



Sharif University of Technology

<https://sjie.journals.sharif.edu/>



Research Article

Locating Telecommunications Masts for Mobile Network Coverage Considering Sustainable Development Indices by Using GIS and BWM Technique: Case Study of Urmia County

Ronak Abbasi Ghasemloei, Saeed Fazayeli * and Reza Babazadeh

Department of Industrial Engineering, Technical and Engineering Faculty, Urmia University, Iran

* corresponding author: (s.fazayeli@urmia.ac.ir)

Article Info

Article history:

Received: 3 January 2024

Revised: 22 September 2024

Accepted: 8 October 2024

Keywords:

Telecommunication towers, mobile phone network coverage, sustainable development, geographic information system, multi-criteria decision making.

Abstract

Optimum location for the establishment of mobile phone towers with the aim of covering all demand with high signal quality and low cost is an important challenge for telecommunications companies. Therefore, if a proper decision is not taken, it may lead to environmental damage, economic problems, and user dissatisfaction. Therefore, operators of telecommunication networks should plan for the optimal location of mobile telephone towers in order to achieve the goals of sustainable social, economic, and environmental development. The purpose of this research is to show how to use ArcGis10.8 software tools and the best-worst technique for the optimal location of mobile phone towers using sustainable development criteria. These criteria are: distance from the fault, distance from historical and cultural places, distance from parks, distance from the river, distance from medical centers (hospitals and clinics), distance or proximity from rural areas, proximity to the main road, distance from residential areas, distance from schools and educational centers, height, land slope, and slope direction. The innovations used in this research include the use of multi-criteria spatial modeling, including the best-worst technique and its integration with geographic information system techniques for locating mobile phone towers and investigating the optimal location for their deployment, along with the application of new criteria of sustainable development, which was done for the first time in Urmia city. The weights of the criteria were obtained by the best-worst technique, and the data required for weighting were collected by interviewing experts who were experts of the telecommunications company. The data related to each quality was entered into the ArcGis10.8 software, and various processing and fuzzy overlay operations were performed to prepare the optimal final map. The general results obtained showed that it is not possible to use the masts in a wide area from the west of the county, and the best points go towards the eastern areas near Lake Urmia, which can be due to the selection of the criteria.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

To Cite this article:

Abbasi Ghasemloei, R., Fazayeli, S. and Babazadeh, R. 2025. Locating telecommunications masts for mobile network coverage considering sustainable development indices by using GIS and BWM technique: case study of urmia county, Sharif Industrial Engineering and Management Journal, 41(1), 28-38. <https://doi.org/10.24200/j65.2024.63622.2384>



مکان‌یابی دکل‌های مخابراتی برای پوشش‌دهی شبکه‌ی موبایل با در نظر گرفتن معیارهای توسعه‌ی پایدار و با به‌کارگیری GIS و روش BWM (مطالعه‌ی موردی: شهرستان ارومیه)

روناک عباسی قاسملوئی، سعید فضایی* و رضا بابازاده

گروه مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

*نویسنده مسئول (s.fazayeli@urmia.ac.ir)

چکیده

مکان‌یابی بهینه جهت استقرار دکل‌های مخابراتی تلفن همراه با هدف پوشش‌دهی تمام تقاضاها با کیفیت سیگنال بالا و هزینه‌ی کم، یک چالش مهم برای شرکت‌های مخابراتی است. از این رو، اگر تصمیم مناسبی گرفته نشود، ممکن است منجر به آسیب‌های زیست‌محیطی، مشکلات اقتصادی، و عدم رضایت کاربران شود. بنابراین، اپراتورهای شبکه‌های مخابراتی باید برنامه‌ریزی برای مکان‌یابی بهینه‌ی دکل‌های مخابراتی تلفن همراه در جهت دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار را در دستور کار خود قرار دهند. هدف از پژوهش حاضر، نشان‌دادن چگونگی استفاده از ابزارهای نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۸ و تعیین وزن معیارها با روش بهترین-بدترین جهت مکان‌یابی بهینه‌ی دکل‌های مخابراتی تلفن همراه با استفاده از معیارهای توسعه‌ی پایدار است. نتایج کلی نشان داده است که در محدوده‌ی وسیعی از غرب شهرستان ارومیه، امکان به‌کارگیری دکل‌ها وجود ندارد و بهترین نقاط به سمت مناطق شرقی نزدیک دریاچه‌ی ارومیه پیش می‌رود، که این امر می‌تواند به دلیل انتخاب معیارها باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

واژگان کلیدی:

دکل‌های مخابراتی، پوشش شبکه‌ی تلفن همراه، توسعه‌ی پایدار، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

۱. مقدمه

مسئله‌ی مکان‌یابی تسهیلات^۱، یکی از تصمیم‌های اساسی و برجسته‌ی هر سازمان است، که تأثیر زیادی در تصمیم‌های تاکتیکی و عملیاتی آن در زمینه‌ی های صنعت، خدمات، سیاست، تجارت، و اقتصاد دارد. این موضوع با هدف بهبود کیفیت خدمات، افزایش دامن‌دهی پوشش، کاهش زمان انتظار و هزینه‌ها، بهینه‌سازی حمل‌ونقل، و همچنین جلوگیری از مواجهه با تسهیلات خطرناک مطرح می‌شود.^[۱] مکان‌یابی بهینه‌ی دکل‌های مخابراتی، یکی از مسائل کلیدی در زمینه‌ی مکان‌یابی تسهیلات است، که هدف آن ارائه‌ی خدمات و پوشش‌دهی به کاربران تلفن همراه در مناطق شهری و روستایی است. این فرآیند به افزایش تعداد کاربران یاری رسانده و متخصصان را به گسترش فعالیت‌های خود در برنامه‌ریزی شبکه‌های تلفن همراه و تعیین توزیع بهینه‌ی مکان برای برج‌ها ترغیب کرده است.^[۲] افزایش روزافزون نیاز به بخش ارتباط‌ها از راه دور در این دوران، به نوعی به توسعه در نوآوری و پیشرفت‌های تکنولوژیکی در صنعت منجر شده است. یکی از اصلی‌ترین ابزارهای ارتباطی در این زمینه، تلفن همراه به شمار می‌رود.^[۳] سیستم‌های تلفن همراه، خدمات مخابراتی را از طریق

ایستگاه‌های پایه‌ی فرستنده و گیرنده^۲ ارائه می‌دهند، که ارتباط‌های رادیویی را با ایستگاه‌های تلفن همراه مدیریت می‌کنند. فرآیند مکان‌یابی دکل‌های مخابراتی، شامل: برنامه‌ریزی سیستم و انتخاب مکان‌های بهینه برای نصب آنتن‌هاست و همچنین تنظیم پارامترهایی، مانند: توان انتشار، ارتفاع آنتن، شیب، و جهت آن را در بر می‌گیرد. هدف اقدام‌های اخیر، تخصیص بسامد مناسب برای پوشش‌دهی و تضمین ظرفیت کافی برای هر شبکه‌ی سلولی است.^[۴] اتحادیه‌ی بین‌المللی مخابرات^۳، کیفیت خدمات را با توجه به میزان رضایت‌مندی کاربران از سرویس‌های خدماتی طبق استاندارد جهانی تعیین می‌کند. در مسئله‌ی برنامه‌ریزی شبکه‌های مخابراتی، کارشناسان مرتبط با برنامه‌ریزی برای تعیین مجموعه‌ی مکان‌های بهینه جهت تعیین محل سایت-های سرویس‌دهی، یک منطقه‌ی جغرافیایی را برای پوشش‌دهی کل در نظر می‌گیرند.^[۵] همچنین باید دستورالعمل‌هایی در ارتباط با استانداردهای برنامه-ریزی‌شده‌ی دکل‌های مخابراتی اتخاذ شود. استانداردهای مربوط به حفظ سلامتی افراد در برابر امواج مغناطیسی، ارتفاع قابل قبول برای دکل‌ها در مناطق مختلفی از نقاط منطقه‌ی مورد مطالعه، موقعیت مناسب آنتن‌ها، نزدیکی

³ International Telecommunication

¹ Facility Location Problems

² Base Transceiver Station

توریستی را کاهش داده است.^[۱۳] اکبرپور و همکاران (۱۳۹۷)، پژوهشی با عنوان معرفی مدلی برای تقویت و پوشش‌دهی دکل‌های موبایل به‌منظور پابرجا بودن در زمان حوادث طبیعی انجام دادند و برای حل مدل مذکور از نرم‌افزار ۹/۰ LINGO استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که مدل پیشنهادی، سیستم مخابراتی را در برابر بدترین حالت تخریب پشتیبانی می‌کند و تعداد کاربران بعد از وقوع سوانح و خرابی تسهیلات را بیشینه می‌سازد.^[۱۳] توحیدی نصب و همکاران (۱۳۹۸)، نیز برای مکان‌یابی پوشش آنتن‌ها و دکل‌های مخابراتی به ارائه‌ی مدل‌های بهینه‌سازی از نوع چندجمله‌ای غیرقطعی (NP)^۶ به‌صورت فازی همراه با مسائل چندهدفه پرداختند و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد کردند که از الگوریتم‌های ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (NSGAI)^۷ و رتبه‌بندی نامغلوب (NRGA)^۸ و همگرایی مناسب برای کارایی بالای آن در شاخص کیفیت استفاده شود.^[۱۴] حمیدرضا ملکی و الهه کریم دهکردی (۲۰۱۶)،^[۱۵] مدلی جهت بهینه‌سازی پوشش خدمات قبل و بعد بلاپای طبیعی در نظر گرفته‌اند؛ که در آن از نظریه‌های مجموعه‌ی فازی و برنامه‌ریزی فازی برای تبدیل مسئله‌ی برنامه‌ریزی چندهدفه به مسئله‌ی برنامه‌ریزی تک‌هدفه استفاده شده است. سپس دو الگوریتم فراابتکاری بر روی نمونه‌ای از مسئله‌ی مذکور را با هم مقایسه کردند و دریافتند که الگوریتم ژنتیک بهتر از الگوریتم گرسپ^۹ عمل می‌کند.^[۱۵] گودرزیان و همکاران (۲۰۲۲)،^[۱۶] از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با استفاده از اعداد صحیح و مختلط برای بهینه‌سازی و تخصیص ایده‌آل دکل‌های مخابراتی پایه در شرایط بحرانی در مناطق مختلف استفاده کردند. ایشان برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، روش LP را برای مسائل کوچک و الگوریتم شبیه‌سازی برای مسائل بزرگ به‌کار برده‌اند. تنظیم پارامترهای الگوریتم با استفاده از روش تاگوچی صورت گرفته و مدل در یک مطالعه‌ی موردی به اجرا درآمده است تا کارایی آن به نمایش گذاشته شود. در پایان، شبکه‌ی بهینه‌ی معرفی‌شده در مطالعه‌ی موردی توضیح داده شده است.^[۱۶] محرم و سویانتو (۲۰۲۰)،^[۱۷] در مطالعه‌ی با استفاده از روش طراحی شبیه‌سازی بهینه‌سازی مکان ایستگاه‌های گیرنده-فرستنده‌ی پایه با استفاده از الگوریتم کرم شبتاب (FA)^{۱۰} با هدف بهینه‌سازی منطقه‌ی پوشش و ترافیک به ارزش تناسب ۹۷/۷۳ دست یافتند و تعداد ایستگاه‌ها را ۵۰٪ کاهش دادند. این نتیجه با مدل الگوریتم کرم شبتاب تکاملی (HEFA)^{۱۱} ترکیبی، که میانگین تناسب ۹۸/۶۲ داشته است، قابل مقایسه است. در آینده، می‌توان به بررسی موارد مهم‌تری از قرارگیری ایستگاه‌های پایه برای ارزیابی جامع‌تر عملکرد الگوریتم اخیر پرداخت.^[۱۷] صفوانی و همکاران (۲۰۲۱)،^[۱۸] روش خوشه‌بندی فازی و جستجوی هارمونی را به‌عنوان روشی برای بهینه‌سازی مکان‌های بالقوه‌ی برج‌های جدید تلفن همراه برای ۵ سال آینده ارائه داده‌اند. نتایج شبیه‌سازی ایشان نشان داده است که به ۲۱ برج جدید اضافی نیاز است، که در مجموع به ۹۵ برج در سال ۲۰۲۴ (۷۴ برج موجود) می‌رسد. همچنین، روش‌های جستجوی هارمونی به بهینه‌سازی خدمات پوشش مناطق برج‌های جدید در منطقه‌ی مورد مطالعه کمک می‌کنند، به‌طوری که برج‌ها در شعاعی بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ متر و با ارتفاعی بین ۲۵ تا ۵۰ متر قرار می‌گیرند.^[۱۸] هیروشی دلپریا و همکاران (۲۰۲۲)،^[۱۹] مدلی برای توسعه و ارتقاء شبکه‌ی مخابراتی در سریلانکا با هدف تراکم جمعیت برج‌های سیگنال با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

دکل‌ها به خطوط برق، نزدیکی به مراکز آموزشی و بهداشتی، و سایر امکانات در سراسر منطقه فراهم شود.^[۱۶] برقراری و نگهداری از شبکه‌های مخابراتی، کار آسانی نیست. به‌ویژه در انتخاب مکان مناسب برای دکل‌های مخابراتی، که باید پوشش‌دهی با کیفیت و هزینه‌ی کم را فراهم کند. تصمیم‌های نادرست می‌تواند به آسیب‌های زیست‌محیطی، مسائل بهداشتی، مشکلات اقتصادی، و نارضایتی کاربران منجر شود. بنابراین، اپراتورهای شبکه‌های مخابراتی باید به برنامه‌ریزی برای مکان‌یابی بهینه‌ی دکل‌ها توجه کنند تا به اهداف توسعه‌ی پایدار اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی دست یابند.^[۱۷] برای تبدیل اقتصاد جهانی و ایجاد یک جامعه‌ی دیجیتال با هدف توسعه‌ی پایدار و رشد اقتصادی، لازم است به اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل دست یافت. این امر با افزایش دسترسی به فناوری اطلاعات و ارتباطات و فراهم کردن دسترسی جهانی و مقرون به صرفه‌ی اینترنت در کشورهای در حال توسعه امکان‌پذیر است.^[۱۸]

در پژوهش حاضر، هدف اصلی تعیین بهترین مکان‌ها برای استقرار دکل‌های مخابراتی در سطح شهرستان ارومیه است؛ لذا به بررسی پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه پرداخته شده است. ایده‌ی پژوهش حاضر، بیشتر بر مبنای ۴ پژوهش پیش رو است:

مجتبی حبوبه (۱۳۹۶)، در پژوهشی در زمینه‌ی مکان‌یابی دکل‌های مخابراتی برای تعیین مکان بهینه و پوشش نقاط کور با استفاده از به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، معیارهای مؤثر در پژوهش اخیر را توسط روش سلسله‌مراتبی فازی^۴ وزن‌دهی کرده است. سپس در مراحل بعد، همه‌ی معیارها را در محیط GIS تجزیه و تحلیل و نقشه‌نمایی را تهیه کرده و دریافتند که کاربرد روش مذکور، مناطقی از محدوده‌ی مورد مطالعه را در سطح بالای عضویت فازی جهت استقرار دکل قرار می‌دهد.^[۹] محمدی و همکاران (۱۳۹۹)، به پژوهشی با هدف پایش سلامت شهروندان با رویکرد مکان‌یابی بهینه‌ی دکل‌های مخابراتی تلفن همراه و استفاده از وزن‌دهی معیارها توسط روش تحلیل سلسله‌مراتبی و کاربرد منطق فازی در GIS پرداختند و دریافتند که برخی دکل‌ها در مناطق با مطلوبیت کم و خیلی کم قرار دارند. همچنین، نقاط جدید پیشنهادی برای جابجایی دکل‌ها مشخص شد که باید در مناطق با مطلوبیت متوسط به بالا قرار گیرند، تا تشعشع‌های مضر برای سلامت شهروندان کاهش یابد.^[۱۰] مالودیانتو و پرانتا^۴ (۲۰۱۹)،^[۱۱] در بررسی ترتیب مکان و تعداد ایستگاه‌های پایه، طی فرایند سلسله‌مراتبی براساس معیارهای تراکم جمعیت، به طرح‌های فضایی و فاصله برای ۵ سال آینده پرداختند و نتایجی با بهره‌گیری از نقشه‌ی دیجیتال در GIS ارائه کردند. در نهایت، پیش‌بینی‌هایشان نشان‌دهنده‌ی ساخت ۲۳ برج جدید در منطقه‌ی مورد بررسی بوده است.^[۱۱] تایال^۵ و همکاران (۲۰۲۳)،^[۱۲] رویکرد مدل‌سازی چندمرحله‌ای را با استفاده از جعبه‌ابزار تحلیل فضایی و منطق فازی برای شناسایی مکان‌های مناسب ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده‌ی پایه‌ی جدید توسعه داده‌اند. مدل مذکور شامل ۹ پارامتر تصمیم‌گیری بوده و از GIS به عنوان ابزاری برای ترکیب معیارهای اخیر در یک نقشه‌ی واحد استفاده شده است. در نهایت، ۹ سایت جدید بهینه‌سازی‌شده برای ایستگاه‌ها پیشنهاد کردند، که پوشش شبکه‌ای را برای ۲۲ روستا فراهم کرده و نزدیکی به جاده‌ها و مکان‌های

⁹ Grasp Algorithm

¹⁰ Firefly Algorithm

¹¹ Hybrid evolutionary firefly algorithm

⁴ Mauludiyanto & Pranata

⁵ Tayal

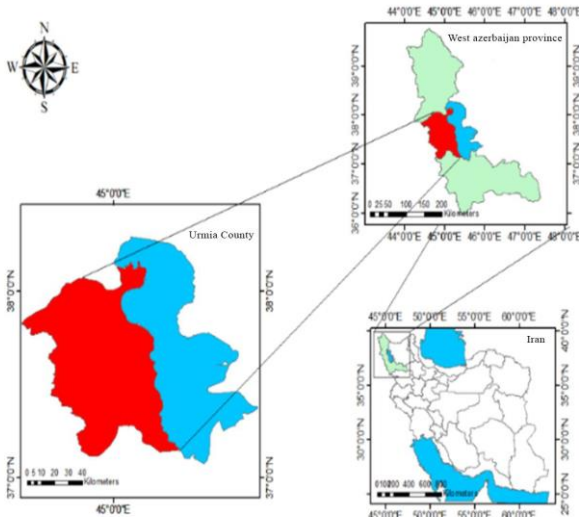
⁶ Non Deterministic Polynomial

⁷ Genetic Algorithm Of Non-Dominant Sorting

⁸ Non-Dominant Rankig Genetic Algorithm

جدول ۱. معیارهای پژوهش.

Criterion name	Criterion type
Fault	Life environmental
Historical cultural sites	
Park	
River	
Hospital	
Rural	Economic
Road	
Aspect-Slope- Dem	Technical
Residential areas	Social
School	



شکل ۱. محدوده مطالعاتی شهرستان ارومیه.

در سال ۱۳۹۵ با جمعیتی بالغ بر ۱,۰۴۰,۰۰۰ نفر در استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران واقع شده است. در شکل ۱، موقعیت محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود.^[۲۰]

۳.۲. روش بهترین- بدترین (BWM)

رضایی (۲۰۱۵)، روش بهترین- بدترین را به عنوان یک روش جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی کرده است، که نیاز به مقایسه‌های دو به دو را کاهش می‌دهد. در روش BWM، تصمیم‌گیرنده ابتدا بهترین و بدترین معیارها را شناسایی می‌کند. بهترین معیار به عنوان مهم‌ترین و بدترین معیار به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار تعریف می‌شود. همچنین، یک مدل ریاضی کمینه- بیشینه برای تعیین وزن‌های بهینه معیارها با توجه به مقایسه‌های جفتی ارائه شده است.^[۲۱]

۴.۲. مراحل روش بهترین- بدترین (BWM)

- مرحله اول: تعیین مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم

در مرحله اول، معیارهای $(C_1, \dots, C_n)$ در نظر گرفته می‌شود، که برای رسیدن به یک تصمیم استفاده شود.

- مرحله دوم: تعیین بهترین و بدترین معیار

بهترین معیار (مطلوب‌ترین و مهم‌ترین) و بدترین معیار به عنوان کم‌اهمیت‌ترین معیار انتخاب می‌شود.

راهبردی و مفاهیم نظریه‌ی گراف هیروشی ارائه کرده‌اند. مدل مذکور با هدف تقویت و توسعه‌ی شبکه‌ی ارتباط‌های محلی انجام شد و این نتیجه به دست آمد که جریان‌های ترافیک به ارائه‌ی بهترین انواع شبکه‌ها و بهینه‌سازی با استفاده از داده‌های موجود کمک کرده‌اند. المغتاوی^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۴)،^[۱۹] با یک روش کلاسیک، چالش موقعیت‌یابی ایستگاه‌های پایه در یک شبکه‌ی سلولی را بررسی کرده‌اند؛ که هدف آن ارائه‌ی خدمات به کاربران تلفن همراه در یک منطقه‌ی خاص با توجه به حرکات آن‌ها بوده است. ایشان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را طراحی کردند تا مکان‌های بهینه‌ی ایستگاه‌های پایه در زمان‌های مختلف را با کمینه‌ی هزینه‌ی کل شبکه تعیین کنند. نتایج به دست آمده نشان داده است که مدل مذکور توانسته است مکان‌های بهینه را شناسایی کند و در عین حال محدودیت‌های ظرفیت و کیفیت خدمات را با کمینه‌ی هزینه مد نظر قرار دهد.

۲. روش انجام پژوهش

در مطالعه‌ی حاضر، برای بررسی ویژگی‌های جغرافیایی از نرم‌افزار ۱۰/۸ ArcGIS استفاده شده است. ابتدا، معیارهای توسعه‌ی پایدار از طریق مصاحبه با کارشناسان شرکت ارتباطات زیرساخت ارومیه و نوشتارهای علمی جمع‌آوری و نقشه‌ای (لایه)^{۱۳} از آن‌ها تهیه شده است. سپس با استفاده از پرسش‌نامه‌ی روش بهترین- بدترین (BWM)^{۱۴} کارشناسان به معیارها امتیاز داده و سپس داده‌های مذکور به صورت مدل خطی در نرم‌افزار LINGO ۱۴/۰ پیاده‌سازی شده‌اند. وزن‌های به دست آمده به عنوان ورودی GIS در مرحله‌ی هم‌پوشانی با منطق فازی استفاده شده‌اند، تا نقشه‌ی نهایی و مناسب‌ترین مکان برای احداث دکل مخابراتی تعیین شود. در حقیقت، یکی از مزایای استفاده از GIS نسبت به سایر روش‌های مکان‌یابی، فراهم کردن پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌های جغرافیایی است. همچنین، روش بهترین- بدترین (BWM)، امکان تعیین رتبه‌بندی مشخص بین آیت‌ها را فراهم می‌آورد و به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تمایز واقعی‌تری بین بهترین و بدترین گزینه‌ها قائل شوند. ترکیب دو روش مذکور، ابزاری کارآمد برای تجزیه و تحلیل ایجاد می‌کند، که امکان ساخت پایگاه داده‌ای جامع، به صورت نقشه برداری و الفبایی را فراهم می‌آورد. این پایگاه داده می‌تواند با روش‌های چندمعیاره، مسائل را ساده‌تر کند و استفاده از معیارهای مختلف را ترویج دهد.

۱.۲. معیارهای پژوهش

با توجه به آنالیز انجام شده توسط کارشناسان شرکت ارتباطات زیرساخت شهرستان ارومیه در زمینه‌ی احداث دکل‌های تلفن همراه برای انتخاب معیارهای توسعه‌ی پایدار، ۱۲ مورد از شاخص‌های مؤثر در رابطه با شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب شده است، که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شده است.

۲.۲. محدوده مطالعاتی پژوهش

محدوده‌ی مورد مطالعه، شهرستان ارومیه مرکز استان آذربایجان غربی بوده است، که از سمت شمال به شهرستان سلماس و از جنوب به شهرستان‌های نقده، اشنویه، از شرق به دریاچه‌ی ارومیه، و از سمت غرب به مرز ایران و ترکیه محدود شده است. شهرستان ارومیه با مساحتی بالغ بر ۵۲۲۱ کیلومتر مربع، حدود ۱۴٪ از مساحت استان را شامل می‌شود. طبق سرشماری نفوس و مسکن

^{۱۴} Best-Worst Method

^{۱۲} Almoghatwawi

^{۱۳} Shape File

- **نرخ ناسازگاری (IR)**^{۱۵} در روش بهترین- بدترین، فرمولی برای محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری و ارزیابی اعتبار مقایسه‌ها ارائه شده است؛ که در آن، ابتدا میزان سازگاری معیارها با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\xi^*}{\text{شاخص سازگاری}} \quad (۳)$$

با استفاده از شاخص سازگاری و رابطه‌ی آن، مقدار نرخ ناسازگاری را می‌توان محاسبه کرد (جدول ۲):

جدول ۲. محاسبه‌ی میزان شاخص سازگاری.

9	8	7	6	5	4	3	2	1	abw
5.23	4.47	3.73	3.00	2.30	1.63	1.00	0.44	0.00	Compatibility index

نرخ سازگاری در بازه‌ی (۰،۱) قرار دارد و نزدیک‌تر بودن به صفر، نشانگر ناسازگاری بالاتر است. هر چه مقایسه‌ها به ۱ نزدیک‌تر باشد، ثبات و سازگاری بیشتری دارند. روابط مذکور، یک مدل غیرخطی بوده است، که جعفر رضایی (۲۰۱۵)^[۲۲] آن را به یک مدل خطی به همراه با محاسبه‌ی اوزان شاخص‌ها تبدیل کرده است. یکی از مزیت‌های مدل خطی اخیر، محاسبه‌ی نرخ ناسازگاری بدون استفاده از شاخص سازگاری است. در واقع، مقدار ξ^* همان تابع هدف است. همچنین وزن‌های مدل، دقت بیشتری دارند. در نتیجه مدل خطی روش ذکرشده به صورت رابطه‌ی ۴ معرفی شده است:

$$\begin{aligned} \min \xi^L \\ s.t. \\ |w_b - a_{bj} w_j| &\leq \xi^L \\ |w_j - a_{jw} w_w| &\leq \xi^L \end{aligned} \quad (۴)$$

for all j

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0 \text{ for all } j$$

۵.۲ کاربرد منطق فازی در GIS

این روش به‌عنوان یک شیوه‌ی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت شناخته می‌شود. استانداردسازی نقشه‌های عملیاتی با استفاده از منطق فازی در بازه‌ی (۰،۱) در محیط GIS صورت می‌گیرد. در این فرآیند، تابع عضویت تعریف‌شده به گونه‌ای است که مقادیر بالای عضویت، نشان‌دهنده‌ی تناسب بیشتر و مقادیر پایین‌تر، نشان‌دهنده‌ی تناسب کمتری برای دستیابی به نتایج مطلوب هستند.^[۲۳] در ادامه، برخی توابع فازی استفاده‌شده برای معیارها معرفی شده‌اند:

۶.۲ معرفی توابع عضویت فازی مورد استفاده‌ی معیارها

- **تابع عضویت فازی گوسی**^{۱۶}: تابع ذکرشده مقادیر پیکسل‌ها را به‌صورت نرمال توزیع می‌کند، به‌طوری که بهترین ارزش برای توزیع نرمال برابر با ۱ است، که در مرکز نمودار قرار دارد و به‌تدریج به سمت مثبت و منفی کاهش می‌یابد.

- **مرحله‌ی سوم: مقایسه‌های زوجی بین بهترین معیار با سایر معیار**
در مرحله‌ی کنونی، بهترین معیار نسبت به بقیه‌ی معیارها با استفاده از یک عدد بین ۱ تا ۹، بهترین بردار بین همه‌ی معیارها تعیین می‌شود.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$$

که در آن، a_{bj} اهمیت بهترین معیار را نسبت به معیار j نشان می‌دهد. واضح است که $a_{bb} = 1$ است.

- **مرحله‌ی چهارم: تعیین مقایسه‌های زوجی بین سایر معیارها نسبت به بدترین معیار**

در این مرحله نیز اهمیت همه‌ی معیارها بر روی بدترین معیار با استفاده از یک عدد بین ۱ تا ۹ تعیین می‌شود. در نتیجه، بر $A_B = (a_{bw}, a_{mw}, \dots, a_{mw})$ به بدترین حالت ممکن است که در آن a_{jw} اولویت معیار j را نسبت به بدترین معیار w نشان می‌دهد.

- **مرحله‌ی پنجم: تعیین وزن بهینه‌ی معیارها از طریق روش‌های بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی خطی**

وزن بهینه‌ی معیارها برای معیارهای $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ وزنی است که

$$\text{که در آن، برای هر کدام، جفت } a_{Bj} = \frac{w_B}{w_j}, a_{jw} = \frac{w_j}{w_w} \text{ جفت}$$

برقرار است، که برای برآورده‌ساختن شرایط مذکور برای همه‌ی j‌ها باید راه‌حلی

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \text{ مطلق اختلاف مطلق}$$

برای همه‌ی j‌ها، کمینه شود. با در نظر گرفتن شرایط غیرمنفی برای وزن‌ها، مسئله به صورت رابطه‌ی ۱ خواهد شد:

$$\begin{aligned} s.t. \\ \min \max \left\{ \left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right|, \left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \right\} \\ \sum_j w_j = 11 \\ w_j \geq 0 \text{ for all } j \end{aligned} \quad (۱)$$

مسئله‌ی ۱ را می‌توان به مسئله‌ی ۲ انتقال داد، که مدل بهینه‌سازی غیرخطی روش بهترین- بدترین را تشکیل می‌دهد و در نرم‌افزارهای بهینه‌سازی ۱۴/۰ LINGO و GAMS Win۳۲ ۲۴/۱/۲ پیاده‌سازی می‌شود:

$$\min \xi$$

$$s.t.$$

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi \quad s.t. \quad \sum_j w_j = 1 \quad (۲)$$

$$w_j \geq 0 \text{ for all } j$$

$$\left| \frac{w_j}{w_w} - a_{jw} \right| \leq \xi$$

for all j

¹⁶ Fuzzy Gaussian

¹⁵ Incompatibility Rate

$$\mu_{combine} = \prod_i^n \mu_i \quad (7)$$

عملگر جمع جبری فازی^{۲۰}: عملگر جمع جبری به صورت رابطه‌ی ۸ بیان می‌شود:

$$\mu_{combone} = 1 - (\prod_i^n (1 - \mu_i)) \quad (8)$$

که در آن، نسبت به عملگر ضرب جبری فازی، اثر افزایشی وجود دارد، که منجر به بالاترین مقدار عضویت در نتیجه می‌شود.

عملگر گاما فازی^{۲۱}: عملگر گاما، حاصل ضرب دو عملگر ضرب جبری و

جمع جبری به صورت رابطه‌ی ۹ بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = (\prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \gamma) \times (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \gamma) \quad (9)$$

که در آن، γ پارامتری است که مقدار عددی در محدوده‌ی ۰ و ۱ را نشان می‌دهد. در صورتی که مقادیر پارامتر γ به درستی انتخاب شود، مقادیری را در خروجی منعکس می‌کند، که باعث تصمیم‌گیری صحیح کارشناسان می‌شود.

۳. تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۱.۳. تعیین وزن معیارها با استفاده از پرسش‌نامه و تشکیل مدل

خطی

ابزار گردآوری داده‌ها در روش بهترین- بدترین، تهیه‌ی پرسش‌نامه‌ی استاندارد است. برای این کار ۱۵ پرسش‌نامه با داده‌های عددی مختلف مقایسه‌ی زوجی شده‌اند. درنهایت، پرسش‌نامه (جدول ۳) به‌عنوان پرسش‌نامه‌ی بهترین و بدترین معیار از نظر خبرگان تأیید شده است. خبرگان و کارشناسان که نظر تخصصی در مورد پرسش‌نامه داده‌اند، ۱۰ نفر با تخصص کارشناسی مخابرات، کارشناسی ارشد برق گرایش مخابرات (میدان)، کارشناسی ارشد گرایش مخابرات (سیستم)، کارشناسی کامپیوتر (نرم‌افزار)، کارشناسی ارشد فناوری

تابع عضویت فازی کمینه^{۱۷}: تابع اخیر برای پیکسل‌هایی با ارزش کمتر مناسب است. هر چه فاصله از مقدار عددی تابع بهینه کمتر باشد، درجه‌ی مطلوبیت بیشتر می‌شود و هر چه از آن بزرگ‌تر شود، مطلوبیت کمتر می‌شود.

تابع عضویت فازی خطی^{۱۸}: در تابع عضویت فازی خطی، یک تابع خطی برای تعیین درجه‌ی عضویت بین مقادیر کمینه و بیشینه استفاده می‌شود. مقادیر زیر حد کمینه، هیچ درجه‌ی عضویتی ندارند؛ در حالی که مقادیر بالای حد بیشینه، درجه‌ی عضویت کامل (مقدار ۱) دریافت می‌کنند.^[۲۴] همچنین پنج عملگر سودمند برای ترکیب داده‌های مکانی و مقادیر عضویت آن‌ها جهت تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی استفاده شده است، که به ترتیب به آن‌ها اشاره شده است.^[۲۵]

- عملگر تلفیق فازی^{۱۹}: این عملگر برای انجام عمل تلفیق از رابطه‌ی ۵ استفاده می‌کند:

$$\mu_{combine} = \text{Min}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (5)$$

که در آن، مقادیر $\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots$ به ترتیب مقادیر عضویت اشتراک برای نقشه-های $a, b, c, \dots$ در یک موقعیت به‌خصوص بر روی هر یک از نقشه‌ها را نشان می‌دهند.

- عملگر اجتماع فازی^{۲۰}: عملگر اجتماع فازی به صورت رابطه‌ی ۶ بیان می‌شود:

$$\mu_{combine} = \text{Max}(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (6)$$

که در آن، مقادیر بیشینه‌ی عضویت نقشه‌ها در هر موقعیت، مقادیر عضویت خروجی را کنترل می‌کنند.

- عملگر ضرب جبری فازی^{۲۱}: عملگر ضرب فازی نتیجه‌ی عمل تلفیق دو عملگر اخیر به‌صورت حاصل ضرب جبری (رابطه‌ی ۷) بیان می‌شود:

جدول ۳. پرسش‌نامه‌ی روش بهترین- بدترین.

Worst criteria (Aspect)	Best criteria (Dem)	Code	Criterion name
7	2	W ₀₁	Residential areas
7	2	W ₀₂	Road
7	2	W ₀₃	Rural
5	3	W ₀₄	Historical cultural sites
5	3	W ₀₅	Park
5	2	W ₀₆	School
6	3	W ₀₇	River
2	5	W ₀₈	Slope
1	8	W ₀₉	Aspect
8	1	W ₁₀	Dem
6	2	W ₁₁	Hospital
3	6	W ₁₂	Fault

²⁰ Fuzzy OR

²¹ Fuzzy Product

¹⁷ Fuzzy Small

¹⁸ Fuzzy Linear

¹⁹ Fuzzy And

جدول ۴. نتایج پیاده‌سازی مدل خطی و محاسبه‌ی وزن معیارها.

Criteria weights	Code
0.105	W ₀₁
0.105	W ₀₂
0.105	W ₀₃
0.070	W ₀₄
0.070	W ₀₅
0.105	W ₀₆
0.070	W ₀₇
0.040	W ₀₈
0.017	W ₀₉
0.175	W ₁₀
0.105	W ₁₁
0.034	W ₁₂

اطلاعات، کارشناسی معماری، کارشناسی ارشد شهرسازی، کارشناسی عمران زمین و مسکن، کارشناسی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، و کارشناسی اقتصاد و توسعه بوده‌اند، که در سمت کارشناس بخش نصب و راه اندازی دکل‌های مخابراتی تلفن همراه در شرکت ارتباطات زیرساخت ارومیه حضور داشته‌اند.

معیار ارتفاع به‌عنوان بهترین و معیار شیب به عنوان بدترین معیار در هر بعد، توسط طیف ۹ انتخاب شده‌اند.

۲.۳. مدل خطی روش BWM

جواب بهینه و وزن معیارها براساس مدل خطی در رابطه‌ی ۱۰ در نرم‌افزار LINGO ۱۴/۰ پیاده‌سازی و در جدول ۴ ارائه شد

$$\text{Min } \xi_i$$

$$s.t.$$

$$|w_{10} - 2w_1| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 2w_2| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 2w_3| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 3w_4| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 3w_5| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 2w_6| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 3w_7| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 5w_8| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 8w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 2w_{11}| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 6w_{12}| \leq \xi_i$$

$$|w_1 - 7w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_2 - 7w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_3 - 7w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_4 - 5w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_5 - 5w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_6 - 5w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_7 - 6w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_8 - 2w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_{10} - 8w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_{11} - 6w_9| \leq \xi_i$$

$$|w_{12} - 3w_9| \leq \xi_i$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 + w_6 + w_7 + w_8 +$$

$$w_9 + w_{10} + w_{11} + w_{12} = 1$$

$$w_1, \dots, w_{12} \geq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, 12 \quad (10)$$

نرخ ناسازگاری در روش خطی برابر با مقدار تابع هدف است و خروجی نرم‌افزار نشان می‌دهد که این نرخ حدود ۰/۰۳۵ و کمتر از ۰/۱ است، که نشان‌دهنده‌ی سازگاری بالا در مقایسه‌های زوجی معیارهاست.

$$\xi_i = 0.034 < 0.035 = \xi_i^1 = \text{نرخ ناسازگاری}$$

۳.۳. تحلیل نقشه‌ی معیارها در نرم افزار GIS

در مرحله‌ی فراخوانی نقشه‌ی معیارها در نرم‌افزار GIS، استانداردسازی نقشه‌ها شامل پردازش‌هایی، نظیر: تنظیم سیستم مختصات نقشه‌ها براساس سیستم تصویر جهانی مرکاتور جانبی (UTM)^{۲۲} و اعمال فاصله‌ی اقلیدسی بر روی نقشه‌ها بوده است. این فرآیند منجر به تبدیل نقشه‌ها از حالت وکتوری^{۲۳} به حالت رستری^{۲۴} براساس لایه‌ی رقومی ارتفاع (DEM)^{۲۵} انجام شده است. همچنین، مرحله‌ی فازی‌سازی لایه‌های رستری از طریق تعریف توابع فازی برای معیارها با فواصل قراردادی انجام شده است. در جدول ۵، به معرفی نوع تابع عضویت فازی معیارها پرداخته شده است:

جدول ۵. معرفی توابع عضویت فازی معیارها.

Specified distances type	Membership function type	Criterion name
Decreasing linear	Small	Residential areas
Decreasing linear	Small	Road
Decreasing linear	Small	Rural
Decreasing linear	Small	Dem
Decreasing linear	Small	Slope
No change	Gaussian	Aspect
Incremental linear	Linear	Hospital
Incremental linear	Linear	School
Incremental linear	Linear	Historical cultural sites
Incremental linear	Linear	Park
Incremental linear	Linear	Fault
Incremental linear	Linear	River

²⁴ Raster

²⁵ Digital Elevation Model

²² Universal Transverse Mercator

²³ Vector

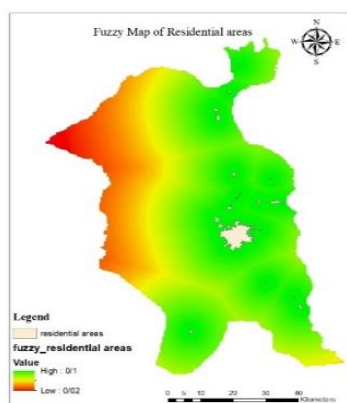
۵.۳. عملیات هم‌پوشانی لایه‌های وزن‌دهی شده

در آخرین مرحله از تهیه نقشه نهایی، عملیات هم‌پوشانی لایه‌های وزن‌دهی شده انجام می‌شود. در این مرحله، عملگر اجتماع فازی، پیکسل‌هایی با ارزش صفر را در نقشه نهایی به عنوان ۱ در نظر می‌گیرد، در حالی که عملگر اشتراک فازی فقط پیکسل‌هایی با ارزش ۱ را لحاظ می‌کند. عملگر جمع فازی به دلیل افزایش مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها، تعداد بیشتری را در کلاس "خیلی خوب" قرار می‌دهد و حساسیت کمتری در مکان‌یابی دارد. در مقابل، عملگر ضرب فازی با کاهش عضویت نهایی پیکسل‌ها، تعداد کمتری را در کلاس "خیلی خوب" قرار می‌دهد و ممکن است برخی مناطق مناسب را نادیده بگیرد.

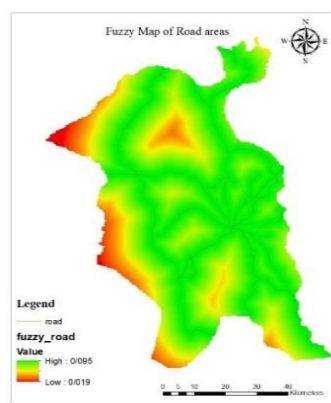
پس از تعیین نوع تابع برای هر یک از معیارها، نقشه‌های مربوطه با استفاده از دستور فازی‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۸ تهیه می‌شوند. شکل‌های ۲ الی ۱۳، نقشه‌های فازی هر معیار را در بازه ۰ تا ۱ نمایش می‌دهند. بر اساس شکل‌های ارائه شده، هر چه فاصله در نقشه‌ها به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، ارزش آن بیشتر و رنگ آن سبز خواهد بود. برعکس، هر چه فاصله به صفر نزدیک‌تر شود، ارزش آن کاهش یافته و رنگ آن قرمز شده است.

۴.۳. نقشه خروجی فازی معیارها در GIS

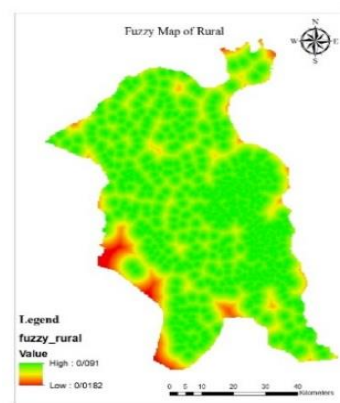
بعد از مرحله فازی‌سازی معیارها، هر یک از نقشه‌های اخیر، در وزن‌های خود که از طریق روش بهترین-بدترین محاسبه شده بود، ضرب شده‌اند.



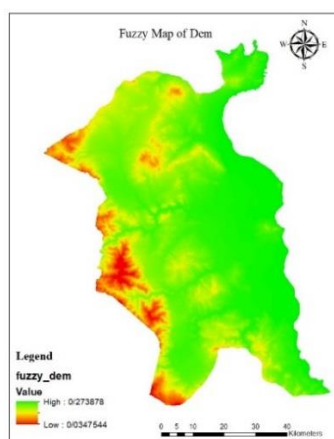
شکل ۴. نقشه فازی مناطق مسکونی.



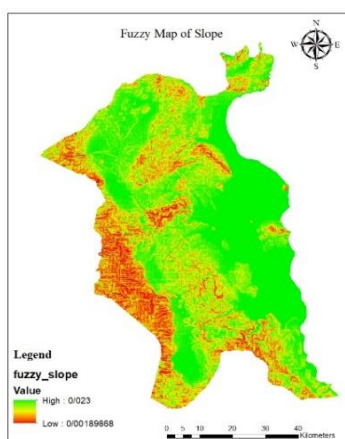
شکل ۳. نقشه فازی جاده‌ی اصلی.



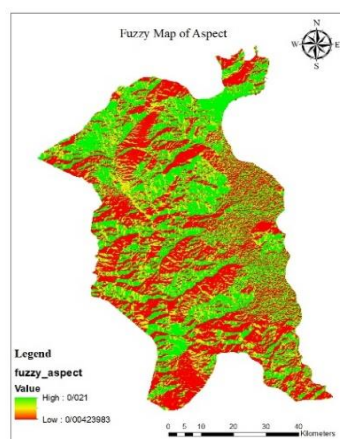
شکل ۲. نقشه فازی روستا.



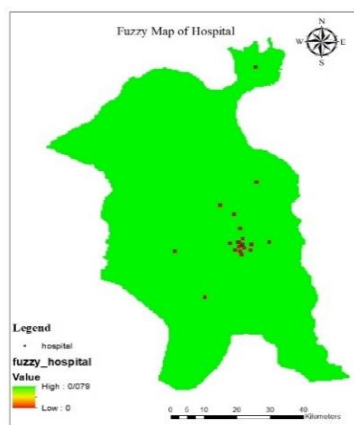
شکل ۷. نقشه فازی ارتفاع.



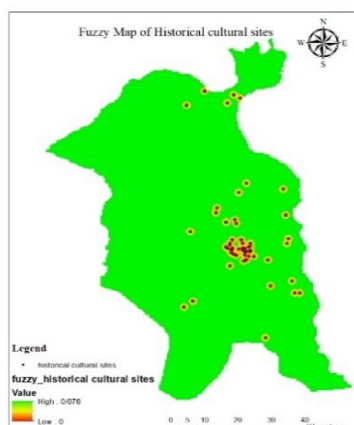
شکل ۶. نقشه فازی شیب.



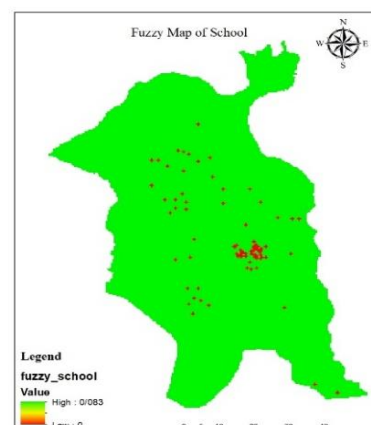
شکل ۵. نقشه فازی جهت شیب.



شکل ۱۰. نقشه فازی بیمارستان.



شکل ۹. نقشه فازی.



شکل ۸. نقشه فازی مراکز فرهنگی.

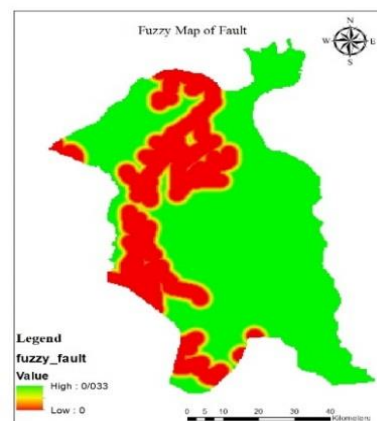
مکان‌یابی دکل‌های مخابراتی برای پوشش‌دهی شبکه‌ی موبایل با در نظر گرفتن معیارهای توسعه‌ی پایدار و با به‌کارگیری GIS و ...-روناک عباسی قاسملوئی و همکاران



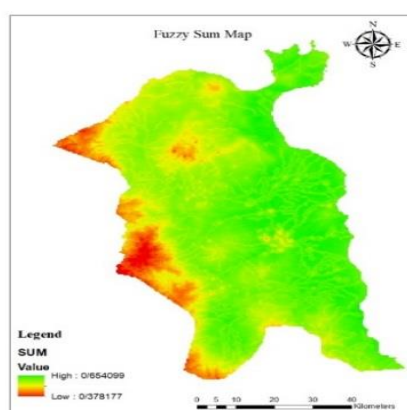
شکل ۱۳. نقشه فازی پارک.



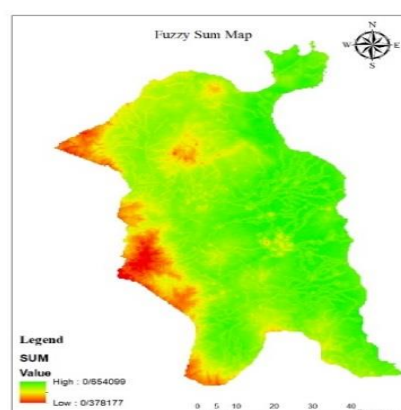
شکل ۱۲. نقشه فازی.



شکل ۱۱. نقشه فازی.



شکل ۱۵. نقشه‌ی ضرب فازی (Product).

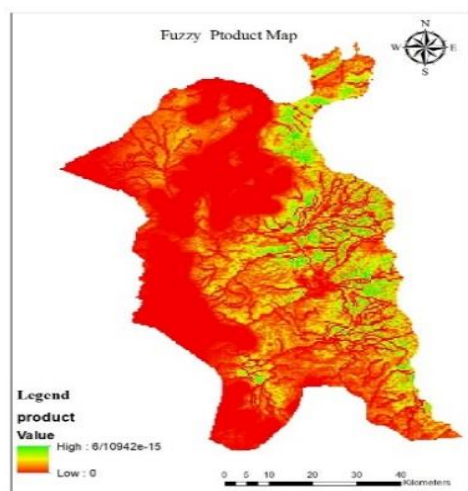


شکل ۱۴. نقشه‌ی جمع فازی (Sum).

در شکل‌های ۱۴ و ۱۵، نقشه‌ی فازی دو عملگر جمع و ضرب فازی مشاهده می‌شود.

۶.۳ تحلیل نقشه نهایی عملگر گامای فازی

عملگر گاما به ترتیب برای اصلاح حساسیت بالا و پایین دو عملگر ضرب و جمع فازی و ایجاد سازگاری، بین گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی آن‌ها در تعیین نقشه‌ی نهایی به‌کار گرفته می‌شود. گامای صفر معادل ضرب و گامای ۱، معادل جمع فازی است. از این رو نقشه‌ی نهایی گامای فازی ۰/۹ در شکل ۱۶ به‌عنوان نقشه‌ی بهینه دکل‌های مخابراتی تلفن همراه انتخاب شده است. در شکل ۱۶، نقشه‌ی مناطق مناسب برای احداث دکل‌های مخابراتی تلفن همراه به ۵ دسته با ارزش‌های بین ۰ و ۱ تقسیم شده‌اند. مناطق قرمز با ارزش صفر، نامناسب‌ترین و مناطق سبز با ارزش بین ۰/۲۵-۰/۲۲، مناسب‌ترین مناطق هستند که در کلاس فازی خیلی خوب (عدد ۱) قرار می‌گیرند.



شکل ۱۶. نقشه‌ی طبقه‌بندی نهایی (Gamma0.9).

داده‌اند که در بخش‌های غربی شهرستان ارومیه، امکان نصب دکل‌ها محدود است و بهترین نقاط، در مناطق شرقی نزدیک دریاچه‌ی ارومیه قرار دارند. نقشه‌ی نهایی در شکل ۱۸، مناطق بهینه را نشان می‌دهد، که بیشترین مناطق مناسب در شمال شرق، شرق، و جنوب ارومیه و همچنین در بخش‌های انزل و نازلو واقع شده‌اند. مناطق مذکور، ارتفاع و شیب کمتری دارند و در فاصله‌ی مناسبی از رودخانه‌ها و جاده‌ها قرار دارند. در مقابل، مناطق نامناسب عمدتاً در صومای و سیلوانه در محدوده‌ی گسل با ارتفاع‌ها و شیب‌های زیاد واقع شده‌اند.

در شکل ۱۷، نقشه‌ی بهینه‌ی نهایی دکل‌های مخابراتی تلفن همراه از طریق نرم‌افزار ArcGIS و افزونه‌ی Google Earth تهیه شده است.

در ادامه، در شکل ۱۸، محدوده‌ی تحت پوشش دکل‌های مخابراتی در ۵ بخش مختلف شهرستان ارومیه با توجه به نقشه‌ی نهایی مشاهده می‌شود.

۴. نتایج

در پژوهش حاضر، تلفیق ابزارهای نرم‌افزار GIS با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی BWM باعث شناسایی مکان‌های بهینه شده است. نتایج نشان

زیرساخت‌های حیاتی، مانند دکل‌های تلفن همراه ضروری هستند، به‌طور همزمان مدنظر قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود که مدیران، استانداردها و معیارهای واضح در تعیین مکان دکل‌های مخابراتی را به‌صورت کلاس‌های آموزشی برای کارکنان تدوین کنند. همچنین، مدیران شرکت‌های مخابراتی باید با مقام‌های محلی و سازمان‌های مرتبط در ارتباط باشند، تا نیازها و محدودیت‌های محلی را که شامل تمامی عوامل زیست‌محیطی، کاربری اراضی، شهرسازی، تاریخ و فرهنگ، ایمنی و حمل و نقل می‌شود، بررسی و رعایت کنند.

هر چند با وجود روستاها در مناطق اخیر، شرکت‌های مخابراتی باید طبق برنامه-ریزی‌های سازمان مدیریت بحران، سیستم‌های مخابراتی مقاوم و پایدار را در آنجا ایجاد کنند. توصیه می‌شود که مدیران شرکت‌های فعال در حوزه‌ی ساخت و راه‌اندازی دکل‌های مخابراتی از روش‌های ارائه‌شده در پژوهش حاضر برای شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها جهت احداث دکل و پوشش‌دهی نقاط کور بهره‌برداری کنند. با این حال، در عمل بهتر است که تمامی معیارهای توسعه‌ی پایدار (اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، و سیاسی) که برای احداث

References- منابع

- Farahani, R.Z., Fallah, S., Ruiz, R., Hosseini, S. and Asgari, N., 2019. OR models in urban service facility location: A critical review of applications and future developments. *European journal of operational research*, 276(1), pp.1-27. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.036>.
- Hoomod, H.K., Al-Mejibli, I. And IssaJabboory, A., 2017, March. Optimizing SOM for cell towers distribution. In *2017 Annual Conference on New Trends in Information & Communications Technology Applications (NTICT)* pp. 138-143. IEEE. doi:[10.1109/NTICT.2017.7976136](https://doi.org/10.1109/NTICT.2017.7976136).
- Dilpriya, T.A.H., Lanel, G.H.J. and Vidanage, B.V.N.C., 2022. A Strategy Strengthen and Enhance the Telecommunication Network in Sri Lanka by Using Concepts of Graph Theory and Linear Programming Models. *International Journal of Natural Sciences Research*, 10 (1), pp.1-20. doi:[10.18488/63.v10i1.2913](https://doi.org/10.18488/63.v10i1.2913).
- Dutta, M.A., 2012, March. Optimization problems and techniques. In *2012 2nd National Conference on Computational Intelligence and Signal Processing (CISP)* (pp. 26 26). IEEE. doi: [10.1109/NCCISP.2012.6189674](https://doi.org/10.1109/NCCISP.2012.6189674).
- Kranda, Y. and Şamli, R., 2021. A hybrid algorithm for changepoint aware long- term seasonality detection of mobile network base stations. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (27), pp.370-385. <https://doi.org/10.31590/ejosat.931099>.
- Amponsah, E., Takyi, S.A., Asibey, M.O. and Amponsah, O., 2022. Assessing the level of compliance of telecommunication masts to locational planning standards towards harmonious an orderly city growth. *Cities & Health*, 6(4), pp.777-790. <https://doi.org/10.1080/23748834.2021.1956837>.
- Premarathne, B.M.N., Bamunusinghe, B.K.A.C. and Malavipathirana C.G., 2021. An Analysis of Suitable Location for Establishing Telecommunication Tower at Sir John Kotelawala Defence University, Southern Campus. <http://ir.kdu.ac.lk/handle/345/5165>.
- Amadasun, K.N., Short, M., Shankar Priya, R. and Crosbie, T., 2021. Transitioning to Society 5.0 in Africa: Tools to support ICT infrastructure sharing. *Data*, 6(7), p.69. <https://doi.org/10.3390/data6070069>.
- Hobobeh, M. 2016. Locating telecommunication masts for radio network coverage (Mazandaran seashores), Master's thesis in the field of geography and urban planning, Mazandaran University. <https://elmnet.ir/doc/11251375-94084>. [In Persian].
- Mohammadi, Sh., Heydari, M.T., Tahmasabi Moghadam, H., 2020. Environmental health monitoring with optimal location of mobile phone towers, case study: (Region 1 of Zanjan City Municipality): *Quarterly Journal of Geography and Urban-Regional Studies*, 10th year, number 35, pp. 142-127. doi: [10.22111/gaj.2020.5567](https://doi.org/10.22111/gaj.2020.5567). [In Persian].
- Mauludiyanto, A. and Pranata, Y.D., 2019. Planning of number and location of new Base Transceiver Station (BTS) tower in mobile telecommunication system in jombang using analytical hierarchy process method and geographic information system approach. *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, 3(2). doi:[10.12962/j25796216.v3.i2.87](https://doi.org/10.12962/j25796216.v3.i2.87).
- Tayal, S., Vijay, S. and Garg, P.K., 2023. Multistage Optimized Site Suitability Modeling for Base Transceiver Station Placement in Pithoragarh District of Uttarakhand Using Spatial Analyst and Fuzzy Logic Toolbox. *Journal of the Indian Society*

- of *Remote Sensing*, 51(4), pp.743-756.
doi: [10.1007/s12524-022-01662-0](https://doi.org/10.1007/s12524-022-01662-0).
13. Akbarpour, H., Bozorgi Amir, A., Alinejad, N., Akbarpour, M., 2019. *strengthening and covering mobile masts in order to stand up during natural disasters. Industrial Management Studies*, 17(53), pp. 159-184.
<https://doi.org/10.22054/jims.2018.14541.1525>.
[In Persian].
14. Tawhidi Nasab, P., Sidboir, S., Tayibi Iraqi, M.E., 2015. Providing A direction model Location of telecommunication antennas considering capacity limitation and non-deterministic demand of subscribers. <https://civilica.com/doc/566406>.
[In Persian].
15. Maleki, H.R. and Karimidehkordi, E., 2016. Mobile base stations location problem to fortification against natural disasters: A fuzzy approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(3), pp.1421-1427.
<https://doi.org/10.3233/IFS-152055>.
16. Goodarzian, F., Bahrami, F. and Shishebori, D., 2022. A new location-allocation-problem for mobile telecommunication rigs model under crises and natural disasters: a real case study. *Journal of ambient intelligence and humanized computing*, pp.1-19.
<https://doi.org/10.1007/s12652-021-03461-w>.
17. Muharram, M.F. and Suyanto, S., 2020, December. Firefly algorithm-based optimization of base transceiver station placement. In *2020 3rd International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, pp. 467-470. IEEE.
doi: [10.1109/ISRITI51436.2020.9315462](https://doi.org/10.1109/ISRITI51436.2020.9315462).
18. Safwani, E., Firdausi, A. and Hakim, G., 2021. Tower planning and arrangements mobile telecommunication district central Aceh with methode fuzzy clustering. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 2(1), pp.7-11.
<http://doi.org/10.18196/jrc.2144>.
19. Almoghathawi, Y., Obaid, H.B. and Selim, S., 2024. Optimal location of base stations for cellular mobile network considering changes in users locations. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.04.020>.
20. Iran Statistics Center., 2015. General Population and Housing Census. www.sarshomari95.ir.
21. Sadjadi, S. and Karimi, M., 2018. Best-worst multi-criteria decision-making method: A robust approach. *Decision Science Letters*, 7(4), pp.323-340. doi: [10.5267/j.dsl.2018.3.003](https://doi.org/10.5267/j.dsl.2018.3.003).
22. Rezaei, J., 2015. Best-worst multi-criteriadecision-making method. *Omega*, 53, pp.49-57.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>.
23. Valášková, K., Klieštík, T. and Mišánková, M., 2014, January. The role of fuzzy logic in decision making process. In *2014 2nd international conference on management innovation and business innovation Vol. 44, No. 1*, pp. 143-148. doi: [10.5729/lnms.vol44.143](https://doi.org/10.5729/lnms.vol44.143).
24. Darag, A., Yazdani, S., and Dargahi, M.M., 2017. *Applied GIS training in physical development simulation Tehran*: Satellite Publications pp.153-156. <https://www.ketabrah.ir/>. [In Persian].
25. Fallah-Ghalhary, G.A., Mousavi-Baygi, M. and Nokhandan, M.H., 2009. Annual rainfall forecasting by using mamdani fuzzy inference system. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(4), pp.400-413. doi: [10.3923/rjes.2009.400.413](https://doi.org/10.3923/rjes.2009.400.413).