

Cluster analysis and descriptive statistics of lignocellulosic crop residue in agriculture sector for the production of renewable energy (Case study of Golestān Province)

Sättar Ezzati^{*1}, Jahangir Mohammadi²

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Forest Resource Management, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sattar.ezzati@gau.ac.ir
2. Associate Prof., Dept. of Forest Resource Management, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mohamadi.jahangir@gau.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.26.2023
Revised: 10.03.2023
Accepted: 10.03.2023

Keywords:
Bioenergy,
Biomass,
Crop residues,
Optimization,
Remote sensing,
Transportation

ABSTRACT

Background and Objectives: The utilization of lignocellulosic crop residues, which remain after the final harvest in the agricultural sector, can be considered as a valuable resource for generating renewable energy. However, due to their dispersed distribution and the high cost associated with their collection, this task poses significant challenges. Currently, the application of spatial modeling to assess the sustainable potential of lignocellulosic residue biomass for renewable energy production in the agricultural sector is limited. Moreover, to date, no such studies have been reported in the country. Therefore, the objective of this study is to assess the potential for renewable energy production and determine suitable locations for bioenergy facilities that process lignocellulosic residues through the application of cluster analysis within a geographic information system (GIS) environment.

Materials and Methods: To accomplish the objectives, descriptive-quantitative data regarding the production level and production area in the agricultural sector for the crop year 2020-21, as published by the Ministry of Agriculture, were collected and analyzed. Furthermore, spatial information pertaining to agricultural farms was gathered, through satellite imagery, and subsequently processed using cluster analysis to generate hotspot maps of available residues biomass in Golestān province. The biomass quantity in each field was estimated for four conventional crops: wheat, rapeseed, rice, and soybean, on a per-unit area basis. Subsequently, separate projection was conducted for each of these crops within the case study of Golestān province.

Results: In the crop year of 2020-21, the total arable land acreage amounted to 12.9 million hectares, with a nationwide crop harvest of 91.8 million tons. Cereals accounted for the highest proportion (71%), while grain products had the lowest share. Golestān province, ranked 7th, possessed an agricultural area of 661 thousand hectares, contributing 4.27% of the country's total crop production, which amounted to 3.9 million hectares. Through the spatial analysis, the estimated amount of harvestable residue biomass was 840,000 Mg, derived from a total of 84,104 identified farms, with the largest proportion being wheat straws. The cluster analysis revealed that out of a total of 35,508 clusters, 15% belonged to the cold cluster category, while 18% fell into the hot cluster category. Furthermore, hotspot analysis identified four suitable sites for

bioenergy sites within the study area. The available biomass can be transported and delivered to these potential sites at an average cost of \$20.83 per kilometer per megagram.

Conclusion: The findings of this study highlight there is substantial biomass quantity within the agricultural sector of Golestān province, a significant portion of which is currently burned annually, resulting in the generation of large amounts of greenhouse gases and widespread environmental pollution. However, this biomass resource holds significant potential for the production of renewable energy if effectively harnessed with support from both the public and private sectors.

Cite this article: Ezzati, Sättar, Mohammadi, Jahangir. 2023. Cluster analysis and descriptive statistics of lignocellulosic crop residue in agriculture sector for the production of renewable energy (Case study of Golestān Province). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (3), 65-86.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21677.2033

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تحلیل خوشه‌ای و آمار توصیفی ضایعات لیگنوسلولزی در بخش کشاورزی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر (مطالعه مورد استان گلستان)

ستار عزتی^{۱*}، جهانگیر محمدی^۲

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران. رایانامه: sattar.ezzati@gu.ac.ir
۲. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران. رایانامه: mohamadi.jahangir@gu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی و زیست‌توده برجای مانده بعد از برداشت محصول نهایی در بخش کشاورزی، می‌تواند به‌عنوان یک منبع باارزش برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر محسوب شود، اگرچه به دلیل پراکنده بودن در واحد سطح و بالا بودن هزینه جمع‌آوری آن را به یک کار پرچالش تبدیل نموده است. در حال حاضر، استفاده از قابلیت‌های مدل‌سازی مکانی برای ارزیابی پایدار پتانسیل زیست‌توده برجای مانده در بخش کشاورزی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر محدود می‌باشد. ضمن این‌که چنین مطالعاتی در داخل کشور تاکنون گزارش نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف ارزیابی پتانسیل تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و مکان‌یابی بالقوه مکان تأسیسات پردازش بقایای لیگنوسلولزی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌پردازد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱	
واژه‌های کلیدی: انرژی زیستی، بهینه‌سازی، حمل‌ونقل، زیست‌توده، سنجش از دور، ضایعات کشاورزی	مواد و روش‌ها: ابتدا اطلاعات توصیفی- کمی منتشرشده از سطح و میزان تولیدات بخش کشاورزی توسط سازمان جهاد کشاورزی مربوط به سال زراعی ۴۰۰-۱۳۹۹ جمع‌آوری و تحلیل شد. سپس با گردآوری اطلاعات مکانی حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای مربوط به مزارع زیر کشت و استفاده از قابلیت تحلیل خوشه‌ای در محیط GIS، نقشه داغ زیست‌توده در استان گلستان تولید گردید. میزان زیست‌توده موجود در هر یک از مزارع برای چهار کشت گندم، کلزا، برنج و سویا در واحد سطح برآورد شد و نقشه‌سازی مربوط به هر یک از این کشت‌ها به تفکیک انجام شد.
	نتایج: مجموع مساحت اراضی قابل کشت در سال زراعی ۴۰۰-۱۳۹۹ معادل ۱۲/۹ میلیون هکتار بوده که ۹۱/۸ میلیون تن انواع محصولات زراعی در کل کشور برداشت شده است. استان

گلستان در رتبه ۷ با سطحی معادل ۶۶۱ هزار هکتار و میزان تولید ۳/۹ میلیون هکتار معادل ۴/۲۷ درصد از مجموع محصولات زراعی کل کشور را به خود اختصاص داده است. تجزیه و تحلیل‌های مکانی، میزان زیست‌توده خالص را ۸۴۰ هزار مگاگرم از مجموع ۸۴۱۰۴ مزرعه شناسایی شده برآورد نمود که بیش‌ترین سهم آن مربوط به کاه و کلش گندم بوده است. تحلیل خوشه‌ای مربوط به مزارع شناسایی شده نشان داد که از مجموع ۳۵۵۰۸ خوشه تشکیل شده، ۱۵٪ آنها در محدوده خوشه سرد و ۱۸٪ در محدوده خوشه داغ قرار دارند. تحلیل نقاط داغ، ۴ سایت مناسب جهت احداث بایوانرژی را در منطقه مورد مطالعه مشخص نمود که زیست‌توده موجود می‌تواند با متوسط قیمت ۲۰/۸۳ دلار/کیلومتر/مگاگرم به این سایت‌ها تحویل داده شود.

نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان داد که میزان زیست‌توده موجود در بخش کشاورزی استان گلستان که هر سال بخش عظیمی از آن سوزانده و منجر به تولید گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های محیطی در سطح وسیع می‌نماید قابل توجه است که می‌تواند برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر با حمایت بخش دولتی و بخش خصوصی به‌کار گرفته شود.

استناد: عزتی، ستار، محمدی، جهانگیر (۱۴۰۲). تحلیل خوشه‌ای و آمار توصیفی ضایعات لیگنوسلولزی در بخش کشاورزی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر (مطالعه مورد استان گلستان). نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۰ (۳)، ۸۶-۶۵.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21677.2033



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در طی چند دهه گذشته، انرژی یکی از عناصر اساسی برای جوامع صنعتی بوده است. با توجه به وابستگی روزافزون زندگی بشری و فعالیت‌های اقتصادی و توسعه‌ای، تأمین و تولید به‌موقع انرژی یک موضوع مهم در هر کشور محسوب می‌شود (۱). فراوانی، در دسترس بودن و مصرف گسترده انرژی حاصل از سوخت‌های هیدروکربنی (نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ) اگرچه رشد سریع اقتصادی جوامع پیشرفته صنعتی را به دنبال داشته است، ولی به‌واسطه انتشار آلاینده‌های ناشی از احتراق و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، جهان را با تغییرات شگرفی روبه‌رو کرده است. به همین دلیل کشورهای متعددی تصمیم گرفته‌اند تا بخشی از انرژی موردنیاز خود را از منابع تجدیدشونده تأمین کنند (۲). ازجمله این منابع می‌توان به سوخت‌های تجدیدشونده طبیعی یا سوخت زیستی^۱ اشاره داشت. زیست‌توده رایج‌ترین شکل انرژی تجدیدپذیر ناشی از فراورده‌های آلی است (۳) که بسته به نوع زیست‌توده، تیپ قابل‌دسترس و سطح انرژی مورد انتظار می‌تواند به شیوه‌های مختلفی فرآوری شود. تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، نه تنها وابستگی به منابع نفتی و سوخت‌های فسیلی برای تولید محصولات روزمره را کاهش می‌دهد، بلکه راهکارهای جایگزین مناسب برای مصرف آن را نیز ارائه می‌دهد. این امر منجر به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، تقلیل اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و بهبود کیفیت هوا می‌گردد. سلولز و لیگنین جزء غنی‌ترین پلیمرهای زیستی بر روی زمین بوده و به‌عنوان یکی از گزینه‌های نویدبخش برای تولید سوخت‌های زیستی در دنیا مطرح هستند (۴). ضایعات و پسماندهای کشاورزی حاصل از برداشت نهایی محصولات کشاورزی یکی از منابع رایج برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر است. این منابع طیف

متنوعی شامل دانه‌های روغنی (ذرت، کنجد)، پسماندهای کشاورزی (الیاف ساقه کلزا، کاه و کلش گندم) و ضایعات کشاورزی (پوست میوه، بادام زمینی) را شامل می‌شود (۵). زیست‌توده، در واقع، چهارمین منبع انرژی جهان است و حدود ۱۴٪ از نیاز انرژی جهان را تأمین می‌کند. در حال حاضر بیش از ۱۱/۵٪ از انرژی اولیه جهان توسط منابع زیست‌توده تأمین می‌گردد. برای سالیان متوالی و در حال حاضر، مواد لیگنوسلولزی به‌عنوان پسماند تلقی شده و مورد بازیافت توسط مصرف‌کنندگان ثانویه صنایع سلولزی قرار نمی‌گیرد. عدم رغبت این صنایع را می‌توان ناشی از توسعه محدود تکنولوژی‌های تبدیلی برای پردازش این مواد، بالا بودن هزینه جمع‌آوری و حمل‌ونقل، ارزش پایین و هم‌چنین نبود تجهیزات تخصصی لازم برای حمل و پردازش نهایی به محصولات باارزش افزوده بالا دانست (۶). به همین دلیل در خیلی از موارد حتی در کشورهای صنعتی و هم‌چنین ایران، به‌دلیل پایین بودن قیمت سوخت‌های هیدروکربنی و یارانه دولت در این بخش، این منابع سلولزی در طبیعت یا رهاشده و یا سوزانده می‌شود. نتیجه این عمل، برجای گذاشتن تأثیرات نامطلوب بر روی محیط‌زیست است.

ارزیابی و تخمین این‌که چه حجمی از منابع لیگنوسلولزی پس از فعالیت‌های مرتبط با برداشت نهایی محصولات کشاورزی در یک مقیاس وسیع وجود دارد، یک فعالیت پیچیده، طاقت‌فرسا و هزینه‌بر است (۷). مطالعات انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهد که یافتن خوشه‌های متمرکز از زیست‌توده با حداقل فاصله مکانی از هم به‌منظور پردازش مواد لیگنوسلولزی و تبدیل آن به محصول با درجه ارزش کیفی بالاتر، می‌تواند به اقتصادی بودن این فعالیت کمک نموده و هزینه بالای زنجیره تولید-تأمین و توزیع آن را جبران نماید (۸).

بایواتانول بر مبنای ضایعات کشاورزی پرداختند. نتایج آن‌ها که بر مبنای اطلاعات مستخرج از سازمان جهاد کشاورزی بود نشان داد در سال ۲۰۱۰ حدود ۷۴/۵ میلیون تن محصول زراعی در کل کشور برداشت شده است که از این مقدار ۲۳ میلیون تن آن ضایعات بوده است و این مقدار می‌تواند برای تولید ۱۰۳۵۰ میلیون مترمکعب بیوگاز به‌کار گرفته شود (۱۴). آزادبخت و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تولید سوخت زیستی (بایوگاز) با استفاده از ضایعات کشاورزی، پسماندهای کشاورزی و فضولات حیوانات اهلی (ماکیان و دام‌های خانگی) با استفاده از اطلاعات مستخرج از سازمان جهاد کشاورزی در استان گلستان پرداختند. آن‌ها اعلام کردند که از مجموع منابع ارزیابی‌شده، حدود ۲۰۸۶ میلیون کیلووات الکتریسیته در سال قابل‌تولید است که برای تأمین نیاز ۶۹٪ از جمعیت استان کافی به نظر می‌رسد (۱۵). سوابق پژوهش ارائه‌شده نشان می‌دهد که روند رشد تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای مختلف و هم‌چنین کشور ایران از سال‌های قبل آغاز شده و هنوز هم پژوهش‌ها به‌منظور بالا بردن کیفیت و کمیت آن‌ها در صنایع کشورهای مختلف ادامه دارد. نکته که دارای اهمیت است، سهم عمده‌ای از این مطالعات، به‌خصوص مطالعات داخل کشور، بر اساس آمار منتشرشده از سازمان جهاد و مؤسسه تحقیقات کشاورزی بوده است و اطلاعات دقیقی بر مبنای نمونه‌برداری در عرصه و برآورد پتانسیل واقعی این محصولات در سطح کشور وجود ندارد. به بیانی دیگر، اگرچه منابع متعدد زیست‌توده به‌منظور تأمین منابع مورد نیاز برای تولید سوخت‌های زیستی وجود دارد، اما اطلاع دقیقی از موقعیت این منابع و تیپ زیست‌توده حاصل از آن‌ها نه‌تنها در سطح کل کشور، بلکه حتی در مقیاس محلی نیز وجود ندارد و نیازمند جمع‌آوری اطلاعات دقیق می‌باشد تا انجام محاسبات بعدی هزینه-سود در این راستا به واقعیت نزدیک

کشور ایران به‌دلیل برخورداری از شرایط متنوع اقلیمی و منابع طبیعی فراوان (وجود پسماندها و ضایعات لیگنوسلولزی قابل‌توجه در بخش کشاورزی، باغداری، جنگل و صنوبر کاری‌ها) از پتانسیل خوبی برای تولید و ایجاد بازار گسترده برای تولید انرژی‌های پاک برخوردار است. اگرچه تلاش‌هایی در زمینه تولید انرژی‌های پاک به‌عنوان منابع جایگزین سوخت‌های هیدروکربنی در مقیاس کوچک و آزمایشگاهی با استفاده از پسماندهای شهری، دانه‌های روغنی، ضایعات حاصل از پسته، ضایعات خرما، روغن‌های گیاهی و یا چربی‌های جانوری در سال‌های اخیر در کشور ایران انجام‌شده است (۹، ۱۰، ۱۱)، اما اطلاعات کافی از میزان این اقدامات در دسترس نیست. ضمن این‌که چنین تلاش‌های به‌صورت هدف‌دار با استفاده از منابع لیگنوسلولزی در دسترس (ضایعات کشاورزی) برای توسعه هرچه بیشتر این صنعت نوظهور مشاهده نمی‌شود. در حال حاضر، حدود ۰/۶ ترا وات‌ساعت انرژی از طریق منابع تجدیدپذیر (باد (۰/۴) و خورشید (۰/۲)) در کشور ایران تولید می‌شود (گزارش منابع انرژی در جهان، ۲۰۱۹). این در حالی است که از کل مصرف انرژی در ایران (۱۴۹ گیگا ژول) حدود ۰/۳۲ گیگا ژول آن از طریق منابع تجدیدپذیر و بیش‌ترین سهم آن توسط سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود (گزارش منابع انرژی در جهان، ۲۰۱۹)؛ بنابراین لزوم توجه و همت جدی مسئولان در این زمینه با وجود پتانسیل‌های عمده در کشور را می‌طلبد (۱۲). اردبیلی و همکاران، (۲۰۱۱) به بررسی قابلیت تولید سوخت زیستی با استفاده از دانه‌های روغنی خوراکی (سویا، بادام، آفتابگردان، پنبه، زیتون، گردو، فندق، کانولا، ذرت و کنجد) نمودند. با فرض بازدهی متوسط ۲۵ تا ۳۰٪ دانه‌های روغنی، برآورد آن‌ها تولید ۳/۷ میلیون تن بایو دیزل در سال بوده است (۱۳). نیکپور و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی پتانسیل‌های کشور برای تولید

رسمی منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی کل کشور و استان گلستان برای سال زراعی ۱۳۹۹-۴۰۰ گردآوری شده است. داده‌های مکانی (نقشه مزارع زیرکشت استان، کاربری اراضی، نقشه پوشش گیاهی، مدل رقومی ارتفاع، نواحی حفاظت‌شده و ...) هم حاصل پردازش‌های مکانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رایگان (سنتینل ۲ و لندسات ۸) و نقشه‌های موضوعی بوده است که از طریق سایت زمین‌شناسی آمریکا (USGS) برای سال زراعی مورد مطالعه تهیه و استخراج شده است. برای انجام تحلیل خوشه‌ای برآورد ضایعات لیگنوسلولزی جهت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر چهار قدم اصلی باید تکمیل شود: (۱) اطلاع از موقعیت مکانی سایت‌های عرضه‌کننده زیست‌توده (مزارع زیرکشت)، (۲) محاسبه مساحت مقدار زیست‌توده موجود، (۳) انجام محاسبات و آزمون‌های آماری در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و (۴) برآورد مقدار زیست‌توده قابل دسترس از هر یک از خوشه‌های شناسایی شده (۱۶).

به‌منظور اطلاع از موقعیت مکانی زمین‌های زیرکشت محصولات مورد مطالعه (کلزا، گندم، برنج و سویا) مراجعات متعددی به ارگان‌ها و سازمان‌های مختلفی از جمله (اداره کل منابع طبیعی، سازمان جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات کشاورزی و استاندارد استان گلستان) انجام شد. متأسفانه بخش وسیعی از اطلاعات مربوط به کشت‌های زراعی یا در دسترس نیست و یا در صورت وجود هم اطلاعات موجود بدون داشتن موقعیت مکانی می‌باشد. بر این اساس مطالعه حاضر، نقشه مربوط به موقعیت مکانی محصولات زراعی مورد مطالعه، از مطالعه (۱۷) که با استفاده از پردازش‌های سنجنش از دور تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و لندسات ۸ بوده است، اقتباس کرده است. با داشتن نقشه مکانی، مساحت هر یک از مزارع و نسبت زیست‌توده به تولید، مقدار کمی زیست‌توده در واحد سطح از رابطه ۱ محاسبه گردید.

باشد؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر، پتانسیل‌یابی منابع زیست‌توده حاصل از فعالیت‌های کشاورزی به‌عنوان یک منبع پایدار به‌منظور تولید سوخت یا انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از تحلیل خوشه‌ای منابع لیگنوسلولزی در یک طرح پایلوت در استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه در این مطالعه، استان گلستان در دامنه شمالی رشته کوه البرز به مساحت ۲۰۰۵۸/۴۲ کیلومترمربع واقع در عرض شمالی ۳۶°۳۰' تا ۳۸°۸' و ۵۳°۵۱' تا ۵۶°۲۱' طول شرقی در سیستم مختصات UTM در زون n ۴۰ قرار گرفته است. استان گلستان دارای ۱۳ شهرستان می‌باشد. طیف متنوعی از کاربری‌های مختلف (جنگل، جنگل‌کاری، کشاورزی (کشت دیم، آبی)، مرتع، منابع آبی و مناطق مسکونی) در سطح استان مشاهده می‌شود. بخش زیادی از سطح استان گلستان جلگه‌ای است. در بخش جلگه‌ای دو گونه آب‌وهوا دیده می‌شود. بیش از ۷۵٪ این جلگه آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک دارد، با حرکت به سوی شمال و مرز ترکمنستان بر خشکی آب‌وهوا افزوده می‌شود. ۳۰٪ دیگر مانند نوار سبز بین بخش کوهستانی در جنوب و بخش خشک و نیمه‌خشک در شمال جای گرفته است. به دلیل شرایط مطلوب آب‌وهوایی، این استان بیش از ۲ میلیون هکتار زمین آبی و زمین دیم زیرکشت دارد که تنوع بالایی از ارقام مختلف محصولات باغی و زراعی مانند برنج، گندم، جو، پنبه، دانه‌های روغنی (آفتابگردان، ذرت، کلزا، سویا و ...) و اخیراً چغندر قند از محصولات اصلی بخش کشاورزی در این استان است.

روش تحقیق: داده‌های مورد نیاز در این مطالعه، شامل داده‌های توصیفی و داده‌های مکانی می‌باشد. داده‌های توصیفی (مساحت و میزان تولیدات زراعی، مقدار تولید در واحد سطح، نوع کشت و ...) از آمار

۱/۱۰، سویا ۴/۴۰ و کلزا ۴/۶۰ تن محاسبه گردید. پس از محاسبه میزان زیست‌توده خشک در هر مزرعه این اطلاعات جهت انجام تحلیل‌های بعدی به لایه رقومی مزارع شناسایی شده منتقل گردید. جهت انجام تحلیل خوشه‌ای، ابتدا تحلیل خودهمبستگی مکانی بر روی داده‌های تولید شده در لایه رقومی مزارع شناسایی شده با استفاده از شاخص عمومی موران-I^۱ (۱۸) در سامانه اطلاعات جغرافیایی (با تنظیمات پیش‌فرض) صورت گرفت (۱۹). این تحلیل به منظور بررسی الگوی توزیع و تراکم مکانی زیست‌توده در دسترس (به‌عنوان مثال، خوشه‌ای، پراکنده و تصادفی) از شاخص موران و آماره Z (z-score) و سطح معنی‌داری (p-value) استفاده می‌کند. مقدار این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است، جایی که مقدار آن -۱ است، نشان‌دهنده خودهمبستگی مکانی منفی و یا پراکنده‌بودن مشاهدات است (به‌عبارت‌دیگر مشاهدات کاملاً نامرتب هستند)، مقدار صفر شاخص بیانگر عدم وجود خودهمبستگی مکانی است (مشاهدات به‌طور تصادفی توزیع شده‌اند) و مقدار +۱ بیانگر خودهمبستگی مکانی مثبت می‌باشد (مشاهدات به‌صورت خوشه‌ای پراکنش دارند). این شاخص از طریق رابطه ۲ محاسبه گردید (۱۹).

$$I = \frac{N \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_{ij} (x_i - \bar{x}_j)(x_i - \bar{x}_j)}{W \sum_{i \in N} (x_i - \bar{x}_j)^2} \quad (2)$$

در اینجا، N بیانگر مجموع مشاهدات مکانی بوده که با شاخص i و j نمایش داده می‌شوند، x متغیر موردنظر (مقدار زیست‌توده موجود در واحد سطح) است، \bar{x} مقدار آماره میانگین برای متغیر مورد نظر است، w_{ij} بیانگر عناصر فاصله وزنی بین x_i و x_j است و W بیانگر مجموع درایه‌های ماتریس فاصله

$$Q_k = \sum_{k=1}^K a_k r_k y_k e \quad (1)$$

در این رابطه، Q_k بیانگر میزان تولید (مگاگرم) زیست‌توده در واحد سطح برای محصول k ، a_k بیانگر مساحت زیر کشت (هکتار) برای محصول k ، r_k میزان تولید محصول k در واحد سطح (مگاگرم در هکتار)، y_k نسبت زیست‌توده به محصول k و e بیانگر کارایی ماشین بیلر (درصد) هنگام جمع نمودن و کپه کردن زیست‌توده در عرصه (معادل ۸۰٪ در زمین‌های مسطح و کم شیب طبق دستورالعمل کارخانه سازنده) است. برای برآورد نسبت زیست‌توده به محصول و میزان تولید محصول در هر مزرعه بسته به سطح زیر کشت مزارع به‌صورت تصادفی و به تعداد ۳ نمونه زیست‌توده در هر کشت اقدام شد. نمونه‌برداری زیست‌توده جهت تعیین وزن زیست‌توده خشک (کاه و کلش) از کوادرات‌های ۰/۲۵ مترمربع استفاده شد. هم‌چنین برای تعیین نسبت زیست‌توده به محصول از کوادرات‌های ۲۵ مترمربع در هریک از مزارع هدف انجام شد. در مجموع تعداد ۱۵۰ نمونه جهت تعیین وزن زیست‌توده خشک و ۱۵۰ نمونه جهت تعیین نسبت زیست‌توده به محصول برداشت شد. نمونه‌های زیست‌توده جمع‌آوری‌شده در هر نوبت پس از خرد کردن به ابعاد ۱-۰/۵ سانتی‌متر به آزمایشگاه منتقل شد و وزن تر آن‌ها بلافاصله ثبت گردید. وزن خشک نمونه‌ها با قرار دادن در داخل آون در دمای 65 ± 3 درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت و توزین مجدد آن‌ها به‌دست آمد. پارامتر نسبت زیست‌توده به محصول برای گندم در پژوهش حاضر معادل ۱/۲۴، برنج، ۰/۹، سویا ۲ و کلزا معادل ۲/۴۳ تن در هکتار محاسبه گردید. هم‌چنین با توجه به اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری میدانی مقدار تولید زیست‌توده در هکتار برای محصول گندم ۳/۳۷، برنج

خوشه‌ها در سطح محلی با استفاده از رابطه ۶ و ۷ انجام شد.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{S_i^2} \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}_j) \quad (6)$$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{x}_j)^2}{n-1} \quad (7)$$

در این رابطه، I_i بیانگر شاخص محلی موران برای خوشه i ، میانگین تراکم زیست‌توده، w_{ij} وزن ماتریس مکانی، n بیانگر تعداد مشاهدات مکانی است. شاخص آماره Z (z-score) و سطح معنی‌داری (p -value) برای این شاخص همانند شاخص عمومی محاسبه شد و از تکرار مجدد آن‌ها خودداری شد. با توجه به الگوی مکانی موقعیت خوشه‌ها، پنج توزیع مکانی را از انجام تحلیل‌ها می‌توان دریافت کرد (۱۹).
 (i) توزیع بالا-بالا (HH) خوشه‌های با مقادیر زیاد زیست‌توده و همسایه‌های مشابه معرف خوشه داغ،
 (ii) توزیع کم-پایین (LL) خوشه‌های با مقادیر کم و همسایه‌های مشابه معرف خوشه سرد،
 (iii) توزیع بالا-پایین (HL) خوشه‌های با ارزش یا مقادیر بالای زیست‌توده که توسط همسایه‌های با ارزش کم یا مقادیر پایین زیست‌توده احاطه شده‌اند،
 (iv) توزیع پایین-بالا (LH) شامل خوشه‌های با مقادیر کم زیست‌توده که توسط همسایگان با ارزش یا مقادیر بالای زیست‌توده احاطه شده‌اند و (v) خوشه‌های مکانی که همبستگی محلی آن‌ها معنی‌دار نیست (۲۰).
 انجام تحلیل عمومی و محلی موران با استفاده از دستور تحلیل خوشه‌ای و تحلیل نقاط پرت^۲ در GIS و نرم‌افزار GeoDa نسخه ۱/۲ انجام شد. تعداد سایت‌های قابل دسترس، مساحت و مجموع

مکانی می‌باشد. در مرحله بعد، متوسط فاصله بین همسایه‌ها با استفاده از روش فاصله اقلیدوسی و تعداد مزارع در هر یک از خوشه‌ها محاسبه شد. در مرحله آخر، تحلیل خودهمبستگی یک گراف از نحوه پراکنش مزارع به همراه تحلیل‌های آماری مانند آماره Z (z-score) را ارائه خواهد کرد که معنی‌داری شاخص خودهمبستگی را برای هر یک از خوشه‌ها با استفاده از آن محاسبه گردید (رابطه ۳).

$$Z = \frac{I - E[I]}{\sqrt{\text{var}[I]}} \quad (3)$$

در این رابطه، $E[I]$ امید ریاضی و $\sqrt{\text{var}[I]}$ واریانس می‌باشد که از طریق روابط ۴ و ۵ محاسبه شدند.

$$E[I] = -\frac{1}{n-1} \quad (4)$$

$$\text{var}[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (5)$$

شاخص خود همبستگی عمومی موران، تنها یک آماره برای نحوه توزیع خوشه‌های مکانی در کل منطقه ارائه می‌دهد. این شاخص با فرض همگنی مکانی و پیروی از الگوی توزیع گوسی نرمال، خودهمبستگی مکانی را در سطح کلی و از طریق میانگین‌گیری از ضرایب خودهمبستگی مکانی خوشه‌های منفرد، یک عدد را برای کل منطقه اعلام می‌کند. اگر چنین فرضی صادق نباشد، می‌توان خوشه‌هایی که در سطوح فردی یا سطح محلی دارای همگنی بالا و یا خودهمبستگی مکانی بالا هستند را یافت که به آن شاخص خود همبستگی محلی موران گفته می‌شود.^۱ محاسبه این شاخص برای هر یک از

2- Cluster and outlier analysis (Anselin local moran's I)

1- Local indicators of spatial association (LISA)

نتایج

آمار توصیفی سطح و میزان تولیدات زراعی کل کشور: مجموع مساحت محصولات زراعی در کل کشور معادل ۱۲/۱۹ میلیون هکتار بوده است که از این مقدار حدود ۵۱/۳ درصد اراضی آبی و ۴۸/۷ درصد اراضی دیم بوده است. از مجموع اراضی زیرکشت در بخش کشاورزی ۹۱/۸۰ میلیون تن انواع محصولات زراعی برداشت شده است، طوری که ۹۱/۳۵ درصد تولیدات متعلق به اراضی با کشت آبی و ۸/۶۵ درصد تولیدات مربوط به اراضی با کشت دیم بوده است (جدول ۱). بیش‌ترین میزان تولید محصولات دیم به‌ترتیب مربوط به گندم، جو، نخود، شبدر و یونجه و بیش‌ترین میزان تولید آبی متعلق به ذرت علوفه‌ای، گندم، نیشکر، گوجه‌فرنگی و یونجه به‌ترتیب بوده است. توزیع گروه اصلی محصولات زراعی کاشته شده، نشان می‌دهد که به لحاظ سطح زیرکشت، غلات بیش‌ترین مساحت و نباتات علوفه‌ای در رتبه دوم بوده است. به لحاظ میزان تولید، گروه محصولات نباتات علوفه‌ای رتبه اول و غلات رتبه دوم را به خود اختصاص داده است.

از مجموع مساحت کل محصولات زراعی کاشته شده در کشور (۱۲ میلیون هکتار)، بیش‌ترین سطح مربوط به غلات (۷۱٪) و کم‌ترین سطح مربوط به محصولات جالیزی بوده است. این در حالی است که از مجموع محصولات زراعی تولید شده در کل کشور، سهم گروه غلات ۲۵٪، نباتات علوفه‌ای ۲۷٪، سبزیجات ۲۲٪، محصولات حبوبات ۰/۹٪، محصولات جالیزی ۸٪ و محصولات صنعتی ۱۵٪ بوده است. درصد سطح برداشت و میزان تولید محصولات زراعی در کل کشور در سال زراعی مطالعه شده در شکل ۱ ارائه شده است.

زیست‌توده در اطراف سایت کانیدیا در ۴ کلاس فاصله ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ کیلومتر مورد ارزیابی واقع شد. پس از شناسایی مناطق با تراکم بالای زیست‌توده، مناطق کانیدیا از نظر هزینه حمل‌ونقل، هزینه واحد حمل و کارایی برای احداث سایت بایوانرژی مورد ارزیابی واقع شدند. فاصله بین هریک از مزارع عرضه‌کننده زیست‌توده با هر یک از سایت‌های کانیدیا با استفاده از دستور Near در GIS اندازه‌گیری شد. هزینه واحد حمل (دلار/کیلومتر/مگاگرم) هم از طریق تقسیم مجموع هزینه حمل‌ونقل (حاصل ضرب فاصله در مقدار زیست‌توده قابل حمل و هزینه انتقال) ۱/۴۸ دلار در کیلومتر: نرخ دولتی ۲۵۰۰۰ تومان در نظر گرفته شد) به‌کل زیست‌توده موجود در اطراف هر سایت کانیدیا محاسبه شد (۲۱). در نهایت شاخص کارایی سایت‌های کانیدیا از طریق رابطه ۸ محاسبه شد (۱۹).

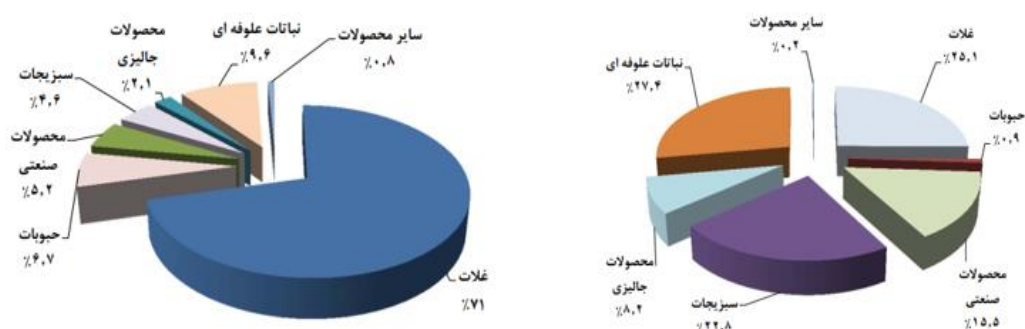
$$A = \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} H v_{ik} \left(1 - \frac{d_{ij}}{\bar{D}_{mx}}\right) \quad (8)$$

در این رابطه، A بیانگر درجه جذابیت سایت کانیدیا، $H v_{ik}$ مقدار زیست‌توده قابل برداشت (تن) در سایت i فاصله حمل‌ونقل بین سایت عرضه‌کننده زیست‌توده و بایوانرژی، \bar{D}_{mx} حداکثر فاصله مجاز حمل زیست‌توده به سمت سایت بایوانرژی، N بیانگر تعداد سایت‌های عرضه‌کننده زیست‌توده است که در یک فاصله معین نسبت به سایت کانیدیا قرار دارند. هرچه حاصل عبارت فوق بزرگ‌تر باشد بیانگر این نکته است که حجم زیست‌توده و تعداد نقاط عرضه‌کننده بیش‌تری در یک فاصله کم‌تر در دسترس سایت کانیدیا است که در نهایت منجر به پایین آمدن هزینه واحد حمل و مجموع هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین زیست‌توده می‌گردد.

جدول ۱- سطح برداشت و تولید محصولات زراعی کشور در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹.

Table 1. Area and production Levels of agricultural products in the period 2020-21.

نوع کشت Cultivation type			نوع کشت Cultivation type			
مجموع Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed	مجموع Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed	
12.19	6.26	5.93	91.97	83.84	7.49	
گروه محصولات اصلی تولید شده Major production group						
سایر محصولات Others	نباتات علوفه‌ای Fodder crops	محصولات جالیزی Garden vegetables	سبزیجات Vegetables	محصولات صنعتی Industrial products	حبوبات Grain	غلات Cereal
1.17	0.26	0.56	0.64	0.81	8.66	سطح کشت (میلیون هکتار) Cultivation area (M ha)
25.12	7.52	20.92	14.19	0.79	23.07	تولید محصولات (میلیون تن) Production level (M tone)



شکل ۱- درصد تولید مربوط به گروه محصولات اصلی در کل کشور (راست)، درصد مساحت برداشت گروه محصولات اصلی در کل کشور (چپ).

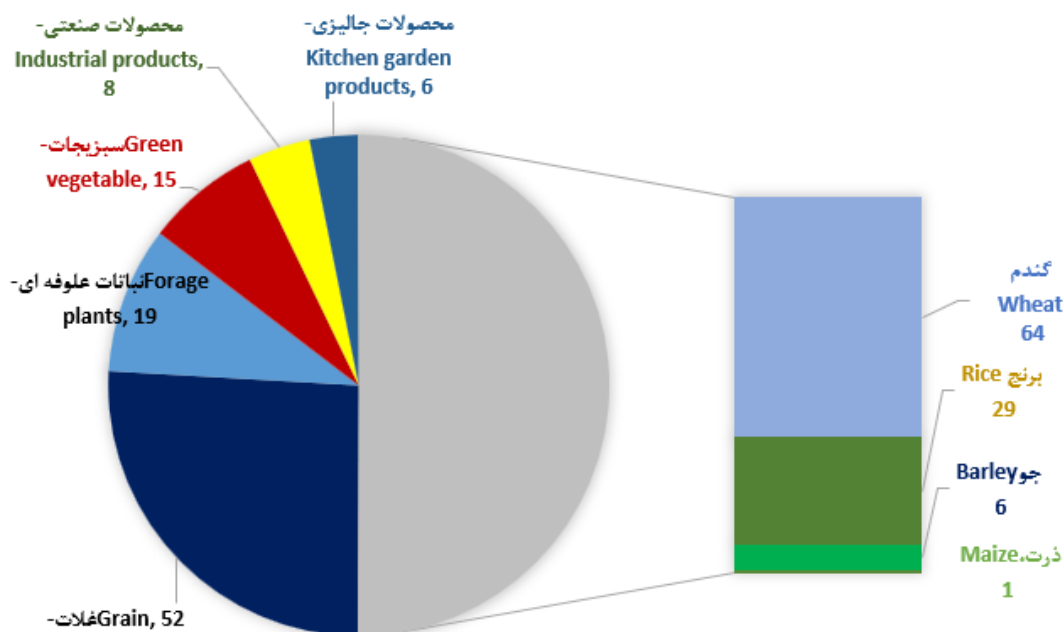
Figure 1. Proportion of products (right) and area (left) for major products in the country level.

زراعی متعلق به استان‌های قم (۰/۰۶۱ میلیون هکتار)، البرز (۰/۰۳۹ میلیون هکتار) و یزد (۰/۰۲۹ میلیون هکتار) بوده است. هم‌چنین به لحاظ میزان تولید، ۱۸/۲ درصد محصولات زراعی تولید شده مربوط به استان خوزستان (۱۶ میلیون تن) بوده است، استان فارس با ۹/۱٪ و خراسان رضوی با ۵/۲٪ در رتبه‌های بعدی قرار گرفته است. کم‌ترین مقدار تولید متعلق به

شکل ۲ توزیع محصولات زراعی کاشته شده در سطح کشور نشان می‌دهد، استان خوزستان بیش‌ترین سطح زیرکشت برای محصولات زراعی (۱/۲۰ میلیون هکتار) را به خود اختصاص داده است. استان کرمانشاه (۰/۸۶ میلیون هکتار)، فارس (۰/۸۵ میلیون هکتار) و کردستان (۰/۷۸ میلیون هکتار) در رده‌های بعدی جای گرفته‌اند. کم‌ترین سطح محصولات

محصولات این گروه را به خود اختصاص داده است (شکل ۳).

برنج و جو در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار گرفته‌اند. محصول ذرت دانه‌ای کم‌ترین سهم از



شکل ۳- مقدار تولید گروه‌های اصلی محصولات تولید شده (به درصد) در استان گلستان.
Figure 3. Proportion of produced products in Golestan Province.

محصول برداشت شده است. سهم مساحت اراضی تحت کشت گندم، برنج، کلزا و سویا به ترتیب ۰.۵۷٪، ۰.۲۳٪، ۰.۱۶٪ و ۰.۰۴٪ بوده است. بیش‌ترین میزان تولید مربوط به گندم، ۰.۶۴٪، برنج، ۰.۳۰٪، کلزا، ۰.۰۴٪ و کم‌ترین آن مربوط به سویا با سهم ۰.۰۲٪ بوده است. بیش‌ترین و کم‌ترین سطح زیرکشت و میزان تولید گندم متعلق به گنبدکاووس و بندرگز، بیش‌ترین و کم‌ترین سطح زیرکشت و میزان تولید برنج متعلق به گنبدکاووس و گمیشان، بیش‌ترین و کم‌ترین سطح زیرکشت و میزان تولید سویا متعلق به گرگان و گمیشان و بیش‌ترین و کم‌ترین سطح زیرکشت کلزا متعلق به گنبدکاووس و بندرگز بوده است. حال آن‌که بیش‌ترین و کم‌ترین تولید کلزا متعلق به گمیشان و گالیکش بوده است.

از آن جایی که نباتات علوفه‌ای در استان بیش‌تر توسط صنعت دامداری و دام‌پروری در استان گلستان مصرف می‌شود، نمی‌توان برنامه‌ریزی تولید انرژی برای این محصول متصور شد. سبزیجات، محصولات صنعتی (سویا، گلرنگ و ...) و محصولات جالیزی (خیار، هندوانه و ...) هم خوراک اصلی مردم بوده و درصد بالای تولید آن در استان مصرف می‌شود؛ بنابراین، تنها استفاده از گروه محصولات غلات (گندم، جو، شلتوک، سویا و ذرت دانه‌ای) است که می‌تواند برای تولید زیست‌توده مطرح باشد. مقدار تولید و مساحت مزارع مربوط به چهار محصول مورد مطالعه گروه غلات در سطح شهرستان‌های استان گلستان در شکل ۴ ارائه شده است. از مجموع ۵۲۳ هزار هکتار اراضی تحت کشت، ۲/۰۱۵ میلیون تن

زیست‌توده در هکتار متعلق به محصول گندم و کم‌ترین آن مربوط به محصول سویا بوده است. مقدار زیست‌توده خالص و قابل‌برداشت^۱ (مقدار مجاز قابل‌برداشت با در نظر گرفتن هم‌زمان محدودیت‌های پایداری عرصه مورد عمل و عملکرد ماشین‌آلات برداشت‌کننده) برای تولید انرژی با درصد بازیابی ۴۵٪ محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار زیست‌توده قابل‌برداشت معادل ۸۴۰ هزار مگاگرم زیست‌توده در کل عرصه مورد مطالعه بوده است.

کمی (شامل کمینه، بیشینه، میانگین و تعداد مزارع) مربوط به میزان زیست‌توده ناخالص (قبل از اعمال محدودیت‌ها) و مقدار خالص (بعد از اعمال محدودیت‌ها) در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در مجموع مقدار زیست‌توده ناخالص برای ۴ کشت مورد بررسی معادل ۱/۸ میلیون مگاگرم برآورد شد. بیش‌ترین تعداد مزارع مربوط به محصول برنج و کم‌ترین آن مربوط به محصول سویا بوده است. این در حالی است که بیش‌ترین میانگین

جدول ۲- میزان زیست‌توده ناخالص و خالص قابل‌دسترس (مگاگرم وزن خشک) برای هر یک از محصولات مورد مطالعه.

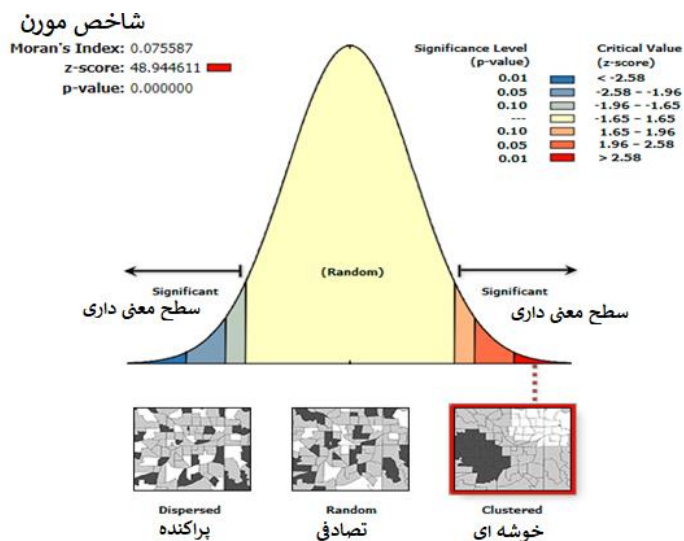
Table 2. Gross and harvestable residue biomass available (dry Mg) for each cultivated product in the study area.

مجموع (مگاگرم) Total (Mg)		میانگین (مگاگرم) Mean (Mg)		تعداد مزارع No. of farmland	نوع بقایای گیاهی Residue type	زیست‌توده Cultivation type
خالص Harvestable	ناخالص Gross	خالص Harvestable	ناخالص Gross			
395,172	878,160	18.38	40.85	21,497	کاه و کلش Wheat straw	گندم Wheat
246,780	548,400	6.95	15.44	35,508	شلتوک و کلش Rice straw	برنج Rice
44,171	98,158	5.71	12.69	7,738	پوشال Soybean straw	سویا Soybean
154,040	342,292	7.96	17.68	19,361	ساقه و کلش Rapeseed stalk	کلزا Rapeseed
840,163	1,867,011	-	-	-	مجموع Total	

عرضه مواد خام تا سایت بایوانرژی کم‌تر باشد، هزینه حمل‌ونقل آن و در نهایت قیمت تحویل آن حداقل خواهد بود. تحلیل محلی خودرگرسیون مکانی نشان داد که آماره z معادل ۴۸/۴۹ بوده که در سطح کم‌تر از ۱٪ معنی‌دار است و الگوی توزیع زیست‌توده در منطقه مورد مطالعه از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌نماید (شکل ۶).

تعداد مزارع مورد بررسی برای کشت‌های مورد مطالعه در این پژوهش ۸۴۱۰۴ مزرعه با مجموع مساحت ۴/۶۷ هزار هکتار در سطح استان بوده است. پس از شناسایی مناطق حاوی زیست‌توده، مناطقی که حاوی بالاترین مقدار تولید در واحد سطح نسبت مناطق همجوار خود بودند شناسایی شد. شناسایی این مناطق می‌تواند به یافتن مناطق مناسب جهت احداث سایت(های) بایوانرژی کمک نماید. چون هرچه فاصله

1- Residue Removal Rate

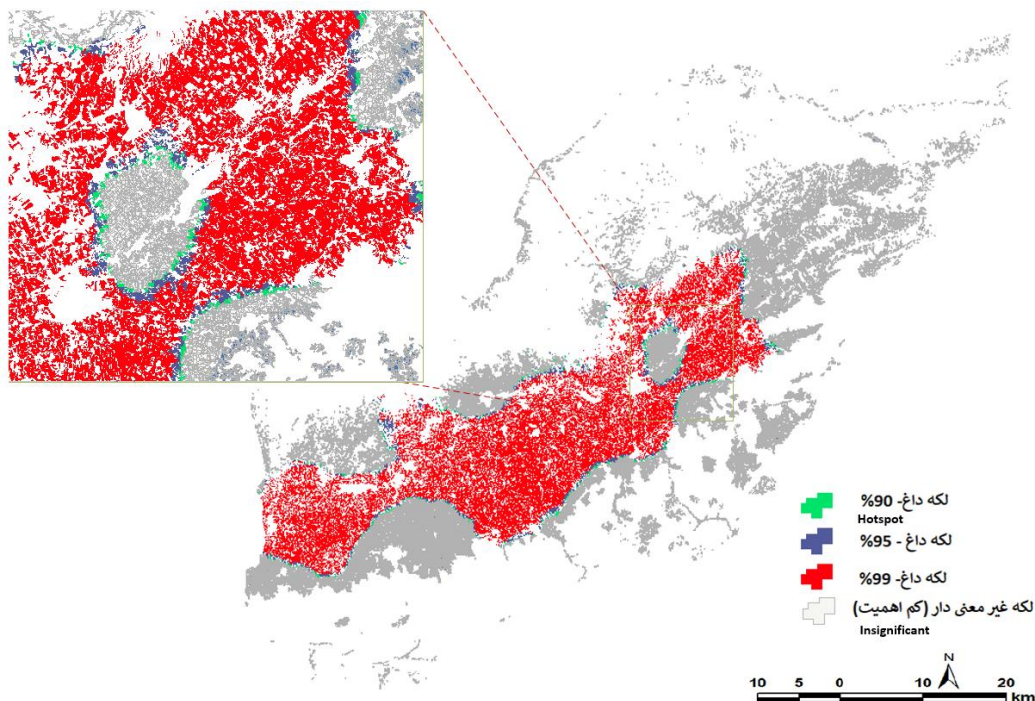


شکل ۶- نتایج آماری تحلیل خود رگرسیون محلی موران.

Figure 6. Statistical results of the local indicator of spatial association (LISA).

حاوی زیست‌توده با احتمال ۹۰، ۹۵ و ۹۹٪ می‌باشد (شکل ۷).

بعد از انجام این آزمون، نقشه نقاط داغ زیست‌توده^۱ قابل‌دسترس در عرصه مورد نظر تهیه شد. این نقشه حاوی پردازش مکانی مزارع داغ

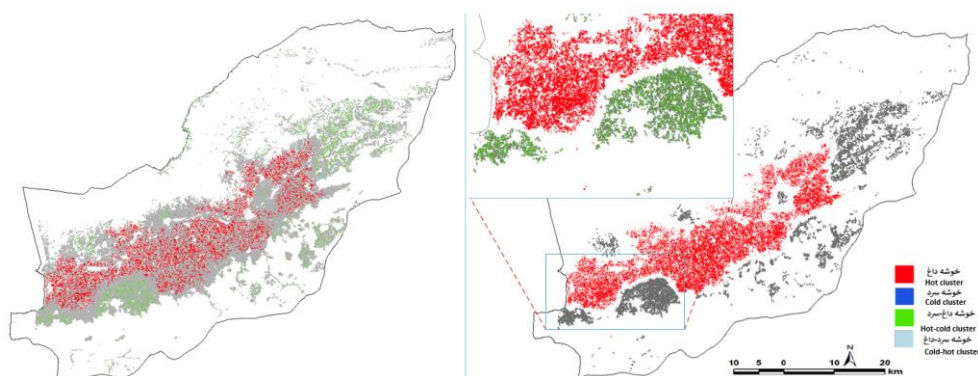


شکل ۷- نقشه داغ مزارع حاوی زیست‌توده در سطح احتمال ۹۰، ۹۵ و ۹۹٪ در منطقه مورد مطالعه.

Figure 7. Hotspot map of the available residue biomass at 90%, 95% and 99% level in the study area.

نتایج این تحلیل نشان داد که از مجموع ۳۵۵۰۸ خوشه تشکیل شده، ۱۵٪ آن‌ها در محدوده خوشه سرد و ۱۸٪ در محدوده خوشه داغ قرار دارند. ۶۷٪ خوشه‌های باقی‌مانده نه در محدوده خوشه سرد و نه در محدوده خوشه گرم قرار دارند. به عبارت دیگر، این خوشه‌ها، جزو خوشه‌های منفرد و بدون خوشه‌های همسایه در اطراف خود می‌باشد. از مجموع خوشه‌های داغ (۱۸٪)، ۳۳/۸۰٪ در سطح احتمال ۹۰٪،

۵/۲۰٪ در سطح احتمال ۹۵٪ و ۹/۱۷٪ خوشه‌ها در سطح احتمال ۹۹٪ جزو خوشه داغ محسوب می‌شوند که معادل ۲۹٪ مساحت منطقه مورد مطالعه بوده است. به منظور شفافیت تحلیل انجام شده، فقط خوشه‌های داغ (حداکثر انرژی زیست‌توده (HH)) و خوشه‌های داغ-سرد (HL) که از نظر آماری معنی‌دار هستند نمایش داده شدند (شکل ۸).

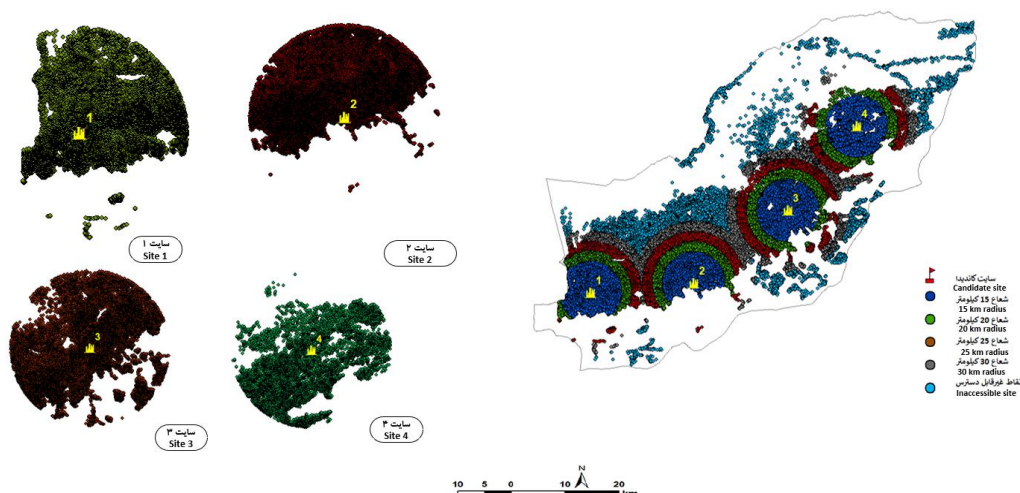


شکل ۸- نتایج گرافیکی مدل شاخص خودهمبستگی مکانی با استفاده از شاخص موران در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۰۱ (سمت چپ)، خوشه‌های داغ و خوشه‌های داغ سرد (سمت راست).

Figure 8. Thematic map of the local spatial correlation at 0.0001 level (left), hot clusters and cold clusters (right).

بعد از تکمیل آنالیزهای مکانی، ۱۵۳۲۶ خوشه داغ و ۵۱۲۹ خوشه داغ-سرد شناسایی شد. این خوشه‌ها در مجموع ۲۴٪ از مجموع خوشه‌های زیست‌توده قابل‌دسترس را به خود اختصاص داده است. خوشه‌های سرد و خوشه‌های سرد-داغ به ترتیب ۲۵٪ و ۲۶٪ از مجموع زیست‌توده شناسایی شده را به خود اختصاص داده است. خوشه‌های منفرد در کل عرصه حدود ۲۴٪ از زیست‌توده مزارع را به خود اختصاص داده‌اند، بدیهی است که این مزارع اگرچه دارای زیست‌توده هستند اما برداشت آن‌ها مستلزم هزینه حمل‌ونقل بالاتر نسبت به خوشه‌های داغ و داغ-سرد خواهد بود. کل زیست‌توده واقع در خوشه‌های

شناسایی شده (داغ و داغ-سرد) به نقاط با مختصات مشخص مکانی واقع در مرکز پیکسل‌ها منتقل گردید و به‌عنوان نقاط بالقوه سایت‌های استراتژیک عرضه‌کننده زی‌توده جهت محاسبه هزینه حمل‌ونقل به‌کار گرفته شدند. با توجه به تمرکز زیست‌توده مربوط به خوشه‌های داغ و داغ-سرد، ۴ سایت کاندیدا در مرکز خوشه‌های داغ و داغ-سرد شناسایی شد (شکل ۹)، طوری که مجموع فاصله وزنی بین این مراکز با مجموعه داده‌ها حداقل ممکن باشد. محاسبه این فاصله با استفاده از تابع Median Center در محیط GIS انجام شد.



شکل ۹- مقدار زیست توده قابل دسترس در شعاع‌های مختلف اطراف سایت‌های کاندیدا.

Figure 9. Quantify of residue biomass in various distances surrounding candidate sites.

تقریباً مشابه بوده است، حال آن‌که کم‌ترین هزینه حمل و نقل (۱۷/۴۷ دلار/کیلومتر/مگاگرم) مربوط به سایت شماره ۱ بوده است. به لحاظ کارایی سایت‌های شناسایی شده، سایت دو و سه تقریباً مشابه و کم‌ترین کارایی مربوط به سایت ۴ بوده است. بسته به متغیر مورد بررسی میزان زیست توده و بیش‌ترین مساحت مورد عمل در شعاع ۳۰ کیلومتری مشاهده شده است، حال آن‌که کم‌ترین هزینه حمل و نقل و هزینه واحد حمل در شعاع ۱۵ کیلومتری مشاهده شد.

جدول ۳ تجزیه و تحلیل مربوط به شبکه حمل و نقل را نشان می‌دهد. بیش‌ترین تعداد مزارع در دسترس (۶۴۸۲۹)، بیش‌ترین مساحت (۳۸۸۰۷۰ هکتار) و بالاترین مقدار زیست توده (۱۵۴۲۹۸۲ مگاگرم) در بین سایت‌های کاندیدا، مربوط به سایت شماره ۲ بوده است. کم‌ترین مجموع هزینه حمل و نقل (۱۱/۶۱ میلیون دلار) در سایت شماره ۴ و بیش‌ترین مقدار آن (۳۴/۷۴ میلیون دلار) در سایت شماره ۲ مشاهده شد. هزینه واحد حمل و نقل نیز برای دو سایت ۲ و ۳

جدول ۳- تجزیه و تحلیل عددی مربوط به سایت‌های کاندیدا جهت مکان‌یابی سایت‌های بالقوه بایوانرژی.

Table 3. Numerical results correspond to candidate site for potential bioenergy site(s).

مجموع Total	شماره سایت No. of site				شعاع دسترسی Radius distance	
	4	3	2	1		
27,841	4,152	8,252	8,080	7,357	15	تعداد سایت عرضه‌کننده
43,733	6,664	12,864	13,839	10,366	20	زیست توده
59,319	8,942	18,299	19,366	12,712	25	No. of supply sites
72,113	11,042	23,458	23,544	14,069	30	
	30,800	62,873	64,829	44,504	مجموع Total	
162,649	17,579	49,256	47,686	48,127	15	مساحت مزارع واقع شده در
251,676	27,546	77,229	81,573	65,327	20	شعاع دسترسی (هکتار)
340,644	37,922	109,026	116,194	77,501	25	Area of farm within a
413,385	48,424	137,839	142,616	84,506	30	radius distance (ha)
	131472	373350	388070	275,462	مجموع Total	

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

مجموع Total	شماره سایت No. of site				شعاع دسترسی Radius distance	
	4	3	2	1		
646,933	70,741	195,438	189,989	190,766	15	زیست‌توده قابل دسترس (مگاگرم) Available residue (Mg)
1,001,902	110,659	306,792	324,810	259,641	20	
1,356,128	152,188	433,268	461,657	309,015	25	
1,646,289	193,811	548,281	566,527	337,670	30	
	527,398	1,483,779	1,542,982	1,097,092		
8.99	1.02	2.72	2.71	2.53	15	مجموع هزینه حمل و نقل (میلیون دلار)
18.19	2.05	5.62	6.23	4.29	20	
29.98	3.43	9.84	10.78	5.92	25	Total transportation cost (M\$)
41.70	5.10	14.50	15.02	7.08	30	
	11.61	32.69	34.74	19.81	مجموع Total	
	14.41	13.94	14.28	13.26	15	هزینه واحد حمل (دلار/کیلومتر/مگاگرم) Unit transportation cost (\$/km/Mg)
	18.55	18.31	19.18	16.51	20	
	22.56	22.72	23.34	19.16	25	
	26.34	26.45	26.51	20.95	30	
	20.46	20.36	20.83	17.47	متوسط Average	
242,163	24,823	72,716	67,791	76,833	15	کارایی سایت بایوانرژی Site efficiency
387,480	41,317	117,034	114,296	114,833	20	
545,992	59,382	167,216	170,405	148,990	25	
519,252	55,858	156,280	160,669	146,445	30	
	181,380	513,246	513,161	487,100	مجموع Total	

بحث و نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر ارزیابی و تخمین مقدار زیست‌توده قابل دسترس به منظور توسعه و تبدیل به انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح استان گلستان مورد مطالعه واقع شد. به جرأت می‌توان گفت که این مطالعه در نوع خود جزء مطالعات پیشگام استفاده از تحلیل‌های مکانی خوشه‌ای در ارزیابی زیست‌توده قابل دسترس برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در داخل کشور می‌باشد که با استفاده از اطلاعات دقیق مبتنی بر نمونه‌برداری زمینی نقشه زیست‌توده در سطح استان را تهیه نموده و مکان‌های مناسب برای

به‌طور کلی می‌توان اشاره کرد که سایت شماره دو و سه داری در اولویت بالاتری نسبت به دو سایت دیگر قرار دارند، هر چند سایت ۳ دارای زی‌توده و مساحت تحت پوشش کم‌تر نسبت به سایت ۲ را دارد ولی در عوض مجموع هزینه و هزینه واحد حمل کم‌تری نسبت به سایت شماره ۳ را دارد. مزارع واقع در سایت ۲ که در جنوب استان گلستان قرار دارد تعداد و مساحت مزارع بیش‌تری نسبت به سایت شماره ۳ که در مرکز به سمت شمال استان قرار دارد (شکل ۹).

(۱۳۸۹) نیز نشان داد که استفاده از کاه و کلش غلات می‌تواند منبع مناسبی برای توسعه سوخت‌های تجدیدپذیر در ایران باشد (۲۳).

تولید پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها وابستگی کاملی به منابع ورودی (زیست‌توده) دارد، بلکه تخمین هزینه‌های حمل‌ونقل و مکان‌یابی سایت‌های بهینه نیز اهمیت بالایی دارد. مطالعات متعدد در زمینه زنجیره تولید و تأمین زیست‌توده انجام شده است که هزینه‌های حمل‌ونقل و فاصله اقتصادی جمع‌آوری منابع ورودی را به‌عنوان مهم‌ترین اجزای این زنجیره معرفی کرده‌اند. این هزینه بر اساس مطالعات (۲۴) حدود ۲۵-۵۰٪ هزینه‌های کل زنجیره را به خود اختصاص می‌دهد. در مطالعه حاضر علاوه بر ارزیابی و تخمین مقدار زیست‌توده قابل‌دسترس، هزینه‌های حمل‌ونقل زیست‌توده از سایت‌های عرضه‌کننده به سمت سایت‌های کاندیدا که ارتباط مستقیمی با فاصله حمل‌ونقل دارند نیز مورد توجه قرار گرفت و موقعیت سایت‌های کاندیدا از این حیث مورد ارزیابی واقع شد. بدیهی است که هرچه موقعیت این سایت‌ها به زیست‌توده قابل‌دسترس نزدیک‌تر باشد، هزینه‌های شبکه تأمین نیز در حداقل خود خواهد بود. به همین دلیل بود که پژوهش حاضر بجای استفاده از روش‌های دیگر، مثلاً جانمایی تعداد ثابت سایت بدون در نظر گرفتن شرایط منطقه و با استفاده از روش‌های مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (۲۰)، از روش تمرکز زیست‌توده جهت کاهش هزینه‌های حمل و هزینه تحویل استفاده نمود. هتو و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از روش تحلیل مکانی خوشه‌ای در ترکیب با سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در GIS به تخمین زیست‌توده قابل‌دسترس در بخش کشاورزی در میانمار پرداختند (۱۶). نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از این روش قابلیت مناسبی برای انجام

احداث سایت‌های بایوانرژی را با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل‌ونقل را شناسایی و ارزیابی نموده است. روش به‌کار گرفته شده در این پژوهش عمومی بوده و قابلیت به‌کارگیری در مناطق دیگر با شرایط مشابه را داراست و فقط نیازمند به‌روزرسانی داده‌های ورودی می‌باشد. اخیراً، مطالعات محدودی به ارزیابی پتانسیل ضایعات لیگنوسلولزی جهت تولید انرژی تجدیدپذیر در داخل کشور انجام شده است (۱۱، ۱۴، ۱۵)؛ اما بیش‌تر اطلاعات آن‌ها مبنی بر آمار منتشر شده از سوی جهاد کشاورزی استان بوده است که فاقد جزئیات دقیق و مختصات مکانی می‌باشد.

تحلیل آمار توصیفی در کل کشور و استان گلستان نشان داد که گروه محصولات غلات بیش‌ترین سهم کاشت را در بین محصولات اصلی داشته است و با توجه به این‌که در حال حاضر هیچ برنامه مدیریتی برای جمع‌آوری و برداشت ضایعات حاصل از برداشت نهایی محصولات اصلی گروه غلات وجود ندارد و سهم عظیمی از این ضایعات پس از برداشت محصول اصلی سوزانده می‌شود و یا در بهترین حالت محدود در طی مراحل آماده‌سازی زمین به‌عنوان ماده آلی به خاک برگردانده می‌شود. استفاده از این ضایعات برای تولید انرژی می‌تواند گزینه مناسبی جهت مدیریت بهینه این منابع باشد. نتایج حاصل از تحلیل‌های خوشه‌ای نشان داد که ۸۴۰ هزار مگاگرم زیست‌توده در کل عرصه مورد مطالعه قابل‌برداشت می‌باشد. بیش‌ترین سهم زیست‌توده مربوط به کاه و کلش گندم بوده است و شلتوک برنج، ساقه و کلش کلزا و پوشال سویا در رتبه‌های بعدی جای گرفته‌اند. لازم به توضیح است که این حجم برآورد شده از زیست‌توده، مقدار خالص و قابل‌دسترس پس از کسر محدودیت‌های مربوط به رویشگاه، حاصلخیزی خاک و سهم حیوانات اهلی پس از برداشت محصول اصلی بوده است (۲۲). مطالعات سیگارودی و همکاران

کیلومتری به این سایت‌ها منتقل شود. هزینه واحد حمل برآورد شده در این پژوهش، دامنه بالای هزینه‌ها می‌باشد و لازم است که با در نظر گرفتن محدودیت‌های دیگر نظیر محدودیت مربوط به ظرفیت سایت‌های کانیدیا و با محدودیت انتقال جریان بر روی لینک‌های شبکه حمل‌ونقل در نظر گرفته شود تا این هزینه با دقت بیشتری برآورد گردد و لازم است در پژوهش‌های آینده این موضوع در نظر گرفته شود.

سیاسگذاری

این پژوهش با حمایت گرانت تحقیقاتی نویسنده اول، به شماره ۹۹۰۲۲۳۷۲ مصوب اسفند ۱۳۹۹، صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. از سرکار خانم فاطمه طالبی که در جمع‌آوری اطلاعات اولیه به نویسندگان کمک کردند قدردانی می‌شود.

تحلیل‌های استراتژیک زنجیره تأمین انرژی دارد. نتایج پژوهش حاضر همچنین نشان داد که تعداد چهار سایت کانیدیا در عرصه‌های دارای خوشه داغ و خوشه داغ-سرد قابلیت استقرار را دارد، حال آن‌که شایستگی این سایت‌ها و هزینه‌های حمل‌ونقل و دسترسی آنها به زیست‌توده موجود متغیر بوده است. نتایج عددی نشان داد که اگرچه سایت شماره یک و چهار کم‌ترین مجموع هزینه حمل‌ونقل و هزینه واحد حمل (۷/۰۸ میلیون دلار و ۱۷/۴۷ دلار بر کیلومتر در مگاگرم) در بین سایت‌های کانیدیا را داشته است، اما این دو سایت دارای زیست‌توده قابل‌دسترس کم‌تری (به‌طور متوسط ۲۷/۶٪ و ۶۵/۴٪ به ترتیب برای سایت ۱ و چهار) به نسبت سایت دو و سه بوده است. این در حالی است که هزینه واحد حمل‌ونقل این دو سایت به‌اندازه ۱۵/۱۷ و ۰/۵٪ از سایت دو و سه بیش‌تر بوده است. در صورت انتخاب هر یک از این دو سایت، زیست‌توده موجود در می‌تواند با هزینه واحد حمل ۲۰/۳۶ تا ۲۰/۸۳ دلار در کیلومتر به ازای مگاگرم زیست‌توده تحویلی در شعاع ۲۰-۲۵

منابع

- Hosseini, S. E., Andwari, A. M., Wahid, M. A., & Bagheri, G. (2013). A review on green energy potentials in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 533-545.
- Kassam, A. (2010). Bioenergy development: issues and impacts for poverty and natural resource management. By E. Cushion, A. Whiteman and G. Dieterle. Washington DC: World Bank, 46 (4), 563-563.
- Zambelli, P., Lora, C., Spinelli, R., Tattoni, C., Vitti, A., Zatelli, P., & Ciolli, M. (2012). A GIS decision support system for regional forest management to assess biomass availability for renewable energy production. *Environmental Modelling & Software*, 38, 203-213.
- Akhtari, S., Sowlati, T., & Day, K. (2014). Optimal flow of regional forest biomass to a district heating system. *International J. of Energy Research*, 38 (7), 954-964.
- Taghizadeh-Alisaraei, A., Assar, H. A., Ghobadian, B., & Motevali, A. (2017). Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 510-522.
- Guilhermino, A., Lourinho, G., Brito, P., & Almeida, N. (2018). Assessment of the use of forest biomass residues for bioenergy in Alto Alentejo, Portugal: logistics, economic and financial perspectives. *Waste and biomass valorization*, 9 (5), 739-753.

7. Sahoo, K., Mani, S., Das, L., & Bettinger, P. (2018). GIS-based assessment of sustainable crop residues for optimal siting of biogas plants. *Biomass and Bioenergy*. 110, 63-74.
8. Marufuzzaman, M., Li, X., Yu, F., & Zhou, F. (2016). Supply chain design and management for syngas production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 4 (3), 890-900.
9. Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T., & Yusaf, T. (2009). Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13 (6), 1418-1427.
10. Rahmani, M. (2006). The role of industries to reduce waste and promote export of horticultural crops. *J. Ravand*. 49, 201-230. [In Persian]
11. Taghizadeh-Alisaraei, A., Motevali, A., & Ghobadian, B. (2019). Ethanol production from date wastes: Adapted technologies, challenges, and global potential. *Renewable Energy*. 143, 1094-1110.
12. Ahmadi, S. A., Mirlohi, S. M., Ahmadi, M. H., & Ameri, M. (2021). Portfolio optimization of power plants by using renewable energy in Iran. *International J. of Low-Carbon Technologies*. 16 (2), 463-475.
13. Ardebili, M. S., Ghobadian, B., Najafi, G., & Chegeni, A. (2011). Biodiesel production potential from edible oil seeds in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (6), 3041-3044.
14. Nickpour, M., Khalili, M., Pazouki, M., Khalili, M., & Pazouki, M. R. (2014). Iran's Potential to Convert Biomass into Biofuel. In CHEMTECH conference 2014.
15. Azadbakht, M., Safieddin Ardebili, S.M., & Rahmani, M. (2021). Potential for the production of biofuels from agricultural waste, livestock, and slaughterhouse waste in Golestan province, Iran. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 13, 3123-3133.
16. Htoo, T., Yabar, H., & Mizunoya, T. (2022). GIS-based cluster and suitability analysis of crop residues: A case study in Yangon region, Myanmar. *Application Science*. 12, 11822.
17. Ezzati, S., & Mohammadi, J. (2023). Potential of lignocellulosic resources for bioenergy production: strategic decision-making analysis model at the regional level. *Iran National Science Foundation*. 130p. [In Persian]
18. Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena, *Biometrika*. 37, 17-23.
19. Van Holsbeeck, S., & Srivastava, S. K. (2020). Feasibility of locating biomass-to-bioenergy conversion facilities using spatial information technologies: A case study on forest biomass in Queensland, Australia. *Biomass and Bioenergy*. 139, 105620.
20. Van Holsbeeck, S., & Srivastava, S. K. (2020). Feasibility of locating biomass-to-bioenergy conversion facilities using spatial information technologies: A case study on forest biomass in Queensland, Australia. *Biomass and Bioenergy*. 139, 105620.
21. Zhang, H., Chen, H., & Zhou, G. (2012). The model of wheat yield forecast based MODIS-NDVI (A case study of Xinxiang). XXII ISPRS Congress. 25 September. Melbourne. Australia.
22. Ayamga, E. A., Kemausuor, F., & Addo, A. (2015). Technical analysis of crop residue biomass energy in an agricultural region of Ghana. *Resources, Conservation and Recycling*. 96, 51-60.
23. Sigourodi, M. J., Shabani Kia, A., & Boghlan Dashti, B. (2019). Potential of energy production from agricultural wastes in Iran. Iran's first bioenergy conference, Tehran, 21 September, Fajar Petrochemical Company, Tehran. [In Persian]
24. Bot, B. V., Tamba, J. G., & Sosso, O. T. (2022). Assessment of biomass briquette energy potential from agricultural residues in Cameroon. *Biomass Conversion and Biorefinery*. Pp: 1-13.