Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Winter 2024, Vol.1, No.4, pp 37-56

10.22077/JDCR.2023.6605.1034

Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (Chamaecytisus palmensis) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy

Shahab Eghbali Shahabad[1*], Mohammad Hasan Rahimian[2], Hadi Zare Khormizi[3]

1. Agricultural Expert, promotion and education of Yazd province, Yazd, Iran.
2. Assistant Professor, Yazd National Center for Salinity Research, Yazd, Iran.
3. Ph.D. student of pastoralism, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

***Corresponding Author: sh_weed@yahoo.com.**

Keywords:
Analytic Hierarchy Process, Climate adaptation, Multi-criteria decision making, Tagasaste.

Received:
24 July 2023

Revised:
13 September 2023

Accepted:
14 September 2023

Extended Abstract

Introduction:

In the arid and semi-arid regions of Iran, agriculture and animal husbandry activities have always been next to each other; where providing livestock fodder is one of the main concerns of farmers. Therefore, it seems necessary to introduce suitable fodder plants in these regions. Tagasaste (Chamaecytisus palmensis) is one of the fodder plants with the aim of providing the nutritional needs of livestock, which this research aims to evaluate the potential areas of its cultivation in agricultural lands of Yazd province, in Central Iran, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) techniques, as well.

Materials and methods:

First of all, tagasaste species' ecological needs were determined based on the existing literature. For this purpose, the four factors of climate, land use, topography and irrigation water were initially mentioned as the main criteria. Climate, topography and irrigation water criteria consisted of 8, 3 and 3 sub-criteria, respectively. We classified each climatic factor based on the statistics of meteorological stations with the lowest root mean square error. Also, maps of different topographic criteria, including the slope map, the aspect map, and the above-sea level map, were prepared using the Digital Elevation Model (DEM) map. The irrigation water sub-criteria maps, which included the distance from the water source, irrigation water salinity and pH, were prepared according to ground-based data from wells, springs and qanats. Finally, 15 different

How to cite this article:
Eghbali shahabad, Sh., Rahimian, M.H., & Zare Khormizi, H. (2024). Locating Potential Areas for the Cultivation and Development of Tagasaste (Chamaecytisus palmensis) in Yazd Province, Using the Geographical Information System and Analytic Hierarchy. Journal of Drought and Climate change Research, 1(4), 37-56. 10.22077/JDCR.2023.6605.1034

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

sub-main criterias were prepared, as the four main categories of climate, topography, land use and irrigation water layers, respectively. According to tagasaste's ecological needs, these geo-referenced layers were then evaluated and classified into the 8 limitation classes, ranged from extremely suitale to extremely none-suitable regions. Further, the Analytic Hierarchy Process (AHP) questionnaire analysis method was used to determine the weight of each criteria and sub-criteria, as well.

Results and discussion:

Based on the AHP analysis, the climate (0.507) and irrigation water (0.312) criteria have the highest relative weights for tagasaste cultivation in Yazd province. Among the investigated sub-criteria, the number of freezing days per year (0.212), the annual average minimum absolute temperature (0.158), the salinity of irrigation water (0.130) and the annual average maximum absolute temperature (0.072), were found as the main important sub-criteria for the cultivation of tagasaste in Yazd province, respectively. With respect to the ecological needs of tagasaste, the final results found no extremely potential or very potential areas for tagasaste cultivation in Yazd province. Potential areas (with a value of 5.5 to 6.2), relatively potential (with a value of 0.5 to 5.5), relatively not suitable areas (with a value of 0.5 to 4.5), not suitable areas (with a value of 4.5 to 4.0) and very none-suitable (having a value less than 4) covered 2.9, 9.4, 15, 62 and 10.7 percent of the Yazd province area, respectively. Non-elevated orchards of Mehriz, Taft and parts of Sadouq city, southern and southwestern areas of Khatam city, western lands of Abarkoh, a small part of southern Bahabad lands and a small part of Yazd agricultural lands have been suitable for cultivation of tagasaste, respectively. The most important limiting factors were the number of frosty days per year and the average absolute minimum temperature, as well. This seems to be necessary to have a compatibility test of this plant in the above-specified potential areas.

Conclusion:

Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS) have been found to be effective in identifying potential tagasaste cultivation areas. In general, the results indicated that some Yazd agricultural lands are suitable for tagasaste cultivation, considering the studied criteria. It was also found that there are no extremely suitable and highly suitable areas for growing tagasaste in Yazd province. This is considering the ecological needs of this plant. Based on the final map of land suitability for tagasaste cultivation in the province, it was revealed that the potential areas of tagasaste cultivation (with the highest values of suitability) are not located in high mountain areas and low land plain areas, as well.

.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره چهارم، پیاپی ۴، زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۵۶ - ۳۷

doi 10.22077/JDCR.2023.6605.1034

مکان‌یابی مناطق مستعد برای کشت و توسعه یونجه درختی (Chamaecytisus palmensis L.) در استان یزد با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی

شهاب اقبالی شاه آباد[1*]، محمدحسن رحیمیان[2]، هادی زارع خورمیزی[3]

۱. کارشناس جهاد کشاورزی استان یزد، یزد، ایران.
۲. استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد، ایران.
۳. دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: sh_weed@yahoo.com

واژه‌های کلیدی:
تصمیم‌گیری چند معیاره، درون‌یابی، سازگاری اقلیمی، گیاه علوفه‌ای.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۶/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۲۳

چکیده

کشاورزی و دامپروری در مناطق خشک و نیمه خشک همواره در کنار یکدیگر بوده و تهیه علوفه برای دام‌ها یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزان این مناطق بوده است. بنابراین معرفی گیاهان علوفه‌ای مستعد و مناسب کشت در چنین مناطقی، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از گیاهان علوفه‌ای با هدف تأمین نیاز غذایی دام‌ها، یونجه درختی از خانواده بقولات است که در این پژوهش، جهت ارزیابی توان اراضی زراعی و باغی کل استان یزد برای کشت آن، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. برای این منظور ابتدا نیازهای بوم شناختی گونه یونجه درختی بر اساس منابع تعیین شد. چهار معیار اصلی اقلیم، کاربری اراضی، توپوگرافی و آب آبیاری در نظر گفته شد. معیارهای اقلیم، توپوگرافی و آب آبیاری به ترتیب هرکدام دارای ۸، ۳ و ۳ زیر معیار مختلف بودند. در نهایت ۱۵ لایه مختلف اقلیمی، توپوگرافی، کاربری اراضی و آب آبیاری تهیه شد و بر اساس نیازهای بوم شناختی یونجه درختی در ۸، طبقه مختلف، از فوق‌العاده مستعد تا فوق‌العاده نامستعد ارزش‌گذاری شدند. از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها و زیر معیارهای مختلف استفاده شد. بر اساس نتایج نهایی، مناطق فوق العاده مستعد و بسیار مستعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد با توجه به نیازهای بوم شناختی این گیاه وجود ندارد. مناطق مستعد، نسبتاً مستعد، نسبتاً نامستعد، نامستعد و بسیار نامستعد به ترتیب ۲/۹، ۹/۴، ۱۵، ۶۲ و ۱۰/۷ درصد از اراضی استان یزد را پوشش می‌دهد. اراضی باغی غیر مرتفع شهرستان‌های مهریز، تفت و بخش‌هایی از اراضی شهرستان صدوق، مناطق جنوبی و جنوب غربی شهرستان خاتم، اراضی غربی ابرکوه، بخش کوچکی از اراضی جنوب بهاباد و بخش کوچکی از اراضی کشاورزی یزد از مناطق مستعد برای کشت یونجه درختی با توجه به عوامل مورد بررسی می‌باشند.

مقدمه

چالش فراروی توسعه پایدار در کشاورزی، امنیت غذایی جمعیت رو به رشدی است که به طور روز افزون بر نیاز غذایی آن افزوده می‌شود. استعدادیابی و پهنه‌بندی اراضی و تشویق تولیدکنندگان به تولید محصولات اساسی و با کیفیت، با ارزش افزوده بیشتر موجب تولید بهینه بر اساس عرضه و تقاضا و کاهش وابستگی خواهد شد (Halabian, and Esmaeli, 2018). یکی از دغدغه‌های اصلی کشاورزی و دامپروری در مناطق خشک و نیمه‌خشک تهیه علوفه دام‌های روستایی است. در حال حاضر علوفه اصلی برای تغذیه دام‌ها یونجه (*Medicago sativa L.*) است. با این حال نیاز آبی یونجه نسبت به اکثر گیاهان علوفه‌ای بالاست (Masoumi et al. 2017). یکی از اثرات کمبود علوفه در کشور، فشار بیش از حد دام‌ها بر مراتع و در نهایت تخریب مراتع کشور است. با کاهش تولید علوفه ارزان و با ارزش غذایی بالا، تولید گوشت قرمز کاهش و قیمت آن افزایش می‌یابد. در این زمینه یکی از گیاهان علوفه‌ای که نیازمند بررسی و مطالعات بیشتری می‌باشد، یونجه درختی است. این گیاه در حال حاضر در استرالیا، نیوزیلند و بسیاری از نقاط دیگر جهان به عنوان محصول علوفه‌ای رشد می‌کند. خانواده حبوبات[1] یک خانواده بزرگ و از لحاظ اقتصادی مهم در گیاهان گلدار است که معمولاً به عنوان خانواده نخود، خانواده لوبیا یا بقولات شناخته می‌شود. یونجه درختی یا *Chamaecytisus palmensis* یک درخت یا درختچه همیشه سبز با ارتفاع ۳-۴ متر (گاهی اوقات تا ۶ متر) می‌باشد. سامانه ریشه آن بسیار وسیع است و می‌تواند تا عمق ۱۰ متر یا بیشتر رشد کند. یونجه درختی بومی لاپالما از مجموعه جزایر قناری و دارای علوفه بسیار با ارزش با خوشخوراکی بالا و محتوای پروتئین بالا می‌باشد (Assefa, 1998; Newcomb, 1999; Cook et al. 2005). این گیاه می‌تواند به صورت مستقیم یا با سامانه‌های قطع و حمل مورد استفاده دام قرار گیرد. قسمت‌های قطع شده می‌تواند به صورت تر توسط دام مصرف شود. همچنین می‌توان آن را به صورت خشک نیز مورد استفاده دام قرار داد (Cook et al., 2005; Esterhuizen and Esterhuizen, 2016). با توجه به آنچه که گفته شد، این گیاه می‌تواند در تأمین نیاز غذایی دام‌ها نقش مهمی داشته باشد. علاوه بر این، این گیاه در بهبود باروری خاک و تثبیت نیتروژن، زنبورداری، بادشکن، اتصال دهنده ذرات خاک، جلوگیری از فرسایش، احیای خاک و ایجاد باغ‌های زینتی کاربرد دارد. میزان تولید علوفه یونجه درختی با توجه به نوع منطقه از ۵ تا ۱۸ تن علوفه خشک در هکتار در سال متغیر بوده است (Heuze et al. 2017). یونجه درختی در جزایر قناری از ارتفاع ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ متر مشاهده شده و مناسبترین محدوده ارتفاع از سطح دریا برای کشت این گیاه، از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر نسبت به سطح دریا است. این گیاه دارای تحمل متوسطی برای سرما و یخبندان است. گیاه بالغ می‌تواند در دمای ۹- درجه سانتی‌گراد زنده بماند. اما باید توجه داشت نهال‌های جوان در این دما از بین خواهند رفت. یونجه درختی در نواحی نیمه‌خشک که بارندگی سالانه در محدوده بین ۳۵۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است بخوبی رشد می‌کند و می‌تواند در مناطق با ۲۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه با پراکنش مناسب به حیات خود ادامه دهد. یونجه درختی بر روی خاک اسیدی با pH ۴/۸ تا ۶/۵ و دارای بافت شنی و زه‌کشی شده رشد می‌کند (Stokes, 2008; Newcomb, 1999). خاک‌های قلیایی و شور باعث کاهش رشد یونجه درختی می‌شوند. یونجه درختی به شرایط غرقابی و زمین‌های مرطوب دارای بافت سنگین حساس است (Heuze at al. 2017). این گیاه خاک‌های شنی با زهکشی خوب نظیر دامنه‌ها و شیب‌ها را ترجیح می‌دهد. این گیاه در خاک اسیدی بخوبی رشد می‌کند؛ با این حال بر روی خاک‌های شنی قلیایی با pH ۸/۵ نیز می‌تواند زنده بماند. تحمل شوری خاک را ندارد. یونجه درختی است که به خوبی تا ارتفاع ۳۰۰۰ متر در مناطق گرمسیری رشد می‌کند. یکی از چندین درخت علوفه‌ای است که می‌تواند در دمای بالای ۹- درجه سانتی‌گراد تحمل کند؛ با این حال نهال‌های جوان به شرایط یخبندان طولانی حساس می‌باشند. رشد این گیاه در دمای زیر ۲۰

1. *Leguminosae* یا *Fabaceae*

درجه در زمستان متوقف می‌شود. حداکثر دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کند با این حال در دمای بالای ۳۶ درجه‌سانتی‌گراد برگ‌های گیاه وارد تنش می‌شوند (Heuze et al. 2017). یونجه درختی در برابر خشکی به علت داشتن ریشه‌های عمیق (۱۰ متر یا بیشتر) مقاوم است (Heuze et al. 2017). اگرچه برای تولید خوب نیاز به بارش بیش از ۶۰۰ میلی‌متر دارد، این گیاه بسیار حساس به زهکشی ضعیف خاک است و نمی‌تواند در خاک‌های با بافت سنگین رشد کند.

امروزه برنامه‌ریزان و محققان برای تعیین عوامل دخیل در توسعه کشت و شناسایی مناطق مستعد کشت گیاهان مختلف از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌کنند. این سامانه توانایی جمع‌آوری، مرتب‌سازی، ادغام و روی هم‌گذاری لایه‌های مختلف، پردازش و تحلیل داده‌های مکانی و ذخیره‌سازی اطلاعات و تهیه خروجی را دارد (Maram et al., 2016). با این حال این سامانه توانایی ارزیابی اولویت‌بندی معیارهای مختلف در یک پروژه را ندارد (Heywood and Tomlinson, 1995). برای رفع این مشکل می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با توانایی ارزیابی و اولویت‌بندی معیارهای مختلف، استفاده نمود. در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره برای وزن‌دهی به معیارها و اولویت‌بندی معیارها از روش‌های متعددی نظیر فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1])، روش ارزش‌گذاری چند معیاره[2] و مجموع ساده وزین[3] استفاده می‌شود (Maram et al., 2016). فرایند تحلیل سلسله مراتبی اولین بار توسط الساعتی در سال ۱۹۸۰ ابداع شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده واقعی می‌باشد که در رأس آن هدف کلی مسأله (فقط یک عنصر) و در سطوح بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند. در این الگو عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه می‌شوند تا با تلفیق وزن آن‌ها، وزن نهایی هر گزینه مشخص شود. فرایند تحلیل سلسله مراتبی شامل چندین مرحله است: ایجاد درخت سلسله مراتبی، انجام مقایسات زوجی، محاسبه وزن اجزاء ساختار و گزینه‌ها و اندازه‌گیری شاخص سازگاری (Qudsipour, 2016). در این روش کارشناسان و افراد خبره قضاوت‌های مقایسه‌ای زوجی ساده‌ای را از طریق سلسله مراتب ایجاد شده تا رسیدن به اولویت‌هایی برای تمامی گزینه‌ها انجام می‌دهند (Kirti, 2001). هدف از پژوهش حاضر، مطالعه و مکان‌یابی مناطق مساعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش کل سطح استان یزد است. استان یزد در مرکز ایران (شکل ۱)، بین عرض‌های جغرافیایی ´۲۹ °۳۴ و ´۲۸ °۳۳ و طول جغرافیایی ´۴۹ °۵۲ و ´۳۶ °۵۶ قرار گرفته است. وسعت استان یزد حدود ۷۴۰۰۰ کیلومتر مربع است که دارای ده شهرستان می‌باشد. بلندترین ارتفاع آن قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۳۶ متر و پایین‌ترین نقطه آن کویر سیاه کوه با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر است.

روش تحقیق

در اولین مرحله از پژوهش، اقدام به تهیه نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی و نام‌گذاری آن‌ها به لایه‌های اصلی (معیارهای اصلی) و لایه‌های فرعی (زیرمعیار) شد. معیارهای اصلی شامل اقلیم، توپوگرافی، کاربری اراضی و آب آبیاری می‌باشد. معیار اصلی اقلیم خود شامل زیر معیارهای میانگین بارندگی سالانه، میانگین سالانه حداقل دماهای روزانه، میانگین سالانه حداکثر دماهای روزانه، میانگین سالانه دماهای روزانه، میانگین سالانه حداقل دمای مطلق، میانگین سالانه حداکثر دمای مطلق، میانگین سالانه درصد رطوبت نسبی، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان می‌باشد. در پژوهش حاضر برای تهیه این زیر معیارها از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک (زیر نظر سازمان هواشناسی) و ایستگاه‌های سنجش باران (باران‌سنجی و تبخیرسنجی: زیر نظر وزارت نیرو) استفاده شد. در مجموع از تعداد ۵۶ ایستگاه برای این منظور استفاده گردید. دوره آماری مشترک بین این ایستگاه‌ها از

1. Analytic Hierarchy Process
2. Multiattribute Value Technique
3. Simple Additive Scoring

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

Fig1. Location of case study in the country

سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ (۲۰ ساله) تعیین شد. سپس میانگین این دوره ۲۰ ساله در هر ایستگاه مشخص و با توجه به روش‌های درون‌یابی مختلف، نقشه هر پارامتر با کمترین میزان خطا پهنه‌بندی شد. در پهنه‌بندی زیر معیارهای اقلیمی از پنج روش درون‌یابی کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ ساده و معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و معکوس فاصله وزنی (IDW[1]) با توان ۲ در محیط نرم افزار GS+ V10 و ARC GIS 10.4 استفاده شد. سپس به منظور ارزیابی و تعیین دقت روش‌های درون‌یابی از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE[2]) و ضریب تبیین (R^2) یا همان توان دوم ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که به ترتیب با استفاده از معادلات ۱ و ۲ قابل محاسبه می‌باشند. در انتها روش مناسب درونی‌یابی بر اساس کمترین میزان RMSE و بالاترین میزان همبستگی انتخاب شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \quad (۲)$$

در این معادلات، x_i و y_i به ترتیب داده‌های واقعی و داده‌های مدل شده می‌باشند.

معیار توپوگرافی شامل زیر معیارهای ارتفاع از سطح دریا، میزان شیب و جهت شیب می‌باشد. این لایه‌ها (زیر معیارها) با توجه به مدل رقومی ارتفاع (DEM[3]) در نرم افزار ARC GIS 10.4 تهیه شدند.

معیار آب آبیاری نیز شامل زیر معیارهای فاصله از منبع آب آبیاری، شوری آب آبیاری و اسیدیته‌ی آن می‌باشد (Bidadi et al., 2014; Kazemi et al., 2013). در ابتدا لایه نقطه‌ای چاه‌ها و قنات‌ها از مرکز تحقیقات استان یزد (جمعاً ۲۸۰۰ نقطه) تهیه شد. سپس برای تهیه لایه فاصله از منبع آب آبیاری از ابزار Buffer در نرم‌افزار ARC GIS 10.4 استفاده شد (Hatefi Ardakani and Ekhtesasi, 2016). برای تهیه نقشه‌های میزان شوری آب آبیاری و pH آن از روش درون‌یابی تابع شعاعی (RBF[4]) در اطراف نقاط حضور چاه، چشمه و قنات به منظور پهنه‌بندی این متغیرها استفاده شد. نقشه‌های تهیه شده شوری و pH آب آبیاری فقط در محدوده ۴ کیلومتری هر نقطه (چاه، قنات یا چشمه) تهیه شد. زیرا مسلماً در نقاطی که منبع آبی وجود ندارد، نتایج پهنه‌بندی غیر قابل توصیه بوده و منطبق بر هدف پژوهش نخواهد بود.

برای تعیین مناطق مناسب کشت یونجه درختی ابتدا لازم است لایه‌های مختلف اقلیمی، فیزیوگرافی، خاکی و کاربری اراضی بر اساس روش محدودیت ساده[5] برای کشت این گونه رتبه‌بندی یا درجه‌بندی شود. برای این کار ابتدا نیازهای بوم شناختی گیاه یونجه درختی برای اساس منابع علمی موجود تعیین

1. Inverse Distance Weighted
2. Root Mean Square Error
3. Digital Elevation Model
4. Radial Basis Function
5. Simple Limitation Method

Milthorpe and Dann,1991؛ Dann and Trimmer, 1986)
Fernández- ؛Francisco-Ortega et al., 1994 ؛Jafari, 1993
Tadesse, 2016) ؛Palacios and de Nicolás, 1995) و سپس
درجه‌بندی شد. در نهایت این ارزش‌ها در وزن‌های نرمال شده نهایی بر اساس تحلیل سلسله مراتبی ضرب گردید. جدول (۱) درجات ۸ تایی محدودیت ساده برای کشت یونجه درختی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. نحوه تعریف درجه محدودیت و ارزش مربوطه برای انجام طبقه‌بندی لایه‌های مختلف اطلاعاتی

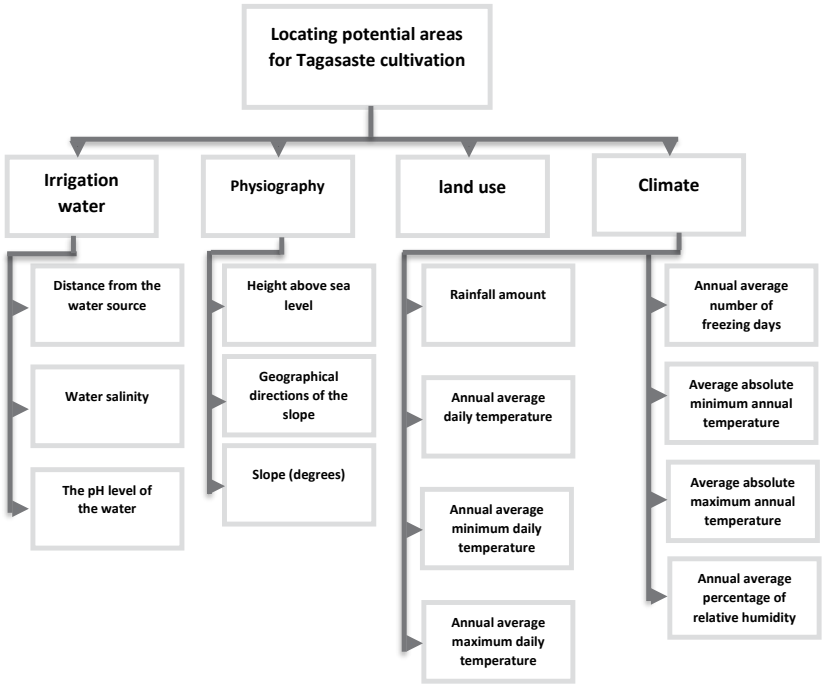
Table 1. The way of limitation degrees definition and their values for the classification of different information layers

درجه محدودیت Degree of limitation	ارزش Value
فوق العاده مستعد Quite desirability	8
بسیار مستعد Very strong desirability	7
مستعد Desirability	6
نیمه مستعد Semi desirability	5
نیمه نامستعد Semi undesirable	4
نامستعد Undesirable	3
بسیار نامستعد Very strong undesirable	2
فوق العاده نامستعد Quite undesirable	1

سپس به منظور تعیین مناطق مستعد کشت گیاه یونجه درختی ابتدا درخت سلسله مراتبی با توجه به لایه‌ها و اطلاعات در دسترس تشکیل شد. هدف در بالاترین سطح درخت سلسله مراتبی قرار دارد. چهار معیار اصلی شامل عوامل اقلیمی، کاربری اراضی، فیزیوگرافی منطقه و آب آبیاری می‌باشد. عوامل اقلیمی خود شامل ۸ زیر معیار، فیزیوگرافی منطقه شامل ۳ زیر معیار و آب آبیاری دارای ۳ زیر معیار می‌باشد (شکل ۲).

در مرحله بعد پرسش‌نامه‌هایی جهت وزن‌دهی به هر یک از معیارها و زیر معیارهای مختلف طراحی و در اختیار ۱۰ متخصص آشنا در زمینه هدف مورد مطالعه که در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و همچنین جهاد کشاورزی استان یزد شاغل بودند قرار داده شد. در این روش از مقایسات زوجی به علت سهولت کاربرد، دقت زیاد و دارا بودن مبانی تئوری قوی استفاده شد (Ghodsipor, 2008; Chen et al. 2010). سیستم نمره‌دهی بر اساس طیف نه‌تایی ساعتی صورت گرفت (جدول ۲).

جهت جلوگیری از اعمال سلیقه و قضاوت‌های تصادفی از شاخص ناسازگاری استفاده شد (Valikhani et al., 2011). برای تعیین وزن هر معیار و زیر معیارها نظرات متخصصان مختلف بر اساس مقایسات زوجی وارد نرم‌افزار Expert choice V11.1 شد. پس از بدست آمدن ضریب ناسازگاری مطلوب، وزن نرمال شده نهایی هر یک از معیارها بدست آمد. برای این کار وزن نسبی هر معیار در زیر معیار یا زیر عوامل مربوط به خود ضرب گردید و سپس مجموع این اعداد محاسبه و در نهایت تک تک این اعداد بر مجموع آن‌ها تقسیم گردید (Cimren, 2007; Maram et al. 2016). وزن نرمال



شکل ۲. درخت سلسله مراتبی عوامل مختلف تعیین‌کننده مناطق مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 2. Hierarchical tree of detirministic factors for the potential areas of tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۲. مقادیر عددی مقایسات برای قضاوت‌های زوجی (Ghodsipor, 2008)

Table 2. Numerical values of pairwise comparisons (Ghodsipor, 2008)

ارزش Value	اولویت‌ها Priorities	توضیح Description
1	مطلوبیت یکسان Equal desirability	گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص یا گزینه j اهمیت برابر دارد یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند Index i has equal importance to index j
3	کمی مطلوب low desirability	گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص یا گزینه j کمی با اهمیت تر می باشد Index i is slightly more important than index j
5	خیلی مطلوب Desirability	گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص یا گزینه j مهم‌تر است Index i is more important than index j
7	خیلی زیاد مطلوب Very strong desirability	گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص یا گزینه j ارجحیت خیلی بیشتری دارد Index i is much more preferable than index j
9	کاملا مطلوب Quite desirability	گزینه یا شاخص i نسبت به شاخص یا گزینه j مطلقا یا به طور کامل مهم‌تر است و قابل مقایسه نیست Index i is absolutely more important than index j and cannot be compared
2,4,6,8	مطلوبیت بین فواصل Preferences between these intervals	ارزش‌های بین ترجیحی: برای مثال ۸ اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین تر ۹ از برای i دارد Inter-priority values: for example, 8 is more important than 7 and 9 is lower

جدول ۳. مقادیر خطا در روش‌های مختلف پهنه‌بندی زیر معیارهای اقلیمی

Table 3. Error values in different methods of Sub-criteria climate zoning

متغیر	مدل-Model	RMSE	R^2	متغیر	مدل-Model	RMSE	R^2
میانگین بارندگی سالانه Rainfall	IDW-Power 2	42.1	0.43	میانگین حداقل مطلق دما Average Minimum Absolute Temperature	IDW-Power 2	1.66	0.38
	Kriging-Ordinary	32.4	0.65		Kriging-Ordinary	1.83	0.32
	Kriging-Simple	34.8	0.65		Kriging-Simple	1.83	0.25
	Cokriging-Ordinary	27.2	0.76		Cokriging-Ordinary	1.79	0.3
	Cokriging-Simple	25.4	0.79		Cokriging-Simple	1.5	0.5
میانگین حداقل دمای روزانه Average minimum daily temperature	IDW-Power 2	1.82	0.47	میانگین حداکثر مطلق دما Average Maximum Absolute Temperature	IDW-Power 2	2.3	0.6
	Kriging-Ordinary	2.14	0.23		Kriging-Ordinary	2.05	0.69
	Kriging-Simple	2.09	0.26		Kriging-Simple	2.03	0.72
	Cokriging-Ordinary	1.74	0.49		Cokriging-Ordinary	2.05	0.69
	Cokriging-Simple	1.69	0.51		Cokriging-Simple	1.58	0.86
میانگین حداکثر دمای روزانه Average maximum daily temperature	IDW-Power 2	1.9	0.58	میانگین درصد رطوبت نسبی Average Percentage of relative Humidity	IDW-Power 2	3.12	0.05
	Kriging-Ordinary	1.57	0.7		Kriging-Ordinary	3.06	0.06
	Kriging-Simple	1.66	0.68		Kriging-Simple	3.08	0.06
	Cokriging-Ordinary	1.57	0.7		Cokriging-Ordinary	3.1	0.12
	Cokriging-Simple	1.1	0.89		Cokriging-Simple	3.05	0.6
میانگین دمای روزانه Average daily temperature	IDW-Power 2	1.66	0.52	میانگین تعداد روزهای یخبندان The average number of frosty days	IDW-Power 2	20.6	0.25
	Kriging-Ordinary	1.7	0.47		Kriging-Ordinary	21.2	0.21
	Kriging-Simple	1.82	0.43		Kriging-Simple	22.8	0.13
	Cokriging-Ordinary	1.72	0.48		Cokriging-Ordinary	21.4	0.2
	Cokriging-Simple	1.17	0.79		Cokriging-Simple	18.6	0.39

شده نهایی هر یک از معیارها با توجه به معادله ۳ در لایه مربوطه ضرب و با هم جمع شد تا نقشه نهایی مناطق مستعد کشت یونجه درختی بدست آید.

$$S= W_1S_1+W_2S_2+W_3S_3+ \ldots+W_nS_n \quad (۳)$$

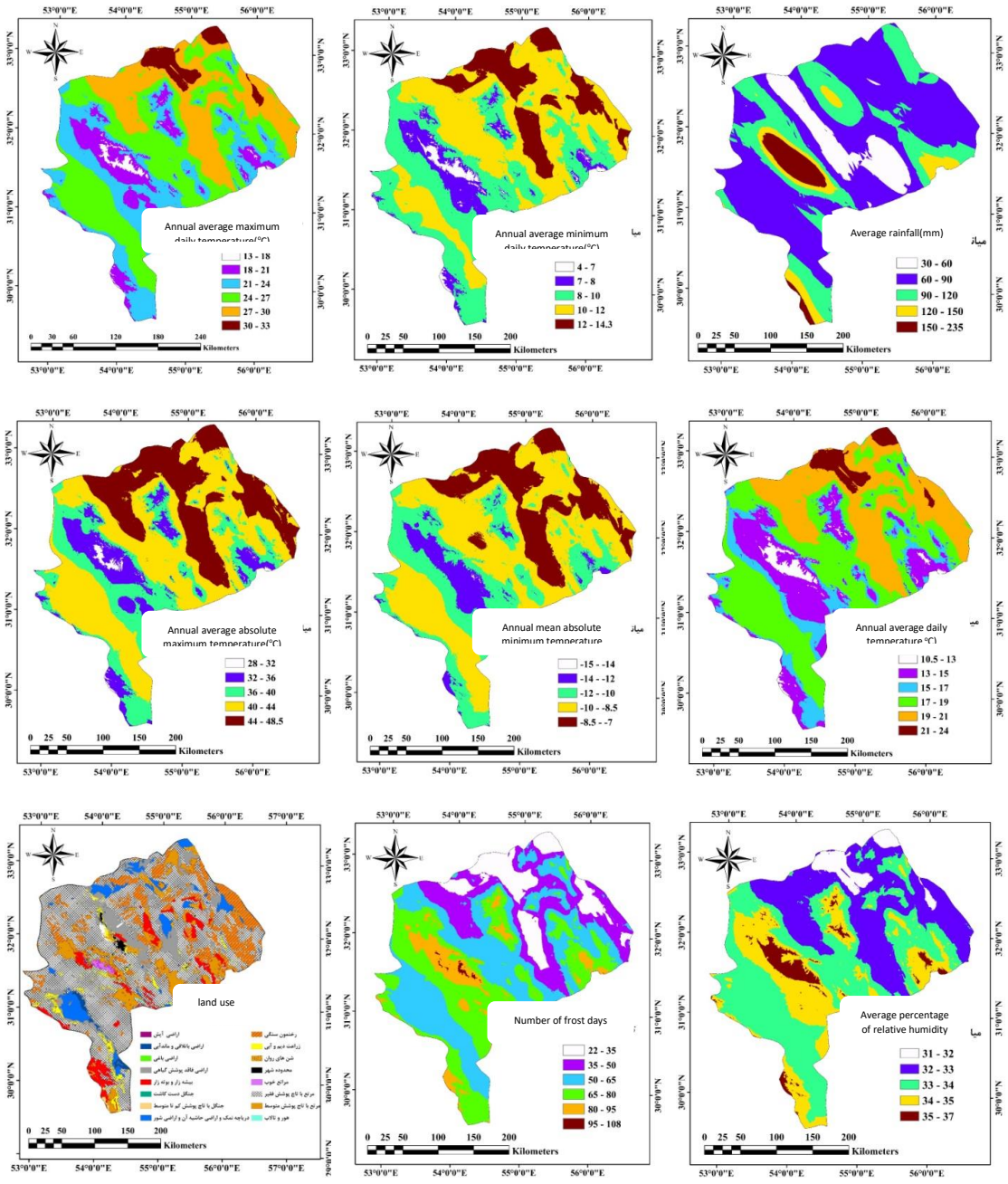
در این معادله W_i وزن هر لایه است که با استفاده از تکنیک سلسله مراتبی بدست می‌آید و S_i لایه

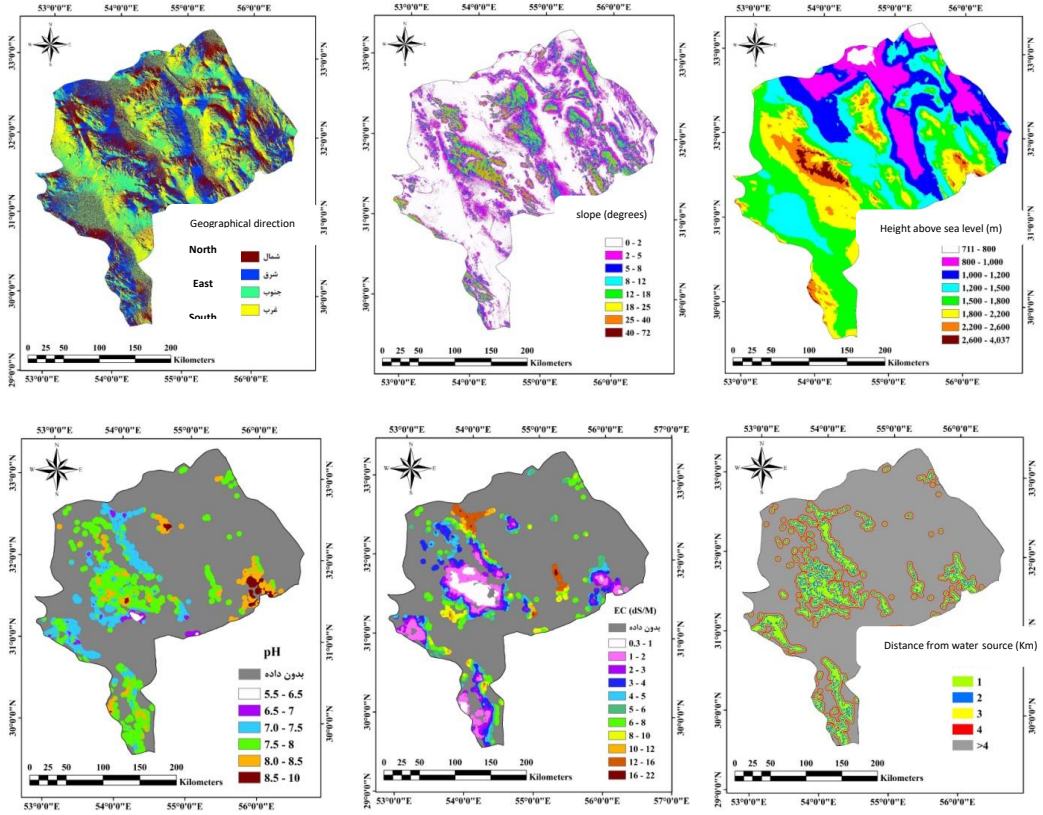
اطلاعاتی مربوط به آن و S لایه نهایی می‌باشد. ادغام و ضرب وزن لایه‌ها در نرم افزار ARC GIS 10.4 صورت گرفت تا سطح گزینه‌ها در تحلیل سلسله مراتبی محاسبه شود. در نهایت نقشه قابلیت کشت یونجه درختی (همان سطح گزینه در تحلیل سلسله مراتبی) بدست آمد.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی و طبقه بندی زیر معیارهای مختلف

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تعیین مشخصات نیم تغییر نمای[1] بهینه، اقدام به پهنه‌بندی معیارها شد. نتایج ارزیابی پنج روش مختلف درون‌یابی برای زیر معیارهای مختلف اقلیمی در جدول (۳) نشان داده شده است. روش درون‌یابی مورد استفاده برای پهنه‌بندی متغیرهای مختلف با کمترین میزان خطا در این جدول مشخص شده است. نقشه‌های ۸ زیر معیار مختلف اقلیمی، ۳ زیر معیار توپوگرافی و ۳ زیر معیار آب آبیاری به همراه نقشه‌ی کاربری اراضی (پوشش اراضی) در شکل (۳) نشان داده شده است. جدول (۴) درجه‌های محدودیت در نظر گرفته شده برای زیر معیارهای مختلف بر اساس نیازهای بوم شناختی یونجه درختی را نشان می‌دهد.





شکل ۳. نقشه‌های طبقه‌بندی شده معیارهای اصلی و فرعی تعیین کننده مناطق مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 3. Classification maps of primary and secondary criteria for determination of the potential areas of tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۴. نتایج طبقه‌بندی معیارهای اصلی و فرعی مورد استفاده در این پژوهش

Table 4. Classification results of the Primary and secondary criteria used in this research

میزان بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)	درجه محدودیت Degree of Limitation	ارزش Value
150-235	Quite desirability فوق العاده مستعد	8
120-150	Very strong desirability بسیار مستعد	7
90-120	Very strong desirability بسیار مستعد	7
60-90	Desirability مستعد	6
30-60	Semi desirability نیمه مستعد	5

A- Rainfall amount

میانگین حداقل دمای روزانه Average minimum daily temperature	درجه محدودیت Degree of Limitation	ارزش Value
4-7	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
7-8	Desirability مستعد	6
8-10	Quite desirability فوق العاده مستعد	8
10-12	Desirability مستعد	6
12-14.3	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4

B- Annual average minimum temperature

میانگین حداکثر دمای روزانه Average maximum daily temperature	درجه محدودیت Limitation	ارزش Value
13-18	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	3
18-21	Desirability مستعد	6
21-24	Quite desirability فوق العاده مستعد	8
24-27	Desirability مستعد	6
27-30	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
30-33	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	2

C- Annual average maximum temperature

میانگین حداقل دمای مطلق Average minimum absolute temperature	درجه محدودیت Limitation	ارزش Value
-7- -8.5	Desirability مستعد	6
-8.5- -10	Semi desirability نیمه مستعد	5
-10- -12	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
-12- -14	Very strong desirability بسیار مستعد	3
-14- -15	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	1

E- Annual Average absolute minimum temperature

میانگین درصد رطوبت نسبی Average percentage of relative humidity	درجه محدودیت Degree of Limitation	ارزش Value
31-32	Semi desirability نیمه مستعد	5
32-33	Semi desirability نیمه مستعد	5
33-34	Desirability مستعد	6
34-35	Desirability مستعد	6
35-37	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4

G- Annual average of relative humidity(percentage)

میانگین دمای روزانه Average daily temperature	درجه محدودیت Limitation	ارزش Value
10.5-13	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	2
13-15	Desirability مستعد	6
15-17	Quite desirability فوق العاده مستعد	8
17-19	Desirability مستعد	6
19-21	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
21-24	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	2

D- Annual average temperature

میانگین حداکثر مطلق دمای Average maximum absolute temperature	درجه محدودیت Limitation	ارزش Value
28-32	Undesirable نامستعد	3
32-36	Desirability مستعد	6
36-40	Very strong desirability بسیار مستعد	7
40-44	Desirability مستعد	6
44-48.5	Semi desirability نیمه مستعد	4

F- Annual Average absolute maximum temperature

میانگین تعداد روزهای یخبندان The average number of frosty days	درجه محدودیت Degree of Limitation	ارزش Value
22-35	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
35-50	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
50-65	Undesirable نامستعد	3
65-80	Undesirable نامستعد	3
80-95	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	1
95-108	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	1

H- Annual average number of freezing days

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	طبقات ارتفاع از سطح دریا Height floors above sea level
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	711-800
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	800-1000
7	Very strong desirability بسیار مستعد	1000-1200
7	Very strong desirability بسیار مستعد	1200-1500
6	Desirability مستعد	1500-1800
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	1800-2200
3	Undesirable نامستعد	2200-2600
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	2600-4037

I- elevation above sea level

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	جهات جغرافیایی Geographical directions
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	North
7	Very strong desirability بسیار مستعد	East
7	Very strong desirability بسیار مستعد	West
6	Desirability مستعد	South

K- Geographical directions of the slope

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میزان شوری (دسی‌زیمنس بر متر) Salinity (ds/m)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	0.3-1
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	1-2
7	Very strong desirability بسیار مستعد	2-3
6	Desirability مستعد	3-4
5	Semi desirability نیمه مستعد	4-5
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	5-6
3	Undesirable	6-8

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	طبقات شیب (درجه) Slope floors (degrees)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	0-2
7	Very strong desirability بسیار مستعد	2-5
6	Desirability مستعد	5-8
5	Semi desirability نیمه مستعد	8-12
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	12-18
3	Undesirable نامستعد	18-25
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	25-40
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	40-72

J- Slope (degrees)

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	فاصله از منبع آب (کیلومتر) Distance from water source (km)
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	1
6	Desirability مستعد	2
5	Semi desirability نیمه مستعد	3
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	More than 4

L- Distance from the water source (km)

ارزش Value	درجه محدودیت Degree of Limitation	میزان pH
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	5.5-6.5
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	6.5-7
7	Very strong desirability بسیار مستعد	7-7.5
6	Desirability مستعد	7.5-8
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	8-8.5
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	8.5-10

N- pH level

	نامستعد	
3	Undesirable نامستعد	8-10
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	10-12
2	Very strong Undesirable خیلی نامستعد	12-16
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	More than 16

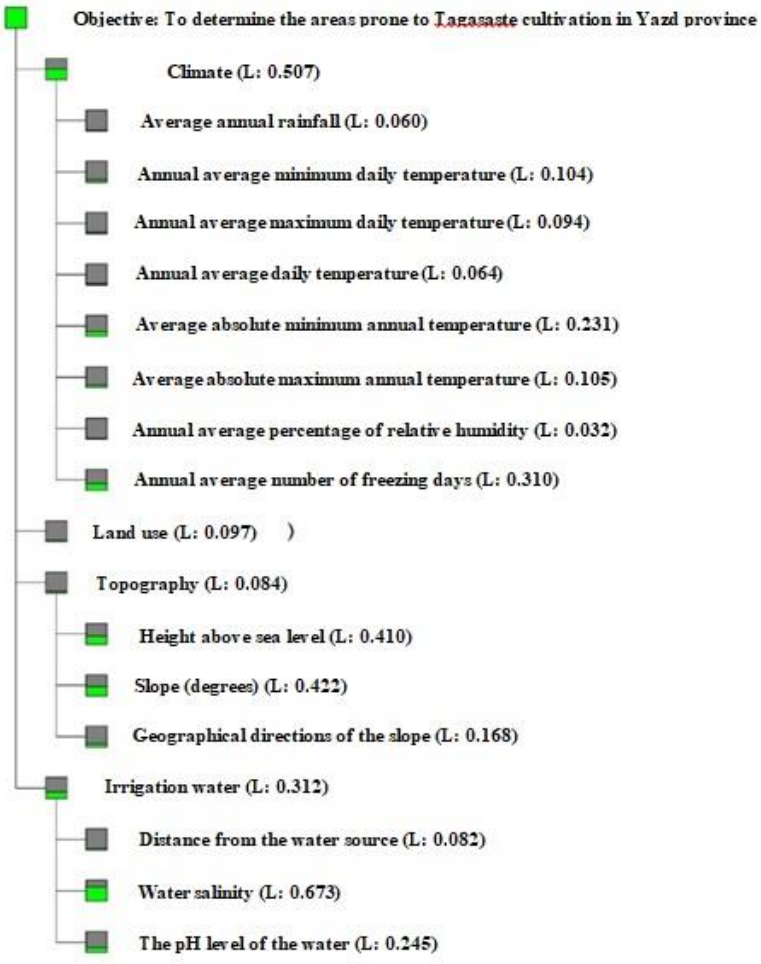
M- Water salinity

ارزش Value	درجه محدودیت Limitation	مساحت (KM^2) Area (KM^2)	کاربری اراضی و پوشش زمین Land use and land cover
8	Quite desirability فوق العاده مستعد	135.4	Garden اراضی باغی
7	Very strong desirability بسیار مستعد	1611.9	Rainfed and irrigated agriculture زراعت دیم و آبی
7	Very strong desirability بسیار مستعد	118.7	Fallowing اراضی آیش
5	Semi desirability	1077.9	Quick sand شن‌های روان
3	Undesirable نیمه مستعد	38525.2	Pasture with low canopy cover or poor pastureمرتع با تاج پوشش کم یا مرتع فقیر
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	5924.6	Rangeland with medium canopy cover Pasture with medium canopy cover
5	Semi desirability نیمه مستعد	286.4	Pasture with good canopy coverمرتع با تاج پوشش خوب
5	Semi desirability نیمه مستعد	81.6	Forest with low to medium canopy cover جنگل با تاج پوشش کم تا متوسط
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	194.5	Hand planted forest جنگل دست کاشت
4	Semi Undesirable نیمه نامستعد	3858.9	Wooded area and brushing بیشه‌زار و بوته‌زار
3	Undesirable نامستعد	6548.2	Uncovered land اراضی فاقد پوشش
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	363.8	Metropolitan area محدوده شهر
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	544.5	Boulere and ponding اراضی باتلاقی و ماندآبی
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	4159.1	Salt Lake, its borderlands and salty lands دریاچه نمک، اراضی حاشیه آن و اراضی شور
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	31.7	Wetland هور و تالاب
1	Quite Undesirable فوق العاده نامستعد	10164.5	Rock outcrop رخنمون سنگی

O- Land use and land cover

تحلیل سلسله مراتبی AHP و نقشه نهایی مناطق مستعد کشت یونجه درختی

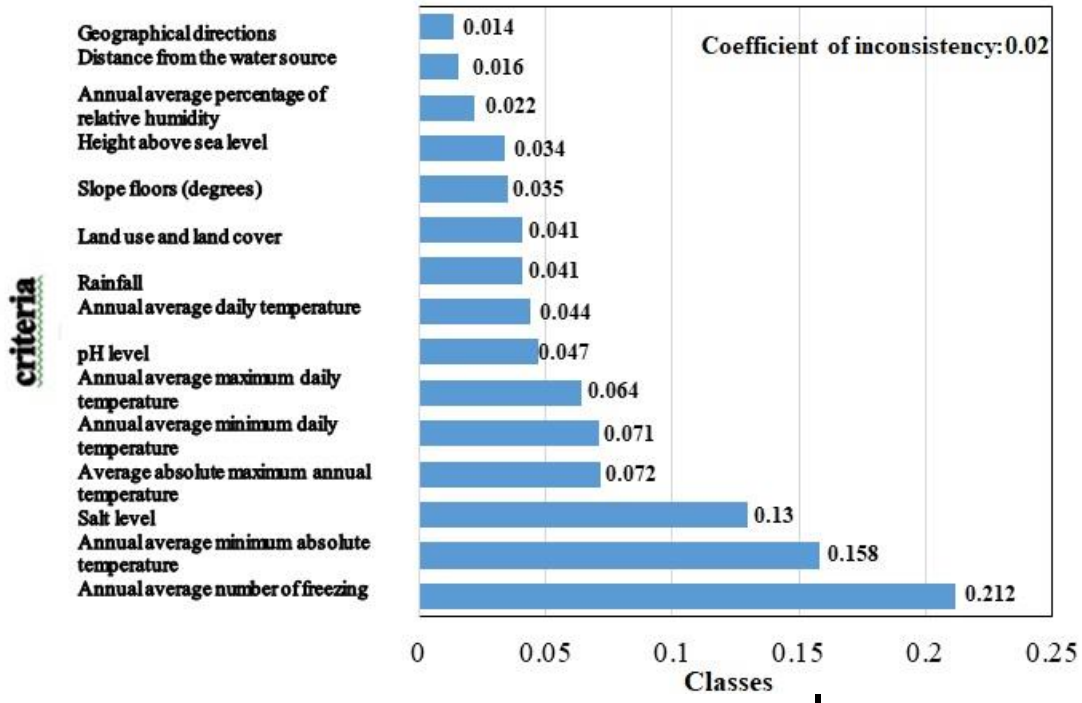
شکل (۴) درخت سلسه مراتبی تشکیل شده را به همراه وزن نسبی هر یک از معیارهای اصلی و زیر معیارهای آن نشان می‌دهد. یافته‌های بدست آمده از تعیین وزن معیارها توسط کارشناسان حاکی از آن است که اولویت هر کدام از معیارهای اصلی برای تعیین مناطق مستعد کشت یونجه درختی به ترتیب عبارتند از: اقلیم (۰/۵۰۷)، آب آبیاری (۰/۳۱۲)، کاربری اراضی (۰/۰۹۷) و فیزیوگرافی (۰/۰۸۴). همان طور که مشاهده می‌شود بیشترین وزن به معیارهای اقلیم و آب آبیاری اختصاص یافته است. این نتایج کاملا منطقی می‌باشد. زیرا برای کشت یک گونه گیاهی در یک منطقه اولین عامل محدود کننده برای کشت سازگاری اقلیمی گیاه می‌باشد و سپس وجود آب آبیاری با کیفیت دارای اهمیت است. از طرفی چون در این پژوهش کشت یونجه درختی در باغات و اراضی زراعی مد نظر می‌باشد، عامل فیزیوگرافی یا توپوگرافی کمترین میزان وزن را به خود اختصاص داده است. زیرا در باغات عوامل شیب، جهت شیب و ارتفاع تقریباً به صورت بهینه وجود دارد. به عبارت دیگر شیب و جهت شیب مناسب است. از بین زیر معیارهای مختلف اقلیمی، میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان (۰/۳۱۰) و میانگین سالانه حداقل دمای مطلق (۰/۲۳۱) بیشترین وزن نسبی را بخود اختصاص داده‌اند. در معیار اصلی توپوگرافی یا فیزیوگرافی، زیر معیارهای ارتفاع از سطح دریا (۰/۴۱۰) و میزان شیب (۰/۴۲۲) بیشترین میزان وزن و جهت شیب (۰/۱۶۸) کمترین میزان وزن نسبی را به خود اختصاص داده است. همچنین در معیار آب آبیاری میزان شوری آب بیشترین وزن (۰/۶۷۳) و فاصله از منبع آب کمترین (۰/۰۸۲) میزان وزن نسبی را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل۴. درخت سلسله مراتبی به همراه وزن‌های نسبی هر معیار اصلی و زیر معیارهای آن

Fig 4. Hierarchical tree along with the relative weights of each primary and secondary criteria

وزن نرمال شده نهایی هر یک از معیارها در شکل (۵) نشان داده شده است. میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان، میانگین سالانه حداقل دمای مطلق و میزان شوری آب آبیاری بیشترین میزان وزن نرمال شده نهایی را به ترتیب به خود اختصاص دادهاند که معادل نیمی از وزن نرمال شده نهایی میباشد. معیارهای جهت شیب، فاصله از منبع آب و میانگین سالانه درصد رطوبت نسبی کمترین میزان وزن نرمال شده نهایی را به خود اختصاص دادهاند. ضریب ناسازگاری نهایی ۰/۰۲ بدست آمده است؛ که نسبت به ضریب ناسازگاری معقول ۰/۱ این میزان ناسازگاری کاملاً قابل قبول میباشد.

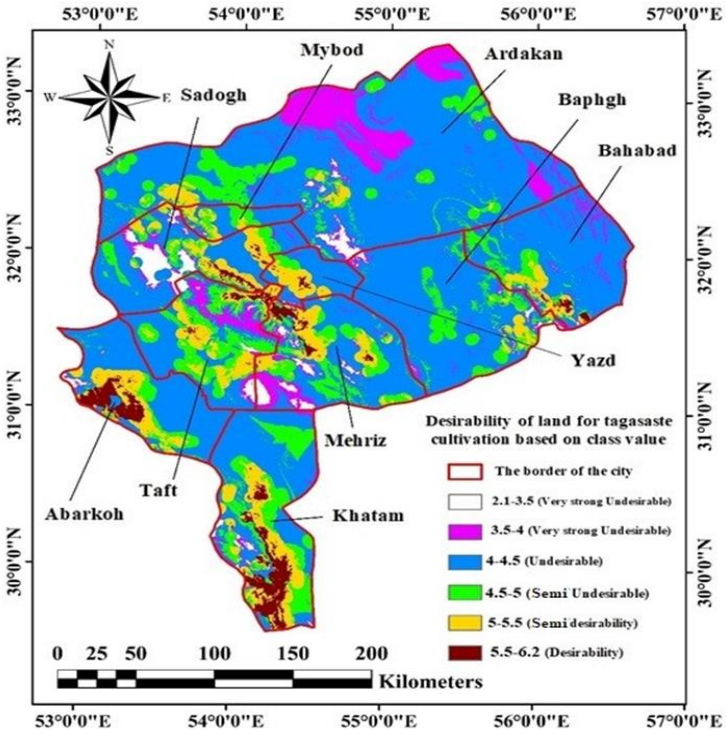


شکل ۵. وزن نرمال شده نهایی زیر معیارها بر اساس هدف اصلی

Fig 5. The final normalized weight of the sub-criteria based on the main objective

نقشه نهایی پتانسیل اراضی استان یزد برای کشت یونجه درختی در شکل (۶) نشان داده شده است. حداکثر ارزش اراضی بدست آمده برای کشت یونجه درختی در استان یزد، معادل با ۶ (مستعد) بدست آمد که نسبت به ارزش ۸ (فوق العاده مستعد) پایینتر میباشد. به عبارت دیگر مناطق فوقالعاده مستعد برای کشت یونجه درختی در استان یزد با توجه به نیازهای بومشناختی این گیاه وجود ندارد. مناطق فوقالعاده برای کشت، مناطقی میباشند که از پتانسیل ۱۰۰ درصدی برای کشت یونجه درختی برخوردار میباشند. نقشه نهایی پتانسیل اراضی برای کشت یونجه درختی به ۶ طبقه تقسیم شده است. مناطق مستعد (دارای ارزش ۵/۵ تا ۶/۲)، نسبتاً مستعد (دارای ارزش ۵/۰ تا ۵/۵)، نسبتاً نامستعد (دارای ارزش۴/۵ تا ۵/۰)، نامستعد (دارای ارزش ۴ تا ۴/۵) و بسیار نامستعد (دارای ارزش کمتر از ۴) به ترتیب ۲/۹، ۹/۴، ۱۵، ۶۲ و ۱۰/۷ درصد از اراضی استان یزد را پوشش میدهد (جدول ۵). اراضی باغی غیر مرتفع شهرستانهای مهریز، تفت و بخشهایی از اراضی شهرستان صدوق، مناطق جنوبی و جنوب غربی شهرستان خاتم، اراضی غربی ابرکوه، بخش کوچکی از اراضی جنوب بهاباد و بخش کوچکی از اراضی کشاورزی استان یزد از مناطق مستعد برای کشت یونجه درختی با توجه به عوامل مورد بررسی میباشند.

سایر پژوهشهای صورت گرفته در این زمینه روش استفاده شده در این تحقیق را تأیید مینمایند. بعنوان مثال در پژوهشی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیلهای مکانی سامانه



شکل ۶. نقشه نهایی استعداد اراضی برای کشت یونجه درختی در استان یزد

Fig 6. The final map of land suitability for tagasaste cultivation in Yazd province

جدول ۵. مساحت و درصد پوشش طبقات کلاس‌های مستعد کشت یونجه درختی در استان یزد

Table 5. The coverage area and percentage of each suitability class for tagasaste cultivation in Yazd province

مساحت (Km2) Area (Km2)	درصد پوشش Coverage percentage	میزان محدودیت The amount of limitation	ارزش طبقه Class value
1835.7	2.5	Very strong desirability بسیار مستعد	2.1-3.5
6015.7	8.2	Very strong desirability بسیار مستعد	3.5-4
45580.2	62	Undesirable نامستعد	4-4.5
11040.5	15	Semi Undesirable نیمه نامستعد	4-5-5
6938.3	9.4	Semi desirability نیمه مستعد	5-5.5
2154.4	2.9	Desirability مستعد	5.5-6.2

اطلاعات جغرافیایی (GIS) نشان داده شد که ۳۵/۷۹ و ۲۴/۱۰ درصد از زمین‌های کشاورزی شهرستان گنبد کاووس به ترتیب جهت تولید جو در پهنه‌های بسیار مستعد و مستعد قرار دارند (Farhadian Azizi et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر به کمک مدل فازی و AHP در استان کردستان تناسب اراضی بر اساس عناصر اقلیمی برای کشت کلزا مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این بررسی نشان داد که استان کردستان

قابلیت کشت مناسبی جهت گیاه روغنی کلزا دارد (Halabian and Esmaeli., 2018). در پژوهشی تناسب اراضی جهت کشت توتون و تنباکو در استان شادونگ چین با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از ۲۰ متغیر اقلیمی، خاکی و توپوگرافی مشخص شد (Zhang et al., 2015).

از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی در تعیین مناطق مستعد کشت سویا در استان گلستان (Kazemi et al., 2017)، کشت سویا در حوزه قره سو (Bidadi et al., 2014)، کشت پسته در شهرستان بیرجند (Fal Suleiman et al., 2014)، کشت زیتون در غرب مازندران (Mohammadpourzidi et al., 2016)، کشت جو دیم در استان لرستان (Ahmadi et al., 2016)، کشت کهور ایرانی (Pakzad and Eslami., 2017)، کشت کلزا در استان گلستان، تعیین کاربری‌های مختلف کشاورزی، جنگل، مرتع (Cengiz and Cengiz, 2009)، کشت غلات (Bhagat et al., 2009) و محصولات مختلف زراعی (Bobade et al., 2010; Samanta et al., 2011;) (Martin and Saha, 2009; Boix and Zinck, 2008 به طور مؤثری بهره گرفته است.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان داد که استفاده از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به طور ویژه‌ای می‌تواند در تعیین مناطق مستعد کشت یونجه درختی و ارزیابی قابلیت اراضی مؤثر باشد. به طور کلی، نتایج حاکی از این است که برخی از اراضی زراعی و باغی استان یزد قابلیت کشت یونجه درختی را با توجه به معیارهای مورد بررسی دارا می‌باشند. همچنین مشخص شد که با توجه به نیازهای بوم‌شناختی این گیاه مناطق فوق‌العاده مستعد و بسیار مستعد بر این اساس برای کشت یونجه درختی در استان یزد وجود ندارد. یکی از مهمترین عوامل موفقیت در کشت یونجه درختی در استان یزد این است که گیاه یونجه درختی بتواند زمستان‌های استان یزد را تحمل نماید. بر اساس نقشه نهایی استعداد اراضی برای کشت یونجه درختی در استان مشخص می‌شود که در اکثر موارد مناطقی (اراضی زراعی و باغی) مستعد کشت یونجه درختی (دارای بالاترین ارزش) هستند که در مناطق مرتفع کوهستانی و در مناطق پست دشتی قرار نداشته باشند. زیرا یخبندان طولانی و دمای پایین مناطق مرتفع و شوری آب و خاک و همچنین گرمای شدید در تابستان در مناطق پست دشتی از عوامل محدود کننده کشت یونجه درختی خواهند بود. همچنین، معیار خاک یکی از معیاهای اصلی برای کشت یونجه درختی می‌باشد. بهترین بافت خاک برای کشت یونجه درختی بافت سبک شنی است. بنابراین در مناطق مستعد نام برده، یونجه درختی را در مناطقی می‌توان کشت نمود که خاک این اراضی دارای بافت سبک شنی و بدون شوری و قلیاییت باشد. در نهایت، نتایج حاصله نشان داد که استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی به طور مؤثری می‌تواند در تعیین مناطق مستعد و ارزیابی قابلیت اراضی برای کشت گیاهان مختلف موثر باشد و احتمال موفقیت در کشت را افزایش دهد و همچنین در افزایش بهره‌وری از پتانسیل اراضی مختلف مؤثر باشد. با این حال، به منظور افزایش احتمال موفقیت کشت این گیاه در استان یزد، پیشنهاد می‌شود نهال‌ها یک سال یا حتی بیشتر در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شوند تا به اندازه کافی رشد نمایند و نسبت به شرایط محیطی مقاوم‌تر شوند. با این حال، این مورد بستگی به میزان رشد نهال‌ها دارد. نهال‌ها در اواخر زمستان زمانی که احتمال یخبندان پایین است به اراضی و باغات برای آزمایش سازگاری منتقل شوند.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی با کد طرح ۱۶۹۱۹۱۰- ۱۵۸۰۹ و کد نهایی ۵۸۴۲۷- ۶۴۶۸۱۱ با استفاده از اعتبارات پژوهشی سازمان جهاد کشاورزی استان یزد انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می شود.

منابع

Ahmadi, M., Fallahi Khoshji, M. & Khaledi1, Sh. (2016). Agtoclimatic zoning of barley cultivattion in Lorestan province using analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy models, *Journal of Agroecology agriculture*, 6(1), 11-27. [In Persian].

Assefa, G. (1998). Biomass yield, botanical fractions and quality of tagasaste, (Chamaecytisus

for fodder and other uses. *New Zealand Journal of Agricultural Science,* 20, 142-145.

Esterhuizen, M. & Esterhuizen, N. (2016). Lucerne tree farm. www.lucernetreefarm.wordpress.com.

Fal Suleiman, M., Hajipour, M. & Sadeghi H. (2014). Comparison of the efficiency of multi-indicator decision making methods AHP and TOPSIS in order to determine the areas prone to pistachio crop cultivation in Mokhtaran plain of Birjand city in the environment of geographic information system. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 13(31), 133-155.

Farhadian Azizi, Sh., Kazemi, H. & Soltani, A. (2017). Assessing the land suitability of Gonbad Kavos city for rainfed barley cultivation using hierarchical analysis. *Cereal Research*, 7(3), 437-450. DOI: 10.22124/C.2018.3732.1135[In Persian].

Fernández-Palacios, J. M., & de Nicolás, J. P. (1995). Altitudinal pattern of vegetation variation on Tenerife. *Journal of Vegetation Science*, 6(2), 183-190.

Francisco-Ortega, J., Jackson, M. T., Santos-Guerra, A., Fernández-Galván, M., & Ford-Lloyd, B. V. (1994). The phytogeography of the Chamaecytisus proliferus (L. fil.) Link (Fabaceae: Genisteae) complex in the Canary Islands: a multivariate analysis, *Vegetatio*, 110(1), 1-17.

Qudsipour, H. (2018). Hierarchical analysis process, *Amir Kabir Publications of Tehran*. [In Persian].

Halabian, A, M., & Esmaeli, N. (2018). Land Suitability Evaluation Based on the Climatic Elements for Canola Cultivation Using Fuzzy and AHP model in Kordestan. *Journal of Environmental Science and Technology*,19(4), 133-150.

Hatefi Ardakani, A, H., & Ekhtesasi, M, R. (2016). Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process (AHP) using remote sensing and Geographic Information System (GIS). *Geopersia*, 6(1), 75-88. [In Persian].

Heuze V., Thiollet H., Tran G., Hassoun P., Bastianelli D., & Lebas F. (2017). Tagasaste (Cytisus proliferus). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. https://www.feedipedia.org/node/310 last updated on February, 28, 2017. https://www.feedipedia.org/node/310

Heywood, J., & Tomlinson, S. (1995). Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support, In P. Fisher (Ed.) *Innovations in GIS*, 2(1), 127–136.

palmensis) as affected by harvesting interval in the highlands of Ethiopia, *Agrofor. Syst*, 42(1), 13-23. DOI: 10.1023/A:1006099521986.

Bhagat, RM., Singh, S., Sood, C., Rana, RS., Kalia, V., Pradash, S., Immerzeel, W. & Shrestha, B. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradash (India) using GeograpHical Information System, *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 37(2), 233-240. DOI: 10.1007/s12524-009-0018-6

Bidadi, M.J., Kamkar, B. & Abdi, O. (2014). Suitable areas zoning of soybean cropping in Qaresoo basin by geographical information systems (GIS). *Crop production journal*, 7(2), 175-187. DOI: 20.1001.1.2008739.1393.7.2.10.5 [In Persian].

Bobade, S.V., Bhaskar, B.P., Gaikwad, M.S., Raja, P., Gaikwad, S.S., Anantwar, S.G., Patil, S.V., Singh, S.R., & Maji, A.K. (2010). A GIS-based Land use Suitability Assessment in Seoni District, Madhya Pradesh, India. TE. 51(1), 41-45.

Boix, LR. & Zinck, JA. (2008). Land-use planning in the Chaco plain (Burruyacu, Argentina). Part 1: Evaluating land-use options to support crop diversification in an agricultural frontier area using pHysical land evaluation. *Environ Manage*, 42(6), 1043–1063. DOI: 10.1007/s00267-008-9208-1

Cengiz, T., & Cengiz, E. (2009). Application of analytical hierarchy process and geograpHic information systems in land-use suitability evaluation: a case study of Dümrek village (Canakkale, Turkey). I.J.S.D.W.E. 16(4), 286-294. https://doi.org/10.1080/13504500903106634

Chen Y-C, Lien H-P, & Tzeng G-H. (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert Systems with Applications,* 37(2), 926-938. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.068

Cimren, E., Catay, B., & Budak, E. (2007). Development of a machine tool selection system using AHP, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3), 363–376. DOI: 10.1007/s00170-006-0714-0

Cook, B. G., Pengelly, B. C., Brown, S. D., Donnelly, J. L., Eagles, D. A., Franco, M. A., Hanson, J., Mullen, B. F., Partridge, I. J., Peters, M. & Schultze-Kraft, R. (2005). Tropical forages. CSIRO, DPIandF(Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.

Dann, P & Trimmer, B. (1986). Tagasaste: a tree legume

Jafari, A. (1993). study of adaptation and ecology of tree alfalfa in tropical areas of Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces. Final report of the research project, Organization of Research, Education and Promotion of Agriculture, Tehran, Iran. http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18760693 [In Persian].

Kazemi Pusht-Mesari, H., Tahmasabi Sarostani, Z., Kamkar B., Shatai Joibari, Sh. & Sadeghi S. (2012). Agro-ecological zoning of agricultural lands in Golestan province for rapeseed cultivation using Geographical Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP), *crop production (Electronic Journal of Crop Production)*, 5(1), 123-139. [In Persian].

Kazemi, H., Tahmasabi Sarostani, Z., Kamkar, B., Shatai, Sh. & Sadeghi, S. (2013). Agro-ecological zoning of lands in Golestan province for soybean cultivation using geographic information system, *knowledge of agriculture and sustainable production*, 23(4), 4-21. [In Persian].

Kirti, H.S. (2001). Evaluation of group decision making methods. Available online at: www.expertchoice.com.

Maram, F., Zarafshani, K., Mirekzadeh, A. A. & Maliki, A. (2016). Evaluation and ranking of villages prone to agricultural development (case: Kermanshah city). *Geography and Environmental Planning*, 27(1), 131-146. DOI: 10.22108/GEP.2016.21363

Martin D & Saha SK. (2009). Land evaluation by integrating remote sensing for cropping system analysis in a watershed. *Current Sci*, 96(4), 569-575.

Masoumi, A., Nabati, J., Kafi, M. & Zare Mehrjardi, M. (2017). Investigating the possibility of fodder production in two stands of Kochia (Kochia scoparia L.) by reducing water consumption in saline conditions, *Crop Production Journal*, 10(1), 1-19. DOI: 10.22069/EJCP.2017.10053.1791 [In Persian].

Milthorpe, P. L., & Dann, P. R. (1991). Production from tagasaste (Chamaecytisus palmensis) at four contrasting sites in New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31(5), 639-644.

Mohammadpourzidi, A., Bozur Mehr, K. & Hakim Dost, S. Y. (2016). Feasibility measurement of olive cultivation using the analysis hierarchy process (AHP) in the geographic information system (case study: west of Mazandaran). *Journal of Human Settlements Planning Studies,* 11(35), 101-115. [In Persian].

Newcomb, G. (1999). Tagasaste. Tree Crops, New Zealand Tree Crops Association. https://www.feedipedia.org/node/22020

Pakzad, M., & Eslami, A. (2017). Site selection of suitable land for plantation development of Prosopis cineraria species using GIS (Case study: Rahmatabad watershed, Kerman province). *RS and GIS for Natural Resources*, 8(2), 48-61. http://girs.iaubushehr.ac.ir[In Persian].

Qudsipour, H. (2016). Analysis Hierarchy Process (AHP), Amir Kabir University of Technology (Tehran Polytechnic). [In Persian].

Samanta, S., Pal, B. & Pal, DK. (2011). Land suitability analysis for rice cultivation based on multicriteria decision approach through GIS. Inter. Sci. *Emerging Technol*, 2(1), 12-21.

Stokes, Z. (2008). Tagasaste - a fodder shrub. Fact Sheet 64/00, Government of South Australia, *Primary Industries and Resources SA*.

Sys, I., Van Ranst, E. & Debveye, J. (1991). Land evaluation. Part1: Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publications. Brussels, Belgium.

Tadesse, F. (2016). Growth performance and nutritive quality of tree Lucerne (Chamaecytisus palmensis) fodder under different management conditions in the Highlands of Ethiopia. MSc thesis in Animal and Range Sciences (Specialization: Animal Production). Hawassa, Ethiopia: Hawassa University.

Valikhani, N., Charkabi, A. H., Khairkhah Zaraksh M. & Soltani. M. J. (2011). The application of geographic information system and multi-criteria decision-making of MCDM in zoning the appropriateness degree of urban physical development (case study: North of Karaj), *Remote sensing and geographic information system in natural resources*, 2(2), 1-15. [In Persian].

Zhang, J., Yirong, S., Jinshui, W. & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China, *Computers and Electronics in Agriculture,* 114(1), 202-211. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04.004