Iranian Journal of Cotton Researches
ISSN: 2345-5306

Spatial analysis and comparison of cotton cultivation potential in Golestan and Ardabil provinces based on soil parameters

Parsa Afzali Kordmahalleh[1], Borhan Sohrabi[2*], Salar Farhangi-Abriz[2]
1- Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2-Cotton Research Institute of Iran (CRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2027-01-05
Accepted: 2026-08-01

Keywords:
Cotton
Soil
Land Suitability
GIS

ABSTRACT

Background and objectives: Cotton is one of the most important agricultural products in the world and makes a major contribution to fibre production. Soil, as the primary medium for cotton growth, is characterised by properties such as salinity, pH, temperature, and texture, all of which play a crucial role in crop establishment and productivity. The availability of global soil databases and their integration with Geographic Information Systems (GIS) provide valuable spatial information for agricultural planning. Therefore, this study was conducted to identify suitable areas for cotton cultivation using soil parameters collected by web-based systems in the provinces of Golestan and Ardabil.

Materials and methods: Four main soil parameters were evaluated for this purpose. Soil pH and texture were obtained from the global OpenLandMap database, soil temperature was derived using the FLDAS system, and relative salinity was obtained using the Red and Near-infrared bands of the Landsat 8 satellite. The values of these four parameters in the Golestan and Ardabil provinces were estimated by coding and creating a model in the Google Earth Engine (GEE) web system. Due to its ability to process large datasets rapidly over extensive areas, GEE was employed as the primary analysis platform. Four maps were prepared for each province, giving a total of eight maps. ArcMap 10.8 software was used to merge the four soil parameter maps. At this stage, each of the maps was divided into five classes – excellent, good, average, bad, and undesirable – based on values predetermined by the country's cotton elites and experts. Finally, the Analytical Hierarchy Process (AHP) was applied to assign weights to the four soil variables, and a weighted overlay analysis was performed to produce the final soil suitability maps**.**

Findings: The final results showed that approximately 11% of Golestan Province and 2% of Ardabil Province fall within the very suitable class for cotton cultivation. Parsabad County was the best area in Ardabil Province. Also, most of the land in Ardabil Province (63%) is in the average range. In Golestan Province, the central belt

performs exceptionally well. Specifically, the southern parts of Gonbad and Aq Qala counties, as well as the central and northern regions of Bandar-e Gaz, Kordkuy, Gorgan, and Aliabad counties, are suitable areas for cotton cultivation. Conversely, the northern and southern regions of Golestan Province – situated adjacent to Turkmenistan and Semnan Province, respectively – are not recommended for cotton cultivation.

Conclusion: Using global databases and applying remote sensing and spatial information systems, it is possible to accurately identify areas susceptible to agricultural crops over a wide area. These technologies play an important role in developing sustainable agriculture and increasing production productivity by enhancing the accuracy of spatial decision-making, reducing the cost and duration of field studies, and optimising the management of water and soil resources.

Cite this article: Afzali Kordmahalleh, P., Sohrabi, B., Farhangi-Abriz, S. (2026). Spatial analysis and comparison of cotton cultivation potential in Golestan and Ardabil provinces based on soil parameters. *Iranian Journal Cotton Researches*, 14 (1), 95-116.

© The author(s)

10.22092/ijcr.2026.371972.1251

Publisher: Cotton Research Institute of Iran

مجله پژوهش‌های پنبه ایران

شاپا: ۲۳۴۵-۵۳۰۶

تحلیل مکانی و مقایسه قابلیت کشت پنبه در استان‌های گلستان و اردبیل براساس پارامترهای خاک

پارسا افضلی کردمحله[۱]، برهان سهرابی[۲]*، سالار فرهنگی آبریز[۲]

[۱] گروه نقشه‌برداری، دانشکده عمران ، دانشگاه تربیت دبیرشهید رجایی، تهران، ایران

[۲] (نویسنده مسئول) موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۱۰

واژه‌های کلیدی:
پنبه
خاک
تناسب اراضی
GIS

چکیده

سابقه و هدف: پنبه یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی جهان است که سهم بزرگی در تولید الیاف دارد. خاک نیز به‌عنوان بستر اصلی رشد پنبه، دارای ویژگی‌هایی همچون شوری، pH ، دما و بافت است که مقادیر مناسب آن نقشی تعیین‌کننده در افزایش عملکرد و کیفیت الیاف پنبه ایفا می‌کند. اخذ داده‌های خاک از پایگاه‌های داده جهانی و تلفیق آنها در سیستم اطلاعات مکانی اطلاعات مهمی درباره پارامترهای خاک در اختیار متخصصان قرار می‌دهد. لذا این پژوهش با هدف شناسایی مناطق مناسب کشت پنبه با استفاده از پارامترهای خاک جمع‌آوری شده توسط سامانه‌های تحت وب در دو استان گلستان و اردبیل انجام پذیرفته است.

مواد و روش‌ها: بدین منظور ۴ پارامتر اصلی خاک ارزیابی می‌شوند. pH و بافت خاک از پایگاه داده جهانی OpenLandMap، دمای خاک به کمک سیستم FLDAS و شوری نسبی نیز با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست۸ بدست آمدند. برآورد مقادیر این چهار پارامتر در دو استان گلستان و اردبیل با کدنویسی و ایجاد مدل در سامانه تحت وب گوگل ارث انجین صورت پذیرفت. این سامانه به‌خاطر وجود داده‌های زیاد، امکان گردآوری و تحلیل آنها در زمان کم، برای مناطق وسیع پیشنهاد می‌گردد. بدین ترتیب برای هر استان چهار و در مجموع هشت نقشه تهیه شد. جهت ادغام چهار نقشه پارامترهای خاک از نرم‌افزار ArcMap10.8 استفاده شد. در این مرحله هریک از نقشه‌ها براساس مقادیر از پیش تعیین شده توسط نخبگان و متخصصان حوزه پنبه کشور، در ۵ کلاس عالی، خوب، متوسط، بد و نامطلوب تقسیم‌بندی شدند. در نهایت با استفاده از فرایند سلسله مراتبی AHP هر یک از چهار متغیر وزندهی شده و نقشه‌های موجود به‌صورت وزن‌دار با یکدیگر ترکیب گردیدند.

یافته‌ها: نتایج نهایی طبق مدلسازی و پیش‌بینی منحصرا چهار پارامتر اصلی خاک، نشان می‌دهند که ۱۱ درصد از سطح استان گلستان و ۲ درصد از مساحت استان اردبیل در محدوده عالی برای کشت محصول پنبه می‌باشند. شهرستان پارس‌آباد بهترین منطقه در استان اردبیل را به خود اختصاص داد. همچنین غالب اراضی استان اردبیل (۶۳ درصد) در محدوده متوسط هستند. در گلستان کمربند میانی این استان عملکرد عالی را دارا می‌باشد. در واقع جنوب شهرستان‌های گنبد و آق‌قلا و مناطق مرکزی و شمالی شهرستان‌های بندرگز، کردکوی، گرگان و علی آباد مناطق مناسبی جهت کشته پنبه می‌باشند. با این حال مناطق شمالی و جنوبی استان گلستان که به ترتیب در نزدیکی کشور ترکمنستان و استان سمنان هستند،

برای کشت پنبه پیشنهاد نمی‌شود.

نتیجه گیری: با استفاده از پایگاه‌های داده جهانی و به‌کارگیری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات مکانی، شناسایی دقیق مناطق مستعد کشت محصولات کشاورزی درمحدوده وسیع امکانپذیر است. این فناوری‌ها با افزایش دقت تصمیم‌گیری مکانی، کاهش هزینه و زمان مطالعات میدانی و بهینه‌سازی مدیریت منابع آب و خاک، نقش مؤثری در توسعه کشاورزی پایدار و افزایش بهره‌وری تولید ایفا می‌کنند.

استناد: افضلی کردمحله، پارسا؛ سهرابی، برهان؛ فرهنگی آبریز، سالار (۱۴۰۵). تحلیل مکانی و مقایسه قابلیت کشت پنبه در استان‌های گلستان و اردبیل براساس پارامترهای خاک. *مجله پژوهش‌های پنبه ایران*، ۱۴ (۱)، ۱۱۶-۹۵.

© نویسندگان
ناشر: موسسه تحقیقات پنبه کشور

10.22092/ijcr.2026.371972.1251

مقدمه

کشاورزی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های انسان است که نقش بسزایی در شکل‌گیری جوامع و توسعه اقتصادی ایفا کرده است. تولید محصولات کشاورزی بسیار به عوامل اقلیمی و شرایط خاک منطقه وابسته است. خاک با فراهم‌کردن عناصر غذایی، آب، هوا و تکیه‌گاه فیزیکی، شرایط لازم برای جوانه‌زنی و رشد پایدار گیاه را ایجاد می‌کند. ازاین‌رو مطالعه و شناخت خاک منطقه برای تعیین کشت محصول امری ضروری می‌باشد. این عمل باعث مدیریت صحیح خاک شده که نتیجه آن افزایش بهره‌وری و دستیابی به تولید پایدار در بخش کشاورزی خواهد بود. رشد و عملکرد گیاه پنبه به‌طور مستقیم به کیفیت و ویژگی‌های خاک وابسته است. پنبه برای دستیابی به بیشترین بازده، به خاکی با بافت متوسط تا سبک، زهکشی مناسب و تهویه کافی نیاز دارد. همچنین pH نزدیک به خنثی و سطح شوری پایین از عوامل اساسی در افزایش جوانه‌زنی و تشکیل بوته‌های سالم هستند. بنابراین، شرایط فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده موفقیت کشت پنبه محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر، با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش علوم نوینی همچون سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) امکان ارزیابی و پهنه‌بندی اراضی فراهم شده است. بدین منظور به کمک تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه های داده جهانی داده‌های مربوط به پارامترهای خاک جمع آوری می‌شود. سپس با تحلیل‌های مکانی مناسب و روی هم‌گذاری لایه‌ها در نرم‌افزار، نقشه نهایی تولید می‌گردد. تکنیک‌های سنجش از دوری امکان استخراج ویژگی‌های خاک به‌طورمستقیم یا غیرمستقیم را برای کاربر فراهم می‌کند. با تلفیق باندهای مختلف ماهواره‌ها داده‌هایی مانند شوری، رطوبت و دمای خاک قابل ارزیابی می‌باشند. لندست، سنتینل و مودیس از جمله پرکاربردترین ماهواره‌ها جهت بررسی پارامتر خاک هستند. همچنین باندهای مادون قرمز نزدیک(NIR)، مادون قرمز موج کوتاه(SWIR)، قرمز و سبز نقش پررنگی در تخمین پارامتر خاک ایفا می‌کنند. در ادامه مقالات مرتبط با استخراج پارامتر خاک با داده‌های سنجش از دور و نحوه پهنه‌بندی اراضی بررسی می‌شود.

پژوهشی جهت تعیین پارامترهای خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست۸ و تحلیل چندزمانه انجام شد. ویژگی‌های خاک مانند رطوبت خاک و شوری خاک با استفاده از شاخص رطوبت خاک(SMI) و شاخص شوری خاک(SSI) تخمین زده شدند. همچنین شاخص pH با تلفیق داده‌های خاک آزمایش شده و تصاویر لندست و ایجاد دو معادله رگرسیون چندگانه بدست آمد. هر دو مدل، pH خاک را بین ۴/۴۹ تا ۷/۵۹ تخمین زدند(غزالی و همکاران، ۲۰۲۰). در طرحی دیگر یک متاآنالیز از پیش‌بینی‌های شوری خاک منطقه‌ای مبتنی بر ماهواره همراه با نمونه‌برداری خاک درجا و یادگیری ماشین صورت پذیرفت. نتایج نشان داد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مختلف اثرات محدودی بر عملکرد مدل دارد. (شی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه‌ای به کمک تحلیل تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، شوری خاک را بررسی کرد. برای پیش‌بینی شوری خاک، رویکردی یکپارچه از شاخص‌های شوری و داده‌های میدانی برای توسعه یک معادله رگرسیون چندگانه استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده این است که حدود ۲۰ درصد اختلاف بین داده‌های میدانی و EC پیش‌بینی شده از تحلیل تصویر ماهواره‌ای وجود دارد(مرشد و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقی با هدف پیش‌بینی عملکرد سه محصول گندم،ذرت و پنبه تحت تأثیر شوری خاک انجام پذیرفت. نتیجه شد که شوری خاک بین ۸ تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش عملکرد ۵۵٪، ۲۸٪ و ۱۵٪ به ترتیب در ذرت، گندم و پنبه می‌شود(ستیر و بربرگلو، ۲۰۱۶). در پژوهشی شاخص شوری خاک از اطلاعات طیفی مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه داده‌های تصویر لندست۸ تخمین زده شد. نتایج بیانگر این است که شاخص پیشنهاد شده، در شناسایی خاک‌های با شوری بالا و خاک‌های با شوری بیش از حد بالا، عملکرد بهتری

نسبت به سایر شاخص‌ها دارد(ابوالقاسم و آماد، ۲۰۱۹). در مطالعه‌ای با استفاده از تجهیزات القای الکترومغناطیسی (EMI) و روش رگرسیون جنگل تصادفی حاصل از دوربین فراطیفی متصل به پهپاد، به ترتیب رسانایی الکتریکی و شوری خاک در مقیاس مزرعه تخمین زده شد. نتایج نشان داد که بیشترین شوری مربوط به زمین‌های بایر، منطقه پوشش گیاهی متراکم و منطقه پوشش گیاهی پراکنده است(هو و دیگران، ۲۰۱۹). پژوهشگران توزیع مکانی شوری خاک را با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین تخمین زدند. مدلسازی براساس روش‌های یادگیری ماشین، از جمله جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار پشتیبان (SVM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) ایجاد شد. در نهایت مدل RF دقیق‌ترین رویکرد برای تخمین شوری خاک را نمایش داد(وانگ و سون، ۲۰۲۴). طرحی با هدف بالا بردن دقت و پایش در سطح وسیع، مدل پایش شوری خاک را با ادغام داده‌های زمینی، پهپاد و ماهواره توسعه داد. برای ساخت شاخص‌های جداگانه پوشش گیاهی و شوری از باندهای طیفی داده‌های سنجش از دور استفاده شد. نتایج نشان داد که SSMM-UAV به طور دقیق شوری خاک را در مقیاس UAV پایش می‌کند. علاوه بر این، مساحت تحت پوشش داده‌های ماهواره‌ای حدود ۸۵ برابر بزرگتر از مساحت تحت پوشش داده‌های پهپاد بود(جیا و همکاران، ۲۰۲۴). تحقیقی در لهستان به بررسی روابط بین (NDWI) شاخص آب اختلافی نرمال‌شده و (NDVI) شاخص پوشش گیاهی اختلافی نرمال‌شده و رسانایی الکتریکی ظاهری خاک (EC) با مواد مغذی خاک (فسفر، پتاسیم و منیزیم) و pH پرداخت. تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه ثابت کرد که محتوای مواد مغذی خاک، به ویژه پتاسیم و فسفر، به شدت با EC و NDVI مرتبط است(مازور و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعه‌ای با هدف ارزیابی تأثیر وضوح مکانی بر pH خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Gaofen (GF)-2، Landsat 8 و Sentinel-2 در شمال شرقی چین انجام شد. سپس از یک مدل یادگیری ماشین برای تعیین روابط بین متغیرهای طیفی و pH خاک اندازه‌گیری شده استفاده شد. نتایج نشان داد که کارایی همه حدودا به یک میزان مطلوب است(ژیا و ژانگ،۲۰۲۲).در پژوهشی تأثیر داده‌های پایگاه‌های داده خاک جهانی بر عملکرد شبیه‌سازی شده محصولات کشاورزی(برنج) مورد مطالعه قرار گرفت. برای این تحقیق داده‌های پروفیل خاک موجود در سراسر سریلانکا با داده‌های دو پایگاه داده خاک جهانی (Soilgrids و Openlandmap) هماهنگ و مقایسه شدند. عملکرد برنج شبیه‌سازی شده با استفاده از داده‌های جهانی به طور قابل توجهی بیشتر از خاک مشاهده شده بود. نتیجه شد که در صورت عدم دسترسی به داده‌های مشاهده شده، همه پارامترهای خاک به جز چگالی ظاهری را می‌توان از پایگاه‌های داده جهانی تهیه کرد(ویمالاسیری و همکاران، ۲۰۲۰). در مطالعه‌ای کلان با استفاده از ماهواره‌های لندست، مودیس و سنتینل، پارامترهای خاک در سطح جهانی تحت عنوان OpenLandMap-soild تولید گردید. کربن آلی خاک، چگالی کربن آلی خاک، چگالی ظاهری، pH خاک در H2O، بخش‌های بافت خاک (رس، شن و ماسه) و انواع خاک زیرگروه USDA بر اساس یادگیری ماشینی مکانی-زمانی (رگرسیون جنگل تصادفی) تهیه شد. برای آموزش مدل‌ها، از مجموعه‌ای بزرگ از نمونه‌های خاک وارد شده از پروژه‌های خاک‌شناسی قدیمی استفاده شد(هنگل و همکاران، ۲۰۲۵). پژوهشی به ایجاد مدلی جهت ارزیابی فرسایش بادی مناطق خشک با کمبود داده که در آن‌ها اندازه‌گیری‌های میدانی گسترده دشوار است، پرداخته است. داده‌های تجربی با متغیرهای محیطی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای جهانی و پلتفرم‌های منبع باز، از جمله NASA-GLDAS برای داده‌های هواشناسی و OpenLandMap برای خواص خاک، ادغام شد تا یک پایگاه داده یکپارچه برای تجزیه و تحلیل سریع و تعیین ریشه علت فرسایش بادی ایجاد شود(خرندی و همکاران، ۲۰۲۶). مطالعه‌ای تغییرات پوشش زمین در منطقه مدیترانه را به کمک سیستم‌های FLDAS و GLDAS بررسی کرد. از سیستم‌های مذکور جهت

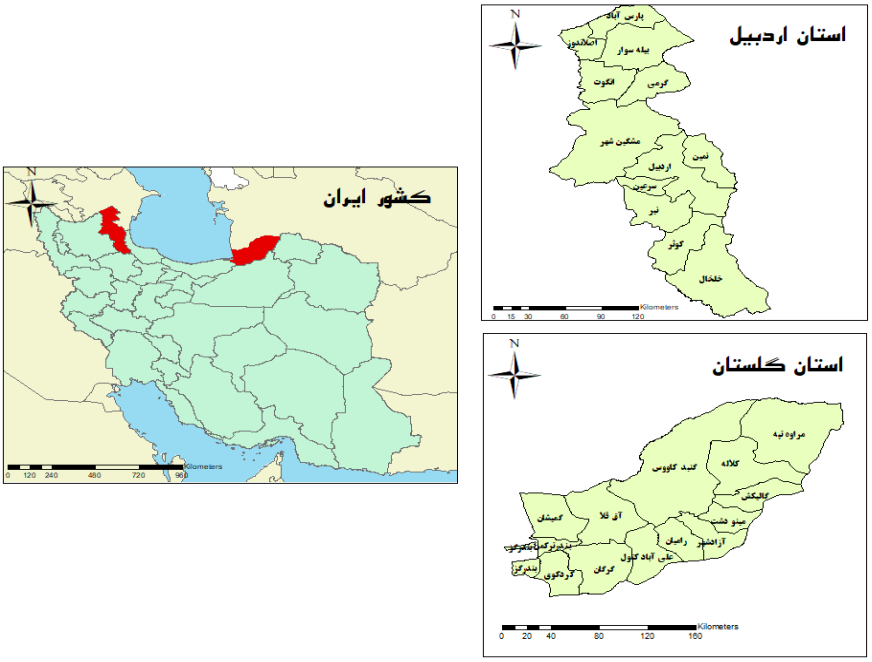
استخراج داده‌های خاک سطحی مانند رطوبت، تبخیر و تعرق استفاده شد. نتایج نشان داد که داده‌های FLDAS به دلیل انسجام بهتر با داده‌های مشاهداتی، دقت بهتری در مقایسه با GLDAS دارند(لی و همکاران، ۲۰۲۱). تحقیقی شرایط خشکسالی در سه حوضه رودخانه فرامرزی عراق را ارزیابی کرد. برای این کار از شبکه سیستم‌های هشدار اولیه قحطی، سیستم جذب داده‌های زمینی (FLDAS) و مجموعه داده‌های ماهواره‌ای بهره بردند. نتایج حاکی از آن است که FLDAS و مجموعه داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل تغییرات بسیار کارآمد است(البرکات و همکاران، ۲۰۲۲). مقاله‌ای به معرفی سیستم جذب داده‌های زمینی (FLDAS) شبکه سیستم‌های هشدار زودهنگام قحطی (FEWSNET) پرداخته که نمونه‌ای از چارچوب سیستم اطلاعات زمینی ناسا است. این داده‌ها با مدل‌سازی تبدیل به محصولات مشتق شده مانند دما و رطوبت خاک می‌شوند(مک‌نالی وهمکاران،۲۰۱۷). در مطالعه‌ای یک مدل آماری برای محاسبه میانگین ماهانه تابش خورشیدی روزانه بر روی زمین با در نظر گرفتن کسر ابر و دما توسعه داده که داده‌های میانگین دمای آن از مدل FLDAS استخراج شده بود(سابودینگ و همکاران، ۲۰۲۶). در مطالعه‌ای با کمک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، شوری خاک در منطقه مینگبولاک ازبکستان ارزیابی شد. پس از تجزیه و تحلیل نمونه‌خاک‌ها و ایجاد شاخص شوری، خاک منطقه مدلسازی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های SI 12 و NDSI از لندست۸ نسبت به سایرین برتر بودند. طبق یافته‌های مطالعه، شاخص NDSI اطلاعات دقیق‌تری در مورد شوری خاک نسبت به سایر شاخص‌های شوری ارائه داد(خلدوروف و همکاران،۲۰۲۳). پژوهشی دیگر در عربستان از شاخص‌های پوشش گیاهی و شوری خاک توسط تصاویر ماهواره‌ای IKONOS برای ارزیابی شوری خاک جوامع دارای پوشش گیاهی نخل خرما استفاده کرد. در نهایت شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده خاک (SAVI)، شاخص شوری تفاضلی نرمال‌شده (NDSI) و شاخص شوری (SI-T) بهترین نتایج را برای ارزیابی شوری خاک زمین‌های زراعی با پوشش گیاهی متراکم و یکنواخت ارائه دادند(البد و همکاران، ۲۰۱۴). مطالعه‌ای برای تعیین میزان شوری استانی در ویتنام از تصویر لندست ۸ OLI بهره برد. بدین منظور شاخص‌های شوری خاک پوشش گیاهی (VSSI)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده خاک (SAVI)، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) و شاخص شوری نرمال‌شده (NDSI) استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که تصاویر OLI لندست ۸ پتانسیل بالایی برای پایش مکانی-زمانی میزان شوری در لایه بالایی خاک دارند(انگوین و همکاران، ۲۰۲۰). پژوهشی در تانزانیا با هدف تعیین مناطق مناسب برای تولید آفتابگردان شروع شد. سه معیار اصلی این طرح شامل داده‌های آب‌وهوا، خواص خاک و توپوگرافی منطقه بود. با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) معیارها وزندهی شده و لایه‌ها در ArcGIS10.8 ادغام گردیدند. ۵۱٪ از منطقه مورد مطالعه یا به عبارتی ۱۰۲۲ هکتار از اراضی تناسب بسیاری خوبی برای کشت محصول را دارا بودند(نونگولا و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعه‌ای با هدف ارزیابی تناسب زمین برای تولید کاساوا و لوبیا با استفاده از تکنیک تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و AHP انجام شد. نتایج نشان داد که منطقه جنوبی سطح بسیار مناسبی معادل ۳۸٪ و ۴۶٪ برای کشت لوبیا و کاساوا است. در آخر نیز رویکرد ادغام GIS-AHP برای تعیین تصمیمات بهینه بر اساس معیارهای انتخاب شده پیشنهاد شد(نونگولا و همکاران، ۲۰۲۴). طرحی با هدف شناسایی مناطق مناسب برای کشت برنج و نارگیل در هند با استفاده از AHP یکپارچه با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام شد. پارامترهایی از قبیل ارتفاع، عمق خاک، بافت، pH و دما از مهمترین معیارهای این طرح بودند. یافته‌ها نشان داد که تقریباً ۱۳.۶۸٪ و ۱۱٪ از منطقه مورد مطالعه بسیار مناسب جهت کشت برنج و نارگیل است. با این حال، حدود ۳۵٪ از کل منطقه مورد مطالعه به طور دائم برای هر نوع کشت نامناسب تلقی شد(ساوانت و همکاران، ۲۰۲۵).

به‌کارگیری فناوری‌های نوین مانند سنجش‌ازدور، GIS و روش‌های ارزیابی تناسب اراضی، فرصتی برای ارتقای کیفیت مدیریت مزارع پنبه و انتخاب پهنه‌های مناسب‌تر فراهم کرده است. از منظر برنامه‌ریزی ملی، شناسایی مناطق مستعد می‌تواند به افزایش تولید داخلی، کاهش وابستگی به واردات الیاف و تقویت صنایع وابسته کمک کند. در این راستا، تحلیل دقیق شرایط محیطی و تعیین پهنه‌های مناسب کشت، گامی مهم در جهت توسعه پایدار کشت پنبه در ایران است. پهنه‌بندی اراضی مناسب برای کشت پنبه از اهمیت ویژه‌ای در مدیریت پایدار منابع کشاورزی برخوردار است. با توجه به حساسیت این محصول نسبت به پارامترهای خاک، ارزیابی فضایی عوامل مؤثر می‌تواند به تصمیم‌گیری آگاهانه در سطح منطقه‌ای کمک کند. امکان گردآوری اطلاعات مربوط به خاک از جمله دمای سطح خاک و میزان شوری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و pH خاک با داده‌های جهانی فراهم است. از طرفی سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توانایی بالای خود در یکپارچه‌سازی لایه‌های محیطی، تحلیل داده‌های مکانی و تولید نقشه‌های موضوعی، به ابزاری کارآمد در برنامه‌ریزی کشاورزی تبدیل شده‌اند. در کنار سنجش از دور و GIS، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) این امکان را فراهم می‌کند که عوامل مختلف بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها وزن‌دهی شوند و ترکیب آن‌ها به شناسایی پهنه‌های مناسب کشت منجر شود. استفاده از روش‌های چندمعیاره در محیط GIS علاوه بر افزایش دقت تصمیم‌گیری، موجب کاهش عدم‌قطعیت و نمایش دقیق‌تر پتانسیل‌های منطقه‌ای می‌شود. به‌این‌ترتیب، لایه‌های حاصل از وزن‌دهی و تلفیق عوامل، نقشه نهایی تناسب اراضی را ارائه می‌کنند که می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی کشت، سرمایه‌گذاری کشاورزی، تخصیص منابع و مدیریت پایدار اراضی باشد. نوآوری این پژوهش در تلفیق داده‌های معتبر جهانی شامل OpenLandMap و FLDAS با تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 در محیط GIS به‌منظور مدل‌سازی تناسب اراضی کشت پنبه براساس پارامترهای مهم خاک در مقیاس استانی است. برخلاف بسیاری از مطالعات که به داده‌های میدانی گسترده وابسته هستند، در این پژوهش از منابع داده‌ای با پوشش مکانی پیوسته و قابلیت دسترسی آزاد استفاده شد تا در زمانی کوتاه محدوده وسیعی را پایش کرده و چارچوبی برای ارزیابی پتانسیل نسبی کشت پنبه در شرایط محدودیت داده ارائه دهد. باتوجه به موارد گفته شده هدف اصلی این مطالعه بررسی و پهنه‌بندی اراضی مناسب جهت کشت پنبه در استان گلستان و اردبیل با استفاده از داده‌های سنجش از دوری و پایگاه‌های داده جهانی پارامترهای مرتبط به خاک می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه: استان گلستان به مرکزیت گرگان یکی از سه استان شمالی کشور ایران است که در جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است. که محدوده جغرافیایی آن ۳۵درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی، همچنین ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ دقیقه و ۲۲ درجه طول شرقی می‌باشد. این استان با وسعتی بیش از ۲۰ هزار کیلومتر مربع، از شمال به ترکمنستان، از شرق به خراسان شمالی، از جنوب به سمنان و از غرب به مازندران محدود می‌شود(جوکار،۲۰۲۳). استان اردبیل در شمال غرب ایران نیز دیگر منطقه مطالعاتی این پژوهش می‌باشد. این استان در محدوده ۳۷ درجه و ۷ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است(وطن پرست و سبحانی، ۲۰۲۰). از آنجا که مساحت دو استان تقریبابرابر است می‌توان نتایج خوبی را از مقایسه آن‌ها گرفت. اردبیل با استان‌های گیلان، زنجان وآذربایجان شرقی همسایه و با کشور آذربایجان هم‌مرز است. برخلاف گلستان که اقلیمی جلگه‌ای و معتدل را داراست، استان اردبیل کوهستانی و سرد است. استفاده از فناوری‌های GIS، سنجش‌ازدور و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توانند به

شناسایی دقیق‌تر مناطقی با پتانسیل بالای تولید کمک کند.



شکل ۱- مناطق مورد مطالعه(استان گلستان و اردبیل)

روش اجرای پژوهش: مبنای این پژوهش استفاده از اطلاعات خاک می‌باشد. بدین منظور ابتدا پارامترهای مربوط به شوری، pH، بافت و دمای خاک به کمک پایگاه‌داده‌های جهانی، سامانه‌های سنجش از دوری و کدنویسی در بستر وب جمع‌آوری و سپس در سیستم اطلاعات مکانی ترکیب می‌شوند. جهت گردآوری اطلاعات خاک از سامانه GoogleEarthEngine(GEE) استفاده شده است. GEE یک پلتفرم پردازش ابری برای تحلیل داده‌های مکانی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های بزرگ محیطی است. به کمک این پلتفرم بدون نیاز به دانلود داده‌ها یا داشتن سیستم قوی، انواع پردازش‌های سنجش از دور و GIS بر روی سرورهای گوگل انجام می‌شود که نتایج به اشکال گوناگون همچون عدد، جدول و نقشه قابل نمایش است. از مزایای دیگر این سامانه دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای و تولید شاخص‌های سنجش از دوری و طبقه بندی می‌باشد. برای اخذ و بکارگیری تمام موارد ذکرشده یک محیط کدنویسی تحت وب تعبیه شده است که امکان کدنویسی بازبان Javascript و Python را برای پژوهشگران فراهم می‌کند.

برای بررسی میزان pH خاک پایگاه داده‌ای از سایت فائو با عنوان OpenLandMap Soil pH in H2Oدر دسترس است که پیش‌بینی pH در آن بر مبنای نمونه‌های خاک و مدل یادگیری ماشین می‌باشد (هنگل،۲۰۱۸). داده‌ها در ۶ عمق استاندارد خاک ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰، ۲۰۰ سانتی‌متر مدل شده‌اند. این پایگاه داده در مقیاس جهانی و در طبقات مختلف موجود می‌باشد، لذا باید با کدنویسی در GEE استان گلستان، اردبیل و عمق مناسب خاک آن‌ها را جدا کرد. از آنجا که مقیاس پایگاه داده ۱۰ است، برای تعیین pH منطقه باید تمام اعداد بدست آمده بر ۱۰ تقسیم شود تا مقدار واقعی pH محاسبه گردد.

جدول ۱ – مشخصات پایگاه داده OpenLandMap Soil pH in H2O جهت تعیین pH

نام باند	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	مقیاس	اندازه پیکسل	توضیحات
b0	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۰ سانتی‌متری
b10	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۱۰ سانتی‌متری
b30	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۳۰ سانتی‌متری
b60	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۶۰ سانتی‌متری
b100	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری
b200	۴۲	۱۱۰	۱۰	متر	pH خاک بر حسب H2O در عمق ۲۰۰ سانتی‌متری

پارامتر دوم مرتبط با خاک در این پژوهش دمای آن می‌باشد که با استفاده از سیستم FLDAS مورد ارزیابی قرار گرفت. FLDAS (Famine Early Warning Systems Network – Land Data Assimilation System) یک سامانه مدل‌سازی و همجوسازی داده‌های زمینی است که با همکاری ناسا توسعه یافته است. مجموعه داده‌های FLDAS برای کار با دامنه‌ها، جریان‌های داده و الزامات نظارت و پیش‌بینی مرتبط با ارزیابی امنیت غذایی در کشورهای در حال توسعه با داده‌های پراکنده سازگار شده است. داده‌های ماهانه جهانی FLDAS دوره زمانی ژانویه ۱۹۸۲ تا به امروز را پوشش می‌دهند(لوزر و همکاران، ۲۰۲۰). هدف اصلی این سیستم پایش خشکسالی، کمبود آب، وضعیت خاک، و شرایط کشاورزی در مناطق حساس از نظر امنیت غذایی خصوصاً آفریقا و خاورمیانه است. FLDAS از داده‌هایی مانند رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، بارندگی، رواناب و دمای سطح، دمای هوا، فشار بخار، بارش، پوشش گیاهی، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک استفاده می‌کند. این سیستم دمای خاک را در ۴ طبقه براساس عمق ارائه می‌کند.

جدول ۲– مشخصات سیستم FLDAS جهت تعیین دمای خاک

نام باند	واحد	اندازه پیکسل	توضیحات
SoilTemp00_10cm_tavg	کلوین	متر	دمای خاک (۰ تا ۱۰ سانتی‌متر زیر زمین)
SoilTemp10_40cm_tavg	کلوین	متر	دمای خاک (۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر زیر زمین)
SoilTemp40_100cm_tavg	کلوین	متر	دمای خاک (۴۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر زیر زمین)
SoilTemp100_200cm_tavg	کلوین	متر	دمای خاک (۱۰۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر زیر زمین)

عمق‌های طبقه‌بندی شامل ۱۰-۰ ، ۴۰-۱۰، ۱۰۰-۴۰ و ۲۰۰-۱۰۰ سانتی‌متر می‌باشند. در این قسمت هم با کدنویسی، منطقه مورد مطالعه و عمق موردنظر را جدا کرده تا دمای خاک بر حسب کلوین بدست آید. با استفاده از فرمول زیر دمای تمام مناطق از کلوین به درجه سانتیگراد تبدیل گردید.

$$C = K - 273.15$$

در مرحله بعد شوری خاک تخمین زده شد. این کار به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست۸ و شاخص سنجش از دوری NDSI صورت گرفت. NDSI (Normalized Difference Salinity Index) یک شاخص نسبی مکانی برای شناسایی و پایش شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. این شاخص از تفاوت بازتاب در باندهای خاص طیف الکترومغناطیسی علی الخصوص دو باند RED و NIR استفاده می‌کند. بازتاب در طول موج‌های مرئی به شدت تحت تأثیر پوشش گیاهی است، رفتار طیفی خاک شور در محدوده RED و NIR خیلی واضح‌تر است. در واقع خاک‌های شور بازتاب بیشتری در باند Red دارند و در NIR، خاک شور معمولاً بازتاب کمتری نسبت به خاک غیرشور

دارد. بـا فرمـول(۲) مقـدار عـددی NDSI دو اسـتان محاسبه می‌شود(خان و همکاران،۲۰۰۵).

$$NDSI = \frac{RED - NIR}{RED + NIR}$$

جدول۳– مشخصات باندهای ماهواره لندست۸ جهت تولید شاخص شوری نسبی

نام باند	طول موج (µm)	اندازه پیکسل	توضیحات
SR_B1	۰/۴۳۵ – ۰/۴۵۱	متر	بازتاب سطحی (فوق آبی، آئروسل ساحلی)
SR_B2	۰/۴۵۲ – ۰/۵۱۲	متر	بازتاب سطحی باند ۲ (آبی)
SR_B3	۰/۵۳۳ – ۰/۵۹۰	متر	بازتاب سطحی باند ۳ (سبز)
SR_B4	۰/۶۳۶ – ۰/۶۷۳	متر	بازتاب سطحی باند ۴ (قرمز)
SR_B5	۰/۸۵۱ ۰/۸۷۹	متر	بازتاب سطحی باند ۵ (مادون قرمز نزدیک)
SR_B6	۱/۵۶۶ – ۱/۶۵۱	متر	بازتاب سطحی باند ۶ (مادون قرمز موج کوتاه ۱)
SR_B7	۲/۱۰۷ – ۲/۲۹۴	متر	بازتاب سطحی باند ۷ (مادون قرمز موج کوتاه ۲)

با توجه به جـدول(۳) و فرمـول(۲) دو بانـد SR_B5 و SR_B6 در کدنویسی استفاده می‌شوند. مقادیر بدست آمـده در ایـن فرمـول اعـدادی بـین ۱- تـا ۱+ کـه نشـان‌دهنده شـوری نسـبی منطقـه از کـم بـه زیـاد می‌باشد. آخرین پارامتر مورد بررسی نیـز بافـت خـاک منطقه می‌باشد. بـا بهـره‌گیـری از پایگـاه داده جهـانی OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System) و کدنویسـی در سـامانه بافـت GEE بافـت منطقه بصورت نقشه استخراج و نمایش داده می‌شـود. کلاس‌های بافت خاک سیستم USDA بـرای ۶ عمـق خـاک (۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سـانتی‌متر) در عمق ۲۵۰ متری تعیین شده است. این داده ۱۲ گـروه Cl، SiCl، SaCl، ClLo، SiClLo، SaClLo، Lo، SiLo، SaLo، Si، LoSa و Sa را شامل می‌شود(هنگل، ۲۰۱۸).

بعد از انجام این مراحـل و تهیـه نقشـه pH ، دمـا، شوری و بافت خاک، جهت ادغام چهار نقشه از نرم‌افزار ArcGIS بهره گرفته شد. تمام نقشه‌هـای تولیـد شـده در سامانه GEE بصورت فایل TIFF اخـذ شـد و بـرای تولید نقشه نهایی به نرم‌افـزار ArcGIS اضـافه گردیـد. پس از اخذ نقشه‌ها در GEE، یکسـان‌سـازی آن‌هـا در ArcGIS انجـام شـد. سـپس بـا اسـتفاده از دسـتور RECLASSIFY تمـام نقشـه‌هـا بـه ۵ کـلاس عـالی، خـوب، متوسـط، بـد و نـامطلوب جهـت کشـت پنبـه طبقه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی‌ها براساس جدول زیر و با کمک متخصصان این حوزه در موسسـه تحقیقـات پنبه کشور انجام شد. پنبه در خاک‌های با pH نزدیـک به خنثی بهترین رشد را دارد. ازایـن‌رو، محـدوده ۶ تـا ۶/۵ به‌عنوان کلاس "عالی" در نظر گرفته شد. منـاطق بـا pH بـالاتر از ۸ و پـایینتر از ۵/۸ در کـلاس "نامطلوب" قرار مـی‌گیرنـد. همچنـین بهتـرین دمـای خاک جهت کاشـت پنبـه در محـدوده دمـایی ۱۸-۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که کلاس "عالی" را به خود اختصاص می‌دهد. با افزایش یا کاهش دمـا نسـبت بـه این محدوده مطلوبیت کشت اراضی به تـدریج کـاهش می‌یابد. از طرفی اراضـی بـاکمترین میـزان شـوری در کلاس "عالی" قرار میگیرند و هرچـه شـوری افـزایش پیدا کند، مطلوبیت زمین کـاهش پیـدا مـی‌کنـد. لـذا اراضی با شوری بسیار زیاد در کلاس " نامطلوب" قـرار می‌گیرند. بافت خاک دو استان عمـدتا بـه Lo و ClLo محدود شده است که به ترتیب کلاس‌هـای "عـالی" و "خوب" را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۴- تعیین میزان عملکرد عوامل خاک

عامل	بهترین عملکرد
pH خاک	۶ تا ۶/۵
دمای خاک	۱۵ تا ۱۸
شوری خاک	مقادیر کمتر
بافت	ClLo

برای تعیین میزان اهمیت نسبی معیارهای مؤثر بر ارزیابی تناسب اراضی، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (Analytic Hierarchy Process – AHP) استفاده شد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش موثر ارزیابی چند معیاره است که به طور سیستماتیک همه پارامترها را در نظر می‌گیرد(ممتا و همکاران،۲۰۲۴). در این پژوهش، چهار معیار دمای خاک، pH خاک، شوری و بافت خاک برای وزن‌دهی و ترکیب نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. جهت تعیین اهمیت نسبی معیارها، از ماتریس مقایسه زوجی استفاده شد. مقایسه‌ها بر مبنای مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی انجام گرفت که در آن عدد ۱ بیانگر اهمیت برابر و اعداد ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب نشان‌دهنده اهمیت کم، زیاد، خیلی زیاد و بسیار زیاد هستند.

جدول ۵- میزان اهمیت در روش مقایسه زوجی

تعریف	میزان اهمیت
اهمیت برابر	۱
تا حدودی مهم‌تر	۳
بسیار مهم‌تر	۵
بسیار بسیار مهم‌تر	۷
کاملا مهم‌تر	۹
مقادیر متوسط	۲.۴.۶.۸

با نظر متخصصان، چهار پارامتر خاک ارزش‌گذاری شدند و بصورت وزندار در نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفتند. در این مرحله نظرات کارشناسی۱۰ متخصص خاک و پنبه با استفاده از پرسشنامه تعیین شد. نرخ سازگاری مقایسات زوجی در حدود ۰/۰۹ بود که نشان‌دهنده عملکرد مناسب این پرسشنامه می‌باشد.

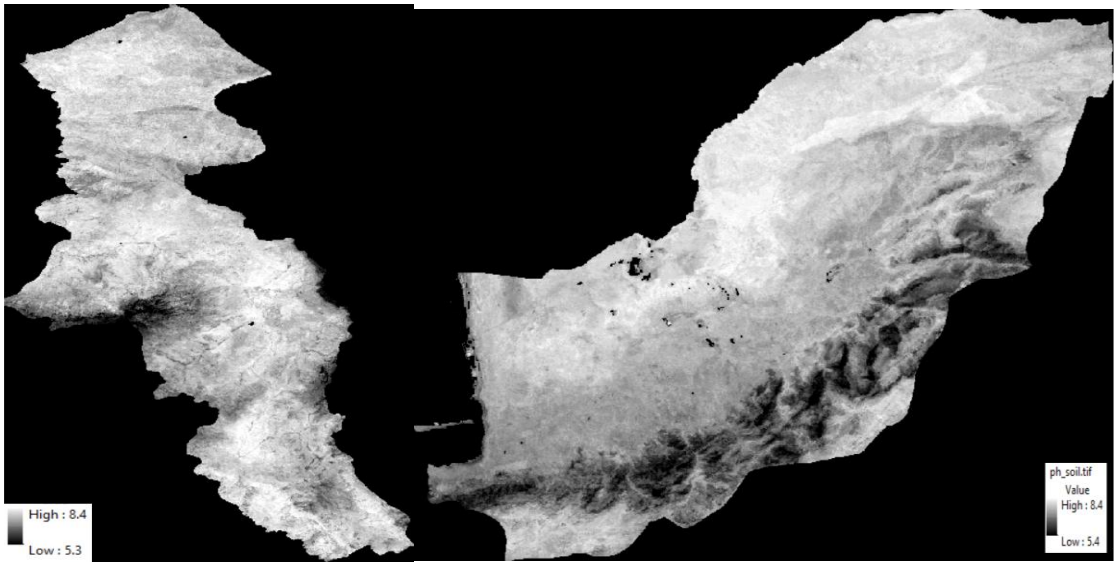
براساس نظرات کارشناسی و مطالعات پیشین(کاظمی و همکاران،۲۰۱۲)، شوری خاک به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده انتخاب شد، پس از آن به ترتیب pH، بافت خاک و در نهایت دمای خاک قرار گرفتند. وزن‌های به‌دست‌آمده پس از نرمال‌سازی به شرح زیر است:

جدول۶- وزن پارامترهای خاک مورد استفاده در تحقیق

معیار	وزن
شوری	۰/۳۵
pH	۰/۳
بافت خاک	۰/۲
دمای خاک	۰/۱۵

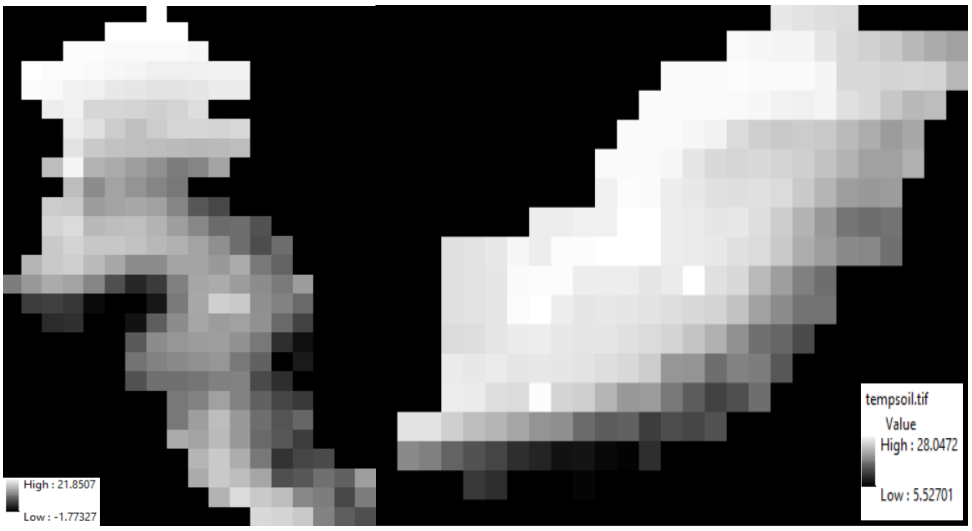
نتایج و بحث

با استفاده از پایگاه داده OpenLandMap Soil pH in H2O نقشه pH دو استان تهیه شد. در این شکل مناطق با رنگ روشن‌تر دارای pH بالاتری هستند. مقادیر pH ارزیابی شده برای دو استان در محدوده (۸/۴ – ۵/۳) است. مناطق شمال و مرکز استان گلستان به طور مشخص PH خاک بالاتری از مناطق جنوبی آن دارد که تفاوت آنها آشکار است، در حالی‌که در استان اردبیل آنچنان تفاوت زیادی مشاهده نمی‌شود و pH بیشتر مناطق در یک محدوده مشخص هست. pH در مناطق شمالی استان گلستان که نزدیک به کشور ترکمنستان هستند، بسیار بالا بوده و در کلاس "نامطلوب" قرار می‌گیرند. اراضی مرکزی گلستان بهترین عملکرد را از این منظر دارا می‌باشند.



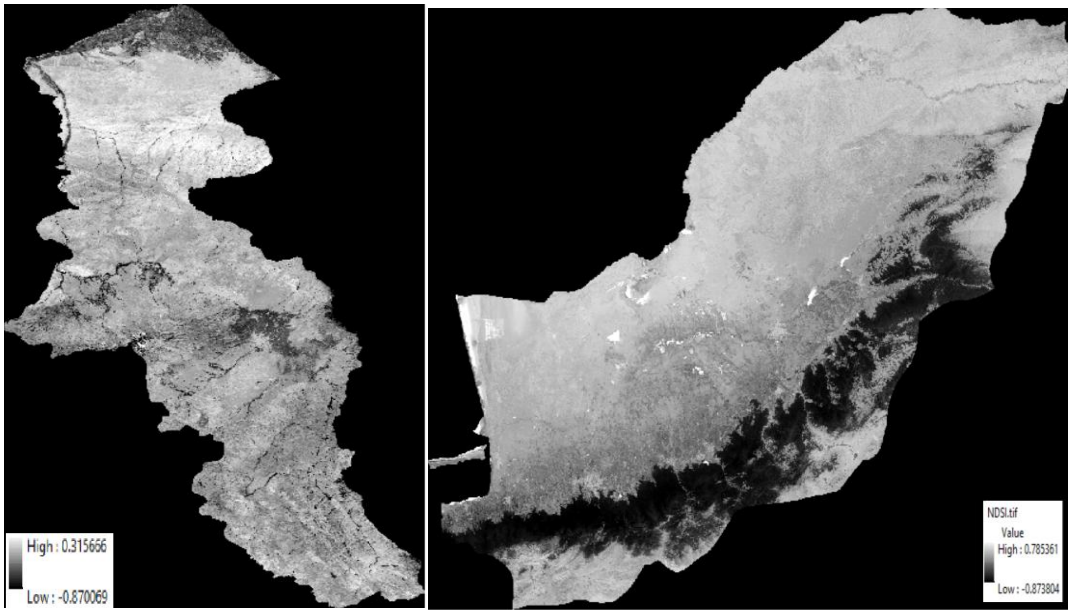
شکل۲- نقشه pH گلستان و اردبیل

میانگین دمای خاک سه ماهه اول استان‌ها با بهره-گیری از سیستم FLDAS تخمین زده شد. دمای خاک استان گلستان و اردبیل به ترتیب در بازه (۲۸_۵/۵) و (۲۱/۸ _ ۱/۷-) درجه سانتی‌گراد متغیر است. در مناطق گرم و خشک که عمدتا در شمال استان گلستان هستند دما بالا است و دماهای پایین نیز در مناطق کوهستانی جنوب گلستان قابل مشاهده است. همچنین دماهای بالا در استان اردبیل مربوط به شمال این استان می‌باشد.



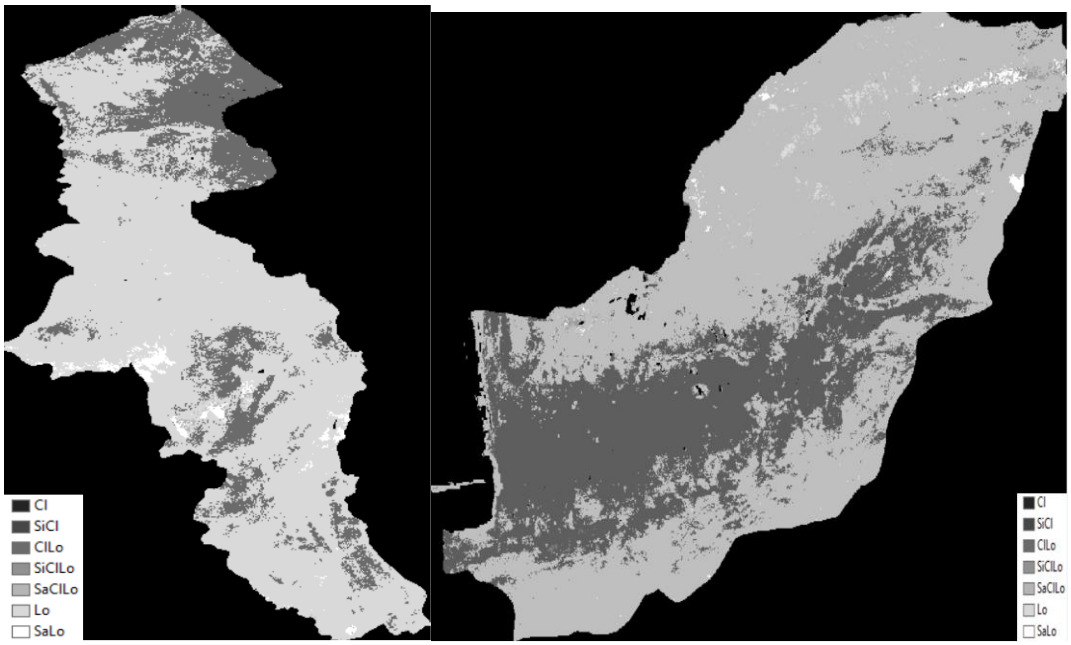
شکل۳-نقشه دمای خاک سه ماهه اول گلستان و اردبیل

شاخص سنجش از دوری NDSI مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست۸ برای تعیین میزان شوری نسبی استفاده گردید. شوری خاک در مناطق شمالی استان به شدت زیاد می‌باشد و با رسیدن به مناطق کوهپایه-ای و جنگلی در جنوب گلستان مقدار شوری کم می-شود. در اردبیل هم مناطق شمالی و و برخی از اراضی مرکزی شوری پایینی دارند و محدوده مناسبی جهت کشت پنبه ایجاد کرده‌اند.



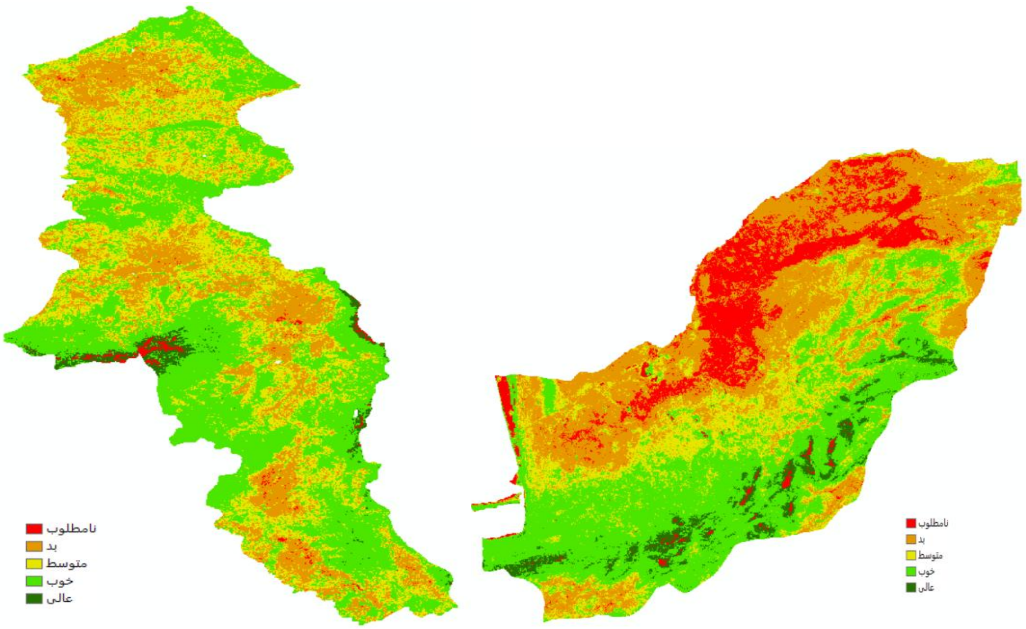
شکل۴- NDSI گلستان و اردبیل

چهارمین داده اخذ شده نیز بافت خاک می‌باشد که گروه‌بندی آن در شکل۵ قابل مشاهده است. همانطور که در شکل(۵) دیده می‌شود عمده مساحت دو استان را بافت‌های Lo و ClLo تشکیل می‌دهند که از این نظر برای کشت مناسب هستند.



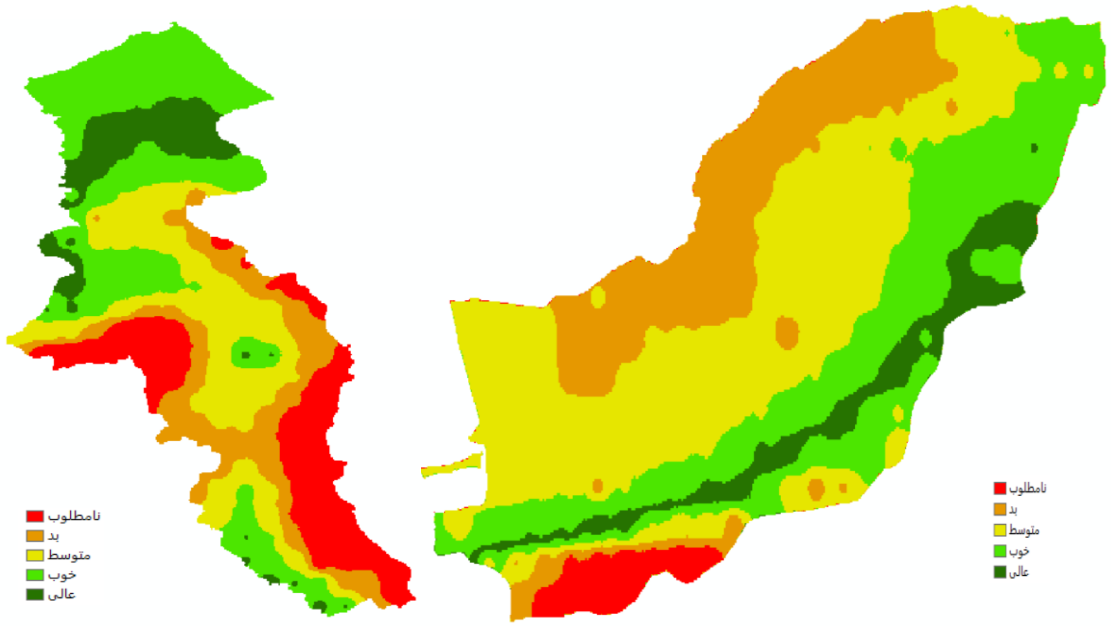
شکل۵- بافت خاک گلستان و اردبیل

بعد از تهیه و یکسان‌سازی چهار نقشه pH ، دما، بافت و شوری خاک با GEE، نیاز به طبقه‌بندی هر کدام از آنها است. بدین منظور نقشه‌های تولید شده با توجه به نظر متخصصان حوزه پنبه کشور به ۵ دسته عالی، خوب، متوسط، بد و نامطلوب طبقه‌بندی می‌شوند که برای درک بهتر به‌ترتیب با رنگ‌های سبزپررنگ، سبز کمرنگ، زرد، نارنجی و قرمز نمایش داده شده است.



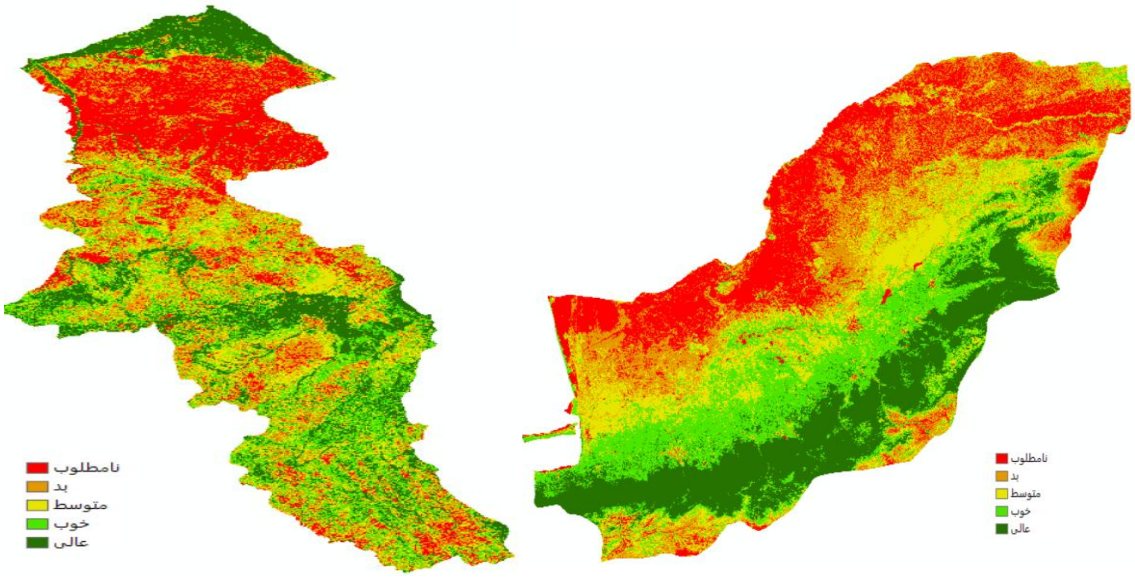
شکل۶-طبقه بندی PH گلستان و اردبیل

باتوجه به شکل(۶) تغییرات pH در استان گلستان بیشتر از استان اردبیل می‌باشد. مناطق شمالی استان گلستان به دلیل تاثیر شوری، تجمع املاح، کمبود آب و هوای نسبتا خشک pH بالایی دارند در حالیکه با حرکت به سمت مناطق جنوبی استان مقدار pH به تدریج کاهش یافته و در مناطق مرکزی به بهترین درجه خود می‌رسد. در استان اردبیل تغییرات زیادی دیده نمی‌شود و بر همین اساس مساحت کلاس‌های "عالی" و "نامطلوب" در سطح استان کمتر می‌باشد.

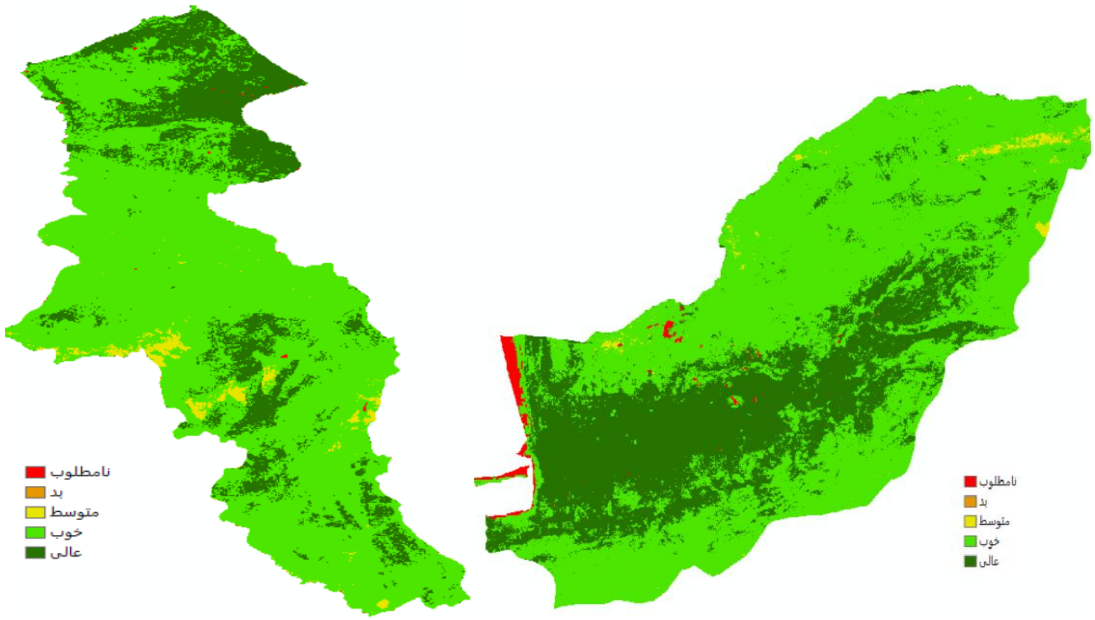


شکل۷-طبقه بندی دمای خاک گلستان و اردبیل

طبقه بندی دمای خاک در شکل(۷) نشان می‌دهد که دمای خاک گلستان به طور متناوب از جنوب به شمال افزایش می‌یابد. مناطق جنوبی به دلیل سرمای بیش از حد و مناطق شمالی به دلیل گرما به ترتیب در کلاس "نامطلوب" و "بد" قرار می‌گیرند. بهترین مناطق از نظر دمایی در گلستان نوار مرکزی می‌باشد.از طرفی مناطق "عالی" و "مناسب" در استان اردبیل شامل شمال و جنوب این استان می‌باشد که دمای متعادلی دارند. در حالی که مناطق شرقی و غربی به دلیل دمای پایین در کلاس "نامطلوب" قرار دارند. طبق شکل(۸)، اراضی شمال استان گلستان بالاترین شوری را دارند. مناطق نزدیک به جنگل نیز کمترین شوری را به خود اختصاص داده‌اند که در کلاس "عالی" قرار دارند. منطقه مغان استان اردبیل از نظر شوری بهترین مکان جهت کشت پنبه می‌باشد. تقریبا تمام بافت خاک دو استان نیز براساس شکل(۹) در محدوده "عالی" و "مناسب" قرار دارد و از این نظر محدودیت خاصی ایجاد نمی‌گردد.

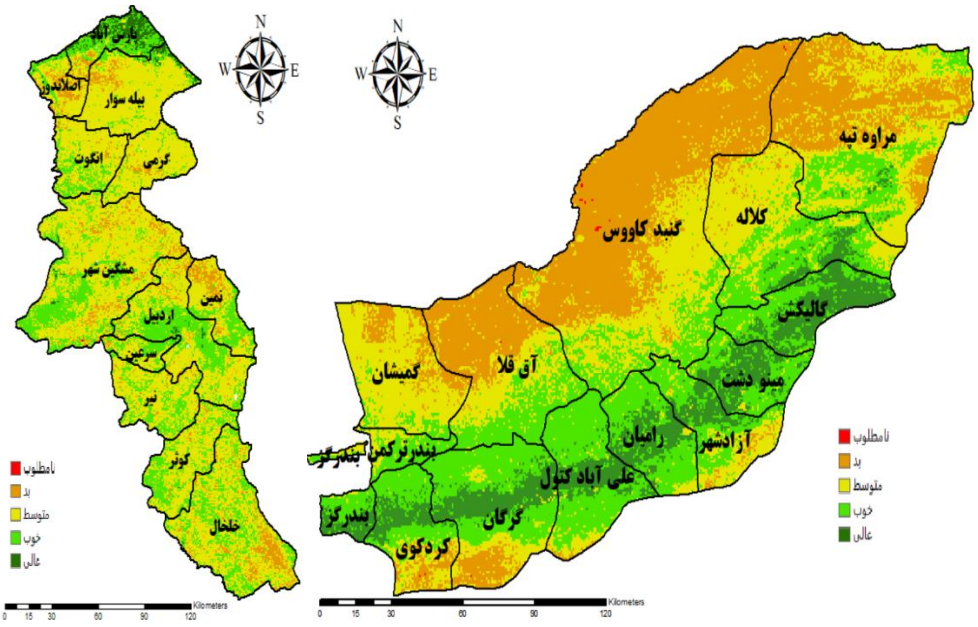


شکل۸-طبقه بندی NDSI گلستان و اردبیل



شکل۹-طبقه بندی بافت خاک گلستان و اردبیل

پس از طبقه‌بندی، لایه‌ها وزندهی شده و برای تولید نقشه نهایی بصورت وزندار ترکیب می‌شوند. در انتها نقشه نهایی اراضی مناسب کشت پنبه در استان گلستان با بهره‌گیری از پارامترهای اصلی خاک تولید می‌گردد.

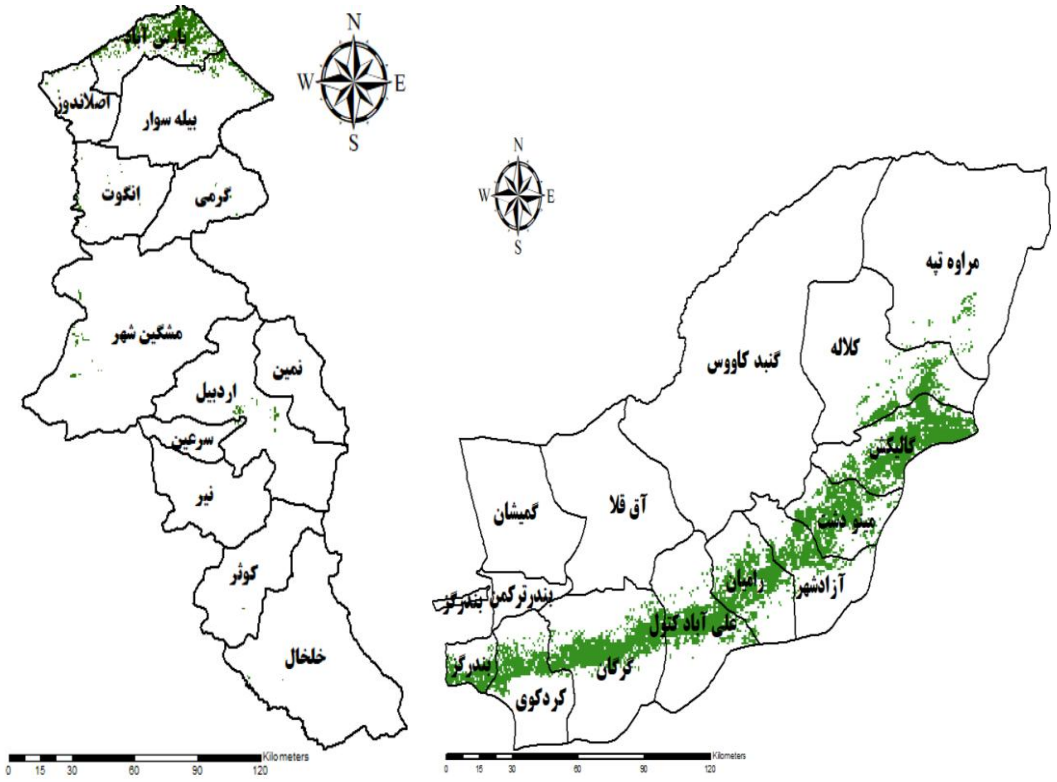


شکل۱۰-پهنه‌بندی نهایی گلستان و اردبیل

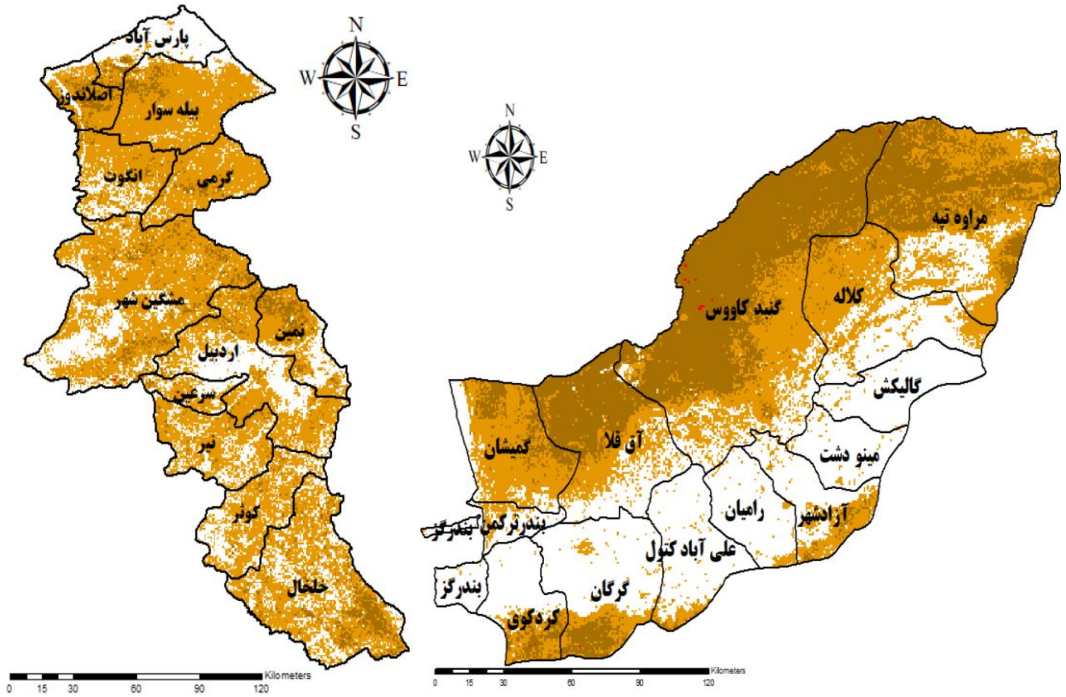
طبق نتایج بدست آمده قسمت مرکزی و شهرستان‌های جنوبی استان گلستان دارای مناطق عالی جهت کشت پنبه هستند. این مناطق جنوب شهرستان‌های گنبد و آق‌قلا، همچنین مناطق مرکزی و شمالی شهرستان‌های بندرگز، کردکوی، گرگان و علی‌آباد را در بر می‌گیرد. از طرفی مناطق شمالی استان گلستان که در نزدیکی کشور ترکمنستان واقع شده‌اند، از نظر پارامترهای خاکی عملکرد بدی را دارا هستند. مناطق جنوبی مجاور با استان سمنان نیز در طبقه بندی "بد" قرار می‌گیرند. تنها منطقه عالی برای کشت پنبه در استان اردبیل شهرستان پارس‌آباد می‌باشد. نواحی خاصی از شهرستان اردبیل نیز عملکرد مناسبی دارند. حدود ۲۳۰۰ کیلومتر مربع از اراضی استان گلستان دارای عملکرد عالی می‌باشند در حالیکه در استان اردبیل این عدد در حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع است. از طرفی مساحت مناطق بد از منظر خاک در استان گلستان و اردبیل به ترتیب ۵۸۰۰ و ۱۳۵۰ کیلومتر مربع ارزیابی شده است و درصد مناطق "نامطلوب" که هر چهار پارامتر در آن نامطلوب باشد در هر دو استان چیزی حدود صفر می‌باشد. لذا می‌توان برای نامطلوب‌ترین مناطق از کلاس "بد" استفاده کرد و مدل را به ۴ کلاس تبدیل کرد.

جدول۷- درصد مساحت براساس عملکرد

عملکرد	درصد مساحت استان اردبیل	درصد مساحت استان گلستان
عالی	۲/۲	۱۱/۵
خوب	۲۷	۲۹/۸
متوسط	۶۳/۳	۲۹/۷
بد	۷/۴۹	۲۸/۹۷
نامطلوب	۰/۰۱	۰/۰۳



شکل۱۱-مناطق عالی جهت کشت پنبه گلستان و اردبیل



شکل۱۲-مناطق بد جهت کشت پنبه گلستان و اردبیل

بحث

این پژوهش نواحی مناسب تا نامناسب برای کشت پنبه در دو استان گلستان و اردبیل را بر اساس چهار پارامتر اصلی خاک پهنه‌بندی کرد. نتایج نشان داد نواحی مرکزی شهرستان‌های جنوب استان گلستان از جمله علی‌آباد، گرگان و بندرگز، همچنین شهرستان-های پارس‌آباد، اردبیل و مشگین‌شهر در استان اردبیل اراضی مناسبی دارند(وطن‌پرست و سبحانی، ۲۰۲۰). گلستان از نظر وسعت دارای مناطق مساعد و همچنین نامساعد بیشتری نسبت به اردبیل دارد. این یافته نشانه این است که تنوع خاکی و شوری در گلستان نقش مهمی در کنترل تناسب کاشت دارد که با مطالعات مشابه در ایران و سایر کشورها هم‌سو است. در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی پنبه، pH ، شوری و بافت خاک به‌عنوان عوامل با اهمیت بالا شناخته شده‌اند و دارای وزن بیشتری نسبت به دیگر عوامل هستند(وحیدی و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین مطالعات منطقه‌ای در حوزه کشاورزی نشان داده‌اند که به‌کارگیری داده‌های خاک و پارامترهای فیزیکی در مدل‌های مکانی می‌تواند زمینه‌های دقیق‌تری برای برنامه‌ریزی کشاورزی فراهم کند، مشابه آنچه در دیگر محصولات کشاورزی با GIS و RS گزارش شده است(بادسار و همکاران، ۲۰۱۸). پژوهش‌های جهانی نیز کاربرد فناوری‌های یادشده را در تعیین شوری و سایر پارامترهای خاک برای گسترش زراعت تأیید کرده‌اند، به‌گونه‌ای که تحلیل‌های طیفی و مدل‌های مکانی می‌توانند مقادیر شوری را در مزارع پنبه شمال چین با دقت مناسبی تخمین بزنند که نشان‌دهنده نقش حیاتی این ابزارها در مدیریت منابع خاک و کاهش هزینه‌های پایش میدانی است(فان و همکاران، ۲۰۲۳). با وجود این دستاوردها، محدودیت این مطالعه در تمرکز صرف بر پارامترهای خاکی بدون درنظر گرفتن عوامل اقلیمی مانند دمای هوا و بارش مشهود است، زیرا پژوهش‌های اخیر پیشنهاد می‌کنند که ترکیب داده‌های اقلیمی و خاکی می‌تواند دقت مدل‌های تناسب اراضی را افزایش دهد و آشکارسازی مناطق مطلوب کشت در گستره‌های زمانی و مکانی وسیع‌تر را تسهیل نماید(جیا و همکاران، ۲۰۲۵) . از این رو، توصیه می‌شود در تحقیقات آتی از داده‌های اقلیمی طولانی‌مدت و سنجش‌ازدور چندزمانه استفاده شود تا علاوه بر شاخص‌های خاکی، تأثیر تغییرات اقلیمی نیز در تحلیل تناسب زمین، لحاظ گردد و نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تری برای برنامه‌ریزی کشاورزی پایدار ارائه گردد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، تناسب اراضی برای کشت پنبه بر اساس چهار پارامتر اصلی خاک شامل شوری خاک، pH خاک، بافت خاک و دمای خاک با بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در دو استان گلستان و اردبیل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استان گلستان به دلیل گستردگی اراضی جلگه‌ای و شرایط متنوع خاکی، از نظر مساحت دارای مناطق مستعد بیشتری برای کشت پنبه نسبت به استان اردبیل است؛ با این حال، به دلیل همین تنوع و وجود نواحی با شوری بالا یا شرایط نامطلوب خاک، وسعت مناطق نامساعد در گلستان نیز به‌مراتب بیشتر از اردبیل برآورد شد. در مقابل، استان اردبیل با وجود مساحت کمتر و اقلیم سردتر، از نظر ویژگی‌های خاکی وضعیت متعادل‌تری نشان داد و بخش عمده‌ای از اراضی آن در طبقه متوسط از نظر تناسب کشت پنبه قرار گرفت، به‌گونه‌ای که هم مناطق بسیار مناسب و هم مناطق بسیار نامناسب در آن محدودتر از گلستان است. خروجی این پژوهش یک ابزار تصمیم‌گیری عملی برای مدیران جهت کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری تولید و جلوگیری از هدررفت منابع در استان گلستان است که حرکت به سوی کشاورزی پایدار را فراهم می‌سازد. بر اساس نتایج حاصل، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده برای دستیابی به ارزیابی دقیق‌تر و کاربردی‌تر، پارامترهای اقلیمی و توپوگرافی نظیر دمای هوا، بارش، رطوبت، ارتفاع و شیب نیز در کنار پارامترهای خاک به مدل اضافه شوند تا اثر متقابل خاک و اقلیم بر کشت پنبه بهتر تبیین گردد. همچنین بررسی نقش و کارایی

فناوری‌های GIS و RS در این‌گونه مطالعات، به‌ویژه در مقیاس‌های وسیع مکانی، می‌تواند نشان دهد که این ابزارها تا چه اندازه در کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت تحلیل و بهبود دقت تصمیم‌گیری مکانی مؤثر هستند. استفاده گسترده‌تر از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و روش‌های نوین تحلیل مکانی می‌تواند زمینه‌ساز برنامه‌ریزی دقیق‌تر کشاورزی و توسعه پایدار کشت محصولات استراتژیک مانند پنبه در مناطق مختلف کشور باشد.

منابع

1. Abuelgasim, A., & Ammad, R. (2019). Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 13, 415-425.
2. Albarakat, R., Le, M. H., & Lakshmi, V. (2022). Assessment of drought conditions over Iraqi transboundary rivers using FLDAS and satellite datasets. Journal of Hydrology: Regional Studies, 41, 101075.
3. Allbed, A., Kumar, L., & Aldakheel, Y. Y. (2014). Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region. Geoderma, 230, 1-8.
4. badsar, M. , kamkar, B. , soltani, A. and abdi, O. (2018). Suitability assessment of wheat-grown fields using Geographic Information System, Remote Sensing and Analytical Network Process method in Qaresoo basin, Gorgan county. Journal of Crop Production, 11(1), 1-22.
5. Fan, X., Kang, X., Gao, P., Zhang, Z., Wang, J., Zhang, Q., ... & Zhang, L. (2023). Soil Salinity Estimation in Cotton Fields in Arid Regions Based on Multi-Granularity Spectral Segmentation (MGSS). Remote Sensing, 15(13), 3358.
6. Ghazali, M. F., Wikantika, K., Harto, A. B., & Kondoh, A. (2020). Generating soil salinity, soil moisture, soil pH from satellite imagery and its analysis. *Information Processing in Agriculture*, *7*(2), 294-306.
7. Hengl, T. (2018). Soil pH in H2O at 6 standard depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m resolution.
8. Hengl, T. (2018). Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m.
9. Hengl, T., Consoli, D., Tian, X., Nauman, T. W., Nussbaum, M., Isik, M. S., ... & Harris, N. (2025). OpenLandMap-soildb: global soil information at 30 m spatial resolution for 2000–2022+ based on spatiotemporal Machine Learning and harmonized legacy soil samples and observations. Earth System Science Data Discussions, 2025, 1-66.
10. Hu, J., Peng, J., Zhou, Y., Xu, D., Zhao, R., Jiang, Q., ... & Shi, Z. (2019). Quantitative estimation of soil salinity using UAV-borne hyperspectral and satellite multispectral images. Remote Sensing, 11(7), 736.
11. Jia, J., Chen, C., Liu, Q., Ding, B., Ren, Z., Jia, Y., ... & Geng, H. (2024). Soil salinity monitoring model based on the synergistic construction of ground-UAV-satellite data. Soil Use and Management, 40(1), e12980.
12. Jia, Y., Li, Y., Biswas, A., Pang, J., Song, X., Yang, G., ... & Siddique, K. H. (2025). Evaluation of cotton planting suitability in Xinjiang based on climate change and soil fertility factors simulated by coupled machine learning model. Resources, Environment and Sustainability, 20, 100200.
13. Jokar, M. (2023). Analysis of the influence of wind on the spread of Thrips tabaci (Thys.: Thripidae) in the cotton fields of Golestan province. Iranian Journal of Cotton Researches, 10(2), 53-66.
14. KAZEMI, P. H., TAHMASEBI, S. Z., Kamkar, B., SHATAEE, S., & Sadeghi, S. (2012). Agroecological zoning of agricultural lands in Golestan province for canola cultivation by Geographic Information System (GIS) and Analytical Hierarchy Process (AHP).

15. Khan, N. M., Rastoskuev, V. V., Sato, Y., & Shiozawa, S. (2005). Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators. Agricultural Water Management, 77(1-3), 96-109.
16. Kholdorov, S., Lakshmi, G., Jabbarov, Z., Yamaguchi, T., Yamashita, M., Samatov, N., & Katsura, K. (2023). Analysis of irrigated salt-affected soils in the Central Fergana Valley, Uzbekistan, using Landsat 8 and Sentinel-2 satellite images, laboratory studies, and spectral index-based approaches. Eurasian Soil Science, 56(8), 1178-1189.
17. Khorand, M., & Fattahi, S. M. (2026). Spatiotemporal mapping of wind erosion using multi-source remote sensing and machine learning. International Journal of Environmental Science and Technology, 23(7), 521.
18. Li, W., Perera, S., Linstead, E., Thomas, R., El-Askary, H., Piechota, T., & Struppa, D. (2021). Investigating decadal changes of multiple hydrological products and land-cover changes in the Mediterranean Region for 2009–2018. Earth Systems and Environment, 5(2), 285-302.
19. Loeser, C., Rui, H., Teng, W. L., Ostrenga, D. M., Wei, J. C., Mcnally, A. L., ... & Meyer, D. J. (2020, January). Famine early warning systems network (FEWS NET) land data assimilation system (LDAS) and other assimilated hydrological data at NASA GES DISC. In American Meteorological Society Annual Meeting (No. GSFC-E-DAA-TN77212).
20. McNally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., ... & Verdin, J. P. (2017). A land data assimilation system for sub-Saharan Africa food and water security applications. Scientific data, 4(1), 1-19.
21. Mema, O., Jojic, E., Laze, P., Khramov, M., & Lymar, O. (2024). Application of analytical hierarchical process in assessing the suitability of land for growing grain crops.
22. Morshed, M. M., Islam, M. T., & Jamil, R. (2016). Soil salinity detection from satellite image analysis: an integrated approach of salinity indices and field data. Environmental monitoring and assessment, 188(2), 119.
23. Nguyen, K. A., Liou, Y. A., Tran, H. P., Hoang, P. P., & Nguyen, T. H. (2020). Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. Progress in Earth and Planetary Science, 7(1), 1-16.
24. Nungula, E. Z., Massawe, B. J., Chappa, L. R., Nhunda, D. M., Seleiman, M. F., Ali, N., & Gitari, H. I. (2024). Multicriteria land suitability assessment for cassava and bean production using integration of GIS and AHP. Cogent Food & Agriculture, 10(1), 2333316.
25. Nungula, E. Z., Mugwe, J., Massawe, B. H., Seleiman, M. F., Ali, N., & Gitari, H. I. (2024). GIS-AHP based approach in land evaluation and suitability assessment for sunflower (Helianthus annus) production. Cogent Food & Agriculture, 10(1), 2309831.
26. Sabooding, R., Panityakul, T., Khampeera, A., Kirtsaeng, S., & Thinnukool, O. (2025). Statistical models for mapping solar irradiation across southern Thailand using meteorological and satellite data. Frontiers in Environmental Science, 13, 1657447.
27. Satir, O., & Berberoglu, S. (2016). Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. Field crops research, 192, 134-143.
28. Sawant, N., Das, B., Mahajan, G., Desai, S., Raizada, A., Kumar, P., & Singh, P. (2025). Crop suitability analysis for the coastal region of India through fusion of remote sensing, geospatial analysis and multi-criteria decision making. Scientific Reports, 15(1), 8727.
29. Shi, H., Hellwich, O., Luo, G., Chen, C., He, H., Ochege, F. U., ... & De Maeyer, P. (2021). A global meta-analysis of soil salinity prediction integrating satellite remote sensing, soil sampling, and machine learning. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60, 1-15.
30. Tomislav Hengl. (2018). Soil pH in H2O at 6 standard depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m resolution (Version v02) [Data set]. Zenodo.
31. Vahidi, M. J., Behdani, M. A., Servati, M., & Naderi, M. (2023). Fuzzy-based models' performance on qualitative and quantitative land suitability evaluation for cotton cultivation

in Sarayan County, South Khorasan Province, Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 195(4), 488.

32. vatanparast,F. and Sobhani,B. (2019). Potential of suitable areas for cotton cultivation in Ardabil Province, Seventh Scientific Research Conference on Development and Promotion of Agricultural Sciences and Natural Resources of Iran, Tehran[in persian].
33. Wang, W., & Sun, J. (2024). Estimation of soil salinity using satellite-based variables and machine learning methods. Earth Science Informatics, 17(6), 5049-5061.
34. Wimalasiri, E. M., Jahanshiri, E., Suhairi, T. A. S. T. M., Udayangani, H., Mapa, R. B., Karunaratne, A. S., ... & Azam-Ali, S. N. (2020). Basic soil data requirements for process-based crop models as a basis for crop diversification. Sustainability, 12(18), 7781.