Research Article

Agricultural Engineering., 47(2) (2024)239-257 ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.46900.1728 ISSN (E): 2588-5944

Locating a power plant with biogas feed obtained from anaerobic digestion of animal manure (Case study: Southeast of Khuzestan province)

A. Shekofte del[1], A. Asakereh[2*], M. Soleymani[3] and S.M. Safieddin Ardebili[4]

1. M.Sc. Student, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 13 May 2024 Accepted: 20 June 2024 *Corresponding Author: A.Asakereh@scu.ac.ir

Abstract

Introduction: Anaerobic digestion, in addition to producing biogas, can minimize the environmental problems of animal manure and produce high-quality fertilizer. Finding suitable places for the construction of anaerobic digestion reactors is essential for the sustainable development of these types of power plants. Locating the biogas production site is a complex process with different and sometimes contradictory criteria including environmental, economic and technical criteria from which the location-related factors play the main role. The integration of geographic information systems (GIS) with multi-criteria decision making (MCDM) provides a powerful tool that can be useful in locating biogas power plants.

Materials and Methods: In this study, spatial and non-spatial data were integrated with geographic information system in order to determine the optimal places for installing anaerobic digesters of livestock and poultry waste in the southeast of Khuzestan province. Data related to the type and number of livestock and poultry were collected separately from the Ministry of Agriculture. The location of livestock farms and chicken farms was determined using the GPS system. Livestock and poultry raised in the traditional way in the villages were not taking into account due to the problems of collecting manure and lack of economic justification. In order to determine the evaluation criteria and score them, similar studies, rules and guidelines, as well as the Delphi technique were used. 14 sub-criteria were evaluated in three main environmental, social-safety and topographical groups. Land suitability layers for the construction of anaerobic digestion reactors were prepared from the perspective of all sub-criteria in the GIS environment. In order to simplify calculations and easier weighting of criteria and sub-criteria to obtain the final result, some layers of criteria were combined. In this way, 14 layers were combined and overlapped until 7 layers of final criteria were formed. Since the spatial potential layer of biogas production is the main criterion and has the main effect on the suitability of land for the construction of a power plant, and on the other hand, it has no essential relationship with other criteria, it was valued separately. Roads and residential areas were also valued separately due to the greater importance of lower transport costs, accessibility, reducing transport time and losses, as well as environmental, health and safety impacts. The overall layer of surface water was obtained by multiplying the four layers of land suitability considering the sea, river, wetland and flood prone

© 2024 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

areas. Sensitive areas including forest, agriculture and protected areas were also considered in an exclusive layer. The other two layers were the combination layer of slope, height and fault, and the combination of railway lines and high voltage power lines. These layers were weighted using pairwise comparisons and hierarchical analysis method. The final layer of land suitability for the construction of anaerobic digesters and power plant was created by overlapping all the criteria layers based on the obtained weight.

Results and Discussion: The findings showed that anaerobic digestion of livestock and poultry wastes in the region has a potential to produce 7.25 million m3/year of biogas. Cow and chicken excrement have the largest share with 51.32 and 29.34 percent, respectively. The restriction layer showed that 73.28% of the area is unusable due to one or more restrictions. The results also showed that "regional biogas production potential" and "access to roads and energy consumption centers" are respectively the most effective factors in determining the appropriate location for the power plant. Finally, using spatial analysis in ArcGIS environment, the studied area was classified into five suitability levels: "unsuitable", "weak", "moderate", "suitable" and "very suitable". Based on this, 73.28% of the studied area was completely unsuitable and only 1.68% of the studied area was very suitable for the construction of a power plant. But in almost all the studied areas, there was enough land with suitable or very suitable conditions to build a biogas plant.

Conclusion: In the studied area, lands with suitable conditions for the construction of a power plant from animal waste using anaerobic digestion technology were identified. There is a suitable distribution of "suitable" or "very suitable" levels in the study area for the construction of a biogas power plant. The findings of this study can be a guide for those in charge to make a decision for the construction of a power plant.

Keywords: Renewable energy, Biogas, Location analysis, Suitability of land use, Environmental factors.

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۷ شماره۲، تابستان ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

مکان‌یابی نیروگاه با خوراک زیست‌گاز حاصل از کود حیوانی و طیور (مطالعه موردی: جنوب شرق استان خوزستان)

عباس شکفته دل[۱]، عباس عساکره[۲*]، محسن سلیمانی[۳] و سید محمد صفی الدین اردبیلی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
٤- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱

کلمات کلیدی:

انرژی تجدیدپذیر،

زیست‌گاز،

تحلیل موقعیت مکانی،

تناسب کاربری اراضی،

عوامل زیست محیطی

* عهده دار مکاتبات

Email: A.asakereh@scu.ac.ir

چکیده

هضم بی‌هوازی فضولات دام و طیور به منظور تولید زیست‌گاز و کود مرغوب، فناوری مناسبی برای به حداقل رساندن مشکلات زیست‌محیطی حاصل از آنها می‌باشد. در این مطالعه داده های مکانی و غیرمکانی، جهت تعیین مکان‌های بهینه برای نصب هاضم‌های بی هوازی فضولات دام و طیور در جنوب شرق استان خوزستان، با سیستم اطلاعات جغرافیایی ادغام شدند. برای مکان‌یابی مناسب، سه مجموعه از عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی-ایمنی و توپوگرافی در یک تحلیل با استفاده از ١٤ معیار مد نظر قرار گرفت. با توجه به نتایج، امکان تولید سالانه ۷/۲۵ میلیون مترمکعب زیست‌گاز در منطقه مورد مطالعه، از طریق هضم بی‌هوازی فضولات دام و طیور وجود دارد. لایه‌های معیارها بر اساس وزن به دست آمده توسط کارشناسان همپوشانی گردید و لایه تناسب اراضی جهت احداث هاضم بی‌هوازی و نیروگاه ایجاد شد. نتایج حاکی از آن است که "پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز" و "دسترسی به جاده و مراکز مصرف انرژی"، به ترتیب مؤثرترین عوامل موثر بر تعیین مکان نیروگاه هستند. با استفاده از تحلیل فضایی در محیط ArcGIS، سطح منطقه به پنج رده "نامناسب"، "ضعیف"، "متوسط"، "مناسب" و "بسیار مناسب" برای احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز طبقه‌بندی شد. بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه با ۷۳/۲۸ درصد در رده "کاملا نامناسب" قرار گرفت در حالی که رده "بسیار مناسب" کم‌ترین مساحت را با ۱/٦٨ درصد به خود اختصاص داد. همچنین لایه تناسب اراضی نشان داد که توزیع مناسبی از سطوح با رده "مناسب" یا "بسیار مناسب" در منطقه مورد مطالعه، برای احداث نیروگاه زیست‌گاز وجود دارد.

مقدمه

یکی از اهداف اصلی توسعه پایدار دستیابی به منابع انرژی پاک و قابل اعتماد است (۲۲). زیست‌گاز یک گزینه انرژی تجدیدپذیر است که عمدتاً از متان و دی‌اکسید کربن تشکیل شده است و به عنوان سوخت پاک می‌تواند برای تولید هم‌زمان گرما و برق، حمل و نقل یا تزریق به شبکه گاز استفاده شود (۲۸، ۴۵). یکی از رایج‌ترین و مهم‌ترین فناوری‌های تولید زیست‌گاز، هضم بی‌هوازی (AD[1]) مواد آلی است (۴۵). این فناوری برای تولید گاز حاوی حدود ۶۰ در صد متان، از ضایعات آلی حجیم و کم ارزش، مناسب است. از گاز حاصله می‌توان برای تولید برق و گرما استفاده کرد (۱۷). کود دامی منبع بسیار مناسبی برای تولید زیست‌گاز با فناوری AD است که معمولاً به مقدار زیاد در دامداری‌ها و مناطق روستایی تولید می شود. استفاده مستقیم از کود حیوانی در کشاورزی مشکلات زیست‌محیطی مانند بو، آلودگی آب های سطحی، خاک و آلودگی هوا را به همراه دارد. هضم بی‌هوازی کود ها، علاوه بر تولید زیست‌گاز، می‌تواند آلودگی محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، بو و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زای کود حیوانی را کاهش دهد و کودی با کیفیت بالا تولید کند (۱۴). تحقیقات نشان داده است که استفاده از کود حاصل از پسماند هضم بی‌هوازی باعث افزایش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (۷، ۱۰). فناوری هضم بی هوازی و تولید زیست‌گاز می‌تواند جایگزین مناسبی برای انرژی های فسیلی، به ویژه در مناطق روستایی و دورافتاده باشد. استفاده از این انرژی تجدیدپذیر می‌تواند امنیت و استقلال انرژی را به همراه داشته باشد و به نوسازی جوامع شهری و روستایی کمک کند. همچنین بدین وسیله درآمد اضافی برای کشاورزان فراهم می‌شود، انعطاف پذیری جوامع روستایی، تقویت و مشاغل جدیدی ایجاد می‌شود (۴۲). اخیراً نصب هاضم‌های بی هوازی برای تولید زیست‌گاز از کود حیوانی برای دستیابی به مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است (۱۱، ۱۴، ۲۴، ۴۵). یافتن مکان‌های مناسب برای احداث و نصب هاضم‌های بی‌هوازی، برای ترویج توسعه ساخت این نوع نیروگاه‌ها ضروری است (۳۷). این مکان‌یابی، یک فرآیند پیچیده با معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و فنی مختلف و گاهی متناقض است که در آن عوامل مکانی نقش اصلی را ایفا می‌کنند (۳۸). از این رو، استفاده تلفیقی از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) و تصمیم‌گیری چند معیار[3] (MCDM) برای مکان یابی احداث و نصب هاضم‌های بی هوازی و نیروگاه های زیست‌گاز می‌تواند مفید باشند. مطالعات نشان می‌دهد که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی ابزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل کاربری زمین است که می‌تواند داده های عوامل و معیار های مختلف را به صورت یکپارچه در نظر بگیرد و تجزیه و تحلیل و ارزیابی فضایی جامع را برای تناسب زمین انجام دهد (۲۶، ۳۶، ۴۰، ۴۵). روش های تصمیم‌گیری چند معیاره شامل تکنیک‌هایی برای ساختاردهی مشکلات تصمیم‌گیری با معیارهای متعدد و متضاد است که با ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌های تصمیم‌گیری به تصمیم‌گیرندگان در اتخاذ بهترین تصمیم کمک می‌کنند (۲۹). مطالعات مختلفی در زمینه تحلیل تناسب زمین برای تعیین مکان مناسب برای تولید انرژی پاک و تجدید پذیر مانند زیست‌گاز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش های تصمیم‌گیری چند معیاره در بسیاری از کشورها انجام شده است. به عنوان مثال، مکان احداث هاضم‌های تولید زیست‌گاز با استفاده از پسماند لبنی به عنوان خوراک، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره در کشور پرتغال مورد مطالعه قرار گرفت که نشان داد سیستم اطلاعات جغرافیایی و تصمیم‌گیری چند معیاره ابزاری مناسب برای ارزیابی تناسب زمین جهت احداث هاضم‌های تولید زیست‌گاز است و منجر به ارزیابی منعطف و یکپارچه می شود (۳۷). در مطالعه‌ای نشان داده شد که امکان تولید سالانه ۲۷۴۰ میلیون مترمکعب متان از کودهای دامی و زباله‌های خانگی روستایی در ایران وجود دارد. در این مطالعه، مدلی با استفاده از GIS برای شناسایی مکان‌های مناسب برای ساخت نیروگاه تولید

1- Anaerobic Digestion (AD)

2- Geographic Information System
3- Multi-Criteria Decision-Making

زیست‌گاز از کود حیوانی و زباله‌های خانگی روستایی توسعه یافت (۴۵). در مطالعات دیگر، از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل فضایی تولید زیست‌گاز یا مکان‌یابی احداث ضم‌های بی‌هوازی جهت تولید زیست‌گاز نیز استفاده شده است (۲، ۱۴، ۲۰، ۳۸، ۴۲، ۴۴). شاخص‌های مختلفی جهت ارزیابی تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه انرژی‌های تجدیدپذیر مانند منابع آبی، مناطق اکولوژی حساس و حفاظت شده، مناطق مسکونی و سازه‌های انسانی، شبکه برق، شبکه حمل و نقل، شیب زمین، مناطق سیل‌خیز (۸، ۳۷، ۳۹، ۴۵) در نظر گرفته شده است.

در دامداری‌ها و همچنین در مناطق روستایی ایران، همواره مقادیر زیادی فضولات دامی تولید می‌شود که به دلیل مدیریت نامناسب و انباشته شدن آن‌ها مشکلات زیادی از جمله بوی نامطبوع، رشد و انتشار میکروب‌ها، حشرات و مشکلات سلامتی ایجاد می‌کنند. معمولاً در ایران از کود حیوانی به صورت سنتی بدون فرآوری به عنوان کود کشاورزی استفاده می‌شود. فضولات تازه دام دارای مواد مغذی مناسبی مانند کربن، نیتروژن و همچنین میکروارگانیسم‌های زیادی برای انجام فرآیند بیولوژیکی هضم بی‌هوازی است و می‌توانند به عنوان بهترین گزینه برای تولید زیست‌گاز و بیوانرژی مورد توجه قرار گیرد. این در حالی است که در برخی موارد انرژی مورد نیاز در مناطق روستایی به ویژه مناطق دور افتاده توسط تانکرها با هزینه‌های بالا تأمین می‌شود (۴۵). با هضم بی‌هوازی این فضولات حیوانی می‌توان علاوه بر کاهش مشکلات زیست‌محیطی و تولید کود مرغوب، بخشی از انرژی مورد نیاز محلی را با تولید زیست‌گاز تأمین کرد و در ایجاد محیط زندگی پاک، اشتغال‌زایی بومی، تنوع تجارت روستایی و فرآوری ضایعات به روش پایدار تأثیر گذار بود (۷). از این رو بررسی تعیین مکان‌های مناسب جهت نصب ضم‌های بی‌هوازی و احداث نیروگاه زیست‌گاز در کشور می‌تواند زمینه را برای توسعه تولید این انرژی تجدید پذیر فراهم کند. در این مطالعه پتانسیل فضایی تولید زیست‌گاز از فضولات دامی که به صورت عملی قابل دسترس باشد در جنوب شرق استان خوزستان که یکی از مهم‌ترین مراکز دام‌پروری و دامداری می‌باشد، تعیین گردید. سپس با توجه به پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز و عوامل زیست‌محیطی، توپوگرافی و اجتماعی-ایمنی، مناسب‌ترین مکان‌ها جهت نصب ضم بی‌هوازی و احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز مشخص گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه جنوب شرق استان خوزستان است که شامل شهرستان‌های آغاجاری، امیدیه، بهبهان، رامشیر، رامهرمز، ماهشهر و هندیجان می‌باشد و در محدوده جغرافیایی بین طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵ دقیقه و ۹ ثانیه و ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه و ۴۷ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۵ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه و ۵۲ ثانیه شمالی گسترده شده است. مساحت کل این گستره حدود ۱۴۴۶۳ کیلومترمربع می‌باشد و مطابق آمار سال ۱۳۹۵ مرکز آمار ایران، شامل ۶۳۶ روستا و آبادی با جمعیت انسانی ۶۷۸۸۰۸ نفر است. وجود مناطق حساس در منطقه هدف مانند مناطق حفاظت شده، جنگل‌های طبیعی، تالاب‌ها، سواحل، رودخانه‌ها، گسل و مناطق سیل خیر اهمیت مکان‌یابی دقیق برای احداث نیروگاه در این منطقه را دو چندان کرده است. این منطقه یکی از مناطق مهم دام‌پروری استان خوزستان است. نوع و تعداد دام‌ها و طیور هر روستا و دام‌پروری‌های صنعتی به تفکیک از جهاد کشاورزی شهرستان جمع‌آوری شد و موقعیت مکانی آن‌ها با GPS تعیین گردید. در این مطالعه دام‌هایی که در محیط باز پرورش داده می‌شوند به دلیل مشکلات جمع‌آوری کود و عدم توجیه اقتصادی در نظر گرفته نشدند و تنها دام‌ها و طیوری که در محیط بسته پروش داده می‌شوند در نظر گرفته شدند.

مراحل کلی مطالعه کنونی شامل: ۱-جمع‌آوری داده های مکانی دام و طیور و تهیه لایه پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز، ۲-تعیین مهم‌ترین عوامل و معیارهای مؤثر در تعیین مکان احداث نیروگاه با استفاده از مطالعات مشابه، قوانین و کارشناسان، ۳-آماده‌سازی و پردازش داده‌ها و ایجاد لایه تناسب از نظر هر معیار و عامل، ۴- تلفیق لایه‌های معیارها و تعیین اهمیت و وزن‌دهی لایه‌های تلفیقی، ۵- نرمال سازی لایه‌ها در GIS و پیاده سازی

مدل همپوشانی بر اساس وزن‌ها و ۶- تهیه نقشه تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه زیست‌گاز، می‌باشد.

معیارهای ارزیابی

جهت تعیین معیارهای ارزیابی و امتیازدهی به آن‌ها از مطالعات مشابه، قوانین و دستورالعمل‌ها و تکنیک دلفی استفاده گردید. یکی از روش‌های ساختار یافته و دارای چهارچوب برای ارتباط میان کارشناسان که می‌توان با کمک آن تصمیم‌گیری و تحلیل در شرایط ابهام را با حداقل خطای ممکن انجام داد، روش یا تکنیک دلفی است. برای مکان‌یابی، معیارها باید به گونه‌ای تعیین گردند که همه جوانب زیست‌محیطی، اجتماعی، انسانی و اقتصادی را پوشش دهند. در این مطالعه پس از تعیین اولیه معیارها و عوامل بر اساس مرور منابع، برای تعیین نهایی معیارها و وزن‌دهی از روش دلفی استفاده گردید. در طراحی پرسشنامه از عوامل و پارامترهای بیان شده در سازمان انرژی‌های تجدید پذیر، سازمان حفاظت از محیط‌زیست، سازمان برنامه‌ریزی کشور، سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا[1] و مطالعات مشابه استفاده گردید.

در مطالعات مشابه عوامل و معیارها در دسته‌های مختلفی مانند زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی و ایمنی (۲، ۳۷، ۳۹)، کاربری اراضی، اجتماعی-سیاسی و زیرساخت‌ها (۱۷) تقسیم شده‌اند. در این مطالعه، چهار معیار اصلی "پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز"، "توپوگرافی"، "زیست‌محیطی" و "اجتماعی-ایمنی" جهت تعیین مکان مناسب احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز با فناوری هضم بی‌هوازی در نظر گرفته شدند. امتیاز نهایی ۱۴ زیرمعیاری که توسط کارشناسان و همچنین محدودیت مطالعه انتخاب شدند، در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است برخی از این معیارها مانند جاده‌ها علاوه بر مسائل ایمنی، نقش مؤثری در کاهش هزینه و زمان حمل و نقل و آلودگی زیست‌محیطی دارد. با توجه به امتیازهای جدول ۱، لایه‌های هر زیرمعیار در محیط GIS ایجاد گردید.

پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز

سهولت دسترسی و نزدیکی به مراکز تولید خوراک (کود دامی و طیور) هاضم‌های بی‌هوازی، مهم‌ترین عامل در ارزیابی اراضی جهت احداث و نصب نیروگاه تولید زیست‌گاز از فضولات دام و طیور خواهد بود. برای در نظر گرفتن این عامل لایه رستری پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز از فضولات دامی در محیط GIS تهیه گردید. پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز (BP) از کود حیوانی و طیور با تکنولوژی هضم بی‌هوازی برحسب مترمکعب در سال بر اساس رابطه ۱ تعیین گردید و لایه وکتوری نقطه‌ای آن در محیط GIS تهیه گردید.

$$BP_i = \sum_{i=1}^{n} A_i \times DM_i \times FR_i \times FVS_i \times BY_i \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، BP_i پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز در نقطه i (در نقشه GIS)، A_i تعداد دام یا طیور در نقطه i؛ DM، مقدار ماده خشک (کیلوگرم در روز به ازای هر دام یا طیور)؛ و FR، ضریب بازیافت (کسر قابل جمع‌آوری کود) را نشان می‌دهد (۱۵، ۳۲). FVS نشان دهنده مقدار مواد جامد فرار به ازای هر واحد ماده خشک و BY، مقدار تولید زیست‌گاز از مواد جامد فرار است (۳۲). در محیط GIS برای ۱۷ بخش شهرستان‌ها، مرکز ثقل وزنی پتانسیل تولید مکانی زیست‌گاز تعیین گردید. سپس بر اساس لایه رستری فاصله از مراکز ثقل وزنی و پتانسیل تولید هر بخش با استفاده از رابطه ۲، لایه تناسب اراضی از نظر دسترسی و نزدیکی منطقه به مواد اولیه تولید زیست‌گاز به تفکیک مراکز ثقل در محیط GIS ایجاد گردید. نهایتا، لایه نهایی دسترسی و نزدیکی به مواد اولیه جهت تولید زیست‌گاز، با جمع لایه‌ها به دست آمد.

$$z = \sum_{i=1}^{16} \frac{max(x_i) - x_i}{max(x_i)} * BP_i \qquad (۲)$$

در رابطه ۲، x، نشان دهنده فاصله از مراکز ثقل هر بخش است. حداقل فاصله، برابر با صفر و حداکثر فاصله برابر با دورترین نقطه منطقه مورد مطالعه از مرکز ثقل است. هر قدر فاصله از مراکز عمده تولید زیست‌گاز (مراکز ثقل با پتانسیل بالاتر تولید زیست‌گاز) کمتر باشد، امتیاز آن بیشتر خواهد شد و نشان دهنده مناسب‌تر بودن برای احداث نیروگاه از نظر دسترسی و نزدیکی به مواد اولیه است.

1- Environmental Protection Agency (EPA)

جدول (۱) معیارها و محدودیت‌های در نظر گرفته شده در منابع و نحوه امتیازدهی به معیارها در مطالعه کنونی

Table (1) Criteria and limitations considered in the literature and scoring criteria in the current study

معیارها Criteria	زیرمعیارها Sub- Criteria	اراضی غیرقابل استفاده در مطالعات قبلی Unexploitable land in the literature	مطالعه کنونی In current study
زیست‌محیطی Environmental	رودخانه River	200 m (42, 45), 1 km (12, 31, 34)	0-1 km (score 0), 1-2 km (score 3), 2-3 km (score 5), 3 km< (score 10)
	دریا و دریاچه Sea and lake	3 km (18, 39)	0-3 km (score 0), 3-4 km (score 5), 4-5 km (score 7), 5 km < (score 10)
	تالاب و خور Wetland and estuary	1 km (12, 23)	0-1 km (score 0), 1-2 km (score 5), 2-3 km (score 7), 3 km< (score 10)
	مناطق سیل خیر Flood prone areas	1 km (7, 23)	0-1 km (score 0), 1-2 km (score 5), 2-3 km (score 7), 3 km < (score 10)
	مناطق حفاظت شده Protected areas	1 km (12, 31, 33)	0-1 km (score 0), 1-2 km (score 5), 2-3 km (score 7), 3 km < (score 10)
	جنگل Forest	200 m (45), 400 m (12, 39)	محدوده ۵۰۰ متر جنگل نیمه متراکم امتیاز ۰، سایر مناطق امتیاز ۱۰ Buffer area of 500 m semi-dense forest score 0, other areas score 10
	اراضی کشاورزی و باغی Agricultural and garden lands	50 m (2), 300 m (1, 6, 30)	0-330 m (score 0), 300-500 m (score 3), 500-700 m (score 5), 700-1000 m (score 7), 1000 m< (score 10).
توپوگرافی Topography	گسل Fault	200 m (30, 33), 600 m (16), 1 km (9)	0-1 km (score 0), 1-2 km (score 3), 2-4 km (score 5), 4-6 km (score 7), 6-8 km (score 9), 8 km < (score 10).
	شیب زمین slope of the land	>15% (7, 9, 31, 37, 44)	0-4% (score 10), 4-6% (score 8), 6-8% (score 6), 8-10% (score 4), 10-12% (score 2), 12-15% (score 1), 15%< (score 0)
	ارتفاع از سطح دریا Elevation	300 m (44), 360 m (41), 1 km (18)	0-500 m (score 10), 500-1000 m (score 7), 1000-1500 m (score 5), 1500-2000 m (score 3), 2000 m< (score 0)
اجتماعی- ایمنی Social-Safety	سکونتگاه‌ها Settlement	500 m (18), 2 km (3, 34) <2 km & >30 km (30, 35, 39)	محدوده شهری/Urban: <2 km & >22 km (score 0), 2-4 km (score 5), 4-7 km (score 7), 7-12 km (score 10), 12-14 km (score 8), 14-16 km (score 6), 16-18 km (score 4), 18-22 km (score 2) روستا/Rural: 1 km buffer (score 0), other (score 10)
	جاده‌ها و شبکه حمل و نقل Roads and transportation network	300 m (33), 200 m (12), <500 m & >25 km (23, 31, 31), >10 km (12)	جاده های اصلی/Main road: 0-300 m (score 0), 300-700 m (score 5), 700-1000 m (score 7), 1-4 km (score 10), 4-14 km (decreasing linearly), 14 km < (score 0) جاده های فرعی/Secondary roads: 0-200 m (score 0), 200-600 m (score 5), 600-1000 m (score 9), 1-2 km (score 10), 2-3 km (score 7), 3-4 km (score 5), 4-5 km (score 3), 5 km < (score 1)
	راه‌آهن Railway	500 m (35), 300 m (12, 39)	0-500 m (score 0), 500-700 m (score 5), 700-1000 m (score 7), 1000 m< (score 10)
	خطوط برق فشار قوی High voltage power lines	500 m (12, 35)	0-500 m (score 0), 500-1000 m (score 5), 1000-1500 m (score 7), 1500 m< (score 10)

معیارهای زیست‌محیطی

معیارهای زیست محیطی مهمی که در این مطالعه مورد در نظر گرفته شدند شامل فاصله از رودخانه، دریا و دریاچه، تالاب و خور، مناطق حفاظت شده، جنگل، مناطق در معرض سیل و اراضی کشاورزی و باغی می‌باشد. به دلیل اهمیت رودخانه ها در تأمین آب آشامیدنی و کشاورزی و لزوم حفظ منابع طبیعی، حداقل فاصله مطمئنی از رودخانه برای احداث نیروگاه باید در نظر گرفته شود. در این مطالعه محدوده بافر ۱ کیلومتر برای رودخانه در نظر گرفته شد (۱۲، ۳۱، ۳۴).

به جهت اهمیت حفاظت از دریا و دریاچه‌ها به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های بزرگ موجود، حداقل فاصله از آن‌ها برای تأسیس هرگونه نیروگاه بر اساس مقررات و ضوابط استقرار واحدهای تولیدی و صنعتی کشور، ۱۵۰۰ متر بیان شده است (۳). در مطالعات مشابه محدود بافر ۳ کیلومتر از دریا و سواحل در نظر گرفته شده است (۱۸، ۳۹). بر این اساس و با دیدگاهی محتاطانه، محدوده بافر ۳ کیلومتر از دریا در نظر گرفته شد. تالاب ها و خور ها و مناطق حفاظت شده بخش دیگری از مناطق مهم محیط زیست منطقه مورد مطالعه بوده که طبق مقررات و ضوابط استقرار واحدهای تولیدی و صنعتی کشور (۳) و برخی منابع (۱۲، ۳۱، ۳۳) حداقل فاصله ۱۰۰۰ متر برای آن‌ها در نظر گرفته شد. بر اساس مطالعات مشابه (جدول ۱)، برای اراضی کشاورزی نیز محدوده بافر ۳۰۰ متر در نظر گرفته شد.

معیارهای توپوگرافی

معیارهای توپوگرافی که برای تأسیس نیروگاه در این پژوهش در نظر گرفته شدند شامل فاصله از گسل، شیب زمین و ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. گسل یک ویژگی ژئولوژی[1] خطرناک در فرآیند انتخاب زمین برای تأسیس نیروگاه است که میزان خطر تخریب سازه نیروگاه در نزدیکی گسل‌های زمین بسیار بالا می‌باشد. از این رو احداث نیروگاه در فاصله‌ای مناسب از گسل‌های زمین امری ضروری است (۱۲، ۳۳). شیب زمین و ارتفاع یک پارامتر ژئومورفولوژیکی[2] در مطالعه محل احداث نیروگاه است که به صورت مؤثری بر پایداری محل ساخت نیروگاه و نصب تجهیزات آن تأثیرگذار است. با افزایش شیب زمین هزینه تسطیح زمین و ساخت سازه‌های نیروگاه افزایش می‌یابد. بنابراین هرچه محل مورد نظر برای ساخت نیروگاه دارای شیب کمتر باشد، ارزش بیشتری برای انتخاب دارد (۲، ۱۴، ۳۹). هرچه ارتفاع محل احداث از سطح دریا افزایش یابد، هزینه‌های انتقال تجهیزات، کارگر و احداث نیروگاه افزایش می‌یابد در نتیجه برای تأسیس و راه‌اندازی نیروگاه ارزش کمتری دارد (۴۴). محدوده بافر و ارزش‌دهی منطقه از نظر معیار های توپوگرافی جهت انتخاب مکان مناسب احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز در جدول ۱ نشان داده شده است.

معیارهای اجتماعی-ایمنی

معیارهای اجتماعی-ایمنی به جهت حضور انسان‌ها و خطرات و مشکلات بالقوه از مهم ترین و حساس‌ترین معیار ها برای تعیین محل احداث نیروگاه می‌باشد. معیارهای اجتماعی-ایمنی که برای تعیین محل احداث نیروگاه زیست‌گاز در نظر گرفته شده است شامل محدوده سکونت شهری و روستایی، جاده ها، راه‌آهن و خطوط برق فشار قوی می‌باشد. در معیارهای اجتماعی-ایمنی بسته به اهمیت معیار، حریم های متفاوتی در مطالعات مشابه تعیین گردیده است، اما آنچه مسلم است به نزدیک‌ترین حریم محدوده سکونت شهری و روستایی و سایر معیارهای اجتماعی-ایمنی، کمترین امتیاز اختصاص داده شده است تا احتمال انتخاب محل احداث نیروگاه به نقاط مسکونی و محل‌های تردد به حداقل برسد. فاصله نیروگاه از محل سکونت انسان از دو منظر مهم است. نزدیکی بیش

1- Geology

2- Geomorphology

از حد می‌تواند با عث مخاطرات احتمالی نظیر مسائل بهداشتی و بوی نامطبوع برای انسان گردد و از طرفی فاصله بیش از حد، باعث افزایش هزینه‌های حمل و نقل، نگهداری از تأسیسات و افزایش تلفات انتقال انرژی خواهد شد (۵، ۳۹). بر اساس مقررات و ضوابط استقرار واحدهای تولیدی و صنعتی کشور (۳) حداقل فاصله محل احداث نیروگاه از محدوده شهری ۲ کیلومتر در نظر گرفته شد و امتیاز صفر به آن تعلق گرفت. با افزایش فاصله از شهرها، امتیاز اراضی افزایش می‌یابد تا در فاصله ۷ تا ۱۲ کیلومتری به حداکثر (۱۰) می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد تا در فاصله ۲۲ کیلومتر مجددا به صفر می‌رسد (جدول ۱).

از دیگر مسائل اجتماعی-ایمنی، راه های ارتباطی هستند. به لحاظ میزان دسترسی مناسب به جاده، کاهش هزینه‌های ساخت و حمل مصالح و مواد اولیه تولیدی و خوراک نیروگاه، نزدیکی به جاده یک امتیاز مثبت است (۱۳، ۴۴)، ولی از نظر ایمنی، معیار های زیست محیطی، حفظ بهداشت، کاهش اثرات نامطلوب بوی متصاعد شده و همچنین از منظر زیبایی شناختی چشم‌اندازها، هر چه فاصله بیشتر باشد دارای امتیاز مثبت بیشتری است (۱۹، ۳۹). بنابراین برای یافتن مکان مناسب جهت احداث نیروگاه، ضمن رعایت حریم لازم و مسائل بهداشتی و ایمنی، دسترسی به جاده و مسیرهای ارتباطی یک مزیت است. فواصل مختلفی در مطالعات مشابه از حداقل ۳۰-۵۰۰ متر (۱۹، ۲۳، ۴۴) تا حداکثر ۳۰ کیلومتر (۲۳، ۳۹) بیان شده است. بر اساس جدول ۱، فاصله اراضی جهت احداث نیروگاه از هر یک از معیارهای اجتماعی-ایمنی از ۱ تا ۱۰ ارزش گذاری و خطوط این فواصل، با گزینه Graphic Buffer Analysis ترسیم گردید.

تلفیق لایه‌ها و وزن‌دهی لایه‌ها

جهت ساده‌سازی محاسبات و وزن دهی ساده‌تر به معیارها برای به دست آوردن نتیجه نهایی، برخی لایه‌های معیار ها تلفیق شدند. بدین صورت ۱۴ لایه در ۷ لایه، تجمیع و همپوشانی گردیدند. به دلیل اینکه لایه پتانسیل تولید زیست‌گاز، معیار اصلی بود و تأثیر اصلی را در تعیین مکان مناسب احداث نیروگاه داشت، و از طرفی ارتباط بنیادینی با سایر معیار ها ندارد، به صورت مجزا ارزش‌گذاری شد. جاده و محدوده‌های مسکونی به دلیل تأثیر زیاد بر هزینه‌های انتقال، دسترسی، کاهش زمان و تلفات انتقال و همچنین اثرات زیست‌محیطی و ایمنی و بهداشت، جداگانه ارزش گذاری شدند. لایه آب های سطحی از ضرب چهار لایه تناسب اراضی از نظر دریا، رودخانه، تالاب و خور و مناطق در معرض سیل، به دست آمد. در این حالت نقطه‌ای که حداقل از نظر یک معیار دارای ارزش صفر است در لایه آب‌های سطحی نیز دارای ارزش صفر خواهد بود و نقطه‌ای که از نظر همه معیار ها دارای ارزش ۱۰ و کاملاً مناسب است در لایه آب های سطحی نیز کاملاً مناسب و بدون محدودیت خواهد بود. از آنجایی که این لایه از ضرب چهار لایه به دست آمده است، حداکثر امتیاز آن برابر با ۱۰۰۰۰ خواهد بود و بقیه نقاط بین ۰ و ۱۰۰۰۰ می‌باشند. از ضرب لایه‌های مناطق حفاظت شده، جنگل و کشاورزی، لایه مناطق حساس به دست آمد. لایه‌های شیب، ارتفاع و گسل، با هم و لایه‌های راه‌آهن و خطوط برق فشار قوی نیز باهم دو لایه تلفیقی دیگر را تشکیل دادند.

نرمال‌سازی لایه‌ها

به دلیل متفاوت بودن تعداد لایه‌های معیار ها در لایه‌های تلفیقی، هر کدام از لایه‌های تلفیقی در بازه های متفاوتی ارزش‌گذاری شده‌اند. لذا برای جلوگیری از تأثیر متفاوت و غیر همسان آن‌ها بر نتیجه نهایی و یکنواخت کردن بازه مقادیر، لایه‌های تلفیقی که از ضرب چند لایه رستری تناسب اراضی از نظر معیارهای مختلف در محیط GIS ایجاد شدند با استفاده از رابطه ۳ نرمال سازی و در محدوده صفر و ۱۰ ارزش‌گذاری شدند.

$$z = \frac{\mathrm{v} - \min(\mathrm{v})}{[\max(\mathrm{v}) - \min(\mathrm{v})]} \times 10 \qquad (۳)$$

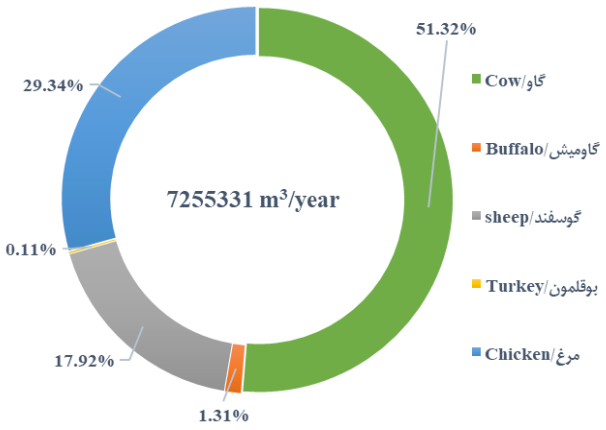
در این رابطه v، نشان دهنده ارزش داده شده به هر پیکسل برای هر معیار است.

نتایج و بحث

پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز

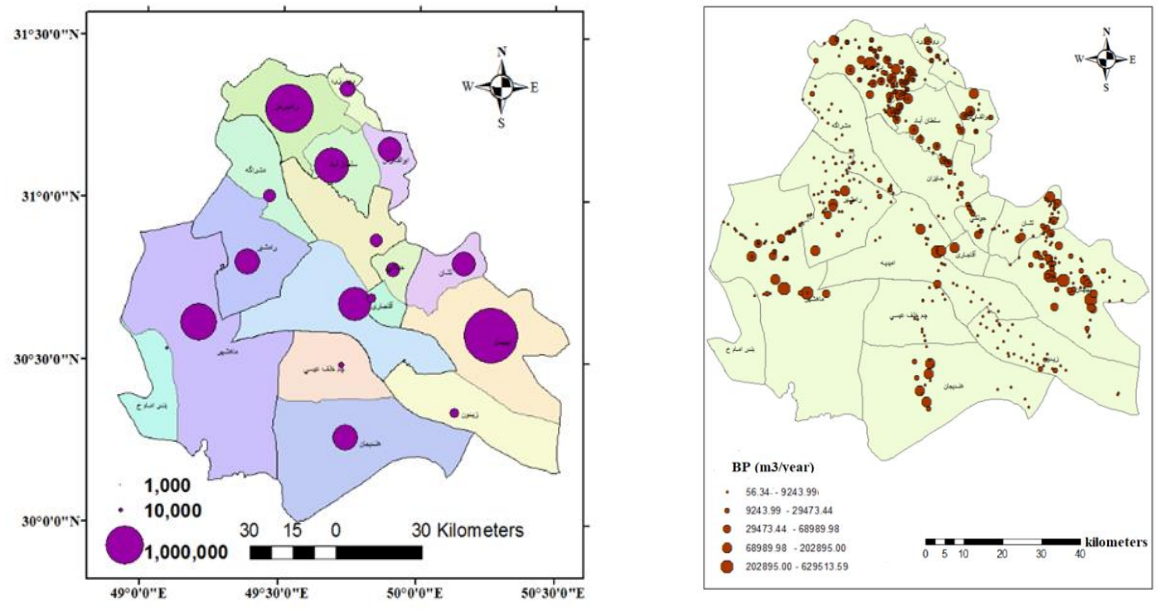
کل پتانسیل عملی و قابل دسترس جهت تولید زیست‌گاز از فضولات دامی با در نظر گرفتن محدودیت‌های جمع‌آوری در منطقه مورد مطالعه برابر با ۷۲۵۵ هزار مترمکعب در سال محاسبه گردید که فضولات گاو و مرغ به ترتیب با ۵۱/۳۲ و ۲۹/۳۴ در صد بیشترین سهم منابع را دارا می‌باشند (شکل ۱). بر اساس داده های ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۹ (۵) این مقدار حدود ۲/۱۸ در صد مصرف گاز طبیعی در بخش کشاورزی استان خوزستان است. با توجه به تغییرات در تعداد و نوع تعداد دام‌ها در طول زمان، پتانسیل تولید زیست‌گاز می‌تواند در بین مناطق، دام‌ها و سال‌ها متفاوت باشد. پتانسیل محاسبه شده بر اساس دام‌های پرورش داده شده در محیط بسته و قابلیت ۵۰ درصدی بازیافت و جمع‌آوری کود حیوانی (۱۵) و ۹۰ در صدی فضولات طیور (۳۲) است. این در حالی است که بخش عمده دام‌های منطقه به خصوص دام سبک به صورت آزاد یا نیمه آزاد پرورش داده می شوند. طبق داده‌هایی که از جهاد کشاورزی شهرستان‌های منطقه مطالعه به دست آمد، توسعه پروش دام در سال اخیر بیشتر به صورت نگهداری در محیط بسته و کنترل شده بوده است و این روند در حال افزایش است. از این رو انتظار می‌رود پتانسیل تولید زیست‌گاز در آینده افزایش یابد. شکل ۱ نشان می‌دهد که پتانسیل تولید زیست‌گاز از فضولات بوقلمون، ناچیز و قابل صرف نظر است.

در شکل ۲ (a) میزان پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز از فضولات دام و طیور در محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه از پتانسیل خوبی برای تولید زیست‌گاز برخوردارند که این امر به دلیل پراکندگی دامداری‌ها و مرغداری‌ها در این منطقه می‌باشد. با این وجود تراکم دامداری‌ها و مرغداری‌های بزرگ در شهرستان‌های بهبهان و رامهرمز بیشتر است و به همین دلیل این دو شهرستان بیشترین پتانسیل تولید زیست‌گاز را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس پراکندگی و حجم پتانسیل تولید زیست‌گاز، مرکز ثقل مکانی تولید زیست‌گاز برای ۱۷ بخشالف منطقه مورد مطالعه به صورت مجزا تهیه و نقشه آن در شکل ۲ (b) نشان داده شده است.



شکل (۱) پتانسیل و سهم عوامل مختلف در تولید زیست‌گاز در منطقه

Figure (1) The potential and contribution of different factors in biogas production



شکل (۲) پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز (a) و مرکز ثقل وزنی پتانسیل تولید زیست‌گاز در هر بخش (b)

Figure (2) Spatial potential of biogas production (a) the center of gravity of biogas production potential in each sector (b)

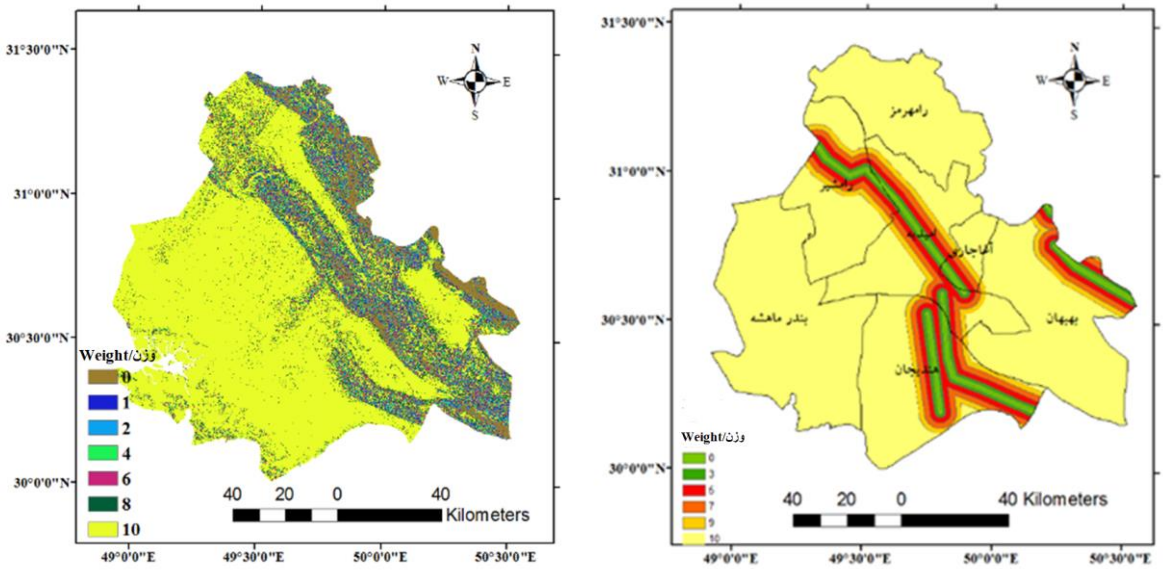
بررسی اراضی منطقه از نظر نزدیکی به مراکز تولید به فضولات دام و طیور نشان داد که اراضی شهرستان بهبهان و رامهرمز، به دلیل پتانسیل بالاتر تولید فضولات و وجود دامداری‌های زیاد، شرایط مساعدتری جهت احداث نیروگاه دارند و از این نظر امتیاز بالایی دریافت کردند. با این وجود، پهنه وسیع دیگری از منطقه، دارای امتیاز بالایی می‌باشد که نشان دسترسی مناسب بخش وسعی از منطقه به مواد اولیه جهت تولید زیست‌گاز می‌باشد. بنابراین این معیار (دسترسی و نزدیکی به مراکز تولید فضولات دام و طیور) محدودیت زیادی برای مکان‌یابی احداث نیروگاه ایجاد نمی‌کند. با این وجود بهترین مکان برای احداث یک هاضم بی هوازی باید تا حد امکان نزدیک به منبع زیست‌توده باشد تا بر مشکلات حمل و نقل سوخت غلبه کند (۴۵). همان طور که بیان شد، پسماند حاصل از هضم بی‌هوازی دارای حجم زیادی است که به عنوان کود فراوری شده استفاده می‌شود (۱۰). بنابراین وجود مزارع و باغات فراوان که مصرف کننده پسماند حاصل از هضم بی‌هوازی هستند، در نزدیکی مکان احداث نیروگاه از اهمیت زیادی برخوردار است. منطقه مورد بررسی دارای کشاورزی پویایی است و به سادگی پتانسیل مصرف کود را دارا می‌باشد. با این وجود استفاده از کود دامی در شهرستان‌های بهبهان و رامهرمز به طور چشمگیری بیشتر از سایر شهرستان‌هاست.

تناسب اراضی از نظر معیارهای زیست‌محیطی

بر اساس جدول ۱، فاصله کمتر از ۱ کیلومتر از رودخانه به عنوان منطقه غیرقابل استفاده (با مقدار ارزش صفر) و فاصله بیش از ۳ کیلومتر کاملاً مناسب و بدون محدودیت جهت احداث نیروگاه است (ارزش برابر با ۱۰) و امتیاز، از ۱ تا ۳ کیلومتر، افزایشی است. بافرگیری در محیط ArcGIS نشان داد ۳۶/۹۵ درصد از محدوده مورد مطالعه به دلیل مجاورت با حریم رودخانه غیرقابل استفاده بوده و ۲۸/۴۴ در صد، کاملاً مناسب است. حدود ۸/۸۲ درصد از محدوده، در حریم ممنوعه دریا و دریاچه (تا فاصله ۳ کیلومتر) و غیرقابل استفاده است که بیشتر شامل سواحل خلیج فارس در جنوب منطقه مورد مطالعه است. حدود ۸۸/۴ درصد منطقه در فاصله بیش از ۷ کیلومتر از دریا قرار دارد (امتیاز ۱۰). همچنین ۱۱/۸۹ در صد از محدوده مورد مطالعه در حریم ممنوعه تالاب‌ها و خور قرار دارد. خور موسی در شهرستان ماهشهر بیشترین محدودیت را از این نظر موجب شده است. در مطالعه‌ای که با هدف مکان‌یابی احداث

نیروگاه خورشیدی در استان خوزستان انجام شد، حریم رودخانه‌ها و آب‌های سطحی به عنوان یکی از مهمترین عوامل محدودیت کننده زیست محیطی در مناطق مرکزی و جنوبی استان معرفی شدند (۸). در مکانیابی هاضم‌های بی هوازی برای زباله‌های شهری در بنگلادش (۲) و انتخاب مکان مناسب برای احداث سیستم‌های هاضم بی هوازی در مکزیک (۱۴)، حریم رودخانه‌ها و منابع آب های سطحی از مهم ترین عوامل محدودیت کننده بودند.

بافرگیری نشان داد که تنها حدود ۱/۵ درصد منطقه از نظر وجود مناطق حفاظت شده، غیرقابل استفاده است و ۹۷/۵ درصد از کل محدوده دارای ارزش کاملاً مناسب می‌باشد. همان طور که بیان شد در محدوده مورد مطالعه جنگل با پوشش گیاهی متراکم وجود نداشته و فقط محدوده‌ای با پوشش نیمه متراکم کوهستانی وجود دارد، که حریم ۵۰۰ متری برای آن در نظر گرفته شد. بر این اساس ۱/۱۹ درصد از کل محدوده مورد مطالعه در حریم جنگل نیمه متراکم بوده و جزو مناطق منع شده بوده است، در حالی که ۹۸/۸۱ درصد از کل محدوده مورد مطالعه بدون هیچ گونه محدودیت از نظر وجود جنگل برای احداث نیروگاه می‌باشد. وجود رودخانه‌های بزرگ مارون، زهره، جراحی و علا در منطقه موجب رونق کشاورزی شده است و بنابراین ۱۷/۵۶ درصد از کل محدوده مورد مطالعه در حریم زمین هایی با کاربری کشاورزی بوده و دارای منع احداث نیروگاه می‌باشند. ۷۵/۳۶ درصد از سطح منطقه از نظر زمین‌ها و باغات کشاورزی بدون هیچ گونه محدودیت با ارزش ۱۰ می‌باشد. وجود رودخانه‌ها و جلگه بودن بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه سبب شده است که منطقه مورد نظر بخصوص در شهرستان‌های ماهشهر، هندیجان و رامشیر در معرض سیل قرار بگیرد. بر این اساس و با توجه به محدوده بافر ۱ کیلومتر برای مناطق در معرض سیل با دوره ۵۰ ساله، ۱۸/۲۱ درصد از کل محدوده هدف در محدوده ممنوعه می‌باشد. این محدوده همپوشانی زیادی با سایر محدودیت‌ها به خصوص محدودیت حاصل از رودخانه‌ها دارد. در مطالعه‌ای زمین های کشاورزی و اراضی در معرض سیل بیشترین محدودیت را در تعیین مکان مناسب جهت دفن پسماند جامد شهری در جنوب استان ایجاد کردند (۱۲).



b A

شکل (۳) تناسب اراضی از نظر شیب زمین (a) و گسل (b)

Figure (3) Land suitability in terms of slope (a) and fault (b)

تناسب اراضی از نظر توپوگرافی

مطابق داده های به دست آماده از شکل ۳ (a)، ۳/۱۲ درصد از کل محدوده هدف، در محدوده ممنوعه گسل می‌باشد. شهرستان ماهشهر و رامهرمز دارای گسل نمی‌باشند و از نظر وجود گسل هیچ‌گونه محدودیتی ندارند. حدود ۷۷/۰۴ درصد منطقه کاملاً خارج از محدوده خطر گسل است که از این نظر امتیاز ۱۰ دریافت کرد. همان طور که بیان شد بخش عمده‌ای از منطقه مورد مطالعه را جلگه و دشت تشکیل می‌دهد به همین دلیل بیشتر منطقه مسطح و دارای شیب کم می‌باشد. از شکل ۳ (b) مشاهده می‌شود که بخش عمده منطقه هدف (۶۸/۴۶ درصد منطقه) دارای شیب کمتر از ۴ در صد با ارزش ۱۰ می‌باشد و ۷۷/۵۱ در صد منطقه حداکثر دارای شیب ۶ در صد می‌باشد. حدود ۷/۸۴ در صد منطقه دارای شیب بیشتر از ۱۵ در صد و غیرمناسب برای احداث نیروگاه است که در قسمت کوهستانی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. در مطالعات مکان یابی در استان خوزستان گسل و شیب زمین محدودیت کمی را به خصوص در بخش جنوبی استان خوزستان موجب شدند (۸، ۳۹). مطابق نتایج به دست آمده از ارزیابی منطقه از نظر معیار ارتفاع در پتانسیل سنجی احداث نیروگاه، به ترتیب ۹۵/۷۹ و ۹۹/۵۴ درصد منطقه دارای ارتفاع کمتر از ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر است که نشان می‌دهد ارتفاع عامل محدودکننده در منطقه مطالعه نمی‌باشد.

تناسب اراضی از نظر معیار های اجتماعی-زیست محیطی

بر اساس مقررات و ضوابط استقرار واحدهای تولیدی و صنعتی کشور (۳) حریم بافر ۲ کیلومتری از محدوده شهری برای احداث نیروگاه، ممنوع در نظر گرفته شد و ارزش صفر به آن تعلق گرفت. همچنین فواصل ۲۲ کیلومتر و بیشتر از مناطق شهری نیز کاملاً نامناسب در نظر گرفته شدند. این اراضی همراه با محدودیت مناطق مسکونی روستایی (محدوده بافر ۱ کیلومتری روستایی) ۱۹/۲۳ در صد از کل اراضی منطقه مورد مطالعه را شامل می شود. فاصله ۷-۱۲ کیلومتری از مراکز شهری مناسب‌ترین فاصله برای احداث نیروگاه در نظر گرفته شد. به فاصله ۱۲- ۱۴ کیلومتری، امتیاز ۸ تعلق گرفت. اراضی با امتیاز ۸ و ۱۰ حدود ۳۱/۹۷ در صد سطح منطقه را شامل می شوند. اراضی با فاصله ۱۴ تا ۲۲ کیلومتری از مراکز شهری، ۲۴/۱۳ درصد منطقه مورد مطالعه را دربر گرفته است. بر اساس حداقل فاصله ایمن از جاده های اصلی و روستایی، ۱۹/۷۴ در صد از اراضی منطقه غیرقابل استفاده می‌باشد (دارای ارزش صفر). این در حالی است که بر اساس امتیازدهی بیان شده در جدول ۱، ۲۴/۹۵ در صد از کل محدوده مورد مطالعه از نظر حریم جاده ها، دارای ارزش کاملاً مناسب (ارزش ۱۰) است. در مکان یابی نیروگاه زیست‌گاز در کشور پرتغال (۳۷) و جنوب کشور فنلاند (۲۱)، انتخاب مکان دفن پسماندجامد شهری (۲۴، ۳۹) دسترسی و نزدیکی به جاده و شبکه حمل و نقل به عنوان عامل مهم و تاثیر گذار بیان کردند.

راه‌آهن اهواز-بندر امام تنها راه‌آهن در منطقه می‌باشد که در محدوده شهرستان ماهشهر قرار دارد. به همین دلیل محدودیت بسیار کمی از نظر مشکلات ایمنی و سایر مسائل، مربوط به راه‌آهن است به طوری که تنها ۰/۲۸ در صد از اراضی محدوده مورد مطالعه برای احداث نیروگاه از نظر معیار محدودیت راه آهن نامناسب است. بر اساس امتیازدهی لایه فاصله از خطوط انتقال برق قوی، اراضی تا فاصله ۵۰۰ متری از محل عبور خطوط برق فشار قوی نامناسب و دارای ارزش صفر می‌باشند. این اراضی ۴/۰۹ درصد از کل اراضی مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. اراضی در محدوده ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از محل عبور خطوط برق فشار قوی، دارای ارزش متوسط بوده و ۳/۹۱ درصد از اراضی را شامل می‌شود. زمین‌های با فاصله ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از محل عبور خطوط برق فشار قوی دارای ارزش مناسب بوده و ۳/۷۲ در صد از اراضی مورد مطالعه می‌باشد. از این منظر، ۸۸/۲۹ در صد از اراضی مورد مطالعه دارای ارزش کاملاً مناسب است. این اراضی در فاصله بیش از ۱۵۰۰ متری از خطوط برق فشار قوی قرار دارند.

وزن دهی لایه‌های تلفیقی

جهت وزن دهی به لایه‌های تلفیقی از نظر کارشناسان و به روش دلفی استفاده گردید. بدین صورت که خلاصه‌ای از امتیازات در مطالعات گذشته همراه با لایه‌های تلفیقی به کارشناسان داده شد. سپس امتیازدهی توسط کارشناسان جمع‌بندی و خلاصه آن (میانگین امتیازات، انحراف معیار و حداکثر و حداقل امتیاز ها) برای بار دوم به کارشناسان گزارش گردید و امتیازدهی توسط کارشناسان تکرار گردید که میانگین این امتیازت به عنوان وزن نهایی در نظر گرفته شد و نرمال‌سازی گردید (جدول ۲). مطابق جدول ۲ لایه پتانسیل مکانی تولید زیست‌گاز (با وزن ۲۷/۰۹ در صد) بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده است.

لایه جاده‌ها به دلیل اهمیت بسیار زیادی که در کاهش هزینه‌های حمل و نقل و دسترسی دارد، با وزن ۲۰/۷۲ در صد از مجموع کل معیارها در رتبه دوم اهمیت قرار گرفته است. در رتبه سوم، لایه محدوده مسکونی با وزن ۱۵/۱۴ در صد از کل اوزان قرار دارد. در مطالعه مشابه بیشترین وزن به ترتیب به معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی داده شده است (۲۵). در مکان یابی احداث هاضم های بی هوازی در ایالت متحده امریکا که با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد، به ترتیب بیشترین وزن به معیار های دسترسی مواد اولیه و جاده تعلق گرفت (۲۷). در مطالعه‌ای که به منظور تعیین مکان های مناسب برای احداث نیروگاه های زیست‌گاز در کشور دانمارک انجام شد، بیشترین وزن به معیارهای فاصله از مناطق دارای حمل و نقل بهینه و پتانسیل تولید اختصاص داده شد (۲۰). در مکان یابی، اندازه‌گیری و ارزیابی اقتصادی نیروگاه های زیست‌گاز متمرکز از زباله‌های آلی در کشور ترکیه بیشترین وزن به در دسترس بودن کود دامی و پس از آن، به فاصله تا جاده و ایستگاه‌های انتقال، و کمترین وزن به معیار "ارتفاع از سطح دریا" تعلق گرفته است (۴۳).

از همپوشانی لایه‌های تلفیقی بر اساس وزن‌های به دست آمده، لایه تناسب اراضی برای احداث نیروگاه ایجاد گردید. این همپوشانی بر اساس وزن لایه‌ها به صورت مدل جبرانی است، یعنی کمبود و نقص منطقه در یک معیار می‌تواند توسط معیارهای دیگر جبران شود. این در حالی است که برخی قسمت‌های منطقه از نظر برخی معیار ها دارای ارزش صفر هستند که برای احداث نیروگاه ممنوع و غیرقابل استفاده می‌باشند و ممکن است بر اساس این همپوشانی ارزش بیش از صفر به آن‌ها تعلق گیرد و قابل استفاده جهت احداث نیروگاه نشان داده شوند. به همین دلیل جهت استثنا کردن مناطق ممنوع از تحلیل، لایه محدودیت به صورت باینری (صفر و یک) تهیه گردید. ابتدا کل لایه‌های معیارها به صورت صفر و یک ارزش‌گذاری شدند که صفر نشان دهنده غیرقابل استفاده بودن و یک، نشان دهنده قابل استفاده بودن (جدا از شدت تناسب) است. سپس کل لایه‌های باینری در هم ضرب و لایه نهایی محدودیت به صورت باینری (صفر و یک) ایجاد گردید. مناطقی که حداقل از نظر یک معیار دارای ارزش صفر و غیرقابل استفاده باشند در لایه نهایی محدودیت نیز دارای ارزش صفر خواهند بود. در نهایت با ضرب لایه محدودیت در لایه تناسب اراضی حاصل از همپوشانی لایه‌های تلفیقی بر اساس وزن‌های به دست آمده، به مناطق غیرقابل استفاده ارزش صفر تعلق گرفت.

جدول (۲) وزن لایه‌های تلفیقی

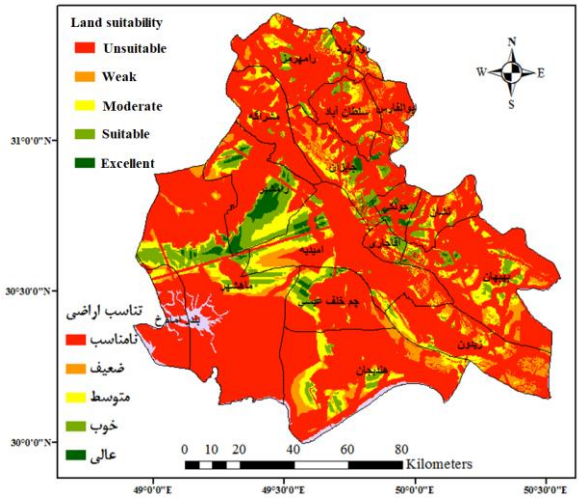
Table (2) Weight of combined layers

لایه‌های تلفیقی Combined layers	پتانسیل تولید زیست‌گاز Biogas production potential	جاده Road	محدوده مسکونی Residential area	آب‌های سطحی Surface waters	مناطق حساس Sensitive areas	شیب-ارتفاع- گسل Slope-Elevation-Fault	راه‌آهن- خطوط برق Rail-Power lines
وزن/Weight	27.09	20.72	15.14	12.75	12.75	7.25	4.30

لایه محدودیت نشان داد که بخش بزرگی از منطقه (۷۳/۲۸ درصد)، به دلیل یک یا چند محدودیت غیرقابل استفاده است. در مطالعه تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی در استان خوزستان، گزارش گردید که ۷۱/۴۷ درصد اراضی استان خوزستان به دلیل محدودیت‌های زیست محیطی، توپوگرافی، ایمنی، اجتماعی و کاربری اراضی غیرقابل استفاده برای احداث نیروگاه می‌باشند (۸). مطالعات مکان یابی احداث نیروگاه در کشورهای مختلف مانند پرتغال (۳۷)، فنلاند (۲۱)، ایالات متحده امریکا (۲۷) و آلمان (۳۸) نشان داده است که به دلیل وجود محدودیت‌های مختلف، عمده اراضی غیرقابل استفاده برای احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز می‌باشند. لایه نهایی تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه زیست‌گاز، بر اساس امتیازهای به دست آمده به پنج کلاس نامناسب، ضعیف، متوسط، خوب و عالی تقسیم‌بندی شد (شکل ۴).

مساحت و درصد هر کلاس تناسب اراضی در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه (۷۳/۲۸ درصد) در کلاس کاملاً نامناسب قرار گرفته است در حالی که کمترین مساحت با ۱/۶۸ در صد مربوط به کلاس کاملاً مناسب می‌باشد. با وجود اینکه کلاس کاملاً مناسب کمترین مساحت را به خود اختصاص داد ولی مساحت و پراکندگی برای احداث نیروگاه تولید زیست‌گاز در منطقه مطالعه مناسب است و از این نظر محدودیتی ایجاد نمی‌کند. در ارزیابی پتانسیل زیست‌گاز از کود های دامی و انتخاب مکان برای سیستم‌های هاضم بی‌هوازی متمرکز در کشور مکزیک گزارش گردید که ۶/۸ درصد منطقه بدین منظور قابل استفاده است (۱۴).

بررسی نشان داد بخش‌های رامشیر، ماهشهر، جایزان، امیدیه و چم خلف عیسی به ترتیب بیشترین اراضی با ارزش کاملاً مناسب و بخش‌های زیدون، رامشیر، ماهشهر، امیدیه و بهبهان به ترتیب بیشترین اراضی با ارزش مناسب را برای تأسیس نیروگاه زیست‌گاز دارند. بخش‌های ماهشهر، هندیجان، امیدیه، بهبهان و رامشیر به ترتیب بیشترین میزان اراضی با ارزش متوسط و بخش‌های ماهشهر، هندیجان، بهبهان، امیدیه و رامهرمز به ترتیب بیشترین اراضی با ارزش کاملاً نامناسب را دارا می‌باشند. برخی بخش‌ها مانند رامهرمز (بخش مرکزی)، با وجود داشتن امتیاز خوب از نظر دسترسی به فضولات دامی، به دلیل محدودیت‌های ناشی از سایر عوامل، از اراضی با کلاس "بسیار مناسب" برخوردار نیستند. در مطالعات مشابه حداقل مساحت مورد نیاز برای احداث نیروگاه زیست‌گاز یک هکتار (۳۷، ۴۳) و یا دو هکتار (۳۹) بیان شده است. بنابراین همه بخش‌های منطقه مورد مطالعه، از زمین با مساحت کافی با شرایط مناسب یا بسیار مناسب برای احداث نیروگاه زیست‌گاز برخوردار می‌باشند.



شکل (٤) تناسب اراضی جهت احداث نیروگاه زیست‌گاز از فضولات دامی و طیور

Figure (4) Land suitability for the construction of biogas power plant from livestock and poultry waste

جدول (۳) مساحت کلاس‌های پیش بینی شده برای تأسیس نیروگاه زیست‌گاز
Table (3) The area of classes expected to establish a biogas power plant

طبقات	مساحت (هکتار)	درصد از کل منطقه
Classes	Area (ha)	Percentage of total area
1- کاملاً نامناسب/Completely unsuitable	1038808.7	73.28
2- ضعیف/Weak	97695.5	7.19
3- متوسط/ Moderate	139802.7	10.17
4- مناسب/ Suitable	106644.4	7.68
4- کاملاً مناسب/Completely suitable	23472.3	1.68

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه‌های زیست‌گاز مبتنی بر هضم بی‌هوازی فضولات دام و طیور با استفاده از تناسب زمین و تجزیه و تحلیل آمار فضایی GIS پرداخته شد. از طریق تجزیه و تحلیل مکانی پتانسیل تولید زیست‌گاز از فضولات دام و طیور و عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی-ایمنی و توپوگرافی، تناسب اراضی جهت انتخاب مکان نیروگاه تولید زیست‌گاز در محیط ArcGIS تعریف و شناسایی گردید. نتایج نشان داد که پتانسیل تولید ۷/۲۵ میلیون مترمکعب زیست‌گاز از طریق هضم بی‌هوازی فضولات دامی قابل دسترس است. به دلیل محدودیت‌های زیست‌محیطی، اجتماعی- ایمنی و توپوگرافی، حدود ۷۳ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه، عمدتا به دلیل حریم رودخانه‌ها، مناطق مسکونی و مناطق سیل‌خیز، برای احداث نیروگاه، غیرقابل استفاده می‌باشد.

مهم‌ترین عامل موثر بر تناسب اراضی برای احداث نیروگاه، پتانسیل مکانی دسترسی به مواد اولیه تولید زیست‌گاز و دسترسی به راه های ارتباطی بودند. نتایج تناسب اراضی نشان داد ۱/۶۸ درصد منطقه مورد مطالعه، برای احداث نیروگاه زیست‌گاز دارای شرایط بسیار مناسب است. بررسی جزئی نشان داد که در همه بخشهای منطقه مورد مطالعه، اراضی با مساحت کافی و با شرایط بسیار مناسب یا مناسب، برای احداث نیروگاه وجود دارد که در نهایت می‌توان با مطالعه عمیق و مشاهدات میدانی، بهترین مکان را انتخاب کرد. با توجه به روند تغییر پرورش دام از روش های سنتی به روش های فشرده و صنعتی، یافته‌های این مطالعه فرصت پرداختن به مسائل امنیت انرژی، با استفاده از منابع تجدیدپذیر داخلی در دسترس، و در عین حال کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کودهای دامی و تولید کود های کشاورزی با کیفیت را فرآهم می‌کند.

سپاس گزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.AA98.29747) تشکر و قدردانی می‌کند.

References

1. Afzali, A., Sabri, S., Rashid, M., Mohammad Vali Samani, J., and Ludin, A. N. M. 2014. Inter-Municipal Landfill Site Selection Using Analytic Network Process. Water Resources Management, 28(8): 2179–2194.

2. Akther, A., Ahamed, T., Noguchi, R., Genkawa, T., and Takigawa, T. 2019. Site suitability analysis of biogas digester plant for municipal waste using GIS and multi-criteria analysis. Asia-Pacific Journal of Regional Science, 3(1): 61–93.

3. Anonymous. 2019. Regulations and rules for the establishment of production and industrial units. Office of Environmental Assessment, Department of Environment (in Persian).

4. Anonymous. 2021. Energy Balance Sheet of Iran. Iran Ministry of Energy Deputy of Electricity and Energy Affairs, Tehran. (in Persian).

5. Aragonés-Beltrán, P., Pastor-Ferrando, J. P., García-García, F., and Pascual-Agulló, A. 2010. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). Journal of Environmental Management, 91(5): 1071–1086.

6. Arkoc, O. 2014. Municipal solid waste landfill site selection using geographical information systems: a case study from Çorlu, Turkey. Arabian Journal of Geosciences, 7(11): 4975–4985.

7. Asakereh, A., Soleymani, M., and Safieddin Ardebili, S. M. 2022. Multi-criteria evaluation of renewable energy technologies for electricity generation: A case study in Khuzestan province, Iran. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52: 102220.

8. Asakereh, A., Soleymani, M., and Sheikhdavoodi, M.J. 2017. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. Solar Energy, 155: 342–353.

9. Ayaim, M.K., Fei-Baffoe, B., Sulemana, A., Miezah, K., and Adams, F. 2019. Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana. Heliyon, 5(10), e02537.

10. Bond, T., and Templeton, M.R. 2011. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development, 15(4): 347–354.

11. Bumharter, C., Bolonio, D., Amez, I., Martínez, M. J. G., and Ortega, M. F. 2023. New opportunities for the European Biogas industry: A review on current installation development, production potentials and yield improvements for manure and agricultural waste mixtures. Journal of Cleaner Production, 388: 135867.

12. Chabok, M., Asakereh, A., Bahrami, H., and Jaafarzadeh, N. O. 2020. Selection of MSW landfill site by fuzzy-AHP approach combined with GIS: case study in Ahvaz, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 192(7): 1–15.

13. Charabi, Y., and Gastli, A. 2011. PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. Renewable Energy, 36(9): 2554–2561.

14. Díaz-Vázquez, D., Alvarado-Cummings, S.C., Meza-Rodríguez, D., Senés-Guerrero, C., de Anda, J., and Gradilla-Hernández, M. S. 2020. Evaluation of Biogas Potential from Livestock Manures and Multicriteria Site Selection for Centralized Anaerobic Digester Systems: The Case of Jalisco, México. Sustainability, 12(9): 3527.

15. Elauria, J. C., Castro, M. L. Y., Elauria, M. M., Bhattacharya, S. C., and Abdul Salam, P. 2005. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in the Philippines. Biomass and Bioenergy, 29(3): 191–198.

16. EPA, 2019. US Environmental Protection Agency. Retrieved from https://www-epa-gov.translate.goog.

17. Feiz, R., Johansson, M., Lindkvist, E., Moestedt, J., Påledal, S.N., and Ometto, F. 2022. The biogas yield, climate impact, energy balance, nutrient recovery, and resource cost of biogas production from household food waste—A comparison of multiple cases from Sweden. Journal of Cleaner Production, 378: 134536.

18. Ferretti, V., and Pomarico, S. 2012. Integrated sustainability assessments: A spatial multicriteria evaluation for siting a waste incinerator plant in the Province of Torino (Italy), Environment. Development and Sustainability, 14(5): 843–867.

19. Feyzi, S., Khanmohammadi, M., Abedinzadeh, N., and Aalipour, M. 2019. Multi- criteria decision analysis FANP based on GIS for siting municipal solid waste incineration power plant in the north of Iran. Sustainable Cities and Society, 47: 101513.

20. Franco, C., Bojesen, M., Hougaard, J.L., and Nielsen, K. 2015. A fuzzy approach to a multiple criteria and Geographical Information System for decision support on suitable locations for biogas plants. Applied Energy, 140: 304–315.

21. Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S., and Rintala, J. 2014. A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. Applied Energy, 113: 1–10.

22. Jayachandran, M., Gatla, R.K., Rao, K.P., Rao, G.S., Mohammed, S., Milyani, A.H., Azhari, A.A., Kalaiarasy, C., and Geetha, S. 2022. Challenges in achieving sustainable development goal 7: Affordable and clean energy in light of nascent technologies. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 53: 102692.

23. Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., and Jutidamrongphan, W. 2019. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand, Resources. Conservation and Recycling, 149: 220–235.

24. Khan, M. U., and Ahring, B. K. 2021. Improving the biogas yield of manure: Effect of pretreatment on anaerobic digestion of the recalcitrant fraction of manure. Bioresource technology, 321: 124427.

25. Kheybari, S., and Rezaie, F.M. 2020. Selection of biogas, solar, and wind power plants' locations: An MCDA approach. Journal of Supply Chain Management Science, 1(1–2): 45–71.

26. Kurka, T., Jefferies, C., and Blackwood, D. 2012. GIS-based location suitability of decentralized, medium scale bioenergy developments to estimate transport CO2 emissions and costs. Biomass and Bioenergy, 46: 366–379.

27. Ma, J., Scott, N.R., DeGloria, S.D., and Lembo, A.J. 2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. Biomass and Bioenergy, 28(6): 591–600.

28. Markou, G., Brulé, M., Balafoutis, A., Kornaros, M., Georgakakis, D., and Papadakis, G. 2017. Biogas production from energy crops in northern Greece: economics of electricity generation associated with heat recovery in a greenhouse. Clean Technologies and Environmental Policy, 19(4): 1147–1167.

29. Molavi, M., Taleai, M., and Javadi, G. 2020. Land suitability evaluation based on multi-criteria decision-making methods for locating wind farms in Khorasan Razavi province. Iranian journal of Remote Sensing and GIS, 11(3):59-78 (in Persian with English abstract).

30. Motlagh, Z.K., and Sayadi, M.H. 2015. Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (Case study: Birjand plain, Iran). Waste Management, 46: 322–337.

31. Pasalari, H., Nodehi, R.N., Mahvi, A.H., Yaghmaeian, K., and Charrahi, Z. 2019. Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. MethodsX, 6: 1454–1466.

32. Perera, K.K.C.K., Rathnasiri, P.G., Senarath, S.A.S., Sugathapala, A.G.T., Bhattacharya, S.C., and Abdul Salam, P. 2005. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Sri Lanka. Biomass and Bioenergy, 29(3): 199–213.

33. Rahimi, S., Hafezalkotob, A., Monavari, S.M., Hafezalkotob, A., and Rahimi, R. 2020. Sustainable landfill site selection for municipal solid waste based on a hybrid decision-making approach: Fuzzy group BWM-MULTIMOORA-GIS. Journal of Cleaner Production, 248: 119186.

34. Sadeqi, Z., Dalalbashi Esfahani, Z., and and Horri, H.R. 2013. 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. Energy Policy and Planning Research, 1(2):93-110 (in Persian with English abstract).

35. Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., and Karagüzel, R. 2010. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). Waste Management, 30(11): 2037–2046.

36. Shi, X., Elmore, A., Li, X., Gorence, N.J., Jin, H., Zhang, X., and Wang, F. 2008. Using spatial information technologies to select sites for biomass power plants: A case study in Guangdong Province, China. Biomass and Bioenergy, 32(1): 35–43.

37. Silva, S., Alçada-Almeida, L., and Dias, L.C. 2014, Biogas plants site selection integrating Multicriteria Decision Aid methods and GIS techniques: A case study in a Portuguese region. Biomass and Bioenergy, 71: 58–68.

38. Sliz-Szkliniarz, B., and Vogt, J. 2012. A GIS-based approach for evaluating the potential of biogas production from livestock manure and crops at a regional scale: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(1): 752–763.

39. Soleymani, M., Asakereh, A., and Safieddin Ardebili, S. M. 2022. A GIS-based multi-criteria fuzzy approach to select a suitable location for a MSW-based power plant and landfill: a case study, Khuzestan province, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 194(3): 1–20.

40. Sultana, A., and Kumar, A. 2012. Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. Applied Energy, 94: 192–201.

41. Tavares, G., Zsigraiová, Z., and Semiao, V. 2011. Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. Waste Management, 31(9–10): 1960–1972.

42. Venier, F., and Yabar, H. 2017. Renewable energy recovery potential towards sustainable cattle manure management in Buenos Aires Province: Site selection based on GIS spatial analysis and statistics. Journal of Cleaner Production, 162: 1317–1333.

43. Yalcinkaya, S. 2020. A spatial modeling approach for siting, sizing and economic assessment of centralized biogas plants in organic waste management. Journal of Cleaner Production, 255: 120040.

44. Yalcinkaya, S., and Kirtiloglu, O.S. 2021. Application of a geographic information system-based fuzzy analytic hierarchy process model to locate potential municipal solid waste incineration plant sites: A case study of Izmir Metropolitan Municipality. Waste Management and Research, 39(1): 174–184.

45. Zareei, S. 2018. Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. Renewable Energy, 118: 351–356.