

## ارزیابی تناسب اراضی در بستر تغییرات اقلیمی (مورد مطالعه: کشت کلزا در استان آذربایجان غربی)

رشید سعیدآبادی\* - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه ارومیه  
محمدسعید نجفی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز  
شعیب آب خرابات - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۰۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۴/۱۸

### چکیده

این پژوهش به منظور به دست دادن روشی برای ارزیابی تغییرات تناسب اراضی در دوره‌های آینده با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی، برای کشت کلزا و در استان آذربایجان غربی انجام گرفته است. به این منظور، پس از شناسایی نیازهای رویشی کشت کلزا، از الگوی LARS-WG و شبکه عصبی و براساس نتایج الگوی HADCM3 و تحت دو سناریوی A1 و B1 استفاده شد. سپس نیازهای رویشی کلزا به صورت رقومی برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ و سه دوره در آینده آماده‌سازی شد. برای تعیین درجه اهمیت معیارها، از روش دیماتل و تحلیل شبکه استفاده شد. براساس نتایج، روش مطرح شده قابلیت الگوسازی اثر تغییرات اقلیمی در تناسب اراضی را دارد. اجرای این روش برای کشت کلزا نشان می‌دهد که تغییرات دما و بارش سبب کاهش اراضی بسیار مناسب و مناسب برای کشت این محصول می‌شود؛ به طوری که اراضی مناسب کشت این محصول از ۴۷ درصد در دوره پایه به ۳۴ درصد در آینده تغییر خواهد یافت. همچنین، با وجود تغییرات دما و بارش در زمینه تغییرات اقلیمی، منابع زمینی در هر دوره به مثابه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نیازهای رویشی در تولید محصولات زراعی تأثیر بسزایی دارد.

کلیدواژه‌ها: آذربایجان غربی، تحلیل شبکه، تغییر اقلیم، سنجش تناسب اراضی، کلزا.

### مقدمه

براساس گزارش IPCC و باتوجه به روند انتشار گازهای گلخانه‌ای، تا پایان سده حاضر مقدار دما تغییرات چشمگیری خواهد داشت (IPCC, 2013) که این رخداد سبب تغییراتی در دیگر فراسنجه‌های اقلیمی، منابع آب، کشاورزی، اقتصاد، تنش‌های منطقه‌ای و جهانی، گردشگری و ... در مقیاس منطقه‌ای و جهانی خواهد شد (باباییان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۳۶). کشاورزی یکی از حساس‌ترین بخش‌ها به تغییر فراسنجه‌های اقلیمی است؛ به گونه‌ای که با کوچک‌ترین تغییر در عواملی رویشی گیاهان، فرایندهای رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عملکرد و کیفیت این محصولات به طور چشمگیری دچار تغییر می‌شود (هاتفیلد و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۵۳). برای نمونه، افزایش غلظت CO<sub>2</sub> فتوسنتز را

\* E-mail: rashidaseidabadi@gmail.com

تحریک می‌کند و از سوی دیگر، سبب تغییر در هدایت روزه‌های و در نتیجه، تغییر در کارایی مصرف آب خواهد شد (قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹: ۱۸). در عین حال، ذکر این نکته ضروری است که بخش کشاورزی یکی از عوامل مهم تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود؛ به طوری که تخریب جنگل‌ها، زهکشی مرداب‌ها، سوزاندن کاه و کلش، افزایش احشام، کودپاشی با کودهای نیتروژنه از مهم‌ترین فعالیت‌های کشاورزی است که سبب انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (رجبی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۴).

باتوجه به چنین شرایطی، کاهش بیش از اندازه منابع طبیعی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی انسان سده بیست و یکم است که به همراه پاره‌ای از عوامل دیگر همچون رشد فزاینده جمعیت، افزایش آلودگی‌ها، توزیع نامتعادل منابع و ... در آینده سبب ایجاد بحرانی جهانی خواهد شد (میرمحمدی، ۱۳۸۶: ۸۶)؛ بنابراین ضرورت برنامه‌ریزی فضایی مناسب و متوازن با قابلیت اراضی برای تأمین نیاز اولیه بشر - یعنی مواد غذایی و تولیدات کشاورزی که منبع اصلی غذای جمعیت جهان در حال رشد است، بسیار مهم است (شائمی بزرگی و نوخندان، ۱۳۸۷: ۶۴). از این رو، بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر عملکرد محصولات زراعی ممکن است به گسترش راهکارهای لازم کمک کند که در نتیجه آن سبب عملکرد بهتر و پایداری بیشتر محیط می‌شود (قلی‌پور و سلطانی، ۲۰۰۹: ۱۶). اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، مدیریت شاخص‌هایی چون، آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و فناوری‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی و تغییر آنها بر کاهش اثرهای زیان‌بار تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی تأثیر بسزایی دارد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۳). برای نمونه، کوچکی و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر شاخص‌های اگروکلیماتیک ایران با استفاده از الگوهای گردش عمومی، تغییرات چشمگیر طول فصل رشد و الگوهای بارش هم‌زمان با افزایش درجه حرارت را در اغلب مناطق کشور پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین، نتایج پژوهش حجارپور و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که تغییر اقلیم موجب افزایش ۸۹ درصدی عملکرد دانه نخود در شرایط دیم و کاهش ۳۳ درصدی آن در شرایط آبی در استان کرمانشاه خواهد شد.

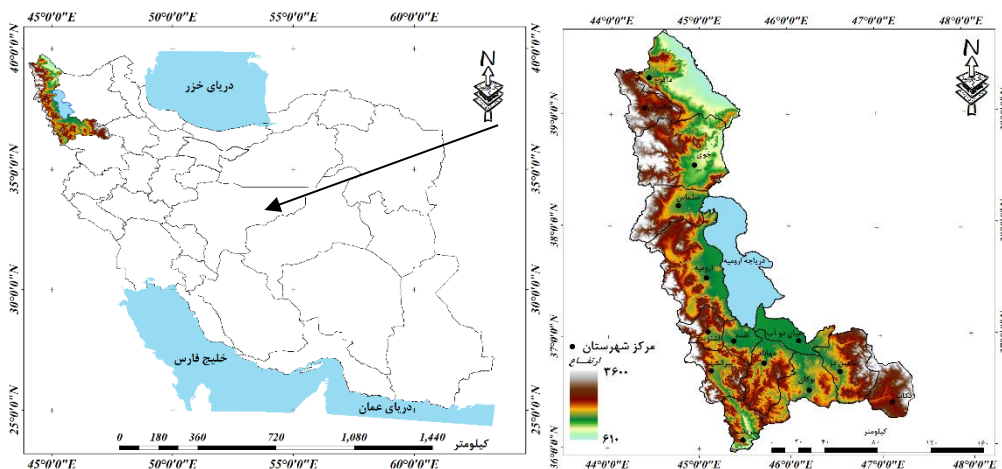
از سوی دیگر، محیط طبیعی با ویژگی‌های متنوع از نظر شرایط اقلیمی، فیزیوگرافی و منابع آب و خاک، امکانات متفاوتی را برای کشت محصولات زراعی در نواحی مختلف فراهم کرده است. از آنجاکه هر یک از محصولات کشاورزی، شرایط اقلیمی خاصی را می‌طلبد و محدوده معینی امکان رشد و نمو دارد، چنانچه آن دسته از محصولات که با شرایط موجود منطقه سازگاری دارد، الگوی کشت در نظر گرفته شود، نه تنها امکان برخورداری از بیشترین بهره‌وری و بازدهی را برای کشاورزان فراهم می‌آورد، بلکه در بلندمدت کمترین آسیب را به منابع زمینی منطقه وارد می‌کند (لشکری و رضایی، ۱۳۹۰: ۳۰). بنابراین الگوسازی فضایی از مهم‌ترین راهکارهایی است که با روشی علمی، شرایط بهتری را در زمینه سنجش تناسب اراضی برای کشت محصولات کشاورزی به وجود می‌آورد. در عین حال، تغییر عناصر اقلیمی بر اثر تغییرات اقلیمی ممکن است اثرهای مثبت یا منفی بر بهره‌برداری از محصولات کشاورزی داشته باشد که در نتیجه این تغییرات، الگوی کشت نیز باید دچار دگرگونی‌هایی شود. تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با توان سرزمین در هر دوره‌ای، روشی است که ممکن است میان توان طبیعی محیط، نیاز جوامع، کاربری‌ها و فعالیت‌های انسان در فضا رابطه‌ای منطقی و سازگاری پایداری به وجود آورد (نجفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۴).

در این پژوهش به طرح روشی به منظور تعیین تناسب اراضی برای کشت محصولات زراعی در زمینه‌ای از تغییرات اقلیمی پرداخته می‌شود. با توجه به حساسیت اقلام مختلف زراعی به متغیرهای اقلیمی، ابتدا یکی از اقلام محصولات کشاورزی، محصول نمونه در نظر گرفته شده و روش منتخب اجرا شده است. برای این منظور، دانه‌های روغنی، به‌طور خاص کلزا، مد نظر است. پس از غلات، دانه‌های روغنی دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهد و کلزا پس از سویا و نخل روغنی، سومین منبع تأمین روغن نباتی در سطح جهان به‌شمار می‌رود (شریعتی و قاضی، ۱۳۷۹: ۵۷). در زمینه تغییرات اقلیمی، نیازهای اقلیمی کلزا دچار دگرگونی‌هایی خواهد شد و ممکن است در منطقه‌ای از وضعیت مطلوب به وضعیت نامطلوب تغییر کند. بنابراین، با شناخت ماهیت تغییرات اقلیمی در منطقه و عوامل مؤثر بر عملکرد بهینه این محصول در دهه‌های آتی و همچنین با در نظر گرفتن توان‌های محیطی هر منطقه، می‌توان با شناختی جامع‌تر برنامه‌ریزی‌ها را برای کشت این محصول و دیگر محصولات انجام داد و متناسب با توان‌های محیطی تحمیل شده به سرزمین بر اثر وقوع تغییرات اقلیمی، امکان بهره‌برداری مناسب از منابع موجود را فراهم کرد.

## داده‌ها و روش‌ها

### منطقه پژوهش

محدوده استان آذربایجان غربی (شکل ۱) بین ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. این استان در حدود ۴ درجه در عرض جغرافیایی و در دامنه ارتفاع کمتر از ۷۰۰ متر تا بیش از ۳۵۰۰ متر گسترش یافته است و به همین دلیل دارای تنوع آب‌وهوایی شایان توجهی است. این استان دارای وسعت ۳۷۴۳۷ کیلومتر مربع است که بدون احتساب دریاچه ارومیه، ۲/۲۵ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است (نجفی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۵).



شکل ۱. منطقه پژوهش

## طبقه‌بندی نیازهای رویشی

برای کشت کلزا، فراسنج‌های بوم‌شناختی بسیاری لازم است که در این پژوهش برای اجرای روش مورد نظر، ابتدا به بررسی و شناسایی نیازهای رویشی کلزا پرداخته شد. معیارهای به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش شامل دو پایگاه داده‌های اقلیمی و پایگاه اطلاعات منابع زمینی است. برای استخراج پایگاه داده‌های اقلیمی، از آمار و اطلاعات روزانه شش ایستگاه همدید در سطح استان آذربایجان غربی در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ استفاده شد. پایگاه اطلاعات زمینی شامل الگوی رقمی ارتفاع (DEM)، نقشه پژوهش‌های ارزیابی منابع و قابلیت اراضی، نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تولیدشده در سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان غربی، نقشه عمق خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تولیدشده در مؤسسه تحقیقات آب و خاک است. همچنین، براساس دامنه تعیین‌شده در جدول ۱، نیازهای رویشی گیاه کلزا در استان آذربایجان غربی در محیط GIS طبقه‌بندی و برای تحلیل‌های بعدی آماده‌سازی شد. این نیازهای رویشی در دو خوشه متفاوت نیازهای رویشی اقلیمی و نیازهای رویشی فیزیکی (فیزیوگرافی) دسته‌بندی شد. این پژوهش بر این دیدگاه استوار است که در زمینه‌ای از تغییرات اقلیمی، تنها متغیرهای اقلیمی تغییر یافته و دیگر متغیرها مانند عوامل ارتفاعی، عمق خاک، نوع اراضی - که برای تغییر آنها سالیانی بیش از مقیاس دهه یا سده نیاز است - دچار تغییر نخواهند شد. از آنجاکه هم متغیر بارش و هم کاربری اراضی (زمین‌های دیم و آبی، باغ‌ها و ...) در معیارهای این پژوهش گنجانده شده است، نتایج آن برای کشت فاریاب کلزا و نیز دیم مناسب است.

## بررسی تغییرات اقلیمی

پس از استخراج نیازهای رویشی، با استفاده از نسخه ۵/۵ الگوی LARS-WG به الگوسازی نیازهای رویشی در دوره‌های آینده براساس خروجی الگوی HADCM3 و دو سناریوی A1 و B1 پرداخته شد. در انتخاب سناریو نیز از آنجاکه هریک از دو سناریوی A1 و B1 دارای مفروض‌های متفاوتی نسبت به تغییرات فناوری، جمعیت، انتشار گازهای گلخانه‌ای، منابع تجدیدپذیر و ... هستند و دو دیدگاه متفاوت نسبت به تغییرات اقلیمی به‌دست می‌دهند، شائمی و نوخندان (۱۳۸۸) و روشن و نجفی (۱۳۹۰) در پژوهش‌های خود نشان دادند که سناریوی مناسب برای کشوری چون ایران، باید براساس مفروض‌های بدبینانه مطرح شده باشد (مانند سناریوی خانواده A1)؛ زیرا کشور ایران جزء ده کشور نخست در انتشار گازهای گلخانه‌ای است. از این‌رو، در این پژوهش تغییرات اقلیمی براساس این دو سناریو - که دارای مفروض‌های متفاوتی‌اند، شبیه‌سازی شد تا از هر دو منظر، تغییرات اقلیمی، شبیه‌سازی و اثر آن بر قابلیت اراضی برای کشت کلزا بررسی شود.

الگوی LARS-WG قابلیت شبیه‌سازی عناصر اقلیمی دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش برای دهه‌های آینده و تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارد. به دلیل اینکه این الگو دارای مجموعه داده‌های پانزده الگوی گردش عمومی جو (GCM) است، امکان مقایسه نتایج آنها و انتخاب مناسب‌ترین‌شان برای الگوسازی نتایج در مقیاس محلی وجود دارد؛ درحالی‌که الگویی چون SDSM به دلیل محدودیت داده‌های GCM (تنها دو الگوی CGCM و HADCM3) امکان مقایسه مجموعه‌ای الگوهای گردش عمومی جو وجود ندارد.

جدول ۱. نیازهای روشنی لازم برای کشت کلزا (خوشه‌ها و عناصر) (تجنی همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۷)

منبع	نامناسب	ناحدهای مناسب	مناسب	بسیار مناسب	فرانسج (خوشه‌ها و عناصر)
۱۳۸۶، عبیری	۱۵ < یا < ۱۱	۱۱-۱۲	۱۲-۱۲/۵	۱۲/۵-۱۳/۵	خوشه اقلیم متوسط دما (Cg)
۱۳۸۶، عبیری	21 < یا < 16	۱۴-۱۵	۱۶-۱۸	۱۸-۱۹	متوسط بیشینه دما (Cg)
۱۳۸۶، عبیری	۸ < یا < ۴	۴-۵	۵-۶	۶-۷	متوسط کمینه دما (Cg)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	< ۱۰	۷/۵-۸	۱۶-۲۰	۲۰-۲۵	دمای جوانه‌زنی (Cg)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	۱۰ >	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰	۲۰-۲۲	دمای گل‌دهی (Cg)
۱۳۸۶، عبیری	< ۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	> ۵۰	بارش دوره رشد (mm)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	< ۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۸۰	۸۰-۱۰۰	بارندگی پاییز (mm)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	< ۶۰	۶۰-۸۰	۸۰-۱۱۰	> ۱۱۰	بارندگی زمستان (mm)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	< ۸۰	۸۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۲۰	۱۲۰-۱۵۰	بارندگی گل‌دهی و رشد ساقه (mm)
۱۳۷۹، همکاران، کافی و همکاران، کافی	< ۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۷۰	> ۷۰	بارندگی رسیدن (mm)
۱۳۸۶، عبیری	۹۰ < یا < ۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۶۰	تعداد روزهای یخبندان
۱۳۸۶، عبیری	۸۰ < یا < ۵۵	۵۵-۶۵	۶۵-۷۰	۷۰-۸۰	رطوبت نسبی (%)
۱۳۸۶، عبیری	< ۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۰۰	> ۲۰۰	ساعات‌های آفتابی
۲۰۰۸، همکاران، قاسمی و همکاران، قاسمی	۱۵۰ >	> ۲۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۰۰-۲۵۰	درجه-روز رشد
۲۰۰۸، همکاران، قاسمی و همکاران، قاسمی	۲۵۰ <	۲۰۰-۲۵۰	۱۵۰-۲۰۰	< ۱۵۰	خوشه فیزیوگرافی
۲۰۰۸، همکاران، قاسمی و همکاران، قاسمی	NNW, NNE	WNW, ENE	WSW, ESE	SSE, SSW	طبقات ارتفاعی
۲۰۰۸، همکاران، قاسمی و همکاران، قاسمی	۷/۵ <	۵-۷/۵	۲/۵-۵	۰-۲/۵	جهت شیب
۱۳۸۶، عبیری	۸۰ >	۸۰-۱۰۰	۱۰۰-۱۵۰	> ۱۵۰	مقدار شیب (%)
۱۳۸۹، آزر، عمیق و همکاران، قاسمی	دشت‌های دامنه‌ای و آبرفتی رودخانه‌های وارزها و آبرفت‌های بادبزنی دشت‌های سیلابی	مراعات	زراعت دیم	زراعت آبی	عمق خاک
۱۳۸۶، عبیری	نقاط شهری و باغ‌ها				نوع اراضی
					کاربری اراضی

بنابراین، در این پژوهش از الگوی LARS-WG استفاده شد. پس از استخراج داده‌های الگو برای سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ (دوره اول)، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ (دوره دوم) و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ (دوره سوم) و تحت دو سناریوی A1 و B1، نیازهای رویشی مربوط به دما، بارش و تابش برای دوره‌های یادشده در طیف چهارطبقه‌ای بسیار مناسب، مناسب، تاحدودی مناسب و نامناسب دسته‌بندی شد و سپس در قالب پوشه‌های رقومی قرار گرفت. باتوجه به سه دوره یادشده در آینده و دو سناریوی A1 و B1 و همچنین دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۷) هفت پایگاه داده گردآوری شد.

### شبیه‌سازی رطوبت نسبی

الگوی LARS-WG امکان شبیه‌سازی عنصر رطوبت را ندارد و رطوبت نسبی یکی از فراسنج‌های در نظر گرفته شده به‌مثابه نیاز رویشی برای کشت کلزاست. از این رو، برای شبیه‌سازی رطوبت نسبی در دهه‌های آتی، از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه<sup>۱</sup> استفاده شد؛ زیرا این نوع شبکه دارای بهترین عملکرد در الگوسازی رطوبت نسبی است (ژو و همکاران، ۲۰۱۲). در این پژوهش، شبیه‌سازی رطوبت نسبی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی براساس یافته‌های نجفی (۱۳۹۱) و روشن و همکاران (۲۰۱۴) انجام گرفت. باتوجه به ارتباط موجود بین رطوبت نسبی و متغیرهای دما، بارش و تابش، برای آموزش شبکه از داده‌های متغیرهای یادشده در دوره پایه ۲۰۰۹-۱۹۸۷ استفاده شد. متوسط ضریب همبستگی محاسبه شده بین رطوبت نسبی با دمای بیشینه و کمینه، بارش و تابش در منطقه پژوهش به ترتیب ۰/۹-، ۰/۸۸-، ۰/۵۷ و ۰/۹- بود که برای همه متغیرها در سطح ۹۹ درصد دارای اطمینان بود. تعداد لایه‌های میانی، نورون‌های هر لایه و نوع الگوریتم آموزش براساس آزمون و خطا تعیین و تعداد هزار تکرار نیز در نظر گرفته شد. سپس براساس شبکه طراحی شده و متغیرهای دما، بارش و تابش، متغیر رطوبت نسبی برای دهه‌های آینده شبیه‌سازی و در قالب نیازهای رویشی (براساس جدول ۱) دسته‌بندی شد. گفتنی است متغیرهای دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش به‌مثابه ورودی‌های شبکه و رطوبت نسبی به‌منزله بردار هدف به شبکه معرفی شد. معیار پایان آموزش در هریک از ساختارهای آزمون شده، کمترین مقدار خطای کمی حاصل از مقادیر محاسباتی و مشاهداتی شامل ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ضریب همبستگی ( $r$ )، متوسط ریشه مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۱) و متوسط قدرمطلق خطا (MAE) (رابطه ۲) بود:

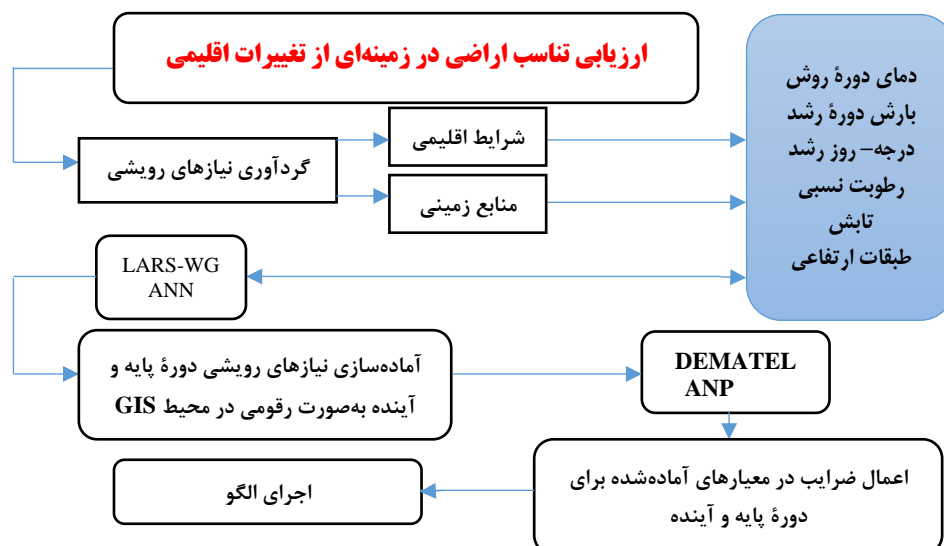
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - Y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - Y_i| \quad (2)$$

که در آن، T مقدار مشاهداتی و Y مقدار شبیه‌سازی شده است.

## وزن‌دهی نیازهای رویشی

هریک از نیازهای رویشی در نظر گرفته شده برای کشت کلزا، دارای اهمیتی متفاوت است که باید براساس نظر کارشناسان آگاه در حوزه آب‌وهواشناسی کشاورزی تعیین شود. از این رو، برای تعیین وزن هر یک از نیازهای رویشی از روش تحلیل شبکه (ANP) استفاده شد. برای اجرای این روش، ابتدا باید روابط بین نیازهای رویشی تعیین شود؛ زیرا هر یک از این معیارها ممکن است ارتباطی یک‌طرفه یا دوطرفه با دیگر معیارها داشته باشد. برای تعیین روابط بین عناصر از پرسش‌نامه و فرایند دیماتل<sup>۱</sup> استفاده شد. دیماتل فرایندی است که با استفاده از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده، یک‌طرفه یا دوطرفه بودن ارتباط‌های بین عناصر را تعیین می‌کند (رضوانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۱). پرسش‌نامه‌های طراحی شده برای این روش را ده تن از کارشناسان حوزه آب‌وهواشناسی کشاورزی تکمیل کردند و نتایج آن، پس از تجمیع و نرمال‌سازی، در محیط نرم‌افزار متلب پردازش شد و در نهایت، نتایج نهایی - که همان تعیین روابط بین (عناصر) نیازهای رویشی است - به دست آمد. مرحله بعدی این الگو، اعمال این ارتباطها در خوشه‌ها و عناصر و وزن‌دهی اولیه است. برای آگاهی از روش اعمال روابط و جزئیات روش دیماتل می‌توان به پژوهش آقاابراهیمی سامانی و همکاران (۱۳۸۷)، فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۹۲) و تی‌زنگ و همکاران (۲۰۰۷) مراجعه کرد. ایجاد ساختار شبکه، تعیین روابط و محاسبه ابرماتریس اولیه، وزنی، حدی و وزن عمومی معیارها در نرم‌افزار Super Decisions انجام گرفت و در نهایت، وزن نهایی معیارها محاسبه شد. در پایان، این وزن‌ها در داده‌های رقومی گردآوری شده برای هر یک از معیارها در دوره پایه و دوره آینده اعمال شد و نقشه نهایی توان‌سنجی کشت کلزا در دوره پایه و دوره‌های آینده به دست آمد.



شکل ۲. روندنمای پژوهش

## یافته‌های پژوهش

## اعتبارسنجی خروجی‌های الگوی LARS-WG و HADCM3 در منطقه پژوهش

برای اعتبارسنجی الگوی LARS، از ضرایب همبستگی و تعیین، متوسط ریشه مربعات خطا و متوسط قدرمطلق خطا بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به وسیله الگو در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ استفاده شد. براساس جدول ۲، عملکرد الگو در شبیه‌سازی مقادیر دما، مناسب‌تر از مقادیر بارش است؛ اما به‌طور کلی این الگو توانمندی مناسبی برای شبیه‌سازی عناصر دما و بارش در منطقه پژوهش دارد. همچنین، در پژوهش‌های پیشین، دیگر پژوهشگران توانمندی این الگو برای شبیه‌سازی عناصر اقلیمی در دهه‌های آینده را ارزیابی کرده‌اند (باباییان و همکاران، ۱۳۸۸؛ عباسی و همکاران، ۱۳۹۱؛ معافی‌مدنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱).

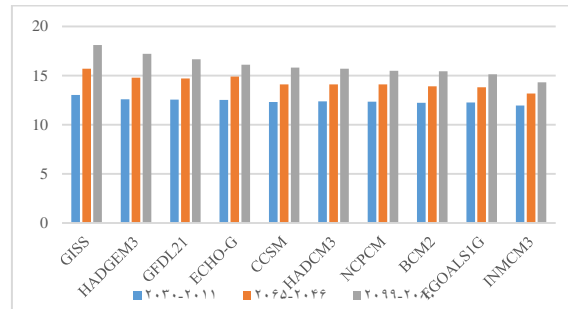
جدول ۲. ارزیابی عملکرد الگوی LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش در استان آذربایجان غربی

ایستگاه	ارومیه	تکاب	پیرانشهر	خوی	ماکو	مهاباد
بارش						
R <sup>2</sup> (r)	(۰/۹۵۹)**	(۰/۹۶۳)**	(۰/۹۸۴)**	(۰/۹۷۹)**	(۰/۹۷)**	(۰/۹۶۵)**
	۰/۹۲	۰/۹۲۷	۰/۹۶۸	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳
RMSE	۳/۸	۴/۴	۷/۶	۲/۷	۳/۳	۴/۷
MAE	۲/۱	۲/۸	۵/۳	۲/۴	۲/۴	۳/۵
دما						
R <sup>2</sup> (r)	(۰/۹۸۶)**	(۰/۹۹)**	(۰/۹۸)**	(۰/۹۹)**	(۱)**	(۱)**
	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۱	۱
RMSE	۱/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۷
MAE	۰/۸	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵

\*\* معنادار در سطح ۹۹ درصد اطمینان

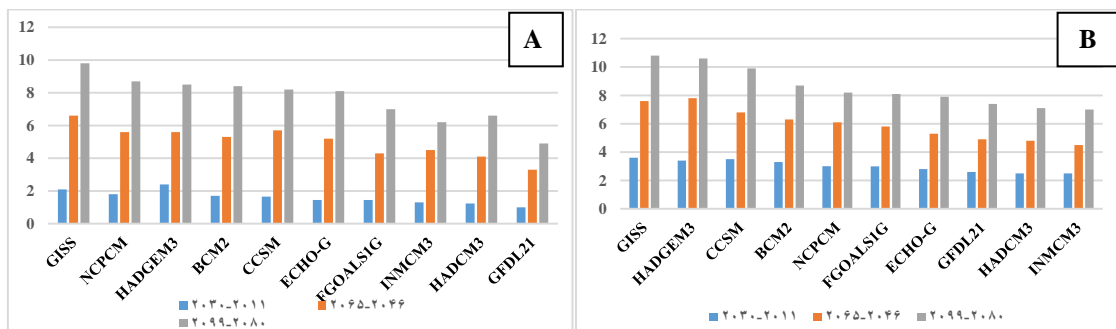
به دلیل همراهی استفاده از خروجی الگوهای گردش عمومی جو با عدم قطعیت، بهتر است از متوسط دو یا چند الگو برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در یک منطقه استفاده کرد (سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶). ابتدا به‌منظور انتخاب الگوی مناسب برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در دهه‌های آتی، ده الگوی گردش عمومی جو انتخاب و عملکرد آنها در شبیه‌سازی عنصر متوسط دما (به‌مثابه عنصری که مولد تغییرات اقلیمی و تأثیرگذار بر دیگر متغیرهاست) تحت سناریوی خانواده A در منطقه پژوهش (متوسط دمای استان آذربایجان غربی) ارزیابی شد (شکل ۳). در بین الگوهای یادشده، GISS بیشترین تغییرات دما را در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به متوسط دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به مقدار ۶/۸ درجه سانتی‌گراد داشته و کمترین تغییرات مربوط به الگوی INMCM3 به مقدار ۳/۰۱ درجه سانتی‌گراد بوده است. متوسط تغییرات ده الگوی منتخب برای منطقه پژوهش در سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ به ترتیب ۱/۱، ۳ و ۴/۶ بوده است. نتایج الگوهای HADCM3 (CCSM) برای دوره‌های یادشده در منطقه پژوهش به ترتیب ۱/۰۷، ۲/۸ و ۴/۳ (۱، ۲/۸ و ۴/۵) درجه سانتی‌گراد بوده که ارزش‌هایی نزدیک به متوسط الگوهای منتخب است.





شکل ۳. مقایسه عملکرد ده الگوی GCM در شبیه‌سازی عنصر متوسط دما در استان آذربایجان غربی

همچنین برای بررسی عدم قطعیت<sup>۱</sup> خروجی الگوهای یادشده برای متغیر دما و بارش، از الگوی SCENGEN و نوار ابزار نسبت سیگنال به نویز<sup>۲</sup> SNR استفاده شد. در این الگو با استفاده از این نسبت می‌توان عدم قطعیت خروجی بیست الگوی گردش عمومی جو برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ را برای مناطق مختلف دنیا ارزیابی یا با یکدیگر مقایسه کرد (ویگلی، ۲۰۰۸). اگر مقدار این نسبت به صفر نزدیک باشد، به معنای کارایی بیشتر الگو در شبیه‌سازی متغیر دما یا بارش در منطقه مورد نظر است<sup>۳</sup>. بیشترین قطعیت در عنصر دما مربوط به الگوی GFDL و سپس HADCM3 و کمترین نیز مربوط به الگوی GISS است (شکل ۴-۱) و در متغیر بارش نیز مربوط به INMCM3 و HADCM3 و کمترین نیز مربوط به GISS است (شکل ۴-۲). با توجه به این توضیحات می‌توان گفت الگوی HADCM3 - که به‌طور گسترده پژوهشگران مختلف در پژوهش‌های مربوط به تغییر اقلیم در ایران از آن استفاده کرده‌اند - از عدم قطعیت مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی برخوردار بوده است (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹؛ مرادی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روشن و همکاران، ۲۰۱۴)؛ همچنین، از یک سو دارای عملکردی مشابه متوسط چند الگوی GCM در شبیه‌سازی دما بوده و از سوی دیگر، کارایی مناسبی را در شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش در منطقه پژوهش داشته است؛ بنابراین از این الگو برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در منطقه پژوهش استفاده شده است.



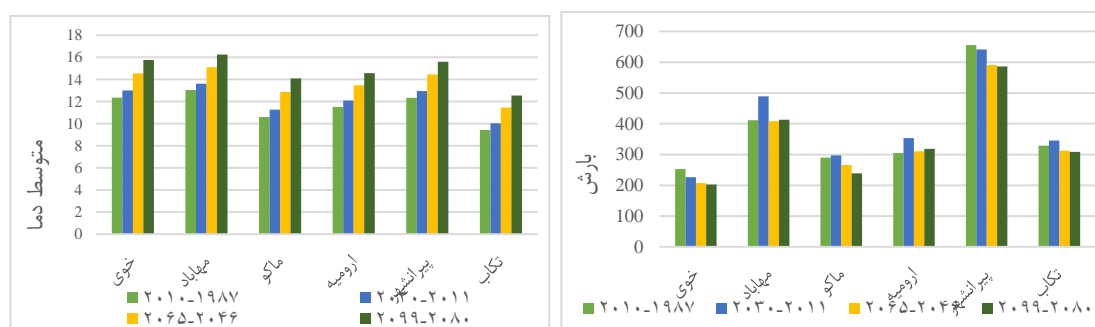
شکل ۴. نسبت سیگنال به نویز (SNR)، ده الگوی GCM برای متغیرهای دما (A) و بارش (B) در آذربایجان غربی

1. Uncertainty
2. Signal to Noise Ratio

۳. برای آشنایی بیشتر به راهنمای الگو مراجعه شود.

### ماهیت تغییرات اقلیمی در منطقه

نتایج شبیه‌سازی متغیر دمای متوسط روزانه برای منطقه پژوهش نشان می‌دهد که دما تحت دو سناریوی A1 و B1 به‌طور متوسط ۳/۲ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. بیشترین افزایش در ایستگاه ماکو به مقدار ۳/۵ درجه و کمترین در ایستگاه تکاب به مقدار ۳ درجه شبیه‌سازی شده است (شکل ۵). تحت سناریوی A1 این افزایش به‌طور متوسط در منطقه به مقدار ۳/۸ درجه و سناریوی B1 به مقدار ۲/۷ درجه خواهد بود. عنصر بارش در منطقه پژوهش به‌طور متوسط تا سال ۲۱۰۰ به مقدار ۲۲ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش بارش در ایستگاه پیرانشهر در حدود ۷۰ میلی‌متر خواهد بود. در عین حال در همه ایستگاه‌ها کاهش بارش رخ نخواهد داد؛ بلکه در ایستگاه‌های مهاباد و ارومیه تا سال ۲۱۰۰، بارش به‌طور محدود افزایش می‌یابد (شکل ۳). ساعت‌های آفتابی نیز در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت.



شکل ۵. نتایج شبیه‌سازی دما و بارش برای سه دوره آینده و دوره پایه براساس متوسط دو سناریوی A1 و B1

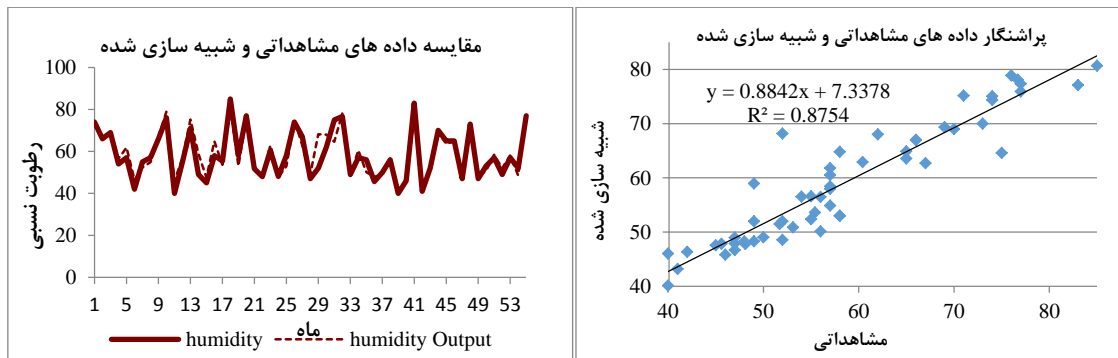
### تخمین رطوبت نسبی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

تخمین مقدار رطوبت نسبی با استفاده از شبکه عصبی MLP با دو لایه مخفی و الگوریتم آموزش انتشار برگشتی به‌همراه دو لایه مخفی میانی انجام گرفت. پیش‌ازین، این روش را نجفی (۱۳۹۱) آزمون کرده و نتایج پذیرفتنی به‌دست آورده است. نتایج آزمون شبکه‌های طراحی شده (۲۰ درصد داده‌های ورودی) براساس ضرایب همبستگی محاسبه‌شده بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد ساختار طراحی شده دارای عملکرد مناسبی برای تخمین رطوبت نسبی در ایستگاه‌های بررسی شده است.

پس از طراحی و آزمون شبکه، مقادیر رطوبت نسبی برای هریک از دوره‌ها و سناریوهای مورد نظر، بر اساس داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش شبیه‌سازی شده برای دوره‌های آینده، در هر ایستگاه شبیه‌سازی و برای هر دوره براساس جدول نیازهای رویشی (جدول ۱) دسته‌بندی و در GIS به‌صورت لایه رقومی آماده‌سازی شد.

جدول ۳. نتایج تخمین رطوبت نسبی حاصل از شبکه‌های عصبی مصنوعی

ایستگاه	نوع شبکه	الگوریتم آموزش	تعداد تکرار	آرایش	MAE	MSE	R	R <sup>2</sup>
خوی	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۴-۴-۱	۲/۳۷	۰/۰۰۷	۰/۹۳	۰/۸۷
ارومیه	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۲-۴-۱	۱/۸۲	۰/۰۰۸	۰/۹۴	۰/۸۹
تکاب	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۴-۴-۱	۱/۲۸	۰/۰۰۴	۰/۹۵	۰/۹
پیرانشهر	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۴-۴-۱	۱/۸۵	۰/۰۰۷	۰/۹۴	۰/۸۸
ماکو	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۴-۴-۱	۲/۱	۰/۰۰۶	۰/۹۴	۰/۸۸
مهاباد	MLP	LM	۱۰۰۰	۱-۴-۴-۱	۱/۵۹	۰/۰۰۷	۰/۹۴	۰/۸۹



شکل ۶. عملکرد شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه خوی

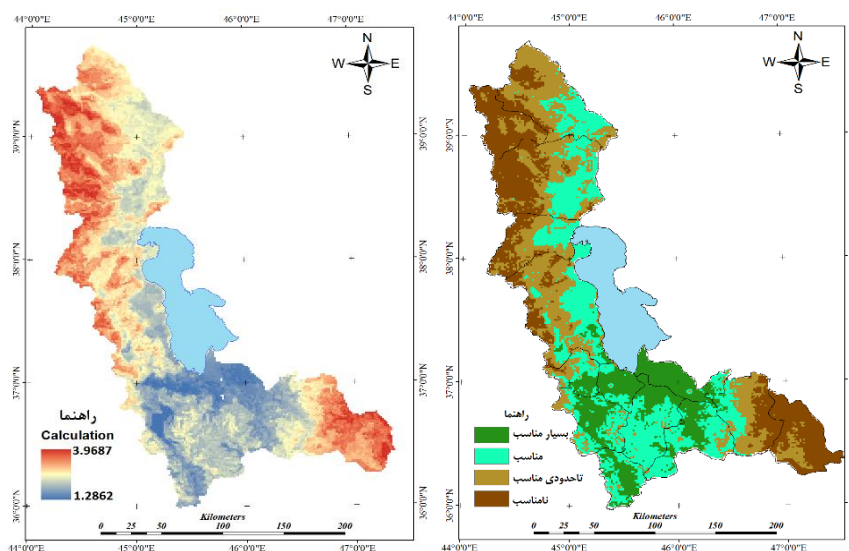
وزن دهی به معیارها براساس فرایند تحلیل شبکه انجام گرفت. ابتدا تعیین روابط و وابستگی عناصر و خوشه‌ها با استفاده از روش دیماتل انجام گرفت و سپس وزن نسبی عناصر و همچنین ابرماتریس اولیه، وزنی و حدی تشکیل شد. نتایج ابرماتریس حدی، در ماتریس خوشه‌ها نرمال و درنهایت، ضریب اصلی و نهایی هریک از نیازهای رویشی کشت کلزا محاسبه شد (جدول ۴). براساس این جدول، مهم‌ترین عنصر، ارتفاع از سطح دریاست که بر همه عناصر تأثیر می‌گذارد و پس از آن دما و بارش است که این عناصر تأثیر بسزایی بر کشت این محصول می‌گذارند.

جدول ۴. وزن‌های نهایی برای هریک از نیازهای رویشی با استفاده از روش ANP

متوسط دما	۰/۳۹۹
دمای بیشینه	۰/۰۹۷
دمای کمینه	۰/۰۹۲
دمای جوانه‌زنی	۰/۰۵۳
دمای گل‌دهی	۰/۰۵۵
بارش دوره رشد	۰/۴۹
بارش پاییز	۰/۰۶۴
بارش زمستان	۰/۰۷۴
بارش گل‌دهی و ...	۰/۰۵۵
بارندگی رسیدن	۰/۰۲
روزهای یخبندان	۰/۱۰۲
رطوبت نسبی	۰/۰۷۶
ساعات‌های آفتابی	۰/۱
درجه-روز رشد	۰/۰۸
طبقات ارتفاعی	۰/۴۲
جهت شیب	۰/۱۰۲
مقدار شیب	۰/۳۷
عمق خاک	۰/۰۷
نوع اراضی	۰/۰۵۲
کاربری اراضی	۰/۴۶

### الگوسازی فضایی و تعیین تناسب اراضی در زمینه‌ای از تغییرات اقلیمی

در این پژوهش، به منظور ارزیابی تناسب اراضی برای کشت کلزا، بیست عنصر تأثیرگذار بر مراحل مختلف رشد این محصول شناسایی شد و پس از تهیه پوشه رقومی هریک از این عناصر به صورت رستری در محیط GIS و اعمال ضرایب حاصل از ANP در عناصر مربوطه، نقشه نهایی تناسب اراضی کشت این محصول در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۷ تهیه (شکل ۷) و در نهایت، در چهار رده: الف) بسیار مناسب؛ ب) مناسب؛ ج) تاحدودی مناسب؛ د) نامناسب دسته‌بندی شد (شکل ۷). نتایج برای دوره پایه نشان می‌دهد که از مساحت ۳۷۴۳۷ کیلومتری استان آذربایجان غربی، ۱۵/۱ درصد از سطح استان ( $\text{km}^2$  ۵۶۵۳) در رده اول، ۳۱ درصد ( $\text{km}^2$  ۱۱۶۰۵) در رده دوم، ۲۹/۴ درصد ( $\text{km}^2$  ۱۱۰۲۰) در رده سوم و ۲۴/۴ درصد ( $\text{km}^2$  ۹۱۳۴) در رده چهارم برای کشت این محصول قرار گرفته است. بنابراین در دوره پایه حدود ۴۶ درصد از سطح استان دارای وضعیت مناسبی برای کشت این محصول است. بخش‌هایی از شهرستان‌های ارومیه تا شهرستان شاهین‌دژ، به جز نواحی کوهستانی، محدوده‌ای است که در وضعیت مناسبی برای کشت این محصول قرار دارد.



شکل ۷. نقشه نهایی طبقه‌بندی شده تناسب اراضی برای کشت کلزا در دوره پایه

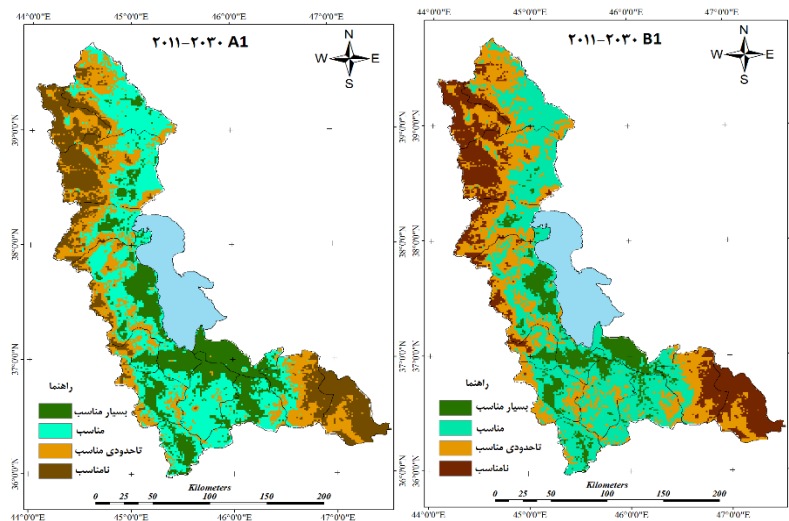
### دوره اول (۲۰۳۰-۲۰۱۱)

در دوره اول، خروجی الگو نشان می‌دهد که به طور متوسط دما و بارش در منطقه براساس سناریوی B1 به ترتیب ۰/۷ درجه و ۲۵ میلی‌متر افزایش و براساس سناریوی A1 این عناصر به ترتیب ۰/۵ درجه و ۱۳ میلی‌متر افزایش خواهد یافت که این تغییرات بسیار محسوس نیست؛ اما همین تغییرات جزئی ممکن است اثرهای شایان توجهی بر ماهیت اقلیم این ناحیه بگذارد. نکته شایان توجه آن است که در این دوره نتایج سناریوی B1 که دارای مفروض‌های خوش‌بینانه‌تری نسبت به A1 در روند انتشار گازهای گلخانه‌ای است، شرایط گرم‌تر ولی پربارش‌تری را نسبت به دوره پایه الگوسازی کرده است.

جدول ۵. تغییرات مساحت و درصد طبقه‌های کشت کلزا در دوره اول

دوره / مساحت	بسیار مناسب		مناسب		تاحدودی مناسب		نامناسب	
	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>
پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰)	۱۵/۱	۵۶۵۳	۳۱	۱۱۶۰۵	۲۹/۴	۱۱۰۲۰	۲۴/۴	۹۱۳۴
۲۰۱۱-۲۰۳۰ A1	۱۱/۵۳	۴۳۱۶	۳۸/۴۶	۱۴۳۹۸	۳۱/۵۴	۱۱۸۰۷	۱۸/۵۶	۶۹۴۸
۲۰۱۱-۲۰۳۰ B1	۱۰/۵۳	۳۹۴۲	۳۸/۹۸	۱۴۵۹۲	۳۱/۹۹	۱۱۹۷۶	۱۸/۶	۶۹۶۳

بنابر نتایج خروجی الگوی HADCM3، محدوده بسیار مناسب در این دوره تحت سناریوی A1، ۳/۵ درصد نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. براساس جدول ۴، نتایج سناریوی A1 برای دوره اول در سه رده دیگر نشان می‌دهد که رده دوم و سوم نسبت به دوره پایه ۷ و ۲ درصد افزایش و رده چهارم، ۶ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج سناریوی B1 نیز مشابه سناریوی پیشین بوده؛ با این تفاوت که رده اول، ۱۰/۵ درصد از سطح استان را به خود اختصاص داده و دیگر رده‌ها نتایج مشابه A1 داشته است. در مجموع، دو سناریو بر اثر تغییرات اقلیمی اراضی استان در رده‌های اول و چهارم نسبت به دوره پایه به ترتیب کاهش ۴ و ۶ درصدی خواهند یافت و رده‌های دوم و سوم افزایش حدود ۷ و ۲ درصدی خواهند یافت (جدول ۵). به طور کلی، تحت سناریوی A1 و B1 به ترتیب و در مجموع ۵۰ و ۴۹ درصد از سطح استان دارای شرایطی مناسب برای کشت این محصول است. بنابراین، رخداد تغییرات اقلیمی با وجود کاهش مناطق بسیار مطلوب، سبب افزایش شرایط مناسب برای کشت کلزا در منطقه خواهد شد (شکل ۸).



شکل ۸. نقشه نهایی طبقه‌بندی شده تناسب اراضی برای کشت کلزا در دوره اول در دو سناریوی A1 و B1

## دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵)

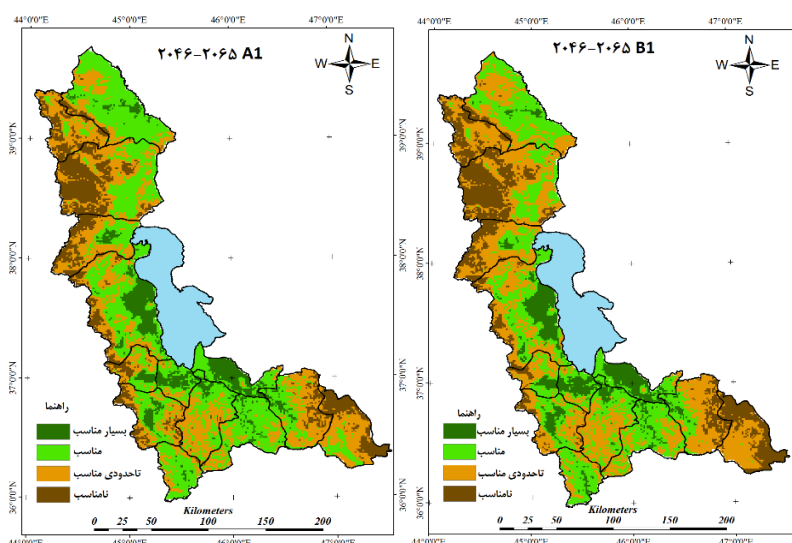
در دوره دوم، تغییرات دما و بارش نسبت به دوره پایه محسوس‌تر از دوره اول بوده و اختلاف بین سناریوی A1 و B1 نیز مشهودتر است. دما در تمام ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت و مقدار افزایش دما به طور متوسط در منطقه تحت سناریوی

A1 در این دوره نسبت به دوره پایه ۲/۳ درجه سانتی‌گراد و بارش به مقدار ۲۶ میلی‌متر کاهش خواهد یافت که در ایستگاه‌های شمالی منطقه این کاهش بیش از ایستگاه‌های جنوبی است. براساس سناریوی B1 دما در تمام ایستگاه‌ها به‌طورمتوسط به مقدار ۱/۸ درجه افزایش و بارش نیز به‌طورمتوسط ۱۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. وجود چنین تغییرات محسوسی در بارش و به‌ویژه دما در منطقه، تغییراتی در شرایط مطلوب دمایی و بارشی کشت کلزا ایجاد می‌کند؛ به‌طوری‌که در این دوره دما و معیارهای مربوط به آن، کنترل‌کننده تغییرات تناسب اراضی برای کشت این محصول در منطقه است.

جدول ۶. تغییرات مساحت و درصد طبقه‌های کشت کلزا در دوره دوم

نامناسب		تاحدودی مناسب		مناسب		بسیار مناسب		دوره / مساحت
%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	
۲۴/۴	۹۱۳۴	۲۹/۴	۱۱۰۲۰	۳۱	۱۱۶۰۵	۱۵/۱	۵۶۵۳	پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰)
۱۵/۳۵	۵۷۴۶	۳۴/۵	۱۲۹۳۰	۴۰/۴	۱۵۱۳۲	۹/۶۶	۳۶۱۶	۲۰۴۶-۲۰۶۵A1
۱۶/۲	۶۰۸۳	۱۴۷۵۴	۳۹/۴	۳۴/۱۴	۱۲۷۸۱	۳۷۸۱	۱۰/۱	۲۰۴۶-۲۰۶۵B1

ارزیابی تناسب اراضی در دوره دوم تحت سناریوی A1 نشان می‌دهد که ۵۰ درصد از سطح استان دارای وضعیت مناسبی برای کشت کلزا خواهد بود (جدول ۶ و شکل ۹). درعین‌حال، براساس سناریوی A1، تغییرات اقلیمی سبب کاهش مناطق بسیار مناسب و افزایش مناطق مناسب برای کشت کلزا خواهد شد و درمقابل، اراضی نامناسب نیز کاهش چشمگیری خواهد یافت؛ به‌طورکلی، رده‌های دوم و سوم افزایش و رده‌های اول و چهارم کاهش خواهد یافت. تحت سناریوی B1 نیز حدود ۴۴ درصد از مساحت استان از وضعیت مناسبی برای کشت این محصول برخوردار خواهد شد. تحت این سناریو درصد زیادی از مساحت خوی، ماکو، چالدران، تکاب و شاهین‌دژ همچنان دارای شرایط نامناسب‌اند؛ اما به‌طورکلی، باوجود بهبود نیاز رویشی دما در مناطق یادشده، نواحی شمالی استان به‌دلیل داشتن شرایط ارتفاعی، شیب و خاک نامناسب، از لحاظ منابع زمینی شرایط مساعدی برای کشت این محصول ندارد.

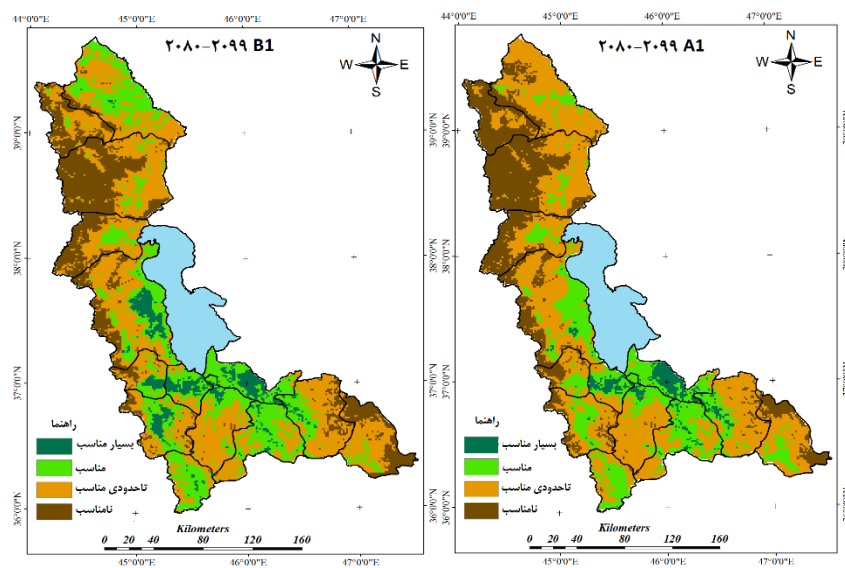


شکل ۹. نقشه نهایی طبقه‌بندی شده تناسب اراضی برای کشت کلزا در دوره دوم در دو سناریوی A1 و B1

## دوره سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹)

در این دوره، دما در منطقه براساس دو سناریوی A1 و B1 به ترتیب به مقدار  $3/8$  و  $2/7$  درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت. بارش نیز به مقدار ۳۲ و ۱۳ میلی متر کاهش خواهد یافت. بنابراین، تغییرات چشمگیری در تناسب اراضی برای کشت کلزا در سناریوی A1 ایجاد خواهد شد. در این دوره، بارش در سناریوی B1 کاهشی کمتر از دوره دوم دارد. نتایج تناسب اراضی برای کشت کلزا نشان می دهد که در دوره سوم تحت سناریوی A1 کاهش زمین های بسیار مناسب، زیاد است (جدول ۷) و  $4/7$  درصد از سطح استان به این رده اختصاص می یابد. ایجاد محدودیت منابع زمینی به همراه شرایط اقلیمی در نیمه شمالی و جنوب شرقی استان برای کشت این محصول، مشهود است. مساحت اراضی بسیار مناسب در بخش های جنوبی و غربی دریاچه ارومیه که در دوره های پیشین از شرایط مطلوب برخوردار بوده، کاهش می یابد و به رده های پایین تر تغییر می کند. براساس نتایج این سناریو، تنها حدود ۲۷ درصد از سطح استان در این دوره از شرایط مطلوب برای کشت این محصول برخوردار خواهد بود؛ این مقدار برای دوره پایه حدود ۴۷ درصد بوده است.

در شرایط سناریوی B1، باتوجه به شیب کمتر تغییرات دما در این سناریو، شرایط دمایی در بسیاری از نقاطی که در دوره پایه مطلوب بوده است، به رده های پایین تر اختصاص می یابد؛ با این حال، شدت این تغییرات مشابه سناریوی A1 نیست و در مقابل بارش نیز تغییرات زیادی نسبت به دوره پایه یا دیگر دوره ها نخواهد داشت. بنابراین براساس این سناریو، تغییرات دما در آینده به گونه ای پیش خواهد رفت که حدود ۳۴ درصد از اراضی استان قابلیت کشت کلزا را خواهد داشت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. نقشه نهایی طبقه بندی شده تناسب اراضی برای کشت کلزا در دوره سوم در دو سناریوی A1 و B1

جدول ۷. تغییرات مساحت و درصد طبقه‌های کشت کلزا در دوره سوم

نامناسب		تاحدودی مناسب		مناسب		بسیار مناسب		دوره / مساحت
%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	
۲۴/۴	۹۱۳۴	۲۹/۴	۱۱۰۲۰	۳۱	۱۱۶۰۵	۱۵/۱	۵۶۵۳	پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۰)
۲۴/۶	۹۲۰۹	۴۹/۳	۱۸۴۵۶	۲۱/۳۵	۷۹۹۳	۴/۷	۱۷۶۰	۲۰۸۱-۲۰۹۹A1
۲۰/۵	۷۶۷۴	۴۵/۱	۱۶۸۸۴	۲۷/۶	۱۰۳۳۳	۶/۷	۲۵۰۸	۲۰۸۱-۲۰۹۹B1

### نتیجه‌گیری

- اجرای الگو برای کشت کلزا در استان آذربایجان غربی برای چهار دوره (یک دوره پایه و سه دوره در آینده) نشان می‌دهد که روش مطرح‌شده به‌خوبی اثر تغییرات اقلیمی را بر تناسب اراضی برای کشت محصولات زراعی فراهم می‌کند. مقایسه نتیجه دوره پایه با پژوهش نجفی و همکاران (۱۳۹۳) که با استفاده از سامانه استنتاج فازی به سنجش تناسب اراضی برای کشت کلزا پرداختند، نشان می‌دهد که روش مطرح‌شده سطوح بسیار مناسب و مناسب (۴۷ درصد) را بیش از سامانه استنتاج فازی (۳۸ درصد) برآورد کرده است. همچنین، آزر (۱۳۸۹) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که ۶۷ درصد از سطح استان آذربایجان غربی دارای شرایط مطلوب برای کشت کلزاست که می‌توان گفت این درصد اندکی دور از قابلیت واقعی سرزمین است. روش ANP مقادیری مابین روش فازی و AHP به‌دست داده است و با نگاهی به توانایی طبیعی و محیطی سرزمین در استان آذربایجان غربی می‌توان گفت این روش عملکرد خوبی در ارزیابی توان اراضی داشته است. بنابراین، از این روش می‌توان برای ارزیابی فضایی و الگوسازی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دیگر متغیرها و محصولات زراعی استفاده کرد.
- تغییرات دما و بارش وابسته به شرایط نیازهای رویشی اقلیمی برای هر محصول ممکن است سبب ایجاد شرایط مساعد یا نامناسب برای کشت محصولات زراعی شود؛ به‌طوری‌که در دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰)، اراضی مطلوب حدود ۵۰ درصد از سطح استان را شامل می‌شود که این مقدار در دوره پایه، ۴۷ درصد است. در دو دوره بعدی (۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) اراضی مطلوب کاهش محسوسی نسبت به دوره پایه خواهند یافت.
- باوجود تغییرات دما و بارش بر اثر تغییرات اقلیمی، منابع زمینی در هر دوره به‌مثابه یکی از مهم‌ترین شاخص‌های نیازهای رویشی در تولید محصولات زراعی، عملکرد و تأثیر شایان توجهی دارد. به‌طور کلی، رخداد تغییرات اقلیمی سبب کاهش اراضی بسیار مناسب و مناسب برای کشت کلزا در منطقه خواهد شد. در مقابل، درصد بسیاری از اراضی استان به رده‌های تاحدودی مناسب و نامناسب اختصاص خواهد یافت.
- نواحی مرکزی و جنوبی استان که در دوره پایه دارای شرایط مساعدتر برای کشت کلزا بوده، در حال گرم‌تر و نامناسب‌تر شدن برای کشت این محصول است و نیمه شمالی استان که در گذشته از لحاظ دمایی در شرایط مناسبی برای کشت کلزا قرار نداشت، در آینده شرایط گرم‌تری خواهد داشت و به‌معنای آن است که این نواحی از لحاظ اقلیمی شرایط مساعدتری برای کشت کلزا در آینده خواهد داشت. بنابراین، موازنه‌ای در منطقه برقرار خواهد شد که از یک طرف نواحی گرم‌تر اراضی مستعد خود را در منطقه برای کشت این محصول از دست می‌دهد و در مقابل،



- نواحی سردتر (تکاب و شاهین‌دژ) در منطقه شرایط مساعدتری را نسبت به گذشته به دست خواهد آورد. درعین حال، منابع زمینی مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت کلزا در نواحی سردسیر استان است که این نواحی در آینده گرم‌تر و شرایط اقلیمی برای کشت کلزا مناسب‌تر خواهد شد؛ ولی این مناطق، منابع زمینی مطلوبی ندارد.
- نتایج سناریوی B1 آینده مناسب‌تری نسبت به سناریوی A1 برای ارزیابی تناسب اراضی به منظور کشت کلزا ترسیم می‌کند؛ به طوری که در این سناریو، در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بارش کاهش چندانی نخواهد داشت و دما نیز به شدت سناریوی A1 تغییر نخواهد کرد. بنابراین، در این سناریو در دوره سوم همچنان شاهد وجود اراضی بسیار مناسب و مناسب (۳۴ درصد از سطح استان) برای کشت کلزا خواهیم بود؛ رده‌ای که در این دوره براساس سناریوی A1 به کمتر از ۲۷ درصد نزول خواهد کرد.
  - تفاوت چندانی بین سناریوی A1 و B1 در پیش‌بینی دما و بارش در دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) وجود ندارد و حتی سناریوی B1 دمایی بیش از سناریوی A1 را الگوسازی می‌کند. اما در دوره‌های دوم و سوم، اختلاف این دو سناریو بیشتر می‌شود؛ به طوری که دما و بارش تحت سناریوی A1 تا سال ۲۰۹۰ در منطقه به طور متوسط ۳/۸ درجه نسبت به دوره پایه افزایش و ۳۲ میلی‌متر کاهش و تحت سناریوی B1 این عناصر به ترتیب ۲/۷ درجه افزایش و ۱۳ میلی‌متر کاهش خواهد یافت.
  - در ارزیابی کلی، بر اثر تغییرات دما و بارش، تناسب اراضی برای کشت کلزا نسبت به دوره پایه نامناسب‌تر خواهد بود و بهتر است برای یافتن محصول زراعی جایگزین برنامه‌ریزی شود. در مقایسه با دیگر محصولات، جوارپور و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که تغییرات اقلیمی سبب افزایش ۸۱ درصدی کارایی عملکرد نخود در شرایط دیم و کاهش ۲۵ درصدی کارایی این محصول در شرایط آبی در استان کرمانشاه خواهد شد. همچنین، مرادی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که تغییرات اقلیمی سبب کاهش عملکرد ذرت (۱۱ تا ۳۸ درصدی) در مشهد خواهد شد و کوچکی و نصیری (۱۳۸۷) دریافتند که بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای آن، عملکرد گندم آبی در ایران بین ۱۴ تا ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. تمام این تغییرات را می‌توان بر اثر تغییر تناسب اراضی در نتیجه تغییرات اقلیمی دانست که بر عملکرد محصولات زراعی اثر می‌گذارد. چنین ارزیابی‌هایی برای دیگر محصولات و در دیگر نقاط کشور نیز ممکن است نتایج ارزشمندی برای ترسیم دورنمای عملکرد محصولات زراعی و تناسب اراضی در دهه‌های آتی فراهم آورد.

## منابع

- آزرم، ک. (۱۳۸۹). «سنجش تناسب اراضی استان آذربایجان غربی برای کشت کلزا براساس روش‌های ارزیابی تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS». پایان‌نامه کارشناسی ارشد. اردبیل: دانشگاه محقق اردبیلی.
- آقابراهیمی سامانی، ب.، ماکوئی، ا. و صدرلاهیجانی، م. (۱۳۸۷). «ارزیابی چالش‌های شرکت‌های ایرانی در پروژه‌های نفت و گاز با تکنیک DEMATEL». مجله علمی- پژوهشی شریف. ش ۴۵: ۱۲۹-۱۲۱.
- باباییان، ا.، نجفی‌نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح. و ملیوسی، ش. (۱۳۸۸). «ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G». جغرافیا و توسعه، ش ۱۶: ۱۵۲-۱۳۵.
- پتر، ی. (۱۳۷۹). آب‌وهوا و عملکرد گیاهان زراعی. ترجمه محمد کافی و دیگران. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- حجاریو، ا.، افشین، س.، ابراهیم، ز. و سیدی، ف. (۱۳۹۲). «شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر تولید نخود در شرایط دیم و آبی کرمانشاه». پژوهش تولید گیاهی، ش ۲: ۲۳۵-۲۵۰.
- رجبی، م.ح.، سلطانی، ا. و زینلی، ا. (۱۳۹۱). «ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در تولید گندم در گرگان». تولید گیاهان زراعی. ج ۵، ش ۳: ۴۴-۲۳.
- رضوانی، م.ر.، اروچی، ح.، عزیزاده، م. و نجفی، م.س. (۱۳۹۲). «مکان‌یابی احداث پیست‌های اسکی از دیدگاه گردشگری (مطالعه موردی: مناطق شمالی تهران)». برنامه‌ریزی منطقه‌ای. ش ۱۰: ۴۴-۲۷.
- روشن، غ.ر. و نجفی، م.س. (۱۳۹۰). «بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی‌های آینده کشور با استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو». مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ش ۶: ۱۰۸-۸۷.
- سیمیری، س.ط.، مرادی ح.ر. و خداقلی، م. (۱۳۹۳). «شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوضه آبخیزبار نیشابور). انسان و محیط‌زیست. ش ۲۸: ۱۵-۱.
- شائمی، ا. و حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۸). گرمایش جهانی (پیامدهای زیستی و اکولوژیکی)، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- شریعتی، ش. و قاضی شهنی‌زاده، پ. (۱۳۷۹). کلزا. تهران: اداره کل آمار و اطلاعات در امور کشاورزی.
- عباسی، ف.، باباییان، ا.، ملبوسی، ش.، اثمیری، م. و مختاری، ل. (۱۳۹۱). «ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو». تحقیقات جغرافیایی. دوره ۲۷، ش ۱۰۴: ۲۳۰-۲۰۵.
- عبیری، ص. (۱۳۸۶). «تهیه جداول نیازهای اقلیمی و خاکی برای ارزیابی تناسب اراضی کشت کلزا در شرایط ایران براساس روش فائو». پایان‌نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
- فرجی سبکیار، ج.ع.، علوی‌پناه، س.ک.، نامی، م.ح. و عشورنژاد، غ. (۱۳۹۲). «ارزیابی مکان استقرار شعب بانک‌ها و مؤسسه‌های مالی و اعتباری منطقه شش شهر تهران با استفاده از روش دیماتیل و فرایند تحلیل شبکه‌ای». پژوهش‌های جغرافیای انسانی. ش ۸۵: ۹۴-۷۷.
- کمال، ع. و مساح بوانی، ع. (۱۳۸۹). «تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی». نشریه آب و خاک. دوره ۲۴ (۵): ۹۳۱-۹۲۰.
- لشکری، ح. و رضایی، ع. (۱۳۹۰). «مکان‌یابی نواحی مستعد کشت کلزا در منطقه سرپل ذهاب». پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ش ۷۸: ۴۸-۲۹.
- مرادی، ر.، کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م. (۱۳۹۲). «تأثیر تغییر اقلیمی بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت به‌عنوان راهکار سازگاری». دانش کشاورزی و تولید پایدار. ج ۲۳، ش ۴: ۱۳۰-۱۱۱.
- معافی‌مدنی، ف.، موسوی‌بیگی، م. و انصاری، ح. (۱۳۹۱). «پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS». جغرافیا و مخاطرات محیطی. ش ۳: ۳۷-۲۱.
- میرمحمدی، س.م. (۱۳۸۷). آمایش سرزمین و ملاحظات امنیت اقتصادی. تهران: انتشارات تدبیر اقتصاد.
- نجفی، م.س. (۱۳۹۱). «شبیه‌سازی اثر گرمایش جهانی در رخدادهای بار بیولوژیک گرد و غبار در غرب ایران». پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به‌راهنمایی دکتر فرامرز خوش‌اخلاق. تهران: دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا.
- نجفی، م.س.، رسولی، ع.، عشورنژاد، غ. و آزر، ک. (۱۳۹۳). «پیاپی‌سازی مدل سنجش تناسب اراضی برای کشت کلزا با استفاده از سیستم استنتاج فازی (مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی)». مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. ش ۱۵: ۱۳۰-۱۱۳.
- Abbasi, F., Babaeian, E., Malboosi, S.H., Asmari M. and Mokhtari, L.G. (2012). "Climate Change Assessment over Iran during Future Decades, Using Statistical Downscaling of ECHO-G Model". Geographical Res.. Vol. 27 (104): 205-230. (In Persian).
- Abiri, S. (2007). "Tables preparation soil and climatic requirements for land evaluation of canola cultivation in Iran, according to the FAO method". MA Thesis. Tehran: Tarbiat Modares University. (In Persian).

- Agha-Ebrahimi Samani, B., makuyi, A. and Sadr-Lahiji, M. (2008). "Challenges of Iranian companies in oil and gas projects to DEMATEL"., Vol 25 (45), PP 121-129. (In Persian).
- Azarm, K. (2010). "Fitness Evaluation of west Azerbaijan Province Lands for Canola Cultivation Based on Multi Criteria Decision Making in GIS Environment". MA thesis. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili. Faculty of Literature & Human Science. (In Persian).
- Babaeian, I., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H. and Malbisei S. (2010). "Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model". Geography and Development. Vol. 7 (10): 135-152. (In Persian).
- Faraji Sabokbar, H.A., Alavi Panah, S.K., Nami, M.H. and Ashournejad, Q. (2013). "Spatial Analysis of the Location of Banks, Financial and Credit Institutions in 6th District of Tehran by DEMATEL techniques and Analytic Network Process (ANP)". Human Geog. Research quarterly. Vol. 45 (3): 77-94. (In Persian).
- Ghasemi pirbalouti, A., Normohammadi, Gh.,A., Kamali, Gh., Ayeneh Band, A., Porhemmat, J., Abdollahi, Kh. and Golparvar, A.R. (2008). "Integrating Some of the Ecological Factors in Order Sustainable Canola Production Using GIS in Southwest Iran". American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci. 41: 68-71. (In Persian).
- Gholipoor, M. and Soltani, A. (2009). "Future climate impacts on chickpea in Iranand ICARDA". Res. J. Environ. Sci. 3: 16-28. (In Persian).
- Hajarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E. and Sayyedi, F. (2013). "Simulating the impact of climate change on production of Chickpea in rainfed and irrigated condition of Kermanshah". J. of plant production research. Vol. 20 (2): 235-252. (In Persian).
- Hatfield, J.L., Boote, K.J., Kimball, B.A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M. and Wolfe, D. (2011). "Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production". Agro. J. 103: 351-370.
- IPCC (2013). "Fifth Assessment Report (AR5): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)". <http://www.ipcc.ch/report/ar5>.
- Koochaki, A.M., Nassiri, G.A., Kamali, A. and Shahandeh, H. (2006). "Potential impacts of climate change on agrometeorological indicators in Iran". Arid Land Research and Management. 20: 245-259.
- Kamal, A.R., Massah Bavani, A.R. (2011). "Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Tow Hydrology Models Uncertainty". Journal of water and soil. No. 24 (5): 920-931. (In Persian).
- Lashkari, H. and Rezaei, A. (2012). "Site Selection of Potential Cultivation of Canola in Sarpole Zahab District". Physical Geog. Research quarterly. Vol. 43 (78): 29-48. (In Persian).
- Mir-Mohammadi, S.M. (2008). Land use planning and economic security considerations. Tehran: Economic Policy Publication. (In Persian).
- Moafi madani S.F., Baygi M.M. and Ansari, H. (2012). "Prediction of Drought in the Khorasan Razavi Province During 2011-2030 by Using Statistical Downscaling of HADCM3 Model Output". Geography and Environmental Hazard. No. 3: 21-38. (In Persian).
- Moradi, R., Koochaki, A. and Mahallati, M.N. (2014). "Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad". J. of Sustainable agriculture and production Sci.. Vol. 23 (4): 111-130. (In Persian).
- Najafi, M.S. (2012). "Simulating Global Warming Effects on the Occurrence of Dust storms and their Biological load in the West of Iran". MA Thesis. Tehran: University of Tehran. Faculty of Geography. (In Persian).
- Najafi, M.S., Rasouli, A.A., Ashournejad, Q. and Azarm. K. (2014). "Implementing of Land Suitability Assessment Models for Canola Cultivation Using Fuzzy Inference System (Case Study: West Azerbaijan)". Arid regions Geographic Studies. No. 15: 113-130. (In Persian).
- Peter, J. (2000). Weather and Yield. Translated by Mohammad Kafi et al.. Mashhad: Jihad Daneshgahi publication. (In Persian).
- Rajabi, M.H., Soltani, A. and Zainali, A. (2013). "Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan, Iran". J. of Crop Production. Vol. 5 (3): 23-44. (In Persian).
- Rezvani, M.R., Oroji, H., Alizadeh, M. and Najafi, M.S. (2013). "Site Selection Construction of Ski Pistes in Order Tourism (Case study: the Northern Regions of Tehran Province)". Journal of Zonal Planing. No. 10: 27-44. (In Persian).

- Roshan, Gh.R., Najafi, M.S., Ángel, M., Costa and José, A. Orosa (2014). "Effects of climate change on wind energy production in Iran". Arab J Geosci. DOI 10.1007/s12517-014-1374-2.
- Roshan, Gh. and Najafi, M.S. (2012). "A Study of the Potential Impact of Climate Change on the Future Droughts in Iran by Using the Global Circulation Models as Outputs". Arid regions Geographic Studies. No. 6: 87-108. (In Persian).
- Semiromi, S.T., Moradi, H.R. and Khodaghali, M. (2014). "Simulation and prediction some of climate variable by using multi line SDSM and Global Circulation Models (Case study: Bar Watershed Nayshabour)". Human and Environment. No. 28: 1-15. (In Persian).
- Shaemi, A. and Habibi Nokhandan, M. (2009). Climate Change the Biological and ecological consequences, Climatological Res.Mashhad: University Of Ferdowsi press.(In Persian).
- Shariati, S., Ghazi, Sh. (2000). The Canola. Tehran: Bureau of Statistics and Information in agriculture. (In Persian).
- Tzeng, G.H., Chiang, C.H. and Li, C.W. (2007). "Evaluating Intertwined Effects in E-learning Programs: a Novel Hybrid MCDM Model Based on Factor Analysis and DEMATEL, Expert Systems with Applications". An International Journal. Vol. 32. No. 4: 1028–1044.
- Xu, Y.P., Zhang, X. and Tian, Y. (2012). "Impact of climate change on 24-h design rainfall depth estimation in Qiantang River Basin, East China". Hydrology Process. doi: 10.1002/hyp.9210.
- Xu, Y.P., Zhang, X. and Tian, Y. (2012). "Impact of climate change on 24-h design rainfall depth estimation in Qiantang River Basin, East China". Hydrology Process. doi: 10.1002/hyp.9210.
- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y. and Kanani, R. (2011). "Impacts of Climate Change on Runoffs in east Azerbaijan, Iran". Global and Planetary Change. Vol. 78. Issue. 3-4: 137-146.