



مکانیابی و ارزیابی انرژی باد برای احداث مزارع بادی - مطالعه موردی در استان فارس

فتح الله پورفیاض^{۱*}، حسن دهقان^۲

۱- دانشیار-گروه انرژی های نو و محیط زیست- دانشکده علوم و فنون نوین-دانشگاه تهران
۲- کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی- گروه انرژی های نو و محیط زیست- دانشکده علوم و فنون نوین-دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: pourfayaz@ut.ac.ir

چکیده

تحقیق حاضر با استفاده از یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری چند معیاره برای سنجش پتانسیل انرژی باد در استان فارس واقع در بخش جنوبی ایران و ارزیابی مکان های مناسب برای احداث یک نیروگاه بادی انجام شده است. مهمترین مانع برای توسعه گسترده تر منابع تجدید پذیر در ایران، قیمت سوخت‌های فسیلی است که پایین‌ترین سطح را در جهان داراست. دولت اخیراً تصمیم گرفته‌است یارانه‌های سوخت فسیلی را حذف کند، به این معنی که قیمت آن افزایش می‌یابد که این گزینه هزینه انرژی‌های تجدیدپذیر را جذاب‌تر می‌کند. در این مطالعه در مرحله اول از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای مکان‌یابی انرژی باد در استان فارس استفاده شده‌است. روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و معیار انتخاب مکان‌های مناسب برای منطقه مورد مطالعه توضیح داده شده‌است. معیارهای تصمیم‌گیری به دو دسته معیارهای فنی-اقتصادی و محیط زیستی-جغرافیایی تقسیم بندی شده‌است. معیارهای فنی-اقتصادی شامل سرعت باد، فاصله از خطوط انتقال برق، فاصله از راه های ارتباطی و شیب می باشند. همچنین در دسته دوم پدیده های محیط زیستی و جغرافیایی شامل رودخانه ها، مناطق حفاظت شده، گسل ها و مناطق مسکونی در نظر گرفته شده اند. نخست به روش محدودیت مناطق نامناسب حذف گردیده اند و در ادامه مناطق باقیمانده را با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و وزن دهی به هر یک از این معیار ها در چهار اولویت طبقه بندی شده اند. با ارزیابی نتایج بدست آمده مناسب ترین مناطق برای احداث یک نیروگاه بادی در شمال و شمال شرقی استان فارس متمرکز می باشند.

واژگان کلیدی: جی آی اس، مکانیابی، انرژی باد، تصمیم‌گیری چند معیاره



Location / Evaluation of Wind Energy for the Construction of Wind Farms - A Case Study in Fars Province

Fatollah Pourfayaz^{1*}, Hassan Dehghan²

1- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- MSc Student of Energy Systems Engineering, Department of Renewable Energies, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

Corresponding Author: pourfayaz@ut.ac.ir*

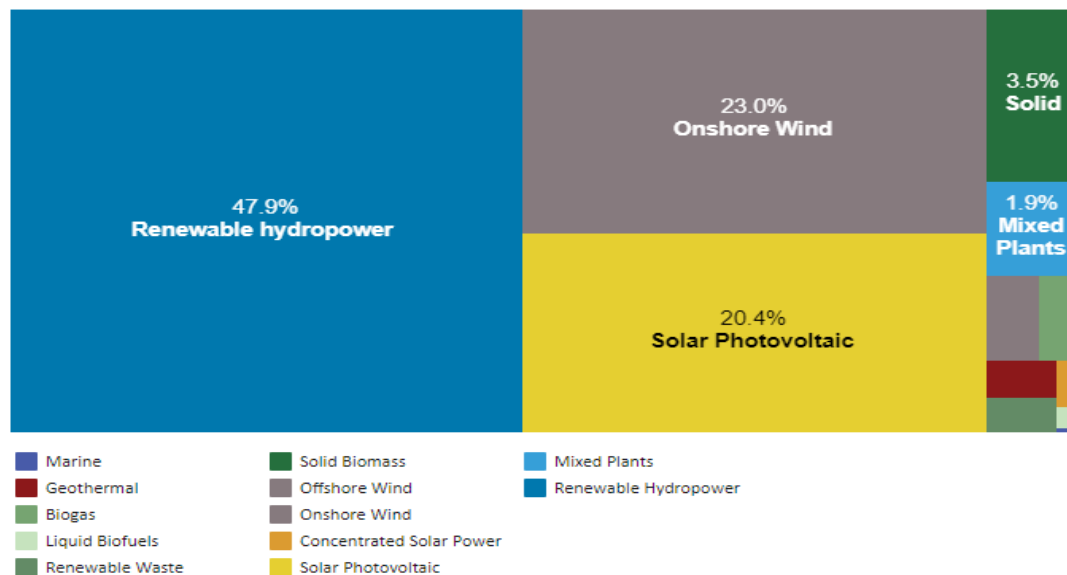
Abstract

The present study was conducted using a support multi-criteria decision making system to measure the wind energy potential in Fars province located in the southern part of Iran. Furthermore, evaluate the suitable locations for the construction of a wind farm. The most important obstacle to the wider development of renewable resources in Iran is the price of fossil fuels, which has the lowest level in the world. The government has recently decided to eliminate fossil fuel subsidies, meaning that prices will rise, which make the renewable energies a more attractive option. In this study, in the first stage, GIS has been used to locate wind energy in Fars province. The multi-criteria decision-making method and the criteria for selecting suitable locations for the study area are described. Decision-making criteria are divided into two categories: technical-economic and environmental-geographical criteria. Technical-economic criteria include wind speed, distance from power transmission lines, distance from communication routes and slope. Also in the second category, environmental and geographical phenomena including rivers, protected areas, faults and residential areas are considered. First, the inappropriate areas are eliminated by the method of limitation, and then the remaining areas are classified into four priorities using the AHP multi-criteria decision-making method and weighting to each of these criteria. Evaluating the results, the most suitable areas for the construction of a wind farm are concentrated in the north and northeast of Fars province.

Keywords: GIS, location, wind energy, multi-criteria decision making

۱- مرور ادبیات

انرژی باد رشد سریعی در میان دیگر فن‌آوری‌های انرژی تجدید پذیر داراست به طوری‌که استفاده از آن در سراسر جهان رو به افزایش است. در شکل ۱- توزیع استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر تا سال ۲۰۱۸ در کل دنیا را می‌توانید مشاهده کنید. در مجموع ۲۴ درصد از کل ظرفیت‌های نصب شده در دنیا انرژی بادی می‌باشد.



شکل (۱) توزیع انرژی‌های تجدید پذیر در دنیا

انرژی باد یک منبع انرژی تجدیدپذیر بسیار امیدوار کننده است که به دلیل داشتن تکنولوژی کامل و هزینه کم تولید، تعمیر و نگهداری علاوه بر دسترسی آسان به توربین‌های بادی کارآمد با ظرفیت چند مگاوات به سرعت در حال رشد می‌باشد [1]. در استفاده از انرژی باد دو چالش اساسی وجود دارد: مکان مناسب برای احداث مزرعه بادی و اندازه بهینه تجهیزات [2]. مکان‌هایی که دارای بیشترین منابع باد هستند همیشه مکان‌های امکان پذیر برای استفاده از انرژی باد نیستند. ارزیابی مناسب‌ترین مکان‌ها برای مزارع بادی می‌تواند یک گام مقدماتی و مهم قبل از استفاده از این منابع برای اهداف تولید انرژی پاک و پایدار باشد [3]. در این راستا از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در کنار یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره در بسیاری از مطالعات استفاده شده است. تیم هوفر و همکاران [4] تحقیقی در آخن در آلمان به انجام رسانیده‌اند. هدف از این مطالعه بهبود ارزیابی مکان مناسب با فراهم آوردن یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره جامع است که شامل معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی سیاسی و زیست‌محیطی است و بر مسائل مربوط به پذیرش اجتماعی تاکید دارد. این تحقیق یک رویکرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر GIS را بکار برده است، که در آن از یک گروه کارشناسان محلی و سهامداران برای مقایسه دو به دو معیارهای ثبت شده در جهت بدست آوردن اهمیت نسبی هر معیار کمک می‌گیرد. شهید علی و همکاران [5] در مطالعه‌ای به شناسایی مکان‌های ایده‌آل برای یافتن مزارع بادی و خورشیدی برای استانی در جنوب تایلند پرداختند. در این مطالعه از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) برای تحلیل معیارهای مختلف (معیار فیزیولوژیکی، محیطی،



اقتصادی) استفاده شده است. نتایج در این مطالعه نشان می‌دهد که منطقه رانوت دارای بالاترین پتانسیل برای استفاده و بهره‌وری انرژی بادی خورشیدی می‌باشد، این در حالیست که در چندین مناطق دیگر نیز شرایط و معیارهای لازم وجود دارد اما تنها به دلیل دوری از خطوط انتقال شبکه برق اهمیت این مناطق در سطح پایین تری نسبت به منطقه رانوت آورده شده است. در مطالعه دیگر ایودله و همکاران [6] یک مدل بر اساس سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای انتخاب مکان‌های مناسب برای مزارع بادی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی ۲ فازی در نیجریه پیشنهاد دادند. در این ارزیابی از دو دسته معیار (وزن و محدودیت) استفاده شده است و نتایج بدست آمده نشان می‌دهد عمده این مناطق مناسب برای مزارع بادی در منطقه شمالی نیجریه می‌باشد. در ایران نیز مکان یابی و پتانسیل سنجی انرژی باد در نقاط مختلفی انجام شده است. پتانسیل سنجی انرژی باد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در استان مرکزی در ایران توسط نورالهی و همکاران [7] انجام شده است. در این مطالعه از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و ضابطه‌های انتخاب مکان مناسب برای ارزیابی منابع انرژی باد در منطقه مورد مطالعه شرح و بسط داده شده است. همچنین در بندر دیلم در جنوب ایران پتانسیل سنجی مزارع بادی توسط دکتر فتانت و همکاران [8] با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری چند ضابطه‌ای فازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شش معیار اصلی شامل شیب و ارتفاع، مسائل زیست محیطی، نزدیک بودن به ساحل، جنبه‌های اقتصادی، سطح فنی منابع و معیارهای فرهنگی و هرکدام از زیر معیارهای فرعی آنها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

در مقاله حاضر، از GIS و روش تصمیم‌گیری AHP برای اولویت بندی مکان‌های امکان پذیر مزارع بادی در جنوب ایران، بر اساس معیارهای ارزیابی چندگانه استفاده شده است که مکان سیستم بادی را از نقطه نظر محیط زیستی، فنی - اقتصادی و جغرافیایی - زیرساختی بهینه می‌کند.

این مقاله بدین شکل سازماندهی شده است: در بخش نخست مروری بر روش پیشنهادی ارائه شده است. در ادامه نحوه انتخاب معیارهای تحقیق و اهمیت روش AHP تشریح شده است و کلیات که در پایان آورده شود. الویت بندی مکان‌های مناسب برای احداث مزرعه بادی در بخش ۳ تعیین شده است. بخش ۵ نتایج و بخش ۶ نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- روش تحقیق

۲-۱- معرفی نرم افزار GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره

سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System - GIS): یک سیستم اطلاعاتی است که به تولید، پردازش، تحلیل و مدیریت اطلاعات جغرافیایی (اطلاعات مکانی) می‌پردازد. به عبارت دیگر جی‌آی‌اس یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی بوده که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی را دارد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP): یک تکنیک ساختاری برای سازماندهی و تحلیل تصمیم‌گیری‌های پیچیده است. بر اساس ریاضیات و روانشناسی، توسط توماس ال ساعتی در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافته و به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته و از آن به بعد بهبود یافته است. این روش کاربرد های خاصی در تصمیم‌گیری گروهی دارد و در سراسر جهان در انواع گسترده‌ای از شرایط تصمیم‌گیری، در زمینه‌هایی مانند دولت، کسب و کار، صنعت، بهداشت و درمان و آموزش و پرورش استفاده می‌شود.

در این تحقیق مجموعه کاملی از معیار های موثر در روند انتخاب سایت با بررسی تحقیقات پیشین و مقالات معتبر و نظر کارشناسان گرد آوری شده است. تعداد ۸ معیار در دو دسته فنی-اقتصادی، محیط زیستی-جغرافیایی تقسیم شده است که در جدول ۱ به همراه جزییات آورده شده اند.

جدول ۱. معیار های مورد استفاده در تحقیق

ارزش	محدودیت و قیود	زیرمعیار	معیار	
۱	بیشتر از ۴ متر بر ثانیه	سرعت باد [9]	فنی-اقتصادی	
۰	کمتر از ۴ متر بر ثانیه			
۰	بیشتر از ۱۵٪	شیب [10]		
۱	کمتر از ۱۵٪			
۱	بیشتر از ۸۰۰ متر	خطوط انتقال برق [11]		
۰	کمتر از ۸۰۰ متر			
۱	بیشتر از ۵۰۰ متر	فاصله از راه های ارتباطی [12][13]		
۰	کمتر از ۵۰۰ متر			
۱	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	مناطق حفاظت شده [14][15]		محیط زیستی
۰	کمتر از ۲۰۰۰ متر			
۱	بیشتر از ۱۰۰۰ متر	مناطق زلزله خیز [2][14]		
۰	کمتر از ۱۰۰۰ متر			
۱	بیشتر از ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از روستاها	مناطق مسکونی [16]		
۰	کمتر از ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از روستاها			
۰	کمتر از ۲۰۰۰ متر از شهرها و ۵۰۰ متر از روستاها	بستر های آبی [11][14]		
۱	بیشتر از ۵۰۰ متر			
۰	کمتر از ۵۰۰ متر	ارتفاع [16]		
۰	بیشتر از ۲۰۰۰ متر			
۱	کمتر از ۲۰۰۰ متر			

اولین قدم در مکان یابی سایت های مناسب برای احداث مزارع بادی، حذف مناطق نامناسب (مناطق با ارزش صفر) استان فارس در راستای پردازش داده های مکانی می باشد. در مرحله بعد این مکان های مناسب با استفاده از روش تمیم گیری چند معیاره

ارزش گذاری شده و اولویت بندی خواهند شد. در این مرحله، این مناطق با استفاده از یک روش فازی برای تعیین مناطق بهینه رتبه بندی می شوند. در این نقشه های برداری (vector) هر کدام از معیار ها به لایه های داده های رستر (raster data layers) تبدیل می شوند. سپس نقشه های فازی دیجیتال هر کدام از معیار ها تهیه می شوند. مقدار فازی (fuzzy value) هر پیکسل از این نقشه ها بین صفر تا یک قرار دارد و هرچه که این مقدار به یک نزدیک تر باشد از اولویت بالاتری برخوردار می باشد.

۲-۲- فرمول ها و روابط ریاضی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بر اساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که این قضاوتها و محاسبات را تسهیل می بخشد. هم چنین AHP سازگاری و ناسازگاری تصمیمها را نشان می دهد که به نوبه خود یک امتیاز در تصمیم گیری چند معیاره محسوب می شود [17].

AHP نه نقطه را برای بیان اولویت هایی که کارشناسان تنظیم و قضاوت می کنند به کار می گیرد [18]. نه نقطه اساسی که به عنوان اهمیت معیارها توسط کارشناسان بکار رفته اند در جدول زیر آورده شده اند.

جدول ۲. نه مقیاس اساسی تعریف شده ساعتی [19]

مقدار عددی	تعریف
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر
۲,۴,۶,۸	ترجیحات بین فواصل قوی

جدول ۳. شاخص تصادفی ساعتی [19]

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	0	0	۰/۵۲	۰/۸۹	۱/۱۱	۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۴۰	۱/۴۵	۱/۴۹

قدم هایی که در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی باید طی شوند به صورت زیر می باشند
(۱) جمع ستونی اعداد اختصاص داده شده به معیارها در ماتریس مقایسه زوجی.
(۲) تقسیم هر عدد به جمع کل ستون نظیرش (نرمال سازی).
(۳) محاسبه میانگین عناصر در هر ردیف ماتریس نرمال شده.

این میانگین ها ترکیب وزن نسبی (W) از معیارهای مقایسه را نشان می دهند. یکی از مزایای AHP امکان تعیین سازگاری و انجام قضاوت برای هر معیار است. مکانیسم مجموعه ای که برای ارزیابی سازگاری قضاوت در نظر گرفته شده است محاسبه نسبت سازگاری است. نسبت سازگاری (CR) می گوید که چگونه پاسخ های تصمیم گیرنده با هم سازگارند. هرچه این شماره بالاتر باشد به معنی سازگاری کمتر است. به طور کلی اگر نسبت ناسازگاری مساوی یا بیشتر از ۰/۱ باشد نشان می دهد تصمیم گیرنده باید

پاسخ ها را در طول مقایسه دو به دو ارزیابی مجدد نماید. با توجه به ویژگی های ماتریس های دوجانبه، نسبت سازگاری (CR) می تواند ارزیابی شود. در یک ماتریس دوجانبه مقدار ویژه λ_{max} همواره بزرگتر یا معادل تعداد سطر ها یا ستون ها (n) است. اگر یک قیاس دو به دو هیچ ناسازگاری شامل نشود $\lambda_{max} = n$ [19]

نرخ ناسازگاری (CI) که ناسازگاری مقایسه های دو به دو را نشان می دهد از رابطه زیر قابل مقایسه است.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

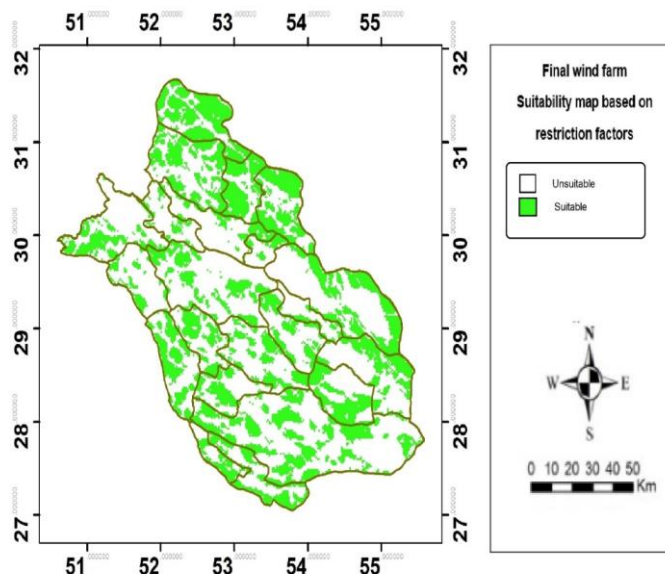
و مقیاس وابستگی ارزیابی دو به دو را می توان با استفاده از معادله زیر تحت عنوان نسبت ناسازگاری (CR) ارزیابی کرد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

مقادیر شاخص تصادفی (RI) که برای ارزیابی CR به کار می رود که با اندازه ماتریس تغییر می کند در جدول ۲-۳ نشان داده شده اند. به عنوان یک اصل کلی اگر CR کمتر از ۱۰ درصد باشد نتایج مقایسه زوجی ما قابل قبول خواهد بود. به غیر از این تصمیم گیرنده باید تصمیم گیری های خود را اصلاح کند. ارزش CR زیر ۱۰ درصد برای همه ماتریس مقایسه ما نشان می دهد که ماتریس دو به دو ارایه شده توسط متخصصان ضرورتی به بازنگری ندارد. سرعت باد، فاصله از خطوط انتقال برق، فاصله از بزرگراه ها و جاده ها زیرمعیارهایی هستند که با استفاده از روش AHP مورد ارزیابی قرار گرفته و به هر کدام یک ضریب اهمیت نسبت داده می شود.

۳- یافته ها

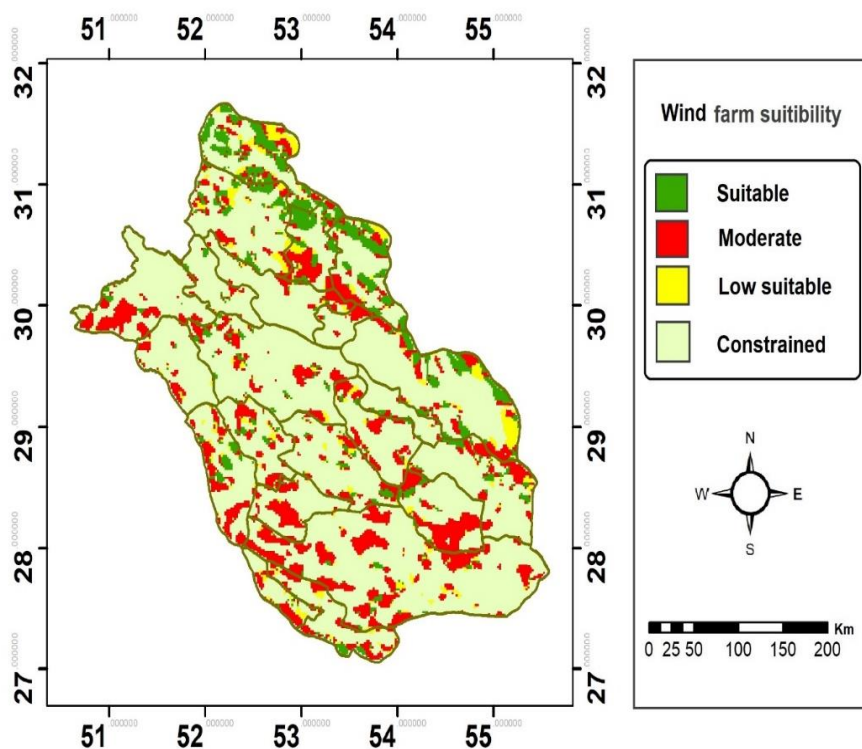
اولین قدم در مکان یابی سایت های مناسب برای احداث مزارع بادی، حذف مناطق نامناسب استان فارس در راستای پردازش داده های مکانی می باشد. نقشه مکان های محدود شده استان فارس بر اساس محدودیت های ذکر شده در بخش قبل در محیط نرم افزار ARC GIS تهیه شده است. (شکل ۲). مناطق سبز رنگ برای نصب تاسیسات بادی مناسب می باشند.



شکل ۲) نقشه مناطق مناسب بر اساس محدودیت ها

نرم افزار GIS به همراه روند تحلیل سلسله مراتبی AHP و معیارهای مختلف در راستای مشخص کردن مکان های مناسب به کار گرفته شد. نقشه محیط زیستی-جغرافیایی و معیار های فنی- اقتصادی با استفاده از روش AHP روی هم قرار گرفته و مکان نهایی ارائه شده است. شکل مکان های مناسب برای مزارع بادی در استان فارس را نشان می دهد که به ۴ بخش خیلی خوب، خوب، متوسط و نامناسب تقسیم بندی شده است.

مکان یابی نهایی با همپوشانی نتایج حاصل از روش محدودیت و روش طبقه بندی انجام گرفت و در نهایت همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود بهترین مناطق که به رنگ سبز مشخص شده است شامل بخش هایی از شمال شهرستان آباده، شهرستان خرم بید و بوانات می باشد. در درجه دو بعد از مناطق خیلی خوب (سبز رنگ) مناطق به رنگ قرمز هستند که جز دسته مناطق خوب برای احداث مزارع بادی به شمار می روند و در کل سطح استان فارس پراکنده شده است.



شکل ۳) نقشه اولویت بندی شده مناسب مناسب

۴- بحث و نتیجه‌گیری

استان فارس به لحاظ مکانی در رشته کوه زاگرس قرار گرفته است و همین امر موجب می شود تا در مرحله اول این تحقیق بخش بسیاری از مناطق به وسیله محدودیت ارتفاع به عنوان مناطق نامناسب حذف شوند و در مجموع با اعمال کلیه محدودیت ها تنها ۲۱ درصد از کل استان برای احداث مزارع بادی مناسب ارزیابی می شود. در مرحله ثانویه با اعمال ضرایب وزنی بدست آمده از روش AHP این مناطق مناسب در چهار دسته اولویت بندی شد. به صورت کلی مناطق با بالاترین پتانسیل برای احداث مزارع بادی عمدتاً در بخش شمالی و شمال شرقی استان ارزیابی شده است که این اتفاق نیز با توجه به سرعت باد در این مناطق که در جریان تحقیق از بالاترین ضریب وزنی برخوردار بوده است کاملاً قابل توجیه می باشد. نتیجه این تحقیق نشان می دهد که بر اساس معیارها و روش‌های یکپارچه سازی بر اساس آنچه که در فصل سه تعریف شده است، عمدتاً بخش شمالی و شمال شرقی استان فارس شامل بخش شمالی شهرستان آباده، شهر ایزدخواست واقع در شمال استان فارس، بخش مرکزی شهرستان خرم بید، بخش مرکزی و شرقی شهرستان بوانات بهترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد.

پیشنهادات برای آینده که به نظر می رسد موجب نتایج جامع‌تر در مبحث مکان‌یابی و اصلاح عملکرد و اثربخشی سیستم تولید توان خواهد شد، به شرح زیر است:

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده علاوه بر معیارهای مورد استفاده در این پژوهش معیارهای دیگری فاصله از پست های توزیع در نظر گرفته شود، تا نتایج مطالعه بطور جامع تری همگی عوامل تاثیر گذار را در نظر بگیرد. همچنین میتوان سایر منابع تجدید پذیر همانند انرژی خورشیدی را نیز برای استان ارزیابی کرد و نتایج این تحقیق را برای ارزیابی اقتصادی یک سیستم ترکیبی تجدید پذیر مورد استفاده قرار داد.

منابع

- [1] M. A. Baseer, S. Rehman, J. P. Meyer, and M. M. Alam, "GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia," *Energy*, vol. 141, pp. 1166–1176, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.10.016.
- [2] A. Maleki, F. Pourfayaz, H. Hafeznia, and M. A. Rosen, "A novel framework for optimal photovoltaic size and location in remote areas using a hybrid method: A case study of eastern Iran," *Energy Convers. Manag.*, vol. 153, pp. 129–143, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.061.
- [3] R. Van Haaren and V. Fthenakis, "GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 7. Elsevier Ltd, pp. 3332–3340, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.04.010.
- [4] T. Höfer, Y. Sunak, H. Siddique, R. M.-A. energy, and undefined 2016, "Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen," *Elsevier*.
- [5] S. Ali, J. Taweekun, K. Techato, J. Waewsak, S. G.-R. energy, and undefined 2019, "GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand," *Elsevier*.
- [6] T. Ayodele, A. Ogunjuyigbe, O. Odigie, J. M.-A. energy, and undefined 2018, "A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria," *Elsevier*.



- [7] Y. Noorollahi, H. Yousefi, M. M.-S. E. Technologies, and undefined 2016, "Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS," *Elsevier*.
- [8] P. https, "Hybrid BWM-ELECTRE-based decision framework for effective offshore outsourcing adoption: a case study," doi: 10.1080/00207543.2018.1472406.
- [9] S. Ali, J. Taweekun, K. Techato, J. Waewsak, and S. Gyawali, "GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand," *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 1360–1372, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.035.
- [10] S. Ali, J. Taweekun, K. Techato, J. Waewsak, and S. Gyawali, "GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand," *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 1360–1372, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.035.
- [11] O. N. Mensour, B. El Ghazzani, B. Hlimi, and A. Ihlal, "A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco," *Energy*, vol. 182, pp. 900–919, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.063.
- [12] T. R. Ayodele, A. S. O. Ogunjuyigbe, O. Odigie, and J. L. Munda, "A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria," *Appl. Energy*, vol. 228, pp. 1853–1869, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.07.051.
- [13] M. Zoghi, A. Houshang Ehsani, M. Sadat, M. javad Amiri, and S. Karimi, "Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68. Elsevier Ltd, pp. 986–996, 01-Feb-2017, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.014.
- [14] Y. Noorollahi, H. Yousefi, and M. Mohammadi, "Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 13, pp. 38–50, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.seta.2015.11.007.
- [15] H. Z. Al Garni and A. Awasthi, "Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia," *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 1225–1240, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- [16] R. Van Haaren, V. F.-R. and sustainable energy reviews, and undefined 2011, "GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State," *Elsevier*.
- [17] M. Bertolini, M. Braglia, G. C.-I. J. of Project, and undefined 2006, "Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract," *Elsevier*.
- [18] T. L. Saaty, "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process," *Interfaces (Providence)*, vol. 24, no. 6, pp. 19–43, Dec. 1994, doi: 10.1287/inte.24.6.19.
- [19] T. Saaty, L. T.-M. and C. Modelling, and undefined 2007, "On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process," *Elsevier*.