نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۷۱۷-۷۰۳

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 703-717

مقاله پژوهشی

بکارگیری مدل اگرواکولوژیکی فائو برای مکان‌یابی مناطق مستعد کشت پسته در استان آذربایجان شرقی

اصغر فرج نیا[1*]- کامران مروج[2]- پریسا علمداری[3]- مهدی اصلاحی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

مدل اگرواکولوژیکی فائو تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با توان سرزمین است که می‌تواند بین توان طبیعی محیط، نیاز جوامع، کاربری‌ها و فعالیت‌های انسان رابطه‌ای منطقی و سازگاری پایداری بوجود آورد. این پژوهش به منظور مکانیابی مناطق مستعد کاشت پسته با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با در نظر گرفتن نیازهای اگرواکولوژیکی این محصول در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات مربوط به زمین، خاک و داده‌های اقلیمی با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله از ایستگاه‌های سینوپتیک استخراج شدند. داده‌ها در قالب بانک اطلاعاتی جمع‌آوری و پس از پردازش به صورت لایه‌های رقومی در محیط سامانه آرک‌جی‌ای‌اس ذخیره شد. برای تحلیل فضایی، اطّلاعات به نرم‌افزار اکسپرت چویس وارد و خوشه‌بندی، ارزش‌گذاری معیارها و تلفیق اطّلاعات انجام و در نهایت لایه نهایی به صورت نقشه ارائه شد. بیشترین وزن زیر معیارها بترتیب به شیب زمین، میانگین دمای حداقل سردترین ماه سال و شوری خاک و کمترین وزن به میانگین دما در مرحله گرده‌افشانی تعلق گرفت. نتایج نشان داد ۳۸۸۷ کیلومتر مربع یا ۸/۵ درصد از سطح استان با محدودیت کم برای کشت این محصول در کلاس نسبتاً مناسب قرار دارند. این اراضی عمدتاً منطبق بر اراضی کشاورزی غرب استان است. ۶۲۵۰ کیلومتر مربع (۱۳/۶ درصد) از اراضی در کلاس تناسب بحرانی و ۳۵۶۶۳ کیلومتر مربع (۷۷/۹ درصد) اراضی در کلاس نامناسب قرار دارند به استثنای دشت میانه بقیه اراضی مستعد کاشت پسته در شرق استان و در حاشیه دریاچه ارومیه قرار دارند. الباقی مناطق استان برای کاشت این محصول در کلاس‌های تناسب بحرانی و نامناسب قرار دارند. محدودیت‌های شاخص این مناطق برای کشت پسته محدودیت‌های دمایی، رطوبت نسبی بالا در مرحله گرده‌افشانی، شوری خاک و شیبدار بودن اراضی است.

واژه‌های کلیدی: استان آذربایجان‌شرقی، تحلیل سلسله مراتبی، تناسب اراضی، درخت پسته، مدل آگرواکولوژیکی

مقدمه

الگوسازی مکانی یا مکان‌یابی عبارت است از تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با توان سرزمین و روشی است که می‌تواند بین توان طبیعی محیط، نیاز جوامع، کاربری‌ها و فعالیت‌های انسان رابطه‌ای منطقی و سازگاری پایداری به وجود آورد. هر کشوری باید بالاترین سطح، اولویت خودرا به ارزیابی منابع اقلیم، زمین و آب معطوف دارد (۱۲). از ابزارهای موثر برای مکان‌یابی در کشاورزی یا شناخت توانمندی‌های اراضی و اختصاص آنها به بهترین و سودآورترین بهره‌وری، مدل اگرواکولوژیکی فائو[5] می‌باشد. سازمان خواربار جهانی در سال ۱۹۷۸ برای بهینه‌سازی استفاده از زمین، این مدل را تحت عنوان AEZ (پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی کشاورزی) ارایه و پس از تحقیقات و آزمایشات فراوان آن را برای کلیه کشورها توصیه نمود (۱۲). پهنه‌بندی اگرواکولوژیکی یک نوع طبقه‌بندی کمی و

۱- مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، دانشجوی سابق دکتری مدیریت منابع خاک، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
(*- نویسنده مسئول: Email: farajnia1966@yahoo.com)
۲ و ۳- استادیاران گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۴- کارشناس اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز
DOI: 10.22067/JSW.2021.71439.1066

5- FAO Agro-Ecological Zoning

کیفی با مقیاس بزرگ تا متوسط است که برای شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع مرتبط به کار برده می‌شود (۱۴). در این روش با تقسیم کردن یک منطقه جغرافیایی به واحدهای همگن با حداکثر شباهت از نظر اقلیم و خصوصیات زمین، عملکرد پتانسیل محصول در هر پهنه بوسیله یک مدل شبیه‌سازی پیش‌بینی شده و با انتقال نتایج به محیط GIS نقشه عملکرد پتانسیل در مقیاس منطقه‌ای تهیه می‌شود (۱۴). با استفاده از این روش می‌توان مناطق مناسب کشت گیاهان مختلف را شناسایی نمود. به این ترتیب عملاً کشت محصولات کشاورزی بر اساس نیازهای واقعی آنها در عرصه‌های زراعی جانمایی شده و نظام‌های پایدار زراعی طرح‌ریزی می‌شوند.

پسته با نام علمی *Pistachio vera* L. از خانواده Anacardiacea گیاهان نیمه گرمسیری است که از دیرباز در نقاط مرکزی ایران مورد کشت و پرورش قرار می‌گیرد. پسته گیاهی است دو پایه یعنی گل‌های نر و ماده جدا از یکدیگر و روی درخت مجزا قرار دارند (۲۸). ریشه این درخت تا عمق بیش از دو متر داخل خاک فرو می‌رود از این رو قابلیت سازش با دوره‌های طولانی خشکسالی را دارد (۱۳). عرض جغرافیایی مناسب برای کاشت پسته ۲۴ تا ۴۲ درجه شمالی می‌باشد. در ایران بیشترین مساحت پسته کاشته شده در عرض جغرافیایی ۲۷ تا ۳۷ می‌باشد (۲۰). ارتفاع ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا ارتفاعی مناسب برای کاشت پسته است، اما در ایران در مناطقی نظیر سرخس و گنبد که ارتفاعی بین ۲۶۰-۴۰ متر از سطح دریا دارند کاشت این محصول موفق آمیز بوده‌است (۱۷). پسته در زمستان تا دمای ۲۰- و در تابستان تا ۴۲ درجه سانتی‌گراد را به راحتی تحمل می‌کند و محصول خوبی می‌دهد (۲۸). پسته نسبت به سرمای دیررس بهاره حساس است. همچنین گرمای زودرس بهاره نیز موجب از بین رفتن گل‌ها و میوه‌ها در ابتدای فصل و گرمای بیش از حد در زمان مغز بستن و رشد میوه، باعث سقط جنین و افزایش درصد پوکی میوه می‌شوند (۱۷). صفر گیاهی پسته ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است (۲۰). بسته به نوع رقم نیاز سرمایی پسته ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت زیر ۷ درجه سانتی‌گراد است (۱۳). رطوبت مطلوب پسته در فصل تابستان ۳۵٪ است هرچه این رطوبت کمتر باشد برای پسته ایده‌آل‌تر است. رطوبت بالای ۶۰٪ در بهار می‌تواند گرده افشانی را مختل کند (۳۱). پسته در خاک‌های لومی عمیق و یکنواخت و یا خاک‌های حاوی رس و شن سرشار از هوموس یا اشکال دیگر از مواد آلی بخوبی رشد می‌کند. با داشتن ریشه عمیق هنگام تهیه زمین بایستی با ابزارآلات لازم هرگونه سخت کفه را از بین برد تا مانع رشد و توسعه ریشه گیاه نباشد (۱۰). افزایش شوری تا ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر در خاک، تاثیر معنی‌داری در عملکرد پسته ندارد اما با افزایش شوری، عملکرد پسته کاهش می‌یابد و زمانی که شوری خاک به ۲۴ دسی زیمنس بر متر می‌رسد، عملکرد به صفرتنزل می‌یابد (۲۸ و ۳۷).

عوامل موثر بر تناسب اراضی برای کاشت پسته متعدد هستند اما این عوامل دارای اهمیت یکسانی نمی‌باشند، لذا لازم است تا اهمیت نسبی معیارها مشخص شود. بدین منظور لازم است از روش‌های تحلیل چند معیاره[1] (MCDA) استفاده شود. روش‌های ارزیابی چند معیاره مشتمل بر ارزش‌گذاری، امتیازدهی معیارها بر اساس اهمیت‌شان در تصمیم‌گیری است. برای دادن امتیاز یا وزن‌دهی به معیارها روش‌های مختلفی وجود دارد که روش تحلیل سلسله مراتبی[2] (AHP) یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره است . این مدل مقایسه‌های بین معیارها را به صورت دوتایی انجام و وزن‌های نسبتی را به عنوان خروجی در نظر می‌گیرد. روش مقایسه دوتایی شامل سه مرحله اصلی ایجاد ساختار سلسله مراتبی، محاسبه وزن‌ها و سازگاری سیستم است (۳۳). استفاده از قابلیت‌های GIS و AHP جهت پردازش داده‌ها و غربال مناطق دارای پتانسیل و اولویت‌بندی گزینه‌ها در مطالعات مکان‌یابی در تحقیقات متعددی صورت گرفته‌است. دنیز و اوسال در استان بورسای ترکیه مناطق مستعد کشاورزی را با روش اگرواکولوژی فائو و مدل تحلیل سلسله مراتبی مطالعه و گزارش نمودند که ۱۵ درصد اراضی در محدوده‌ی کاملاً مناسب و نسبتاً مناسب و ۸۵ درصد آنها در محدوده‌ی تناسب بحرانی و نامناسب قرار گرفتند (۸). گیرمای و همکاران تناسب اراضی حوضه گاتنوی اتیوپی را برای کاشت گندم، جو و لوبیا مطالعه کردند. ایشان گزارش نمودند که تنها ۷ درصد اراضی برای کاشت گندم و جو کاملاً مناسب و برای لوبیا نسبتاً مناسب است (۱۵). در یک پژوهش ارزیابی تناسب زمین بمنظور کشت نیشکر در منطقه‌ی بیجور هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و AHP، از ۱۰ فاکتور بارندگی، بافت، زهکشی، عمق خاک، شیب، فاصله از جاده، فاصله از شرکت‌های قند، خطر فرسایش، خطر سیلاب و اسیدیته استفاده شد نتایج نشان داد ۶۱ درصد اراضی در کلاس بسیار مناسب، ۲۴ درصد نسبتاً مناسب، ۷ درصد تناسب بحرانی و ۸ درصد اراضی در کلاس نامناسب قرار گرفتند (۱۹). عبدالرحمان و همکاران برای ارزیابی تناسب منطقه چماراگاناگار هند از روش فائو استفاده نمودند. بدین منظور عوامل مختلف مانند بافت خاک، عمق، فرسایش، شیب، سیل‌گیری، سنگریزه و سنگ در واحدهای مختلف زمین برای محصولات زراعی مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه استفاده نمودند (۱). لایومی و همکاران برای ارزیابی تناسب اراضی کشور سری‌لانکا از مدل AHP و روش اگرواکولوژیکی فائو برای کشت چای استفاده نمودند نتایج نشان داد که ۴۲/۱ درصد اراضی در رده مناسب (۹/۹ درصد در کلاس کاملاً مناسب، ۱۲/۴ درصد در کلاس نسبتاً مناسب و ۱۹/۸ در کلاس مناسب اما با

1- Multi-Criteria Decision Making
2- Analytical Hierarchy Process

سودآوری کم) و بقیه اراضی در رده نامناسب قرار دادند (۲۱). در ایران نیز در ده سال گذشته مطالعات مکان‌یابی با هدف شناسایی مناطق مستعد کاشت پسته با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است از جمله به مطالعات پورطاهری و همکاران (۳۲)، میرموسویان و میریان (۲۷)، فال‌سلیمان و همکاران (۱۰)، اوجی (۳۰)، محمودآبادی (۲۴)، خوشحال دستجردی و شهسواری (۲۱) و لشکری و کیخسروی (۲۲) می‌توان اشاره نمود.

به دلیل وقوع خشکسالی و پسروی دریاچه ارومیه در دو دهه گذشته، برخی از زارعین بویژه در حاشیه دریاچه ارومیه به احداث باغات پسته روی آورده‌اند. بطوری‌که سطح زیر کشت این محصول در استان به حدود ۱۰۰۰ هکتار رسیده است. این در حالی است که مطالعات جامعی در مورد قابلیت‌ها و محدودیت‌های اقلیم و زمین این منطقه برای کاشت این پسته وجود ندارد. کاشت آن اغلب به روش آزمون و خطا و تجربیات محلی صورت می‌گیرد که تبعات آن اتلاف منابع مالی و زمان زیادی است. این تحقیق بمنظور شناسایی مناطق مستعد کشت پسته در استان آذربایجان‌شرقی با روش اگرواکولوژیکی فائو با بکارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل AHP انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان آذربایجان شرقی در شمال غرب ایران و بین مدارهای ″۴۵ ،°۳۶ تا ″۲۶ ،°۳۹ عرض شمالی و بین نصف‌النهارهای ″۵ ،°۴۵ تا ″۲۲ ،°۴۸ طول شرقی قرار دارد. مساحت استان برابر ۴۵۸۰۰ کیلومتر مربع است و ۲/۸ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. آب و هوای استان به طور کلی سرد و نیمه خشک بوده ولی به علت توپوگرافی متنوع و گسترده از اقلیم متفاوتی برخوردار است (۳). وسعت اراضی کشاورزی استان را حدود ۱۸۰۰۰ کیلومتر مربع برآورد می‌کنند که معادل ۳۹ درصد استان و حدود ۹ درصد اراضی قابل کشت کشور را شامل می‌شود (جدول ۱). در این تحقیق داده‌های اقلیمی با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله (۲۰۱۵- ۱۹۸۶میلادی) از ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز، اهر، جلفا، مراغه، میانه، سراب و تبریز و همچنین به عنوان ایستگاه کمکی از استان‌های مجاور ایستگاه‌های ارومیه، خوی، پارس آباد و میاندوآب استفاده شدند. برای داده‌های مورد نیاز برای پهنه‌بندی عوامل خاکی از نتایج آنالیز حدود ۹۰۰۰ نمونه خاک دارای مختصات جغرافیایی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان استفاده شد. نقشه شیب و جهات شیب از نقشه رقومی ارتفاعی ۳۰ متری استان و نقشه کاربری اراضی از نقشه موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (۱۳۸۴) استخراج شدند.

بمنظور مکان‌یابی مناطق مستعد کاشت پسته، ۳ معیار و ۱۱ زیر معیار مورد بررسی قرار گرفت. معیارها شامل اقلیم، زمین و خاک انتخاب شدند. زیر معیارهای اقلیم شامل میانگین دمای دوره رشد، میانگین دما در مرحله گرده‌افشانی، میانگین حداقل مطلق دما در سردترین ماه سال و میانگین درصد رطوبت نسبی در مرحله گدهی است. معیار زمین شامل زیرمعیارهای کاربری اراضی، شیب زمین و جهات شیب و معیار خاک دارای زیرمعیارهای شوری خاک (هدایت الکتریکی عصاره اشباع)، اسیدیته، بافت خاک و میزان کربنات کلسیم معادل خاک (آهک) هستند (جدول ۴). برای اجرای مدل AHP در محیط ArcGIS نقشه‌ها باید رستری باشند.

جدول ۱- کاربری اراضی استان آذربایجان شرقی (km^2)

Table 1- Land use of East Azerbaijan Province (km^2)

اراضی آبی و باغ Irragated farmingand Gardens	اراضی دیم Dry land	جنگل Forest	مرتع Rangeland	اراضی مسکونی Urban	سایر Others	کل Total
5145.7	12823.6	1564	24734.4	268.4	1264	45800
11	28	3	54	1	3	100

منبع: Ministry of Jihad Agriculture, 2004

جدول ۲- تقویم زراعی پسته در غرب و جنوب شرق استان آذربایجان‌شرقی

Table 2- Pistachio crop calendar in the west and southeast of East Azarbaijan Province

کاشت Cultivation	شروع رشد جوانه‌ها Buds begin to grow	گلدهی Flowering	پرشدن مغز Fruit filling	زمان برداشت Date of harvest
فروردین April	اواسط فروردین The first decade of April	دهه اول اردیبهشت The Third decade of April	اواسط تیر تا اواخر مرداد The first half of August	نیمه اول مهر The third decade of September

منبع:Farajnia, 2018

نقشه‌های رستری درصد شیب، و جهت شیب با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع[1] (DEM)۳۰ متری استان تهیه شدند. نقشه کاربری اراضی از نقشه سازمان تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (۵) استخراج شد. برای تهیه نقشه‌های عوامل اقلیمی اطلاعات اقلیمی نقطه‌ای۳۰ ساله‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک استان و ایستگاه‌های کمکی استان‌های مجاور با استفاده از مدل عکس فاصله وزنی[2] و نقشه‌های عوامل خاکی نیز از اطلاعات حدود ۹۰۰۰ داده نقطه‌ای دارای موقعیت جغرافیایی که در طول ۱۰ سال گذشته از نقاط مختلف استان نمونه‌برداری شده بودند، استفاده و این اطلاعات نقطه‌ای با مدل فوق به نقشه سطحی تبدیل و پهنه‌بندی شدند (اشکال ۳-۱). در ادامه با استفاده از مدل AHP به تخصیص وزن هر لایه اطلاعاتی در قالب یک ماتریس مقایسه زوجی (دودوئی) و ترسیم نمودار مربوط در نرم‌افزار اکسپرت چویس[3] با توجه به اهمیت اثرگذار هر لایه با استفاده از نظر متخصصین و منابع علمی اقدام شد (۳۳). به منظور وزن‌دهی با این روش ابتدا مسأله تصمیم‌گیری، که همان یافتن نواحی مستعد کشت پسته می‌باشد به سلسله مراتبی که شامل مهم‌ترین عناصر تصمیم‌گیری است تجزیه شد. در سطح اول هدف اصلی، در سطح دوم پارامترهای اصلی تأثیرگذار بر روی هدف مورد نظر (اقلیم، زمین و خاک) و در سطح سوم زیر شاخه‌های هر کدام از پارامترهای سطح دوم و در نهایت در سطح چهارم خصوصیات یا کلاس هر لایه اطلاعاتی، دسته‌بندی شدند. پس از ایجاد سلسله مراتب به مقایسه مؤلفه‌های هر سطح در قالب یک ماتریس پرداخته شد. مقایسه و محاسبه وزن‌ها در محیط نرم‌افزار اکسپرت چویس انجام شد، که به طور خودکار نسبت ناسازگاری را نیز محاسبه می‌نماید و از طریق ادغام وزن‌های نسبی سطوح مختلف و از طریق ضرب‌های متوالی ماتریس وزن‌ها در هر سلسله مراتب انجام می‌شود. به طور مثال وزن عامل زمینی در سطح دوم در وزن زیر شاخه‌های خود یعنی سطوح کاربری، شیب و جهت شیب زمین ضرب شده و به همین منوال وزن عوامل زمینی (سطح سوم) در وزن سطح چهارم ضرب (وزن عوامل خاکی) می‌شود تا وزن نهایی بدست آید. از طریق بکاربردن قابلیت Map calculator نرم‌افزار ArcGIS پس از ضمیمه نمودن وزن سطح چهارم به جدول اطلاعات توصیفی، نقشه مربوطه در اوزان سطوح بالایی خود ضرب شد تا نقشه‌های نهایی بر اساس وزن نهایی نرمال شده با مدل همپوشانی (روی هم‌گذاری)[4] تهیه شد و در نهایت بر اساس میزان و شدت محدودیت‌های اراضی برای کاشت پسته، مناطق مختلف استان در سه کلاس شامل اراضی نسبتاً مناسب، اراضی با تناسب بحرانی و اراضی نامناسب پهنه‌بندی شد. اراضی که دارای محدودیت کم به لحاظ اقلیم، خاک یا زمین برای کشت پسته بودند در کلاس نسبتاً مناسب و اراضی که به دلیل وجود محدودیت‌های زیاد دارای سودآوری کم برای استفاده موردنظر باشد در کلاس تناسب بحرانی قرار گرفتند. در صورتی‌که به دلیل وجود محدودیت‌های شدید درآمد حاصل از استفاده مورد نظر کمتر از هزینه‌های آن باشد در کلاس نامناسب قرار می‌گیرند (۳۴). به طور کلی پس از ایجاد و مشخص کردن وزن طبقات هر لایه، در محیط GIS امتیاز هر پلی‌گون (S) در هر لایه اطلاعاتی، از حاصلضرب هر طبقه (Sij) در وزن لایه مربوط (Wi) به دست می‌آید (معادله ۱).

معادله (۱) $$Sij=\sum Sij*Wij$$

امتیاز نهایی به دست آمده در این مرحله نمایشگر آن است که هر طبقه تا چه میزان برای هدف مناسب می‌باشد. این روش یک مقیاس اسمی را با مقادیر از ۱ تا ۹ (جدول ۵) برای تعیین میزان اولویت‌های دو معیار بکار می‌گیرد (۳۳). در این پژوهش، با توجه به اصل "شروط معکوس" در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، اگر اهمیت I نسبت به J برابر با K باشد، اهمیت عنصر J نسبت به I برابر $\frac{1}{K}$ خواهد بود (۲۵). یکی از مزیت‌های مدل AHP امکان بررسی سازگاری در قضاوت-های انجام شده در تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. که ضریب ناسازگاری گفته می‌شود و از تقسیم شاخص ناسازگاری به شاخص تصادفی بودن حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، ناسازگاری در قضاوت ها مورد قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود (۸). مهم‌ترین مزیّت این روش در آن است که به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا یک مسئله پیچیده را به صورت ساختار سلسله مراتبی بشکنند و سپس به حل آن بپردازند. بردار مجموع وزن‌دار با ضرب کردن وزن در اولین معیار به اولین ستون ارایه مقایسه زوجی اصلی، محاسبه گردید. سپس وزن معیار دوم در ستون دوم الی آخر و سرانجام مجموع این روش‌ها در ردیف‌ها ضرب شد (برای هریک از زیر معیارها و گزینه‌ها نیز این‌گونه عمل گردید). برای محاسبه ضریب ناسازگاری از معادله (۲) و شاخص ناسازگاری از معادله (۳) استفاده شد.

معادله (۲) $$CR=\frac{CI}{RI}$$

معادله (۳) $$CI=\frac{\lambda_{max}}{n-1}$$

در معادله (۲) RI یا شاخص تصادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول ۵ قابل استخراج است. برای محاسبه بردار ویژه (λ) ابتدا بردار مجموع وزنی را که از ضرب کردن وزن اولین معیار در اولین ستون ماتریس مقایسه دو تایی اصلی، سپس ضرب نمودن دومین معیار در دومین ستون، سومین معیار در سومین ستون ماتریس

1- Digital elevation model
2- Inverse distance weight
3- Expert Choice
4- weighted-overlay

اصلی، چهارمین معیار .... و سرانجام جمع نمودن این مقادیر در سطرها بدست می‌آید. در مرحله بعد بردار توافق از ضرب اعداد بدست آمده بر وزن معیارها حاصل می‌شود. بردار مجموع وزنی برای تک تک معیارها به صورت ذیل محاسبه می‌شود (۸).

$$\text{معیار اول} = 0.245 * 1 + 0.137 * 2 + 0.134 * 3 + 0.133 * 4 + 0.067 * 5 + 0.064 * 6 + 0.06 * 7 + 0.054 * 8 + 0.052 * 9 + 0.028 * 10 + 0.026 * 11 = 4.058$$

$$\text{معیار دوم} = 0.245 * 1/2 + 0.137 * 1 + 0.134 * 2 + 0.133 * 3 + 0.067 * 4 + 0.064 * 5 + 0.06 * 6 + 0.054 * 7 + 0.052 * 8 + 0.028 * 9 + 0.026 * 10 = 3.1805$$

دوم‌به همین ترتیب محاسبات تا معیار یازدهم انجام شد که نتایج در جدول ۳ ارایه شده است.

چون شاخص ناسازگاری از ۰/۱ کمتر است بنابر ایـن قضـاوت‌هـا سازگار هستند.

جدول ۳- محاسبه بردار ویژه

Table 3- Calculation of eigen vector

معیار Criterion	وزن نهایی Final weight	λ
شیب Slop	0.245	0.245=0.99×4.058
میانگین حداقل مطلق دمای سردترین ماه Min T. Coldest month	0.127	0.44 =0.137×3.1805
شوری خاک Soil salinity	0.134	0.33=0.134×2.453
درصد رطوبت نسبی در مرحله گدهی Mean RH. flowering period (%)	0.133	0.25 =0.133×1.859
(بافت خاک) Soil texture	0.067	0.09 =0.067×1.395
درصدکربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	0.064	0.07 =0.064×1.029
میانگین دمای دوره رشد Mean T. Growth period	0.06	0.04 =0.06×0.7382
اسیدیته خاک Soil pH	0.054	0.03 =0.054×0.5132
کاربری اراضی Land use	0.052	0.02 =0.052×0.348
جهت شیب Steep directions	0.028	0.007 =0.028×0.2348
میانگین دما در مرحله گرده افشانی Min T. Pollination period	0.026	0.004 =0.026×0.1585

منبع: Dengiz & Usul, 2018

$$CI = \frac{\lambda_{max}}{n-1} = \frac{0.99}{10} = 0.09 \quad \rightarrow \quad CR = \frac{CI}{R} = \frac{0.09}{1.51} = 0.06$$

جدول ۴- نیازهای رویشی گیاه پسته

Table 4- Pistachio crop requirements

کلاس Class	کاملاً مناسب Suitable	نسبتا مناسب Moderat suitable	تناسب بحرانی Critical suitable	نامناسب Non suitable
میانگین دمای دوره رشد (°C) Mean T. Growth period(C^0)	20-30	18-20 30-35	15-18 35-37	15> >37
میانگین دمای مرحله گرده افشانی (°C) Min T. Pollination period (°C)	14-25	25-30 10-14	-	10< 30>
میانگین دمای حداقل سردترین ماه سال (°C) Min T. Coldest month (°C)	(-5) - (-2)	(-5) - (-17) 2-4	(-17) - (-25) 4-6	-25>
رطوبت نسبی در مرحله گدهی (٪) Mean RH. flowering period (%)	18-35	40-65 15<	65-75	75>
شیب (٪) Slope (%)	0-5	5-10	10-15	15>
جهات شیب (درجه) Steep directions (degree)	112.5-247.5	67.5-112.5	247.5-292.5	22.5-292.5
کاربری اراضی Land use	مناطق مستعد کشاورزی و باغ Agriculture and garden	زمین بایر، اراضی دیم Wasteland, dry land	جنگلهای تنگ، مراتع و درختهای پراکنده Tight forests, grasslands and scattered trees	رودخانه، مرداب و مناطق صخره ای Rivers, swamps and rocky areas
شوری خاک (دسی‌زیمنس/ متر) Soil Salinity (dS/m)	< 7.5	7.5-15	15-22	>22
اسیدیته خاک Soil pH	6.5-7.8 5.5-6.5	7.8-8.3 5.5 >	8.3-8.9	>8.9
آهک (٪) Lime (%)	0-25	25-40	40-65	<65
بافت خاک Soil texture	L, CL, SCL, SiCL	SC, SiC, SiL, SL	LS , 60%> C	Cm*,<60%

* بافت رسی با بیش از ۶۰ درصد رس و ساختمان فشرده

منبع: Zeinaldin et al, 2019

جدول 5- مقیاس چند کمیتی ساعتی برای مقایسه دودویی گزینه ها

Table 5– Saaty multi- quantitative scale for binary comparison criteria

میزان اهمیت Level importance	شدت اهمیت Intensity of the importance
1	با اهمیت و ارجحیت مساوی With equal impotence and preference
3	با اهمیت و ارجحیت کمی بیشتر With slighthly impotence and preference
5	با ارجحیت و اهمیت قوی With strong impotence and preference
7	با ارجحیت خیلی قوی With very strong impotence and preference
9	با ارجحیت بی نهایت With extreme impotence and preference
8 and 6 ،4 ،2	ارزش میانی Middele value
ارزش های مقیاس معکوس Reverse scale values	اثر دو جانبه امتیازات Bilateral effects of concessions

منبع:Saaty, 1987

جدول ۶- شاخص پایداری تصادفی بودن (RI)

Table 6- Random consistency indices

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

منبع: Bown, 1993

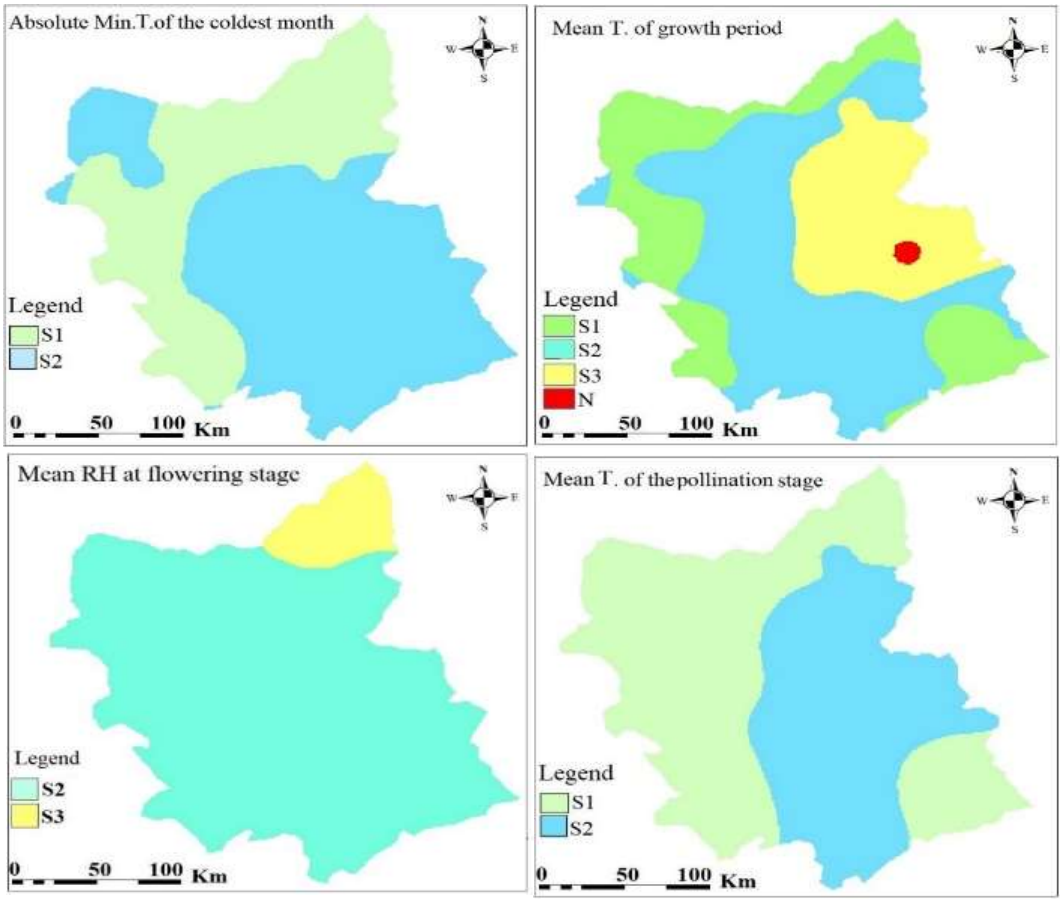
نتایج

نتایج پهنه‌بندی عوامل موثر بر تناسب اراضی استان آذربایجان‌شرقی در جدول ۷ و اشکال ۱ تا ۳ ارایه شده است. بیش از ۹۰ درصد اراضی استان به لحاظ شوری خاک فاقد محدودیت برای کاشت پسته هستند و فقط حدود ۱۳۰۰ کیلومتر مربع از اراضی استان که در حاشیه دریاچه ارومیه واقعند بدلیل شوری بیش از ۲۲ دسی‌زیمنس بر متر برای کاشت پسته نامناسب هستند. بیشترین اراضی نامناسب برای کاشت پسته به عامل شیب زمین تعلق دارد و بدلیل کوهستانی بودن مناطق مختلف استان بیش از ۲۰ هزار کیلومتر مربع از اراضی (۴۳/۹ درصد) در کلاس نامناسب قرار دارند و حدود نیمی از اراضی استان با شیب کمتر از ۱۰ درصد برای کاشت پسته در کلاس‌های کاملاً و نسبتاً مناسب قرار دارند. از عوامل محدودیت زا برای کاشت این میزان رطوبت نسبی در مرحله گرده افشانی است بطوری‌که ۹۲ درصد استان در کلاس نسبتاً مناسب و الباقی ۸ درصد از اراضی که در شمال‌شرق شهرستان کلیبر واقعند با ۶۵ تا ۷۵ درصد رطوبت در مرحله گرده‌افشانی در کلاس تناسب بحرانی قرار دارند. محققین متعددی رطوبت بالای ۶۵ درصد را عامل منفی در مرحله گلدهی معرفی و گزارش نمودند که با جذب رطوبت دانه گرده متورم و تلقیح را با مشکل مواجه می‌سازد (۱۷ و ۳۴).

جدول ۷- کلاس‌های مختلف تناسب بر اساس زیرمعیارها (km^2)

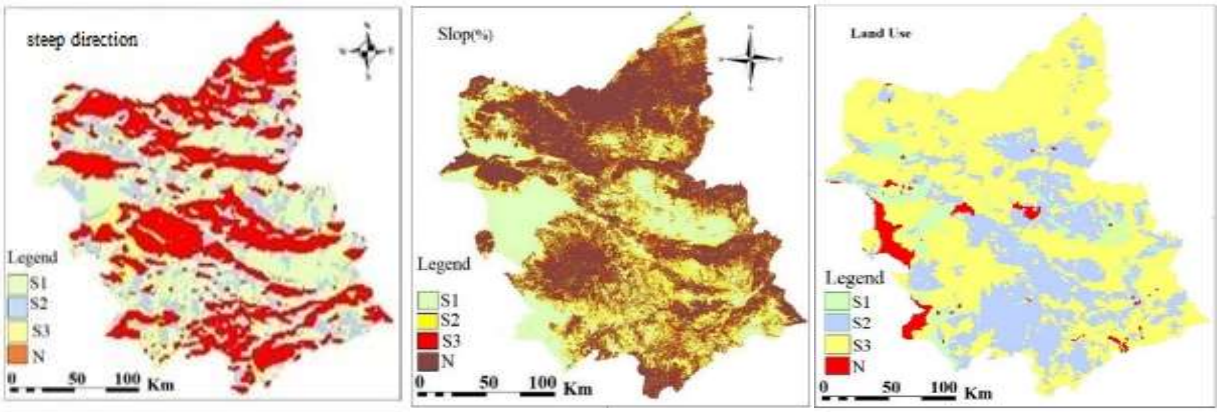
Table 7- Land suitability classes based on sub criteria (km^2)

زیر معیار Sub criteria	کاملاً مناسب Suitable	نسبتاً مناسب Moderat suitable	تناسب بحرانی Critical suitable	نامناسب Non suitable
میانگین دمای دوره رشد (°C) Ave T. Growth period (°C)	2648	22210	10371	211
میانگین دما در مرحله گرده افشانی (°C) Min T. Pollination period (C0)	26480	19560	-	-
میانگین حداقل مطلق دمای دوره رشد (°C) Min T. Coldest month (°C)	27650	18150	-	-
درصد رطوبت نسبی در مرحله گدهی Ave RH. flowering period (%)	-	42150	3650	
شیب زمین (٪) Slop (%)	9500	9600	6590	20110
جهت شیب (درجه) Steep direction (degree)	12557	9845	4888	18510
کاربری اراضی Land Use	3620	13720	27170	1290
شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر) Ec (dS/m)	42770	1499	193	1338
اسیدیته خاک pH	17340	28462	-	-
بافت خاک Texture	40705	4328	722	60
کربنات کلسیم معادل (٪) $CaCO_3$ (%)	36486	9014	300	-



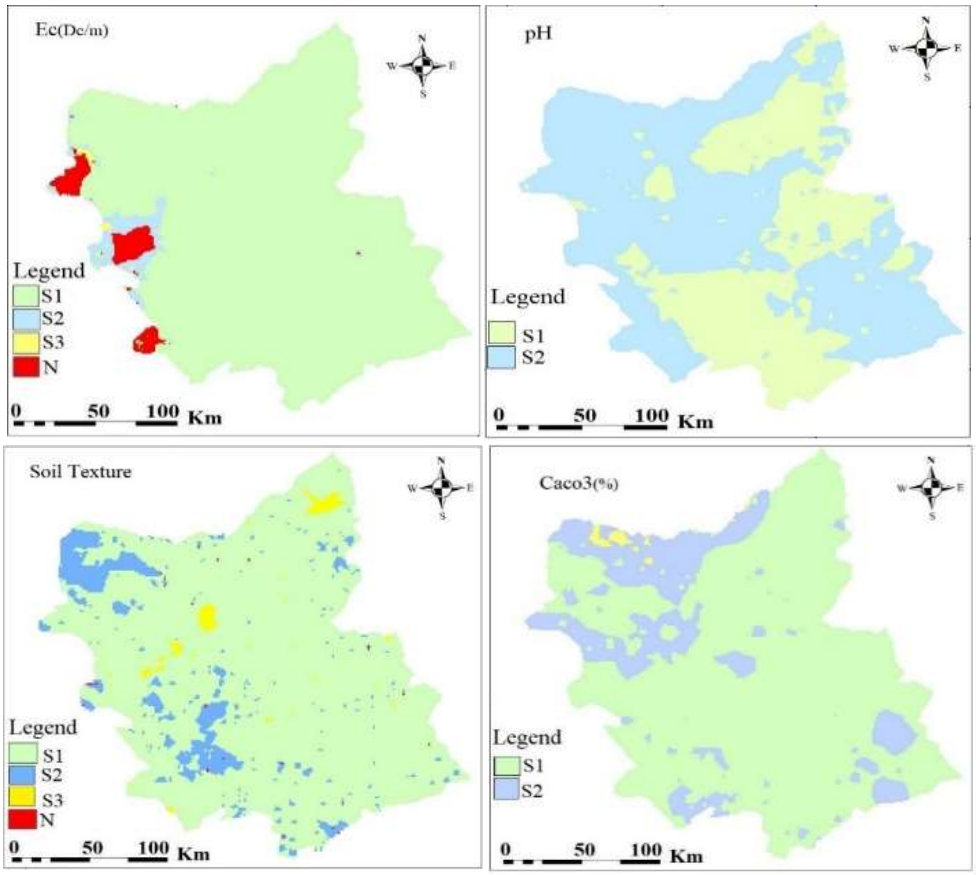
شکل ۱- بترتیب از بالا سمت راست تناسب اراضی برای کاشت پسته بر اساس میانگین دمای دوره رشد، میانگین حداقل مطلق سردترین ماه، میانگین دما در مرحله گرده افشانی و میانگین رطوبت نسبی مرحله گلدهی

Figure 1- From right to left: Land suitable for pistachio based on average growth period temperature, Absolute minimum temperature of coldest month, Average temperature of pollination stage, Mean relative humidity at flowering stage



شکل ۲- بترتیب از بالا سمت راست تناسب اراضی برای کاشت پسته بر اساس کاربری، درصد شیب و جهت شیب

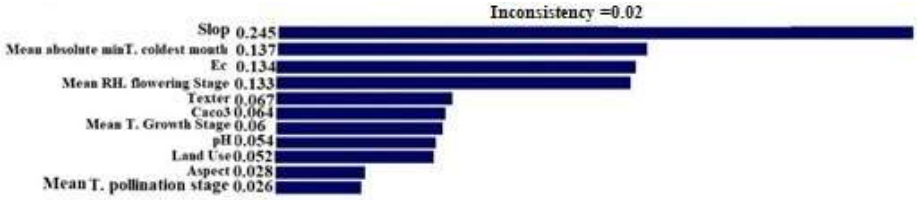
Figure 2- From right to left: Land suitable for pistachio based on land use, slope percent and steep direction



شکل ۳- از بالا سمت راست تناسب اراضی برای کاشت پسته بر اساس شوری، اسیدیته ، بافت و درصد کربنات کلسیم خاک

Figure 3- From right to left: Land suitable for pistachio based on soil salinity, acidity, texture and $CaCO_3$ percentage

شکل ۴ رتبه‌بندی نهایی زیر معیارهای موثر اقلیمی، زمین و خاک برای کشت پسته در استان آذربایجان شرقی را بـر اسـاس محاسـبات نرم‌افزار اکسپرت چویس نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شـود کارشناسان و خبرگان شرکت کننده در این تحقیق بیشترین وزن یعنی ۰/۲۴۵ را به شیب زمین بعد از آن ۰/۱۳۷ به میانگین حـداقل مطلـق دما در سردترین ماه سال و رتبه سوم یا ۰/۱۳۴ را به قابلیت هـدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک یا شوری دادند. کمترین وزن بـه میـانگین دما در مرحله گرده افشانی (۰/۰۲۶) تعلق گرفت. گزارش شده است وزن-دهی لایه‌ها به‌صورتی انجام گیرد که عاملی که بیشترین محدودیت را در ارزیابی ایجاد می‌کند مهمترین لایه و بـه نسـبت اهمیـت و ایجـاد محدودیت، لایه‌های انتخاب شده در مراحل بعدی قرار گیرند (۲). نرخ ناسازگاری در مقایسه زوجی زیر معیارهـا ۰/۰۲ محاسـبه شـد و چون این مقادیر کمتر از ۰/۱ است. بنابراین مقایسـه‌هـا از سـازگاری مطلوبی برخوردار هستند. اختلاف اندک بین نرخ ناسازگاری محاسـبه شده با نرم‌افزار و روش دستی به دقت بالای نرم‌افـزار مربـوط اسـت. گزارش شده‌است چنانچـه در تحلیـل‌هـای مکـانی در GIS از توابـع تحلیلی نظیر تحلیل سلسـله مراتبـی نیـز اسـتفاده شـود دقـت نتـایج افزایش خواهد یافت (۲۷).



شکل ۴- محاسبه وزن شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسپرت چویس

Figure 4- Index weight calculation using the software Expert choice

نقشه‌های حاصله به عنوان لایه‌های ورودی در مدل‌سازی نهایی مورد استفاده قرار گرفتند. مدل‌سازی به روش همپوشانی وزن‌دار با استفاده از قابلیت روی هم اندازی لایه‌ها[1] در محیط Arc GIS$_{10.7}$ صورت گرفت(۹). بدین ترتیب تناسب مناطق مختلف استان برای کشت پسته بدست آید (شکل ۵).

نتایج و بحث

بر اساس مدل AHP، اراضی کلاس کاملاً مناسب (S1) برای کاشت پسته در آذربایجان‌شرقی وجود ندارد یعنی در کلیه مناطق استان، یک یا چند عامل از عوامل یا زیر معیارهای مورد مطالعه محدودیت کم تا زیاد برای کاشت این محصول بوجود می‌آورند (شکل ۵). نتایج نشان داد ۳۸۸۷ کیلومتر مربع یا ۸/۵ درصد از سطح استان آذربایجان شرقی برای کاشت پسته در کلاس نسبتاً مناسب (S2) قرار دارند (جدول ۸). نتایج یک طرح تحقیقاتی که در ۳۰ باغ پسته در استان آذربایجان‌شرقی اجرا شد نشان می‌دهد در همه این باغات بدلیل وجود محدودیت‌های کم تا زیاد مربوط به اقلیم و زمین اراضی فاقد محدودیت وجود ندارد. اگر چه این محدودیت‌ها به افت عملکرد پسته منجر می‌شود اما توجیه اقتصادی این مجصول سبب شده‌است روز بروز به سطح زیر کشت این محصول در استان افزوده شود (۱۱). قرار داده، نیاز آبی کم و متحمل بودن این محصول نسبت به شوری در مقایسه با سایر محصولات باغی است (۳۵).

از سال ۱۳۷۷ به اراضی نسبتاً مناسب عمدتاً منطبق بر اراضی کشاورزی استان بوده و در صورت تأمین نیاز آبی می‌توانند به کاشت این محصول اختصاص یابند. از مزیت‌های نسبی که این محصول را مورد توجه کشاورزان دفعات خشکسالی در نقاط مختلف استان کم و بیش بوقوع پیوسته و افت محصولات کشاورزی تا ۳۵ درصد را سبب شده‌است. پسروی دریاچه ارومیه یکی از آثار خشکسالی‌های اخیر است که تاثیر نامطلوبی بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی گذاشته است (۱۸). ۶۲۵۰ کیلومتر مربع (۱۳/۶ درصد) از اراضی استان در کلاس تناسب بحرانی یا S3 قرار دارند. برخی از زیر معیارهای مورد مطالعه در این اراضی مانند میانگین دمای دوره گرده افشانی، میانگین دمای دوره رشد، میزان و جهت شیب و بافت خاک در محدوده تناسب بحرانی و یا نامناسب قرار دارند. برای مثال شیب تند در این اراضی را می‌توان عنوان کرد که صرف هزینه برای تسطیح این اراضی غیر از تخریب مراتع و مستعد نمودن آن‌ها به فرسایش خاک ثمری نخواهد داشت. این اراضی عمدتاً شامل مناطق کوهپایه‌ای و دشت‌های کوهستانی و پسکرانه‌های دشت‌های استان است. اما گزارش شده است که تا شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر در حاشیه دریاچه ارومیه باغ پسته با بیش از ۱۵ سال قدمت وجود دارد هر چند برخی از این باغ‌ها بدلیل احداث در اراضی محدودیت‌دار عملکرد اقتصادی ندارند (۱۱). ۳۵۶۶۳ کیلومتر مربع (۷۷/۹ درصد) از اراضی مورد مطالعه در کلاس نامناسب (N) قرار دارند. قسمت عمده این اراضی در شمال‌شرق و شمال استان در شهرستان‌های سراب، بستان‌آباد، هریس، اهر و کلیبر واقعند (شکل ۵).

عوامل اصلی محدود کننده رشد پسته در این نواحی بالا بودن رطوبت نسبی در مرحله گلدهی، پائین بودن دما در مرحله گرده افشانی و دوره رشد است از دیگر عوامل محدوده کننده شیب و کوهستانی بودن این بخش از اراضی استان از سایر عوامل محدود کننده بشمار می‌روند در صورتی‌که محدودیت اصلی اراضی نامناسب شرق استان نظیر جنوب مرند، شرق شبستر و جنوب آذرشهر، کوهستانی بودن منطقه و شیبدار بودن اراضی است ولی معیار اصلی نامناسب بودن اراضی غرب تبریز شوری بسیار بالای این اراضی است که در نقشه شوری خاک دیده می‌شود. اگرچه شوری خاک از عوامل قابل اصلاح می‌باشد اما نبود آب با کیفیت مناسب برای آبشویی، سنگین بودن بافت خاک و عدم امکان تخلیه زه‌آب بدلیل مسطح بودن، اصلاح این اراضی را غیر ممکن نموده است. بیشترین باغات پسته که در ۱۰ سال اخیر در این استان احداث شده‌اند در شهرستان-های شبستر، مرند، تبریز، آذرشهر، بناب و میانه واقعند و بنظر می‌رسد تاکنون گزارشی از کاشت موفق این محصول در مناطقی نظیر بستان-آباد، سراب، هریس و سایر مناطقی که در شکل ۵ نامناسب نشان داده شده است وجود ندارد (۱۱). مطالعات ارزیابی اراضی از اهمیت بالایی در تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از زمین بر اساس پتانسیل‌ها و محدودیت‌ها و حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده برخوردار است (۸). همانطور که ذکر شد پسته گیاه نیمه گرمسیری و بومی مناطق مرکزی ایران و استان کرمان است و تا چند سال پیش کاشت آن در استان‌های سردسیر نظیر آذربایجان‌شرقی بعید بنظر می‌رسید اما با وقوع پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن زمین در بیست سال گذشته کشاورزان در بسیاری از مناطق کشور از جمله منطقه مورد مطالعه با آزمون و خطا توانسته‌اند باغ‌هایی احداث کنند که صرفه اقتصادی داشته و موجب ترغیب سایر کشاورزان به کشت این محصول شده است. مهمترین عامل تمایل کشاورزان در دشت تبریز و اراضی حاشیه دریاچه ارومیه وقوع خشکسالی و پسروی دریاچه ارومیه و شور شدن آب‌های زیرزمینی در این اراضی است که منجر به خشک شدن بسیاری از باغ‌های بادام و زردآلو در این مناطق شد. شوری آب آبیاری در باغ‌های حاشیه دریاچه ارومیه تا بیش از ۷۰۰۰ دسی‌زیمنس هم گزارش شده است این شوری به خشکی باغ‌های هسته‌دار و دانه‌دار منجر شد اما آبیاری با این آب اگرچه افت عملکرد پسته را بدنبال دارد

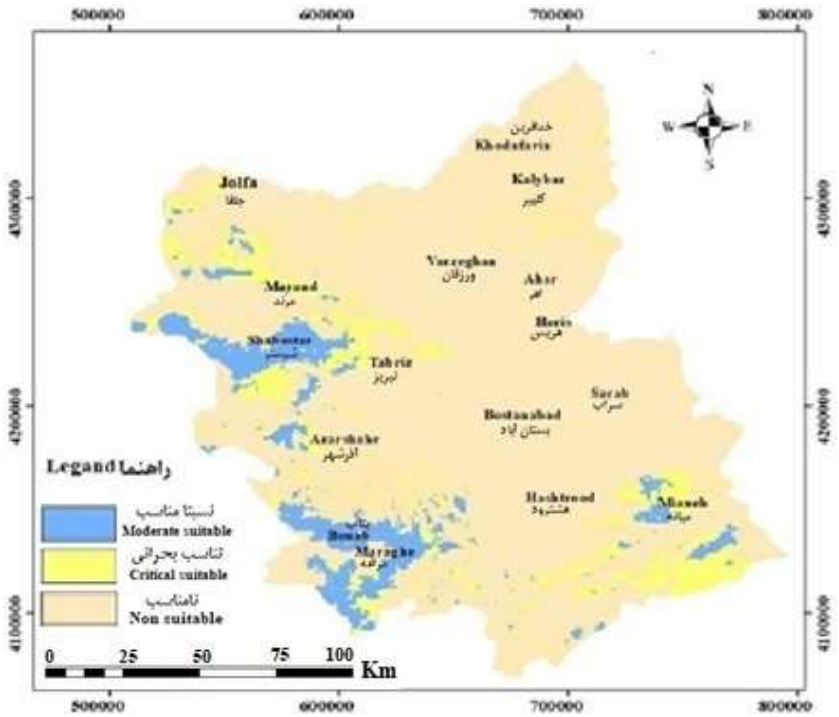
1- raster calculator

اما رشد گیاه را با مشکل مواجه نمی‌سازد (۱۸). اما بالا بودن قیمت محصول، پائین بودن عملکرد را پوشش می‌دهد از طرف دیگر بسیاری از باغداران بدلیل خاصیت انبارداری و خشکباری بودن این محصول و سودآوری بالای آن نسبت به بقیه محصولات باغی پسته را ترجیح می‌دهند. این امر باعث شده است مساحت باغ‌های در حال احداث بشدت افزایش یابد.

جدول ۸- کلاس‌بندی قابلیت کشت پسته بر اساس مدل AHP در استان آذربایجان شرقی

Table 8- Classification of pistachio capability based on AHP model in East Azarbijan Province

کلاس Class	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km^2)	درصد (٪) Percentage (%)
نسبتاً مناسب Moderately suitable	3887	8.5
تناسب بحرانی Critical suitable	6250	13.6
نامناسب Non suitable	35663	77.9



شکل ۵- پهنه‌بندی مناطق مستعد کاشت پسته در استان آذربایجان‌شرقی

Figure 5- Pistachio zoning map planting in East Azerbaijan Province

می‌توان گفت پسته‌کاری در استان آذربایجان‌شرقی عکس‌العمل زارعین برای مقابله با خشکسالی‌های اخیر و پسروی دریاچه ارومیه است و یکی از راهکارهای پیشنهادی برای سازگاری با تغییر اقلیم است که خوب عمل کرده است. در شرایط فعلی قابلیت استان برای کاشت این محصول بسیار بیشتر از سطح فعلی است اما ضروری است که با انجام مطالعات دقیق‌تر، از کاشت آن در اراضی با تناسب بحرانی که در مجاورت اراضی نسبتاً مناسب قرار دارند جلوگیری شود. توصیه شده است برای تولید اقتصادی محصولات کشاورزی بایستی اراضی کاملاً مناسب و نسبتاً مناسب به این کاربری اختصاص یابند. و از کشاورزی در اراضی با تناسب بحرانی و نامناسب خودداری شود (۷). فرج‌نیا گزارش نمود عملکرد باغات پسته در استان آذربایجان‌شرقی در محدوده اراضی نسبتاً مناسب (S_2) ۱۵۰۰-۱۰۰۰ و اراضی با تناسب بحرانی (S_3) ۱۰۰۰-۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بسته به تعداد و میزان محدودیت‌های اقلیم، زمین و خاک متغیر است. اما باغاتی وجود دارند که به دلیل احداث در اراضی نامناسب عملکردشان کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار است و توجیه اقتصادی ندارند (۱۱).

نتیجه‌گیری

مدل AHP روشی قوی در امر تصمیم‌گیری چند معیاری است. این مدل به دلیل وزن‌دهی به معیارها و مقایسه زوجی آن‌ها نسبت به هم و نسبت به هدف دقت بالایی در مکان‌یابی دارد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از اراضی کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی از قابلیت‌های لازم برای کشت پسته برخوردار نیستند. با توجه به متحمل بودن این محصول به کم آبی و شوری آب و خاک جایگزینی کشت آن با محصولات با نیاز آبی بالا صرفاً در اراضی که در کلاس نسبتاً مناسب قرار دارند علاوه بر سودآوری مناسب موجب صرفه‌جویی در مصرف آب نیز خواهد شد.

اگر چه جدول نیازهای رویشی گیاه پسته بر مبنای خصوصیات اراضی مناطق تحت کشت پسته کشور تهیه شده است. اما بدلیل جوان بودن اغلب باغات در استان آذربایجان‌شرقی توصیه می‌شود این جداول در سال‌های آتی درسطح باغات بیشتری بررسی و در صورت لزوم اصلاح شود.

محدودیت منابع آب در اکثر مناطق کشور از جمله این استان، کشاورزان را به کاشت پسته ترغیب نموده است بطوری‌که سطح زیر کشت آن بسرعت در حال افزایش است و در بیشتر موارد مکان‌یابی به صورت سعی و خطا و اطلاعات تجربی می‌باشد. نتایج این مطالعات می‌تواند در بسیاری از موارد از هدر رفت منابع تولید جلوگیری نماید.

با توجه به محدودیت منابع تولید در اکثر مناطق استان، از کاشت و توسعه باغات پسته در اراضی که در این تحقیق در کلاس‌های تناسب بحرانی و نامناسب قرار گرفتند پرهیز شود.

منابع

1- Abdel Rahman M., Natarajan E., and Hegde R. 2016. Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 19(1): 125-141.

2- Alavizadeh S., Monazam Ismailpour A., and Hoseinzadeh Kermani M. 2013. Possibility study of areas with potential cultivation of saffron in Kashmar plain using GIS. Saffron Agronomy & Technology 1(1): 71-95. (In Persian with English abstract)

3- Anonymous. 2016. East Azerbaijan meteorology statistics. East Azerbaijan meteorology Organization. (In Persian)

4- Anonymous. 2015. Statistics of Jihad-e-Agriculture Organization of East Azerbaijan province. Statistics of Jihad-e-Agriculture Organization of East Azerbaijan province. (In Persian)

5- Anonymous. 2004. Preparation of country vegetation map. Organization of forests, pastures and watershed management. Ministry of Agriculture. (In Persian)

6- Boriss H. Pistachio Profile. 2015. Agricultural Marketing Resource Center.

7- Bown W.M. 1993. AHP, Multiple Criteria Evaluation in Klosterman, Spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis. New Brunswick Center for Urban Policy Research. Springer. USA.

8- Dengiz O., and Usul M. 2018. Multi-criteria approach with linear combination technique and analytical hierarchy process in land evaluation studies. Eurasian Journal Soil Science 7(1): 20-29.

9- ESRI. ArcGIS10.3 for Desktop. 2015. Environmental Systems Research Institute: ESRI Redlands, CA, USA.

10- Fal Soleyman M., Hajipour M., and Sadeghi H. 2013. Comparison of the efficiency of multi-criteria decision making methods (AHP) and TOPSIS in order to determine the susceptible areas for pistachio cultivation in Mokhtaran plain of Birjand city in GIS environment. Journal of Applied Research in Geographical Sciences 31: 133-155. (In Persian with English abstract)

11- Farajnia A., and Zeinadin A. 2018. Rating of crop requirements and land charachtristics of pistachio in East Azarbaijan Provinces. Final provincial research report. East Azarbaijan Agricultur and Natural center.

12- FAO. 1996. Agro-ecological zoning: Guidelines. FAO Soils Bull: 73.

13- Ferguson L., Polito V., and Kallsen C. 2015. The Pistachio Tree; Botany and Physiology. Fruits and Nuts. UC Davis.

14- Fischer G., and Nachtergaele F.O., Prieler S., Teixeira E., Toth G., Van Velthuizen H., Verelst L., and Wiberg D. 2012. Global Agro-Ecological Zones – Model Documentation GAEZ. V. 3. 0. IIASA/FAO, Laxenburg, Austria/Rome, Italy.

15- Girmay G., Sebnie W., and Reda R. 2018. Land capability classification and suitability assessment for selected crops in Gateno watershed, Ethiopia. Cogent Food & Agriculture.

16- Ismailpour A., Emami Y., Basirat M., Tajabadipour A., Javanshah A., Hakmabadi H., Hosseini Fard J., Hagdal M., Shaker Ardakani A., Sedaghat R., Sedaghati N., Mohammadi A., Mehrnejad M., and Hashemi Rad H. 2016. Pistachio: From production to consumption. Agricultural Education Publishing Publications. (In Persian)

17- Jahanbakhsh S. 2011. Drought monitoring and forecasting and its effects on the agricultural sector of East Azerbaijan province. Deputy of Development, Management and Human Resources of the Governor's Office of Education and Research. (In Persian)
18- Jamil M., Ahmed R., and Sajjad H. 2018. Land suitability assessment for sugarcane cultivation in Bijnor district, India using geographic information system and fuzzy analytical hierarchy process. Geo Journal 83(3): 595-611.
19- Kamali A., and Owji A. 2016. Agro ecological requirements for growing pistachio trees: A literature Review. Elixir Agriculture 96: 41450-41454.
20- Khoshhal Dastjerdi J., and Shahsavari S. 2005. Investigation of environmental conditions and calculation of heat needs of killed pistachios in Borkhar plain, Research of Humanities, University of Isfahan. 18 (Special issue of Geography) 193-210. (In Persian)
21- Lashkari H., and Kaykhosravi Q. 2009. Locating suitable places for pistachio cultivation in Sabzevar city by using the GIS method, along with models (Boolean and AHP models). Journal of Geography and Planning 27: 95-139. (In Persian with English abstract)
22- Layomi Jayasinghe S., Kumar L., and Sandamali J. 2019. Assessment of Potential Land Suitability for Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in Sri Lanka Using a GIS-Based Multi-Criteria Approach. Agriculture.
23- Mahmoudabadi M. 2010. Agricultural Climate Zoning for Pistachio in Kerman Province. Master Thesis, Department of Geography, Faculty of Humanities of Yazd University. (In Persian with English abstract)
24- Mamet N.J.Z., and Daniel J.K. 2007. Statistical analyses on time complexity and rank consistency between singular value decomposition and the duality approach in AHP: A case study of faculty member selection. Mathematical and Computer Modelling 46: 1099–1106.
25- Marinoni O. 2007. Some Words on the Analysis Hierarchy Process and the Provided Arc GIS extension 2007", ext-ahp, Retrieved.
26- Mirmosavian S.H., and Mirian M. 2014. Study and zoning of geographical features of Pistachio cultivation in Zanjan province. Journal of Geography and Planning, Volume 18, Number 49: 295-315. (In Persian with English abstract)
27- Naini M.R. 2016. Familiarity with planting and holding Pistachios. Qom Agricultural and Natural Resources Research Center Publications. (In Persian)
28- Nasrallahi N., Kazemi H., Kamkar B., and Sadeghi S. 2014. Agroecological evaluation of Aq-Qala Township (Golestan Province) for dry land wheat cultivation using geographical information system (GIS). Agronomy Journal 110: 83-94.
29- Owji A. 2011. Geostatistical zoning of land quality fit for pistachios in Hormozabad region of Rafsanjan. Master's thesis, Faculty of Agriculture, Valiasr University of Rafsanjan. (In Persian with English abstract)
30- Ozden-Tokatli Y., Akdamir H., Tilkat E., and Onay A. 2010. Current status and conservation of pistachio germplasm. Biotecnological Advance 28: 130-141.
31- Portaheri M., Ahmadabadi A., and Rahbari M. 2015. Feasibility study of areas prone to pistachio cultivation in Damghan city using Vickor approach. Journal of Regional Planning 5(2): 110-97. (In Persian with English abstract)
32- Saaty T.L. 1987. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, NY, USA.
33- Sys C., Vanrast E., and Debavey J. 1991. Land evaluation Parts I, II, III general administration for development cooperation agricultural Pub. No. 7. Brussels, Belgium
34- Zeinadin A., Tumanian N., Navidi M.N., Farajnia A., and Seyed Jalali S.A. 2019. Crop requirements of garden plants. Agricultural Research and Education Organization and Natural Resources.
35- Zeinadin A., Eskandari M., Hoseinifard S., Farajnia A., Tumanian N., and Qasemzadeh Ganjaei M. 2019. Rating of crop requirements and land charachtristics of pistachio in Kerman, Khorasan Razavi, Fars, Isfahan and East Azarbaijan provinces. Final Report No: 56765. Agricultural Research and Education Organization and Natural Resources. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 5, Dec.-Jan. 2021, p. 703-717

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۵، آذر – دی ۱۴۰۰، ص. ۷۱۷-۷۰۳

Application of FAO Agro-ecological Model for Locating Areas Prone to Pistachio Cultivation in East Azerbaijan Province

A. Farajnia[1]*- K. Moravej[2]- P. Alamdari[3]- M. Eslahi[4]

Received: 24-07-2021
Accepted: 25-09-2021

Introduction: FAO agro-ecological model determines the production capacity, creating a logical relationship between the natural potential of the environment, the needs of communities, human activities, and sustainable adaptation. With the development of plant growth simulation models, researchers have begun a large-scale effort to agroecological zoning of various crops on a regional scale. In this method, an area was divided into homogeneous units with maximum similarity in terms of climate and land characteristics. Then, the potential yield map predicted by a simulation model is used for zoning. Pistachio is a subtropical plant that has long been cultivated in the central areas of Iran. With the occurrence of drought in the last two decades, farmers cultivated Pistachio in East Azerbaijan province without considering this crop requirement. This study aimed to use the AHP model to evaluate the suitability of East Azerbaijan lands for cultivating pistachio.

Methods and Materials: East Azerbaijan province is located in the northwest of Iran, between the latitudes of 36˚ and 45' to 39˚ and 26' N and the longitudes of 45˚ and 5' to 48˚ and 22' E based on the geographic coordinate system. The area of the province is 45800 square kilometers. The climate is generally cold and semi-arid, but it has different climates due to its diverse and extensive topography. The area of agricultural lands is estimated to be 18,000 square kilometers, which is about 39% of the total area. In this research, climatic data were collected for 30 years from Tabriz, Jolfa, Mianeh, Sarab, Maraghe, and Malekan synoptic stations, and from four neighboring stations of Orumieh, Khoy, Miandoab, and Parsabad. Three criteria (i.e. climate, land, and soil) and 11 sub-criteria were studied. The sub-climatic criteria included the average temperature of the growing season, average temperature in the pollination stage, absolute minimum temperature in the coldest month of the year, and average percentage of relative humidity in the flowering stage. Land criteria were land use sub-criteria, land slope, and slope directions, and soil criteria were salinity (electrical conductivity of saturated extract), pH, soil texture, and soil lime content ($CaCO_3$). The results of the analysis of about 9000 soil samples were prepared for zoning of soil factors from East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research Center. Land characteristics of slope map and aspects were prepared from the digital elevation map of the study area and land use map was obtained base on the map provided by the Forests and Rangelands Research Institute of Iran. The parameters were then weighted upon AHP by the parameter importance for each region. Data were transferred to Expert Choice software and clustered, rated, integrated for producing the final layer.

Results and Discussion: According to the AHP model, there are no entirely suitable class areas for pistachio cultivation in East Azerbaijan province. Because one or more factors or sub-criteria created low restrictions for the cultivation of this crop. The results showed that 3887 square kilometers or 8.5% of the area was classified as a relatively suitable class. Although this area has low restrictions for pistachio planting, the profitability of this complex has increased the area of pistachio orchards rapidly. The suitable lands are mainly located by the agricultural lands and if water requirement could be met, they can be allocated for planting. The low water requirement and tolerance to salinity compared to other crops can be considered as the advantages of cultivating pistachio. Since 1998, droughts have occurred in different areas of the province. It caused a decrease in agricultural products by up to 35%. The declining water level of Lake Urmia is one of the consequences of the recent droughts, deteriorating the groundwater quantity and quality. The 6250 square kilometers (13.6%) of the province's lands was classified as the critically suitable class. Some of the sub-criteria studied in these lands such as the average temperature of pollination period, the average temperature of the growth period, amount and direction of slope, and soil texture were in the critical classes. The 35663 square kilometers (77.9%) of the

1- Scientific Member of Soil and Water Research Department, East Azerbaijan Aagricultureal and Natural Rresources Research and Education Center and Ph.D. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
(*- Corresponding Author Email: farajnia1966@yahoo.com)
2 and 3- Assistant Professors, Department of Soil Science, Faculty of agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
4- Expert of the General Meteorological Department of East Azerbaijan Province, Tabriz
DOI: 10.22067/JSW.2021.71439.1066

studied lands were found to be unsuitable (N). The main reason for the unsuitability was the very high salinity of lands, as seen in the soil salinity map. Although it is a modifiable factor, the lack of quality for leaching, heavy soil texture, and the impossibility of draining drainage due to flatness, render the reclamation of these lands impossible. Under the current situation, East Azerbaijan province is much more capable of planting this crop. However, it is necessary to conduct more detailed studies to avoid pistachio cultivation in marginal suitable lands.

Keywords: AHP, Agro-ecological model**,** East Azerbaijan province, Land suitability, Pistachio