



ارزیابی تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) به روش ترکیبی تحلیل عاملی پارامتریک

امیر دوستداری^۱، علی افتخاری^۲، علی باقرزاد چهارجویی^{۳*}، سید امیر عباس موسوی^۲، مرتضی مبلغی^۲

۱- دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

۳- دانشیار، گروه کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶

چکیده

شناسایی بهترین مناطق با هدف فعالیت مولد کشاورزی در کنار حفاظت کامل منابع آب و خاک و از سوی دیگر حفظ سلامت محصولات تولیدی و تامین اقتصادی تولید کنندگان صورت می گیرد و اهمیت دارد. این مطالعه با هدف ارزیابی تناسب زمین برای کشت گیاه دارویی سیاهدانه در ۱۸۹۲۲۰ نقطه در استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران در سال ۱۴۰۳ انجام شد. در این مطالعه، از روش تحلیل عاملی (FA) با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به عنوان یک روش آماری چندمتغیره برای ارزیابی تناسب زمین برای کشت سیاهدانه در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. برای این منظور، ۱۷ فاکتور خاک و اقلیم منطقه استخراج شده پردازش شدند که منجر به پنج عامل شد که بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را توضیح می‌دهند. نتایج مطالعه نشان داد که پنج عامل اصلی بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ توضیح می‌دهند. واریانس توضیح داده شده این عوامل پس از چرخش واریماکس به ترتیب از ۲۶/۰۲۱٪ برای عامل اول تا ۷/۱۱۱٪ برای عامل پنجم متغیر بود. همچنین، هر عامل بارگیری‌های متفاوت برای هر یک از متغیرها نشان داده شده است. نقشه تناسب اراضی استان نشان داد که ۰/۹۶٪ (۱۱۲۷/۹۵ کیلومتر مربع) در بخشهایی از شمال استان برای کشت گیاه سیاه دانه کاملاً مناسب، ۹۲/۴۳٪ (۱۰۸۸۵۱/۱۰ کیلومتر مربع) شامل بخشهای عمده ای از شمال، مرکز و بخشهایی از جنوب استان تناسب متوسط و ۶/۶۱٪ (۷۷۸۹/۹۵ کیلومتر مربع) در بخش غربی مرکز و جنوب استان برای تولید سیاه دانه نامناسب می باشد. مهم‌ترین عوامل محدودکننده برای کشت سیاه دانه در استان خراسان رضوی، اجزای اقلیمی و کربن آلی خاک بودند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب زمین، تحلیل مولفه های اصلی، روش تحلیل عاملی پارامتریک، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیاهدانه

* نگارنده مسئول (ali.bagherzadeh1966@iau.ac.ir)

مقدمه

روش‌های ارزیابی زمین به طور فزاینده‌ای بر استفاده از روش‌های کمی برای بهبود تفسیر کیفی مطالعات منابع زمین متمرکز شده‌اند. عامل کلیدی در ارزیابی تناسب زمین، تطابق ویژگی‌های زمین با نیازهای انواع کاربری‌های مورد انتظار است. ارزیابی زمین نتیجه تعامل پیچیده فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیست‌اقلیمی است و مدل‌های ارزیابی به اندازه کافی قابل اعتماد هستند تا رفتار زمین را به طور دقیق پیش‌بینی کنند (Held et al., 2003; Ball, & De la Rosa, 2006). ارزیابی زمین (FAO, 1976) به عنوان "فرآیند ارزیابی عملکرد زمین هنگامی که برای اهداف خاصی استفاده می‌شود" تعریف شده است. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۱۹۷۶ اولین چارچوب مشترک برای ارزیابی زمین را بر اساس عوامل بیوفیزیکی و ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی یک منطقه توسعه داد. با این حال، این رویکرد

قبل از توسعه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) که امکان استفاده از تکنیک‌های محاسباتی برای ارزیابی و نقشه‌برداری از تناسب خاک را فراهم کرد، برای مناطق بزرگ دشوار بود. با توجه به کاهش مداوم زمین‌های قابل کشت، شناسایی بهترین مناطق برای کشاورزی پایدار (کشاورزی مولد و سودآور که از محیط زیست محافظت می‌کند و از نظر اجتماعی عادلانه است) بسیار مهم است. این نیاز منجر به توسعه سناریوهای تناسب زمین برای کشاورزی شده است (Abdelkader & Delali 2012).

تکنیک‌های ارزیابی تناسب اراضی به عنوان بخش‌های جدایی‌ناپذیر در تولیدات کشاورزی اهمیت پیدا کرده است (Olivas et al., 2007). این تکنیکها همچنین در انتخاب زیستگاه مورد استفاده مفید قرار می‌گیرد (Manton et al. 2005). در دنیای مدرن امروز این تکنیکها در برنامه‌ریزی محیطی‌های (Oleszczuk, 2007) اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده‌اند. ارزیابی تناسب زمین شامل مدلی

روش‌شناسی تناسب زمین بر اساس دستورالعمل‌های FAO بیشتر جنبه‌های اقلیم، نیازهای خاک و توپوگرافی (شامل ویژگی‌های فیزیکی خاک، حاصلخیزی خاک و ویژگی‌های شیمیایی، شوری و قلیایی بودن خاک، توپوگرافی، خطر فرسایش و رطوبت) را برای هر فرآیند پوشش می‌دهد (Sys et al. 1993; Sys et al. 1991). همچنین تحلیل عاملی به طور گسترده‌ای در مطالعات منطقه‌بندی اقلیمی کشاورزی بر اساس پارامترهای هواشناسی خاص اندازه‌گیری شده در شبکه‌ای از ایستگاه‌ها یا نقاط شبکه‌ای در یک دوره طولانی استفاده شده است (Bartzokas & Metaxas, 1995). تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) اولین بار توسط (Steiner, 1965) در ایالات متحده برای طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شد. (McBoyle, 1973) از این تکنیک برای به دست آوردن مناطق اقلیمی استرالیا استفاده کرد. (Russell & Moore, 1976) از این رویکرد در مطالعات خود در مورد اقلیم آفریقای جنوبی و استرالیا استفاده کردند. در

است که به هر کیفیت و ویژگی خاک امتیاز می‌دهد. کیفیت خاک یک ویژگی پیچیده از زمین است که بر تناسب آن برای یک نوع خاص از استفاده تأثیر می‌گذارد. این ویژگی‌های شامل هر ویژگی قابل اندازه‌گیری زمین است که اختصاص به یک واحد زمینی دارد. ارزیابی تناسب زمین، درجه تناسب زمین را برای یک نوع کاربری انتخابی بررسی می‌کند (Sys et al. 1991) و یک روش کلی یا برآوردی از بهره‌وری بالقوه زمین ارائه می‌دهد (Rossiter, 1996). Bagherzadeh (2021) ارزیابی کیفی تناسب زمین برای کشت درختان اش و صنوبر در دشت مشهد در شمال شرق ایران را انجام دادند. منصوری Daneshvar et al (2013) مناطق تناسب هواشناسی کشاورزی را در خراسان رضوی در شمال شرق ایران بررسی کردند. برای این منظور، طبقه‌بندی تناسب خاک با استفاده از روش ترکیبی تحلیل عاملی پارامتریک انجام شد. تناسب زمین فرآیند پیش‌بینی استفاده بالقوه از زمین بر اساس ویژگی‌های آن است.

سال‌های اخیر، این نوع طبقه‌بندی به موازات رشد انقلاب کمی در جغرافیا گسترش یافته است (Murray, 1999 ; Yussouf et al., 2004). اساس روش‌شناسی حاضر در ارزیابی کیفی کیفیت‌ها/ویژگی‌های زمین در مقایسه با نیازهای هر محصول خاص برای یافتن کلاس تناسب زمین برای همان محصول نهفته است (FAO, 1976). این روش‌شناسی شامل دو مرحله اصلی است: مرحله اول شناسایی واحدهای زمینی با شرایط توپوگرافی و خاکی مشابه است، مرحله دوم تطابق ویژگی‌های واحدهای زمینی با نیازهای محصول از جمله فرآیند تطابق سنتی است، همان‌طور که در سیستم ارزیابی کیفی زمین (FAO, ۱۹۷۶، ۱۹۸۳، ۱۹۸۵) توضیح داده شده است. این روش برای مقایسه اقلیم، ویژگی‌های توپوگرافی زمین، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، شوری و قلیایی بودن برای هر نیاز خاص محصول توسعه یافته توسط (Sys et al. 1991) استفاده می‌شود.

استفاده از گیاهان دارویی در ایران سابقه طولانی دارد. شناسایی و تعیین ویژگی‌های اکولوژیکی این گیاهان یک نیاز برای بهره‌برداری پایدار و اقتصادی از استعدادهای موجود در زمینه منابع طبیعی است. گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) مخصوص نواحی معتدل و سرد بوده و در مناطق گرمسیر به ندرت یافت می‌شود. موطن اصلی آن جنوب اروپا و آسیای غربی بوده است و از قدیم این گیاه را در این مناطق می‌کاشته‌اند و به سادگی با محیط جدید خو می‌گیرد. به کمبود آهن و خاکهای ضعیف حساس است و به سرعت زرد می‌شود. گیاه به شوری و گرما مقاومت ندارد. بیشترین سرعت جوانه زنی در ۲۱ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. حداقل و حداکثر بارش سالانه برای کشت دیم به ترتیب ۴۳۰ و ۱۵۳۰ میلی‌متر و بارش بهینه، ۷۹۱ میلی‌متر بیان شده. حداقل، حداکثر و دمای مطلوب برای رشد گیاه به ترتیب ۷/۸ ، ۲۱ و ۱۳ درجه سانتی‌گراد عنوان گردیده است. دامنه تحمل سیاه دانه به

اسیدیته خاک، نسبتاً وسیع است و از ۸/۲ تا ۶/۹ گزارش شده ولی pH مطلوب ۶/۵ بیان شده. همچنین تحمل به شوری سیاهدانه، در مرحله گیاهچه، بیش از مرحله جوانه زنی است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه

استان خراسان رضوی به مرکزیت مشهد شامل شهرستانهای مشهد، قوچان (به استثنای شهرستان فاروج)، درگز، چناران، سرخس، فریمان، تربت جام، تایباد، تربت حیدریه، فردوس (به استثنای بخش سرایان)، قائن، خواف و رشتخوار، کاشمر، بردسکن، نیشابور، سبزوار، گناباد، کلات و خلیل آباد و بخش های تابعه است. این استان در قلمرو رویشی ایران و توران قرار دارد. بر این اساس هم اکنون استان خراسان رضوی با وسعتی حدود ۱۱۷۷۶۹ کیلومترمربع معادل هفت درصد مساحت کل کشور و متشکل از ۲۸ شهرستان، ۷۰ بخش، ۷۲ شهر و ۱۶۴ دهستان میباشد. این استان بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۲ درجه عرض

شمالی از خط استوا و ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. بلندترین نقطه استان قله بینالود در ارتفاع ۳۶۱۵ متری و پست ترین نقطه در دشت سرخ با ارتفاع ۲۹۹ متر از سطح دریاهای آزاد واقع شده و دو رشته کوه هزارمسجد در شمال و بینالود در جنوب استان قرار دارند. از نظر بارندگی و رطوبت دارای بارندگی نسبی و متوسط می باشد. وضعیت کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی به شرح ذیل است:

مساحت کل استان: ۱۱۷۷۰۶۵۹ هکتار (۷ درصد مساحت کل کشور)

مساحت عرصه های منابع طبیعی: ۸۱۵۶۲۶۲ هکتار (۶۹/۵٪ مساحت استان)

شامل: مرتع: ۶۵۶۶۰۲۹ هکتار (۸۰ درصد)

بیابان: ۶۲۷۸۳۵ هکتار (۷/۲۲ درصد)

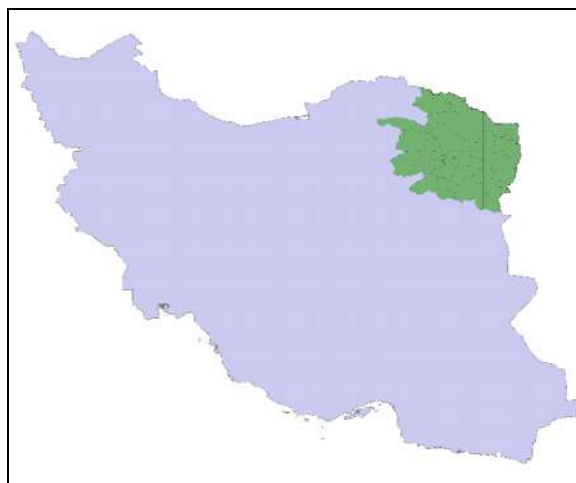
جنگل: ۹۹۶۱۵۶ هکتار (۸/۶ درصد)

رویشگاههای محصولات فرعی مرتعی:

۲۶۶۲۶۵ هکتار (۴ درصد کل مراتع استان)

استان خراسان رضوی دارای تنوع آب و هوایی است که خود باعث بروز شرایط اقلیمی متنوع

و به تبع آن جوامع گیاهی گوناگونی را ایجاد
نموده است. تعداد گونه های گیاهی شناسایی
شده در خراسان رضوی حدود ۲۰۰۰ گونه
بوده که از این تعداد حدود ۲۵۰ گونه دارای
ارزشهای مختلف دارویی، صنعتی و خوراکی
می باشد. (شکل ۱)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

کاربرد تحلیل عاملی

بسیاری از عوامل اقلیمی و شیمیایی-فیزیکی خاک ممکن است بر ارزیابی تناسب زمین تأثیر بگذارند. در عمل، عوامل اصلی و نماینده معمولاً برای ساده‌سازی و کاهش اطلاعات همه عوامل اعمال می‌شوند (اوینگ، ۲۰۰۵). استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره شامل

تحلیل عاملی (FA) متغیرها را به چند عامل کاهش می‌دهد. تحلیل عاملی به عنوان یک روش قوی برای ترسیم عوامل اصلی تأثیرگذار بر داده‌های مشاهده‌شده درک می‌شود. دلیل اصلی انجام تحلیل عاملی، کاهش داده‌ها برای تعیین تعداد و ماهیت متغیرهای مستقل خطی (عوامل) است که می‌توانند وابستگی

متقابل متغیرهای اولیه را به طور دقیق بیان کنند. تحلیل عاملی به عنوان یک اصطلاح کلی شامل تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) یا تحلیل‌های تابع متعامد تجربی (Bukantis, 2002) است که از نظر عملکردی بسیار مشابه هستند و برای همان هدف کاهش داده‌ها استفاده می‌شوند (Gorsuch, 1983; Loehlin, 1998). تحلیل عاملی در یک دنباله با مراحل اصلی زیر انجام شد:

(۱) انتخاب و هماهنگی متغیرها پس از اهداف

تناسب زمین،

(۲) محاسبه ماتریس همبستگی بین متغیرها،

و

(۳) استخراج و چرخش عوامل با روش

واریماکس،

(۴) تفسیر ماتریس عامل چرخش یافته برای به

دست آوردن مقادیر بارگیری.

داده‌های مطالعه

در این مطالعه دو گروه داده‌های اقلیم و خاک مربوط به استان خراسان رضوی از دو سایت رسمی و معتبر بین المللی NOAA و

SoilGrids استخراج گردیده است. وضوح مکانی داده‌ها ۳۰ ثانیه (کمتر از یک کیلومتر مربع) می باشد. این مجموعه شامل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اقلیم در ۱۸۹۲۲۰ نقطه تا عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک یا یک لایه سنگ بستر است. مقادیر توپوگرافی شامل ارتفاع، شیب و جهت از DEM 30 متری منطقه مطالعه برآورد شد و تمامی داده‌ها در محیط ArcGIS (نسخه 10.8) پردازش شده‌اند.

تحلیل داده‌ها

مقادیر ویژگی‌های اقلیمی، خاک و توپوگرافی منطقه شامل میانگین درجه حرارت طی دوره رویش، میانگین درجه حرارت طی دوره گلدهی، جمع بارش طی دوره گلدهی، جمع بارش سالانه، شیب، زهکشی خاک، ارتفاع، عمق خاک، درصد سنگریزه سطحی خاک، بافت خاک، pH، CaCO_3 ، CEC، BS، کربن آلی (OC)، EC و ESP بودند. مرحله بعدی ارزیابی زمین مقایسه کیفیت‌ها/ویژگی‌های زمین با نیازهای سیاه

دانه و طبقه‌بندی تناسب زمین برای این گونه بود (جدول ۱).

جدول ۱ – توصیف آماری داده اقلیم و خاک استان خراسان رضوی

ضریب چولگی	ضریب تغییرات	دامنه تغییرات	میانه	میانگین	حداکثر	حداقل	
					۶۱/۲۸۴	۵۶/۳۶۴	X
					۳۷/۸۶۵	۳۳/۶۰۹	Y
-۰/۵۲۲	۰/۳۰۸	۱۴/۰۳۴	۱۰/۴۵۷	۱۰/۲۳۳	۱۵/۵۰۲	۱/۴۶۸	میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)
-۰/۴۶۹	۰/۱۵۶	۱۴/۷۱۰	۲۱/۶۳۸	۲۱/۳۹۸	۲۶/۹۲۲	۱۲/۲۱۲	میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۰/۰۸۳	۰/۲۱۹	۳۷/۲۵۱	۴۸/۰۵۱	۴۹/۴۱۹	۶۷/۷۳۷	۳۰/۴۸۶	کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۰/۰۰۹	۰/۱۳۷	۸۹/۹۹۹	۱۸۷/۲۹۱	۱۸۶/۴۱۳	۲۳۰/۷۳۴	۱۴۰/۷۳۵	بارش سالانه
۲/۴۶۹	۱/۲۳۲	۳۶/۱۷۲	۱/۵۱۱	۲/۸۴۴	۳۶/۱۷۳	۰/۰۰۱	شیب زمین
					۶	۰	زهکشی خاک
۰/۷۲۲	۰/۳۵۱	۳۰۰/۷۶۵۷	۱۱۷۳/۱۰۰	۱۲۴۲/۰۸۲	۳۲۴۲/۱۲۰	۲۳۴/۴۶۳	ارتفاع از سطح دریا
-۳/۸۱۵	۰/۰۵۵	۱۱۲/۰۰۰	۲۰۰/۰۰۰	۱۹۶/۱۶۲	۲۰۰/۰۰۰	۸۸/۰۰۰	عمق خاک
۰/۱۰۰	۰/۴۳۸	۴۳/۰۰۰	۱۶/۰۰۰	۱۵/۸۶۵	۴۳/۰۰۰	۰/۰۰۰	درصد سنگریزه سطحی خاک
					۷	۳	بافت خاک
-۲/۶۹۰	۰/۰۱۸	۱/۷۰۰	۷/۹۰۰	۷/۹۰۷	۸/۲۰۰	۶/۵۰۰	اسیدیته خاک (pH)
۲/۲۳۱	۱/۳۸۸	۳۰/۵۰۰	۱/۹۵۰	۵/۹۷۰	۳۰/۵۰۰	۰/۰۰۰	درصد آهک خاک (CaCO_3)
۱/۴۸۴	۰/۲۴۹	۵۴/۰۰۰	۲۰/۰۰۰	۲۰/۳۷۴	۶۳/۰۰۰	۹/۰۰۰	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)
-۱/۴۵۲	۰/۲۶۳	۱۰۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۸۶/۷۳۲	۱۰۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	درجه اشباع بازی خاک (BS)
۳/۶۲۸	۰/۸۷۹	۸/۷۰۰	۰/۴۰۰	۰/۵۲۴	۸/۷۰۰	۰/۰۰۰	درصد کربن آلی خاک (OC)
۱/۶۳۳	۱/۵۸۱	۱۰/۳۵۰	۰/۶۰۰	۲/۳۲۲	۱۰/۳۵۰	۰/۰۰۰	هدایت الکتریکی خاک (ECe)
۱/۶۹۹	۱/۵۰۹	۴۳/۰۰۰	۲/۰۰۰	۹/۶۹۶	۴۲/۰۰۰	۰/۰۰۰	درصد سدیم تبادلی (ESP)

رویکرد پارامتریک در ارزیابی تناسب زمین

در این مطالعه، ابتدا نیازهای خاک و اقلیم برای

گیاه دارویی سیاه دانه بر اساس تطابق و فراوانی

در زیستگاه‌های طبیعی تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲ - نیازهای خاک و اقلیم گیاه دارویی سیاه دانه

N (Not Suitable)	S۳ (Marginally Suitable)	S۲ (Moderately Suitable)	S۱ (Highly Suitable)	Unit	Land Characteristics <i>Nigella sativa L/</i>
>۵	۵-۲	۲-۰	<۰	°C	میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)
>۱۵	۱۲-۱۵	۱۰-۱۲	۱۰-۵	°C	میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
>۳۰	۲۵-۳۰	۲۰-۲۵	۱۶-۲۰	°C	کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
<۳	۳-۵	۱۰-۵	۱۵-۱۰	mm	بارش سالانه
<۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۵۰	۲۵۰-۳۵۰	mm	شیب زمین
>۴۰	۲۰-۴۰	۱۲-۲۰	۱۲-۰	%	زهکشی خاک
Very Poor	Poorly drained	Moderately drained	Well drained	-	میانگین دما در مرحله جوانه زنی (اسفند)
< ۶۰۰ or	۸۰۰-۶۰۰	۱۰۰۰-۸۰۰	۱۰۰۰-۱۸۰۰	m	ارتفاع از سطح دریا
>۱۸۰۰					عمق خاک
<۱۰	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	>۳۰	cm	درصد سنگریزه سطحی خاک
>۵۰	۲۵-۵۰	۱۰-۲۵	۱۰-۰	%	بافت خاک
Sand	Clay, Silty Clay	Clay Loam, Silty Loam	Loam, Sandy Loam	-	
<۵/۵					اسیدیته خاک (pH)
>۸/۵	۸-۷,۵/۰	۵/۶-۸/۵	۶/۷-۵/۵	-	درصد آهک خاک (CaCO ₃)
>۲۰	۱۰-۲۰	۱۰-۵	۵-۰	%	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)
<۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	Cmol/kg	درجه اشباع بازی خاک (BS)
<۲۰	۲۰-۲۵	۲۵-۳۰	>۳۰	%	درصد کربن آلی خاک (OC)
<۰/۸	۱/۵-۰/۸	۲/۵-۱/۵	>۲/۵	Cmol/kg	هدایت الکتریکی خاک (ECe)
<۰/۵	۱-۰/۵	۱/۵-۱	>۱/۵	%	درصد سدیم تبادلی (ESP)
>۲	۲-۱	۱-۰/۵	۰/۵-۰	dS/m	اسیدیته خاک (pH)
>۲۰	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۱۰-۰	%	

تمایز می‌کند. رویکرد پارامتریک شاخص و کلاس تناسب زمین را بر اساس نرخ محدودیت نیازهای اقلیم و کیفیت‌ها/ویژگی‌های زمین برای گونه‌های مورد مطالعه در محدوده ۰ تا ۱۰۰ تعیین می‌کند (جدول ۳).

برای رویکرد پارامتریک، از روش ارزیابی زمین (FAO, 1976) استفاده شد که شرایط اقلیمی و ویژگی‌های زمین مانند توپوگرافی، رطوبت، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، شوری و قلیایی بودن خاک را برای هر گونه

جدول ۳ - درجه بندی و شدت محدودیت شاخص‌ها در مدل پارامتریک

ردیف	شدت محدودیت	درجه محدودیت
۱	بدون محدودیت	۱۰۰-۹۵
۲	محدودیت کم	۹۵-۸۵
۳	محدودیت متوسط	۸۵-۶۰
۴	محدودیت شدید	۶۰-۴۰
۵	محدودیت خیلی شدید (قابل اصلاح)	۴۰-۲۵
۶	محدودیت خیلی شدید (غیر قابل اصلاح)	۲۵-۰

y را دریافت می‌کند که در بازه $[c, d]$ قرار

می‌گیرد که مقادیر آستانه پایین و بالا برای آن

کلاس محدودیت تعریف شده است. توصیف

آماري نتایج محاسبات پارامتریک محدودیتهای

فاکتورهای مورد مطالعه و همچنین نتایج

تناسب اراضی بر اساس این مدل برای کشت

سیاه دانه در استان خراسان رضوی به شرح

جدول ۴ می‌باشد.

مقدار محدودیت برای هر عامل محدودکننده با

استفاده از معادله درونیایی خطی زیر محاسبه

می‌شود:

$$y = a + \frac{(b-a)(x-c)}{(d-c)}$$

که در آن، اگر مقدار مشاهده‌شده هر

کیفیت/ویژگی زمین (x) در بازه $[a, b]$ در هر

کلاس محدودیت قرار گیرد، نرخ محدودیت

جدول ۴ - توصیف آماری نتایج محاسبات محدودیتها و تناسب اراضی کشت سیاهدانه در استان خراسان رضوی براساس رویکرد پارامتریک

میانگین	حداکثر	میانگین	میان	دامنه تغییرات	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	حداقل
۸۸/۹۲۷	۹۸/۹۵۱	۹۲/۶۹۱	۹۲/۵۳۱	۱۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۵۲۲	میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)
۰/۴۴۶	۹۹/۲۰۵	۳۳/۹۷۸	۳۰/۶۳۸	۹۸/۷۵۹	۰/۶۷۷	۰/۹۶۳	میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۱۲/۱۹۴	۲۷/۰۹۵	۱۹/۷۶۸	۱۹/۲۲۰	۱۴/۹۰۰	۰/۲۱۹	۰/۰۸۳	کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۲۸/۱۴۷	۴۱/۰۴۲	۳۶/۳۸۹	۳۷/۴۵۸	۱۲/۸۹۵	۰/۱۱۱	-۰/۴۱۵	بارش سالانه
۱/۲۰۲	۳۲/۵۴۱	۱۴/۷۸۵	۱۴/۸۰۲	۳۱/۳۳۹	۰/۴۹۰	۰/۵۰۹	شاخص اقلیم
۱/۹۲۴	۴۵/۹۵۷	۲۳/۲۷۸	۲۳/۶۸۴	۴۴/۰۳۴	۰/۴۶۴	۰/۲۵۸	نرخ شاخص اقلیم
۵۱/۲۶۰	۹۹/۹۹۹	۹۶/۷۲۹	۹۸/۳۲۱	۴۸/۷۳۹	۰/۰۴۶	-۳/۵۳۰	شیب زمین
۱۰/۰۰۰	۹۷/۰۰۰	۷۲/۳۴۴	۷۲/۵۰۰	۸۷/۰۰۰	۰/۱۰۷	-۵/۴۷۲	زهکشی خاک
۰/۴۲۰	۹۷/۶۵۵	۸۴/۲۸۹	۸۸/۲۶۹	۹۷/۲۳۵	۰/۱۳۷	-۲/۳۱۹	ارتفاع از سطح دریا
۸۸/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۹۹/۵۸۹	۱۰۰/۰۰۰	۱۲/۰۰۰	۰/۰۱۲	-۳/۸۱۵	عمق خاک
۵۲/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۸۳/۳۱۶	۸۳/۷۵۰	۴۸/۰۰۰	۰/۰۹۵	-۰/۳۱۲	درصد سنگریزه سطحی خاک
۵۰/۰۰۰	۹۵/۰۰۰	۸۶/۱۱۸	۹۵/۰۰۰	۴۵/۰۰۰	۰/۲۰۸	-۱/۵۲۱	بافت خاک
۴۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۶۲/۶۳۲	۶۳/۱۲۵	۶۰/۰۰۰	۰/۰۸۲	۱/۴۷۴	اسیدیته خاک (pH)
۳۴/۷۵۰	۱۰۰/۰۰۰	۸۲/۵۷۳	۹۴/۱۵۰	۶۵/۲۵۰	۰/۲۴۰	-۱/۳۱۴	درصد آهک خاک (CaCO_3)
۳۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۷۱/۰۳۶	۷۲/۵۰۰	۷۰/۰۰۰	۰/۱۷۳	-۰/۵۰۳	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)
۱/۷۲۲	۱۰۰/۰۰۰	۹۶/۰۵۳	۱۰۰/۰۰۰	۹۸/۲۷۸	۰/۱۱۸	-۶/۷۸۹	درجه اشباع بازی خاک (BS)
۲۱/۱۷۶	۱۰۰/۰۰۰	۳۴/۵۱۳	۳۰/۵۸۸	۷۸/۸۲۴	۰/۳۶۷	۲/۴۷۰	درصد کربن آلی خاک (OC)
۴/۷۲۷	۹۵/۳۴۵	۷۶/۳۸۷	۹۲/۲۴۱	۹۰/۶۱۸	۰/۴۲۷	-۱/۶۷۴	هدایت الکتریکی خاک (ECe)
۲۸/۸۰۰	۹۸/۷۶۱	۸۳/۳۸۶	۹۶/۰۰۹	۶۹/۹۶۱	۰/۲۹۵	-۱/۷۲۷	درصد سدیم تبادلی (ESP)
۱۷/۳۷۴	۶۹/۰۶۷	۴۶/۸۱۱	۵۰/۵۷۰	۵۱/۶۹۳	۰/۲۵۸	-۰/۹۲۱	شاخص تناسب اراضی پارامتریک

نتایج و بحث

Component Analysis) و تحلیل عاملی

آماده سازی داده ها

مشترک اشاره نمود. انتخاب هر یک از این

در تحلیل عاملی مدل های مختلفی وجود

دارد که از پرکاربردترین آن ها می توان به

روش تحلیل مؤلفه های اصلی (Principal

مدل ها به هدف محقق بستگی دارد. مدل

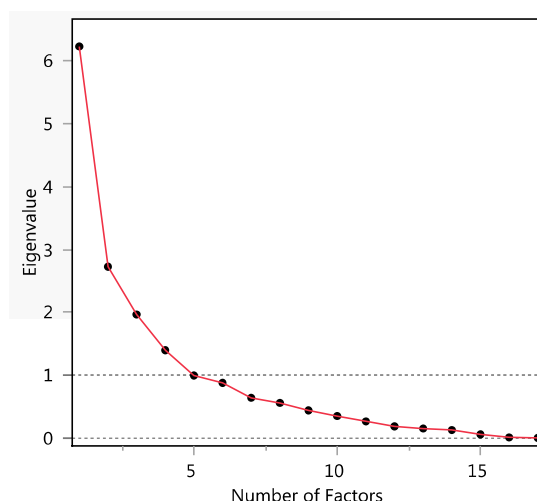
تحلیل مؤلفه های اصلی هنگامی مورد استفاده

قرار می گیرد که هدف خلاصه نمودن

فاکتورها و دستیابی به تعداد محدودی فاکتور

برای هدف مطالعه باشد. در مقابل، تحلیل عاملی مشترک زمانی بکار می رود که هدف شناسایی عامل ها یا ابعادی باشد که به سادگی قابل شناسایی نیستند. در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی از روش تحلیل مولفه های اصلی استفاده میشود. در پردازش آماری داده ها از طریق تحلیل عاملی با استفاده از تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)، ۱۷ متغیر استخراج شده به ۵ عامل کاهش یافت که با چرخش واریماکس سازگار بودند و بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ توضیح می دادند (جدول ۲). نمودار scree

از ۱۷ مؤلفه تحلیل شده توسط مقادیر ویژه تعریف شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مزیت چرخش واریماکس این است که مؤلفه های اصلی را غیرهمبسته نگه می دارد (Paschalidou *et al.*, 2009). در تحلیل عاملی، امتیازات عامل برای هر مورد با چرخش واریماکس با نرمال سازی کایزر، روش تحلیل مؤلفه های اصلی و همگرایی چرخش در ۱۰ تکرار محاسبه شد. مرحله نهایی رویکرد چندمتغیره، محافظت از داده ها بر روی عوامل چرخش یافته معنی دار است.



شکل ۲ – نمودار scree از ۱۷ مؤلفه مورد مطالعه

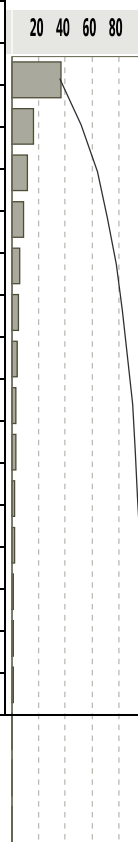
جدول ۲ - ماتریس چرخش واریماکس عوامل اصلی مورد مطالعه

وزن	اجزای سازنده				
	۵	۴	۳	۲	۱
۰/۰۹۴				۰/۹۰۶	بارش سالانه
۰/۰۹۲		۰/۸۹۲			زهکشی خاک
۰/۰۹۲		۰/۸۸۴			درجه اشباع بازی خاک (BS)
۰/۰۹۲			۰/۸۸۴		کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۰/۰۸۶				۰/۸۳۳	عمق خاک
۰/۰۸۱				۰/۷۷۸	ارتفاع از سطح دریا
۰/۰۸۰				۰/۷۷۲	شیب زمین
۰/۰۷۵	۰/۷۲۸				میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)
۰/۰۷۳	۰/۷۰۹				میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)
۰/۰۷۰				۰/۶۷۱	درصد سنگریزه سطحی خاک
۰/۰۳۶			۰/۳۴۳		بافت خاک
۰/۰۳۲			۰/۳۱۳		ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)
۰/۰۳۰			۰/۲۹۲		درصد آهک خاک (CaCO_3)
۰/۰۲۹			۰/۲۸۳		درصد کربن آلی خاک (OC)
۰/۰۱۹			۰/۱۸۳		هدایت الکتریکی خاک (ECe)
۰/۰۱۸			۰/۱۷۵		اسیدیته خاک (pH)
۰/۰۱۳			۰/۱۲۸		درصد سدیم تبادلی (ESP)

درجدول (۳) مقادیر ویژه و درصد واریانس متغیرهای اولیه که به وسیله هر مولفه بیان میشود، نشان داده شده است.

جدول ۳- مقادیر ویژه و درصدی از واریانس متغیرهای اولیه که به وسیله هر مولفه ارائه میشود

چرخش واریماکس			مولفه های اصلی			متغیرهای اولیه			ردیف
درصد ویژه تجمیعی	%	مقدار ویژه	درصد ویژه تجمیعی	%	مقدار ویژه	درصد ویژه تجمیعی	%	مقدار ویژه (Eigenvalue)	
۲۶/۰۲۱	۲۶/۰۲۱	۴/۴۲۳۶	۳۶/۶۴۸	۳۶/۶۴۸	۶/۲۳۰۱	۳۶/۶۴۸	۳۶/۶۴۸	۶/۲۳۰۱	۱
۴۵/۳۷۶	۱۹/۳۵۵	۳/۲۹۰۴	۵۲/۶۸۲	۱۶/۰۳۵	۲/۷۲۵۹	۵۲/۶۸۲	۱۶/۰۳۵	۷۲۵۹/۲	۲
۶۰/۴۵۵	۱۵/۰۷۹	۲/۵۶۳۵	۶۴/۲۴۶	۱۱/۵۶۴	۱/۹۶۵۸	۶۴/۲۴۶	۱۱/۵۶۴	۱/۹۶۵۸	۳
۷۱/۲۲۵	۱۰/۷۶۹	۱/۸۳۰۸	۷۲/۴۷۶	۸/۲۳	۱/۳۹۹۱	۷۲/۴۷۶	۸/۲۳	۱/۳۹۹۱	۴
۷۸/۳۳۶	۷/۱۱۱	۱/۲۰۸۹	۷۸/۳۳۶	۵/۸۶	۰/۹۹۶۱	۷۸/۳۳۶	۵/۸۶	۰/۹۹۶۱	۵
						۸۳/۵۰۴	۵/۱۶۸	۰/۸۷۸۶	۶
						۸۷/۲۷۶	۳/۷۷۲	۰/۶۴۱۳	۷
						۹۰/۵۶۷	۳/۲۹۱	۰/۵۵۹۴	۸
						۹۳/۱۶۶	۲/۵۹۹	۰/۴۴۱۸	۹
						۹۵/۲۳۳	۲/۰۶۷	۰/۳۵۱۳	۱۰
						۹۶/۸۰۲	۱/۵۶۹	۰/۲۶۶۷	۱۱
						۹۷/۹	۱/۰۹۹	۰/۱۸۶۸	۱۲
						۹۸/۷۹۷	۰/۸۹۶	۰/۱۵۲۳	۱۳
						۹۹/۵۵۵	۰/۷۵۹	۰/۱۲۹	۱۴
						۹۹/۹۱۲	۰/۳۵۷	۰/۰۶۰۷	۱۵
						۹۹/۹۷۹	۰/۰۶۷	۰/۰۱۱۳	۱۶
						۱۰۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۳۶	۱۷



است. هنگام تجزیه به مولفه اصلی این امید وجود دارد که واریانس بسیاری از مولفه ها آنقدر کم باشد که قابل صرفنظر کردن باشند. در این حالت کارایی تجزیه بالا می‌رود، زیرا

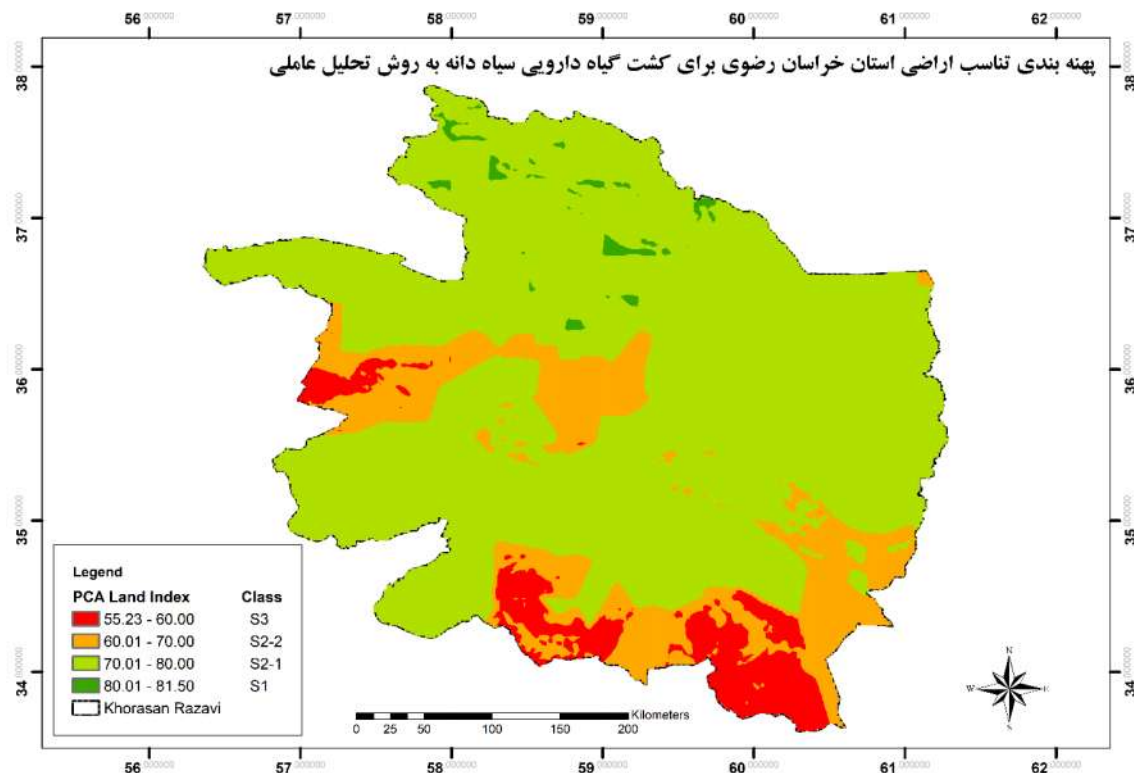
این جدول نشان می‌دهد اولین مولفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده ها است. دومین مولفه علت بیشترین واریانس ممکن بعد از مولفه اول و الی آخر

تغییرات در P متغیر اولیه X به وسیله تعداد کمی متغیر PC بیان میشود. همچنین، در این جدول ملاحظه شد که پنج مولفه اول ۷۸/۳۳۶ درصد کل پراکندگی و اطلاعات متغیرهای اصلی را بیان می کنند. بنابراین، در این مطالعه پنج مولفه اول به عنوان مولفه اصلی قلمداد گردیده و تحلیل های مطالعه بر اساس آنها انجام گردیده است. بنابر یافته های مطالعه پنج فاکتور موثر در تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاهدانه عبارتند از: جمع بارش سالانه، زهکش خاک، باز اشباع خاک، جمع بارش طی دوره گلدهی و عمق خاک است.

نقشه بندی تناسب زمین

نتایج مطالعه نشان داد که پنج عامل اصلی بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ توضیح می دهند (جدول ۲، شکل ۲). واریانس توضیح داده شده این عوامل پس از چرخش واریماکس به ترتیب از ۲۶/۰۲۱ درصد برای عامل اول تا ۷/۱۱۱ درصد برای عامل

پنجم متغیر بود (جدول ۳). همچنین، هر عامل بارگیری های متفاوت برای هر یک از متغیرها نشان داده شده است (جدول ۴). عامل اول با ۴ متغیر شامل عمق خاک، ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین و درصد سنگریزه سطحی خاک ۱۶/۸۶۷ درصد از واریانس کل را با مقدار ویژه ۳/۵۴ توضیح می داد. عامل دوم با ۹ متغیر شامل بارش سالانه، بارش طی دوره گلدهی، بافت خاک، $CaCO_3$ ، CEC ، OC ، ECe ، pH و ESP بود که ۴۹/۶۴۶ درصد از واریانس کل را با مقدار ویژه ۳/۵۰۸ توضیح می داد. عامل سوم هیچیک از متغیرها توضیح نداده است. عامل چهارم با ۲ متغیر شامل زهکشی خاک و BS بود که ۲۷/۵۹۹ درصد از واریانس کل را با مقدار ویژه ۱/۷۷۶ توضیح می داد. و در نهایت عامل پنجم با ۲ متغیر شامل میانگین درجه حرارت طی دوره گلدهی و میانگین درجه حرارت طی دوره رشد بود که ۵/۸۹۰ درصد از واریانس کل را با مقدار ویژه ۱/۴۳۷ توضیح می داد. توزیع مؤلفه ها در هر عامل از ۱ تا ۵ به طور معقولی همگن بود.



شکل ۳ - پهنه بندی تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه به روش تحلیل عاملی

جدول ۴ - وضعیت کلاسه‌های تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه به روش تحلیل عاملی

Class	Area	%
S۳	۷۷۸۹/۹۵	۶/۶۱%
S۲-۲	۱۸۸۳۷/۰۵	۱۵/۹۹%
S۲-۱	۹۰۰۱۴/۰۴	۷۶/۴۳%
S۱	۱۱۲۷/۹۵	۰/۹۶%
	۱۱۷۷۶۹	۱۰۰/۰۰%

(S₂) و کاملاً مناسب (S₁) طبقه بندی شدند.

نقشه تناسب اراضی استان نشان داد که ۰/۹۶

درصد (۱۱۲۷/۹۵ کیلومتر مربع) در بخشهایی

بنابر یافته های تحقیق، اراضی استان خراسان

رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه در

سه کلاس تناسب کم (S₃) تناسب متوسط

از شمال استان برای کشت گیاه سیاه دانه کاملاً مناسب، ۹۲/۴۳ درصد (۱۰۸۸۵۱/۱۰) کیلومتر مربع) شامل بخشهای عمده ای از شمال، مرکز و بخشهایی از جنوب استان تناسب متوسط و ۶/۶۱ درصد (۷۷۸۹/۹۵) کیلومتر مربع) در بخش غربی مرکز و جنوب استان برای تولید سیاه دانه نامناسب می باشد. (جدول ۴ و شکل ۳) مهم ترین عوامل محدودکننده برای کشت سیاه دانه در استان خراسان رضوی، اجزای اقلیمی و کربن آلی خاک بودند.

نتیجه گیری

انتخاب گونه های گیاهی دارویی سازگار با مناطق خشک و نیمه خشک و استفاده بهتر از منابع طبیعی با کارایی بالا در این مناطق برای کشاورزی پایدار بسیار ضروری است. یکی از مراحل اولیه در کشت هر گیاه، در نظر گرفتن مناطق و نیازهای گیاهی است که قرار است در آنجا کشت شود. استفاده از روش ترکیبی تحلیل عاملی پارامتریک از طریق تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) متغیرها را به چند عامل کاهش داد و موارد تحقیق را به

خوشه های خاصی طبقه بندی کرد. در این مطالعه، ۱۷ متغیر استخراج شده پردازش شدند که منجر به پنج عامل شد که بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ توضیح می دادند. توزیع جغرافیایی نشان داد که نقاط با تناسب متوسط در بخش های عمده سطح استان در مرکز و شمال منطقه مطالعه قرار دارند، در حالی که بخش جنوبی منطقه مطالعه و برخی از بخش های غربی استان برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه نامناسب بودند. مهم ترین عوامل محدودکننده برای کشت این گیاه دارویی در منطقه مطالعه، اجزای اقلیمی و کربن آلی خاک بودند.

منابع

Abdelkader, M. and A. Delali. 2012. Support system based on GIS and weighted sum method for drawing up of land suitability map for agriculture. Application to durum wheat cultivation in the area of Mleta (Algeria). Spanish Journal of Agricultural Research, 10(1): 34-43.
<https://doi.org/10.5424/sjar/2012101-293-11>

Bagherzadeh, A., A. Gholizadeh, and F.

- FAO.**1983. Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. FAO Soils Bulletin. No. 52, Rome.
- FAO.** 1984. Land evaluation for forestry, forestry paper 48: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO,** 1985. Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bulletin, No. 55, Rome.
- Ghane Ezabadi, N., S. Azhdar, and A.A. Jamali.** 2021. Analysis of dust changes using satellite images in Giovanni NASA and Sentinel in Google Earth Engine in western Iran. *Journal of Nature and Spatial Sciences (JONASS)*, 1(1): 17-26. <https://doi.org/10.30495/jonass.2021.6803> 27.
- Gorsuch, R.L.** 1983. Factor Analysis, 2nd edn Lawrence Erlbaum Associates. *Hillsdale, NJ*.
- He, S., D. Wang, Y. Li, P. Zhao, H. Lan, W. Chen, ... and X. Chen.** 2021. Social-ecological system resilience of debris flow alluvial fans in the Awang basin, China. *Journal of Environmental Management*, 286, 112230.
- Alizadeh Motaghi.** 2021. The feasibility of ash and spruce forest plantations in the Northeast of Iran. *Environmental Resources Research*, 9(1): 1-12.
- Ball, A. and D. De la Rosa.** 2006. Modeling possibilities for the assessment of soil systems. In *Biological approaches to sustainable soil systems* (pp. 683-692). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781420017113.ch48>.
- Bartzokas, A. and D.A. Metaxas.** 1995. Factor analysis of some climatological elements in Athens, 1931–1992: covariability and climatic change. *Theoretical and applied climatology*, 52: 195-205. <https://doi.org/10.1007/BF00864043>
- Bukantis, A.** 2002. Application of factor analysis for quantification of climate-forming processes in the eastern part of the Baltic Sea region. *Climate Research*, 20(2): 135-140. <https://doi.org/10.3354/cr020135>
- FAO.** 1976. A framework for land evaluation: Soils Bulletin 32, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Landscape Ecology, 20: 827-839.
<https://doi.org/10.1007/s10980-005-3703-z>.

Masoumi, H., A.A. Jamali, and M. Khabazi. 2014. Investigation of role of slope, aspect and geological formations of landslide occurrence using statistical methods and GIS in some watersheds in Chahar Mahal and Bakhtiari Province. J.Appl. Environ. Biol. Sci, 4(9): 121-129.

McBoyle, G.R. 1973. Climate classification of Australia by computer. In: McBoyle GR (ed) Climate in review. HoughtonMifflin, Boston, pp 110–118.

Murray, A.T. 1999. Spatial analysis using clustering methods: Evaluating central point and median approaches. Journal of Geographical Systems, 1(4): 367-383.
<https://doi.org/10.1007/s101090050019>.

Oleszczuk, P. 2007. The evaluation of sewage sludge and compost toxicity to *Heterocypris incongruens* in relation to inorganic and organic contaminants content. Environmental Toxicology: An International Journal, 22(6): 587-596.
<https://doi.org/10.1002/tox.20282>.

Olivas, G.U.E., L.J.R. Valdez, A. Aldrete, G.M.D. Gonzalez, and C.G.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112230>.

Held, M., A. Imeson, and L. Montanarella. 2003. Economic Interests and Benefits of Sustainable Use of Soils and Land Management. Joint Res. Centre Press, Ispra, Italy.

Jolliffe, I. 2022. A 50-year personal journey through time with principal component analysis. Journal of Multivariate Analysis, 188, 104820.
<https://doi.org/10.1016/j.jmva.2021.104820>.

Loehlin, J. C. 1998. Latent Variable Models. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey.

Mansouri Daneshvar, M.R., A. Bagherzadeh, and B. Alijani. 2013. Application of multivariate approach in agrometeorological suitability zonation at northeast semiarid plains of Iran. Theoretical and applied climatology, 114, 139-152. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0827-3>.

Manton, M.G., P. Angelstam, and G. Mikusinski. 2005. Modelling habitat suitability for deciduous forest focal species. A sensitivity analysis using different satellite land cover data.

- Meteorology, 16(1): 45-70.
[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(76\)90068-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(76)90068-6).
- Steiner, D.** 1965. Multivariate Statistical Approach to Climatic Regionalization and Classification. EJ Brill.
- Sys, C., E. Van Ranst, and I.J. Debaveye.** 1991. Land evaluation. Part I: Principles In Land Evaluation and Crop Production Calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural publication-No. 7, Brussels-Belgium, 274
- Sys, C., E. Van Ranst, J. Debaveye, and F. Beernaert.** 1993. Land Evaluation. Part III: crop requirements. Agricultural Publications n° 7, GADC, Brussels, Belgium, 1993, 191 p.
- Wilks, D. S.** (2011). Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 100). Academic press.
- Yussouf, N., D.J. Stensrud, and S. Lakshmivarahan.** 2004. Cluster analysis of multimodel ensemble data over New England. Monthly weather review, 132(10): 2452-2462.
<https://doi.org/10.1175/1520-0493>
- Vera.** 2007. Suitable areas for establishing maguey cenizo plantations: definition through multicriteria analysis and GIS. Revista fitotecnica mexicana, 30: 411-419.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2007.4.411>
- Ouyang, Y.** 2005. Application of principal component and factor analysis to evaluate surface water quality monitoring network. Water Res, 39:2621-2635.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>
- Paschalidou, A. K., Kassomenos, P.A. and A. Bartzokas.** 2009. A comparative study on various statistical techniques predicting ozone concentrations: implications to environmental management. Environmental monitoring and assessment, 148: 277-289.
<https://doi.org/10.1007/s10661-008-0158-0>
- Rossiter, D.G.** 1996. A theoretical framework for land evaluation. Geoderma, 72(3-4): 165-190.
[https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00031-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00031-6)
- Russell, J.S. and A.W. Moore.** 1976. Classification of climate by pattern analysis with Australasian and southern African data as an example. Agricultural

Land suitability evaluation of Razavi Khorasan province for Black cumin (*Nigella sativa* L.) cultivation using a combined parametric factor analysis approach

Amir doostari¹, Ali Eftekhari², Ali Bagherzadeh Chaharjoui^{3*}, Seyed Amir Abbas Mousavi²,
Morteza Moballeghi²

1. Department of Agrotechnology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Agriculture. Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran.

3. Associate Professor, Department of Agriculture. Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

Received: 2025.3.16

Accepted: 2025.6.12

Abstract

The identification of optimal zones for productive agricultural activities must simultaneously achieve three critical objectives: comprehensive conservation of water and soil resources, maintenance of crop health standards, and economic viability for producers. This study, conducted in 2024, evaluated land suitability for cultivating the medicinal plant *Nigella sativa* L. (black cumin) across 189,220 georeferenced points in Razavi Khorasan Province, northeastern Iran. In this study, factor analysis (FA) using principal component analysis (PCA) was employed as a multivariate statistical method to assess land suitability for black cumin cultivation in the study region. For this purpose, 17 soil and climatic factors were extracted and processed, resulting in five factors that explained over 78% of the total variance. The findings revealed that five principal factors with eigenvalues greater than 1 accounted for more than 78% of the total variance. The explained variance of these factors after varimax rotation ranged from 26.021% for the first factor to 7.111% for the fifth factor. Additionally, each factor exhibited different loadings for the variables. The land suitability map of the province indicated that 0.96% (1,127.95 km²) of the northern regions were highly suitable for black cumin cultivation, 92.43% (108,851.10 km²), covering large parts of the north, center, and some southern areas, were moderately suitable, and 6.61% (7,789.95 km²) in the western-central and southern parts were unsuitable for black cumin production. The most significant limiting factors for black cumin cultivation in Razavi Khorasan Province were climatic components and soil organic carbon.

Keywords: Black cumin (*Nigella sativa* L.), GIS, Land suitability evaluation, Parametric factor analysis, Principal component analysis

* Coresponding outhor (ali.bagherzadeh1966@iau.ac.ir)