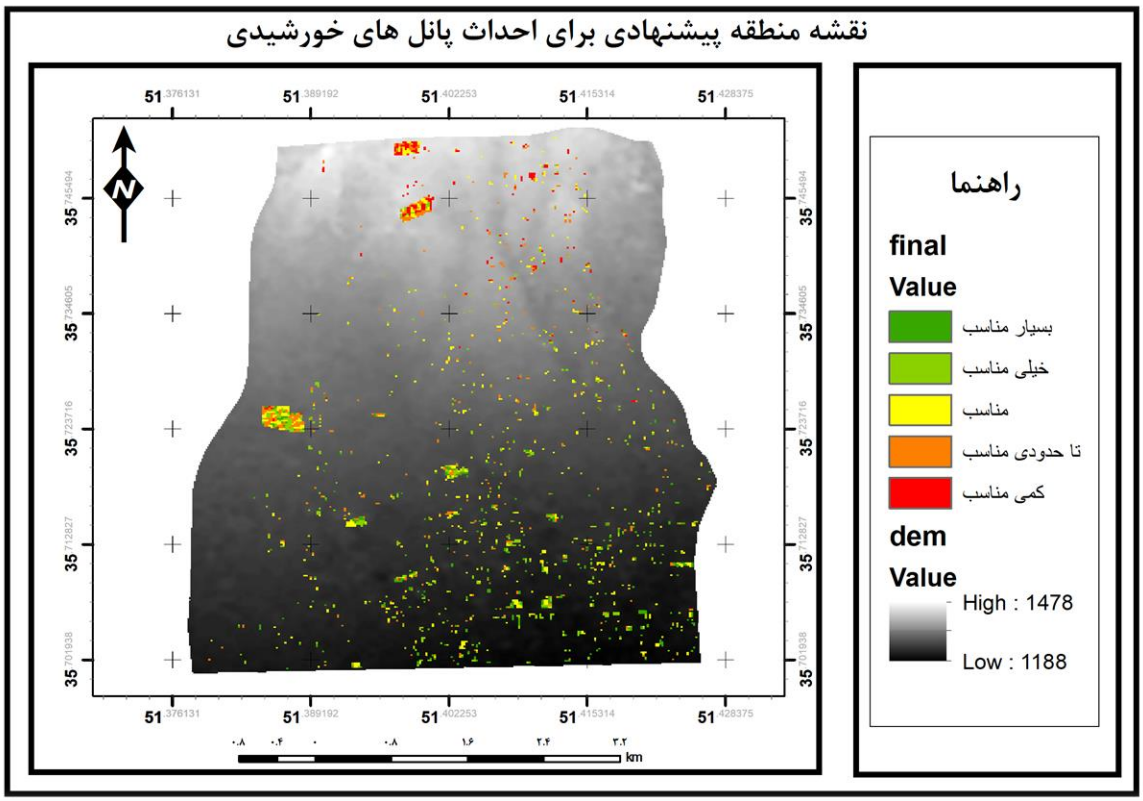
معیارها	وزن فازی پارامترها			وزن غیر فازی پارامترها
جمعیت	۰.۸۱	۰.٥٦	۰.۳۰	۰.٥٦
شیب	۰.۸۱	۰.٦۰	۰.۳٥	۰.٦۰
جهت شیب	۰.۹۸	۰.۸٤	۰.٥۸	۰.۸۲
ارتفاع ساختمان‌ها	۰.۹٦	۰.۸٤	۰.٥۸	۰.۸۲
میزان انرژی سالانه خورشیدی	۰.۹٤	۰.۸۲	۰.٥٦	۰.۸۰

پس از تعریف معیارهای مؤثر در مکان‌یابی پانل‌های خورشیدی لایه‌های اطلاعاتی معیارها از روی نقشه‌های پایه استخراج و آماده شد. (شکل شماره۳) همچنین پس از آماده‌سازی لایه‌های تأثیرگذار در روند حل مسئله، ضرورت استانداردسازی (بی مقیاس سازی) داده‌ها ضرورتی ویژه دارد. استاندارد سازی مورد استفاده در پژوهش حاضر بر اساس منطق فازی صورت گرفته است.

بدین گونه که عضویت هر پیکسل در هر لایه، با مقداری در بازه یک (عضویت کامل یا بهترین شرایط برای جانمایی پانل‌های خورشیدی (تا صفر) عدم عضویت کامل یا بدترین شرایط برای جانمایی پانل‌های خورشیدی) تعریف‌شده است. لازم به ذکر است که هم از توابع خطی و هم از توابع غیرخطی برای بی مقیاس سازی لایه‌ها استفاده شده است. بعد از انجام این مرحله برای هرکدام از معیارها یک‌لایه استاندارد شده موزون (ضرب شده در وزن مربوطه) به‌دست آمده است.



شکل۳ نقشه های تولید شده معیارهای پنج گانه در مکان یابی پانل های خورشیدی _ منبع نگارندگان



شکل ٤ نقشه مکان پیشنهادی برای احداث پانل خورشیدی

نتیجه گیری

بر اساس مطالعات انجام گرفته، استقرار هر عنصر شهری در موقعیت فضایی کالبدی خاصی از سطح شهر، تابع اصول، قواعد و ساز وکار (مکانیسم های) خاصی است که در صورت رعایت، به موفقیت و کارایی عملکردی آن عنصر در همان مکان مشخص خواهد انجامید و در غیر این صورت چه بسا مشکلاتی بروزکند. یکی از مسائل مهم که اکنون در شهرهای بزرگ به چشم می خورد . درهم ریزی نظام توزیع و نارسایی سیستم خدمات رسانی به شهروندان است. در واقع با افزایش جمعیت در شهرهای کشورمان حجم تقاضا برای خدمات شهری افزایش یافته و موجب نارسایی در ارائه خدمات مناسب گردیده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که انتخاب مکان مناسب برای نصب پانل های خورشیدی در محدودهٔ وسیع شهرها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان پذیر است. نقشه های ۱:۲۰۰۰ با توجه به تهیهٔ آن برای اغلب شهرهای کشور و در دسترس بودن آنها درمحیط شهر DSMدر مقایسه با سایر منابع تهیه منبع بسیار مفیدی برای استخراج ارتفاع ساختمان ها در کشور است.شکل و

ابعاد هر کدام از انواع مختلف پانل های خورشیدی برای بهره برداری امکان پذیر است که با توجه به وضعیت منطقه و شناسایی نوع بهینه آن امکان شناسایی وجود دارد. اجرا شدن این موضوع نیز نیاز به حمایت دستگاه های اجرایی دارد. این موضوع می تواند با دراختیار قرار دادن این پانل ها برای سازمان های دولتی شروع شود و پس از مورد تأیید قرار گرفتن کارای های اقتصادی و زیست محیطی آنها برای سایر کاربری ها، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می توان با شناسایی مناسب ترین، پشت بام ساختمان ها در یک محدوده کوچک و استقرار این پانل ها، انرژی مورد نیاز ساختمان های اطراف را تهیه کرد . به طوری که درخصوص این موضوع می توان به تجربهٔ برخی ازشهروندان کشورهای اروپایی اشاره کرد . در این کشورها شهروندان با خریداری پانل های خورشیدی و استقرار آن ها بر روی پشت بام ساختمان ها، ضمن تأمین انرژی خود با فروش انرژی حاصل از این پانل ها به خانه های اطراف، بخشی از هزینه های راه اندازی ونگهداری این پانل ها را بدست می آورند.

منابع:

1. پاک طینت، هادی (۱۳۹1). پتانسیل سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک بر مبنای سیستم های تصمیم گیری چند معیاره و داده های سنجش از دور درایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران.

۲. ثقفی، محمود (۱۳۸۸). انرژی های قابل تجدید، تهران: دانشگاه تهران.

۳. حق پرست کاشانی، آرش و همکاران (۱۳۸۸). تدوین انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل GIS اطلس جامع تابش سنجی، بیست و چهارمین کنفرانس بین اللملی برق، تهران.

٤. رشیدی، معصومه و هادی غریب (۱۳۹۰). استفاده از انرژی خورشیدی راهکاری برای توسعه پایدار انرژی های نو، اولین همایش بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

۵. رکنی دیلمی، بشیر و همکاران (۱۳۸٦). ارزیابی دقت تهیه، ASTER مدل رقومی ارتفاع با استفاده از تصاویر چهاردهمین همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.

٦. صادقی نائینی فرد، فریبا (۱۳۸۹). امکان سنجی تولید شهری با استفاده از نقشه هایDSM1:20000 (روش شناسی، بررسی خطاها و آزمون دقت) ،هفدهمین همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.

۷. کمالی، غلامعلی و اسحاق مرادی (۱۳۸٤). تابش خورشید (اصول و کاربرد ها در کشاورزی و انرژی های نو ، تهران انتشارات قرن ۲۱ (وابسته به موسسهٔ فرهنگی هنری پویشگران اندیشه آفرین) پژوهشکده هواشناسی.

۸. عشورنژاد، پاک طینت، درویشی بلورانی (۱۳۹۳). مدلسازی مکان بهینهٔ استقرار پانل های خورشیدی در پشت بام ساختمان ها با استفاده GIS ،جغرافیا و آمایش شهری – منطقه ای، شماره ۱۲

۹. نادرمرادی، محمد صمدی، رامین قربانی(۱٤۰۰) مکان یابی بیمارستان در شهرستان ملارد با استفاده از مدل AHP Fuzzy جغرافیا و روابط انسانی، دوره٤، شماره۳، صص۲۲۳-۲۰۵

۱۰. Bryan, H., Rallapalli, H., Rasmussen, P.,Fowles, G., (2010) methodology for estimating the rooftopsolar feasibility on an urban scale, American Solar Energy Societ.

1۱. Chaves, A., Terry Bahill, A., (2010)"Locating Sites for Photovoltaic Solar", Arc User Online, available at: http: //www.esri.com/news /arcuser /1010 /solarsiting.html

1۲.Chapo,R.,(2008)"Solarenergyoverview",Ezinearticles.com,December2008,available at:http://ezinearticles.com

1۳. Drennen, T.E., Erickson, J.D., Chapman,D., (1996) Solar power and climate change policy in developing countries, Energy Policy, 24, 9-16.

1۴ .Fu, P., Rich, P.M., (2000), A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry, Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture andForestry, I 357-364.

1۵. Fu, P., Rich, P.M., (2000) The SolarAnalyst 1.0;User manual, Helios Environmental Modeling Institute, USA

1۶. Gusdorf, J., (1992) Energy pay-backs and renewable breeders, Energy, 17,1137-1151.

1۷.Habibi et al. (2015). Asian Journal of Research in Business Economics and Management,Vol. 5, No. 2, pp. 130-143.

1۸.Izquierdo, S., Rodrigues, M., Fueyo, N.,(2008), A method for estimating the geographical distribution of the availableroof surface area for large-scalephotovoltaic energy-potential evaluations,Solar Energy, 82, 929–939.

1۹.Jiang, H., Eastman, R.J., (2000)Application of fuzzy measures in multicriteriaevaluation in GIS, International Journal of Geographical Information Systems 14, 173–184.

۲۰.Malczewski,J.,(1999) GIS and Multicriteria Decision Analysis, John Wiley&SonsInc., NewYork.

2۱.Mellers, B., and Chang, S., (1994) Representations of risk judgments, Organ Behav Hum Dec 52(7), 167–184.

2۲.Muneer, T& Asif,M&Kubie,j., (2001) Generation and transmission prospects for solar electricity: UK and global markets,Energy Conversion & Management, 44,35-52.

2۳.Rich, P.M., Dubayah, R., Hetrick, W.A.,Saving, S.C., (1994) Using viewshed models to calculate intercepted solarradiation: applications in ecology,American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers.

2۴.Ubertini, S., Desideri, U., (2003) Performance estimation and experimental measurements of a photovoltaic roof, Renewable Energy, 28, 1833-1850.