مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۷ ، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

مجله پژوهش های به زراعی

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 باقرزاده 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 دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۲

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 توضیح‌داده‌شده 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 کاملا 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 می گیرد (Manton *et al.* 2005). در دنیای مدرن امروز این تکنیکها در برنامه‌ریزی محیطی های (Oleszczuk, 2007) اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده‌اند. ارزیابی تناسب زمین شامل مدلی

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.

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.* 1991; Sys *et al.* 1993). 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

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 می شود. موطن اصلی آن جنوب اروپا و آسیای غربی بوده است و از قدیم این گیاه را در این مناطق می کاشته اند و به سادگی با محیط جدید خو می گیرد. به کمبود آهن و خاکهای ضعیف حساس است و به سرعت زرد می شود. گیاه به شوری و گرما مقاومت ندارد. بیشترین سرعت جوانه زنی در ۲۱ درجه سانتی گراد گزارش شده است. حداقل و حداکثر بارش سالانه برای کشت دیم به ترتیب ۴۳۰ و ۱۵۳۰ میلی متر و بارش بهینه، ۷۹۱ میلی متر بیان شده. حداقل، حداکثر و دمای مطلوب برای رشد گیاه به ترتیب ۷/۸ ، ۲۱ و ۱۳ درجه سانتی گراد عنوان گردیده است. دامنه تحمل سیاه دانه به

اسیدیته خاک، نسبتا 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)

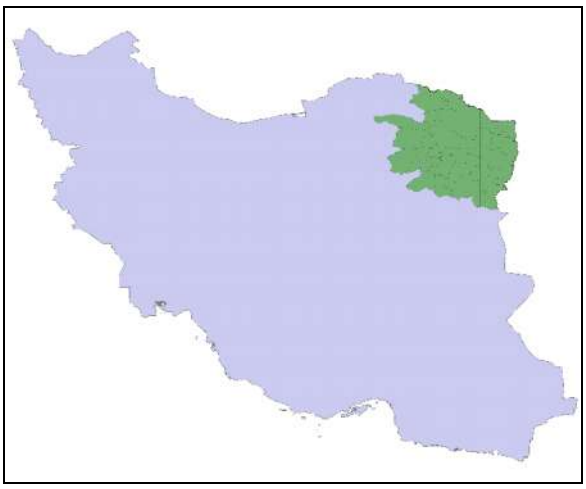
بیابان : ۶۲۷۸۳۵ هکتار (۷/۲۲ درصد)

جنگل : ۹۹۶۱۵۶ هکتار (۸/۶ درصد)

رویشگاههای محصولات فرعی مرتعی : ۲۶۶۲۶۵هکتار (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 داروئی، 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 (اویانگ، 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 چرخش‌یافته برای به دست آوردن مقادیر بارگیری.

داده‌های مطالعه

در این مطالعه دو گروه داده های اقلیم و خاک مربوط به استان خراسان رضوی از دو سایت رسمی و معتبر بین المللی NOAA و SoilGrids استخراج گردیده است. وضوح مکانی داده ها 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 داده ها در محیط ArcGIS (نسخه 10.8) پردازش شده اند.

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) ، ECو 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

	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	دامنه تغییرات	ضریب تغییرات	ضریب چولگی
X	۵۶/۳۶۴	۶۱/۲۸۴					
Y	۳۳/۶۰۹	۳۷/۸۶۵					
میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)	۱/۴۶۸	۱۵/۵۰۲	۱۰/۲۳۳	۱۰/۴۵۷	۱۴/۰۳۴	۰/۳۰۸	-۰/۵۲۲
میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)	۱۲/۲۱۲	۲۶/۹۲۲	۲۱/۳۹۸	۲۱/۶۳۸	۱۴/۷۱۰	۰/۱۵۶	-۰/۴۶۹
کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)	۳۰/۴۸۶	۶۷/۷۳۷	۴۹/۴۱۹	۴۸/۰۵۱	۳۷/۲۵۱	۰/۲۱۹	۰/۰۸۳
بارش سالانه	۱۴۰/۷۳۵	۲۳۰/۷۳۴	۱۸۶/۴۱۳	۱۸۷/۲۹۱	۸۹/۹۹۹	۰/۱۳۷	۰/۰۰۹
شیب زمین	۰/۰۰۱	۳۶/۱۷۳	۲/۸۴۴	۱/۵۱۱	۳۶/۱۷۲	۱/۲۳۲	۲/۴۶۹
زهکشی خاک	۰	۶					
ارتفاع از سطح دریا	۲۳۴/۴۶۳	۳۲۴۲/۱۲۰	۱۲۴۲/۰۸۲	۱۱۷۳/۱۰۰	۳۰۰۷/۶۵۷	۰/۳۵۱	۰/۷۲۲
عمق خاک	۸۸/۰۰۰	۲۰۰/۰۰۰	۱۹۶/۱۶۲	۲۰۰/۰۰۰	۱۱۲/۰۰۰	۰/۰۵۵	-۳/۸۱۵
درصد سنگریزه سطحی خاک	۰/۰۰۰	۴۳/۰۰۰	۱۵/۸۶۵	۱۶/۰۰۰	۴۳/۰۰۰	۰/۴۳۸	۰/۱۰۰
بافت خاک	۳	۷					
اسیدیته خاک (pH)	۶/۵۰۰	۸/۲۰۰	۷/۹۰۷	۷/۹۰۰	۱/۷۰۰	۰/۰۱۸	-۲/۶۹۰
درصد آهک خاک ($CaCO_3$)	۰/۰۰۰	۳۰/۵۰۰	۵/۹۷۰	۱/۹۵۰	۳۰/۵۰۰	۱/۳۸۸	۲/۲۳۱
ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)	۹/۰۰۰	۶۳/۰۰۰	۲۰/۳۷۴	۲۰/۰۰۰	۵۴/۰۰۰	۰/۲۴۹	۱/۴۸۴
درجه اشباع بازی خاک (BS)	۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۸۶/۷۳۲	۱۰۰/۰۰۰	۱۰۰/۰۰۰	۰/۲۶۳	-۱/۴۵۲
درصد کربن آلی خاک (OC)	۰/۰۰۰	۸/۷۰۰	۰/۵۲۴	۰/۴۰۰	۸/۷۰۰	۰/۸۷۹	۳/۶۲۸
هدایت الکتریکی خاک (ECe)	۰/۰۰۰	۱۰/۳۵۰	۲/۳۲۲	۰/۶۰۰	۱۰/۳۵۰	۱/۵۸۱	۱/۶۳۳
درصد سدیم تبادلی (ESP)	۰/۰۰۰	۴۲/۰۰۰	۹/۶۹۶	۲/۰۰۰	۴۲/۰۰۰	۱/۵۰۹	۱/۶۹۹

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 *Nigella sativa L.*
>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)
< ۶۰۰or >۱۸۰۰	۸۰۰-۶۰۰	۱۰۰۰-۸۰۰	۱۰۰۰-۱۸۰۰	m	ارتفاع از سطح دریا
<۱۰	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰	>۳۰	cm	عمق خاک
>۵۰	۲۵-۵۰	۱۰-۲۵	۱۰-۰	%	درصد سنگریزه سطحی خاک
Sand	Clay, Silty Clay	Clay Loam, Silty Loam	Loam, Sandy Loam	-	بافت خاک
<۵/۵ >۸/۵	۸-۷,۵/۰	۵/۶-۸/۵	۶/۷-۵/۵	-	اسیدیته خاک (pH)
>۲۰	۱۰-۲۰	۱۰-۵	۵-۰	%	درصد آهک خاک ($CaCO_3$)
<۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۰	>۲۰	Cmol/kg	ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CECapp)
<۲۰	۲۰-۲۵	۲۵-۳۰	>۳۰	%	درجه اشباع بازی خاک (BS)
<۰/۸	۱/۵-۰/۸	۲/۵-۱/۵	>۲/۵	Cmol/kg	درصد کربن آلی خاک (OC)
<۰/۵	۱-۰/۵	۱/۵-۱	>۱/۵	%	هدایت الکتریکی خاک (ECe)
>۲	۲-۱	۱-۰/۵	۰/۵-۰	dS/m	درصد سدیم تبادلی (ESP)
>۲۰	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۱۰-۰	%	اسیدیته خاک (pH)

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

جدول ۳ - درجه بندی و شدت محدودیت شاخص ها 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

مقدار محدودیت برای هر عامل محدودکننده با استفاده از معادله درونیابی 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 (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 آماری 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 می باشد.

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

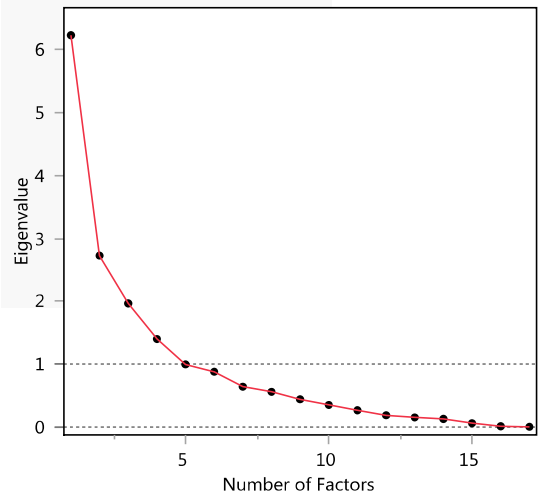
	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	دامنه تغییرات	ضریب تغییرات	ضریب چولگی
میانگین دما در مرحله جوانه زنی (مارس)	۸۸/۹۲۷	۹۸/۹۵۱	۹۲/۶۹۱	۹۲/۵۳۱	۱۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۵۲۲
میانگین دما در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)	۰/۴۴۶	۹۹/۲۰۵	۳۳/۹۷۸	۳۰/۶۳۸	۹۸/۷۵۹	۰/۶۷۷	۰/۹۶۳
کل بارندگی در مرحله گلدهی (آوریل تا ژوئن)	۱۲/۱۹۴	۲۷/۰۹۵	۱۹/۷۶۸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

نتایج و بحث

آماده‌سازی داده‌ها

در تحلیل عاملی مدل های مختلفی وجود دارد که از پرکاربردترین آن ها می توان به روش تحلیل مؤلفه های اصلی (Principal Component Analysis) و تحلیل عاملی مشترک اشاره نمود. انتخاب هر یک از این 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 داده‌ها از طریق تحلیل عاملی با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های 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 می‌دادند (جدول ۲). نمودار scree از ۱۷ مؤلفه تحلیل‌شده توسط مقادیر ویژه تعریف‌شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مزیت چرخش واریماکس این است که مؤلفه‌های اصلی را غیرهمبسته نگه می‌دارد (Paschalidou *et al.*, 2009). در تحلیل عاملی، امتیازات عامل برای هر مورد با چرخش واریماکس با نرمال‌سازی کایزر، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و همگرایی چرخش در ۱۰ تکرار محاسبه شد. مرحله نهایی رویکرد چندمتغیره، محافظت از داده‌ها بر روی عوامل چرخش‌یافته معنی‌دار است.



شکل ۲ – نمودار scree از ۱۷ مؤلفه مورد مطالعه

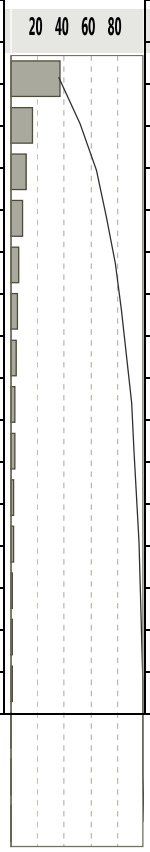
جدول ۲ – ماتریس چرخش واریماکس عوامل اصلی مورد مطالعه

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

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

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



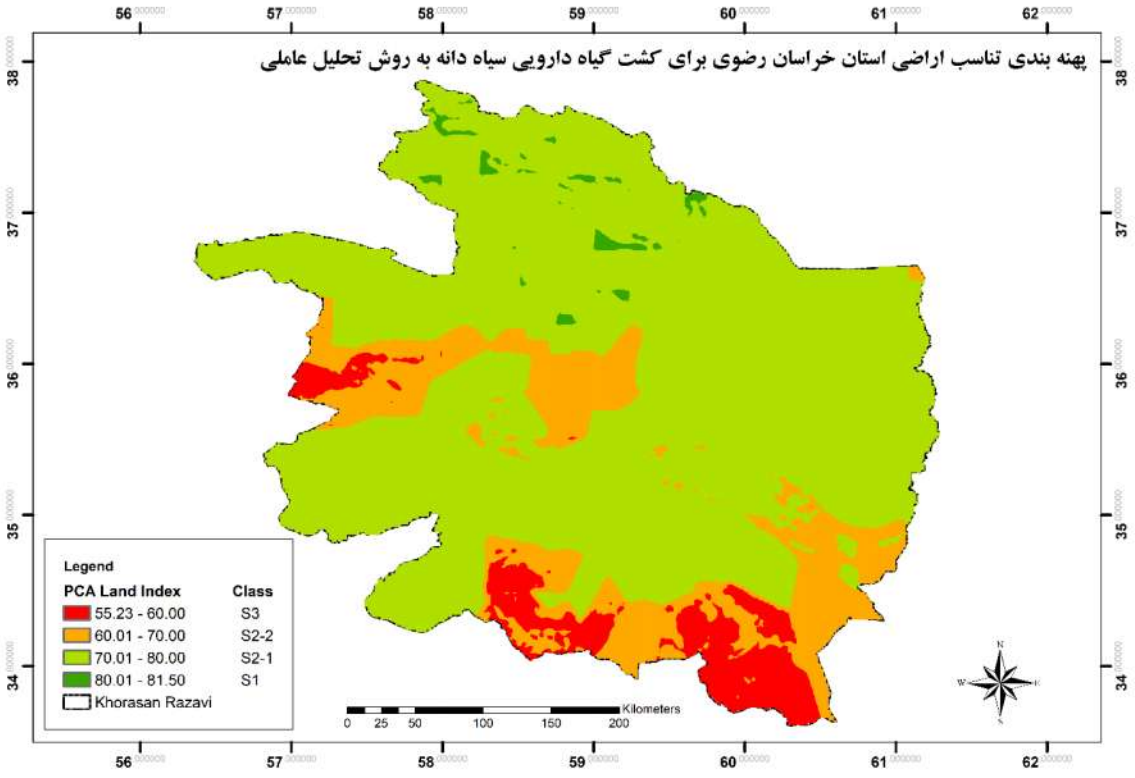
این جدول نشان میدهد اولین مولفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده ها است. دومین مولفه علت بیشترین واریانس ممکن بعد از مولفه اول و الی آخر است. هنگام تجزیه به مولفه اصلی این امید وجود دارد که واریانس بسیاری از مولفه ها آنقدر کم باشد که قابل صرفنظر کردن باشند. در این حالت کارایی تجزیه بالا میرود، زیرا

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 تحیل 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.

نقشه‌بندی تناسب زمین

نتایج مطالعه نشان داد که پنج عامل اصلی بیش از ۷۸٪ از واریانس کل را با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ توضیح می‌دهند (جدول ۲، شکل ۲). واریانس توضیح‌داده‌شده 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 بارگیری‌های 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 می‌داد. عامل دوم با ۹ متغیر شامل بارش سالانه، بارش طی دوره گلدهی، بافت خاک، CEC، CaCO3، OC، ECe، pH و ESP بود که ۴۹/۶۴۶ درصد از واریانس کل را با مقدار ویژه ۳/۵۰۸ توضیح می‌داد. 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 می‌داد. 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 می‌داد. توزیع مؤلفه‌ها 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 کلاسهای تناسب اراضی استان خراسان رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه به روش تحلیل عاملی

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

بنابر یافته های تحقیق، اراضی استان خراسان رضوی برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه در سه کلاس تناسب کم (S_3) تناسب متوسط (S_2) و کاملا مناسب (S_1) طبقه بندی شدند. نقشه تناسب اراضی استان نشان داد که ۰/۹۶ درصد (۱۱۲۷/۹۵ کیلومتر مربع) در بخشهایی

از شمال استان برای کشت گیاه سیاه دانه کاملا 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) مهم‌ترین عوامل محدودکننده برای کشت سیاه دانه در استان خراسان رضوی، اجزای اقلیمی و کربن آلی خاک بودند.

نتیجه‌گیری

انتخاب گونه‌های 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 مؤلفه‌های اصلی (PCA) متغیرها را به چند عامل کاهش داد و موارد تحقیق را به خوشه‌های خاصی طبقه‌بندی 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 می‌دادند. توزیع جغرافیایی نشان داد که نقاط با تناسب متوسط در بخش‌های عمده سطح استان در مرکز و شمال منطقه مطالعه قرار دارند، در حالی که بخش جنوبی منطقه مطالعه و برخی از بخش‌های غربی استان برای کشت گیاه دارویی سیاه دانه نامناسب بودند. مهم‌ترین 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.2021.680327.

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, andG. 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.

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 fitotecnia 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

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 doostari[1], Ali Eftekhari[2], Ali Bagherzadeh Chaharjouei[3*], Seyed Amir Abbas Mousavi[2], Morteza Moballeghi[2]

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

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