

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.128229.2659
 جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه ۱۷۷-۱۶۲ (۱۴۰۰) شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1400.37.162.105.1.1662.1610

پهنه‌بندی کشت چهار گونه دارویی در سطح دشتهای حوضه آبریز دریاچه نمک براساس شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی

عباس پورمیدانی^{۱*}، حسین توکلی‌نکو^۲ و مهدی قمقامی^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران، پست الکترونیک: abbas.pourmeidani@gmail.com

۲- استادیار، بخش تحقیقات جنگلها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قم، ایران

۳- دانش‌آموخته دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۹

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۹

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۸

چکیده

از آنجا که سرزمین ایران همواره با نوسان و کاهش نزولات آسمانی روبرو بوده و از سوی دیگر برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب به کاهش شدید منابع آب زیرزمینی منجر شده است، کشت گیاهان دارویی می‌تواند به خروج از وضعیت بحران کم‌آبی کمک نماید. این پژوهش با هدف تعیین تناسب اکولوژیک کشت چهار گونه دارویی شامل گل‌محمدی (*Rosa damascena* Mill.)، زعفران (*Crocus sativus* L.)، آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) در ۳۶ دشت واقع در حوضه آبریز دریاچه نمک انجام شد. روش‌شناسی پژوهش شامل جمع‌آوری، بازسازی و کنترل کیفی اطلاعات و شبیه‌سازی اقلیمی، محاسبه شاخص‌های اگروکلیماتولوژی و برآورد سهم کشاورزی از منابع آبی به تفکیک هر دشت و همچنین برآورد نیاز آبی گیاه، تعیین بیلان رطوبتی، تهیه لایه‌های مطلوبیت و عدم مطلوبیت کشت و در نهایت روی هم‌گذاری لایه‌ها و تولید اراضی زراعی مناسب برای کشت این گیاهان بود. شبیه‌سازی اقلیمی با روش بازنمونه‌گیری هدفمند برای تولید سناریوهای مختلف طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ انجام شد. همه مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف، کاهش بارندگی و افزایش دمای بیشینه و کمینه را پیش‌بینی کردند. مدل EC-EARTH تحت سناریوی RCP2.6 بیشترین درصد کاهش بارندگی (حدود ۲۳٪) و بیشترین افزایش دما را پیش‌بینی کرد. اراضی کشاورزی دشت شریف‌آباد، بخش‌های شمالی اراضی کشاورزی دشت قم- کهک، اراضی شرقی دشت ساوه، اراضی شمالی دشت کاشان و اراضی جنوبی دشت ورامین به دلیل شوری و تنش گرمایی برای کشت هر چهار گونه نامطلوب بودند. کشت زعفران و گل‌محمدی در بیشتر دشتهای حوضه آبریز دریاچه نمک وضعیت مطلوب یا بسیار مطلوب داشت.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، تغییر اقلیم، تناسب اکولوژیک، دما، گیاهان دارویی.

مقدمه

کیلومترمربع و شامل رودهایی است که به دریاچه نمک منتهی می‌شوند. حوضه دریاچه نمک از شمال به کوه‌های البرز، از غرب به کوه‌های زاگرس، از جنوب به کوه کرکس و

حوضه آبریز دریاچه نمک زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی ایران است. مساحت این حوضه ۹۲۵۶۳

اقلیم هستند، از این رو ضروریست تغییرات اقلیمی به خوبی پیش‌بینی شده و پهنه‌بندی کشت براساس آن انجام شود.

Shahoei و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر داده‌های دما و باران در حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه پرداختند. برای این منظور با استفاده از داده‌های اقلیمی دما و بارندگی طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۹ (دوره مشاهداتی)، مقادیر این متغیرها در سال‌های ۲۰۴۱-۲۱۰۰ (دوره پیش‌بینی) تحت سه سناریوی RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 و مدل گردش عمومی جو CanESM2 پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که مقادیر میانگین بارندگی سالانه، دماهای حداکثر و حداقل سالانه در حوضه روانسر سنجابی در دوره پیش‌بینی افزایش خواهند یافت.

در تحقیق دیگری Gholami و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات اقلیمی آینده را با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف در حوزه آبخیز تالار استان مازندران پیش‌بینی کردند. براساس نتایج، ماه‌های می و اکتبر دارای بیشترین تغییرات بارش و ماه‌های جولای و آگوست دارای تغییرات شدید کاهشی به‌ویژه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۵ در دوره‌های آینده حوزه مطالعاتی بودند. از لحاظ دمایی نیز ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر با افزایش درجه حرارت در دوره‌های آینده و ماه‌های ژانویه و فوریه نیز دارای کمترین میانگین دمای شبیه‌سازی شده آینده بودند.

Izadi و همکاران (۲۰۱۹) از مدل رشد گیاهی AquaCrop به منظور شبیه‌سازی عملکرد محصول سیب‌زمینی در سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه در شرایط تغییر اقلیم در منطقه شهرکرد استفاده کردند. برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول، داده‌های خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ توسط مدل آماری LARS-WG ریزمقیاس‌نمایی و به‌عنوان ورودی‌های مدل رشد بکار برده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد عملکرد محصول سیب‌زمینی

از شرق به دشت کویر محدود می‌شود و بخش‌هایی از استان‌های تهران، البرز، قزوین، زنجان، مرکزی، همدان، اصفهان، سمنان و قم را دربرمی‌گیرد. شیب تدریجی این حوضه به سوی شرق است و سه چاله اصلی آن شامل دریاچه نمک، دریاچه حوض سلطان و کویر میغان هستند (Rezaei et al., 2017).

در کنار انواع گونه‌های زراعی و باغی، گونه‌های دارویی از اهمیت و بهره‌وری خاصی برخوردار هستند. این گونه‌ها عموماً دارای نیاز آبی کم و سازگاری بالایی با شرایط خشکی هستند (Harish et al., 2012; Das et al., 2016). از آنجا که ایران طی سال‌های اخیر با کاهش نزولات آسمانی روبرو بوده و از سوی دیگر برداشت‌های بی‌رویه از منابع زیرزمینی به کاهش شدید این منابع منجر شده است، توصیه کشت گونه‌های دارویی به‌عنوان جایگزینی برای محصولات آب‌بر می‌تواند تا حد قابل توجهی به خروج از وضعیت بحران کم‌آبی کمک کند. به‌عنوان مثال نیاز آبی زعفران ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار طی دوره رشد است، در حالیکه گندم و یونجه به ترتیب ۶۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار آب نیاز دارند (Heuze & Tran, 2019). همچنین گیاهان دارویی از جنبه تجاری و نیز تقاضای مصرف در جامعه از اهمیت به‌سزایی برخوردار هستند. بسیاری از انواع گیاهان دارویی به‌صورت خودرو در سطح دشت‌ها وجود دارند و کشت وسیع آنها می‌تواند میزان قابل توجهی از نیاز جامعه را مرتفع نموده و فشار بر مراتع و رویشگاه‌های طبیعی را کاهش دهد.

البته پیشنهاد کشت جایگزین به کشاورزان باید بر پایه پشتوانه علمی باشد. این پشتوانه شامل بررسی تناسب کشت گونه‌های پیشنهادی از نظر اکولوژیک و اقتصادی است. جنبه‌های اکولوژی کشت یک گونه شامل ویژگی‌های خاک، اقلیم و کمیت و کیفیت منابع آب در دسترس است. از آنجایی که انتظار می‌رود اقلیم جهانی به‌علت افزایش مستمر سطوح دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای تغییر معنی‌داری داشته باشد و از سویی ذخایر آبی و میزان عملکرد زراعی تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تغییرات

سالانه، بیشترین تأثیر و پارامتر شیب کمترین تأثیر را بر کمیت و کیفیت گیاه گل محمدی داشتند. همچنین براساس نقشه پهنه‌بندی، نواحی شمال، مرکز و نواحی غربی استان اصفهان به ترتیب با ۳۸، ۱۵/۶ و ۱۱٪ بیشترین مناطق مستعد کشت این گیاه را در خود جای دادند.

Pourhadian (۲۰۱۷) معتقد است شناخت استعداد هر منطقه برای کشت گیاه مناسب کمک شایانی به استفاده بهینه از عوامل مؤثر بر تولید محصول می‌کند. این امر به کمک پهنه‌بندی با استفاده از GIS به خوبی امکان‌پذیر است. او در تحقیقی استعداد استان مازندران برای کشت دیم گیاه دارویی گل گاوزبان را به کمک عوامل اقلیمی مانند بارش، دمای متوسط، دمای حداکثر و دمای حداقل مورد پژوهش قرار داد. ابتدا اطلاعات اقلیمی یادشده از ایستگاه‌های سینوپتیک استان مازندران جمع‌آوری و به کمک میان‌یابی فاصله معکوس وزن‌دار در محیط GIS به لایه رستری تبدیل شدند. براساس نیاز اکولوژیکی گیاه گل گاوزبان طبقه‌بندی گردید. سپس با ترکیب این لایه‌ها، لایه نهایی استعدادسنجی منطقه بدست آمد. در نهایت این لایه به چهار طبقه مطلوب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب تقسیم شد. نتایج نشان داد ۱۴۸۳۶۸ هکتار از اراضی زراعی این استان دارای استعداد مطلوب، ۳۶۸۲۲۵ هکتار دارای استعداد نسبتاً مناسب و ۲۹۲۰ هکتار دارای استعداد نامناسب برای کشت دیم گیاه دارویی گل گاوزبان بودند. طبقات ضعیف و نامناسب در شهرستان نور، نوشهر و سوادکوه به دلیل پایین بودن دمای متوسط و دمای حداقل ایجاد شدند.

Mehrabi و همکاران (۲۰۱۴) معتقدند میزان تولید محصولات کشاورزی همبستگی بالایی با نزولات جوی و مناسب بودن شرایط آب و هوایی در هر سال دارد. آنان در پژوهشی برای پهنه‌بندی قابلیت‌های اقلیمی کشت شیرین‌بیان، نقشه‌های هم احتمال دما، بارندگی و یخبندان را با یکدیگر هم‌پوشانی داده و قبل از تلفیق این لایه‌ها به هریک از آنها فاکتور وزنی اختصاص دادند. آنان پس از تلفیق لایه‌ها و تحلیل آنها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS9.3 نقشه نهایی مکان‌های مناسب کشت شیرین‌بیان را

برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریو A2 به ترتیب ۱۵/۸٪ و ۲۴/۵٪ و تحت سناریو B1 به ترتیب ۱۱/۸٪ و ۲۲/۴٪ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد.

استفاده از داده‌های اقلیمی برای تعیین پهنه‌بندی کشت محصولات مختلف توسط برخی محققان در کشور انجام شده است. هر چند این موضوع بیشتر براساس داده‌های موجود و گذشته بوده و کمتر از پیش‌بینی اقلیمی در این زمینه استفاده شده است. همچنین در این تحقیقات اغلب پهنه‌بندی کشت محصولات زراعی و باغی انجام شده است. Sharokhvandi و همکاران (۲۰۱۳) برای پهنه‌بندی کشت ذرت دانه‌ای از عناصر اقلیمی دما، رطوبت نسبی، درجه روز رشد موجود در ده ایستگاه سینوپتیک و پارامترهای محیطی شیب و pH خاک استفاده نموده و نقشه پهنه‌بندی اراضی مستعد کشت ذرت دانه‌ای را در استان لرستان تهیه کردند. نتایج آنان نشان داد ۲/۳۴ درصد از مساحت استان برای کشت ذرت دانه‌ای مستعد، ۸/۵۵٪ نیمه‌مستعد، ۱۳/۰۸٪ با استعداد ضعیف و ۷۶/۰۳٪ دارای شرایط نامناسب بود. Mirmousavi و Mirian (۲۰۱۴) در تحقیقی پهنه‌بندی کشت پسته در استان زنجان را با استفاده از سیستم‌های سنجش از دور و براساس داده‌های هواشناسی و جغرافیایی انجام دادند. در گزارش آنان مناطق مختلف استان زنجان از نظر استعداد برای توسعه کشت پسته تعیین گردید.

Mirmohammadsadeghi و همکاران (۲۰۱۹) به منظور مکان‌یابی مناطق مستعد کشت گیاه گل محمدی، معیارهای اقلیمی، توپوگرافی و اجتماعی-اقتصادی را به عنوان معیارهای مؤثر در کشت گیاه مذکور انتخاب و به کمک فرایند تحلیل شبکه‌ای وزندهی نمودند. سپس از سامانه اطلاعات جغرافیایی برای رقوم‌سازی و تلفیق لایه‌ها استفاده نموده و پس از تشکیل پایگاه اطلاعات فضایی منطقه، اطلاعات توصیفی نقشه‌ها به آنها اضافه شد. هم‌پوشانی وزنی در محیط GIS انجام گردید و در نهایت پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گل محمدی انجام شد. نتایج نشان داد سه عامل بارش سالیانه، ارتفاع و دمای میانگین

زراعی مناسب برای کشت گونه‌های مورد بررسی بود. حوضه آبریز دریاچه نمک دارای ۳۶ محدوده مطالعاتی است که در بیشتر آنها فعالیت کشاورزی انجام می‌شود. در این پژوهش طیف وسیعی از داده‌ها شامل: داده‌های رقومی حوضه و دشت‌ها، داده‌های ۲۲ ایستگاه سینوپتیک، خروجی مدل‌های اقلیمی تحت سناریوهای مختلف، داده‌های ۱۰۴ ایستگاه هیدرومتری پوشش‌دهنده حوضه آبریز دریاچه نمک، داده‌های مصارف آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات، داده‌های میزان شوری منابع آب به تفکیک دشت، اطلاعات آستانه‌ای و توصیفی گیاهان دارویی مورد نظر و تصاویر ماهواره Landsat8 بود. برخی از این اطلاعات مانند نقشه حوضه آبریز دریاچه نمک از ابتدا به صورت داده‌های رقومی در دسترس بودند (شکل ۱- الف) و یا طی فرایند رقومی‌سازی به فرمت رقومی تبدیل شدند که شامل نقشه استان‌های واقع در حوضه (شکل ۱- ب) و نقشه محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه نمک شامل ۳۶ محدوده بود.

انتخاب ایستگاه‌های سینوپتیک براساس کیفیت آمار موجود در دوره آماری مشترک ۲۵ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۶ میلادی) و پراکنش مناسب ایستگاه‌ها بود. براساس دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۶)، مجموعه زمانی داده‌های روزانه برای دوره ۲۵ ساله (۲۰۱۱-۲۰۳۵) شبیه‌سازی شده و در فرایند پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

در این پژوهش خروجی مدل GFDL-M2M به عنوان خروجی مدل اقلیمی انتخاب شد. این خروجی که با عنوان MENA نیز شناخته می‌شود، با استفاده از نسخه اول مدل RCA4 برای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا و با دقت مکانی ۰/۲۲ درجه در امتداد طول و عرض جغرافیایی و دقت زمانی روزانه ریزمقیاس شده است. با استفاده از مدل مذکور سه پارامتر بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه بارگذاری و برای رفع خطاهای مدل دسته‌بندی شدند. داده‌ها به دو دسته کلی شامل دوره تاریخی مدل و پیش‌بینی آینده اقلیمی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 طبقه‌بندی شدند.

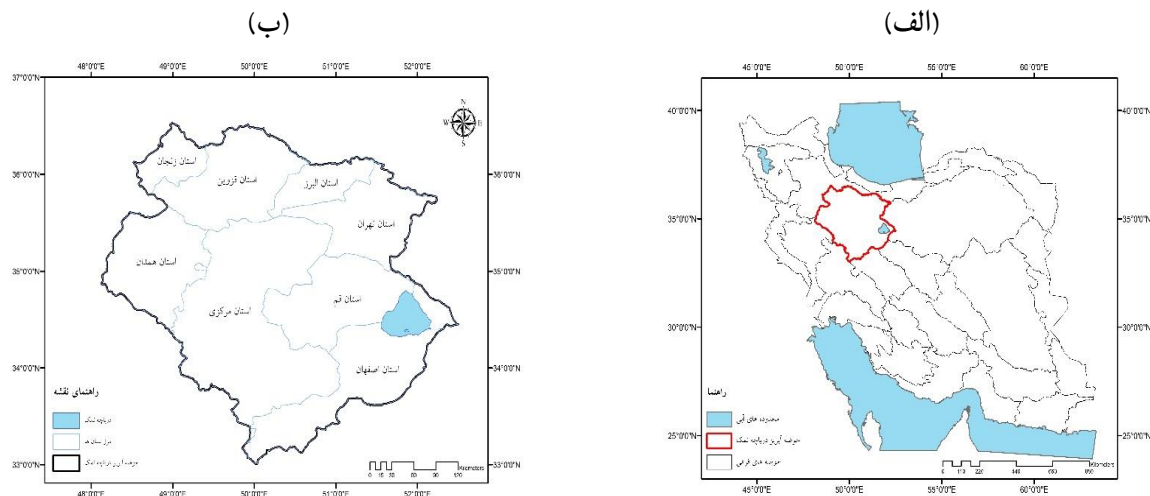
براساس قابلیت‌های اقلیمی در شهرستان اراک استخراج نمودند. این تحقیق وضعیت منابع اقلیمی منطقه مورد مطالعه را برای توسعه کشت شیرین بیان مناسب نشان داد. Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) تحقیقی با هدف تعیین تناسب کمی و اقتصادی اراضی تربت‌حیدریه (جلگه رخ) خراسان رضوی برای محصولات گندم (*Triticum aestivum*) و زعفران (*Crocus sativus*) انجام دادند. بدین منظور مشخصات اقلیمی و خصوصیات خاک منطقه با نیازهای هر محصول مقایسه گردید و تناسب کمی براساس میزان عملکرد واقعی در هر واحد اراضی و ارزیابی اقتصادی براساس سود ناخالص در واحد سطح انجام شد. نتایج تناسب کیفی نشان داد، با وجود آنکه در منطقه شاخص اقلیم و قابلیت تولید محصولات بالاتر بود ولی به دلیل محدودیت ویژگی‌های خاک، تناسب کیفی اراضی متوسط (S2) بود. البته این محدودیت برای زعفران بیشتر بود.

هدف از اجرای این پژوهش تعیین تناسب اکولوژیک کشت چهار گونه گیاهان دارویی شامل: گل محمدی (*Rosa damascena* Mill)، زعفران (*Crocus sativus* L.)، آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) در ۳۶ دشت مهم ایران واقع در حوضه آبریز دریاچه نمک به عنوان یکی از راهبردی‌ترین حوضه‌های آبریز کشور است.

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی پژوهش دارای دو مرحله شامل

جمع‌آوری، بازسازی و کنترل کیفی اطلاعات و شبیه‌سازی‌های اقلیمی براساس سناریوهای تغییر اقلیم، محاسبه شاخص‌های اگروکلیماتولوژی و برآورد سهم کشاورزی از منابع آبی به تفکیک هر دشت و بعد مطالعات به صورت گیاه ویژه و شامل برآورد نیاز آبی گیاه، تعیین بیلان رطوبتی، تهیه لایه‌های مطلوبیت و عدم مطلوبیت کشت و در نهایت روی هم‌گذاری لایه‌ها و تولید نقشه اراضی



شکل ۱- الف) نقشه رقومی حوضه‌های فرعی ایران، ب) نقشه حوضه آبریز دریاچه نمک و استان‌های داخل حوضه

و چشمه است. بیشتر اراضی زیرکشت در این حوضه به‌طور خاص آب را از چاه برداشت می‌کنند، از این‌رو برای دستیابی به میزان منابع آب در دسترس بخش کشاورزی یکی از مؤلفه‌های مهم دستیابی به اطلاعات برداشت آب از منابع زیرزمینی است. برای استخراج حجم آب زیرزمینی در دسترس بخش کشاورزی برای هر محدوده مطالعاتی، میانگین سالانه داده‌های آب برداشتی از هر تعداد چاه، قنات و چشمه از بدو آماربرداری یا تأسیس تا زمان فعلی محاسبه و به‌عنوان حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی منظور شد.

البته میانگین شوری چند سال گذشته می‌تواند معرف مناسبی از شوری آن محدوده باشد. از داده‌های نقطه‌ای میزان شوری برای دستیابی به نقشه رقومی تغییرات شوری منابع آب استفاده شد. وزارت نیرو برای هر منطقه از کشور در هر سال به روش تبیین عدد معرف شوری ارائه داده است (Qureshi et al., 2007). برای تولید لایه رستری پوشش‌دهنده حوضه آبریز دریاچه نمک علاوه بر اطلاعات ۳۶ محدوده موجود در حوضه، اطلاعات شوری ۱۶ محدوده مطالعاتی مربوط به حوضه‌های همسایه نیز استخراج گردید. شواهد نشان داد که تغییرات شوری از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی الگوی افزایشی داشت، به‌نحوی که کمترین

داده‌های دوره تاریخی مدل از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ و داده‌های پیش‌بینی آینده تحت سناریو مورد بررسی بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ را پوشش می‌دهند (Giorgi et al., 2009). در این پژوهش فقط از داده‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۵ استفاده شد. هدف از بکارگیری این داده‌ها استخراج میزان تغییرات اقلیمی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۵ نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۶ و اعمال این تغییرات به مجموعه زمانی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک بود. این داده‌ها به‌صورت نقطه شبکه برای حوضه استخراج شده و بعد میانگین مکانی نقطه شبکه برای هر متغیر و دو دوره آماری بدست آمد.

برای دستیابی به برآورد دقیقی از میزان حجم منابع آب سطحی به تفکیک هر دشت، حجم دبی متوسط پنج سال (۱۳۸۹-۱۳۹۳) ایستگاه‌های هیدرومتری محاسبه شد (Ensaifi Moghadam, 2004)، با توجه به اینکه برخی از ایستگاه‌ها روی یک رودخانه مشترک قرار گرفته‌اند، براساس موقعیت جغرافیایی آنها و آگاهی اولیه از مشخصات توپوگرافی حوضه آبریز، این ایستگاه‌ها ادغام شده و ایستگاه با بیشترین دبی به‌عنوان معرف آن رودخانه در نظر گرفته شد.

بیشترین سهم برداشت از منابع آبی در حوضه آبریز دریاچه نمک مربوط به منابع زیرزمینی اعم از چاه، قنات

ماهیت تصادفی.

شاخص‌های اگروکلیماتولوژی

برای دستیابی به لایه تنش‌های گرمایی و سرمایی، در گام نخست براساس میزان تحمل آستانه دمایی بالا و پایین، درصد فراوانی وقوع تنش‌های گرمایی و سرمایی از مجموعه زمانی داده‌های دمای هوای خروجی مولد هواشناسی (دوره آماری ۲۰۳۵-۲۰۱۱) برای همه ایستگاه‌های سینوپتیک بدست آمد. ملاک دامنه مجموعه زمانی در طول سال برای گیاهان یک‌ساله دوره رشد گیاه و برای گیاهان چندساله کل سال بود. مزیت نگاه درصدی به وقوع تنش‌های گرمایی و سرمایی این است که امکان تولید نقشه‌های مطلوبیت ایجاد می‌شود. اختصاص درجه مطلوبیت براساس جدول ۱ مشخص شد.

جدول ۱- درجه‌بندی مطلوبیت کشت گیاهان دارویی از نظر

تنش‌های گرمایی و سرمایی

کد مطلوبیت	میزان مطلوبیت	دامنه (%)
۱	بسیار مطلوب	۰-۲۵
۲	مطلوب	۲۶-۵۰
۳	نیمه‌مطلوب	۵۱-۷۵
۴	نامطلوب	۷۶-۱۰۰

در گام بعدی با کمک روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزار ArcMap نقشه پراکنش درصد فراوانی تنش‌های گرمایی و سرمایی به صورت یک لایه رستری تولید و بعد لایه رستری مربوط به حوضه آبریز دریاچه نمک از لایه اصلی استخراج شد. پس از آن طبقه‌بندی دوباره لایه رستری براساس آستانه‌های جدول لایه رستری مربوط به حوضه آبریز دریاچه نمک در چهار طبقه انجام گردید. این فرایند هم برای تنش‌های گرمایی و هم برای تنش‌های سرمایی اجرا شد. شبکه نقاط شوری در سطح

میزان شوری نزدیک به ۰/۴ و بیشترین میزان شوری حدود ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. مشخصات گیاه‌شناسی و اکولوژیک گیاهان دارویی مورد بررسی مانند آستانه‌های تحمل از مراجع معتبر دریافت شد (Heuze & Tran, 2019). از این اطلاعات به‌عنوان داده‌های پایه برای استخراج نقشه‌های مطلوبیت استفاده شد.

شبیه‌سازی اقلیمی

با تلفیق خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس و مولدهای هواشناسی می‌توان به شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت دست یافت (Sharif & Burn, 2006). در این پژوهش از روش بازنمونه‌گیری هدفمند برای تولید سناریوهای ایستگاهی طی دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۱ استفاده شد. با توجه به کارایی مولد هواشناسی در شبیه‌سازی مناسب نرمال درازمدت اقلیمی و انطباق معنی‌دار آن با نرمال تاریخی، میزان تغییرات اعمال شده در مجموعه مشاهده شده از طریق تکنیک باز نمونه‌گیری هدفمند، می‌تواند با اجرای مولد مذکور به مجموعه شبیه‌سازی شده داده‌های هواشناسی انتقال یابد و منجر به ساخت مجموعه‌های مصنوعی با اعمال تغییر اقلیم شود. در این پروژه ایران فقط در خروجی سه مدل اقلیم جهانی مورد ریزمقیاس‌نمایی قرار گرفته که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.

۱- داندود داده‌های CORDEX با سه مدل اقلیمی و تحت سناریوهای مختلف دوره آینده (۲۰۳۵-۲۰۱۱) با دوره تاریخی (۲۰۱۰-۱۹۸۶)؛

۲- استخراج مکانی نقطه شبکه‌های مربوط به حوضه آبریز دریاچه نمک؛

۳- بررسی میزان تغییرات سه متغیر بارندگی روزانه، دمای بیشینه و دمای کمینه در دوره آینده نسبت به دوره تاریخی؛

۴- اعمال تغییرات به مجموعه داده‌های ایستگاهی براساس بدینانه‌ترین سناریو به روش بازنمونه‌گیری هدفمند؛

۵- اجرای مولد هواشناسی برای تولید داده‌های با

استخراج اراضی زراعی

برای استخراج اراضی زیر کشت در حوضه آبریز دریاچه نمک از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 مربوط به سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میلادی و فصل سبزی‌نگی استفاده شد (National Aeronautics and Space Administration, 2020). برای این منظور از شاخص پوشش گیاهی سنجش از دور NDVI و نرم‌افزارهای ENVI و ARCMAP استفاده شد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 OLI برای روزهای خاص در فصل رشد (اردیبهشت و خرداد) دانلود و پس از بازکردن تصاویر در محیط ENVI تصحیحات رادیومتریک بر تصاویر اعمال و شاخص NDVI براساس باندهای سه و چهار محاسبه گردید. سپس طبقه‌بندی دوباره تصویر شاخص NDVI (مقدار آستانه ۰/۳)، ارسال تصویر طبقه‌بندی شده به محیط ARCMAP، تبدیل محیط رستری به محیط وکتوری و تولید پلی‌گون و جداسازی پلی‌گون‌های مربوط به اراضی زراعی انجام شد. در نهایت با به‌هم پیوستن پلی‌گون‌های مستخرج از تصاویر مختلف، فایل پلی‌گون اراضی زراعی حوضه آبریز دریاچه نمک تولید شد.

فرایند روی هم‌گذاری

این فرایند به صورت گیاه ویژه انجام شد. ابتدا براساس آستانه تحمل هر گیاه، برای هر عامل محدودکننده چهار سطح مطلوبیت تعیین گردید. سپس یک نقشه وکتوری برای هر گیاه و هر عامل محدودکننده که در آن پلی‌گون‌هایی با ارزش یک تا چهار داشت، استخراج شد. این فرایند برای چهار عامل شوری، بیلان آب، دمای کمینه و دمای بیشینه انجام گردید که نتیجه آن چهار نقشه و هریک با چهار پلی‌گون براساس سطح مطلوبیت بود. پس از آن با روی هم‌گذاری چهار نقشه اول، نقشه پنجم بدست آمد که هر پلی‌گون در آن چهار ارزش مربوط به چهار عامل فوق را داشت. به طوری که با شرط‌گذاری می‌توان پلی‌گون‌های مربوط را تقسیم‌بندی نمود. این شرط‌گذاری براساس وقوع

حوضه آبریز (۵۲ نقطه) تهیه و با کمک روش کریجینگ درونیابی انجام شد. فرایند استخراج روی لایه رستری اصلی انجام گردید. برای طبقه‌بندی دوباره، لایه رستری و پلی‌گون‌های مطلوبیت برای هر گیاه تولید شد (جدول ۲).

جدول ۲- درجه‌بندی مطلوبیت کشت گیاهان دارویی از نظر شوری

محدوده لایه رستری	میزان مطلوبیت	کد مطلوبیت
$EC_{crop} > 60\%$	بسیار مطلوب	۱
$60\% < EC_{crop} < 75\%$	مطلوب	۲
$75\% < EC_{crop} < 90\%$	نیمه‌مطلوب	۳
$EC_{crop} < 90\%$	نامطلوب	۴

EC_{crop} : آستانه تحمل شوری گیاه

لایه بیلان آب

مهمترین عامل تعیین‌کننده بستر مناسب برای کشت یک گیاه، میزان دسترسی به منابع آب است. این عامل می‌تواند با متغیری به نام بیلان آب کمی شود. بیلان آبی در یک مزرعه اختلاف بین ورودی‌ها و خروجی‌هاست. آب ورودی به یک مزرعه شامل بارش مؤثر و دسترسی به منابع آب است و آب خروجی شامل آب مورد نیاز برای انجام فرایند کاشت، داشت و برداشت است. بر این اساس بیلان آبی براساس رابطه ۱ محاسبه شد (Amiri & Rezaei, 2013).

$$WB = Input - Output$$

رابطه ۱

$$WB = (P + V_g + V_s) - ET_c$$

که در آن P: بارش مؤثر، V_g : حجم منابع آب زیرزمینی و V_s : حجم منابع آب سطحی است. بیلان آبی به ازای یک گیاه خاص، مثبت یا منفی و یا صفر خواهد بود. اگر صفر یا منفی باشد، شرایط کشت آن گیاه وجود ندارد و اگر مثبت باشد شرایط مساعد است.

۲۶ درجه سلسیوس به ترتیب در شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه آبریز دریاچه نمک متغیر نشان داد. همچنین کمینه سالانه دما از ۴ تا ۱۲ درجه سلسیوس به ترتیب در غرب و شرق حوضه آبریز دریاچه نمک متغیر بود. مساحت اراضی زیرکشت در حوضه آبریز دریاچه نمک بیش از ۱/۶۳ میلیون هکتار بود که به طور تقریبی یک هفتم مساحت کل حوضه بود.

چگونگی رخداد تغییر اقلیم

همه مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف، کاهش بارندگی و افزایش دمای بیشینه و کمینه را در حوضه آبریز دریاچه نمک طی دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۱ پیش‌بینی کردند. در مورد بارندگی، مدل GFDL تحت سناریو RCP4.5 کمترین درصد کاهش (حدود ۱۲٪) و مدل EC-EARTH تحت سناریوی RCP2.6 بیشترین درصد کاهش (حدود ۲۳٪) را پیش‌بینی کرد. در مورد دما مدل EC-EARTH بیشترین کاهش را پیش‌بینی کرد (جدول ۳). در این پژوهش خروجی مدل EC-EARTH تحت سناریوی RCP2.6 برای شبیه‌سازی اقلیم ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. همچنین دمای بیشینه حدود ۱/۱ درجه سلسیوس و دمای کمینه حدود ۰/۹ درجه سلسیوس افزایش خواهند داشت.

حداقلی بود. به معنای دیگر، وجود حداقل یک ارزش نامطلوب در یک پلی‌گون باعث نامطلوب شدن آن می‌شود. با اعمال این شرط‌ها مناطق چهارگانه تشکیل شد. مناطق بسیار مطلوب مناطقی است که هر چهار عامل دارای وضعیت بسیار مطلوب بودند. مناطق مطلوب مناطقی هستند که حداقل یک عامل وضعیت مطلوب داشته و سایر عوامل نیز وضعیت نیمه‌مطلوب و نامطلوب نداشتند. مناطق نیمه‌مطلوب حداقل یک عامل وضعیت نیمه‌مطلوب داشته و سایر عوامل وضعیت نامطلوب نداشتند و در نهایت مناطق نامطلوب حداقل در یکی از عوامل وضعیت نامطلوب داشتند. در پایان با روی هم‌گذاری پلی‌گون‌های مطلوبیت اراضی با پلی‌گون‌های اراضی زراعی، نقشه‌های مطلوبیت اراضی زراعی برای توسعه کشت هر گونه دارویی به‌طور جداگانه استخراج گردید.

نتایج

وضعیت اقلیمی و کشاورزی منطقه

براساس داده‌های هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۰ - ۱۹۸۶ بارندگی در حوضه مورد مطالعه از ۱۲۵ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال به ترتیب در جنوب شرقی و شمال شرقی حوضه متغیر بود. بیشینه دمای سالانه از ۱۴ تا

جدول ۳- تغییر متغیرهای اقلیمی در دوره ۲۰۳۵-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۰ براساس سه مدل ریزمقیاس اقلیمی

EC-EARTH			GFDL		CNRM		مدل
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	سناریو
-۲۰/۱	-۱۷/۸	-۲۳/۱	-۱۶/۳	-۱۲/۲	-۱۷/۹	-۱۶/۴	بارندگی (٪)
۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۰	۰/۷	۱/۰	۰/۹	دمای بیشینه (درجه سلسیوس)
۱/۰	۱/۰	۰/۹	۱/۰	۰/۷	۱/۰	۱/۰	دمای کمینه (درجه سلسیوس)

محدودیت‌های کشت

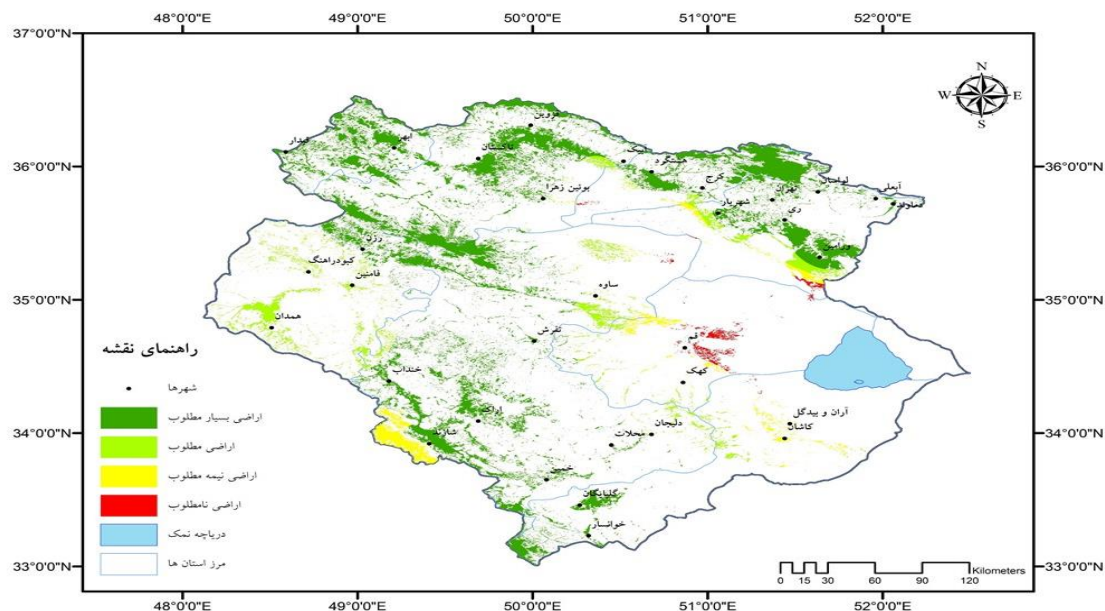
آب تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌کند. دامنه تغییرات دمایی این گیاه (۲۰-) تا ۴۴ درجه سلسیوس است. ولی میانگین دمای مناسب در طول دوره رشد گیاه ۲۶ درجه

گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.): نیاز آبی گل محمدی حدود ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار است و شوری

کهک و اراضی جنوبی دشت ورامین برای کشت گل محمدی نامطلوب بودند. اراضی شرقی دشت ساوه و اراضی شمالی دشت کاشان نیز به دلیل شوری برای کشت گل محمدی دارای وضعیت نیمه‌مطلوب بود. دشت‌های آوج، آستانه، لنگرود و نهرمیان به دلیل عامل بیلان آبی دارای وضعیت نیمه‌مطلوب بود. بخش‌هایی از اراضی دشت همدان - بهار به دلیل تنش‌های سرمایی دارای وضعیت نیمه‌مطلوب بودند. اراضی سایر دشت‌ها برای کشت گل محمدی وضعیت مطلوب و عمدتاً بسیار مطلوب داشتند (شکل ۲).

سلسیوس است و دمای بیشتر از ۳۸ درجه سلسیوس باعث کاهش کیفیت گل می‌شود. خاک سبک یا شنی و نیمه‌سنگین با زهکشی خوب، غنی از عناصر غذایی و مواد آلی با اسیدیته ۶/۵ تا ۷ برای گیاه مناسب است و شرایط ایستایی خاک برای آن مناسب نیست. مهمترین بیماری قارچی آن سفیدک پودی است (Tavakoli Neko et al., 2019).

کشت گل محمدی در بیشتر دشت‌های حوضه آبریز دریاچه نمک وضعیت بسیارمطلوب داشت. با تأثیر عوامل شوری و تنش‌های گرمایی، اراضی کشاورزی دشت شریف‌آباد، بخش‌های شمالی اراضی کشاورزی دشت قم -



شکل ۲- تناسب اکولوژیک گل محمدی (*Rosa damascena* Mill.)

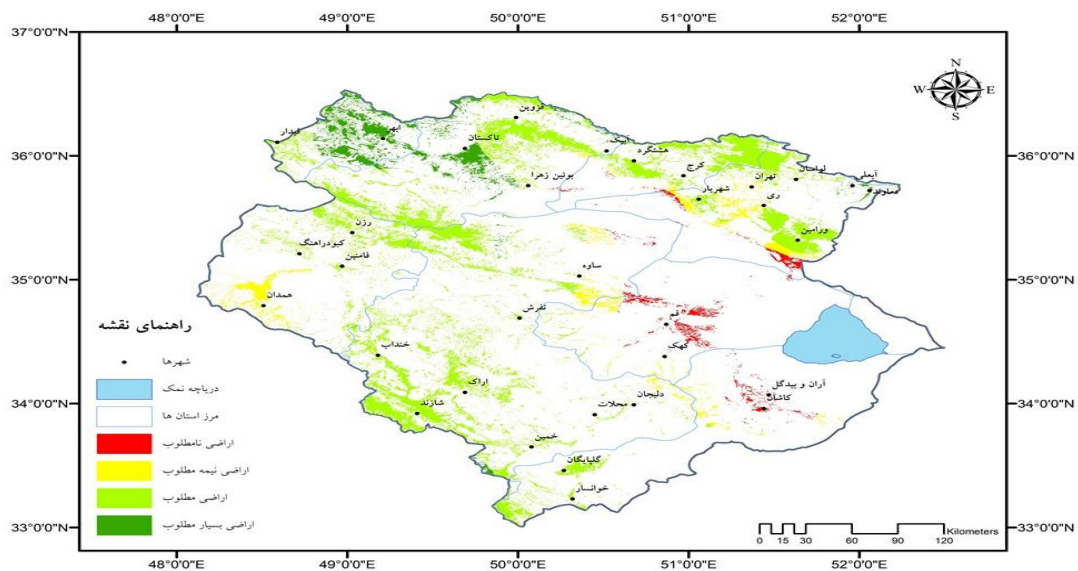
اثر دمای خاک مهمتر از دمای هواست. خاک آهکی با اسیدیته ۷ تا ۸ با بافت رسی شنی با زهکشی خوب برای کشت زعفران مناسب است. بیماری زوال زعفران و آفات کنه، موش صحرائی و خرگوش به مزارع زعفران خسارت می‌زنند (Fooladi Toroghi & Hosseini Mazinani, 2013).

بیشتر دشت‌های حوضه آبریز دریاچه نمک، برای کشت زعفران وضعیت مطلوب و یا بسیار مطلوب داشتند. در

زعفران (*Crocus sativus* L.): مناطق معتدله و خشک با آفتاب فراوان، درجه حرارت متوسط و دور از بادهای سرد و خاک مرطوب برای رشد زعفران مناسب است. نیاز آبی گیاه نسبتاً پایین و در حدود ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار است. گیاه شوری آب تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌کند. دامنه تغییرات دمایی این گیاه (۱۸-) تا ۳۰ درجه سلسیوس است، ولی دمای مطلوب در طول دوره رشد گیاه ۲۳ تا ۲۷ درجه سلسیوس است. گیاه به سرما مقاوم است و

دشت‌ها، میزان شوری و تنش گرمایی بود. در دشت همدان- بهار به دلیل وقوع تنش‌های سرمایی، برای کشت زعفران وضعیت نیمه‌مطلوب بود. سایر دشت‌ها عموماً در شرایط مطلوب و بسیار مطلوب قرار گرفت. تنها دشتی که همه اراضی زراعی آن در محدوده بسیار مطلوب قرار گرفت، دشت ابهر رود در شمال‌غربی حوضه آبریز دریاچه نمک بود (شکل ۳).

بخش‌هایی از اراضی کشاورزی دشت کاشان، اراضی شرقی دشت ساوه، اراضی کشاورزی دشت‌های کهک قم، شریف‌آباد و مسیله، اراضی جنوبی دشت ورامین و اراضی جنوب‌غربی دشت تهران- کرج شرایط نامطلوب وجود داشت. همچنین شرایط نامطلوب به‌صورت نقطه‌ای در دشت‌های زرنند ساوه، قطعه چهار، اشتهاارد و هشتگرد وجود داشت. علت وجود شرایط نامطلوب و نیمه‌مطلوب در این



شکل ۳- تناسب اکولوژیک زعفران (*Crocus sativus* L.)

(Lawrence & Tucker, 2002).

آویشن در دشت‌هایی مانند کاشان، قم- کهک و شریف‌آباد از نظر عوامل شوری و دمای بیشینه دارای وضعیت نامطلوب کشت بود. همچنین در اراضی زراعی شرق دشت‌های ساوه و زرنند ساوه و نیز در اراضی جنوبی دشت‌های ورامین، تهران و کرج نیز کشت گیاه آویشن نامطلوب گزارش شده است. چهار دشت آستانه، نهرمیان، آوج و لنگرود نیز به دلیل وجود مساحت زیاد اراضی زیرکشت و کم بودن سهم هر هکتار از منابع آبی با عامل بیلان آبی محدود شده و برای کشت آویشن نامطلوب بودند. اراضی نیمه‌مطلوب در دشت‌های قزوین، ساوه و همدان-

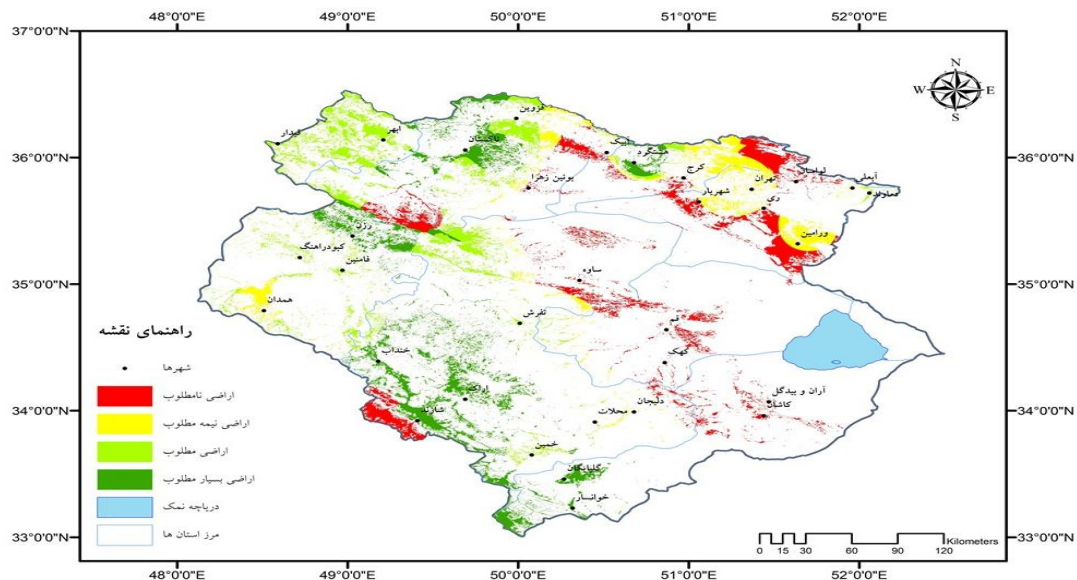
آویشن (*Thymus vulgaris* L.): گیاهی مدیترانه‌ای و حساس به غرقابی است که در سرمای زمستان اگر پوشیده از برف نباشد امکان خشک شدن گیاه وجود دارد. به هوای گرم و نور کافی در مناطق آفتابی و دامنه جنوبی تپه‌ها نیازمند است. رطوبت و آبیاری زیاد برای آویشن مناسب نیست. گیاهی خشکی‌دوست است و کم‌آبی و خشکی را تحمل می‌کند. نیاز آبی گیاه ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار است و شوری آب تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌کند. دامنه تغییرات دمایی (۲۰-) تا ۴۳ درجه سلسیوس است. خاک سبک حاوی ترکیب‌های کلسیم و با عمق زیاد سطح‌الارض با اسیدیته ۴/۵ تا ۸ برای کشت آویشن مناسب است

و شمالی دشت کاشان، اراضی شمالی دشت قم- کهک، اراضی شرقی دشت ساوه، اراضی شرقی دشت زرنده ساوه، اراضی جنوبی دشت ورامین و اراضی جنوب غربی دشت تهران- کرج به دلیل شوری کشت این گونه دارویی با وضعیت نامطلوب روبرو بود. همچنین به طور موردی اراضی جنوبی دشت هشتگرد و اراضی غربی دشت قزوین نیز وضعیت مشابه را داشت. وضعیت نامطلوب کشت این گیاه در دشت‌های آستانه، نهرمیان و لنگرود به دلیل عامل بیلان آبی است. همچنین وضعیت نامطلوب کشت در دشت همدان- بهار و نیز وضعیت نیمه‌مطلوب کشت اسطوخودوس در دشت‌های نیمه غربی حوضه آبریز دریاچه نمک عمدتاً به دلیل وقوع تنش‌های سرمایی بود. با وجود این دشت‌های محلات- دلجان، نيزار- سلفچگان، تفرش، اراضی غربی دشت ساوه و اراضی شرقی دشت نوبران و دشت‌های شمالی این حوضه آبریز برای کشت اسطوخودوس مطلوب و در دشت هشتگرد بسیار مطلوب بود (شکل ۵).

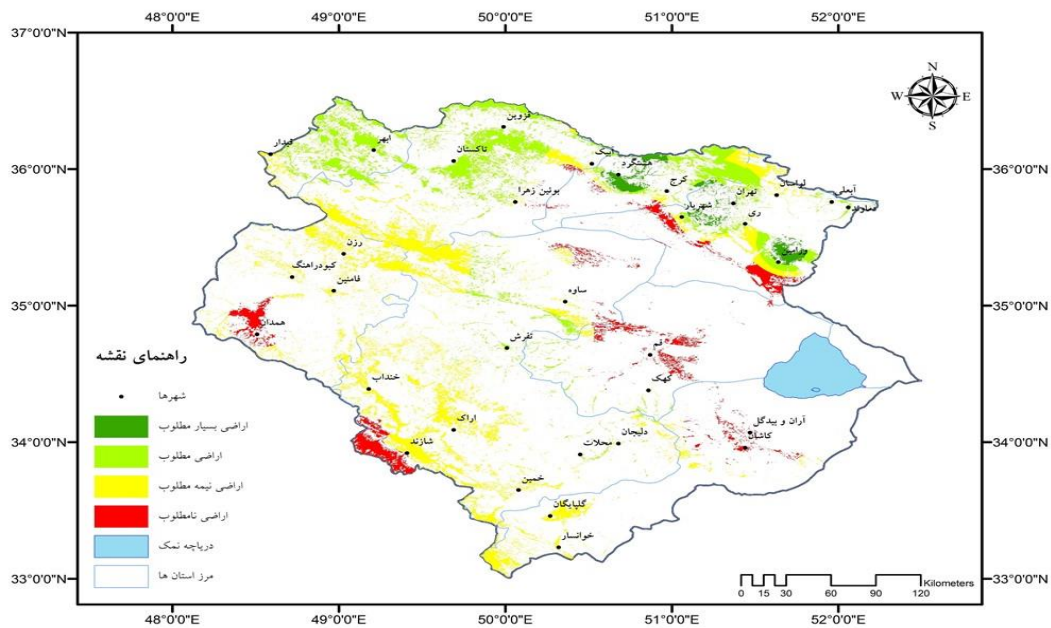
بهار وجود داشت. در سایر دشت‌ها شرایط برای کشت گیاه آویشن مطلوب و بسیار مطلوب بود (شکل ۴).

اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.): از گیاهان مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در فصل بهار هم‌زمان با رویش گیاه و تولید شاخ و برگ به سرما بسیار حساس است. کشت گیاه در زمین‌های گود و مناطق سرد مناسب نیست. نور فراوان، هوای گرم و رطوبت کم برای رشد گیاه مناسب است. نیاز آبی اسطوخودوس حدود ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار است و گیاه شوری آب تا ۵ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌کند. دامنه تغییرات دمایی این گیاه (۱۵-) تا ۴۵ درجه سلسیوس است. اسطوخودوس در هر نوع خاکی قادر به رویش است و خاک‌های سبک حاوی ترکیب‌های کلسیم و غنی از عناصر غذایی و زهکشی خوب با اسیدیته ۶/۴ تا ۸/۲ را ترجیح می‌دهد. آفت یا بیماری خاصی روی گونه‌های مختلف اسطوخودوس مشاهده نشده است (Seidler-Lozykowska et al., 2014).

اسطوخودوس در دشت‌های شریف‌آباد، اراضی مرکزی



شکل ۴- تناسب اکولوژیک آویشن (*Thymus vulgaris* L.)



شکل ۵- تناسب اکولوژیک اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.)

بحث

دارد، به طوری که از شمال به سمت جنوب کاهش بارندگی و افزایش دما مشاهده می‌شود. تغییر اقلیم باعث تشدید تنش گرمایی به ویژه در دماهای بالا شده، همچنین اثر تنش سرمایی با شیب کمتری کاهش می‌یابد.

ارزیابی وضعیت پارامترهای اقلیمی توسط سایر محققان در مناطق مختلف کشور انجام شده و کاهش بارندگی و افزایش دما توسط بیشتر محققان گزارش شده است. به طوری که Shahoei و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیق خود نتیجه گرفتند که مقادیر میانگین بارندگی سالانه، دماهای حداکثر و حداقل سالانه در حوضه روانسر سنجابی در دوره پیش‌بینی ۲۰۴۱-۲۱۰۰ افزایش خواهند بود. بیشترین مقادیر پیش‌بینی شده این متغیرها مربوط به سناریوی RCP8.5 بود. Taghinejad و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش بارش در ایستگاه‌های رشت، اهواز و زاهدان و افزایش بارش در تهران، بندرعباس، اصفهان، شهرکرد، یزد، مشهد و تبریز را در سناریوهای مختلف اقلیمی گزارش نمودند. آنان برای ایستگاه تهران روند افزایشی برای بارش و دما پیش‌بینی کردند.

با توجه به ویژگی‌های فنولوژیکی، نیازهای اکولوژیکی و

حوضه آبریز دریاچه نمک ۳۶ محدوده مطالعاتی دارد که بیشتر قریب به اتفاق آنها دارای دشت‌های کشاورزی هستند. نزدیک به یک‌هفتم مساحت حوضه آبریز را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهد که دشت‌های ورامین، قزوین، لنگرود، آستانه و نهرمیان دارای بیشترین نسبت مساحت اراضی کشاورزی به مساحت دشت هستند.

در این پژوهش همه مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف، کاهش بارندگی و افزایش دمای بیشینه و کمینه را پیش‌بینی کردند. شرایط کاهشی بارندگی و افزایشی دما به طور قطع بر شاخص‌های آگروکلیماتولوژی و به طور خاص بر مقدار بارش مؤثر در رابطه بیلان آب تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. با توجه به روند افزایشی دمای هوا و خروجی مدل‌ها در طول ۲۵ سال (۲۰۱۱-۲۰۳۵)، فراوانی تنش‌های گرمایی با گذر زمان یک روند افزایشی و فراوانی تنش‌های سرمایی یک روند کاهشی خواهد داشت. به عبارت دیگر، تغییر اقلیم باعث تشدید تنش‌های گرمایی و کاهش تنش‌های سرمایی خواهد شد. تغییرات مکانی دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه نمک یک گرادیان شمالی- جنوبی

ذرت دانه‌ای را براساس عناصر اقلیمی دما، رطوبت‌نسبی، درجه روز رشد موجود در ده ایستگاه سینوپتیک در سطح استان لرستان، پارامترهای محیطی شیب و pH خاک را انجام دادند و مناطق مستعد، نیمه‌مستعد و نامناسب را تعیین کردند. نتایج این تحقیق در مورد تأثیر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر وضعیت پهنه‌بندی کشت زعفران با نتایج Maghmi Moghim و همکاران (۲۰۱۹) انطباق دارد. آنان با استفاده از اطلاعات مربوط به زمین و خاک و داده‌های اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی استان خراسان شمالی و چهار ایستگاه سینوپتیک استان‌های مجاور و براساس اهمیت هر پارامتر با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی اعلام کردند. براساس نتایج تحقیق آنان، ۴۷/۱٪ از اراضی استان مورد مطالعه برای کاشت زعفران کاملاً مناسب و نسبتاً مناسب، ۳۵/۹۹٪ اراضی دارای تناسب بحرانی و ۱۶/۸۹٪ اراضی نامناسب هستند.

همچنین نتایج حاصل از این تحقیق در مورد تأثیر عوامل اقلیمی بر پهنه‌بندی گل محمدی با نتایج Mirmohammadsadeghi و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد. آنان در شناسایی مناطق مستعد کشت گیاه گل محمدی، معیارهای اقلیمی، توپوگرافی و اجتماعی-اقتصادی را به‌عنوان معیارهای مؤثر در کشت گیاه مذکور انتخاب و به‌کمک فرایند تحلیل شبکه‌ای وزن‌دهی نمودند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که عامل بارش سالانه و دمای میانگین بیشترین تأثیر را بر پهنه‌بندی گیاه گل محمدی داشت. آنان همچنین براساس نقشه پهنه‌بندی توانستند مناطق مستعد توسعه کشت گل محمدی را در استان اصفهان معرفی کنند.

براساس تحقیق Pourhadian (۲۰۱۷) نیز عوامل اقلیمی مانند: بارش، دمای متوسط، دمای حداکثر و دمای حداقل در مورد پهنه‌بندی کشت دیم گل گاوزبان در استان مازندران بیشترین تأثیر را داشتند. او نیز براساس تحلیل لایه‌های مختلف اطلاعاتی اقلیمی چهار طبقه مطلوب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب را در مناطق مختلف استان مازندران معرفی نمود. طبقات ضعیف و نامناسب به دلیل پایین بودن دمای متوسط و دمای حداقل ایجاد شدند.

ویژگی‌های اقلیمی منطقه، کشت زعفران، آویشن و گل محمدی در بیشتر اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه نمک مطلوب یا بسیار مطلوب ارزیابی شد. در واقع سطح کمی از اراضی کشاورزی دشت‌های این حوضه مطلوبیت لازم را برای توسعه کشت این گونه‌ها نداشت. بنابراین می‌توان برنامه توسعه کشت این گونه‌ها را در برنامه‌های اصلاح الگوی کشت و وارد نمودن گونه‌های جدید و مطلوب در منطقه مورد توجه قرار داد.

کشت گیاه اسطوخودوس در بخش‌هایی از اراضی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه نمک وضعیت مطلوب یا بسیار مطلوب داشت. هر چند سطوح مطلوب برای توسعه کشت این گونه به اندازه سه گونه دیگر نبود، اما در مناطق مستعد که شامل سطح نسبتاً وسیعی از دشت‌های مورد بررسی بود، امکان توسعه کشت فراهم شده بود.

در دشت‌هایی مانند آوج، آستانه، لنگرود و نهرمیان به دلیل بالا بودن قابل توجه نسبت مساحت اراضی زیرکشت به مساحت محدوده مطالعاتی، سهم هر هکتار از منابع آبی بسیار محدود است. در این دشت‌ها عمدتاً عامل بیلان آبی یک عامل محدودکننده است که وضعیت نامطلوب را رقم می‌زند. در مورد زعفران که نیاز آبی کمتری دارد. در این دشت‌ها وضعیت نیمه‌مطلوب وجود داشت. برای رفع این معضل توصیه می‌شود در هر سال زراعی بخشی از اراضی به حالت آیش درآید. بر این اساس کشت بیشتر گیاهان دارویی مورد بررسی در این دشت‌ها وضعیت مطلوب یا بسیار مطلوب خواهد داشت. Balyani و همکاران (۲۰۱۲) نیز در پهنه‌بندی عناصر اقلیمی و همچنین وزن‌گذاری آنها و تعیین مناطق مناسب و نامناسب استان فارس برای کشت گندم دیم نشان دادند که در بین عناصر اقلیمی بارش سالانه و نحوه توزیع آن در طول فصل رشد، همچنین درجه حرارت تراکمی مهمترین عامل در فرایند کشت گندم دیم است. عامل محدودکننده اصلی در منطقه مورد مطالعه، کمبود بارش و نیاز شدید آبی در بیشتر ایستگاه‌ها در فصل بهار هم‌زمان با مرحله پر شدن دانه بود.

Sharokhvandi و همکاران (۲۰۱۳) نیز پهنه‌بندی کشت

- Physical Geography, 5(15): 33-50.
- Das, M., Jain, V. and Makhotra, S.K., 2016. Impact of climate change on medicinal and aromatic plants: Review. Indian Journal of Agricultural Sciences, 86(11): 1375-1382.
 - Ensafi Moghadam, T., 2004. Investigation of a statistical, analysis method of climate on the basis of ACI statistical index calculation in central basin of Iran. Iranian Journal of Range and desert Research, 11(4): 449-473.
 - Fooladi Toroghi, A. and Hosseini Mazinani, M., 2013. Investigating the possibility of Saffron growth and development (*Crocus sativus* L.) in Shar-E Rey climatic condition. Plant and Ecosystem, 9(35-1): 79-90.
 - Giorgi, F., Jones, C. and Asrar, G.R., 2009. Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. WMO Bulletin, 58(3): 175-183.
 - Gholami, A., Shahedi, K., Habibneghad, M., Vafakhah, M. and Solymani, K., 2017. Forecasting and comparison of future climate change by using of GCM models under different scenarios in Talar watershed of Mazandaran Province. Journal of Rande and Watershed Management, 70(1): 196-181.
 - Harish, B.S., Dandin, S.B., Umeha, K. and Sasanur, A., 2012. Impact of climate change on medicinal plants - A review. Ancient Science of Life, 32(Suppl 1): 1-3.
 - Heuze, V. and Tran, G., 2019. Ecocrop. FAO, Rome, Italy, Available: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>, accessed 18 December, 2018.
 - Izadi, Z., Nasrolahi, A.H. and Haghghati Borujeni, B., 2019. Simulation of climate change effects on potato crop yield using AquaCrop plant growth model. Journal of Irrigation and Water Engineering, 9(3): 143-158.
 - Lawrence, B.M. and Tucker, A.O., 2002. The genus *Thymus* as a source of commercial products: 252-262. In: Stahl-Biskup, E. and Saez, F., (Eds). Thyme, The genus *Thymus*. London, CRC Press, 317p.
 - Maghmi Moghim, G., Hosseini, S., Asadi, S.M., Khani, R. and Tamlih, S., 2019. Agro-climate zonation of saffron cultivation in North Khorasan province: An approach to change the cultivation pattern. Semi-Annually Geography and Development, 17(56): 119-138.
 - Mehrabi, P., Behdani, M.A., Tajbakhsh, S.M. and Mahmoudi, S., 2014. Zoning of climatic potentials of cultivation of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) in Arak city. The 3rd National Congress on Organic and Conventional Agriculture, Ardebil, 20-21 August: 1-4.
 - Mirmohammadsadeghi, S.A., Alipoori, E. and

این تحقیق به خوبی توانست با پیش‌بینی تغییرات در پارامترهای اقلیمی و براساس این تغییرات، بهینه‌بندی کشت گیاهان مهم دارویی در پهنه وسیع حوضه آبریز دریاچه نمک را عرضه نماید. بنابراین انتظار می‌رود با در نظر گرفتن نتایج این پژوهش و در راستای مدیریت صحیح منابع آب و تأثیر تغییر اقلیم بر آن، در آینده چشم‌اندازی درست بر وضعیت منابع آب این حوضه پیش‌روی مدیران منابع آب قرار گیرد. این تحقیق با نگاهی جامع، عوامل مؤثر در انتخاب و توسعه کشت یک گونه گیاه دارویی مانند عوامل اقلیمی، وضعیت منابع آب و تأثیر شوری را در کنار یکدیگر و براساس آستانه‌های تحمل هر گیاه در نظر گرفته و با توجه به اینکه نقشه‌های خروجی دارای مقیاس مناسبی هستند، می‌تواند به خوبی توسط کشاورزان و کارشناسان مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین با اجرای برنامه‌های ترویجی و آموزشی می‌توان نسبت به توسعه کشت گیاهان دارویی در مناطق مستعد و مناسب اقدام نمود.

سپاسگزاری

این طرح پژوهشی با حمایت ستاد توسعه علوم و فناوری گیاهان دارویی و طب سنتی معاونت علمی ریاست جمهوری و مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور و با همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قم اجرا شده است، بدین‌وسیله از دست‌اندرکاران مراکز یادشده تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Abbaszadeh, M., Salari, A. and Rohani, H., 2019. Quantitative, qualitative and economic assessment of agricultural land suitability of Rokh plains Torbat Heydaryeh for saffron and wheat cultivation. Journal of Saffron Agronomy and Technology, 7(1): 93-109.
- Amiri, E. and Rezaei, M., 2013. Evaluation of water balance components and water productivity of rice under interval irrigation and nitrogen fertilizer conditions. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 4(6): 306-315.
- Balyani, Y., Hejazizadeh, Z., Faraji, A. and Bayat, A., 2012. Zoning of climate-agricultural dryland wheat using GIS, case study: Fars province. Journal of

- Seidler-Lozykowska, K., Mordalski, R., Kucharski, W., Kediza, B. and Bocianoski, J., 2014. Yielding and quality of lavender flowers (*Lavandula angustifolia* Mill.) from organic cultivation. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 13(6): 173-183.
- Shahoei, S.V., Fahiminezhad, E. and Fatehi, Z., 2020. Impact of global climate change on climate data in Ravansar Sanjabi basin, Kermanshah Province. *Environment and Water Engineering*, 6(1): 45-57.
- Sharokhvandi, S.M., Lashanizand, M. and Lorestani, H., 2013. Climate regionalization of grain corn cultivation in Lorestan province. *Journal of Physical Geography*, 18(5): 49-58.
- Sharif, M. and Burn, D.H., 2006. Simulating climate change scenarios using on improved k nearest neighbor model. *Journal of Hydrology*, 325: 179-196.
- Taghinejad, R., Hoshyaripour, M., Shourian, F. And Rahdari, M., 2019. Water resources planning under different scenarios of cultivation pattern in Najafabad plain of Isfahan. *International Conference on Dust in Southwest Asia*. Zabul, 14 June.
- Tavakoli Neko, H., Moradi, M.R. and Naeni, M.R., 2019. Economic evaluation of Damask rose (*Rosa × damascena* Mill.) cultivation. Tehran: Publication of Agricultural Education, 54p.
- Alipour, A., 2019. Investigation of climatic adaptation of regions for *Rosa damascena* cultivation using network analysis method (case study: Isfahan province). *Journal of Environment and Water Engineering*, 5(3): 264-275.
- Mirmousavi, A.H. and Mirian, M., 2014. Study and zoning of geographic characteristics of pistachio cultivation in the Zanjan province, *Journal of Geography and Planing*, 18(49): 295-315.
- National Aeronautics and Space Administration, 2020. Reverb. Available: <http://reverb.echo.nasa.gov>, accessed 29 January, 2020.
- Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turrall, H. and Javadi, A., 2007. A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. *International Water Management Institute*, 30p.
- Rezaei, A., Pirnazar, M. and Yazdzad, H., 2017. Investigation of water border changes in Qom Salt Lake with the help of satellite images and remote sensing techniques. *The 1st Conference on the Salt Lake Crisis and The Dust Phenomenon in The Central Basin of Iran*, Qom, 26-27 April: 1-9.
- Pourhadian, H., 2017. Climatic zonation of rainfed cultivation of borage in Mazandaran province. *The 1st National Conference of The role of medicinal plants in Resistive economy*. Fereydunshahr, 27-28 April: 1-8.

Zoning the plains of Salt Lake catchment for cultivation of four medicinal plant species based on climatic and hydrological indicators

A. Pourmeidani^{1*}, H. Tavakoli Neko² and M. Ghamghami³

1*- Corresponding author, Forests and Rangelands Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qom, Iran
E-mail: abbas.pourmeidani@gmail.com

1- Forests and Rangelands Research Department, Qom Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Qom, Iran

3- Ph.D. in Agricultural Meteorology, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: November 2019

Revised: August 2020

Accepted: January 2021

Abstract

Since Iran has always faced fluctuations and decreases in the rainfall, and on the other hand, the uncontrolled harvest of water resources have led to a more severe decline in the groundwater resources, the medicinal plants cultivation can help overcome the water deficit crisis. This study aimed at determining the ecological suitability of cultivation of four medicinal plants including damask rose (*Rosa damascena* Mill.), saffron (*Crocus sativus* L.), thyme (*Thymus vulgaris* L.), and lavender (*Lavandula angustifolia* L.) in 36 plains located in the Salt Lake (Namak Lake) catchment. The research methodology included the collection, reconstruction, and quality control of the information, climatic simulation, calculation of the agro-climatological indicators, and estimation of the agriculture share of water resources separately for each plain, estimation of the plant water needs, determination of the moisture balance, preparation of the suitability layers of cultivation, and finally overlaying the layers to produce the suitable/unsuitable agricultural lands for the cultivation of these plants. The climate simulation was performed by the strategic re-sampling technique to generate the different scenarios during the period 2011-2035. All the models under the different scenarios predicted a decrease in the rainfall and an increase in the maximum and minimum temperatures. The EC-EARTH model under the RCP2.6 scenario predicted the highest percentage of rainfall decrease (about 23%) and temperature increase. Due to the salinity and heat stress, the agricultural lands located at Sharifabad plain, northern parts of Qom-Kahak plain agricultural lands, eastern lands of Saveh plain, northern lands of Kashan plain, and southern lands of Varamin plain were unsuitable for the cultivation of all four medicinal species. The cultivation of saffron and damask rose in most of the plains of Salt Lake catchment was suitable or very suitable.

Keywords: Precipitation, climate change, ecological suitability, temperature, medicinal plants.