تاریخ دریافت: ۲۳ بهمن ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۲۱ فروردین ۱۴۰۲ صفحات ۲۳ الی ۶۳

مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک‌های GIS (مطالعه موردی: شهرستان اندیمشک)

نرگس منجزی

استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، nmonjezi۶۷@yahoo.com

علی افروس

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، ali.afrous@gmail.com

مریم داودبهاروندی

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، second@gmail.com

احسان مرادی مطلق

دانشجوی دکتری رشته سنجش از دور و GIS، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، e_moradimotlagh@sbu.ac.ir

چکیده: مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی طبق نظر کارشناسان خبره با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و در محیط GIS می‌تواند در گسترش توسعه پایدار نقش بسزایی داشته باشد. هدف از این پژوهش، شناسایی تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل AHP، منابع سنجش از دور و تکنیک‌های GIS در شهرستان اندیمشک در استان خوزستان است. بدین منظور ۱۲ معیار که از جنبه‌های اقتصادی، محیطی و امنیتی دارای اهمیت هستند، وزن‌دهی و سپس در محیط GIS بصورت خطی فازی‌سازی شده‌اند و درنهایت بطور خطی وزنی با یکدیگر تلفیق (WLC) گردیده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ۶۸/۸ درصد (۴۹۳۳/۷۲ هکتار) از اراضی منطقه مورد مطالعه دارای درجه تناسب بسیار عالی برای احداث نیروگاه خورشیدی هستند. این اراضی عمدتاً در اطراف محدوده شهر اندیمشک واقع شده‌اند. همچنین معیارهای فاصله از مناطق صنعتی/نظامی و فاصله از شبکه راه‌آهن به ترتیب بیش‌ترین رابطه همبستگی مثبت و منفی را با نقشه مکان‌یابی دارند.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، نیروگاه خورشیدی، GIS ، AHP.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

مقدمه

از دیدگاه زیست‌محیطی و امنیت انرژی، بایستی وابستگی به سوخت‌های فسیلی کاهش‌یافته و از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان بهترین گزینه‌های در دسترس استفاده نمود. در بین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی بهترین نوع آن است که مزایای ذاتی زیادی از جمله کاهش آلودگی‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تأمین انرژی برای مناطق در مقیاس های کوچک را دارد (Shafique et al., ۲۰۲۰). در ایران وجود زمینه مناسب اقلیمی و تابش آفتاب در بیشتر مناطق و در بیشتر فصول سال، همچنین وجود پستی وبلندی‌ها در مسیر نهرهای آب، داشتن مناطق دارای پتانسیل بالای باد و قابلیت‌های تولید انرژی زمین‌گرمایی، زمینه لازم و مناسبی را برای استفاده وگسترش انرژی‌های نو وپاک فراهم آورده است (Sadeqi et al., ۲۰۱۳). مطالعات در زمینه انرژی خورشیدی در ایران از حدود ۳۹ سال قبل و به طور تقریباً همزمان در دانشگاه شیراز و صنعتی شریف شروع شد. از جمله طرح‌های مهم مورد توجه در این مراکز، طرح نیروگاه خورشیدی ۱۰ مگاواتی در دانشگاه شیراز و طرح توسعه و ساخت سلول‌های فتوولتائیک در این مرکز بوده است (Taki & Mardani Najafabadi, ۲۰۱۹). نتایج برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که انرژی خورشیدی در صدر گزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای استفاده در کشور جمهوری اسلامی ایران است (Mahdi et al., ۲۰۲۲). استان خوزستان و در شمال آن شهرستان اندیمشک به علت قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر و تابش خورشیدی بیش‌تر، مستعد استفاده از انرژی خورشیدی است. بدین منظور ضرورت دارد که جهت استفاده از انرژی ارزان و پایدار در این شهرستان نسبت به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی اقدام شود. درزمینه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل‌ها و رویکردهای مختلف پژوهش‌های فراوانی انجام‌شده است. بسیاری از پژوهشگران، علاقه‌مند به استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای از قبیل AHP، TOPSIS، Fuzzy-TOPSIS، SAW، ELECTRE III (Chamchali & Ghazifard, ۲۰۲۱; Mahmoudi et al., ۲۰۲۱; Mortazavi Chamchali et al., ۲۰۲۱; Sedghiyan et al., ۲۰۲۱; Sk Ajim

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

et al., ۲۰۲۱) در بستری از فناوری‌های جغرافیایی مانند سنجش‌ازدور و GIS هستند که یک نقشه خروجی و یک سناریو که عمدتاً WLC[۱] است (Shao et al., ۲۰۲۰) را به‌عنوان خروجی ارائه می‌کنند. یکی از متداول‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای انواع مکان‌یابی، مدل تحلیل سلسله مراتبی[۲] است. در ادامه به بررسی چندین پژوهش انجام گرفته توسط این مدل پرداخته می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱. پیشینه پژوهش‌های انجام شده

پژوهشگران	هدف	معیارها	نتایج
Sadeqi et al.,) (۲۰۱۳	اولویت‌بندی عوامل موثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره	ساعات آفتابی، گردو غبار، ارتفاع و درجه حرارت	شهرستان سیرجان به عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی و شهرستان رفسنجان به عنوان مناسب‌ترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی شناسایی شد.
Marzban et al.,) (۲۰۱۶	پهنه‌بندی و اولویت‌بندی انرژی خورشیدی به منظور احداث نیروگاه در استان یزد با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری	ساعات آفتابی، تعداد روزهای ابری، میزان رطوبت نسبی، شیب، فاصله از مراکز جمعیتی، فاصله از راه‌ها، فاصله از خطوط انتقال نیرو،	در این پژوهش، منطق بولین، روش هم پوشانی شاخص، منطق فازی و روش AHP برای مکان‌یابی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. در نهایت، روش منطق

۱ Weighted Linear Combination
۲ Analytical Hierarchy process (AHP)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

		کاربری اراضی، تابش کلی رسیده به زمین.	فازی بعنوان بهترین قاعده تصمیم‌گیری انتخاب شد.
(Al Garni & Awasthi, ۲۰۱۷)	مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل AHP و GIS در کشور عربستان سعودی	کاربری/پوشش اراضی، نقشه خاکشناسی، فاصله تا مناطق شهری، فاصله تا ایستگاه‌های برق ولتاژ بالا، تراکم جمعیتی، فاصله تا جاده‌ها و خطوط انتقال برق، فاصله از مناطق باستانی، فاصله از مناطق حفاظت شده محیط زیست، نقشه قیمت اراضی، قیمت ساخت، تابش خورشیدی، میانگین دما، شیب، جهت شیب	بعد از عملیات همپوشانی وزنی که روی معیارها انجام شد، نتایج نشان داد که ۱۶ درصد (۳۰۰۰۰۰ کیلومترمربع) از کل مساحت منطقه مورد مطالعه که بیش‌تر در شمال و شمال غربی آن واقع شده برای مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی مناسب است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

Solangi et al., (۲۰۱۹)	مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل AHP-fuzzy VIKOR در کشور پاکستان	قیمت زمین، قیمت زیرساخت‌ها، قیمت عملیات اجرایی، تقاضای برق، مناطق تخت و عاری از درخت، سکونت‌گاه‌ها و مناطق حفاظت شده، پذیرش عمومی، فرصت‌های شغلی، تأثیر روی توسعه اقتصاد محلی، فاصله تا مناطق مسکونی،	نتایج نشان داد که شهرهای خوزدار[۱]، بادین[۲] و مستانگ[۳] برای ساخت نیروگاه خورشیدی در کشور پاکستان مناسب هستند.
Shrestha et al., (۲۰۲۲)	مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل AHP و GIS در استان مدهش کشور نپال[۴]	تابش خورشیدی، میانگین دمای سالانه، فاصله تا راه‌ها، فاصله تا مناطق شهری، ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی و ایستگاه‌های برق ولتاژ بالا	نتایج نشان داد که نواحی غربی و شرقی بترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین تناسب اراضی برای ساخت نیروگاه خورشیدی در منطقه مورد مطالعه هستند.
Halder et al., (۲۰۲۲)	مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از مدل AHP و GIS در کلانشهر کلکته، غرب بنگال[۵] واقع در کشور هند	نقشه خاکشناسی، تابش خورشیدی، کاربری اراضی، مناطق مسکونی، دمای سطح زمین، شیب، جهت شیب، ارتفاع، بزرگراه، مناطق محافظت	نتایج نشان داد که ۱۰/۶۹ درصد معادل ۴۷۴/۲۱ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه برای ساخت نیروگاه خورشیدی مناسب است.

[۱] Khuzdar
[۲] Badin
[۳] Mastung
[۴] Madhesh Province, Nepal
[۵] Megacity Kolkata, West Bengal

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

		شده، مناطق آبی و شبکه خطوط انتقال برق،	
Rekik & El Alimi,) (۲۰۲۳	مکان‌یابی نیروگاه بادی و خورشیدی با استفاده از و مدل GIS , AHP در کشور تونس[1]	تابش خورشیدی، سرعت باد، میانگین دما، شیب، جهت شیب، نزدیکی به خطوط انتقال انرژی الکتریکی، نزدیکی به جاده‌های اصلی، نزدیکی به مناطق مسکونی، کاربری/پوشش اراضی، تراکم جمعیت، مناطق حفاظت شده برای پرندگان، فاصله از فرودگاه، طوفان گردو غبار، فاصله از منابع آب، رطوبت نسبی	با استفاده از ابزار همپوشانی وزنی در ArcMap۱۰,۸ تحلیل انجام شد. نتایج نشان داد که به ترتیب مساحت‌های ۳۳۳۵ و ۳۸۱۵ کیلومترمربع از منطقه مورد مطالعه برای ساخت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی مناسب هستند.
Zewdie &) (Yeshanew, ۲۰۲۳	مکان‌یابی دفن پسماند در شهر دجنتون واقع در کشور اتیوپی[2] با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل AHP	نقشه‌های کاربری/پوشش اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، جهت شیب، شیب، ارتفاغ، شبکه آبراهه و جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، تراکم مجموعه گسل‌ها،	بعد از انجام تحلیل همپوشانی نتایج نشان داد که ۷/۹، ۴۶/۴، ۶/۵، ۲۲/۲ و ۱۷ درصد از اراضی منطقه مورد مطالعه به ترتیب برای هدف این پژوهش خیلی

[1] Tunisia
[2] Dejentown, Ethiopia

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

زمین‌لغزش‌ها، فعالیت‌های آتشفشانی و زمین‌لرزه‌ای	مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، کمی مناسب و نامناسب هستند.

مأخذ: پژوهشگران نامبرده در پیشینه پژوهش

برای شناسایی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه خورشیدی، استفاده از تحلیل‌های تصمیم-گیری چندمعیاره (MCDM[۱]) و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند نتایج بهینه‌ای را ارائه نماید (Kiavarz & Jelokhani-Niaraki, ۲۰۱۷; Shorabeh et al., ۲۰۱۹). با مشخص شدن مناطق واجد شرایط برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌توان راه را برای توسعه پایدار با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هموار نمود. بنابراین، هدف از این پژوهش استفاده از رویکرد مدل AHP و فنون سنجش از دور و GIS برای شناسایی مکان‌های مناسب اجرای پروژه‌های نیروگاه‌های خورشیدی در شهرستان اندیمشک واقع در استان خوزستان است.

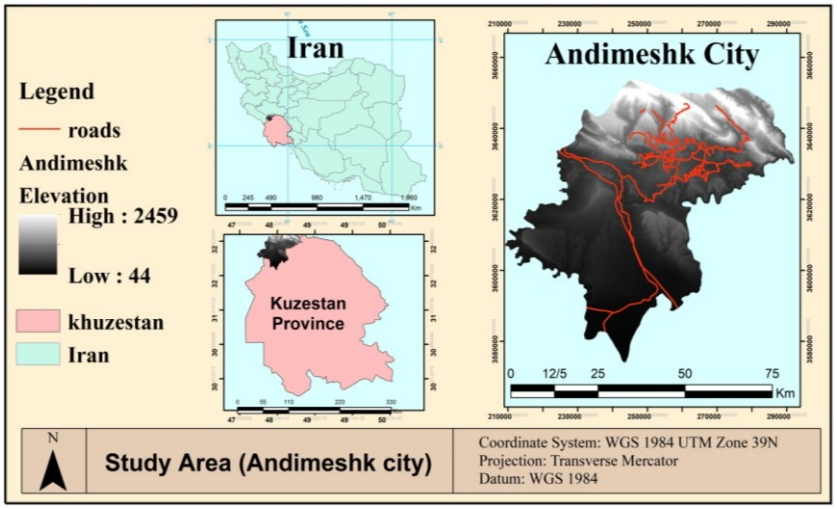
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه موردمطالعه بنام شهرستان اندیمشک با مساحت ۳۱۱۵/۷۲ کیلومترمربع و محیط ۳۶۳/۰۵ کیلومتر در شمال استان خوزستان قرار دارد. موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در سیستم مختصات UTM بین ۳۵۷۴۰۶۴ m و ۳۶۵۳۹۱۳ m شمالی و نیز ۲۹۲۲۲۸/۶۳ m و ۲۰۹۲۱۵/۰۵ m شرقی است (شکل ۱).

[۱] Multi-criteria Decision Making

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۱. موقعیت منطقه موردمطالعه

۲-۲- مواد و روش پژوهش

منابع داده مورداستفاده در این پژوهش شامل سازمان‌های نقشه‌برداری و زمین‌شناسی کشور جمهوری اسلامی ایران، Google Earth ۷، OpenStreetMap و تصویر سنتینل-۱ و ۲ آژانس فضایی اروپا است.

مراحل انجام پژوهش در فلوچارت شکل (۲) و جدول (۲) آمده است. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حاصل از پردازش تصویر راداری ماهواره سنتینل-۱، لایه‌های شیب، تابش خورشیدی[۱] رسیده به زمین و شبکه آبراهه استخراج می‌شوند. با به‌کارگیری نرم‌افزار Google Earth ۷، محدوده شهر اندیمشک، مناطق نظامی و صنعتی و خطوط انتقال نفت، رقومی و به دنبال آن لایه‌های آن‌ها تهیه می‌شوند. برای تهیه لایه‌های راه‌ها و خطوط انتقال نیرو نیز از سایت

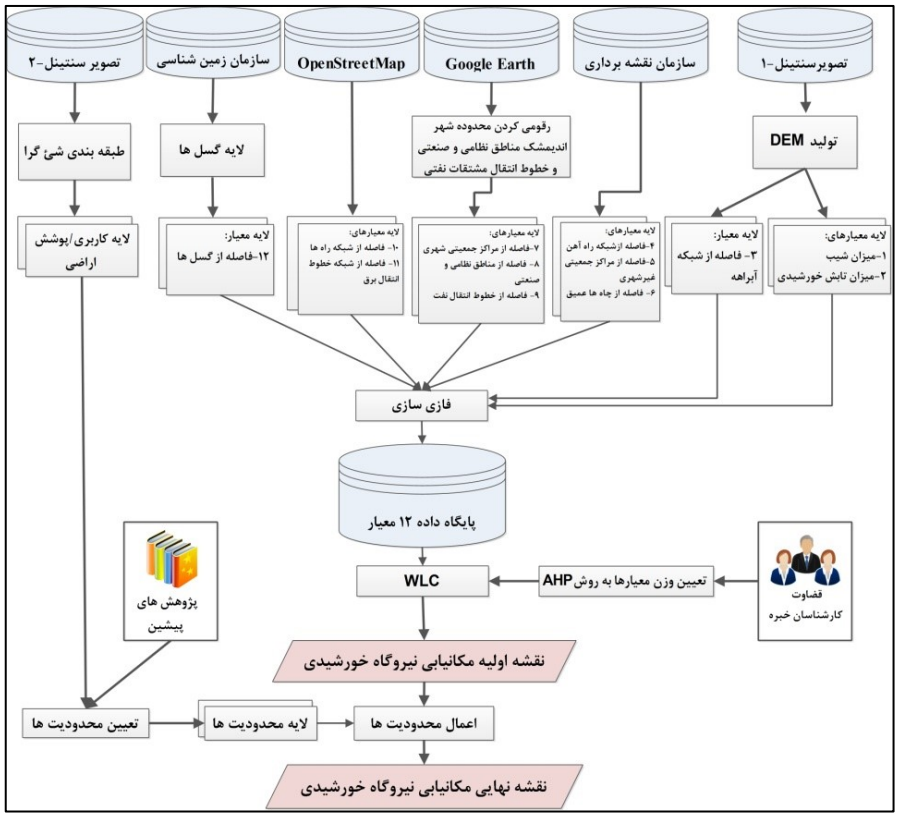
[۱] Solar Radiation

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

OpenStreetMap استفاده می‌گردد. لایه گسل‌ها از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور دریافت شد. لایه کاربری/پوشش اراضی در تهیه لایه محدودیت‌ها کاربرد دارد که توسط طبقه‌بندی پیکسل- مبنا با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان[۱] (SVM) بر روی تصویر ماهواره سنتینل-۲ تهیه می‌شود. لایه‌های با فرمت رستر مانند لایه‌های شیب و تابش خورشیدی، فازی می‌شوند اما لایه‌های برداری ابتدا به لایه رستری فاصله اقلیدسی تبدیل‌شده و سپس فازی سازی خطی (از نوع کمینه‌سازی و بیشینه‌سازی) روی آن‌ها انجام می‌شود. با استفاده ازنظر کارشناسان خبره و مدل فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، وزن هر معیار محاسبه سپس در محیط نرم‌افزار ArcMap۱۰،۸،۱ ترکیب وزنی خطی (WLC) اجرا و نقشه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی ایجاد می‌شود. محدودیت‌ها و حریم‌های تمامی معیارها و نیز محدودیت‌های حاصل از نقشه کاربری/پوشش اراضی تهیه گردیده و درنهایت با کسر آن‌ها از نقشه مکان‌یابی، نقشه‌های نهایی تناسب اراضی جهت ساخت نیروگاه خورشیدی حاصل می‌شود.

[۱] Support Vector Machine

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۲. فلوچارت مواد و روش پژوهش

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۲. نوع داده، منبع، هدف و نرم‌افزار مورداستفاده جهت تحلیل

نوع داده	منبع	هدف	نرم‌افزار
تصویر SAR IW GRD سنتینل-۱ تاریخ تصویربرداری: ۲۰۲۲/۰۵/۰۴ و ۲۰۲۲/۰۵/۰۳	سازمان فضایی اروپا (esa)	تولید مدل رقومی ارتفاع تولید لایه شیب تولید لایه تابش خورشیدی تولید شبکه آبراهه	SNAP ۸ ArcMap ۱۰,۸,۱
تصویر نوع LA سنجنده MSI سنتینل-۲ تاریخ تصویربرداری: ۲۰۲۲/۰۴/۲۰	سازمان فضایی اروپا (esa)	تعیین لایه کاربری پوشش اراضی تعیین لایه محدودیت-های مکان‌یابی	SNAP ۸ ENVI ۵,۶ ArcMap ۱۰,۸,۱
نقشه خطوط راه‌آهن (لایه خطی) نقشه مراکز جمعیتی (لایه نقطه‌ای) نقشه چاه‌های عمیق (لایه نقطه‌ای)	سازمان نقشه‌برداری کل کشور	تعیین لایه فاصله از خطوط راه‌آهن تعیین لایه فاصله از مراکز جمعیتی تعیین لایه فاصله از چاه‌های عمیق	ArcMap ۱۰,۸,۱
نقشه محدوده شهر اندیمشک (لایه چندضلعی) نقشه محدوده مناطق نظامی و صنعتی (لایه چندضلعی) نقشه خطوط انتقال مشتقات نفتی (لایه خطی)	Google Earth ۷	تعیین لایه فاصله از شهر اندیمشک تعیین لایه فاصله از مراکز نظامی و صنعتی تعیین لایه فاصله از خطوط انتقال مشتقات نفتی	Google Earth ۷ ArcMap ۱۰.۸.۱
نقشه شبکه راه‌ها نقشه خطوط انتقال برق	OpenStreetMap (OSM)	تعیین لایه فاصله از شبکه راه‌ها	ArcMap ۱۰.۸.۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

		تعیین لایه فاصله از خطوط انتقال برق	
نقشه گسل‌ها	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی	تعیین لایه فاصله از گسل‌ها	ArcMap ۱۰.۸.۱
نظرات کارشناسی	کارشناسان خبره در زمینه مکان‌یابی مانند متخصصان سنجش‌ازدور و GIS، مهندسان عمران و نقشه‌برداری، مهندسان برق گرایش قدرت و ... www.superdecisions.com	تعیین وزن کارشناسی به روش AHP	Superdecisions ۳,۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۲. مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[۱])

مدل AHP یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره مهم است. مدل AHP در سال ۱۹۷۷ توسط ساعتی[۲] ارائه و توسعه یافت، به همین دلیل به‌عنوان روش تصمیم‌گیری ساعتی نیز نامیده می‌شود (Saaty, ۱۹۸۰; Sk Ajim et al., ۲۰۲۱). این مدل یک مقیاس عددی را ارائه می‌دهد که از ۱ تا ۹ برای کالیبره کردن عملکرد کمی و کیفی اولویت‌ها متغیر است در این راستا، مهم‌ترین روش ترکیب AHP و لایه‌های GIS، ترکیب خطی وزنی (WLC) است (Chandio et al., ۲۰۱۲). در این مدل برای ایجاد یک ماتریس نسبت، مقایسه‌های دوبه‌دو توسط نظرات چندین کارشناس انجام‌شده سپس از مقادیر اختصاص‌یافته توسط هر کارشناس برای هر مقایسه دوبه‌دو، میانگین هندسی گرفته‌شده است. روش مورداستفاده این تحلیل دارای سه مرحله اصلی

[۱] **Analytical Hierarchy process**
[۲] Saaty

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

است: ایجاد ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو[۱]، محاسبه وزن‌های معیار[۲] و تخمین نسبت پایندگی یا سازگاری[۳].

۱-۳-۲. ایجاد ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو

برای مقایسه دوبه‌دو معیارها از اولویت‌های نسبی که در جدول (۳) آمده است استفاده می‌شود. در ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو، معیارها دوبه‌دو با همدیگر مقایسه می‌شوند. بدین گونه که معیار افقی نسبت به معیار عمودی آن مقایسه می‌شود (Malczewski et al., ۲۰۱۵; Saaty, ۱۹۹۰).

جدول ۳. اولویت‌های نسبی برای مقایسه دوبه‌دو

شدت اهمیت	تعریف
۱	اهمیت برابر
۲	اهمیت برابر تا اهمیت متوسط
۳	اهمیت متوسط
۴	اهمیت متوسط تا اهمیت قوی
۵	اهمیت قوی
۶	از اهمیت قوی تا اهمیت خیلی قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۸	از اهمیت خیلی قوی تا اهمیت فوق‌العاده قوی
۹	اهمیت فوق‌العاده قوی

مأخذ: Malczewski et al., ۲۰۱۵; Saaty, ۱۹۹۰

[۱] Pairwise Comparison Matrix
[۲] Criterion Weights Computation
[۳] Consistency Ratio Estimation

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۲-۳-۲. محاسبه وزن‌های معیارها

در این مرحله ابتدا ارزش‌های مربوط به هر ستون از ماتریس مقایسه دوبه‌دو باهم جمع، سپس هر عنصر ماتریس بر مقدار کل ستون تقسیم شده (ماتریس به‌صورت ستونی استاندارد می‌شود) و در نهایت میانگین عناصر مطرح در هر ردیف از ماتریس استانداردشده محاسبه می‌شود. برای این منظور مجموع نمرات استانداردشده مربوط به هر ردیف، بر تعداد معیارها تقسیم می‌شود. این میانگین‌ها تخمینی از وزن‌های نسبی معیارهای (وزن‌های معیار) مورد مقایسه به دست می‌دهند.

۲-۳-۳. تخمین نسبت سازگاری[۱] (CR)

در این مرحله وزن اولین معیار را در ارزش‌های اولین ستون ماتریس اولیه مقایسه دودویی، وزن دومین معیار را در ارزش‌های دومین ستون آن و به همین ترتیب وزن آخرین معیار را در آخرین ستون آن ضرب می‌کنیم. درنهایت مجموع ردیف‌های ماتریس حاصل، بردارهای مجموع وزنی[۲] را تولید می‌کند. با تقسیم بردارهای مجموع وزنی بر وزن‌های معیار، بردار سازگاری تعیین می‌شود. لازم است که ارزش‌ها در دو بعد دیگر یعنی میزان λ (لاندا) و شاخص سازگاری[۳] (CI) محاسبه شوند. ارزش مربوط به λ همان میانگین ارزش‌های بردار سازگاری است. محاسبه CI بر پایه مشاهداتی است که در آن‌ها مقدار λ برای ماتریس‌های مثبت دوسویه همواره بزرگ‌تر یا برابر تعداد معیارهای موردنظر (n) است. اگر ماتریس مقایسه‌ای دوبه‌دو استحکام و سازگاری داشته باشد، آنگاه λ با تعداد معیارها برابر خواهد شد و نیز λ-n را می‌توان

[۱] Consistency Ratio
[۲] Weighted Sum Vector
[۳] Consistency Index

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

میزانی از درجه عدم ثبات و سازگاری در نظر گرفت و می‌توان آن را به‌صورت رابطه (۱) استاندارد کرد. نسبت سازگاری[۱] (CR) را نیز می‌توان از رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$\mathbf{CI} = \frac{\boldsymbol{\lambda - n}}{\mathbf{n-1}} \quad (۱)$$

$$\mathbf{CR} = \frac{\mathbf{CI}}{\mathbf{RI}} \quad (۲)$$

که در آن RI، نشان‌دهنده شاخص سازگاری تصادفی است (جدول ۴). این شاخص همان شاخص سازگاری از یک ماتریس مقایسه دوبه‌دو است که به‌صورت تصادفی ایجادشده است. نسبت سازگاری به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که اگر CR کوچک‌تر از ۰/۱ باشد. تمامی تحلیل‌های مربوط به مدل AHP با استفاده از نرم‌افزار superdecisions ۳،۲ انجام‌شده است.

جدول ٤. شاخص‌های پایندگی تصادفی (RI) برای ۱۵ معیار در مدل AHP (Malczewski et al., ۲۰۱۵)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
RI	۰۰/۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲۰	۱/۲۴۰	۱/۳۲۰	۱/۴۱۰
n	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	
RI	۴۵۰/۱	۱/۴۹۰	۱/۵۱۰	۱/۴۸۰	۱/۵۶۰	۱/۵۷۰	۱/۵۹۰	

مأخذ: Malczewski et al., ۲۰۱۵

۲-٤. تصاویر ماهواره‌ای و روش طبقه‌بندی

۲-۱-٤. تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱

در این پژوهش به‌منظور تهیه لایه‌های شیب، میزان تابش خورشیدی و شبکه آبراهه‌ها از مدل رقومی ارتفاع باقدرت تفکیک ۱۰ متر حاصل از پردازش سطح ۱ تصویر راداری از نوع GRD[۲] ماهواره سنتینل-۱ سازمان فضایی اروپا استفاده شده است . مراحل پیش‌پردازش این تصویر

[۱] Consistency Ratio
[۲] Ground Range Detected

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

راداری و تبدیل آن به مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزاری SNAP ۸ انجام می‌شود. از دو تصویر صعودی[۱] و نزولی[۲] سنتینل- 1A به تاریخ‌های ۲۰۲۲/۰۵/۰۴ و ۲۰۲۲/۰۵/۰۳ که منطقه موردمطالعه را پوشش می‌دهند استفاده می‌شود. مدل رقومی ارتفاع ساخته‌شده از تصویر به تاریخ ۲۰۲۲/۰۵/۰۴ (DEM۱) به‌عنوان مدل رقومی ارتفاع اصلی در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حاصل از تصویر رادار به تاریخ ۲۰۲۲/۰۵/۰۳ (DEM۲) در محیط نرم‌افزار ArcMap ۱۰,۸,۱ مقادیر NoData و داده‌های کوچک‌تر و مساوی صفر حذف و جایگزین گردید (رابطه۳).

$$con(DEM1<=0,DEM2,DEM1) \quad (۳)$$

۲-٤-۲. تصویر چند طیفی سنتینل-۲A

جهت تهیه لایه کاربری/پوشش اراضی و به دنبال آن تهیه لایه محدودیت‌های مطرح‌شده در مکان‌یابی، از طبقه‌بندی پیکسل- مبنای تصویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل-۲A با تاریخ تصویربرداری ۲۰۲۲/۰۴/۲۰ در محیط نرم‌افزاری ENVI ٥,٦ استفاده شده است. الگوریتمی که در این نوع طبقه‌بندی بکار می‌رود، ماشین بردار پشتیبان نام دارد. در این پژوهش از باندهای ۱۰ متری (۸، ۴، ۳ و ۲) تصویر نوع 2A استفاده شده است.

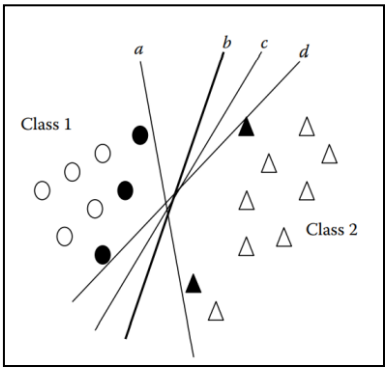
۲-٤-۳. طبقه‌بندی پیکسل- مبنا به روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)

این روش یک طبقه‌بندی خوب از داده‌های پیچیده و زیاد ارائه می‌دهد و از نظریه یادگیری آماری استخراج‌شده است. این نوع طبقه‌بندی در اصل یک طبقه‌بندی کننده باینری[۳] (دوتایی)

[۱] Ascending
[۲] Descending
[۳] Binary

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

خطی است که برچسب‌های ۱+ و ۱- را برچسب‌گذاری می‌کند (شکل ۳). هسته عملیاتی SVM، از یک ابر صفحه جداکننده بر اساس ویژگی‌های نمونه‌های آموزشی، به‌طور خاص در فضای عارضه ساخته‌شده است. این ابر صفحه جداکننده وابسته به حالتی است که حاشیه جدایی میان نمونه‌های کلاس ۱+ و کلاس ۱- بیشینه شود (Mather & Tso, ۲۰۱۶).



شکل ۳. ابر صفحه b دو کلاس را با حاشیه‌های بیشینه جدا می‌کند (Mather & Tso, ۲۰۱۶)

۲-۵. لایه‌های (معیارهای) مورداستفاده در مکان‌یابی

۲-۵-۱. لایه معیار میزان شیب (درجه)

نسبت تغییرات ارتفاع به فواصل افقی، شیب نامیده می‌شود و هر چه شیب بیش‌تر باشد هزینه ساخت بالاتر می‌رود، بنابراین در این پژوهش شیب‌های کم‌تر از ۲ درجه اولویت بالایی برای مکان‌یابی دارند.

۳-۵-۲. لایه معیار میزان تابش خورشیدی

نقشه تابش خورشیدی نشان‌دهنده پتانسیل انرژی خورشیدی یک منطقه است و اطلاعات مفیدی برای انتخاب مکان مناسب برای ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی ارائه می‌دهد. هر چه

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

میزان تابش خورشیدی رسیده به یک مترمربع از سطح زمین در طول یک سال ($KWh/m^2/year$) بیش‌تر باشد ازنظر کارشناسان اهمیت بیش‌تری نیز دارد.

۳-۵-۳. لایه معیار فاصله از شبکه آبراهه

توپوگرافی نسبتاً خشن منطقه و وجود آبراهه‌های متعدد و پرشیب، خطر وجود سیلاب‌های شدید را گوشزد می‌کند، لذا هرچه فاصله از آبراهه‌ها و شبکه‌های زهکشی بیش‌تر باشد مکان‌یابی مناسب‌تر است. برای آبراهه‌ها حریم ۵ متر در نظر گرفته‌شده است.

۳-۵-٤. لایه معیار فاصله از شبکه راه‌آهن

نیروگاه‌های خورشیدی کم‌تر از خطوط راه‌آهن استفاده می‌کنند. این خطوط دارای حریم خاص خود هستند و مکان‌یابی در این حریم‌ها نباید صورت گیرد، لذا ترجیحاً مکان نیروگاه-های خورشیدی باید از آن فاصله داشته باشد.

۳-۵-۵. لایه معیار فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری

مراکز جمعیتی غیرشهری شامل روستاها و تمامی معادن و سدهای آبخیزداری و کشاورزی است که در نزدیکی آن‌ها بنانهاده شده‌اند. یکی از اهداف و مهم‌ترین هدف نیروگاه‌های خورشیدی تأمین برق موردنیاز ساکنین روستاها و معادن محلی و نیز به خدمت گرفتن این برق برای تأسیسات کشاورزی و آبیاری است و هر چه نیروگاه خورشیدی به این اماکن نزدیک‌تر باشد بهره‌وری بیش‌تری به همراه خواهد داشت.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۳-۵-٦. لایه معیار فاصله از چاه‌ها (چاه‌های عمیق)

چاه‌های عمیق بیش‌تر در اراضی کشاورزی واقع در بخش جنوبی منطقه موردمطالعه و در بین زمین‌های حاصلخیز کشاورزی دایر شده‌اند. با توجه به اینکه این چاه‌ها برای استخراج آب از برق استفاده می‌کنند و بیش‌تر آن‌ها دارای خانه‌های ویلایی هستند و به برق نیاز دارند، لذا هر چه نیروگاه خورشیدی به آن‌ها نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر خواهد بود.

۳-۵-۷. لایه معیار فاصله از مراکز جمعیتی شهری

هدف از نزدیکی نیروگاه‌ها به مراکز مصرف، کاستن از هزینه انتقال نیرو به آن مراکز و کاهش اتلاف انرژی است (Nohegar et al., ۲۰۱٦). محدوده شهر اندیمشک بیش‌تر جمعیت منطقه موردمطالعه را در خود جای‌داده است، لذا نزدیک بودن نیروگاه خورشیدی به آن از اهمیت زیادی برخوردار است.

۳-۵-۸. لایه معیار فاصله از مناطق صنعتی و نظامی

شهرک‌های صنعتی و مناطق نظامی مانند پادگان‌ها از مهم‌ترین عوامل مصرف بار به‌حساب می‌آیند، لذا ضرورت دارد که مراکز تولید انرژی با حفظ حریم خاص این مراکز به آن‌ها نزدیک باشند.

۳-۵-۹. لایه معیار فاصله از خطوط انتقال نفت

نیروگاه‌های خورشیدی نیازی به انواع مشتقات سوخت‌های فسیلی ندارند و هر چه دورتر از این تأسیسات قرار گیرند مناسب‌تر است. رعایت حداقل حریم ۱۰۰ متر برای این خطوط امری ضروری است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۳-۵-۱۰. لایه معیار فاصله از راه‌ها

نقشه راه‌ها و جاده‌ها در احداث نیروگاه خورشیدی از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد، نزدیکی نیروگاه به راه‌ها موجب کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل تجهیزات نیروگاه، رفت‌وآمد کارکنان و پشتیبانی از نیروگاه می‌شود (Nohegar et al., ۲۰۱۶; Van Hoesen & Letendre, ۲۰۱۰). لذا هرچقدر نیروگاه خورشیدی به راه‌ها نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر خواهد بود.

۳-۵-۱۱. لایه معیار فاصله از شبکه خطوط انتقال برق

برق تولیدی هر نیروگاه برای توزیع در شبکه نیاز به خطوط انتقال نیرو دارد. فاصله نیروگاه از خطوط برق شبکه که بتواند خروجی نیروگاه را قبول کند بسیار اهمیت دارد (Nohegar et al., ۲۰۱۶).

۳-۵-۱۲. لایه معیار فاصله از گسل‌ها

نیروگاه‌های خورشیدی نباید در مجاورت گسل استقرار یابند، جایی که گسل‌ها در صورت لغزش گل یا زمین‌لغزش آسیب‌ها و خسارت‌های زیادی به تأسیسات نیروگاه وارد می‌کنند (Noorollahi et al., ۲۰۱۶; Shorabeh et al., ۲۰۱۹). با توجه به اینکه بیش‌تر این زمین‌لرزه‌ها در نزدیکی گسل‌ها رخ می‌دهد، بنابراین هر چه فاصله از گسل بیش‌تر باشد، بهینه‌تر است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۳-٦. فازی سازی خطی

به‌منظور فازی سازی خطی لایه‌های شیب و فواصل اقلیدسی مراکز جمعیتی، چاه‌ها، محدوده شهر اندیمشک، نظامی و صنعتی، راه‌ها، خطوط انتقال نیرو از رابطه (۴) (کمینه‌سازی[۱] خطی) استفاده شده است. جهت فازی سازی خطی لایه‌های تابش خورشیدی و فواصل اقلیدسی آبراهه‌ها، خط راه‌آهن، خطوط انتقال نفت و گسل‌ها نیز رابطه (۵) (بیشینه‌سازی[۲] خطی) بکار برده شده است (Shorabeh et al., ۲۰۱۹; Vafaei et al., ۲۰۱٦).

$$v_{is} = \frac{X_{smax} - X_i}{X_{smax} - X_{smin}} \quad (۴)$$

$$v_{is} = \frac{X_i - X_{smin}}{X_{smax} - X_{smin}} \quad (۵)$$

که در این روابط، v_{is} مقدار فازی شده خطی پیکسل iام برای معیار (لایه) sام است. X_i، مقدار iام برای معیار (لایه) sام، X_{smax} و X_{smin} به ترتیب مقدار بیشینه و کمینه معیار sام است.

جدول ۶. روش فازی سازی هرکدام از معیارها

نام معیار (لایه)	نوع فازی سازی	توصیف
میزان شیب	کمینه‌سازی	هر چه شیب بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
میزان تابش خورشیدی	بیشینه‌سازی خطی	هر چه تابش خورشیدی بیشتر، ارزش سلول بیش‌تر
فاصله از شبکه آبراهه	بیشینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول بیش‌تر
فاصله از شبکه راه‌آهن	بیشینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول بیش‌تر

[۱] Minimize
[۲] Maximize

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
فاصله از چاه‌ها	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
فاصله از مراکز جمعیتی شهری	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
فاصله از مناطق صنعتی و نظامی	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
فاصله از خطوط انتقال نفت	بیشینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول بیش‌تر
فاصله از راه‌ها	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
فاصله از شبکه خطوط انتقال برق	کمینه‌سازی خطی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول کم‌تر
گسل‌ها	بیشینه‌سازی	هر چه فاصله بیشتر، ارزش سلول بیش‌تر

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۳-۷. لایه محدودیت‌ها و حریم‌ها

با استفاده از طبقه‌بندی پیکسل - مبنا به روش ماشین بردار پشتیبان بر روی تصویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل-۲، نقشه کاربری/پوشش اراضی منطقه موردمطالعه ایجاد می‌شود. محدودیت‌های کاربری/ پوشش اراضی شامل پهنه‌های آبی، جنگلی و ساخته‌شده می‌شوند. با بررسی پژوهش‌های پیشین، حریم‌ها و محدودیت‌های هر معیار استخراج‌شده و همه آن‌ها به همراه محدودیت‌های حاصل از نقشه کاربری/پوشش اراضی به شکل برداری با همدیگر ادغام می‌شوند. جدول (۷) تمامی محدودیت‌های در نظر گرفته‌شده را نشان می‌دهد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۷. حریم ها و محدودیت های هر معیار

شماره	نام معیار	محدودیت	یکا (واحد)
۱	میزان شیب	بیش‌تر از ۱۰ درجه	درجه
۲	میزان تابش خورشیدی	۲۵۵۹۶۳-۱۱۱۸۸۷۴	$KWh/m^2/year$
۳	فاصله از شبکه آبراهه	۵	متر
۴	فاصله از شبکه راه‌آهن	۲۰۰	متر
۵	فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری	۱۰۰۰	متر
۶	فاصله از چاه‌ها	۱۰۰	متر
۷	فاصله از مراکز جمعیتی شهری	۱۰۰۰	متر
۸	فاصله از مناطق صنعتی و نظامی	۱۰۰۰	متر
۹	فاصله از خطوط انتقال نفت	۱۰۰	متر
۱۰	فاصله از راه‌ها	۲۰۰	متر
۱۱	فاصله از شبکه خطوط انتقال برق	۵۰۰	متر
۱۲	گسل‌ها	۱۰۰۰	متر

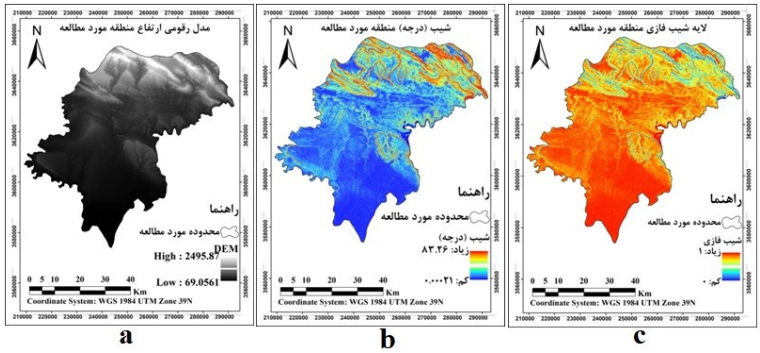
مأخذ: پیشینه پژوهش‌های انجام شده، نظرات کارشناسان خبره و پژوهشگران این تحقیق

٤. نتایج و یافته‌ها

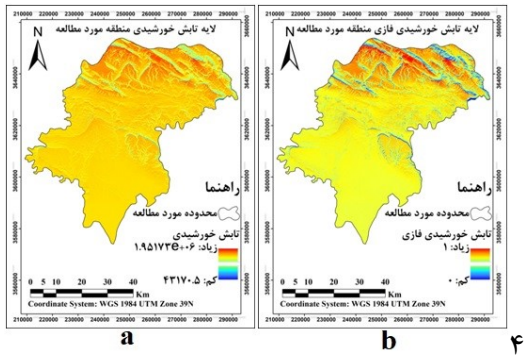
٤-١. معیارهای (لایه‌های) مورد استفاده

با استفاده از فازی خطی از نوع کمینه‌سازی، لایه فازی شده هر معیار در بازه صفرتا یک ایجاد شد (شکل ۴). فازی سازی انجام شده از نوع افزایشی و کاهشی است. شکل‌های ۴ تا ۱۵ لایه‌های اصلی، فاصله اقلیدوسی شده و فازی شده را نشان می‌دهند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

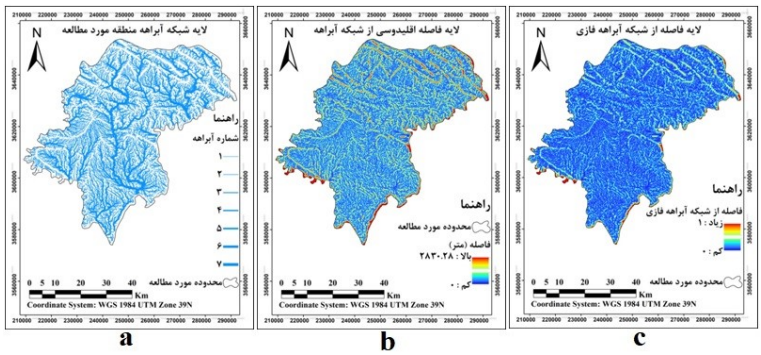


شکل ۴. a مدل رقومی ارتفاع منطقه موردمطالعه، b لایه شیب برحسب درجه و c یه شیب فازی شده خطی

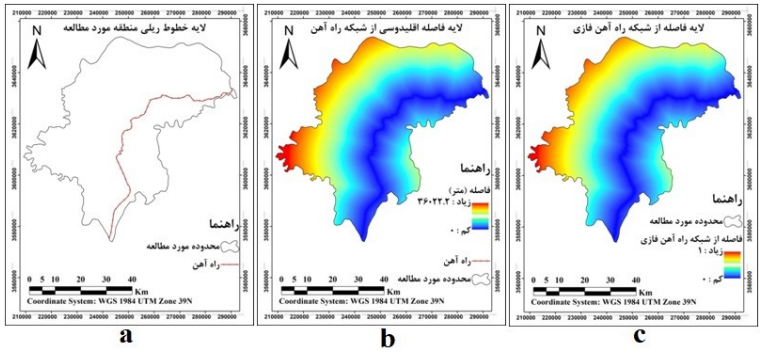


شکل ۵. a لایه تابش خورشیدی برحسب وات‌ساعت بر مترمربع ($W.h/m^2$) و b لایه تابش خورشیدی فازی شده خطی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

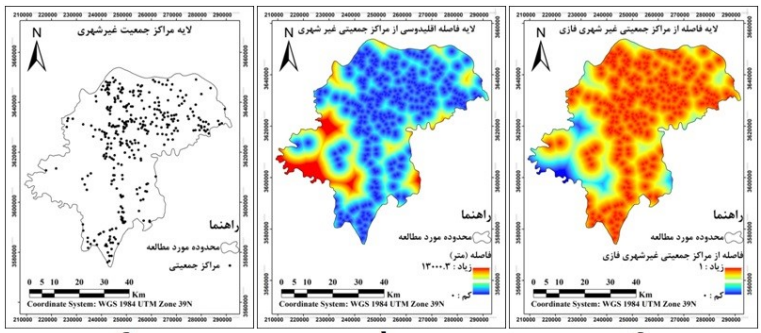


شکل ۶. a لایه شبکه آبراهه، b فاصله اقلیدوسی شبکه آبراهه بر حسب متر و c فاصله از شبکه آبراهه فازی شده خطی

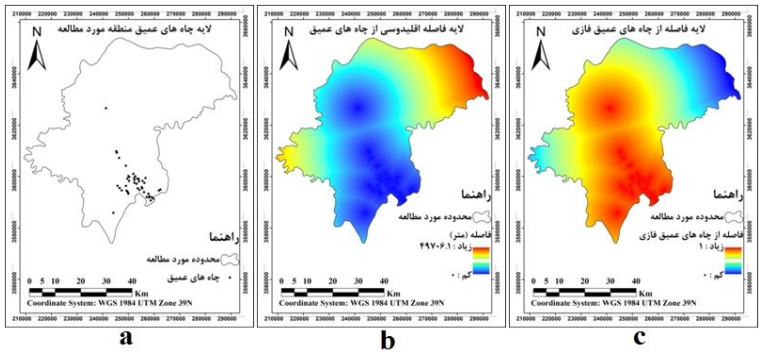


شکل ۷. a لایه خطوط ریلی، b لایه فاصله اقلیدسی از شبکه راه‌آهن برحسب متر و c لایه فاصله از شبکه راه‌آهن فازی شده خطی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

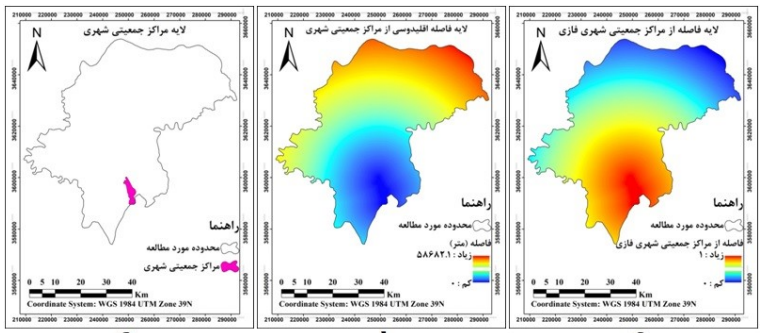


شکل ۸. a لایه مراکز جمعیتی غیرشهری، b لایه فاصله اقلیدسی و c لایه فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری فازی شده خطی

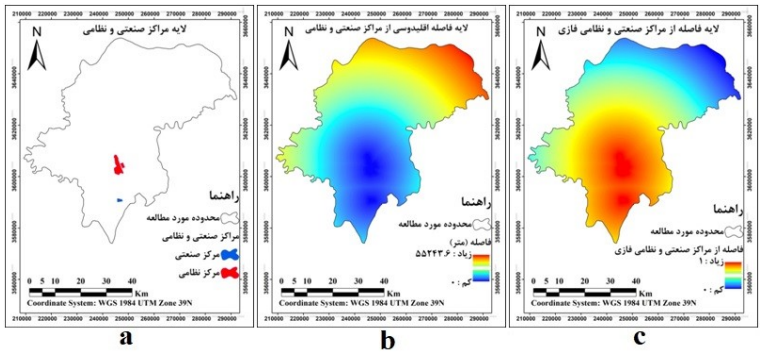


شکل ۹. لایه چاه‌های عمیق، b لایه فاصله اقلیدسی و c لایه فاصله از چاه‌های عمیق فازی شده خطی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

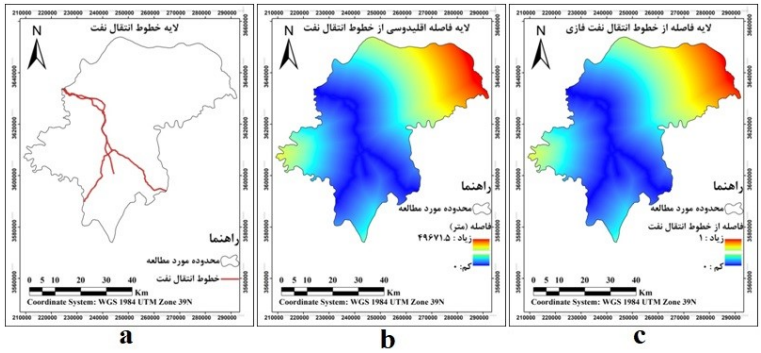


شکل ۱۰. a لایه مراکز جمعیتی شهری (محدوده شهر اندیمشک)، b لایه فاصله اقلیدوسی و c لایه فاصله از مراکز جمعیتی شهری فازی شده خطی

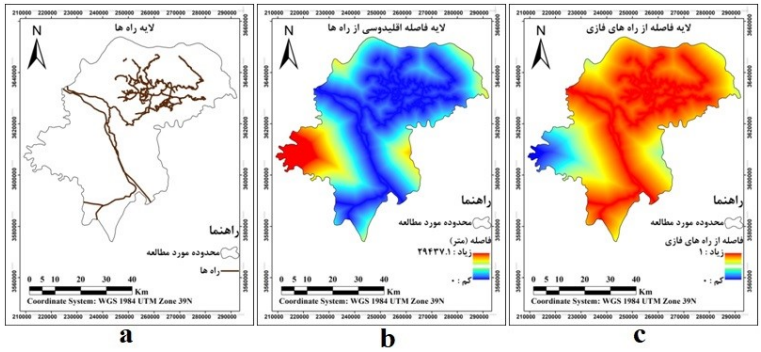


شکل ۱۱. a لایه مراکز صنعتی و نظامی، b لایه فاصله اقلیدسی و c لایه فاصله از مراکز صنعتی و نظامی فازی شده خطی

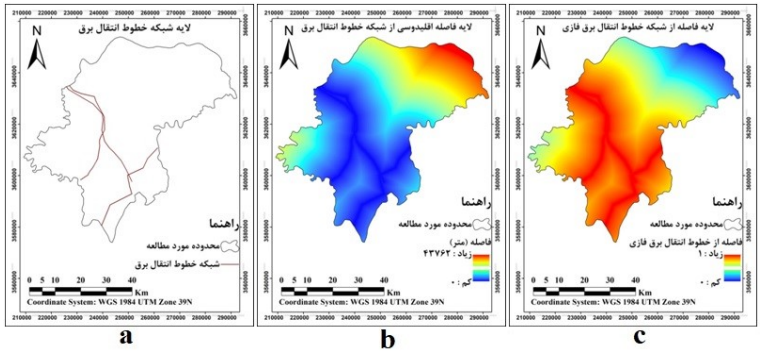
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۱۲. a لایه خطوط انتقال نفت، b لایه فاصله اقلیدسی و c لایه فاصله از خطوط انتقال نفت فازی شده خطی

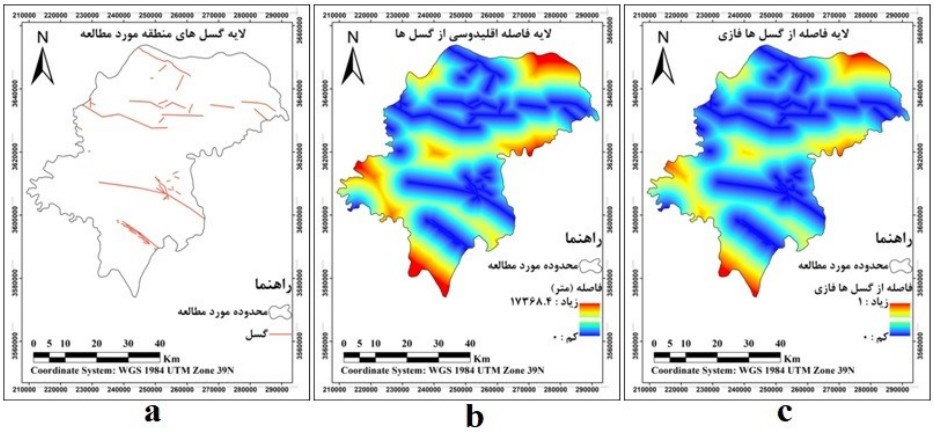


شکل ۱۳. a **لایه راه‌ها،** b **لایه فاصله اقلیدسی و** c **لایه فاصله از راه‌ها فازی شده خطی**



شکل ۱۴. لایه شبکه خطوط انتقال برق، b **لایه فاصله اقلیدسی و** c **لایه فاصله از شبکه خطوط انتقال برق فازی شده خطی**

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۱۵. a لایه گسل‌ها، b لایه فاصله اقلیدسی و c لایه فاصله از گسل‌ها فازی شده خطی

جدول ۸. وزن معیار و درصد آن، بردار مجموع وزنی و بردار سازگاری در مدل AHP

معیار	نوع فازی- سازی خطی	وزن‌نسبی	درصدوزن نسبی	بردارمجموع وزنی	بردار سازگاری (λ)
میزان شیب	کاهشی	۰/۱۱	۱۱	۱/۵۴	۱۳/۴۰۶
میزان تابش خورشیدی	افزایشی	۰/۱۸	۱۸	۲/۴۶	۱۳/۸۵۵
فاصله از شبکه آبراهه	افزایشی	۰/۰۳	۳	۰/۳۳	۱۲/۸۴۷
فاصله از شبکه راه‌آهن	افزایشی	۰/۰۱	۱	۰/۱۵	۱۲/۶۹۳
فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری	کاهشی	۰/۱۹	۱۹	۲/۷۱	۱۴/۱۷۶
فاصله از چاه‌ها	کاهشی	۰/۰۲	۲	۰/۲۹	۱۲/۷۸۳
فاصله از مراکز جمعیتی شهری	کاهشی	۰/۱۵	۱۵	۲/۱۲	۱۴/۱۱۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

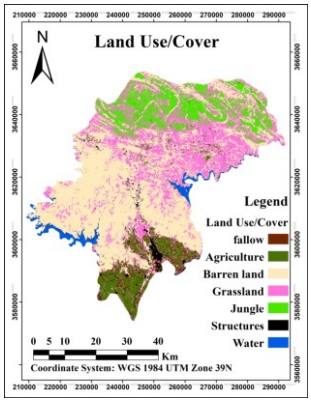
فاصله از مناطق صنعتی و نظامی	کاهشی	۰/۱۳	۱۳	۱/۸۳	۱۴/۲۶۹
فاصله از خطوط انتقال نفت	افزایشی	۰/۰۱	۱	۰/۱۶	۱۲/۶۶۱
فاصله از راه‌ها	کاهشی	۰/۱۱	۱۱	۱/۴۴	۱۳/۶۶۱
فاصله از شبکه خطوط انتقال برق	کاهشی	۰/۰۴	۴	۰/۴۹	۱۲/۶۱۷
گسل‌ها	افزایشی	۰/۰۲	۲	۰/۲۷	۱۲/۴۲۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۲-٤- ایجاد نقشه کاربری/ پوشش اراضی

به‌منظور استخراج محدودیت‌هایی از قبیل پوشش جنگلی، کاربری‌های شهری و حمل‌ونقل و نیز پهنه‌های آبی از طبقه‌بندی پیکسل‌پایه به روش ماشین بردار پشتیبان تصویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل-۲ استفاده شد. کاربری/پوشش‌های اراضی آیش، کشاورزی، بایر، جنگلی، ساخته شده و نیز پهنه‌های آبی در منطقه موردمطالعه تشخیص داده شده (شکل ۱۶ و جدول ۹) و از بین آن‌ها اراضی با کاربری/پوشش جنگلی، ساخته‌شده و آبی به‌عنوان محدودیت استخراج گردید.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۱۶. نقشه کاربری/پوشش اراضی منطقه موردمطالعه استخراج‌شده از تصویر سنتینل-۲

جدول ۹. مساحت (هکتار) هر کاربری/پوشش اراضی به همراه درصد آن

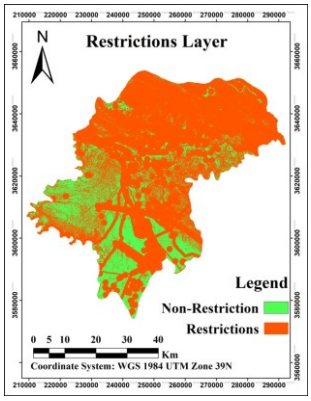
کاربری/پوشش	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
آیش	۵۷۸۹	۱/۸۶
کشاورزی	۲۲۴۷۱/۳	۷/۲۱
بایر	۱۴۳۱۵۰/۵	۴۵/۹۴
مرتع	۸۷۵۶۴/۸	۲۸/۱۰
جنگل	۳۸۹۰۴/۹	۱۲/۴۹
ساخته‌شده	۶۰۵۰/۴	۱/۹۴
آب	۷۶۴۱/۴	۲/۴۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۴-۲-۱- تعیین لایه حریم‌ها و محدودیت‌ها

با استفاده از حریم‌های ذکرشده در جدول (۷) برای هر معیار با استفاده از پیشینه پژوهش‌های انجام‌شده، نظر کارشناسی مؤلفان و همچنین نقشه کاربری پوشش اراضی، لایه حریم‌ها و محدودیت‌ها ایجاد شد. برای ایجاد لایه حریم‌ها و محدودیت‌ها، اراضی با کاربری/پوشش جنگلی، ساخته‌شده و آبی به‌عنوان محدودیت، از نقشه کاربری /پوشش اراضی انتخاب و با لایه حریم‌ها و محدودیت‌های هر معیار ادغام گردیدند (شکل ۱۷).



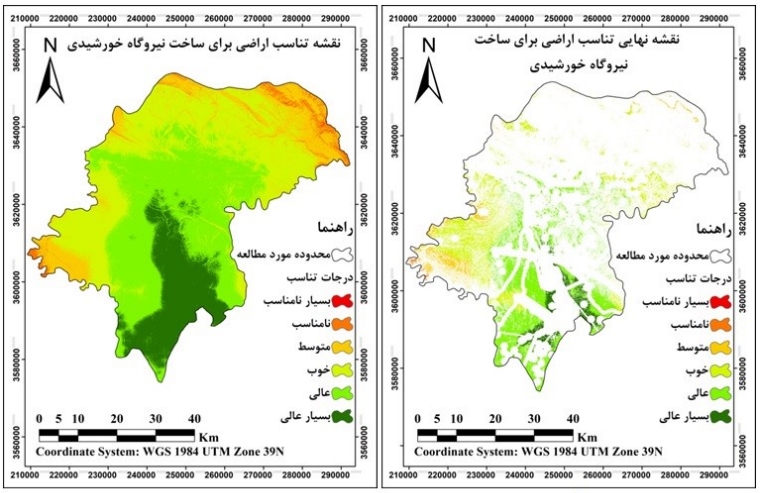
شکل ۱۷. لایه محدودیت‌ها و حریم‌ها

۳-٤. تهیه نقشه مکان‌یابی

بعد از محاسبه لایه‌های فواصل اقلیدسی و فازی و نیز تعیین وزن‌های کارشناسی توسط مدل AHP، لایه‌ها به روش ترکیب خطی وزنی (WLC) با هم ترکیب شده و با حذف حریم‌ها و محدودیت‌ها، نقشه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در منطقه مورد مطالعه حاصل شد (شکل‌های ۱۸). برای تعیین کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، مقادیر هر نقشه مکانیابی به ۶ کلاس با بازه‌های مساوی تقسیم شد. همانگونه که در جدول ۱۰ آمده است، کلاس تناسب عالی دارای

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

بیش‌ترین درصد از منطقه مورد مطالعه است. در حالت WLC مجموع مساحت حاصل‌شده در کلاس بسیار عالی ۴۹۳۳/۷۲ هکتار (۸/۶۸) محاسبه شد. طبق بررسی‌های دقیق‌تر مشخص گردید که کاربری/ پوشش‌های کشاورزی، بایر، مرتع و آیش به ترتیب ۴۶/۴۵، ۲۳/۹۸، ۱۵/۶۵و ۱۳/۹۲ درصد از اراضی مناسب برای تأسیس نیروگاه خورشیدی را به خود اختصاص داده‌اند. علت پیشنهاد سناریوی WLC مکان‌یابی استفاده از نظرات کارشناسان خبره است. به‌عبارت‌دیگر در این سناریو نقش مدیر پروژه بی‌طرفانه بوده و نظر شخصی مدیر پروژه اعمال نخواهد شد. با بررسی وزن معیارها در گزینه‌های (پیکسل‌های) منطقه مطالعاتی، مشخص شد که در ۷۶/۹۶ درصد از گزینه‌ها بیشترین وزن به معیار شیب تعلق دارد (شکل ۱۹).



شکل ۱۸. a نقشه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی بدون کسر و b بعد از کسر حریم‌ها

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۱۰. کلاس‌های مختلف تناسب اراضی به همراه مساحت و درصد برای نقشه مکان‌یابی نهایی (با کسر محدودیت‌ها)

شماره کلاس	درجه تناسب اراضی	مساحت (هکتار)	درصد	تعداد پیکسل
۱	بسیار عالی	۴۹۳۳/۷۲	۸/۶۸	۴۹۳۳۷۲
۲	عالی	۲۷۲۷۵/۳۹	۴۷/۹۸	۲۷۲۷۵۳۹
۳	خوب	۱۹۱۳۴/۲۴	۳۳/۶۶	۱۹۱۳۴۲۴
۴	متوسط	۵۰۹۴/۳۷	۸/۹۶	۵۰۹۴۳۷
۵	نامناسب	۳۸۷/۹۳	۰/۶۸	۳۸۷۹۳
۶	بسیار نامناسب	۲۲/۲۶	۰/۰۴	۲۲۲۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۵. رابطه همبستگی بین نقشه مکان‌یابی و ۱۲ معیار

رابطه همبستگی نقشه مکانیابی با معیارهای فازی شده خطی بکاربرده شده در مکان‌یابی در نرم‌افزار Arcmap۱۰،۸،۱ محاسبه گردید. همانطور که در جدول ۱۱ آمده است، بیشترین رابطه همبستگی مثبت و منفی نقشه تناسب اراضی به ترتیب با معیارهای فاصله از مناطق صنعتی/ نظامی و فاصله از شبکه راه‌آهن برقرار است.

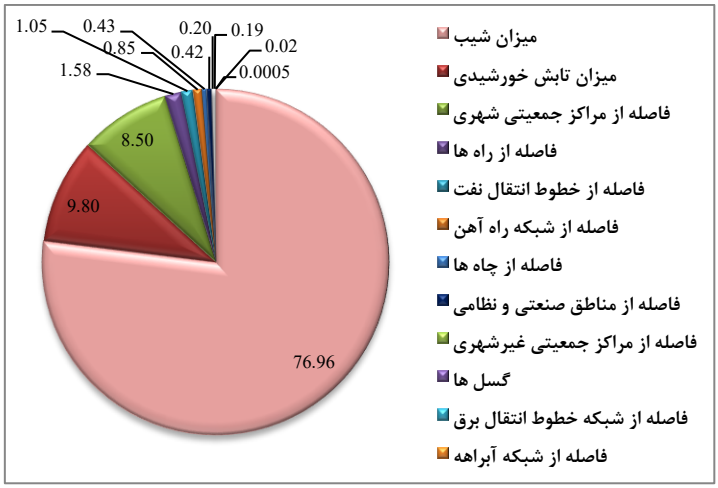
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

جدول ۱۱. رابطه همبستگی بین نقشه مکان‌یابی با هر یک از معیارهای فازی شده دخیل در آن

نام معیار	میزان همبستگی
میزان شیب	۰/۵۶
میزان تابش خورشیدی	۰/۱۱
فاصله از شبکه آبراهه	-۰/۱۳
فاصله از شبکه راه‌آهن	-۰/۵۴
فاصله از مراکز جمعیتی غیرشهری	۰/۳۳
فاصله از چاه ها	۰/۸۴
فاصله از مراکز جمعیتی شهری	۰/۸۳
فاصله از مناطق صنعتی و نظامی	۰/۸۵
فاصله از خطوط انتقال نفت	-۰/۷۳
فاصله از راه ها	۰/۳۷
فاصله از شبکه خطوط انتقال برق	۰/۷۶
گسل ها	-۰/۰۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]



شکل ۱۹. نمودار درصد پیکسل‌هایی که بیش‌ترین مقدار را در هر معیار در حالت *WLC* دارند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر یکی از کاربردهای مهم سیستم‌های پشتیبان تصمیم با استفاده از مدل AHP در محیط GIS جهت ایجاد نقشه تناسب اراضی برای ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در شهرستان اندیمشک، استان خوزستان، ایران است. بدین منظور ۱۲ معیار که ازنظر کارشناسان خبره و پژوهش‌های پیشین بااهمیت بودند انتخاب شدند. برای فازی‌سازی از روش کمینه‌سازی (کاهشی) و بیشینه‌سازی (افزایشی) استفاده گردید. وزن‌های کارشناسی هر معیار از طریق مدل AHP محاسبه شد. درنهایت با تلفیق لایه‌ها بصورت وزنی خطی (WLC) نقشه مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در منطقه موردمطالعه ایجاد گردید. نتایج پژوهش نشان داد که مناسب‌ترین اراضی برای ساخت نیروگاه خورشیدی تقریباً در نزدیکی محدوده شهر اندیمشک قرار دارند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

با وجودی که شهرستان اندیمشک دارای مناطق بالقوه و مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی است اما در این زمینه هیچ‌گونه سرمایه‌گذاری نمی‌شود. در عوض بیشتر سرمایه-گذاری‌ها معطوف ساخت نیروگاه‌های گازی (سوخت فسیلی) و بدون مکان‌یابی مناسب شده است. یکی از علت‌های مهم این امر این است که استان خوزستان و منطقه موردمطالعه دارای ذخایر عظیمی از سوخت‌های فسیلی است که نیاز کشور ایران و سایر کشورهای جهان را تأمین می‌کند و مسئولان محلی و ملّی سعی در استفاده هر چه بیشتر این انرژی‌دارند که خود می‌تواند با مفهوم توسعه پایدار در تضاد باشد.

۲-۵. پیشنهادات

در این پژوهش جهت تهیه نقشه کاربری/پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه تنها از یک تصویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل-۲ در زمان اوج پوشش گیاهی (فروردین ماه و به تاریخ ۲۰۲۲/۰۴/۲۰) استفاده شده است. در این حالت برخی از اراضی آیش، بایر محسوب شده و با توجه به فنولوژی گیاهی، جنگل‌های بلوط (در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه در زمان تصویربرداری در حالت بدون برگ و خواب زمستانی هستند) تشخیص داده نشده و به صورت اراضی بایر طبقه‌بندی می‌شوند. برای جلوگیری از این خطا، بهتر است از طبقه‌بندی توسط سری زمانی تصاویر سنتینل-۱ و ۲ استفاده شود. در این پژوهش از روش فازی‌سازی خطی برای معیارها استفاده‌شده است. اما می‌توان با توجه به ماهیت معیار و هدف پژوهش از سایر روش‌ها و توابع فازی مانند S، مثلث، ذوزنقه و ... استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود با توجه به اینکه بادهای غالب در منطقه مورد مطالعه عمدتاً غربی و شمال غربی هستند، از اراضی با تناسب خیلی عالی در غرب شهر اندیمشک استفاده گردد، بدین علت که آلاینده‌های هوای شهر کم‌تر به

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

تأسیسات حساس این نیروگاه‌ها آسیب وارد می‌کند. در ضمن توصیه می‌شود مکان نیروگاه خورشیدی در جهت دود حاصل از نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی نیز نباشد.

۶. منابع

۱. Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (۲۰۱۷). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, *206*, ۱۲۲۵-۱۲۴۰. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.apenergy.۲۰۱۷,۱۰,۰۲۴

۲. Chamchali, M. M & ,.Ghazifard, A. (۲۰۲۱). A comparison of fuzzy logic and TOPSIS methods for landfill site selection according to field visits, engineering geology approach and geotechnical experiments (case study: Rudbar County, Iran). *Waste Management & Research*, *39*(۲), ۳۲۵-۳۵۰. https://doi.org/۱۰,۱۱۷۷/۰۷۳۴۲۴۲x۲۰۹۵۲۸۳۹

۳. Chandio, I., Matori, A., WanYusof, K., Talpur, M. A. H., Balogun, A.-L., & Dano, D. U. L. (۲۰۱۲). GIS-based analytic hierarchy process as a multicriteria decision analysis instrument: A review. *Arabian Journal of Geosciences*, *6*. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۲۵۱۷-۰۱۲-۰۵۶۸-۸

۴. Halder, B., Banik, P., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., Al-Mutiry, M., Al Shahrani, H. F., & Abdo, H. G. (۲۰۲۲). Land Suitability Investigation for Solar Power Plant Using GIS, AHP and Multi-Criteria Decision Approach: A Case of Megacity Kolkata, West Bengal, India. *Sustainability*, *14*(۱۸), ۱۱۲۷۶. https://www.mdpi.com/۲۰۷۱-۱۰۵۰/۱۴/۱۸/۱۱۲۷۶

۵. Kiavarz, M., & Jelokhani-Niaraki, M. (۲۰۱۷). Geothermal prospectivity mapping using GIS-based Ordered Weighted Averaging approach: A case study in Japan's Akita and Iwate provinces. *Geothermics*, *70*, ۲۹۵-۳۰۴. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.geothermics.۲۰۱۷,۰۶,۰۱۵

۶. Mahdi, M., abdollahpour, J., Vahidinasab, V., & Ghazizadeh, M. S. (۲۰۲۲). The evaluation and prioritization framework of renewable energy sources and sustainable development in Iran, based on the

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

multi-criteria decision-making method. *epprjournal*, *8*(۲), ۰-۰. http://epprjournal.ir/article-۱-۱۰۸۷-fa.html

۷. Mahmoudi, M., Aydi, A., & Ibrahim, H. (۲۰۲۱). Site selection for artificial recharge with treated wastewater with the integration of multi-criteria evaluation and ELECTRE III. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(۳٤), ٤٦٧٤٨-٤٦٧٦٣. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳٥٦-۰۲۱-۱۲۳٥٤-٦

۸. Malczewski, Jacek, Rinner, & Claus. (۲۰۱٥). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/۹۷۸-۳-٥٤۰-۷٤۷٥۷-٤

۹. Marzban, M. J., Almodaresi, S. A., Ghaderi, S., & Kamangar, M. (۲۰۱٦ .(Zoning and Prioritization of Solar Energy for Constructing Powerhouse in the Yazd Province Using Decision Techniques. *epprjournal*, *1*(۱), ۷-۳۷. http://epprjournal.ir/article-۱-٦۸-fa.html

۱۰. Mather, P., & Tso, B. (۲۰۱٦). *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. CRC Press. https://books.google.com/books?id=oXpzROm۱۱QMC

۱۱. Mortazavi Chamchali, M., Mohebbi Tafreshi, A., & Mohebbi Tafreshi, G. (۲۰۲۱). Utilizing GIS linked to AHP for landfill site selection in Rudbar County of Iran. *GeoJournal*, *86*(۱), ۱٦۳-۱۸۳. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۰۷۰۸-۰۱۹-۱۰۰٦٤-۸

۱۲. Nohegar, A., Kamangar, M., Karami, P., & Ahmadidoost, B. (۲۰۱٦). Locating sustainable energy power plant through topsis decision making procedure. *Environmental Based Territorial Planning (Amayesh)*, *9*(۳۳), ۲٥-٤٤. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=٥۱۷۸۳٥

۱۳. Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. H. (۲۰۱٦). Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran. *Energies*, *9*(۸), ٦٤۳. https://www.mdpi.com/۱۹۹٦-۱۰۷۳/۹/۸/٦٤۳

۱٤. Rekik, S., & El Alimi, S. (۲۰۲۳). Optimal wind-solar site selection using a GIS-AHP based approach: A case of Tunisia. *Energy Conversion and Management: X*, *18*, ۱۰۰۳٥٥. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.ecmx.۲۰۲۳,۱۰۰۳٥٥

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

۱۵. Saaty, T., L. (۱۹۸۰). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill International .

۱۶. Saaty, T., L. (۱۹۹۰). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, *4*, ۹-۲۶ .

۱۷. Sadeqi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., & Horri, H. R. (۲۰۱۳a). Prioritize the Factors Affecting the Location of Renewable Energy Plants (Solar and Wind Energy) in Kerman Province Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Techniques [Research]. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, *0*(۲), ۹۳-۱۱۰. http://epprjournal.ir/article-۱-۳۲-fa.html

۱۸. Sadeqi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., & Horri, H. R. (۲۰۱۳b). Prioritize the Factors Affecting the Location of Renewable Energy Plants (Solar and Wind Energy) in Kerman Province Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Techniques. *epprjournal*, *0*(۲), ۹۳-۱۱۰. http://epprjournal.ir/article-۱-۳۲-fa.html

۱۹. Sedghiyan, D., Ashouri, A., Maftouni, N., Xiong, Q., Rezaee, E., & Sadeghi, S) .۲۰۲۱ .(Prioritization of renewable energy resources in five climate zones in Iran using AHP, hybrid AHP-TOPSIS and AHP-SAW methods. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *44*, ۱۰۱۰۴۵. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.seta.۲۰۲۱,۱۰۱۰۴۵

۲۰. Shafique, M., Luo, X., & Zuo, J. (۲۰۲۰). Photovoltaic-green roofs: A review of benefits, limitations, and trends. *Solar Energy*, *202*, ۴۸۵-۴۹۷. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.solener.۲۰۲۰,۰۲,۱۰۱

۲۱. Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (۲۰۲۰). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. *Renewable Energy*, *157*, ۳۷۷-۴۰۳. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.renene.۲۰۲۰,۰۴,۱۳۷

۲۲. Shorabeh, S. N., Firozjaei, M. K., Nematollahi, O ,.Firozjaei, H. K., & Jelokhani-Niaraki, M. (۲۰۱۹). A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, *143*, ۹۵۸-۹۷۳. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.renene.۲۰۱۹,۰۵,۰۶۳

۲۳. Shrestha, R., Acharya, A., Karmacharya, N., Sapkota, M., Paudyal, B., Basnet, P., Timilsina, S., & Shakya, H. (۲۰۲۲). Application of

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]

ahp and gis for optimal solar site identification in Madhesh province, Nepal. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *14*. https://doi.org/۱۰,۱۳۰۳۳/ijahp.v۱٤i۳,۹۸٦

۲٤. Sk Ajim, A., Parvin, F., Al-Ansari, N., Pham, Q. B., Ahmad, A., Raj, M. S., Anh, D. T., Ba, L. H., & Thai, V. N. (۲۰۲۱). Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: a case study of Memari Municipality, India. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(٦), ۷٥۲۸-۷٥٥۰. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳٥٦-۰۲۰-۱۱۰۰٤-۷

۲٥. Solangi, Y. A., Shah, S. A. A., Zameer, H., Ikram, M., & Saracoglu, B. O. (۲۰۱۹ .(Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy VIKOR approach. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(۲۹), ۳۰۲۸٦-۳۰۳۰۲. https://doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۳٥٦-۰۱۹-۰٦۱۷۲-۰

۲٦. Taki, M., & Mardani Najafabadi, M. (۲۰۱۹ .(Technical and economic evaluation of solar power plant (photovoltaic) grid-connected (Case study: ۱ MW power plant in Ahvaz city). *Journal of Renewable and New Energy*, *6*(۱), ۹۱-۱۰۲. http://www.jrenew.ir/article_۸۲۱۲۹_c۸٤c٦٦e۸bc۱٤٥a۹٥۰٤aecaad۸۷ce۱dad.pdf

۲۷. Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (۲۰۱٦). Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study. In L. M. Camarinha-Matos, A. J. Falcão, N. Vafaei, & S. Najdi, *Technological Innovation for Cyber-Physical Systems* Cham.

۲۸. Van Hoesen, J., & Letendre, S. (۲۰۱۰). Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning. *Renewable Energy*, *35*(۹), ۲۱۱٤-۲۱۲۲. https://doi.org/https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.renene.۲۰۱۰,۰۱,۰۱۸

۲۹. Zewdie, M. M., & Yeshanew, S. M. (۲۰۲۳). GIS based MCDM for waste disposal site selection in Dejen town, Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, *18*, ۱۰۰۲۲۸. https://doi.org/https://doi.org/۱۰.۱۰۱٦/j.indic.۲۰۲۳,۱۰۰۲۲۸

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-22]