

به نام خدا

# نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴

اعتبار: علمی - پژوهشی

درجه علمی - پژوهشی این نشریه از تاریخ دومین شماره انتشار، طی نامه شماره ۳/۱۸/۱۳۹۴۱۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۷/۳۰ کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران ابلاغ شده است.

صاحب امتیاز:	انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران
مدیر مسئول:	بهرام بختیاری دانشگاه شهید باهنر کرمان
سر دبیر:	علی خلیلی دانشگاه تهران
مدیر داخلی:	نوذر قهرمان دانشگاه تهران

## اعضای هیأت تحریریه:

ایران نژاد، پرویز	دانشیار (دانشگاه تهران)	خانجانی، محمد جواد	استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)
بارانی، غلامعباس	استاد (دانشگاه شهید باهنر کرمان)	خلیلی، علی	استاد (دانشگاه تهران)
بختیاری، بهرام	استادیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)	رئینبی، محمود	دانشیار (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)
بلوری زاده، محمدآقا	استاد (دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان)	قهرمان، نوذر	دانشیار (دانشگاه تهران)
حجام، سهراب	دانشیار (واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی)	کمالی، غلامعلی	دانشیار (واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی)

ناشر: انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران

ویراستاران: دکتر بهرام بختیاری، دکتر نوذر قهرمان

طراح، صفحه آرا: معین گنجعلیخانی، زهرا افضلی گروه

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه شده است:

پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)

نشانی: کرمان، انتهای بلوار ۲۲ بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دفتر انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، نشریه هواشناسی کشاورزی -

کدپستی ۱۴۱۱۱-۷۶۱۶۹- تلفن و نمابر: ۰۳۴-۳۳۲۲۶۰۹۰

وب سایت: <http://agmj.ir>

پست الکترونیک: [agromet\\_journal@yahoo.com](mailto:agromet_journal@yahoo.com)

این نشریه به صورت دوفصلنامه (دو شماره در سال) چاپ و منتشر می‌گردد.

## داوران این شماره

دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر محمدمهدی احمدی
دانشگاه تهران	دکتر پرویز ایران‌نژاد
دانشگاه تهران	دکتر زهرا شریعتمداری
پژوهشکده اقلیم‌شناسی مشهد	دکتر ایمان بابائیان
دانشگاه تهران	دکتر سعید بازگیر
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر بهرام بختیاری
دانشگاه تهران	دکتر جواد بذرافشان
دانشگاه تهران	دکتر علی خلیلی
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری	دکتر محمود رائینی
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرین سیاری
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر خلیل قربانی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر بیژن قهرمان
دانشگاه تهران	دکتر نوذر قهرمان
دانشگاه محقق اردبیلی	دکتر رئوف مصطفی زاده
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محمد موسوی بایگی
دانشگاه اصفهان	دکتر حجت‌الله یزدان‌پناه



## فهرست مقالات

### سخن نخست

- ۱ ارزیابی راهبرد ترکیب مدل‌ها در افزایش دقت پیش‌بینی بارش پاییزه  
فرشته مدرسی، شهاب عراقی‌نژاد، کیومرث ابراهیمی
- ۱۴ مقایسه روش‌های برآورد منطقه‌ای دمای کمینه هوا (مطالعه موردی: استان اصفهان)  
قمر فدوی، جواد بذرافشان، نوذر قهرمان
- ۲۴ بررسی کمی و مدل‌سازی ریسک آسیب‌های زراعی بارش‌های سیل‌آسا در گستره ایران  
علی خلیلی
- ۳۴ کاربرد شاخص دمای معادل فیزیولوژیک جهت تعیین مناطق مناسب گردشگری کشاورزی در استان کرمان  
آرشین بختیاری
- ۴۵ تخمین ضریب آلبیدوی سطح زمین با استفاده از تصاویر Level-1-G و CDR ماهواره لندست-۷  
علی اکبر سبزی پرور، الهام فخاری زاده شیرازی، صفر معروفی، یوسف رضایی
- ۵۵ مطالعه خصوصیات کمی و کیفی گیاه عدس (رقم بیله‌سوار) تحت تأثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن  
و رژیم‌های مختلف آبیاری  
شیده شمس، محمد موسوی بایگی، امین علیزاده، محمود شور، علی‌اکبر کامگارحقیقی
- ۶۸ یادداشت فنی: تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم (مطالعه موردی: استان فارس)  
غلام‌عباس فلاح قاهری، مهدی اسدی، عباسعلی داداشی رودباری

## سخن نخست

پایگاه‌های جهانی داده‌های اقلیمی و تغییر اقلیمی برای پژوهشگران این رشته گنجی اینترنت آورده به شمار می‌رود. آنان با گشت و گذار در دنیای مجازی به بسیاری از داده‌های اقلیمی که نیاز اساسی و ماده‌المواد پژوهش‌هایشان را تشکیل می‌دهد، اعم از داده‌های سطح زمین یا لایه‌های بالاتر اتمسفر، دسترسی پیدا می‌کنند و به گفته حافظ<sup>۱</sup> "گره از کار فروبسته ما بگشایند". این امکان ارزشمند که محصول گسترش فناوری اطلاعات و داده‌پردازی دهه‌های اخیر است، به محققین ما فرصت می‌دهد که ذوق و توان پژوهشی خود را بیش از آنکه صرف تأمین داده‌های مورد نیاز خود کنند به کنکاش در اصل پرسش‌های پژوهشی و اهداف تحقیق خود بپردازند و همگام با جامعه جهانی پژوهشگران هم حرفه خود، پیشرو و به روز باشند، تازه‌ها را جذب کنند و برگی به دفتر دانش بشری بیفزایند. البته این یک چهره مثبت از کاربرد پایگاه‌ها است، روی دیگر آنست که استفاده و پذیرش درست آن‌ها، بدون نگرش به مقیاس مطالعه و چون و چند ایستگاه‌های اولیه تولید داده‌ها ممکن است به دقت پژوهش لطمه وارد آورد. احتیاط‌آمیز نیست که نقشه‌های اقلیمی یا داده‌های این پایگاه‌ها را با اطمینان بپذیریم و برشی زیبا از آن برای منطقه مورد نظر مطالعه خود تهیه نماییم و چون مستند به یافته‌های جهانی است مهر تأیید بر آن بزنیم و وضعیت حال و آینده را نتیجه‌گیری کنیم. البته این خود نوعی انتشار دانش است ولی همواره نتایج، آن اندازه قابل قبول نیستند که انتشار یابند و به اتکاء آن‌ها نمی‌توان از جستجوهای بومی و ملی صرف‌نظر کرد و آن را جانشین این نمود. که به گفته سنایی<sup>۲</sup> "کاریز میان جان تو می‌باید - کز عاریه‌ها تو را دری نگشاید/ یک کوزه آب در میان خانه- به از جویی که از برون می‌آید".

بن مایه این پیشگفتار یافته‌های مقاله‌ای است که در آن یک مطالعه تطبیقی برای بررسی کمی اختلاف توزیع بارندگی سالانه در ایران از دیدگاه پایگاه‌های جهانی و از نگاه داده‌های ملی انجام گرفته است.<sup>۱</sup> کرو<sup>۲</sup> (واحد پژوهش اقلیم) وابسته به دانشگاه ایست آنجلیا<sup>۳</sup> در انگلستان که خود با چند مرکز تحقیقاتی در سایر کشورهای اروپایی، آمریکا و شرق آسیا ارتباط نزدیک و به اصطلاح لینک دارد. در قسمتی از فعالیت‌های خود "مجموعه داده‌های شبکه‌بندی شده با تفکیک بالا"<sup>۴</sup> را تولید، گردآوری و ارائه کرده است. در مقاله پیش گفته دو مجموعه شبکه‌بندی شده از این پایگاه، یکی CRU-CL2.0 با تفکیک ۱۰ دقیقه قوسی و دیگری CRU TS v 3.10.01 با تفکیک ۳۰ دقیقه و یک مجموعه داده‌ها از شبکه ورد کلیم<sup>۵</sup> با تفکیک ۳۰ ثانیه (تقریباً ۱×۱ کیلومتر در اطراف ایران) انتخاب و با داده‌های ملی مقایسه شده است. بدیهی است هرچه تراکم ایستگاه‌های مبنای یک شبکه‌بندی بیشتر باشد دقت محاسبه رقوم‌گریدها بیشتر است. پیگیری نشان داد که مبنای این شبکه‌بندی‌ها در روی ایران ۴۶ ایستگاه و بسیار اندک است. تراکم ایستگاه‌های منتخب در کشورهای مجاور نیز فقیر محسوب می‌شوند. این سه شبکه با شبکه‌ای که برای ایران بر پایه ۱۱۴۱ ایستگاه و با تفکیک ۱×۱ کیلومتر به عنوان دیتا ست ملی برای صحت‌سنجی ساخته شد، مقایسه شده‌اند.

تهیه‌کنندگان مقاله نشان داده‌اند که اختلاف نسبی بین داده‌های بارندگی سالانه ایستگاه‌های حقیقی ایران با مقادیر متناظر با آن‌ها در سه شبکه پیش گفته بین ۴۲۰+ درصد تا ۷۵- درصد متغیر بوده است. در مقایسه پیکسل به پیکسل شبکه‌های جهانی با شبکه بومی تفاوت از این هم زیادتر می‌باشد برعکس وقتی کل کشور مقایسه می‌شود خطاهای نسبی تقلیل پیدا می‌کنند و از نظر آماری کم‌بارشی یک ناحیه با پر بارشی ناحیه دیگر جبران می‌گردد که خود خطایی مضاعف است.

بدیهی است یک چنین کم دقتی از اهمیت داده‌های بین‌المللی نمی‌کاهد چه اصولاً این مجموعه‌ها نگرشی کلان مقیاس دارند و به همین دلیل در استفاده و کاربرد آن‌ها، این نگاه کلان باید محفوظ بماند و توقع نباید داشت که از این داده‌ها با دقت ۴۶ ایستگاه در یک میلیون و ششصد هزار کیلومتر مربع همان نتیجه‌ای حاصل شود که از ۱۴۴۱ ایستگاه به دست می‌آید. کاربرد

<sup>1</sup> High-resolution spatio-temporal distribution of precipitation in Iran: a comparative study with three global- precipitation datasets. Theoretical and Applied climatology; vol.114 No.d.3-4.2013

<sup>2</sup> CRU: Climate Research Unit

<sup>3</sup> East Anglia

<sup>4</sup> High Resolution Gridded Datasets

<sup>5</sup> World Clim

ابزارهایی چون روش‌های متعدد خرد مقیاس‌نمایی راهی است که محققین برای فایق آمدن بر این تردیدها به کار می‌گیرند که آن هم نیازمند استفاده هر چه بیش‌تر از داده‌های ملی است و خلاصه آن‌که ماهیت کار ایجاب می‌کند که مقدم بر داده‌های شبکه‌بندی شده حاضر و آماده جهانی، لازم است بهره‌گیری و پردازش مستقیم اطلاعات اقلیمی داخلی و استناد جستن به آن‌ها در اولویت کامل قرار گیرد.

خوشبختانه ایجاد پایگاه داده‌های اقلیمی ایران چندی است که مورد توجه سازمان‌های پژوهشی ذیربط قرار گرفته و امید است جایگاه آن بیش از پیش شناخته شود و تا آنجا که ممکن است هر چه زودتر این منابع اطلاعات بومی را با دقت قابل قبول برای داده‌های پر شمار اقلیمی خود ایجاد و زیر ساخت‌های پژوهشی‌مان را در رشته‌های مرتبط تقویت کنیم.

سردبیر

علی خلیلی



## ارزیابی راهبرد ترکیب مدل‌ها در افزایش دقت پیش‌بینی بارش پاییزه

فرشته مدرسی<sup>۱</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۲\*</sup>، کیومرث ابراهیمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

### چکیده

پیش‌بینی بارش پاییزه در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی به ویژه امکان سنجی کشت دیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در مطالعه حاضر، برای افزایش دقت پیش‌بینی بارش پاییزه از تکنیک ترکیب مدل‌ها استفاده شده است. به این منظور، بر اساس دو شاخص اقلیمی SOI و NINO 3.4 به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده، پنج مدل شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته، رگرسیون بردار پشتیبان، K نزدیک‌ترین همسایگی و رگرسیون خطی با ساختار بهینه به عنوان مدل‌های منفرد پیش‌بینی کننده بارش اجرا شده‌اند. برای ترکیب مدل‌های مذکور از راهبرد وزن‌دهی رتبه‌بندی شده به مدل‌ها (OWA) استفاده شده که در آن، برای تعیین وزن مدل‌ها، دو روش Orlike و Omess مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پیش‌بینی بارش در زیرحوضه سیمره از حوضه کرخه نشان می‌دهد که بارش پیش‌بینی شده با استفاده از راهبرد ترکیب مدل‌ها از دقت بیشتری نسبت به مدل‌های منفرد برخوردار است و روش Orlike در مقایسه با روش Omess، دقت پیش‌بینی‌ها را بیشتر افزایش می‌دهد. همچنین، مقایسه نتایج روش‌های راهبرد OWA با دو راهبرد ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی مصنوعی و راهبرد انتخاب بهترین مدل منفرد نشان می‌دهد که قابلیت هر دو روش Orlike و Omess برای بهبود دقت پیش‌بینی بارش، بیش از راهبردهای شبکه عصبی و بهترین مدل منفرد است.

واژه‌های کلیدی: ترکیب مدل‌ها، وزن‌دهی رتبه‌بندی شده، Omess، Orlike، SOI، NINO 3.4

### مقدمه

انسو از دو واژه النینو (El Nino) و نوسانات جنوبی (SOI)<sup>۳</sup> گرفته شده است. پدیده انسو بر مناطق مختلف کره زمین تأثیر متفاوتی نظیر خشکسالی‌های شدید و بارش‌های سیل آسا می‌گذارد. آلن و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۶) و کریپالانی و کولکارانی<sup>۵</sup> (۱۹۹۷) تأکید کرده‌اند که انسو از مهم‌ترین پدیده‌های شناخته شده و ناشی از واکنش‌های متقابل اقیانوس-جو و خشکی است و سبب تغییرات اقلیمی در مقیاس سالانه در سطح کره زمین می‌شود. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که پدیده انسو بر بارش مناطق مختلف جهان نظیر آفریقا (روپلوسکی و هالپرت<sup>۶</sup>، ۱۹۸۹)، غرب آمریکا (ردموند و کچ<sup>۷</sup>، ۱۹۹۱)، استرالیا (چیو و همکاران<sup>۸</sup>،

پیش‌بینی بلندمدت بارش، در برنامه‌ریزی‌های منابع آب بالاخص تخصیص آب به بخش کشاورزی و تعیین نوع الگوی کشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به انجام کشت دیم در فصل پاییز، پیش‌بینی بارش پاییزه علاوه بر اثرگذاری بر کشت آبی، در تعیین نوع الگوی کشت دیم نیز اثرگذار است. از این‌رو، افزایش دقت پیش‌بینی بارش در این فصل ضروری است. یکی از مهم‌ترین منابع اثرگذار بر تغییرات جوی و اقلیمی در مناطق مختلف جهان و به‌خصوص در مناطق حاره‌ای، پدیده انسو (ENSO) است.

<sup>3</sup> South Oscillation Index (SOI)

<sup>4</sup> Allen et al.

<sup>5</sup> Kripalani and Kulkarni

<sup>6</sup> Ropelewski and Halpert

<sup>7</sup> Redmond and Koch

<sup>8</sup> Chiew et al.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی،

دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(\*نویسنده مسئول: araghinejad@ut.ac.ir)

و K نزدیک‌ترین همسایگی (عراقی نژاد و همکاران، ۲۰۰۶؛ میدانی و عراقی نژاد، ۲۰۱۴) استفاده شده است. از آنجا که هر یک از مدل‌های مذکور در مدل‌سازی با خطاهایی همراه هستند که غیرقابل اجتناب است و منجر به کاهش دقت نتایج می‌شود، از سال ۲۰۰۰ تکنیک ترکیب مدل‌ها برای افزایش دقت پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت زمانی، مکانی و زمانی- مکانی در علوم مربوط به منابع طبیعی و محیط زیست نظیر پیش‌بینی پدیده مه (میتسوکورا و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲)، پیش‌بینی زمانی رطوبت خاک (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۵)، پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت دینامیکی اقیانوس‌ها (لسلی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۸) و پیش‌بینی سرعت و پروفیل باد (مندیک و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۹) به کار برده شده است. تکنیک ترکیب مدل‌ها زیرمجموعه‌ای از تکنیک ترکیب اطلاعات می‌باشد به گونه‌ای که نتیجه حاصل از آمیختن داده‌های به‌دست آمده از منابع مختلف، جامع‌تر، دقیق‌تر و مطمئن‌تر از نتایج حاصل از هر یک از منابع اولیه باشد (هال و لیناس<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۷). ترکیب مدل‌ها در قالب دیدگاه‌های موازی، سری و ترکیب آن‌ها صورت می‌گیرد (داساراتی<sup>۱۲</sup>، ۱۹۹۴). در دیدگاه ترکیب موازی مدل‌ها، نتایج حاصل از چندین مدل منفرد با روش‌هایی نظیر وزدن‌دهی و خودراه‌اندازی<sup>۱۳</sup> با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود؛ در حالیکه در دیدگاه ترکیب سری مدل‌ها، نتایج حاصل از یک مدل به عنوان ورودی به مدل دیگر وارد می‌شود و در دیدگاه ترکیبی نتایج حاصل از چندین مدل منفرد به عنوان ورودی به یک مدل دیگر وارد می‌شود. در زمینه پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت هیدرولوژیک نیز تکنیک ترکیب مدل‌ها در قالب روش‌هایی نظیر میانگین‌گیری ساده و وزنی (دیدگاه موازی) (سی و آبراهارت<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۱؛ گوسوامی و اوکانتر<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۷؛ عزمی و همکاران، ۲۰۱۰)، و روش‌های فازی و شبکه عصبی

(۱۹۹۸)، شرق آسیا (رنگونج و سوهاوا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰) و غرب اروپا (ماریوتی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲) اثرگذار است. در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است، از آن جمله، عزیزی (۱۳۷۹) رابطه النینو را با دوره‌های ترسالی و خشکسالی در ایران بررسی نمود و نشان داد که ارتباط نسبتاً قوی بین بارش سالانه ایران و شاخص نوسانات جنوبی (SOI) وجود دارد. ناظم‌السادات و کوردری<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) اثر پدیده انسو را بر بارش پاییزه ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که شاخص نوسانات جنوبی (SOI) دارای همبستگی منفی با بارش پاییزه می‌باشد و متوسط تابستانه این شاخص، پیش‌بینی کننده مناسبی برای بارش پاییزه است. همچنین، پدیده انسو اثر قابل توجهی بر بارش پاییزه دامنه جنوبی البرز و استان‌های شمال‌غرب ایران می‌گذارد. در تحقیق دیگری، کوره‌پزان دزفولی (۱۳۸۲) با بررسی شاخص‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی برای پیش‌بینی بارش مناطق جنوبی ایران نشان داد که شاخص نوسانات جنوبی (SOI) پیش‌بینی کننده مناسبی برای بارش پاییزه در این مناطق می‌باشد. فتاحی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی اثر سیگنال‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی بر بارش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت در ناحیه جنوب غرب ایران نشان دادند که پدیده انسو در نواحی نینو ۱+۲ (NINO 1+2)، نینو ۳ (NINO 3) و نینو ۳/۴ (NINO 3.4) مؤثرترین سیگنال‌ها برای پیش‌بینی بارش در ناحیه جنوب غرب ایران هستند. فاتحی مرج و مهدیان (۱۳۸۸) نیز نشان دادند که شاخص نوسانات جنوبی (SOI) و شاخص نینو ۳/۴ (NINO 3.4) مؤثرترین پیش‌بینی کننده‌ها برای پیش‌بینی بارش پاییزه در حوضه دریاچه ارومیه هستند. برای انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت هواشناسی و هیدرولوژیک، در اکثر تحقیقات صورت گرفته از روش‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی (وو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰؛ چن و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴)، ماشین بردار پشتیبان (کیسی و سیمن<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲؛ سو و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۴)

<sup>8</sup> Mitsukura et al.

<sup>9</sup> Leslie et al.

<sup>10</sup> Mandic et al.

<sup>11</sup> Hall and Linas

<sup>12</sup> Dasarathy

<sup>13</sup> Bootstrap

<sup>14</sup> See and Abrahart

<sup>15</sup> Goswami and O'Connor

<sup>1</sup> Renguang and Xiouhua

<sup>2</sup> Mariotti et al.

<sup>3</sup> Cordery

<sup>4</sup> Wu et al.

<sup>5</sup> Chen et al.

<sup>6</sup> Kisi and Cimen

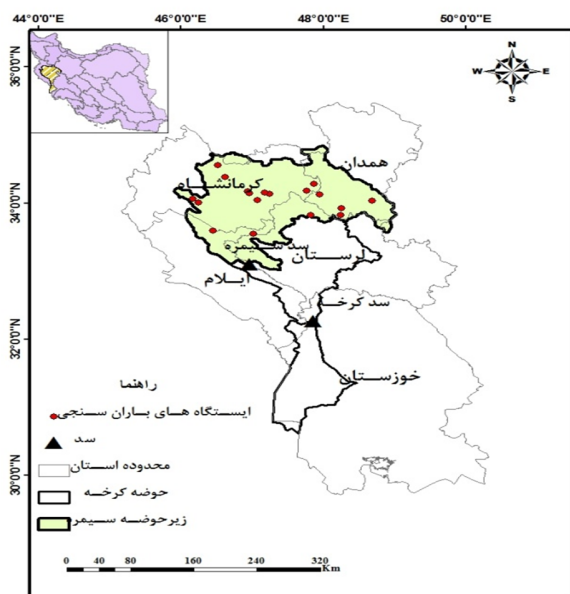
<sup>7</sup> Su et al.

شبکه عصبی و نیز انتخاب بهترین مدل منفرد مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

زیرحوضه سیمره در بالادست سد سیمره قرار دارد و مساحت تقریبی آن ۱۸۹۶۰ کیلومتر مربع است. موقعیت این زیرحوضه در حوضه کرخه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه سیمره و ایستگاه‌های باران‌سنجی آن

برای انجام تحقیق حاضر از اطلاعات بارش ماهانه ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۱ استفاده و متوسط بارش پاییزه ۱۸ ایستگاه محاسبه شده است. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین، بر اساس تحقیقات صورت گرفته در ایران برای پیش‌بینی بارش پاییزه (ناظم‌السادات و کوردی، ۲۰۰۰؛ کوره‌پزان دزفولی، ۱۳۸۲؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فاتحی مرج و مهدیان، ۱۳۸۸) متوسط تابستانه دو شاخص نوسانات جنوبی (SOI) و NINO3.4 به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش پاییزه مناسب شناخته شده است. شاخص نوسانات جنوبی (SOI) نشان‌دهنده اختلاف فشار سطح آب اقیانوس آرام بین تاهیتی در شرق و داروین استرالیا در غرب اقیانوس آرام

(دیدگاه ترکیبی) (ژانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ آبراهارت و سی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲؛ شمس‌الدین و همکاران، ۲۰۰۷) سبب ارتقاء دقت نتایج پیش‌بینی شده است. مقایسه روش‌های مذکور در مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که روش شبکه عصبی در ارتقاء دقت نتایج، بر سایرین برتری داشته است. مدرسی و همکاران (۱۳۹۴) از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده<sup>۳</sup> (OWA) بر مبنای روش Orness برای ترکیب مدل‌های پیش‌بینی کننده جریان ماهانه استفاده نمودند و نشان دادند که روش پیشنهادی آن‌ها، دقت نتایج را به ترتیب نسبت به استراتژی ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی و نیز استراتژی انتخاب بهترین مدل منفرد به طور متوسط ۵۵ و ۴۶ درصد افزایش داده است. روش وزن‌دهی رتبه‌بندی شده (OWA) اولین بار توسط یاگر<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است که در آن دامنه وسیعی از وزن‌ها به صورت مستقل از عوامل وزن گیرنده ایجاد می‌شود و با توجه به اهمیت عوامل مختلف، هر وزن می‌تواند به مورد خاصی اختصاص یابد. به این دلیل، کاربرد اصلی این روش در تحقیقات صورت گرفته، در زمینه فرآیندهای تصمیم‌گیری<sup>۵</sup> بوده است (ماکروپولوز و باتلر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶؛ چیکلانا و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۷؛ ژو و چن<sup>۸</sup>، ۲۰۱۱). با توجه به آن‌چه بیان شد، در مقاله حاضر، برای افزایش دقت پیش‌بینی بارش پاییزه در زیرحوضه سیمره از حوضه کرخه، در گام نخست، اثر دو شاخص اقلیمی SOI و NINO 3.4 به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بر اساس نتایج پنج مدل منفرد ارزیابی و بهترین شاخص پیش‌بینی کننده بارش پاییزه تعیین شده است. سپس، در گام دوم، بر مبنای نتایج پیش‌بینی حاصل از بهترین شاخص اقلیمی پیش‌بینی کننده، از روش ترکیب مدل‌ها بر مبنای استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده (OWA) برای افزایش دقت پیش‌بینی‌های صورت گرفته استفاده شده است. در این راستا، کارایی دو روش Orlike و Orness برای تعیین وزن مدل‌های منفرد مقایسه شده و نسبت به استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها با

<sup>1</sup> Xiong et al.

<sup>2</sup> Abrahart and See

<sup>3</sup> Ordered Weighted Aggregation

<sup>4</sup> Yager

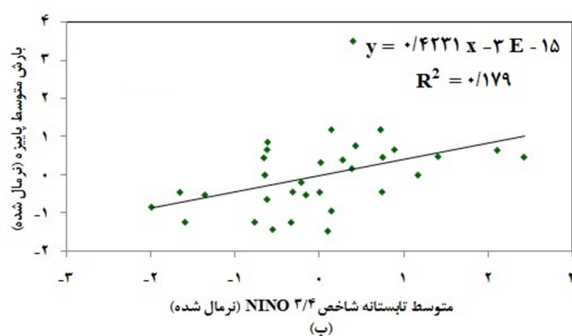
<sup>5</sup> Decision Making

<sup>6</sup> Makropoulos and Butler

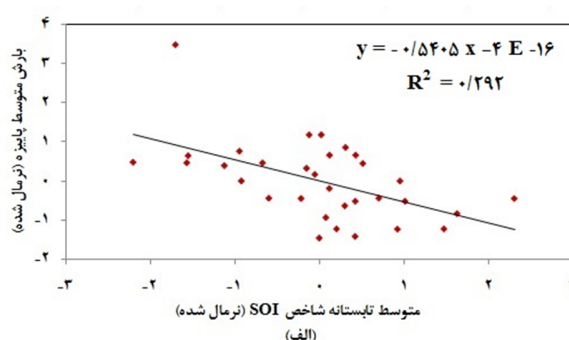
<sup>7</sup> Chiclana et al.

<sup>8</sup> Zhou and Chen

همبستگی متوسط تابستانه شاخص‌های SOI و NINO 3.4 با بارش پاییزه نشان داده شده است. در این شکل، از مقادیر نرمال استاندارد شاخص‌های اقلیمی و بارش پاییزه استفاده شده است. شایان ذکر است که در مقاله حاضر از داده‌های شاخص‌های اقلیمی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۲ (منطبق بر دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۱) استفاده شده که این داده‌ها در بازه زمانی ماهانه در سایت مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیط زیست (NCEP) در دسترس می‌باشد. با توجه به شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود که بارش متوسط پاییزه در منطقه مطالعاتی دارای همبستگی منفی با شاخص SOI با ضریب زاویه  $-0/54$  و دارای همبستگی مثبت با شاخص NINO 3.4 با ضریب زاویه  $0/423$  است.



می‌باشد و شاخص NINO3.4 نشان‌دهنده دمای متوسط سطح آب دریا در شرق مرکز اقیانوس آرام حاره‌ای در موقعیت  $5S-5N$  و  $120W-170W$  است که از میان شاخص‌های NINO، نزدیک‌ترین موقعیت را نسبت به ایران دارد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی میزان همبستگی بارش متوسط پاییزه در منطقه مطالعاتی و متوسط فصلی شاخص‌های SOI و NINO 3.4 نیز نشان می‌دهد که بیش‌ترین همبستگی میان متوسط تابستانه این دو شاخص با بارش پاییزه وجود دارد؛ به طوری که مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) میان بارش متوسط پاییزه و متوسط تابستانه شاخص‌های SOI و NINO3.4 به ترتیب برابر با  $-0/540$  و  $0/423$  است. در شکل ۲ (الف و ب) به ترتیب چگونگی



شکل ۲- تغییرات بارش متوسط پاییزه زیر حوضه سیمره با متوسط تابستانه شاخص SOI (الف) و شاخص NINO 3.4 (ب)

کم‌ترین خطا باشد. در جدول ۱، نام، نام اختصاری مدل‌ها و نام پارامترهای بهینه شده برای هر مدل آورده شده است. برای مطالعه بیشتر در مورد جزئیات ساختار مدل‌های منفرد به عراقی‌نژاد (۲۰۱۴) مراجعه شود.

## ۲- انتخاب بهترین نتایج مدل‌های منفرد بر اساس نوع متغیر پیش‌بینی کننده

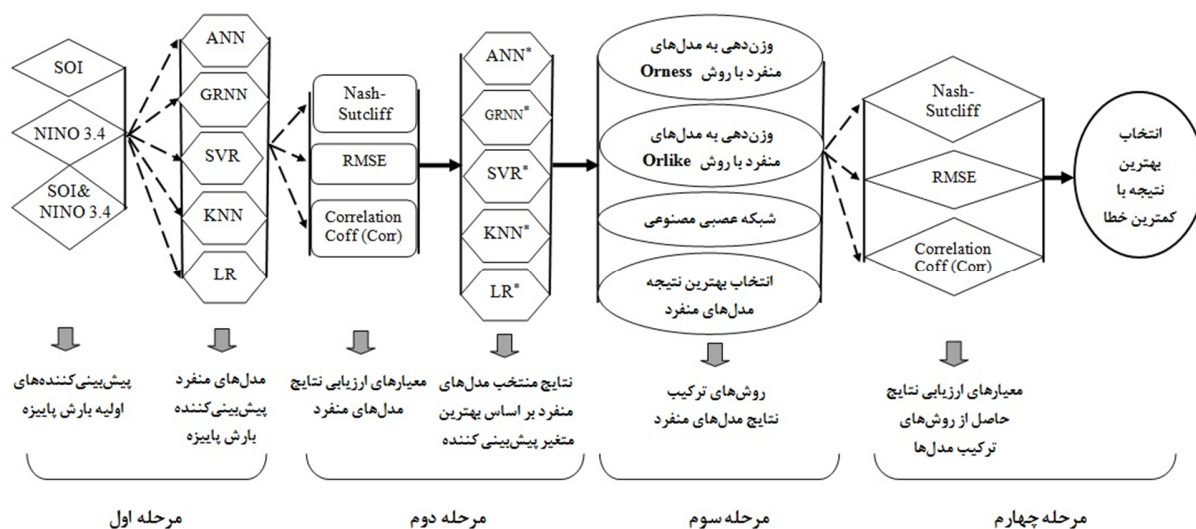
در این مرحله، نتایج حاصل از مدل‌های منفرد که از به‌کارگیری متغیرهای پیش‌بینی کننده متفاوت ایجاد شده‌اند بر اساس سه معیار نش- ساتکلیف<sup>۱</sup>، ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) میان مقادیر بارش مشاهداتی و مدل‌سازی شده ارزیابی و بهترین نتیجه مدل‌های منفرد (حاصل از بهترین متغیر پیش‌بینی کننده) برای مرحله ترکیب مدل‌ها انتخاب شده است.

## روش انجام تحقیق

تحقیق حاضر در یک الگوریتم چهارمرحله‌ای مطابق شکل ۳ انجام شده است که شرح آن به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- پیش‌بینی بارش پاییزه با استفاده از مدل‌های منفرد در این مرحله، بر اساس هر یک از شاخص‌های اقلیمی SOI و NINO 3.4 به تنهایی و به صورت ترکیب شده به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده، مدل‌های منفرد پیش‌بینی کننده بارش اجرا شده است. برای اجرای مدل‌های منفرد از داده‌های ۲۲ و ۱۰ سال به ترتیب برای آموزش (واسنجی) و آزمایش (صحت‌سنجی) مدل‌ها استفاده شده است. مدل‌های منفرد به کار رفته در تحقیق حاضر برای پیش‌بینی بارش، پنج مدل داده میناء شناخته شده با ساختاری بهینه می‌باشند. ساختار بهینه مدل‌ها به نحوی تعیین شده است که نتایج مرحله صحت‌سنجی دارای

<sup>1</sup> Nash-Sutcliffe



شکل ۳- الگوریتم مراحل انجام تحقیق

جدول ۱- نام و خصوصیات مدل‌های منفرد پیش‌بینی کننده بارش

نام کامل	نام اختصاری	نوع پارامترهای بهینه شده
شبکه عصبی مصنوعی	ANN	وزن‌های اولیه و تعداد نورون‌های لایه میانی
شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته	GRNN	پارامتر تنظیم مدل (پارامتر سیگما)
رگرسیون بردار پشتیبان	SVR	نوع تابع کرنل، پارامترهای تابع کرنل و پارامتر تنظیم مدل (پارامتر گاما)
K نزدیک‌ترین همسایگی	KNN	وزن متغیرهای پیش‌بینی کننده و تعداد همسایگی‌ها (K پارامتر)
رگرسیون خطی	LR	ضریب متغیرهای پیش‌بینی کننده

روش وزن‌دهی رتبه‌بندی شده (OWA) با ابعاد  $n$ ، نگاشتی از  $R^n$  به  $R$  است که در آن،  $n$  تعداد معیارها (تعداد مدل‌های منفرد) است و برای هر معیار بر اساس معادله ۱، وزنی به صورت  $W_i (i=1, n)$  وجود دارد (یاگر، ۱۹۸۸).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \in [0,1] \quad (1)$$

برای به‌کارگیری عملگر OWA برای پیش‌بینی بارش، اگر مقدار بارش پیش‌بینی شده توسط مدل منفرد  $i$ ام در گام زمانی  $j$ ام برابر با  $a_{ij}$  باشد، آنگاه بردار نتایج حاصل از  $n$  مدل منفرد در هر گام زمانی  $j$  برابر با  $A = \{a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}\}$  خواهد بود. در این صورت، بردار مرتب شده نزولی (از بهترین نتیجه با کم‌ترین خطا به بدترین نتیجه با بیش‌ترین خطا) حاصل از بردار  $A$  در گام زمانی  $j$ ام برابر با  $B = \{b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}\}$  و بردار وزن‌های متناظر با بردار  $B$ ، به صورت  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  می‌باشد. در نهایت عملگر

### ۳- ترکیب نتایج مدل‌های منفرد بر اساس چهار استراتژی ترکیب مدل‌ها

در این مرحله، نتایج مدل‌های منفرد حاصل از بهترین شاخص اقلیمی پیش‌بینی کننده بارش بر اساس چهار استراتژی به صورت زیر با یکدیگر ترکیب شده است:

- الف) ترکیب مدل‌ها با استفاده از استراتژی OWA بر اساس وزن‌های محاسبه شده به روش Orness
- ب) ترکیب مدل‌ها با استفاده از استراتژی OWA بر اساس وزن‌های محاسبه شده به روش Orlike
- ج) ترکیب مدل‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی
- د) انتخاب بهترین مدل منفرد با کم‌ترین خطا

استراتژی‌های فوق به شرح زیر می‌باشد:

الف و ب- ترکیب مدل‌ها با استفاده از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده (OWA) بر اساس وزن‌های محاسبه شده به روش‌های Orness و Orlike

$$\text{Subject to: } \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) w_i = \alpha \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad 0 \leq w_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

در معادله ۵، مقدار پارامتر  $\alpha$  باید با توجه به دقت موردنظر در پیش‌بینی، توسط کاربر تعیین شود. از آنجا که نتایج حاصل از مدل‌های منفرد به‌صورت نزولی از بهترین نتیجه به بدترین نتیجه مرتب شده‌اند، لازم است که وزن مدل‌ها نیز به صورت نزولی تنظیم شوند به نحوی که بیش‌ترین وزن به بهترین خروجی مدل‌ها در هرگام زمانی داده شود. با توجه به اینکه برای مقادیر  $\alpha$  کوچک‌تر از ۰/۵، وزن‌های مدل‌ها به صورت صعودی و برای بزرگ‌تر از ۰/۵، به صورت نزولی هستند، برای تطابق میان وزن‌ها و متغیرها از مقادیر  $\alpha$  بزرگ‌تر از ۰/۵ برای اجرای فرآیند بهینه‌سازی و تعیین وزن‌ها استفاده شده است. در مقاله حاضر روش بهینه‌سازی فراکاشی الگوریتم ژنتیک برای محاسبه وزن‌های بهینه به کار رفته است.

#### تعیین وزن مدل‌های منفرد به روش Orlike

روش Orlike یکی از روش‌های اصلی خانواده‌ای از وزن‌های OWA با عنوان S-OWA است که توسط یاجر و فیلو<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۴ ارائه شد. خانواده S-OWA شامل دو نوع روش وزن‌دهی با نام‌های Andlike و Orlike است. در نوع Andlike، بیش‌ترین وزن به بدترین حالت و در نوع Orlike، بیش‌ترین وزن به بهترین حالت اختصاص داده می‌شود. بنابراین، در تحقیق حاضر، از روش Orlike استفاده و بیش‌ترین وزن به بهترین جواب داده شده است. در روش Orlike، مقادیر وزن‌ها و عملگر OWA به‌ترتیب از معادله‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند.

$$w_i = \begin{cases} \frac{1}{n}(1-\alpha) + \alpha, & i=1 \\ \frac{1}{n}(1-\alpha), & i=2, \dots, n \end{cases}, \quad \alpha \in [0,1] \quad (6)$$

$$\text{OWA}(a_1, a_2, \dots, a_n) = \alpha \text{Max}_i(a_i) + \frac{1}{n}(1-\alpha) \sum_{i=1}^n a_i \quad (7)$$

در این روش، به ازای مقادیر صفر و یک برای پارامتر  $\alpha$ ، پارامتر Orness به ترتیب برابر با ۰/۵ و یک خواهد شد و این

OWA به صورت معادله ۲ بر روی نتایج هر گام زمانی  $z$  اعمال می‌شود.

$$\text{OWA}(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}) = \sum_{i=1}^n w_i b_{ij} \quad (2)$$

بنابراین، در این روش، در هر گام زمانی، وزن اختصاص یافته به مدل‌های منفرد تغییر می‌نماید. از آنجایی که برای وزن‌دهی به مدل‌های منفرد با روش OWA، ترکیب‌های متفاوتی از وزن‌ها وجود دارد، یاجر<sup>۱</sup> (۱۹۸۸) برای تعیین نحوه پراکندگی وزن‌ها حول مقدار میانه آن‌ها، پارامتر Orness را به صورت معادله ۳ تعریف نمود.

$$\text{Orness}(w) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) w_i \quad 0 \leq \text{Orness}(w) \leq 1 \quad (3)$$

مقادیر صفر و یک این پارامتر به ترتیب نشان‌دهنده وزن برابر با یک به بدترین و بهترین حالت (خروجی مدل) هستند. در این شرایط، وزن سایر مدل‌ها برابر با صفر خواهد بود. مقدار ۰/۵ برای این پارامتر نشان می‌دهد که یا همگی وزن‌ها برابر هستند و یا وزن‌ها به صورت توزیع نرمال حول میانه قرار دارند. بنابراین مقادیر میان ۰/۵ و یک برای این پارامتر نشان می‌دهد که توزیع وزن‌ها دارای چولگی مثبت است و این به این معناست که وزن بیش‌تری به مدل بهتر اختصاص یافته است. تعیین وزن‌ها در روش OWA به شیوه‌های متفاوتی صورت می‌گیرد. در مقاله حاضر دو روش از اصلی‌ترین روش‌های تعیین وزن به‌کار رفته است که به صورت زیر می‌باشد:

#### تعیین وزن مدل‌های منفرد به روش Orness

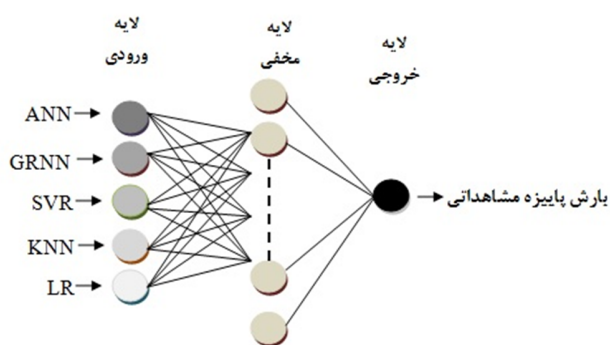
هاگان<sup>۲</sup> (۱۹۸۸) برای تعیین بهترین وزن‌ها از مدل بهینه‌سازی زیر استفاده نمود که در آن به ازای مقدار مشخصی از پارامتر Orness، بیشینه مقدار برای پارامتر پراکندگی (Disp) ایجاد شود.

$$\text{Maximize: } - \sum_{i=1}^n w_i \ln w_i \quad (4)$$

<sup>3</sup> Yager and Filev

<sup>1</sup> Yager

<sup>2</sup> O'Hagan



شکل ۴- ساختار شبکه عصبی مورد استفاده برای ترکیب مدل‌های منفرد

۴- ارزیابی نتایج استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها در این مرحله نیز نتایج حاصل از استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها بر اساس سه معیار نش-ساتکلیف، ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین استراتژی تعیین شده است.

## نتایج و بحث

### نتایج حاصل از اجرای مدل‌های منفرد

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، برای اجرای مدل‌های منفرد از داده‌های ۲۲ و ۱۰ سال به ترتیب برای آموزش (واسنجی) و آزمایش (صحت‌سنجی) مدل‌ها استفاده شده است. همچنین، برای تعیین بهترین متغیر پیش‌بینی کننده، هر یک از مدل‌های منفرد بر مبنای سه نوع متغیر پیش‌بینی کننده شامل متوسط تابستانه هر یک از شاخص‌های SOI و NINO 3.4 به تنهایی و به صورت ترکیب شده اجرا شده است. از آنجا که هدف این تحقیق، افزایش دقت نتایج در مرحله صحت‌سنجی است، نتایج حاصل از اجرای مدل‌های منفرد برای پیش‌بینی بارش پاییزه در مرحله صحت‌سنجی بر اساس هر یک از متغیرهای پیش‌بینی کننده در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که بر اساس هر سه معیار ارزیابی نتایج، در تمامی مدل‌های منفرد به جز KNN دقت نتایج حاصل از شاخص NINO 3.4 بیش‌تر از دقت نتایج حاصل از شاخص SOI است (هر چه شاخص نش-ساتکلیف و ضریب همبستگی به یک نزدیک‌تر و شاخص RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت نتایج بیش‌تر است). همچنین، مقایسه

امر نشان می‌دهد که در این روش به ازای تمامی مقادیر  $\alpha$ ، وزن بیش‌تری به مدل اول اختصاص می‌یابد. مزیت تعیین وزن در روش OWA به سایر روش‌های تعیین وزن نظیر روش استکینگ (Staking) و یا روش حداقل مربعات در این است که این روش به کاربر این امکان را می‌دهد که با توجه به مقدار پارامتر  $\alpha$ ، به تنوع وسیعی از ترکیب وزن‌ها دست یابد و با توجه به اهمیت مدل‌ها، به هر مدل وزن مناسب را اختصاص دهد. همچنین، در این روش مقادیر وزن مدل‌ها به صورت مستقل از میزان خطای مدل‌ها تعیین می‌شود.

### ج- ترکیب مدل‌ها با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی

برای ترکیب مدل‌های منفرد با استفاده از روش شبکه عصبی، یک مدل شبکه عصبی مصنوعی سه لایه پیش‌خور با ساختاری بهینه از نظر تعداد نوروها و وزن‌های اولیه استفاده شده است و ساختار بهینه به نحوی تعیین شده است که نتایج مرحله صحت‌سنجی از بیش‌ترین دقت برخوردار باشد. برای ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی، نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش توسط مدل‌های منفرد بر اساس بهترین متغیر پیش‌بینی کننده به عنوان ورودی و مقادیر بارش پاییزه مشاهداتی به عنوان هدف (خروجی) به مدل شبکه عصبی معرفی شدند و برای آموزش و آزمایش این مدل، از خروجی مدل‌های منفرد در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شده است. ساختار شبکه عصبی به کار رفته در مقاله حاضر در شکل ۴ نشان داده شده است.

### د- انتخاب بهترین مدل منفرد با کم‌ترین خطا

در روش‌های میانگین‌گیری وزنی از مدل‌های منفرد، از روش‌هایی نظیر برنامه‌ریزی خطی و استکینگ برای تعیین وزن مدل‌ها استفاده شده است (عزمی و همکاران، ۲۰۱۰) که در این روش‌ها، وزن مدل‌ها بر اساس میزان خطای آن‌ها تعیین می‌شود. در نتیجه وزنی نزدیک به یک به بهترین مدل (مدلی با خطاهای کم‌تر) و وزنی نزدیک به صفر به سایر مدل‌ها اختصاص می‌یابد. بنابراین در مقاله حاضر از استراتژی بهترین مدل منفرد با کم‌ترین خطا استفاده شده است که در آن، وزن یک، به بهترین مدل منفرد و وزن صفر به سایر مدل‌های منفرد اختصاص داده می‌شود.

متغیر پیش‌بینی کننده NINO 3.4 از دقت بسیار بالاتری نسبت به حالت به‌کارگیری دو شاخص برخوردار است؛ به طوری که به ازای NINO 3.4 شاخص نش- ساتکلیف برای ANN و LR به‌ترتیب برابر با ۰/۴۸۸ و ۰/۲۵۷ است درحالی‌که به ازای ترکیب SOI و NINO 3.4، مقدار این شاخص برای دو مدل مذکور به‌ترتیب برابر با ۰/۱۹۵ و ۰/۶۹۸- است.

نتایج حاصل از NINO 3.4 با نتایج حاصل از ترکیب دو شاخص SOI و NINO 3.4 نشان می‌دهد که در تمامی مدل‌های منفرد به‌جز KNN، به ازای متغیر پیش‌بینی کننده NINO 3.4، ضریب همبستگی مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده بزرگ‌تر از حالت به‌کارگیری ترکیب دو شاخص است. بر اساس دو شاخص نش- ساتکلیف و RMSE نیز مشاهده می‌شود که نتایج دو مدل ANN و LR به ازای

جدول ۲- نتایج مدل‌های منفرد در مرحله صحت‌سنجی برای پیش‌بینی بارش پاییزه بر اساس متغیرهای پیش‌بینی کننده اقلیم

نام مدل منفرد					شاخص ارزیابی مدل‌ها	متغیر پیش‌بینی کننده
LR	KNN	SVR	GRNN	ANN		
-۰/۰۷۳	-۰/۰۸۰	۰/۱۴۷	۰/۱۲۴	۰/۰۹۲	Nash-Sutcliff	SOI
۰/۷۶۹	۰/۷۷۱	۰/۶۸۵	۰/۶۹۴	۰/۷۰۷	RMSE	
۰/۳۳۸	۰/۱۷۹	۰/۳۸۷	۰/۳۵۴	۰/۳۷۹	Correlation Coeff	
۰/۲۵۷	-۰/۴۷۷	۰/۲۲۵	۰/۱۷۳	۰/۴۸۸	Nash-Sutcliff	NINO 3.4
۰/۶۴۰	۰/۹۰۱	۰/۶۵۳	۰/۶۷۵	۰/۵۳۱	RMSE	
۰/۵۵۲	۰/۴۰۶	۰/۵۵۲	۰/۵۵۲	۰/۷۶۱	Correlation Coeff	
-۰/۶۹۸	۰/۲۱۱	۰/۲۱۸	۰/۱۸۲	۰/۱۹۵	Nash-Sutcliff	SOI+NINO 3.4
۰/۹۶۷	۰/۶۵۹	۰/۶۵۶	۰/۶۷۱	۰/۶۶۶	RMSE	
۰/۱۵۶	۰/۴۹۵	۰/۵۰۴	۰/۴۴۲	۰/۴۴۳	Correlation Coeff	

شایان ذکر است که مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های منفرد به ازای شاخص اقلیمی NINO 3.4 نیز نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش پاییزه از دقت بسیار بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌های منفرد برخوردار است ولی از آنجا که از پیش‌بینی‌های مناسب صورت گرفته به‌وسیله سایر مدل‌ها نیز نمی‌توان صرف‌نظر نمود، برای ارتقاء نتایج پیش‌بینی، از استراتژی ترکیب مدل‌ها استفاده شده است.

#### نتایج حاصل از استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها

#### استخراج وزن‌های مدل‌های منفرد با روش‌های Orness و Orlike

در روش Orness، وزن‌های لازم برای پنج مدل منفرد بر اساس معادلات ۴ و ۵ و با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک به ازای مقادیر  $\alpha$  در بازه ۰/۵ تا ۰/۹ و در روش Orlike نیز وزن‌ها بر اساس معادله ۶ به ازای مقادیر  $\alpha$  در بازه ۰/۱ تا ۰/۹ محاسبه شده‌اند. وزن‌های حاصل از این دو روش به صورت نمودار در شکل ۵ (الف و ب) نشان

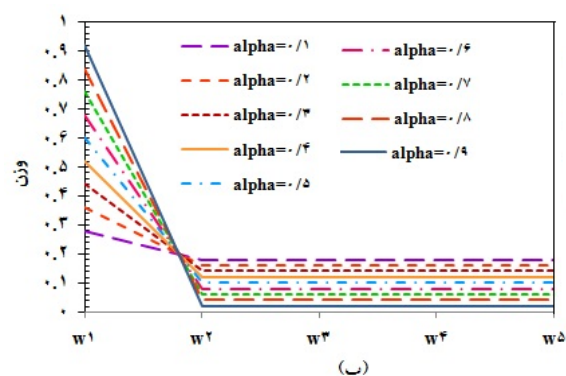
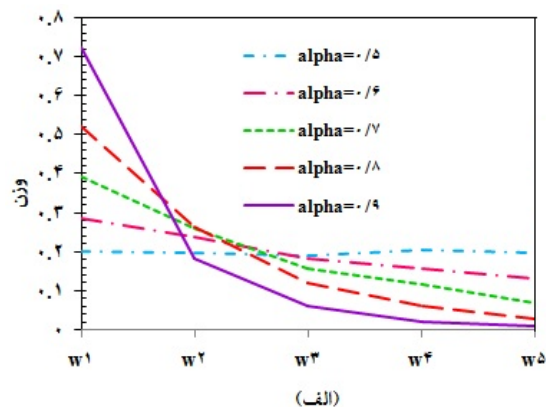
همچنین، ارزیابی نتایج مدل SVR بر اساس دو شاخص نش- ساتکلیف و RMSE نیز نشان می‌دهد که به‌کارگیری متغیر پیش‌بینی کننده NINO 3.4 سبب ایجاد نتایج با دقت بالاتر نسبت به حالت ترکیب دو مدل می‌شود. ارزیابی نتایج مدل GRNN بر اساس دو شاخص نش- ساتکلیف و RMSE نیز نمایانگر این نکته است که دقت نتایج حاصل از NINO 3.4، ۵ درصد کم‌تر از نتایج حاصل از ترکیب SOI و NINO 3.4 است. در مقابل، نتایج مدل KNN نشان می‌دهد که به‌کارگیری ترکیب دو شاخص اقلیمی SOI و NINO 3.4 سبب ایجاد نتایج با دقت بالاتر نسبت به دو حالت دیگر می‌شود. بنابراین، به‌طور کلی، مقایسه نتایج حاصل از سه نوع متغیر پیش‌بینی کننده در پنج مدل منفرد نشان می‌دهد که در تمامی مدل‌ها به‌جز مدل KNN، به‌کارگیری شاخص NINO 3.4 سبب ایجاد نتایج دقیق‌تری نسبت به دو نوع پیش‌بینی کننده دیگر می‌شود. در نتیجه، نتایج مدل‌های منفرد به ازای شاخص اقلیمی NINO 3.4 به‌عنوان دقیق‌ترین نتایج انتخاب و در مرحله ترکیب مدل‌ها استفاده شده است.

(شکل ب) مشاهده می‌شود که در این روش به ازای تمامی مقادیر  $\alpha$ ، وزن بهترین مدل (بهترین جواب) از سایر مدل‌ها بیش‌تر و وزن سایر مدل‌ها (سایر جواب‌ها) با هم برابر است. در این روش، وزن بهترین مدل از  $0/28$  به ازای  $\alpha$  برابر با  $0/1$  تا  $0/92$  به ازای  $\alpha$  برابر با  $0/9$  تغییر می‌نماید.

#### ارزیابی نتایج استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها

با به‌کارگیری نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش پاییزه توسط مدل‌های منفرد بر اساس متغیر اقلیمی پیش‌بینی کننده NINO 3.4، استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها اجرا شده است. نتایج به‌دست آمده از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده به مدل‌های منفرد بر مبنای وزن‌های محاسبه شده به روش Orness به ازای مقادیر  $\alpha$  بزرگ‌تر مساوی  $0/5$ ، در جدول ۳ آورده شده و با نتایج حاصل از استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی و انتخاب بهترین مدل منفرد مقایسه شده است. از آنجایی که هدف از به‌کارگیری استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها، ارتقای دقت نتایج پیش‌بینی در مرحله صحت‌سنجی است، در جدول ۳ نتایج بخش صحت‌سنجی استراتژی‌های مذکور نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که بر اساس هر سه معیار ارزیابی مدل‌ها، نتایج حاصل از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده با روش Orness به ازای تمامی مقادیر  $\alpha$  در بازه  $0/5$  تا  $0/9$  از دقت بالاتری نسبت به نتایج استراتژی ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی برخوردار است. همچنین، به ازای مقادیر  $0/8$  و  $0/9$  برای پارامتر  $\alpha$ ، دقت نتایج حاصل از استراتژی ترکیب مدل‌ها با روش Orness بیش‌تر از نتایج به‌دست آمده از استراتژی انتخاب بهترین مدل منفرد است و به ازای  $\alpha$  برابر با  $0/9$ ، بیش‌ترین دقت برای نتایج حاصله ایجاد شده است و در این حالت دقت نتایج بر اساس شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف و RMSE برابر با  $0/612$  و  $0/462$  می‌باشد و میزان ضریب تبیین مقادیر محاسبه شده در این روش با مقادیر مشاهداتی برابر با  $0/861$  است. در جدول ۴ نیز نتایج به‌دست آمده از بخش صحت‌سنجی استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده با روش Orlike به ازای مقادیر  $\alpha$  در بازه  $0/1$  تا  $0/9$  نشان داده شده و با نتایج حاصل از استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی و انتخاب بهترین مدل منفرد مقایسه شده است.

داده شده است. در نمودارهای شکل ۵، محور افقی نماینده وزن مدل‌ها است که از  $w_1$  تا  $w_5$  به ترتیب به نتایج بهترین تا بدترین مدل منفرد (از نظر میزان خطا) اعمال می‌شود و محور عمودی نشان‌دهنده مقدار وزن‌ها می‌باشد.



شکل ۵- نمودار وزن‌های حاصل از روش‌های (الف) Orness و (ب) Orlike

در نمودار وزن‌های روش Orness (شکل الف)، مشاهده می‌شود که به ازای مقدار  $0/5$  برای پارامتر  $\alpha$ ، وزن تمامی مدل‌ها تقریباً با هم برابر است. با زیاد شدن مقدار پارامتر  $\alpha$ ، وزن تعیین شده برای بهترین مدل (بهترین جواب)، بیش‌تر شده و از وزن سایر مدل‌ها (سایر جواب‌ها) کاسته می‌شود؛ در این روش، وزن بهترین مدل از  $0/204$  به ازای  $\alpha$  برابر با  $0/5$  تا  $0/724$  به ازای  $\alpha$  برابر با  $0/9$  تغییر می‌نماید. از آنجا که به ازای  $\alpha$  کوچک‌تر از  $0/5$  وزن بهترین مدل (بهترین جواب) از سایرین کوچک‌تر و وزن بدترین مدل (بدترین جواب) بزرگ‌تر می‌شود (بر اساس معادله ۳)، در روش Orness از مقادیر  $\alpha$  بزرگ‌تر مساوی  $0/5$  استفاده شده است. ولی با توجه به نمودار وزن‌های روش Orlike

جدول ۳- مقایسه نتایج استراتژی ترکیب مدل‌ها با روش Orness با استراتژی‌های شبکه عصبی و انتخاب بهترین مدل منفرد

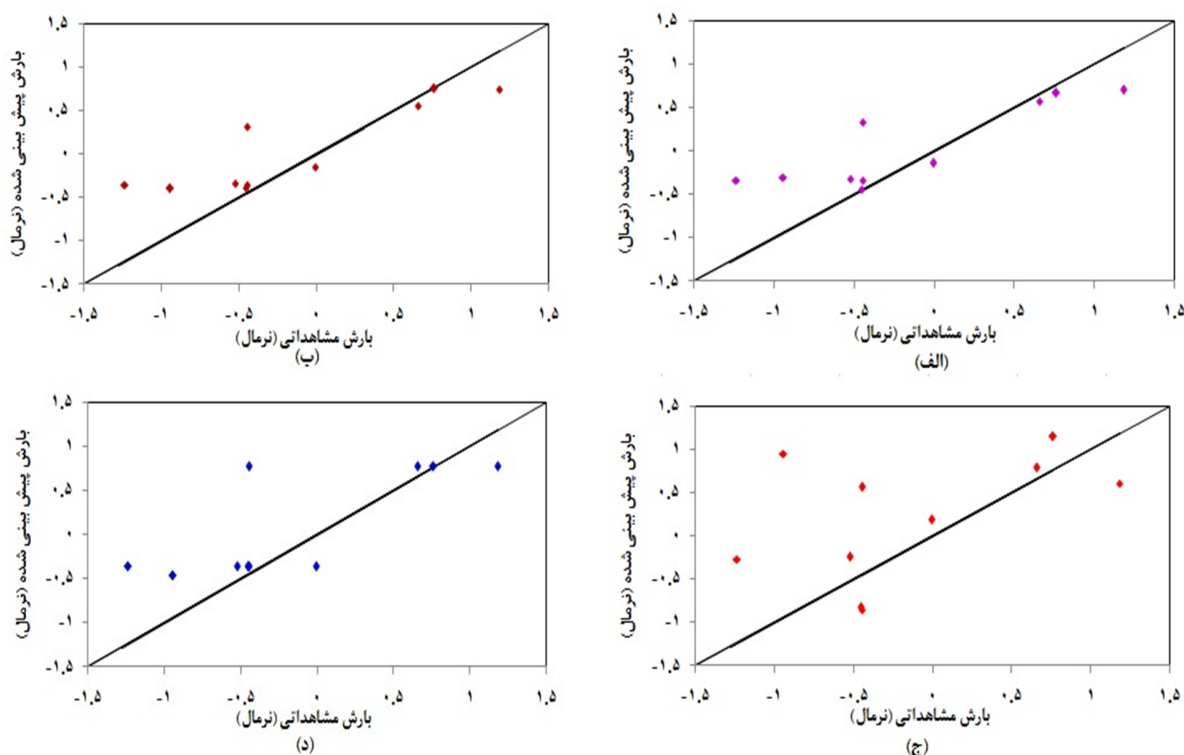
متغیر پیش‌بینی شونده	شاخص‌های ارزیابی نتایج	استراتژی ۱: ترکیب مدل‌ها با روش Orness					استراتژی ۳	استراتژی ۴
		$\alpha=0/9$	$\alpha=0/8$	$\alpha=0/7$	$\alpha=0/6$	$\alpha=0/5$		
بارش پاییزه	Nash-Sutcliff	۰/۲۷۸	۰/۳۷۴	۰/۴۶۳	۰/۵۴۰	۰/۶۱۲	۰/۱۷۳-	۰/۴۸۸
	RMSE	۰/۶۳۰	۰/۵۸۷	۰/۵۴۴	۰/۵۰۳	۰/۴۶۲	۰/۸۰۳	۰/۵۳۱
	Correlation	۰/۶۲۰	۰/۶۹۵	۰/۷۶۳	۰/۸۱۸	۰/۸۶۱	۰/۴۸۷	۰/۷۶۱

جدول ۴- مقایسه نتایج استراتژی ترکیب مدل‌ها با روش Orlike با استراتژی‌های شبکه عصبی و انتخاب بهترین مدل منفرد

متغیر پیش‌بینی شونده	شاخص‌های ارزیابی نتایج	استراتژی ۲: ترکیب مدل‌ها با روش Orlike										استراتژی ۳	استراتژی ۴
		$\alpha=0/9$	$\alpha=0/8$	$\alpha=0/7$	$\alpha=0/6$	$\alpha=0/5$	$\alpha=0/4$	$\alpha=0/3$	$\alpha=0/2$	$\alpha=0/1$	ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی مصنوعی		
بارش پاییزه	Nash-Sutcliff	۰/۳۳۰	۰/۳۷۹	۰/۴۲۶	۰/۴۷۰	۰/۵۱۱	۰/۵۴۹	۰/۵۸۵	۰/۶۱۸	۰/۶۴۹	۰/۱۷۳-	۰/۴۸۸	
	RMSE	۰/۶۰۷	۰/۵۸۵	۰/۵۶۲	۰/۵۴۰	۰/۵۱۹	۰/۴۹۸	۰/۴۷۸	۰/۴۵۸	۰/۴۴۰	۰/۸۰۳	۰/۵۳۱	
	Correlation	۰/۶۶۲	۰/۷۰۱	۰/۷۳۷	۰/۷۶۹	۰/۷۹۸	۰/۸۲۳	۰/۸۴۴	۰/۸۶۲	۰/۸۷۶	۰/۴۸۷	۰/۷۶۱	

نتایج به‌دست آمده از روش Orlike از دقت بالاتری نسبت به روش Orness برخوردار است؛ به‌طوری که به ازای  $\alpha$  برابر با ۰/۱ در روش Orlike دقت نتایج حاصله بر اساس هر سه معیار ارزیابی بیشتر از نتایج روش Orness به ازای  $\alpha$  برابر با ۰/۵ است. دقت نتایج به‌دست آمده از روش Orlike بر حسب شاخص نش به ازای  $\alpha$  برابر با ۰/۵، ۸۳/۸ درصد بیشتر از دقت نتایج به‌دست آمده از روش Orness به ازای همین مقدار برای پارامتر  $\alpha$  است. همچنین، در روش Orness، فقط به ازای مقادیر ۰/۸ و ۰/۹ برای پارامتر  $\alpha$ ، دقت نتایج حاصله بیشتر از دقت نتایج به‌دست آمده از بهترین مدل منفرد است در حالی که در روش Orlike، به ازای مقادیر  $\alpha$  در بازه ۰/۵ تا ۰/۹، دقت نتایج به‌دست آمده بیشتر از نتایج بهترین مدل منفرد می‌باشد. با این وجود، در هر دو روش، بهترین نتیجه به ازای مقدار ۰/۹ برای پارامتر  $\alpha$  ایجاد شده است. مقایسه بهترین نتیجه به‌دست آمده از این دو روش نشان می‌دهد که روش Orness دقت نتایج بهترین مدل منفرد را ۲۵/۴ درصد افزایش داده است در حالی که روش Orlike سبب افزایش دقت نتایج به میزان ۳۳ درصد نسبت به بهترین مدل منفرد شده است.

در جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود که بر اساس هر سه معیار ارزیابی مدل‌ها، نتایج حاصل از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده با روش Orlike به ازای تمامی مقادیر  $\alpha$  در بازه ۰/۱ تا ۰/۹ از دقت بالاتری نسبت به نتایج استراتژی ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی برخوردار است. همچنین، به ازای مقادیر  $\alpha$  در بازه ۰/۵ تا ۰/۹، دقت نتایج حاصل از استراتژی ترکیب مدل‌ها با روش Orlike بیشتر از نتایج به دست آمده از استراتژی انتخاب بهترین مدل منفرد می‌باشد. در این روش، بیش‌ترین دقت برای نتایج به ازای  $\alpha$  برابر با ۰/۹ ایجاد شده است و در این حالت دقت نتایج بر اساس شاخص‌های ارزیابی نش- ساتکلیف و RMSE برابر با ۰/۶۴۹ و ۰/۴۴۰ و میزان ضریب تبیین مقادیر محاسبه شده در این روش با مقادیر مشاهداتی برابر با ۰/۸۷۶ است. در شکل ۶، بهترین نتایج به‌دست آمده از استراتژی‌های ۱ و ۲ ترکیب مدل‌ها (به ازای  $\alpha=0/9$ ) در بخش صحت‌سنجی با نتایج حاصل از استراتژی‌های ۳ و ۴ در این بخش مقایسه شده است. شایان ذکر است که برای ترسیم گراف‌های این شکل، از مقادیر بارش نرمال استاندارد استفاده شده است. مقایسه نتایج حاصل از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده با دو روش Orness و Orlike (جدول ۳ و ۴) نشان می‌دهد که



شکل ۶- مقادیر پیش‌بینی شده بارش پاییزه در بخش صحت‌سنجی توسط استراتژی‌های ترکیب مدل‌های (الف) Orness (به ازای  $\alpha = 0/9$ )، (ب) Orlike (به ازای  $\alpha = 0/9$ )، (ج) شبکه عصبی و (د) بهترین مدل منفرد

## نتیجه‌گیری

پیش‌بینی بارش پاییزه در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت منابع آب برای تخصیص آب به بخش کشاورزی و تعیین نوع الگوی کشت دیم پاییزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، تکنیک ترکیب مدل‌ها برای افزایش دقت پیش‌بینی بارش پاییزه در زیرحوضه سیمره از حوضه کرخه مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور، مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته، رگرسیون بردار پشتیبان، K نزدیک‌ترین همسایگی و رگرسیون خطی با ساختار بهینه به‌عنوان مدل‌های منفرد پیش‌بینی‌کننده بارش مورد استفاده قرار گرفته و با به‌کارگیری متوسط تابستانه هر یک از شاخص‌های نوسانات جنوبی (SOI) و NINO 3.4 و ترکیب آن‌ها، پیش‌بینی بارش پاییزه توسط هر یک از مدل‌های منفرد صورت گرفته است. برای ترکیب نتایج مدل‌های منفرد، در مقاله حاضر از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده به مدل‌های منفرد (OWA) استفاده شده و کارایی دو روش تعیین وزن مدل‌ها

با نام‌های Orness و Orlike مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین، برای ارزیابی میزان کارایی استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده برای ترکیب مدل‌ها، نتایج این استراتژی با دو استراتژی ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی و انتخاب بهترین مدل منفرد نیز مقایسه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مقاله حاضر، متوسط تابستانه شاخص NINO3.4، مناسب‌ترین متغیر پیش‌بینی‌کننده برای پیش‌بینی بارش پاییزه در زیرحوضه سیمره شناخته شده است؛ زیرا با به‌کارگیری این شاخص، دقت نتایج به‌دست آمده از تمامی مدل‌های منفرد به‌جز KNN در مرحله صحت‌سنجی بیش‌تر از نتایج حاصل از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده دیگر می‌باشد. همچنین، بر مبنای هر سه معیار ارزیابی نتایج نش-ساتکلیف، RMSE و ضریب همبستگی، دقت نتایج به‌دست آمده از استراتژی وزن‌دهی رتبه‌بندی شده بر اساس هر دو روش Orness و Orlike به ازای تمامی مقادیر شاخص اورنس (پارامتر  $\alpha$ )، بیش‌تر از نتایج استراتژی ترکیب مدل‌ها با شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. مقایسه نتایج

## منابع

- عزیزی، ق. ۱۳۷۹. ال‌نینو و دوره‌های خشکسالی - ترسالی در ایران. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸: ۷۱-۸۴.
- فاتحی مرج، ا.، مهدیان، م. ح. ۱۳۸۸. پیش‌بینی بارش پاییزه با استفاده از شاخص‌های انسو به روش شبکه عصبی در حوضه دریاچه ارومیه. نشریه پژوهش‌های آبخیزداری، ۸۴: ۴۲-۵۲.
- فاتحی، ا.، صداقت کردار، ع.، دلاور، م. ۱۳۸۷. پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی جنوب غرب ایران). نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۸۰: ۴۴-۵۰.
- کوره پزان دزفولی، ا. ۱۳۸۲. تأثیر سیگنال‌های هواشناسی در پیش‌بینی تغییرات بارش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر.
- مدرسی، ف.، عراقی‌نژاد، ش.، ابراهیمی، ک. ۱۳۹۴. ارتقاء دقت پیش‌بینی جریان ماهانه با استفاده از Ornees Method برای ترکیب مدل‌ها (مطالعه موردی: پیش‌بینی جریان ورودی به سد سیمره). نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Abrahart, R. J., See, L. 2002. Multi-model data fusion for river flow forecasting: an evaluation of six alternative methods based on two contrasting catchments. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.*, 6: 655-670.
- Allen, R. J., Bread, G. S., Close, A., Herczeg, A. L., Jones, P. D., Simpson, H. J. 1996. Mean sea level pressure indices of the El Nino/Southern Oscillation: Relevance to stream discharge in Southeastern Australia. CSIRO Australia, Division of Water Resources, Report No. 96/1.
- Araghinejad, S. 2014. Data-derived modeling: using MATLAB in water resources and environmental engineering. Springer, New York. 297.
- Araghinejad, S., Burn, D. H., Karamouz, M. 2006. Long-lead probabilistic forecasting of streamflow using ocean-atmospheric and hydrological predictors. *J. Water. Resour. Res.*, 42 (3), W03431, DOI:10.1029/2004WR003853.
- Azmi, M., Araghinejad, S., Kholghi, M. 2010. Multi model data fusion for hydrological forecasting using K- nearest neighbor method. *Iran. J. Sci. Tech.* 34 (B1): 81-92.
- Chen, L., Ye, L., Singh, V., Zhou, J., Guo, S. 2014. Determination of Input for Artificial Neural Networks for Flood Forecasting Using the Copula

حاصل از دو روش Orlike و Orness نشان می‌دهد که دقت نتایج حاصل از روش Orlike بیش‌تر از نتایج روش Orness است به نحوی که در روش Orness به ازای مقدار ۰/۸ و ۰/۹ برای پارامتر  $\alpha$  دقت نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش بیش‌تر از دقت نتایج به‌دست آمده از بهترین مدل منفرد است در حالی‌که در روش Orlike به ازای مقادیر ۰/۵ تا ۰/۹ برای پارامتر  $\alpha$ ، دقت نتایج بیش‌تر از بهترین مدل منفرد می‌باشد. همچنین، دقت نتایج به‌دست آمده از روش Orlike بر حسب شاخص نش به ازای  $\alpha$  برابر با ۰/۵، ۸۳/۸ درصد بیش‌تر از دقت نتایج به‌دست آمده از روش Orness به ازای همین مقدار برای پارامتر  $\alpha$  است. با این وجود، در هر دو روش، بیش‌ترین افزایش دقت به ازای مقدار ۰/۹ برای پارامتر  $\alpha$  رخ داده که در این حالت بر اساس وزن‌های دو روش Orlike و Orness، دقت نتایج بهترین مدل منفرد به‌ترتیب ۲۵/۴ و ۳۳ درصد افزایش یافته است. افزایش دقت نتایج در استراتژی‌های ترکیب مدل‌ها با روش‌های وزن‌دهی رتبه‌بندی شده نسبت به نتایج بهترین مدل منفرد نشان می‌دهد که در بهترین مدل منفرد، لزوماً بهترین نتایج در تمامی گام‌های زمانی ایجاد نمی‌شود. بنابراین در صورتی که از وزن ثابتی در تمامی گام‌های زمانی برای وزن‌دهی به مدل‌های منفرد استفاده شود (نظیر روش‌های وزن‌دهی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی و استکینگ) بهترین مدل منفرد بیش‌ترین وزن را دریافت کرده و در نتیجه، نتایج حاصل از روش وزن‌دهی نسبت به نتایج بهترین مدل منفرد ارتقای چندانی نمی‌یابد؛ ولی در مقاله حاضر با استفاده از روش وزن‌دهی رتبه‌بندی شده و تعیین وزن مدل‌ها به‌صورت مستقل از میزان خطای آن‌ها و نیز، تغییر وزن مدل‌ها در هر گام زمانی، از تمامی قابلیت همه مدل‌های منفرد در راستای ایجاد نتایج دقیق‌تر استفاده شده و بنابراین، دقت نتایج حاصله از استراتژی ترکیب مدل‌ها به‌صورت قابل توجهی نسبت به نتایج بهترین مدل منفرد افزایش یافته است.

## سپاسگزاری

به این وسیله از دانشگاه تهران و شرکت مدیریت منابع آب ایران به دلیل تأمین داده‌ها و امکانات لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات آن تشکر و قدردانی می‌شود.

- by Sea Surface Temperature of the Mediterranean Sea. *J. Hydrol. Eng.*, 19(8), 05014005.
- Mitsukura, Y., Ito, S., Fukumi, M., Akamatsu, N. 2002. Genetic fog occurrence forecasting system using a LVQ network. in: M.H. Hamza (Ed.), *Appl. Informat. J., Track*, 285- 351.
- Nazemosadat, M. J., Cordery, I. 2000. On the relationships between Enso and autumn rainfall in Iran. *Int. J. Climatol.*, 20: 47-61.
- O'Hagan, M. 1988. Aggregating template rule antecedents in real-time expert systems with fuzzy set logic. In: *Proc 22<sup>nd</sup> Annual IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*. Pacific Grove, CA: IEEE and Maple Press; pp 681-689.
- Redmond, K. T., Koch, R. W. 1991. Surface climate and streamflow variability in the western United States and their relationship to Large-Scale circulation indices. *Water. Resour. Res.*, 27:2381-2399.
- Renguang, B. W., Xiuhua, F. 2000. Pacific East Asian teleconnectio: How does ENSO affect East Asian climate. *J. Clim.*, 13(20): 4073-4090.
- Ropelewski, C. F., Halpert, M. S. 1989. Precipitation pattern associated with the high index phase of the southern oscillation. *J. Clim.*, 2:268-284.
- See, L., Abraham, R. J. 2001. Multi-model data fusion for hydrological forecasting. *Comput. Geosci.*, 27: 987-994.
- Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M., Nasr, A. E. 2007. A comparative study of three neural network forecast combination methods for simulated river flows of different rainfall-runoff models. *Hydrol. Sci. J.*, 52(5): 896-916.
- Su, J., Wang, X., Liang, Y., Chen, B. 2014. GA-Based Support Vector Machine Model for the Prediction of Monthly Reservoir Storage. *J. Hydrol. Eng.*, 19(7): 1430-1437.
- Wu, C.L., Chau, K.W., Fan, C. 2010. Prediction of rainfall time series using modular artificial neural networks coupled with data-preprocessing techniques. *J. Hydrol.*, 389 (1-2): 146-167.
- Xiong, L., Shamseldin, A. Y., O'Connor, K. M. 2001. A non-linear combination of the forecasts of rainfall-runoff models by the first-order Takagi-Sugeno fuzzy system. *J. Hydrol.*, 245: 196-217.
- Yager, R. R. 1988. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi criteria decision making. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, 18: 183-190.
- Yager, R. R., Filev, D. P. 1994. Parameterized "andlike" and "orlike" OWA operators. *Int. Gen. Syst.*, 22: 297-316.
- Zhou, L. G. Chen, H. Y. 2011. Continuous generalized OWA operator and its application to decision making. *Fuzzy. Set. Syst.*, 168: 18-34.
- Entropy Method. *J. Hydrol. Eng.*, 19(11), 04014021.
- Chiclana, F., Herrera-Viedma, E., Herrera, F., Alonso, S. 2007. Some induced ordered weighted averaging operators and their use for solving group decision-making problems based on fuzzy preference relations. *Eur. J. Oper. Res.*, 182: 383-399.
- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C., Dracup, J. A., McMahon, T. A. 1998. El Nino Southern oscillation and Australian drought: Link and potential for forecasting system. *Comput. Aided. Civ. Infrastruct. Eng.*, 15(5), 355-364.
- Dasarathy, B. V. 1994. *Decision Fusion*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California.
- Goswami, M., O'Connor, K. M. 2007. Real-time flow forecasting in the absence of quantitative precipitation forecasts: a multi-model approach. *J. Hydrol.*, 334: 125-140.
- Hall, D. L., Linas, J. 1997. An introduction to multisensor data fusion. In *proceedings of the IEEE*. 85: 6-10.
- Khalili, A., Gill, M. K., McKee, M. 2005. New applications for information fusion and soil moisture forecasting. 8<sup>th</sup> International Conference on Information Fusion. Philadelphia, 25-28 July.
- Kisi, O., Cimen, M. 2012. Precipitation forecasting by using wavelet-support vector machine conjunction model. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 25(4): 783-792.
- Kripalani, R. H., Kulkarni, A. 1997. Rainfall variability over Southern-East Asia, connections with India monsoon and ENSO extremes: new perspective. *Int. J. Climatol.*, 20(1): 47-61.
- Leslie, W. G., Robinson, A. R., Haley Jr, P. J., Logutov, O., Moreno, P. A., Lermusiaux, P. F. J., Coelho, E. 2008. Verification and training of real-time forecasting of multi-scale ocean dynamics for maritime rapid environmental assessment. *J. Mar. Syst.*, 69: 3-16.
- Makropoulos, C. K., Butler, D. 2006. Spatial ordered weighted averaging: Incorporating spatially variable attitude towards risk in spatial multicriteria decision-making. *Environ. Model. Softw.*, 21(1): 69-84.
- Mandic, D. P., Javidi, S., Goh, S. L., Kuh, A. Aihara, K. 2009. Complex-valued prediction of wind profile using augmented complex statistics. *Renew. Energ.*, 34: 196-201.
- Mariotti, A., Zeng, N., Lau, K. M. 2002. Euro-Mediterranean rainfall and ENSO- a seasonally varying relationship. *South African J. Sci.*, 29 (12): 591-594.
- Meidani, E., Araghinejad, S. 2014. Long-Lead Streamflow Forecasting in the Southwest of Iran



## مقایسه روش‌های برآورد منطقه‌ای دمای کمینه هوا (مطالعه موردی: استان اصفهان)

قمر فدوی<sup>۱</sup>، جواد بذرافشان<sup>۲\*</sup>، نوذر قهرمان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۴

### چکیده

در این پژوهش ارزیابی و مقایسه میزان خطای مدل‌های مختلف در تخمین درون‌یابی منطقه‌ای دمای کمینه روزانه در استان اصفهان در دو سال مختلف با تعداد ایستگاه‌های متفاوت صورت گرفته است. سال ۱۹۹۲ به‌عنوان سال با تعداد ایستگاه کم (۱۹ ایستگاه همدیدی و ۱۱ ایستگاه اقلیم‌شناسی) و سال ۲۰۰۷ به‌عنوان سالی با تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر (۳۱ ایستگاه همدیدی و ۲۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی) انتخاب شدند. از هر ماه این دو سال به‌طور تصادفی دو روز (هر سال ۲۴ روز) انتخاب و عملیات درون‌یابی روی داده‌های منتخب انجام شد. برای منطقه‌ای نمودن داده‌های نقطه‌ای دمای کمینه روزانه شش روش درون‌یابی به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهند که در سال ۱۹۹۲ روش وایازی چندگانه خطی (ریشه میانگین مربعات خطا از ۲/۳۳ تا ۵/۱۲ و ضریب همبستگی از ۰/۳۷ تا ۰/۸۵) و در سال ۲۰۰۷ روش کریجینگ- وایازی و روش وایازی چندگانه خطی (ریشه میانگین مربعات خطا از ۲/۳۶ تا ۵ و ضریب همبستگی از ۰/۳۸ تا ۰/۸۳) دارای کم‌ترین خطا و بیش‌ترین ضریب همبستگی بوده و روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و اسپیلاین در مراتب بعدی قرار گرفتند. افزایش تعداد ایستگاه سبب بهبود دقت روش‌های درون‌یابی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** درون‌یابی، دمای کمینه روزانه، اصفهان

### مقدمه

زمان وقوع آن‌ها را تخمین زد و اقدامات لازم را برای محافظت از گیاهان انجام داد. اغلب داده‌های مربوط به متغیرهای محیطی (خواص خاک و پارامترهای آب و هوایی) در یک منطقه مطالعاتی به‌صورت نقطه‌ای تهیه و جمع‌آوری می‌شوند که در واقع همان نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشند. برای به‌دست آوردن مقادیری از متغیرهای مربوطه در مکان‌هایی که در آن‌ها اندازه‌گیری انجام نمی‌شود تخمین قابل قبولی از مقادیر مذکور را می‌توان به کمک روش‌های درون‌یابی برآورد نمود. روش‌های مختلف درون‌یابی، در مناطق هموار و مسطح که در آن تغییرات مکانی متغیرهای محیطی کم‌تر دیده می‌شود، نتایج تقریباً مشابهی را می‌دهند، در حالی که در مناطق کوهستانی که تغییرات مکانی مقادیر متغیر بیشتر است، نتایج روش‌های درون‌یابی متفاوت بوده و به همین دلیل انتخاب نوع روش درون‌یابی حائز اهمیت می‌باشد (کولینس و بولستاد<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶؛ بوروف و

اقلیم نقش مهمی در پراکنش گیاهان و جانوران یک سرزمین داشته و کلیدی برای فهم روابط بین فاکتورهای محیطی و بیولوژیکی است که در توسعه مناطق اکولوژیکی و تنوع گونه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. رشد گیاه تحت تأثیر تمامی عواملی که در محیط زیست بر یکدیگر اثر متقابل دارند می‌باشد. دمای هوا به‌عنوان یک متغیر اقلیمی در حیات گیاه نقش مهمی دارد و دماهای کمینه مطلق که در مراحل معینی از رشد گیاه اتفاق می‌افتند، می‌توانند در بازده محصول تأثیر مهمی بگذارند. درجه حرارت‌های پایین و همچنین تداوم آن‌ها به گیاهان آسیب‌های جدی وارد می‌کنند بنابراین لازم است تا برای مقابله با این پیشامدها

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
<sup>۲</sup> دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(\*نویسنده مسئول: jbazr@ut.ac.ir)

<sup>۳</sup> Collins and Bolstad

روش‌های مختلف کریجینگ پرداختند و بهترین روش را کریجینگ باقیمانده‌ها یافتند. هونگ و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۵) در تحقیقی در چین نشان دادند که اولین قدم در تخمین پارامترهای اقلیمی تهیه مدل رقومی زمین است. این مدل نه تنها به‌عنوان یک داده کمی سه‌بعدی بلکه به‌عنوان یک داده کلیدی در تخمین شرایط اقلیمی نیز به‌کار می‌رود و روش‌های اسپیلاین و کوکریجینگ دقیق‌تر از دیگر روش‌ها می‌باشند. چان‌یان و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۵) مطالعه‌ای روی میانگین ماهانه دمای هوا در منطقه کوهستانی کیلیان<sup>۱۱</sup> در شمال غرب چین انجام دادند و روش کریجینگ معمولی را برای دوره رشد پیشنهاد کرده‌اند زیرا تخمین دقیق دمای هوا در طول دوره رشد برای مدل کردن مراحل اکولوژیکی بعدی بسیار مهم می‌باشد. تاسکین و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۳) در پژوهشی که روی داده‌های میانگین دمای روزانه سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۲ به انجام دادند، دریافتند که مدل معادلات وایزی کالیبره شده برای هر روز بهترین نتایج را در بر دارد. یانگ و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۴) نشان دادند که بیش‌ترین خطای روزانه درون‌یابی در صبح زود و کم‌ترین خطا در ساعات حدود ۶ عصر رخ می‌دهد و روش کریجینگ را برای درون‌یابی دمای سطح زمین در هنگامی که داده‌های تابش سطح موجود نباشد، پیشنهاد کردند. هاتکینسون و گسler<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۴) نشان دادند که روش‌های کوکریجینگ و اسپیلاین بهترین روش برای درون‌یابی پارامترهای اقلیمی می‌باشند. در این روش‌ها پارامترهای اقلیمی به کمک توابعی از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به توپوگرافی مرتبط می‌شوند. پس از مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده توسط محققین می‌توان گفت که در مورد برآورد دمای حداقل روزانه تاکنون در مطالعات داخلی روش‌های مختلف درون‌یابی مورد بررسی و مقایسه قرار نگرفته‌اند. به هر حال، در اکثر مطالعات درون‌یابی داده‌های دما در مقیاس‌های مختلف زمانی (به‌ویژه مقیاس‌های ماهانه و سالانه) مدل‌های وایزی کم‌ترین مقدار

مک‌دونل<sup>۱</sup>، (۱۹۹۸). در پژوهش‌های داخلی، مهدی‌زاده (۱۳۸۱) نشان داد که در رابطه با برآورد سالانه و ماهانه دما، روش اسپیلاین با متغیر کمکی ارتفاع و توان ۲ از دقت بیش‌تری برخوردار است. نادى (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، اسپیلاین، وزنی عکس فاصله، گرادیان خطی سه‌بعدی، کریجینگ- رگرسیون و کریجینگ با روند خارجی<sup>۲</sup> به‌منظور تخمین دمای ماهانه (سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) در قسمت جنوب شرقی شهر گرگان و منطقه جنگلی چهارباغ گرگان نشان داد که برای تخمین دمای ماهانه روش گرادیان خطی سه‌بعدی خطای کم‌تری را دارا می‌باشند و در پژوهش‌های خارجی، دنیل و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به مقایسه چهار روش درون‌یابی وایزی، کریجینگ، کریجینگ- وایزی و وایزی محلی که به‌نام وایزی کرنل<sup>۴</sup> (محاسبه سطوح روند محلی با داده‌های وزن‌دار شده توسط فاصله است که فادرینگهام<sup>۵</sup> آن را وایزی وزنی جغرافیایی<sup>۶</sup> نامیده است) می‌باشد، پرداختند. این بررسی روی داده‌های میانگین دمای ماهانه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ با استفاده از ۶۵۱ ایستگاه هواشناسی فرانسه انجام گرفت و نشان دادند که روش کریجینگ- وایزی برآورد دقیق‌تری از میانگین دمای ماهانه می‌دهد. کاریرا هرناندز و گاسکین<sup>۷</sup> (۲۰۰۷) با مطالعه‌ای روی داده‌های دمای روزانه هوای به‌دست آمده از ۲۰۰ ایستگاه قرار گرفته در حوضه مکزیک (ژوئن ۱۹۸۵ و ژوئن ۱۹۷۸) نشان دادند که استفاده از ارتفاع باعث افزایش دقت درون‌یابی داده‌های دمای روزانه هوا می‌شود حتی اگر همبستگی کمی بین آن‌ها باشد و از بین روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ با روند خارجی کم‌ترین خطا را نشان داده است. استرنل و سزکیردا<sup>۸</sup> (۲۰۰۵) در پژوهشی برای تخمین داده‌های میانگین دمای ماهانه و روزانه هوای ۲۲۳ ایستگاه (۱۹۵۱-۲۰۰۰) در لهستان به مقایسه

<sup>1</sup> Burrough and Mc Donnell

<sup>2</sup> Kriging With External Drift

<sup>3</sup> Daniel et al.

<sup>4</sup> Kernel

<sup>5</sup> Fotheringham

<sup>6</sup> Geographically Weighted Regression

<sup>7</sup> Carrera-Hernandez and Gaskin

<sup>8</sup> Ustrnul and Czekierda

<sup>9</sup> Hong et al.

<sup>10</sup> Chuanyan et al.

<sup>11</sup> Qilian

<sup>12</sup> Taskinen et al.

<sup>13</sup> Yang et al.

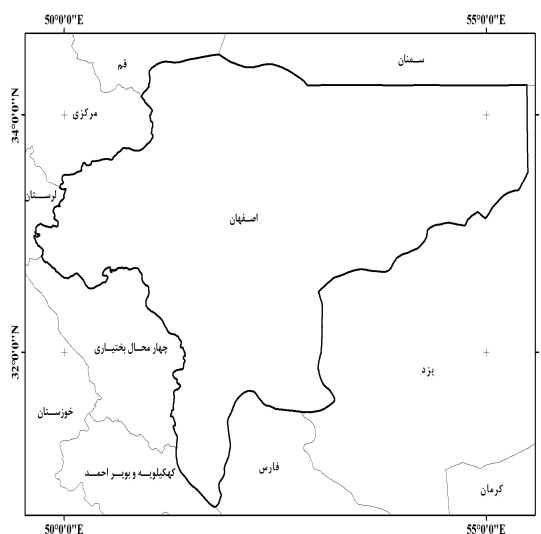
<sup>14</sup> Hutchinson and Gessler

### مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحتی حدود ۹۳۷،۱۰۵ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. شکل (۱) موقعیت استان اصفهان را در کشور نشان می‌دهد. این استان در مرکز ایران واقع شده است و قسمت غربی آن به دامنه‌های شرقی رشته کوه‌های زاگرس ختم می‌شود.



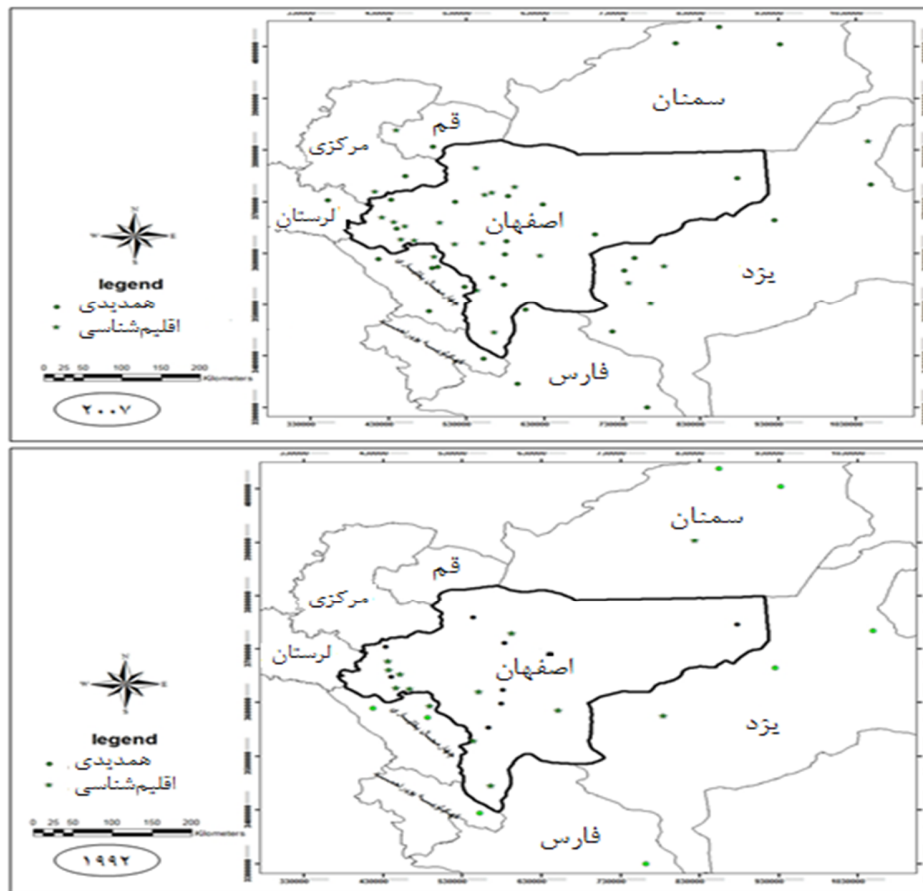
خطا را دارا می‌باشند. برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی دمای کمینه روزانه عدم قطعیت‌های مختلفی از قبیل فراوانی ایستگاه‌ها و تغییرات فصلی لحاظ شده است. هدف این مطالعه پر کردن خلاء تحقیقاتی در زمینه ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در تخمین منطقه‌ای دمای کمینه روزانه می‌باشد و منطقه مطالعاتی این پژوهش استان اصفهان است.



شکل ۱- موقعیت استان اصفهان در کشور

موقعیت ایستگاه‌های داخل و خارج از استان اصفهان را در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ نشان می‌دهد. برای دستیابی به نتایج مؤثر و مفید از روزهای دو سال مورد نظر، به دلیل تعداد زیاد داده‌ها در مقیاس روزانه سعی گردید که نمونه‌های انتخابی نماینده تغییرات دمای کمینه روزانه هوا بوده و روزهای مختلفی از ماه‌های سال در فرایند تحلیل مکانی دخالت داده شوند. به همین دلیل، میانگین و انحراف معیار و ضریب تغییرات منطقه‌ای دمای هوا در هر یک از روزهای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه و ضریب تغییرات منطقه‌ای دما در برابر متوسط منطقه‌ای دمای روزانه ترسیم گردید.

تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های روزانه دمای کمینه ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و اقلیم‌شناسی مربوط به سازمان هواشناسی کشور در استان اصفهان و استان‌های هم‌جوار آن در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ انجام شده است که در محدوده ارتفاعی بین ۸۴۵ تا ۲۴۹۰ متر قرار گرفته است. آمار کلیه ایستگاه‌ها از نظر کمی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ در هر سال، چه تعداد ایستگاه واجد آمار بودند و در نهایت سال ۲۰۰۷ با تعداد ۵۴ ایستگاه به‌عنوان یک سال با بیش‌ترین تعداد ایستگاه واجد آمار و سال ۱۹۹۲ با تعداد ۳۰ ایستگاه به‌عنوان یک سال با تعداد کم‌تر ایستگاه واجد آمار برای محاسبات درون‌یابی انتخاب شد. شکل (۲) پراکنش و



شکل ۲- توزیع جغرافیایی ایستگاه های همدیدی و اقلیم شناسی داخل و خارج از استان اصفهان در سال های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷

می‌شود بنابراین نقاط اندازه‌گیری شده‌ای که به موقعیت نقطه مجهول نزدیک‌ترند تأثیر بیشتری نسبت به مقادیر دورتر بر روی مقدار پیش‌بینی دارند. کریجینگ روش تخمینی است که بر پایه «میانگین متحرک وزن‌دار» است و بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و یکی از ویژگی‌های مهم کریجینگ این است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. معادله (۱) رابطه کلی کریجینگ را نشان می‌دهد.

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

که در آن  $n$  تعداد داده‌ها،  $Z^*$  مقدار داده مکانی تخمین زده‌شده،  $Z(x_i)$  مقدار داده مکانی مشاهده‌شده در نقطه آم و  $\lambda_i$  وزن نمونه  $x_i$  می‌باشد که نشان‌دهنده اهمیت نقطه آم در محاسبات کریجینگ می‌باشد. کریجینگ یک تخمین‌گر ناریب با پایین‌ترین واریانس تخمین است. از ویژگی‌های

در انتها به‌طور تصادفی و در بازه‌های مشخص ضریب تغییرات منطقه‌ای، تعداد ۲۴ نمونه از ۱۲ ماه سال انتخاب شد (۲ روز از هر ماه) برای سال ۱۹۹۲ نیز به همین ترتیب ۲۴ روز انتخاب گردید. در کل محاسبات بر روی ۴۸ روز صورت گرفت. بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵٪ در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و مشاهده شد که در بین توزیع داده‌های دمای کمینه روزانه هر دو سال با توزیع نرمال تفاوت معناداری وجود ندارد و پس از آن به کمک شش روش وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ-وایازی و وایازی چندگانه خطی و اسپیلاین عملیات درون‌یابی انجام گرفت که توضیح مختصری از این روش‌ها در ادامه آمده است. پایه تمامی روش‌های به‌کار گرفته‌شده در این پژوهش این است که هر نقطه اندازه‌گیری شده دارای یک محدوده تأثیر است که با فاصله کم‌تر

کمینه روزانه، ارتفاع به‌عنوان بهترین انتخاب برای متغیر کمکی در نظر گرفته شد. در تمامی روزها ضریب همبستگی دما و ارتفاع بیش از ۰/۵ و برای روزهای مختلف ضریب همبستگی در سطح یک درصد معنادار به‌دست آمد ( $p < 0/001$ ). همچنین داده‌های متغیر کمکی نیز باید از توزیع نرمال پیروی کند و نیم‌تغییرنمای آن نیز باید ساختاردار باشد. به همین علت توزیع داده‌های ارتفاع در سطح احتمال ۹۵٪ توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار MiniTab مورد آزمون قرار گرفت و معلوم شد که داده‌های ارتفاع از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و سپس توسط نرم‌افزار  $Gs^+$  آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع محاسبه شد. برای استفاده از روش کریجینگ-وایازی باید متغیرهای مستقل در منطقه مطالعاتی موجود باشد. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای درون‌یابی دمای کمینه، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته به‌صورت یک رابطه وایازی خطی سه‌گانه توسط نرم‌افزار MiniTab برای هر یک از روزهای سال‌های ۲۰۰۷ و ۱۹۹۲ محاسبه شد و مقادیر باقی‌مانده (R) در هر ایستگاه از طریق معادلات (۳ و ۴) محاسبه گردید.

$$R = T - T^* \quad (3)$$

$$T^* = a + bx + cy + dh \quad (4)$$

که در آن  $x, y$  طول و عرض جغرافیایی،  $h$  ارتفاع،  $d, c, b$  و  $a$  ضرایب معادله و  $T$  و  $T^*$  به‌ترتیب دمای کمینه روزانه تخمینی و واقعی می‌باشد و در ادامه مقادیر باقی‌مانده به‌دست آمده مجدداً با روش کریجینگ در نرم‌افزار  $Gs^+$  درون‌یابی شد و مقادیر جدید فوق به مقادیر تخمینی توسط معادله وایازی خطی چندگانه اضافه و به‌عنوان مقادیر تخمینی نهایی برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. روش وزنی عکس فاصله برمبنای نسبت فاصله مقادیر مشاهداتی همسایه از نقطه اندازه‌گیری نشده، وزنی به هر یک از نقاط می‌دهد و از آن‌ها در معادلات استفاده می‌کند. واضح است که وزن نقاط نزدیک‌تر بیش‌تر است و از معادله (۵) می‌توان آن را محاسبه نمود.

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i \quad (5)$$

دیگر کریجینگ این است که خطای کریجینگ تابع مشخصات نیم‌تغییرنمای آن می‌باشد ولی تابع مقادیر واقعی داده‌ها نمی‌باشد. به همین دلیل خصوصیتی مثل فاصله نمونه‌ها تا نقطه تخمین و نحوه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری بر نیم‌تغییرنما و در نتیجه آن بر روی خطای تخمین تأثیر می‌گذارد. ویژگی دیگر این که کریجینگ موجب نرم شدن تغییرات (کاهش نوسانات) می‌شود یعنی توزیع نمونه‌ها نسبت به مقدار واقعی آن‌ها، تغییرات کم‌تری دارد. به همین دلیل در صورتی که نباید تغییرات نرم شوند کریجینگ روش مناسبی نمی‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). در روش کریجینگ، ابتدا با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برازش داده‌ها بر توزیع نرمال در سطح اطمینان ۹۵٪ در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و سپس از بین مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی برازش داده‌شده بر داده‌ها نیم‌تغییرنمای بهینه بر اساس مجموع مربعات خطای کم‌تر (RSS)<sup>۱</sup> و ضریب همبستگی بالاتر انتخاب شد. در شرایطی که از یک متغیر به‌اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و با نمونه‌های موجود نتوان تخمین با دقت موردنظر را انجام داد. به‌کار بردن روش کوکریجینگ پیشنهاد می‌شود و با در نظر گرفتن رابطه مکانی بین متغیر موردنظر و متغیر کمکی که نمونه‌برداری آن به‌خوبی انجام‌شده است، می‌توان تخمین بهتری را انجام داد. معادله (۲) رابطه کلی کوکریجینگ را نشان می‌دهد.

$$Z_{(x_i)}^* = \sum_{i=1}^n (\lambda_k Z_{(x_i)}) \sum_{k=1}^n (\lambda_k \cdot y(x_k)) \quad (2)$$

که در آن  $Z_{(x_i)}^*$  مقدار تخمین زده‌شده متغیر اصلی برای نقطه  $x_i$ ،  $\lambda_i$  وزن مربوط به متغیر  $Z$ ،  $\lambda_k$  وزن مربوط به متغیر کمکی  $y$ ،  $Z_{(x_i)}$  مقدار مشاهده‌شده متغیر اصلی  $y_{(x_i)}$  مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). روش کوکریجینگ بر پایه همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، استوار است. شرط استفاده از این روش داشتن ضریب همبستگی نسبتاً بالا (بیش‌تر از ۰/۵) و فراوانی متغیر کمکی در منطقه می‌باشد. از آن‌جا که افت‌آهنگ دمای هوا با ارتفاع همبستگی داشته، در این تحقیق برای درون‌یابی دمای

<sup>1</sup> Residual Sums of Squares

(ویلومت<sup>۵</sup>، ۱۹۸۲). بر اساس سنجه‌های فوق، بهترین روش درون‌یابی روشی است که کم‌ترین خطا را داشته باشد. سنجه‌های MAE و RMSE بیان‌کننده دقت روش درون‌یابی به‌کار رفته می‌باشند و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن مقادیر تخمین زده‌شده به مقادیر واقعی و بالاتر بودن دقت مدل می‌باشد. سنجه MBE بیان‌گر متوسط اختلاف مقادیر تخمین زده‌شده از مقادیر اندازه‌گیری شده است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بیان‌گر دقت بیشتر در برآورد مقادیر واقعی است به بیان دیگر، اختلاف بین مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده کم‌تر می‌باشد. البته قابل ذکر است که در مواردی که مجموع مقادیر مثبت و منفی اختلاف‌های مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده برابر باشد استفاده از این سنجه ایجاد اشتباه می‌نماید. به دلیل اینکه مقدار این سنجه به صفر نزدیک شده که این مسئله گمراه‌کننده است چرا که مقادیر مثبت و منفی در اطراف میانگین برابر بوده است (ویلومت، ۱۹۸۲). به همین دلیل در پژوهش حاضر سنجه MBE محاسبه ولی برای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی از سنجه‌های RMSE، MAE و r استفاده شده است.

$$RMSE = \left[ \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - z(x_i))^2 / n \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$MAE = |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \quad (9)$$

$$MBE = |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \quad (10)$$

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

که در آن‌ها  $Z^*(x_i)$  مقدار تخمینی در نقطه  $x_i$ ،  $Z(x_i)$  مقدار واقعی در نقطه  $x_i$ ،  $n$  تعداد نقاط،  $\bar{x}$  میانگین مقادیر واقعی،  $X$  مقادیر واقعی،  $\bar{y}$  میانگین مقادیر تخمینی و  $Y$  مقادیر تخمینی است.

که  $Z(x,y)$  مقدار نقطه مجهول و  $\lambda_i$  وزن مربوط به نقطه  $\lambda_i$  در تعیین مقدار نقطه مجهول است و از معادله (۶) به دست می‌آید.

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^p}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad \sum \lambda_i = 1 \quad (6)$$

که  $Z_i$  مقدار مربوط به نقطه  $\lambda_i$ ،  $n$  تعداد مشاهدات،  $d$  فاصله نقطه مجهول تا نقطه  $\lambda_i$  و  $p$  توان یا ضریبی است که وزن را تعیین می‌کند (جامعی، ۱۳۸۸). در روش اسپیلاین از چندجمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چندجمله‌ای بر مبنای داده‌های نمونه، مقادیر مجهول تخمین زده می‌شود. در این روش، در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. ولی به شدت از دقت مدل کاسته می‌شود معادله کلی اسپیلاین به صورت معادله (۷) است.

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^n \lambda_j R(r_j) \quad (7)$$

که  $n$  تعداد نقاط نمونه،  $\lambda_i$  ضریب راه حل معادلات خطی،  $r_j$  فاصله از نمونه  $\lambda_i$  و  $T_{(x,y)}$  و  $R(r_j)$  با توجه به نوع اسپیلاین تعیین می‌شوند (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵). در این پژوهش برای روش اسپیلاین از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استفاده شد. در روش وایزی چندگانه خطی بین متغیرهای مستقل که شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و متغیر وابسته (دمای کمینه روزانه) یک رابطه وایزی چندگانه خطی برقرار می‌شود. برای انجام این روش از نرم‌افزار MiniTab استفاده شد و معادلات وایزی چندگانه خطی برای داده‌های دمای کمینه روزهای منتخب سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه شد. برای ارزیابی دقت روش‌های مذکور، روش اعتبارسنجی حذفی به‌کار گرفته شد و از چهار سنجه ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۱</sup> میانگین خطای مطلق (MAE)<sup>۲</sup>، میانگین خطای اریب (MBE)<sup>۳</sup> و ضریب همبستگی ( $r$ )<sup>۴</sup> استفاده شده است. معادلات (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) روابط این سنجه‌ها هستند

<sup>1</sup> Root Mean Square Error

<sup>2</sup> Mean Absolute Error

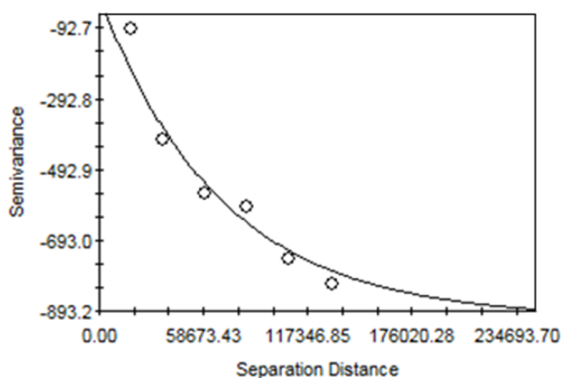
<sup>3</sup> Mean Bias Error

<sup>4</sup> Correlation Coefficient

<sup>5</sup> Willmott

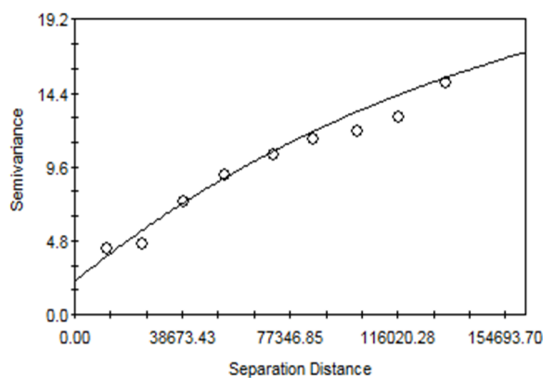
## نتایج و بحث

با بررسی نتایج در روش کریجینگ مشاهده می‌شود که در مورد دمای کمینه سال ۲۰۰۷ در ۶۷٪ موارد مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی، در ۲۱٪ موارد مدل نمایی و در ۱۲٪ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۳/۲ تا ۹۸/۱ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق‌بالای ۶۲٪ و در ۸۰٪ موارد بالای ۸۰ درصد بوده است. در مورد دمای کمینه روزانه سال ۱۹۹۲ در ۳۳٪ موارد مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی، در ۱۷٪ موارد مدل نمایی و در ۵۰٪ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۹/۶ تا ۹۸/۷ کیلومتر است و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق‌بالای ۵۰٪ و در ۷۰٪ موارد بالای ۷۰ درصد است. شکل ۳ یک نمونه از نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل نمایی برازش داده‌شده بر آن مربوط به دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۰۷ نشان داده‌شده است.



شکل ۴- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل نمایی داده‌های دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر ۲۰۰۷

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در مورد دمای کمینه روزانه سال ۲۰۰۷ در ۳۳٪ موارد مدل نیم‌تغییرنمای متقابل، مدل کروی، در ۳۳٪ موارد مدل نمایی و در ۲۹٪ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۳ تا ۹۷/۵ کیلومتر است و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق‌بالای ۹۸٪ می‌باشد. در مورد دمای کمینه روزانه سال ۱۹۹۲ در ۵۴/۲٪ موارد مدل نیم‌تغییرنمای متقابل، مدل کروی بوده و در ۴۱/۶٪ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۲/۴ تا ۹۶/۸ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق‌بالای ۹۹٪ می‌باشد. در روش وزنی عکس فاصله برای تعیین تعداد نقاط و توان بهینه در برآورد منطقه‌ای دمای کمینه روزهای منتخب داده‌های سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷، تعداد نقاط همسایگی ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ و توان‌های ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار گرفت که در ۵۰٪ موارد توان ۱، در ۲۱٪ موارد توان ۳، در ۲۰٪ موارد توان ۱ و در ۱۷٪ موارد توان ۲ به‌عنوان توان بهینه و در خصوص تعداد



شکل ۳- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل نمایی داده‌های دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر ۲۰۰۷

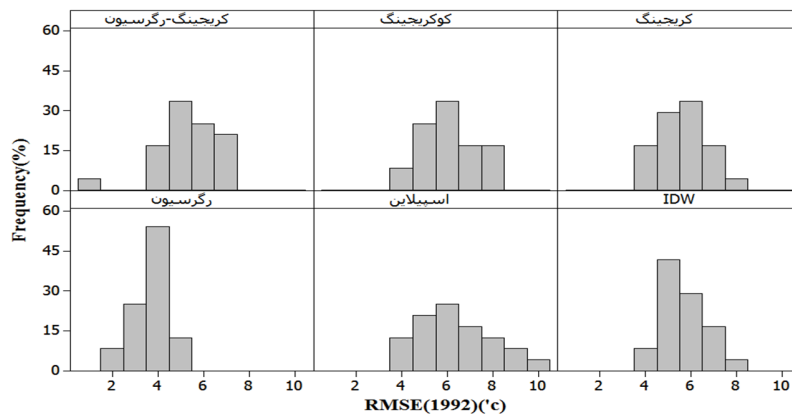
در روش کوکریجینگ نتایج آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ دارای اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۴۸/۹ کیلومتر و آستانه ۹۶۲۰۰ مترمربع و نسبت بخش ساختار دار به کل ۰/۹۹ به دست آمد. در سال ۱۹۹۲، اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۱۱/۵ کیلومتر و آستانه ۲۰۹۹۰۰ مترمربع و نسبت بخش ساختار دار به کل ۱ محاسبه گردید. این نتایج

شد که ضرایب ارتفاع (h) و عرض جغرافیایی (y) تقریباً در تمامی ماه‌ها منفی و ضرایب طول جغرافیایی (x) نیز مثبت است که نشان می‌دهد تغییرات دما با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی کاهش می‌یابد و با افزایش طول جغرافیایی افزایش می‌یابد.

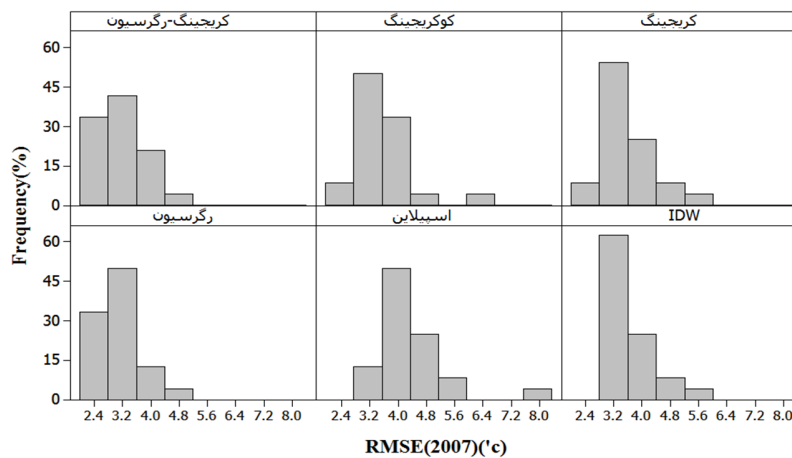
### نتیجه‌گیری

ارزیابی سنجه‌های خطای دمای کمینه سال ۱۹۹۲ که در این پژوهش به‌عنوان یک سال با تعداد کم ایستگاه انتخاب شده بود (اشکال ۵ و ۷)، نشان می‌دهد بهترین روش درون‌یابی دمای کمینه روزانه در ۱۰۰٪ موارد روش وایازی چندگانه خطی است و ارزیابی سنجه‌های خطای دمای کمینه سال ۲۰۰۷ (سال با تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر) نشان می‌دهد (اشکال ۶ و ۸).

ایستگاه‌های بهینه در ۳۷٪ موارد تعداد ۱۰ ایستگاه، در ۳۰٪ موارد تعداد ۵ ایستگاه و در ۳۳٪ تعداد ۲۰ ایستگاه به‌عنوان تعداد ایستگاه بهینه در سال ۲۰۰۷ شناخته شدند. همچنین روزهای ۲۹ نوامبر و ۱۷ ژوئیه با کم‌ترین مقدار RMSE دارای کم‌ترین مقدار خطا و روزهای ۱۲ و ۲۹ ژانویه با بیش‌ترین مقدار RMSE دارای بیش‌ترین مقدار خطا می‌باشند. برای سال ۱۹۹۲ در ۷۵٪ موارد توان ۱، در ۱۷٪ موارد توان ۳ و در ۸٪ موارد توان ۲ و در ۶۳٪ موارد تعداد ۵ ایستگاه و در ۳۷٪ تعداد ۱۰ ایستگاه به‌عنوان توان و تعداد ایستگاه بهینه شناخته شدند. همچنین روزهای ۲۸ سپتامبر و ۱۴ دسامبر با کم‌ترین مقدار RMSE دارای کم‌ترین مقدار خطا و روزهای ۲ می و ۲۰ ژانویه با بیش‌ترین مقدار RMSE دارای بیش‌ترین مقدار خطا می‌باشند. پس از بررسی معادلات وایازی چندگانه خطی در روزهای متفاوت مشاهده



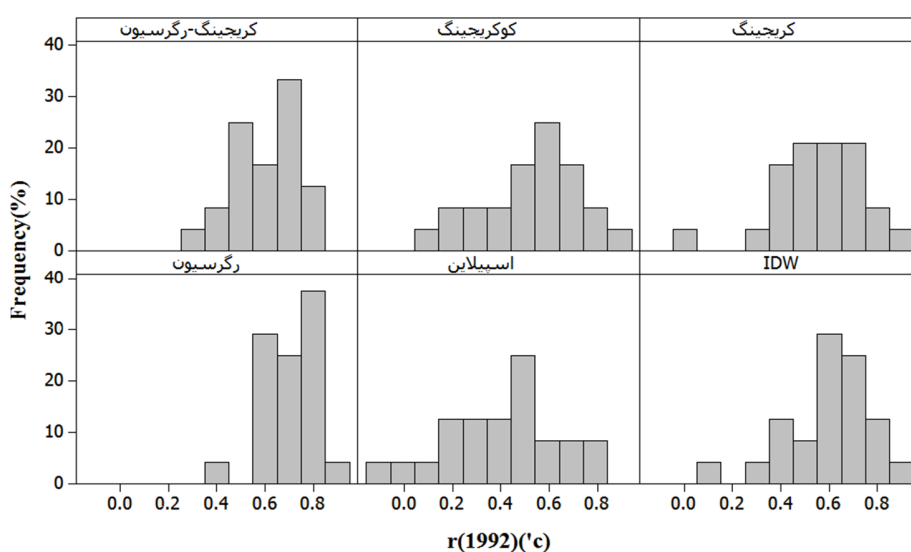
شکل ۵- درصد فراوانی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای دمای کمینه در سال ۱۹۹۲



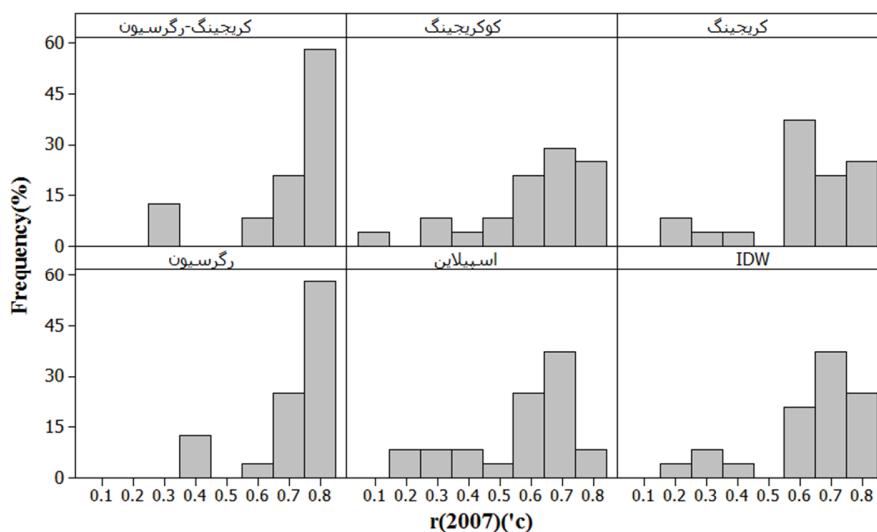
شکل ۶- درصد فراوانی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای دمای کمینه در سال ۲۰۰۷

در خصوص کیفیت و اعتماد به این سنجها بیان نموده، مشابه است. یان و همکارانش در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۵ انجام دادند به نتایجی مشابه دست یافته بودند به این ترتیب که خطای مدل در روش وایازی که در آن از متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی استفاده شده بود کم‌ترین و بیش‌ترین خطا را روش اسپیلاین داشته و البته کریجینگ معمولی در بین روش‌های زمین‌آمار کم‌ترین خطا را داشته است.

بهترین روش درون‌یابی دمای کمینه روزانه در ۵۸٪ موارد روش وایازی چندگانه خطی و در ۴۲٪ موارد روش کریجینگ- وایازی می‌باشد و نمی‌توان یک روش درون‌یابی خاص را برای همه روزهای یک ماه یا سال استفاده کرد. به بیان دیگر دقت روش‌های درون‌یابی در روزهای مختلف یک ماه متفاوت می‌باشد. افزایش تعداد ایستگاه در سال ۲۰۰۷ باعث افزایش دقت تخمین دمای کمینه روزانه در همه روش‌ها نسبت به سال ۱۹۹۲ شده است. نتایج به‌دست آمده از سنج‌های آماری ارزیابی مدل‌ها، با آنچه ویلموت (۱۹۸۲)



شکل ۷- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای کمینه در سال ۱۹۹۲



شکل ۸- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای کمینه در سال ۲۰۰۷

نادی، م. ۱۳۸۹. استفاده از تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی برای تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر رویش درختان ناحیه مرتفع چهارباغ گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998. Principles of geographical information systems. New York: Oxford University Press.
- Carrera-Hernández J. J., Gaskin, S. J. 2007. Spatio-temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. *J. Hydrol.*, 336, 231–249.
- Christopher, D. 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *Int. J. Climatol.*, 26:707-721.
- Chuanyan, Z., Zhongren, N., Guodong, C. 2005. Methods for modelling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian mountains, China. *Ecological Modelling*, 189: 209–220.
- Collins, F. C., Bolstad, P. V. 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. In: *Proceedings of the third international conference on integrating GIS and Environmental modeling*, Santa Fe, New Mexico, January: 21-25.
- Daniel, J., Thierry, B., Herv'e C., Jean C., Hilal, M., Pierre, W. 2010. Temperature interpolation based on local information: the example of France. *Int. J. Climatol.*, 31(14): 2141-2153.
- Hutchinson, M. F., Gessler, P. E. 1994. Splines more than just a smooth interpolator. *Geoderma*, 62:45-67.
- Hong, Y., Nix, H. A., Hutchinson, M. F., Booth, T. 2005. Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *Int. J. clim.*, 25: 136-137.
- Taskinen, a., Sirvio, H., Vehvilainen, B. 2003. Interpolation of daily temperature in Finland. *Nordic hydrol.*, 34(5): 413-426.
- Ustrnul, Z., Czekierda, D. 2005. Application of GIS for the development of climatological air temperature maps. an example from Poland. *Meteorol. Appl.* 12, 43–50.
- Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 63(11): 1309-1313.
- Yang J. S., Wang Y. Q., August P. V. 2004. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. *J. Environ. Informatics*, 4(1): 37-44.

نادی نیز در پژوهشی در سال ۱۳۸۹ نشان داده است که روش وایازی خطی سه‌گانه که در آن متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل برای تخمین دمای ماهانه دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ به‌کار رفته است بهترین نتیجه را داشته است و روش اسپیلاین دارای بالاترین مقدار خطا بوده است. یک مدل خاص درون‌یابی، بسته به توپوگرافی منطقه مطالعاتی، تراکم و پراکنش ایستگاه‌ها در شرایط مختلف دقت‌های متفاوتی دارد و برای اطمینان از اینکه دقت مکانی تا چه اندازه نشان‌دهنده اقلیم واقعی منطقه می‌باشد، باید از یک اقلیم‌شناس تجربی کمک گرفت (کریستفر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶). دما در مناطق کوهستانی به شدت تحت تأثیر شیب، جهت و ... منطقه می‌باشد و برای بهبود دقت نتایج درون‌یابی دما، لازم است روش‌هایی را به کار برد که شیب، جهت و ... منطقه مطالعاتی در آن آمده باشد ((دنیل و همکاران، ۲۰۱۰) وایازی محلی) و حتی‌الامکان از تعداد ایستگاه‌های بیش‌تری استفاده شود.

## منابع

- حسینی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
- جامعی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع و مقایسه با نتایج موجود حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. هواشناسی کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران.
- فرجی‌سبکبار، ح، عزیزی، ق. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی (مطالعه موردی الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد). پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱-۱۵.
- مهدی‌زاده، م. ۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های زمین‌آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

<sup>1</sup> Christopher



## بررسی کمی و مدل سازی ریسک آسیب‌های زراعی بارش‌های سیل آسا در گستره ایران

علی خلیلی\*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

### چکیده

پژوهش حاضر با دو هدف زیر به منظور کاربرد در صنعت بیمه محصولات زراعی به انجام رسیده است: (۱) پهنه‌بندی کشور از نظر خسارت بارش‌های سیل آسا به محیط‌های کشاورزی و (۲) تدوین یک مدل کاربردی که کمیت ریسک را در محدوده تقسیمات کشوری تا سطح دهستان با در نظر گرفتن کاربری زمین ارائه نماید. به این منظور، ابتدا ۴۰۵ ایستگاه هواشناسی که از نظر طول مدت و کیفیت داده‌های روزانه قابل قبول بودند از شبکه جامع ایستگاه‌ها انتخاب و داده‌های روزانه آن‌ها جمع‌آوری گردید. سپس تابع چگالی احتمال این داده‌ها برای هر ایستگاه با روش حداکثر درست‌نمایی تعیین و احتمال وقوع بارش بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر در شبانه‌روز Prsk محاسبه شد. بررسی نشان داد که بین Prsk و متغیرهای بارش سالانه (R)، ارتفاع محل (Z)، عرض جغرافیایی (Y) یک رابطه خطی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. در گام بعدی مدل رقومی هم‌بارش سالانه ۳۶ ساله و مدل رقومی ارتفاع ایران با تفکیک ۱×۱ کیلومتر مربع و مدل رقومی Prsk با همین تفکیک تهیه شد. گروه‌های خطر در بازه‌های ریسک  $\leq 10$ ، ۳۵-۲۰، ۵۰-۳۵،  $> 50$  در نقشه ایران به عنوان پهنه‌های کم، متوسط، پر و بسیار پرخطر از یکدیگر تفکیک گردید. در گام آخر به منظور کاربردی کردن نتایج مدل‌های رقومی کاربری زمین، تقسیمات کشوری ایران تا سطح دهستان و مدل رقومی Prsk در نرم‌افزاری به نام AgroClimRisk به هم‌دیگر متصل شدند. این نرم‌افزار مقدار حداقل، حداکثر، ضریب تغییرات و میانگین Prsk و همچنین گروه خطر را روی محدوده جغرافیایی و زراعی در هر منطقه از کشور به انتخاب کاربر ارائه می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** بیمه کشاورزی، بارش سیل آسا، ریسک اقلیمی، GIS، هم‌بارش ایران، مدل سازی

### مقدمه

صدمه مکانیکی به گیاه، ایجاد رطوبت اضافی در خاک، دشوار کردن عملیات کشاورزی و به تأخیر انداختن برنامه‌های عملیاتی کاشت، داشت یا برداشت و یا ورس و غیره نیز حائز اهمیت می‌باشد و شناخت کمی میزان خطر محتمل ناشی از آن یکی از ابزارهای لازم در صنعت بیمه محصولات زراعی می‌باشد. در هر حال در این مبحث اثرات سیل‌زایی بارش‌ها مورد نظر نیست بلکه فقط بارش‌های سنگین و زبان‌بخش از نظر کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی این پژوهش کمی کردن ریسک و پهنه‌بندی کشور به مناطق کم، متوسط، پر و بسیار پرخطر از نظر خسارتی است که بارش‌های سیل آسا به محیط و محصولات زراعی وارد می‌آورند. خطرزایی بارش‌های سنگین در هر محل به شرایط اقلیمی و آستانه بارش، ویژگی‌های فیزیکی محیط دریافت کننده بارش نظیر توپوگرافی و جنس خاک و در پایان به

تأثیر بارندگی بر عملکرد محصولات زراعی از مباحث شناخته شده هواشناسی کشاورزی است. مقدار عملکرد در تمامی حالات به میزان بارندگی بستگی ندارد و در این میان بارش‌های سنگین و سیل‌های ناشی از آن واجد اثرات منفی، تخریبی و خسارت‌زایی هستند. سیل یکی از رویداد فرعی بارش‌های سنگین است. بارش سنگین ممکن است، سیل، به مفهوم جریان حجیم و سریع آب ایجاد نکند ولی خسارت سنگینی به مزارع وارد نماید. این بارش‌ها، صرف‌نظر از اینکه باعث ایجاد سیل شود و یا رواناب حجمی شدیدی که تخریب فیزیکی خاک را به همراه دارد، ایجاد نماید، به لحاظ

<sup>۱</sup> استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(\*) نویسنده مسئول: akhalili@ut.ac.ir

سنگین پیشنهاد نموده و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ایران را به هفت منطقه تقسیم و برای هر کدام یک ضریب بارش منطقه‌ای ارائه کرده است. در مطالعه آن‌ها بارش‌های سنگین بارش‌هایی با احتمال وقوع کم‌تر از ۵ درصد تعریف شده‌اند. دارند (۱۳۹۴) بارش‌های سنگین و ابرسنگین ایران را با آستانه احتمال وقوع ۹۵٪ و ۹۹٪ تعریف و شبکه را به کمک نمایه کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی در گستره ایران مورد بررسی قرار داده است. چنانچه دیده می‌شود در بررسی‌های انجام شده بارش‌های سنگین، نه بر اساس حجم یا آستانه ریزش بلکه بر پایه سطح احتمال وقوع آن تعریف شده است و به‌عبارت دیگر این بارش‌ها را می‌توان بارندگی‌های روزانه کم‌احتمال نامید. در مورد پژوهش‌های بین‌المللی در این زمینه، ژانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی و با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی روشی را به‌منظور برآورد ریسک بارش سیل آسا در ژاپن ارائه کردند. روزنویگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) با دخیل کردن بارش‌های سیل آسا در مدل‌های زراعی توانستند دقت پیش‌بینی این مدل‌ها را افزایش دهند. مک‌کارتی<sup>۵</sup> (۲۰۰۳) در مقاله‌ای تحت عنوان پیشنهاد یک شاخص بارندگی بر ای بیمه محصولات، به ارائه نمایه بارندگی براساس داده‌های موجود مؤسسات بیمه در مراکش پرداخت. لبلویس و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) با توسعه روش راموس و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۵) ضمن بررسی منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی به معرفی شاخص پیشنهادی خود به‌منظور ارزیابی میزان احتمال خطر بارش‌های سیل آسا در فرانسه پرداختند. کانچه و عبدو<sup>۸</sup> (۲۰۰۹) بررسی تأثیرات متقابل بارش‌های سیل آسا و محصول ذرت در منطقه شرق غنا مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که وقوع بارش سیل آسا در این مناطق باعث آسیب جدی به بخش تولید می‌شود. ویسنته سرجیو و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های ۱۷۴ ایستگاه هواشناسی شمال شرق

عوامل مدیریتی نظیر استفاده نامناسب از زمین و کاربری اراضی بستگی دارد که در این بررسی آستانه بارش و کاربری اراضی در نظر گرفته شده است. تا کنون پژوهش‌های زیادی با کاربرد روش‌های گوناگون و اهداف مختلف درباره بارش‌های سیل آسا در ایران به انجام رسیده است. این بررسی‌ها را به‌طور خلاصه می‌توان به گروه‌های زیر دسته‌بندی کرد: ۱- مطالعات شدت-مدت- فراوانی رگبارها ۲- گزارش‌های پژوهشی در چهارچوب فعالیت‌های مقابله با بحران (نظیر برنامه‌های تحقیقاتی جمعیت هلال احمر در زمینه شناخت پهنه‌های آسیب‌پذیر از سیل) ۳- مطالعات پی‌ام پی<sup>۱</sup> یا حداکثر بارش محتمل ۴- جستجوی روابط بارش-رواناب در حیطه مطالعات هیدرولومنتورولوژی حوضه‌های آبریز کشور ۵- جستجو بین بارش‌های سیل آسا و پدیده‌های بزرگ‌مقیاس جوی ۶- پهنه‌بندی سرزمین بر مبنای ویژگی‌های آماری بارش‌ها که عمدتاً در سال‌های اخیر بر پایه تحلیل خوشه‌ای و تعمیم نتایج در محیط جی‌آی‌اس<sup>۲</sup> انجام گرفته است. ۷- بررسی‌های مربوط به جستجوی شاخص مناسب برای کاربرد در صنعت بیمه به ویژه بیمه محصولات کشاورزی که در این مقاله به آن پرداخته شده است. این جمع‌بندی کلی است و سایر موارد را می‌توان در گروه پژوهش‌های متفرقه و وابسته قرار داد. قابل ذکر است که روش‌های بررسی و تعریف بارش‌های سنگین در ادبیات پژوهش‌های اقلیمی یکسان نیست. در ادامه چند نمونه از پژوهش‌های ملی و بین‌المللی منعکس شده است. منتظری (۱۳۸۸) بارش‌های فرین را بر پایه نسبت حداکثر بارش روزانه به بارش سالانه و به روش تحلیل خوشه‌ای مورد بررسی قرار داده و کشور را از این دیدگاه به چهار منطقه تقسیم نموده است. علیجانی (۱۳۹۰) کلیه بارش‌های روزانه ایستگاهی را که احتمال وقوع کم‌تر از ۱۰٪ (دهک نهم) داشته‌اند را آستانه بارش سنگین اختیار کرده است. به عقیده وی سهم این بارش‌ها در هر محل بیش‌تر از ۴۰٪ بارش سالانه است. برزو و عزیز (۱۳۹۴) با مقایسه بارش‌های روزانه، ماهانه و سالانه در چند ایستگاه هم‌دیدگی ایران معیاری متکی بر شاخص‌های ماهانه را برای برآورد بارش

<sup>3</sup> Zhang et al.

<sup>4</sup> Rosenzweig et al.

<sup>5</sup> McCarthy

<sup>6</sup> Leblois et al.

<sup>7</sup> Ramos et al.

<sup>8</sup> Kanchebe and Abudu

<sup>9</sup> Vicente-Serrano et al.

<sup>1</sup> PMP

<sup>2</sup> G.I.S

است. به منظور پرهیز از خطای هم‌تراز نبودن دوره‌های اقلیمی داده‌ها، لازم دیده شد که به جای استفاده از توزیع فراوانی‌های تجربی بارندگی‌های روزانه، تابع چگالی احتمال<sup>۴</sup> آن‌ها با کاربست روش حداکثر درست‌نمایی جستجو شده و آستانه‌های احتمال وقوع بارش‌های سنگین در هر ایستگاه از تابع برازیده آن ایستگاه محاسبه گردد.



شکل ۱- شبکه ایستگاه‌های هواشناسی مطالعاتی

برای این منظور داده‌های هر ایستگاه با ۱۴ تابع چگالی احتمال متعارف برازش داده شده و برازنده‌ترین آن‌ها انتخاب گردید. به‌عنوان نمونه در شکل ۲ (الف، ب و ج) چگونگی برازش بارندگی‌های روزانه بندر انزلی، همدان نوژه و یزد به ترتیب ۶۹۳۱، ۳۷۷۱ و ۱۰۳۵ روز بارانی با تابع گامی دو پارامتری و لوگ‌نرمال سه پارامتری ارائه شده است. آستانه بارندگی‌های سنگین بر اساس توصیه‌های سازمان جهانی هواشناسی ۵۰ میلی‌متر در روز اختیار شده ولی بسته به شرایط اقلیمی و اهداف مطالعه می‌توان آستانه‌های مناسب دیگری را نیز اختیار کرد. به کمک توابع چگالی احتمال برازیده، احتمال (%) وقوع بارش‌های سنگین در هر یک از ۴۰۵ ایستگاه مطالعاتی محاسبه گردید.

اسپانیا طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۰، ارتباط بین کمیت ریسک بارش‌های سیل آسا و سه پدیده بزرگ‌مقیاس نائو، نوسان مدیترانه‌ای و نوسان غرب مدیترانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین احتمال وقوع بارش سیل آسا در زمستان و هم‌زمان با فاز منفی نوسان غرب مدیترانه رخ می‌دهد. اسکاکن و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره لندست را به‌منظور پهنه‌بندی خطر بارش سیل آسا در نامیبیا ارزیابی کرده و نشان دادند که در مناطق فاقد اطلاعات زمینی می‌توان از این پهنه‌بندی بهره برد. وروسمارتی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) با تلفیق مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی و بارش به بررسی ریسک بارش‌های سیل آسا در منطقه آمریکای جنوبی طی دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۰ پرداختند. زی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) در مطالعات نشان دادند که حمایت از زیان‌های ناشی از وقوع بارش‌های سیل آسا در بخش کشاورزی بدون برآورد احتمال بروز خطر عملاً به نتایج مطلوب نمی‌رسد. بر این اساس و در راستای مطالعات پیش گفته هدف اصلی این پژوهش همان‌طور که ذکر شد کمی کردن ریسک و پهنه‌بندی گستره کشور از نظر سطح خطر بارش‌های سیل آسا می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

در بررسی بارش‌های سنگین معمولاً سه روش شدت بارش‌ها، الگوی بارش و جمع بارش‌های ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرد که در بررسی حاضر به دلیل وجود داده‌های مناسب در شبکه ایستگاه‌های وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور از روش اخیر بهره‌گیری شده است.

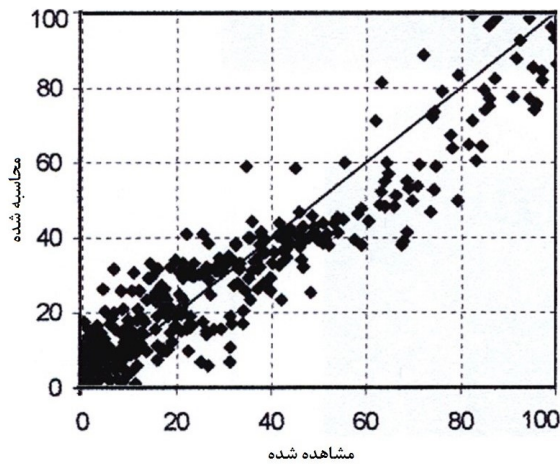
**انتخاب شبکه ایستگاه‌ها و جستجوی توابع چگالی احتمال**  
 شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی که آمار بارش روزانه آن‌ها از نظر طول مدت، کیفیت و کیفیت آماری واجد حداقل‌های لازم باشند شامل ۴۰۵ ایستگاه از دو شبکه وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور است که دارای حداقل ۲۵ و حداکثر ۵۳ سال داده پیوسته در دوره مطالعاتی می‌باشند. در شکل ۱ موقعیت شبکه جامع ایستگاه‌ها مشخص شده

<sup>1</sup> Skakun et al.

<sup>2</sup> Vörösmarty et al.

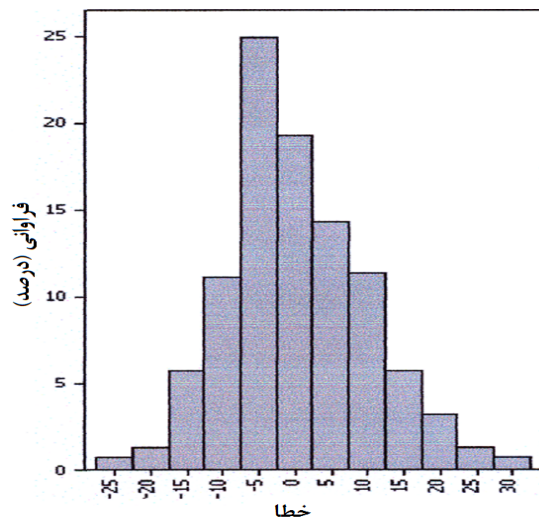
<sup>3</sup> Xie et al.

<sup>4</sup> Probability Density Function

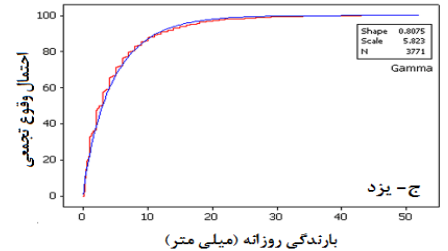
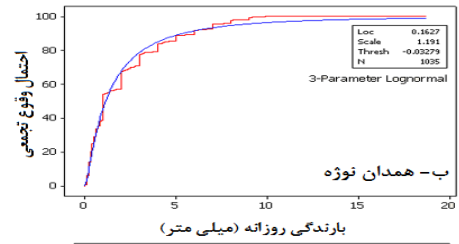
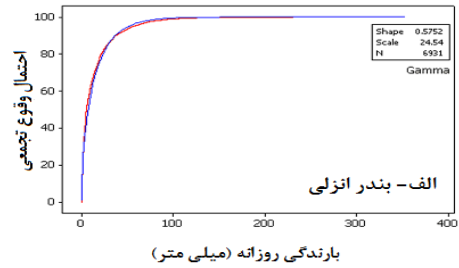


شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده احتمال وقوع بارش‌های سیل آسا در گستره ایران (%)

شکل ۴ توزیع فراوانی خطاهای نقطه‌ای برآورد احتمال یعنی تفاوت بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی را نمایش می‌دهد. سطح بالای ضریب تبیین امکان استفاده از روش لایه خطا را برای رقومی کردن Prsk روی گستره کشور فراهم می‌سازد (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۳). برای تعمیم این رابطه برای گستره کشور لازم است مقادیر ارتفاع  $Z$  و میانگین بارش سالانه  $R$  به صورت رقومی برای هر یک از نقاط در دست باشد. علاوه بر این، نقشه‌های رقومی کاربری اراضی و تقسیمات اداری کشور نیز زیرساخت‌های اصلی کاربردی این بررسی را تشکیل می‌دهند.



شکل ۴- توزیع خطاها در تابع توزیع احتمالات رگبارهای مشاهده و محاسبه شده



شکل ۲- توابع برآزیده چگالی احتمال بارندگی‌های ۲۴ ساعته

### تابع مولد احتمال بارش‌های سیل آسا

تحلیل‌های آماری متعددی به منظور دستیابی به یک تابع تولید مکانی احتمال که در عین معنی‌دار بودن قابل استفاده در ترسیم میدان عددی ریسک بوده و نقش بخش قانونمند میدان را ایفا نمایند انجام گرفت. از بین معادلات مختلف معادله (۱) با ضریب تبیین  $0/858$  و درجه آزادی  $df=401$  که در سطح  $1\%$  معنی‌دار است عاید گردید.

$$Prsk = 121.8 - 0.007Z + 0.00763R - 3.467Y + \varepsilon \quad (1)$$

در این معادله  $Prsk$  احتمال تجاوز بارش ۲۴ ساعته از آستانه ۵۰ میلی‌متر برحسب درصد،  $Z$  ارتفاع محل برحسب متر،  $R$  مقدار متوسط بارش سالانه بر حسب میلی‌متر،  $Y$  عرض جغرافیایی برحسب درجه قوسی و  $\varepsilon$  خطای مربوط به اختلاف مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده می‌باشد. در شکل ۳ مقادیر محاسبه شده و مشاهده شده  $Prsk$  با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

### زیر ساخت‌ها

#### الف - مدل رقومی ارتفاع ایران

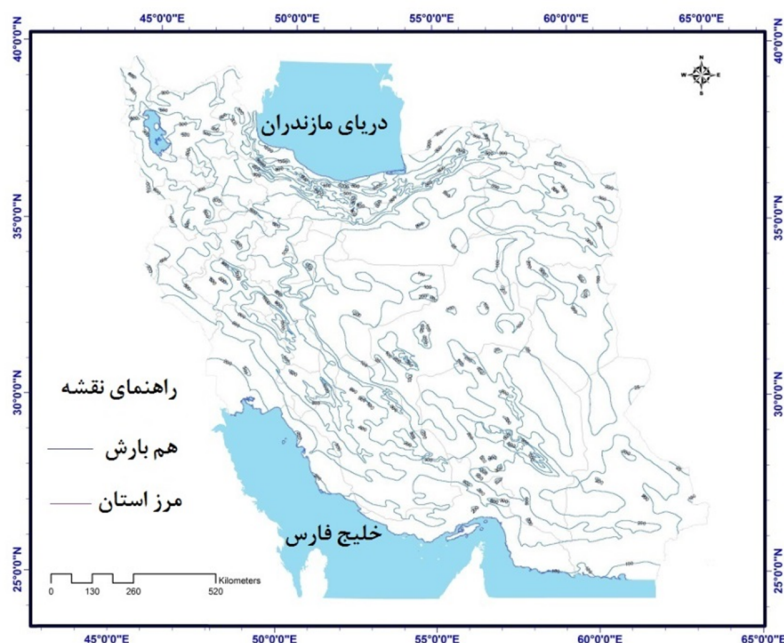
برای مقاصد اقلیمی و با توجه به تراکم فعلی شبکه ایستگاه‌های هواشناسی کشور، و دقت مورد انتظار در عملیات میان‌یابی، یک شبکه ارتفاعی نقطه‌ای به ابعاد ۱×۱ کیلومتر برای رسم میدان‌های عددی اقلیمی مناسب تشخیص داده شد و از DEM ایران استخراج گردید. بر این اساس تمامی برآوردها در روی این گرید (شبکه) که در حدود دو میلیون نقطه (پیکسل) در داخل مرزهای ایران و نواحی مجاور را شامل می‌گردد انجام گرفت. بنابراین واحد محاسبات زمین آماری ۱×۱ کیلومتر مربع می‌باشد. مقدار عددی پارامترهای جغرافیایی و یا اقلیمی به مرکز این پیکسل‌ها نسبت داده شده و پیکسل‌های ناقص ۱/۲ کیلومتر مربع در نظر گرفته شده‌اند.

#### ب- مدل رقومی بارندگی ایران

نقشه‌های هم‌بارش سالانه ایران در دوره اقلیمی مطالعاتی این بررسی بر اساس داده‌های ۱۱۰۰ ایستگاه و به روش گرادیان‌یابی منطقه‌ای ترسیم گردیده و مدل رقومی آن مطابق شکل ۵ تهیه گردید (خلیلی، ۱۳۸۸). این نقشه بعداً به‌روز شده و تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده آن به ۱۴۱۱ و دوره اقلیمی آن تا ۲۰۱۰ افزایش یافت (خلیلی و رحیمی، ۲۰۱۴).

#### ج- لایه خطای برآورد

خطای برآورد رابطه فوق بر اساس داده‌های شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی به روش کریجینگ بر روی گستره کشور به روی پیکسل‌هایی به ابعاد ۱×۱ کیلومتر رقومی شده است و به این ترتیب توزیع تمامی اجزای معادله هادی معلوم و امکان پهنه‌بندی ریسک فراهم شد.



شکل ۵- نقشه رقومی شده میانگین ۳۶ ساله هم‌بارش سالانه ایران (میلی‌متر)

#### د- نقشه رقومی کاربری اراضی

چون برآوردهای منطقه‌ای ریسک منحصراً در گستره‌های زراعی یا مناطق تولیدکننده توده زنده گیاهی معنی‌دار و قابل انجام است و مناطق لم‌یزرع نباید در محاسبات دخالت داده شوند، محدوده‌های رقومی باغات و زراعت آبی،

دیمزارها، دیمزارهای پراکنده و جنگل و مرتع به‌عنوان محدوده‌های مؤثر در برآورد ریسک برای محاسبات زمین آماری از نقشه رقومی کاربری اراضی (وزارت جهاد کشاورزی) استخراج گردید و بر این اساس نقشه اخیر یکی از زیرساخت‌های اصلی را تشکیل می‌دهد. قابل ذکر است که

بارش‌های مساوی یا بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر در روز چهار گروه خطر که هر یک به زیرگروه‌هایی نیز تقسیم‌بندی شده‌اند بر اساس بازه‌های احتمالی مندرج در جدول ۱ پیشنهاد شده است.

جدول ۱- معیارهای پهنه‌بندی ریسک بارش‌های سیل آسا

نماد	گروه خطر	حدود شاخص ریسک
A1	کم خطر ۱	کم‌تر از ۱۰
A2	کم خطر ۲	۱۰-۲۰
B1	متوسط خطر ۱	۲۰-۲۷
B2	متوسط خطر ۲	۲۷-۳۵
C1	پرخطر ۱	۳۵-۴۲
C2	پرخطر ۲	۴۲-۵۰
D	بسیار پرخطر	بیش‌تر از ۵۰

### نتایج و بحث

در شکل ۶ پهنه‌های هم‌خطر بارش‌های سنگین را در گستره کشور با دقت ۱×۱ کیلومتر به‌عنوان نتیجه نهایی این بررسی ارائه شده است.

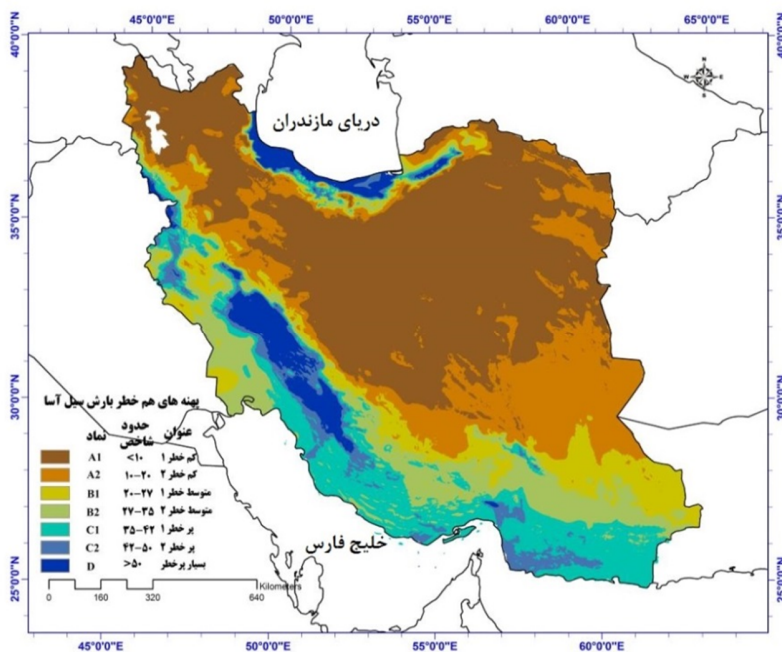
در صورت تولید نقشه‌های جدیدتر امکان جایگزینی آن بدون آن‌که در ساختار مدل تغییر ایجاد شود، وجود دارد.

### ه- نقشه رقومی محدوده‌های اداری کشور

از نظر کاربردهای اجرایی نتایج لازم به نظر رسید که ارزیابی ریسک برای محصولات مختلف در قالب محدوده‌های اداری که تحت مسئولیت اجرایی واحدی می‌باشند امکان‌پذیر باشد. به این دلیل امکان انتخاب محدوده‌های دهستان، بخش، شهرستان و استان‌های کشور برای انجام برآوردهای زمین‌آماری با حفظ کاربری اراضی مورد نظر، نیز فراهم گردیده و نقشه تقسیمات اداری کشور در مدل گنجانده شده است. این نقشه نیز به‌طور پویا قابل جایگزینی با نقشه‌های جدید تقسیمات کشوری می‌باشد.

### معیارهای کمی خطر و پهنه‌بندی ریسک بارش‌های سیل آسا

زیرساخت‌های معادله هادی (مدل‌های رقومی ارتفاع، بارش سالانه و مدل رقومی E) امکان پهنه‌بندی ریسک را بر حسب احتمال وقوع آن‌ها فراهم می‌سازد. برای آستانه



شکل ۶- پهنه‌بندی ریسک بارش‌های سیل آسا

کیلومتر، قضاوتی کمی راجع به بزرگی ریسک در هر محل را ارائه می‌دهد. با در نظر گرفتن این نکته که استخراج

نقشه پهنه‌بندی خطر بارش‌های سیل آسا، ارائه شده در این بررسی برای هر نقطه (پیکسل) از کشور به ابعاد ۱×۱

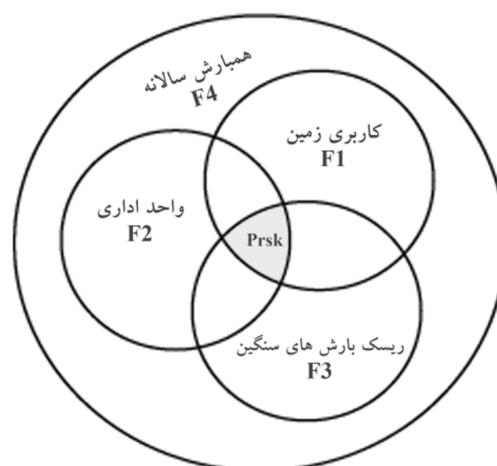
میانگین‌های نقطه‌ای و منطقه‌ای بارش سالانه در همان مناطق نموده شده است.

### نتایج و بحث

یافته‌های این پژوهش به شرح زیر جمع‌بندی می‌شود:

- ۱- تدوین یک معیار درجه‌بندی آسیب بارش سیل آسا مبتنی بر تجربه‌های کارشناسان بیمه کشاورزی به منظور تفکیک گستره کشور از نظر آسیب بارش‌های سنگین به مناطق کم، متوسط، پر و بسیار پرخطر و زیر تقسیم‌های آن معیار درجه‌بندی بر احتمال وقوع بارش‌های مساوی یا بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر در روز استوار بوده و این احتمالات بر پایه بهترین برازش توابع چگالی احتمال بارش‌های روزانه ۴۰۵ ایستگاه هواشناسی برای هر یک از آن‌ها محاسبه شده است.
- ۲- تحلیل همبستگی چندمتغیره نشان داد که رابطه خطی معنی‌دار در سطح قوی‌تر از ۰/۰۱ بین این احتمال و ارتفاع (Z) محل، مقدار بارش سالانه (R) و عرض جغرافیایی (Y) به صورت معادله چند متغیره  $Prsk = a + bZ + cR + dY + \varepsilon$  وجود دارد و از آن به عنوان معادله هادی، یا تابع مولد احتمال برای پهنه‌بندی ریسک استفاده شده و مقدار خطر را به طور کمی روی پیکسل‌های مناسب برآورد گردیده است.
- ۳- برای تأمین متغیرهای فوق تمهیدات زیر فراهم گردید: الف) کافی نبودن تراکم ایستگاه‌های پایه امکان طراحی پیکسل‌ها به ابعاد کم‌تر از ۱×۱ کیلومتر مربع را مجاز نمی‌سازد. بر این اساس در مدل رقومی ارتفاع ایران Z در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱×۱ کیلومتر تهیه شد. ب) نقشه‌های هم‌بارش ایران در دوره ۳۶ ساله مختوم به سال ۲۰۰۳ بر اساس داده‌های ۱۱۰۰ ایستگاه هواشناسی به روش گرادیان‌یابی جزء به جزء تهیه و برای هر یک از پیکسل‌های مذکور مقدار عددی R مشخص گردید. دقت برآوردهای حقیقی در این نقشه یک ایستگاه در هر ۱۵۰۰ کیلومتر مربع است و تفکیک قابل اعمال بر نقشه‌های ۱×۱ کیلومتر مربع می‌باشد.

- مستقیم ارقام از نقشه و تحلیل فراوانی اطلاعات عملاً امکان‌پذیر نیست؛ نرم‌افزار AgroClimRisk به عنوان نتیجه‌گیری و جمع‌بندی این پژوهش تدوین شده که شامل سه بخش سرمازدگی، بارش‌های سیل آسا و خشکسالی است. بیان غیر ریاضی و عملیاتی این مدل در بخش بارش شامل مراحل زیر می‌باشد که در شکل ۷ خلاصه شده است.
- ۱- انتخاب واحد اداری کشور (استان، شهرستان، بخش، دهستان) (میدان F1)
  - ۲- انتخاب کاربری زمین (جنگل و مرتع، زراعت دیم، باغات و زراعت آبی) (میدان F2)
  - ۳- انتخاب موضوع که می‌تواند بارش سیل آسا (میدان F3)، (بارش سالانه (میدان F4) و یا هر دو باشد.
  - ۴- انجام محاسبات زمین آماری



شکل ۷- ساختار مدل AgroClimRisk و نقشه‌های رقومی مورد استفاده در آن

محاسبات زمین آماری روی جامعه پیکسل‌هایی که در منطقه اشتراک یا تقاطع میدان‌های عددی فوق قرار گرفته‌اند انجام می‌شود و کم‌ترین، بیش‌ترین و میانگین مقادیر پیکسل‌ها محاسبه می‌گردد و این میانگین به عنوان سنجه ریسک روی گستره فعالیت زراعی مورد بحث ارائه می‌شود. شکل ۸- الف خروجی مدل را برای بارش‌های سیل آسای چند دهستان منتخب با کاربری زراعت آبی و باغات در استان‌های آذربایجان شرقی، بوشهر و مازندران به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در شکل ۸- ب خروجی مدل برای

(الف)

بهنه‌بندی اقلیمی ایران از دیدگاه بیمه محصولات کشاورزی در برابر آسیب‌های جوی  
آماره‌های ریسک بارش‌های سیل‌آسا

نماد	ارزیابی ریسک	میانگین وزنی	ضریب تغییرات (%)	حداقل	حداکثر	دهستان	بخش	شهرستان	استان	کاربری
A1	کم خطر ۱	1.1	11.1	1.0	1.4	شورکات جنوبی	ایلخچی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	2.0	17.9	1.3	2.4	باویل	مرکزی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	2.0	9.3	1.7	2.4	سهند	مرکزی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
D	بسیار پر خطر	80.0	0.0	80.0	80.0	سخت سر	مرکزی	رامسر	مازندران	زراعت آبی
C2	پر خطر ۲	47.6	2.1	46.1	50.3	کیاکلا	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
D	بسیار پر خطر	52.6	6.5	46.3	58.9	نوکنده	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
D	بسیار پر خطر	51.2	8.1	45.8	60.0	بالاتجن	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
C2	پر خطر ۲	48.0	6.2	45.3	56.6	منکوره	مرکزی	ساری	مازندران	زراعت آبی
D	بسیار پر خطر	59.0	9.6	46.4	65.7	اسفیورد شوراب	مرکزی	ساری	مازندران	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	1.2	5.3	1.1	1.4	تیمورلو	گوگان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	1.2	9.9	1.0	1.4	شهرک	مقان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	1.3	0.0	1.3	1.3	جزیره	ایلخچی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
A1	کم خطر ۱	1.6	11.4	1.3	1.8	دستجرد	گوگان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
C1	پر خطر ۱	38.0	2.9	37.2	40.3	زیارت	مرکزی	دشتستان	بوشهر	زراعت آبی
C1	پر خطر ۱	41.6	4.5	39.4	44.0	دالکی	مرکزی	دشتستان	بوشهر	زراعت آبی

چاپ      انتقال به اکسل      پیش نمایش چاپ

(ب)

نماد	ارزیابی ریسک	میانگین وزنی	ضریب تغییرات (%)	حداقل	حداکثر	دهستان	بخش	شهرستان	استان	کاربری
		264.3	1.6	252.1	275.9	شورکات جنوبی	ایلخچی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		292.2	1.0	286.2	296.9	باویل	مرکزی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		301.3	0.8	296.9	307.7	سهند	مرکزی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		1262.9	3.8	1142.1	1399.3	سخت سر	مرکزی	رامسر	مازندران	زراعت آبی
		688.6	2.0	668.4	733.6	کیاکلا	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
		758.4	6.2	669.7	849.4	نوکنده	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
		736.7	7.6	663.2	871.9	بالاتجن	مرکزی	قائم شهر	مازندران	زراعت آبی
		699.7	6.1	659.6	836.7	منکوره	مرکزی	ساری	مازندران	زراعت آبی
		842.8	8.8	668.6	931.2	اسفیورد شوراب	مرکزی	ساری	مازندران	زراعت آبی
		260.5	0.4	258.7	262.9	تیمورلو	گوگان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		268.1	0.7	264.1	272.5	شهرک	مقان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		261.9	0.2	260.7	262.7	جزیره	ایلخچی	اسکو	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		264.2	0.8	260.0	269.5	دستجرد	گوگان	آذرشهر	آذربایجان شرقی	زراعت آبی
		233.9	4.9	222.4	264.1	زیارت	مرکزی	دشتستان	بوشهر	زراعت آبی
		290.2	9.5	248.7	328.6	دالکی	مرکزی	دشتستان	بوشهر	زراعت آبی

چاپ      انتقال به اکسل      پیش نمایش چاپ

شکل ۵- نمونه خروجی نرم‌افزار تدوینی: الف- ریسک بارش‌های سنگین، ب- میانگین بارش درازمدت سالانه (میلی‌متر) روی چند دهستان منتخب با کاربری مختلف

۴- به منظور کاربردی کردن نقشه، یک نرم‌افزار که بخشی از مدل AgroClimRisk را تشکیل می‌دهد بر مبنای تحلیل‌های زمین آماری تدوین گردید. به کمک این نرم‌افزار می‌توان با استفاده از مدل کاربری زمین و مرزبندی تقسیمات اداری کشور آماره‌های ریسک را در گستره‌هایی با کاربری‌های جنگل و مرتع، دیمزارها، باغات و زراعت آبی و دیمزارهای پراکنده در محدوده‌های اداری گوناگون، دهستان، بخش، شهرستان و استان به‌طور کمی به‌دست آورد و در روی هر گستره کم‌ترین، بیش‌ترین، انحراف معیار و میانگین ریسک

قابل ذکر است که این نقشه بعداً تا دوره مختوم به ۲۰۱۰ و با گسترش مقدار ایستگاه‌ها به ۱۴۰۰ ایستگاه از نظر کیفیت ارتقاء داده شد (خلیلی و رحیمی، ۲۰۱۴).

ج) عرض جغرافیایی پیکسل‌ها در DEM ایران به مرکز پیکسل‌ها نسبت داده شده است.

د) مقدار ۶ بر اساس داده‌های ۴۰۵ ایستگاه محاسبه و به روش کریجینگ برای هر پیکسل مشخص گردید. بر این اساس توزیع Prsk در گستره کشور مشخص و به‌نونه‌های هم‌خطر مرزبندی شدند.

صندوق بیمه محصولات کشاورزی، جلد ۱ و ۷. (راهنمای کاربران).

خلیلی، ع.، درویش صفت، ع.، برادران راد، ر. ۱۳۸۳. پیشنهاد روش برای پهنه‌بندی اقلیمی در محیط GIS. مطالعه موردی شمال غرب ایران در سیستم سیلیانینف. نشریه بیابان، ۹(۲): ۲۲۸-۲۳۷.

دارند، م. ۱۳۹۴. شناسایی پهنه‌های همگن بارش سنگین و ابرسنگین ایران زمین به کمک نمایه‌های کنترل کیفیت پراش درون‌گروهی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۳(۱): ۴۰-۵۷.

علیجانی، ب. ۱۳۹۰. تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۷(۲۰): ۹-۳۰.

منظری، م. ۱۳۸۸. تحلیل زمانی- مکانی بارش‌های فرین روزانه در ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۲): ۱۲۵-۱۴۰.

Kanchebe, D. E., Abudu, K. R. 2012. Vulnerability of crop production to heavy precipitation in north- eastern Ghana. *Int. J. Clim. Chang. Str. Manag.*, 4(1), 36-53.

Khalili, A., Rahimi, J. 2014. High-resolution spatiotemporal distribution of precipitation in Iran: a comparative study with three global-precipitation datasets. *Theor. Appl. Climatol.*, 118(1-2): 211-221.

Leblois, E., Ramos, M. H., Guillon, A. 2007. Rainfall hazard assessment: a geostatistically based methodology. *NOVATECH*.

McCarthy, N. A. 2003. Demand for rainfall-index based insurance: a case study from Morocco (Vol. 106). *Intl. Food Policy Res. Inst.*

Ramos, M. H., Creutin, J. D., Leblois, E. 2005. Visualization of storm severity. *J. Hydrol.*, 315(1): 295-307.

Rosenzweig, C., Tubiello, F. N., Goldberg, R., Mills, E., Bloomfield, J. 2002. Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environ. Chang.*, 12(3): 197-202.

Skakun, S., Kussul, N., Shelestov, A., Kussul, O. 2014. Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: a case study in Namibia. *Risk Anal.*, 34(8): 1521-1537.

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I., El Kenawy, A. M., Angulo-Martínez, M. 2009. Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk

Prsk و درجه کیفی خطر را مشخص نمود و نتیجه را مستقیماً یا در محیط اکسل دریافت کرد. همچنین می‌توان متوسط بارش سالانه را روی محدوده‌های موردنظر باز یافت.

۵- ضرایب معادله هادی نشان می‌دهد که مقدار درصد خطر بارش‌های سیل آسا در ایران به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع ۷/۳ درصد و به ازای هر درجه افزایش عرض جغرافیایی ۳/۵ درصد کاهش می‌یابد، متقابلاً این خطر به ازای هر صد میلی‌متر افزایش بارندگی ۷/۶ درصد افزایش پیدا می‌کند. این معادله به خوبی نشان می‌دهد که شدت بارش‌ها در نواحی جنوب کشور به رغم آن‌که بارندگی سالانه در حدود ۲۵۰-۱۵۰ میلی‌متر است قابل مقایسه با سواحل دریای مازندران که محدوده بارش در دامنه ۲۰۰۰-۶۰۰ میلی‌متر نوسان دارد می‌باشد. بخش وسیعی از ایران مرکزی با ریسک کم‌تر از ۲۰ درصد جزء مناطق کم‌خطر محسوب می‌شوند.

## سیاسگذاری

از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه تهران و صندوق بیمه کشاورزی به پاس حمایت‌های معنوی و مادی آنان، از همکاری صمیمانه آقای دکتر خلیل قربانی برای انجام آزمون‌های متعدد ترسیم میدان‌های عددی و از همگامی آقای مهندس جابر رحیمی برای ویراستاری مجدد نقشه‌ها قدردانی و از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو به پاس در اختیار گذاشتن آمار تشکر می‌شود.

## منابع

برزو، ف.، عزیزی، ق. ۱۳۹۴. پیشنهاد معیاری ساده برای برآورد بارش سنگین در مناطق مختلف ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۳): ۳۴۷-۳۶۵.

خلیلی، ع. ۱۳۸۸. گزارش طرح "پهنه بندی اقلیمی ایران از دیدگاه بیمه محصولات کشاورزی در مقابل آسیب‌های خشکسالی، سرماهای زیان‌بخش و بارش‌های سیل آسا". امور پژوهش‌های کاربردی دانشگاه تهران و

- Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci., 371: 20120408.
- Xie, X., Gu, W., Wang, B., Yang, Q. 2012. Risk Assessment of Rainstorm and Flood Disaster Based on Multi-index. Communications in Information Science and Management Engineering.
- Zhang, J. Q., Okada, N., Tatano, H., Hayakawa, S. 2002. Risk assessment and zoning of flood damage caused by heavy rainfall in Yamaguchi prefecture, Japan. Flood Defence, 162-170.
- in northeast Spain: Role of the North Atlantic Oscillation, the Western Mediterranean Oscillation, and the Mediterranean Oscillation. J. Geophysical Res. Atmospheres, (1984–2012), 114(D8).
- Vörösmarty, C. J., Guenni, L. B., Wollheim, W. M., Pellerin, B., Bjerklie, D., Cardoso, M., D'Almeida, C., Green, P., Colon, L. 2013. Extreme rainfall, vulnerability and risk: a continental-scale assessment for South America.



## کاربرد شاخص دمای معادل فیزیولوژیک جهت تعیین مناطق مناسب گردشگری کشاورزی در استان

### کرمان

#### آرشین بختیاری<sup>۱\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

#### چکیده

گردشگری کشاورزی (آگریوتوریسم) از مهم‌ترین اشکال گردشگری در محیط باز محسوب می‌گردد. از این رو بررسی اقلیم آسایش در محیط باز جهت برنامه‌ریزی این نوع از گردشگری اجتناب‌ناپذیر است. در این مطالعه، استان کرمان به لحاظ کشاورزی، پتانسیل توسعه آگریوتوریسم و برگزاری جشنواره‌های خاص برداشت محصول به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. به‌منظور ارزیابی اقلیم آسایش گردشگری از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET)<sup>۲</sup> و بسته نرم‌افزاری RayMan استفاده شد. جهت محاسبه این شاخص از داده‌های اقلیمی ماهانه ده ایستگاه همدیدی استان از بدو تأسیس تا سال ۲۰۱۵ بهره گرفته شد. برای بررسی وجود همبستگی بین مقادیر شاخص و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی از معادلات گرادیان بین این دو متغیر استفاده گردید و با استفاده از مدل راقومی ارتفاعی استان، پهنه‌های مختلف تغییرات شاخص در ارتفاعات مختلف استان در محیط نرم‌افزاری GIS تعیین گردید. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع، این شاخص در تمامی ماه‌های سال کاهش می‌یابد. تحلیل پهنه‌های مختلف ترسیم شده نشان داد که در ماه ژانویه فقط شهر جیرفت، در ماه فوریه شهرهای جیرفت، کهنوج و شهداد و در ماه مارس مناطق بم و کهنوج مناسب برنامه‌ریزی‌های آگریوتوریسم می‌باشند. همچنین در ماه آوریل شهرهای انار و سیرجان و در ماه مه شهرهای کرمان، انار، بافت و شهربابک از دیدگاه آسایش اقلیمی قابل پیشنهاد هستند. ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت تنها منطقه لاله‌زار و در ماه سپتامبر علاوه بر لاله‌زار، شهرهای کرمان و بافت نیز مناسب فعالیت‌های آگریوتوریسم هستند. ماه اکتبر شهرهای انار، بم و سیرجان و ماه نوامبر کهنوج، جیرفت و شهداد و در ماه سپتامبر تنها شهر جیرفت در محدوده آسایش اقلیمی قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان گفت که در ماه‌های ژانویه، ژوئن، ژوئیه، اوت و دسامبر، کم‌ترین انعطاف در تعیین مسیرهای گردشگری کشاورزی استان کرمان وجود داشته و ماه‌های فوریه، مارس و نوامبر بهترین زمان جهت برنامه‌ریزی‌های گردشگری کشاورزی به‌خصوص در مسیرهای کرمان، جیرفت، کهنوج، شهداد و بم می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اقلیم آسایشی، شاخص دمای فیزیولوژیک، گردشگری کشاورزی، کرمان

#### مقدمه

طبیعت‌گردی رابطه نزدیکی دارد و علاوه بر آن می‌تواند در عرضه مستقیم محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد. در این نوع گردشگری، گردشگران از مناطق روستایی و فعالیت‌های کشاورزی سنتی دیدن کرده و یا اینکه شخصاً در این‌گونه فعالیت‌ها شرکت می‌کنند، بدون این‌که به اکوسیستم منطقه و یا حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی میزبان لطمه‌ای وارد شود. از طرف دیگر روستاها دارای ویژگی‌های خاص طبیعی و کشاورزی هستند و محیط‌های مناسبی برای این نوع گردشگری محسوب می‌شوند (شاه‌چراغی و واحدی، ۱۳۸۹). اقلیم از دیدگاه برنامه‌ریزی گردشگری دارای اهمیت ویژه بوده و گردشگران معمولاً در

گردشگری کشاورزی و در حالت خاص آن گردشگری مزرعه‌ای، شاخه‌ای از گردشگری روستایی است که ارتباط مستقیم با کشاورزی در مناطق روستایی دارد. بر این اساس کشاورزان با شیوه‌های مختلف می‌توانند علاوه بر درآمد ناشی از تولید کشاورزی یک درآمد مکمل از گردشگری نیز به‌دست آورند. آگریوتوریسم یا گردشگری کشاورزی بر گرفته از دو کلمه Agriculture و Tourism می‌باشد که با زمین‌گردی و

<sup>۱</sup> مربی گروه جهانگردی و هتلداری، مجتمع آموزش عالی بم، کرمان، ایران

(\*نویسنده مسئول: Bakhtiari@bam.ac.ir)

<sup>۲</sup> Physiological Equivalent Temperature

روزهای داغ در مناطق کم سایه در ظهر تابستان رخ می‌دهد. همیلتون و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های جوی ۲۰۷ کشور مختلف به بررسی تغییر اقلیم و میزان گردشگری آن‌ها پرداخته و نشان دادند اگرچه تغییر اقلیم بر روی میزان درآمد جوامع تأثیر چشمگیری دارد اما در بلندمدت گردشگری در مناطق مختلف روند افزایشی را نشان می‌دهد. گندم‌کار و محسنی (۲۰۱۱) توریع فضایی-زمانی آسایش اقلیم گردشگری را در استان اصفهان مطالعه کرده و نشان دادند که بهترین زمان برای گردشگری در این استان، ماه اکتبر و به دنبال آن ماه‌های مه و آوریل است. همچنین ماه‌های ژانویه، دسامبر، فوریه و ژوئیه از بدترین شرایط آسایش اقلیمی برخوردارند. از نظر فضایی نیز شهر اصفهان از بخش‌های دیگر استان مناسب‌تر است. نتایج تحقیق احمدی (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که میزان آسایش اقلیم گردشگری در سنجج از اواخر ماه مه تا اواخر ماه اکتبر بوده و شش ماه از سال شرایط آسایش اقلیمی در این شهر حاکم است. لشکری و سلکی (۱۳۸۸) با بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد در شهر سقز بر اساس شاخص PET مشخص کرده‌اند که ۵۴/۹ درصد از مواقع سال هوا کاملاً سرد می‌باشد و تنها ۱۵/۶ درصد از سال در سایه آسایش نسبی قرار دارد و حدود ۲۹/۸ درصد از مواقع با بهره‌گیری از تابش آفتاب می‌توان شرایط مناسبی در سقز ایجاد کرد. اسماعیلی و همکاران (a, ۱۳۸۹) با استفاده از شاخص PET به بهینه‌بندی اقلیمی استان خراسان رضوی پرداختند و نشان دادند که عمده‌ترین محدودیت‌های زیست‌اقلیمی استان مربوط به تنش‌های سرمای است که با گستره زمانی و مکانی زیادی به وقوع می‌پیوندد. عطایی و هاشمی نسب (۱۳۸۹) با بررسی پتانسیل‌های اقلیم توریستی استان سمنان با استفاده از شاخص PET نشان دادند که در ماه‌های اکتبر، سپتامبر و آوریل از بهترین شرایط اقلیم آسایشی در ایران برخوردار است. این مطالعه با هدف بررسی اقلیم آسایش از دیدگاه گردشگری کشاورزی استان کرمان به ارزیابی شاخص PET در این استان و تعیین بهینه‌های مختلف این شاخص در ماه‌های مختلف سال با توجه به تغییرات ارتفاعی منطقه انجام گردیده است.

<sup>۸</sup> Hamilton et al.

جستجوی اقلیم مطلوب یا اقلیم آسایش هستند که در آن فرد هیچ‌گونه احساس ناراحتی و عدم آسایش گرمایی و اقلیمی ندارد (ماتزاراکیس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱). اقلیم و آسایش، اثر عوامل مختلف اقلیمی را به صورت کمی بیان می‌کنند (اسماعیلی و همکاران (b)، ۱۳۸۹). به بیان دیگر، آسایش اقلیمی در بر گیرنده روابط عمومی بین محیط جوی و آسایش انسان است که با استفاده از شاخص‌های زیست‌هواشناسی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این شاخص‌ها اثر عوامل و عناصر مختلف اقلیمی و تفسیر تأثیرات پیچیده بر همدیگر و بر بدن انسان را به‌طوری ساده و در قالب طبقه‌بندی عددی بیان می‌کنند (دی‌فریتاس و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). محققان زیادی همچون اسکات و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۴) و مورگان و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۰) مطالعاتی را در زمینه اقلیم آسایش صورت داده‌اند. جکویلاین و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۴) جهت بررسی اثر شرایط اقلیمی در انتخاب مقاصد گردشگری در آلمان، برخی از متغیرهای اقلیمی نظیر دمای هوا، بارندگی، تعداد روزهای مرطوب و یخبندان را مورد استفاده قرار دادند. آملونگ و وینر<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) با اشاره به وضعیت متغیر آب و هوای جهانی به بررسی وضعیت آسایش توریست در مدیترانه پرداخته‌اند و فصل بهار و پاییز را زمان اوج جذابیت این منطقه بیان کردند. ماتزاراکیس و آلکوفورادو<sup>۷</sup> (۲۰۰۷)، در مناطق جنوب شرق آلمان اطلاعات زیست‌اقلیمی را برای گردشگری مورد بررسی قرار داده است که نتیجه این تجزیه و تحلیل‌ها به‌صورت نقشه‌های زیست اقلیمی ارائه شده است. ماتزاراکیس و فرج‌زاده (۲۰۰۹) اقلیم آسایش مناطق شمال غرب ایران را با استفاده از شاخص PET و شاخص اقلیم گردشگری مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از بررسی شاخص PET نشان داد ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت مطلوب‌ترین زمان‌ها برای گردشگری در سواحل دریاچه ارومیه می‌باشند. ماتزاراکیس (۲۰۱۰) به ارزیابی دمای آسایش با استفاده از شاخص PET در محیط‌های مختلف شهری پرداخته و نشان دادند بالاترین فراوانی

<sup>۱</sup> Matzarakis

<sup>۲</sup> De Freitas et al.

<sup>۳</sup> Scott et al.

<sup>۴</sup> Morgan et al.

<sup>۵</sup> Jacqueline et al.

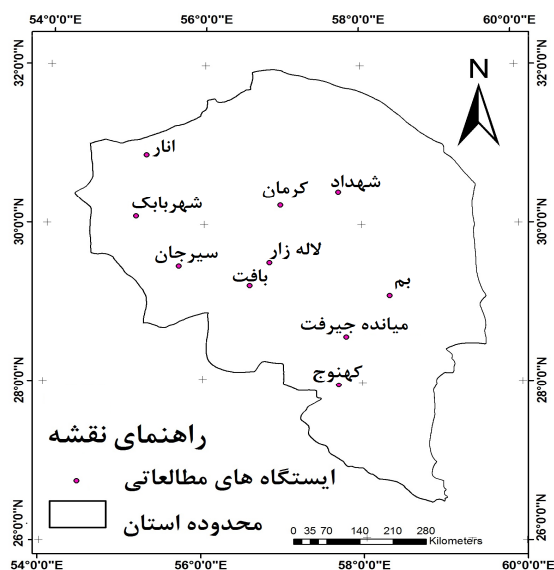
<sup>۶</sup> Amelung and Viner

<sup>۷</sup> Matzarakis and Alcoforado

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مطالعاتی

به منظور ارزیابی اقلیم گردشگری کشاورزی استان کرمان با به‌کارگیری روش شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) از فراسنج‌های اقلیمی متوسط دمای خشک (C)، متوسط رطوبت نسبی (%)، متوسط سرعت باد ( $m s^{-1}$ )، متوسط فشار بخار (Hpa) و میزان ابرناکی (اکتاو) در ۱۰ ایستگاه همدیدی واقع در این استان استفاده گردید. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی و اقلیم آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مطالعاتی را بر گستره استان کرمان نشان می‌دهد.



شکل ۱- توزیع مکانی ایستگاه‌های مطالعاتی بر گستره استان کرمان

جدول ۱- موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و نوع اقلیم در سیستم طبقه‌بندی دومارتن گسترش یافته

ایستگاه	دوره آماری (سال)	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	اقلیم
کرمان	۱۹۶۶-۲۰۱۵	۵۶° ۵۸'	۳۰° ۱۵'	۱۷۵۳	خشک سردسیر
انار	۱۹۸۶-۲۰۱۵	۵۵° ۱۵'	۳۰° ۵۳'	۱۴۰۸/۸	فراخشک گرمسیر
بم	۱۹۵۶-۲۰۱۵	۵۸° ۲۱'	۲۹° ۰۶'	۱۰۶۶	فراخشک گرمسیر
بافت	۱۹۸۹-۲۰۱۵	۵۶° ۳۵'	۲۹° ۱۴'	۲۲۸۰	نیمه خشک سردسیر
کهنوج	۱۹۸۹-۲۰۱۵	۵۷° ۴۲'	۲۷° ۵۸'	۴۶۹/۷	خشک گرمسیر
لاله‌زار	۲۰۰۳-۲۰۱۵	۵۶° ۵۰'	۲۹° ۳۱'	۲۷۷۵	نیمه خشک سردسیر
میانده چیرفت	۱۹۸۹-۲۰۱۵	۵۷° ۴۸'	۲۸° ۳۵'	۶۰۱	خشک گرمسیر
شهداد	۲۰۰۳-۲۰۱۵	۵۷° ۴۲'	۳۰° ۲۵'	۴۰۰	فراخشک گرمسیر
شهربابک	۱۹۸۷-۲۰۱۵	۵۵° ۰۸'	۳۰° ۰۶'	۱۸۳۴/۱	خشک گرمسیر
سیرجان	۱۹۸۵-۲۰۱۵	۵۵° ۴۱'	۲۹° ۲۸'	۱۷۳۹/۴	خشک سردسیر

### روش‌ها

امروزه در مطالعات زیست اقلیم‌شناسی شاخص‌های مرتبط با فیزیولوژی انسان که از معادله بیلان بدن انسان مشتق شده‌اند دارای اهمیت بسزایی می‌باشند. شاخص‌های متعددی در این زمینه پیشنهاد شده که از این بین، شاخص دمای معادل فیزیولوژیک (PET) دارای اهمیت بیشتری است. مزیت اصلی این شاخص ارائه واحد آن حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نتایج حاصل را برای استفاده‌کنندگان و برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف که ممکن است آشنایی با اصطلاحات زیست محیطی نداشته باشند قابل درک می‌کند. شاخص PET جزء خروجی‌های مدل بیلان انرژی بدن انسان

(MEMI)<sup>۱</sup> بوده و یکی از جامع‌ترین و پر کاربردترین شاخص‌ها جهت شرایط زیست هواشناختی و شناسایی منابع اقلیم گردشگری در محیط‌های باز از جمله گردشگری کشاورزی می‌باشد (ماتزاراکیس، ۲۰۱۰). در تعریف شاخص PET برای محیط‌های باز می‌توان گفت دمایی است که طی آن در یک اتاق نمونه بیلان گرمایی بدن انسان (نرخ سوخت و ساز با کار سبک ۸۰ وات بر نرخ سوخت و ساز پایه اضافه می‌شود، ارزش نارسانایی لباس در حد ۰/۹) با دمای پوست و دمای مرکزی بدن در شرایط محیط باز، در تعادل می‌باشد (ماتزاراکیس، ۲۰۱۰). ارزش‌های نارسانایی پوشاک مختلف در جدول ۲ ذکر شده است. در مطالعه حاضر جهت ارزیابی

<sup>1</sup> Munich Energy Balance Model for Individuals

شاخص PET از مدل MEMI (مدل بیلان انرژی برای افراد) استفاده شده است و اتلاف گرمای محسوس از پوست را که برابر با گرما تولید شده توسط خون و گرمای منتقل شده از مرکز به سطح پوست می‌باشد را حل می‌نماید. مقادیر آستانه

این شاخص در جدول ۳ ذکر شده است. این مدل از مجموعه معادلاتی که در جدول ۴ آورده شده تبعیت می‌کند.

جدول ۲- ارزش نارسانایی پوشاک مختلف (ماتزاراکیس و همکاران، ۱۹۹۹)

ردیف	پوشاک مختلف	ارزش نارسانایی (CLO)
۱	برهنه	۰
۲	شلوار کوتاه	۰/۱
۳	لباس زیر نازک پنبه‌ای و آستین کوتاه شلوار بلند نازک و جوراب پنبه‌ای	۰/۳۵
۴	مثل ردیف ۳+ پیراهن آستین کوتاه یقه باز	۰/۵
۵	شلوار سبک، جلیقه، پیراهن آستین بلند و کت	۱
۶	مثل ردیف ۵+ پالتوی پنبه‌ای	۱/۵
۷	لباس مخصوص مناطق قطبی	۳/۵

جدول ۳- مقادیر آستانه شاخص PET در درجات مختلف حساسیت انسان (ماتزاراکیس و همکاران، ۱۹۹۹)

درجه تنش فیزیولوژیک	حساسیت گرمایی	PET	رنگ مشخصه
تنش سرمای بسیار شدید	خیلی سرد	۴>	
تنش سرمای شدید	سرد	۴	
تنش سرمای متوسط	خنک	۸	
تنش سرمای اندک	کمی خنک	۱۳	
بدون تنش سرما	راحت	۱۸	
تنش گرمای اندک	کمی گرم	۲۳	
تنش گرمای متوسط	گرم	۲۹	
تنش گرمای شدید	خیلی گرم	۳۵	
تنش گرمای بسیار شدید	داغ	۴۱<	

جدول ۴- مدل بیلان انرژی برای افراد بر اساس روش PET (هوپ<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹)

$S = H + C + R + E_p + E_{sr} + E_{lr} + E_{sw} + E_f$	نرخ جریان خون	(۱)
$Q_b = (6.3 + 75(t_c - 36.6)) / (1 + 0.5(34 - T_{sk}))$	نرخ تعرق	(۲)
$S_w = 8.47 \times 10^{-5}((1t_{sk} + 0.9t_c) - 35.6)$	تولید گرما	(۳)
$H = M(1 - \eta)$	جریان گرمایی همرفتی	(۴)
$C = A_{sk} f_{cl} (T_a - T_{sk})$	جریان گرمایی تابشی	(۵)
$R = A_{sk} f_{cl} f_{cff} \epsilon \delta (t_f^4 - T_{sk}^4)$	انتشار بخار آب	(۶)
$E_D = mr(P_a - P_{vsk})$	اتلاف گرما به وسیله تعرق	(۷)
$E_{sr} = r_{tm} C_p (T_a - T_r)$	اتلاف گرمای پنهانی به وسیله تعرق	(۸)
$E_{lr} = r_{tm} r (P_a - P_{vr}) / P_a$	اتلاف گرما به وسیله تبخیر	(۹)
$E_{sr} = S_w r$	برای زن	(۱۰)
$E_{sw} = 0.622 h_c R A_{sk} / (P_a - P_{vsk})$	گرمای افزوده یا تلف شده از طریق غذا یا آشامیدنی‌ها	(۱۱)
$E_f = m_f c_f (T_f - T_c)$	گرمای منتقل شده از مرکز به پوست	(۱۲)
$Q_b = \rho_b C_b (T_{sk} - T_c) = (T_{sk} - T_{cl}) / I_{cl}$	گرمای منتقل شده از پوست به محیط	(۱۳)

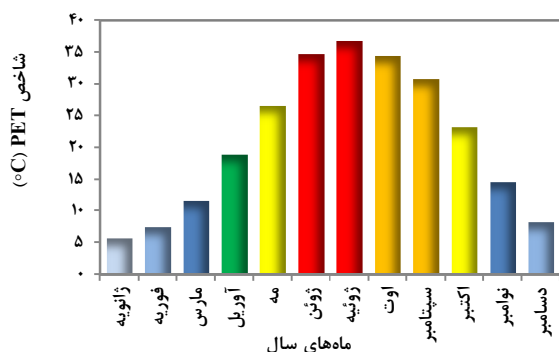
<sup>1</sup> Hoppe

مقادیر ماهانه شاخص PET و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی از رگرسیون خطی استفاده شد. معادلات خطی حاکم بر شاخص PET و ارتفاع ایستگاه‌ها (H) در ماه‌های سال در جدول (۵) آورده شده است.

### نتایج و بحث

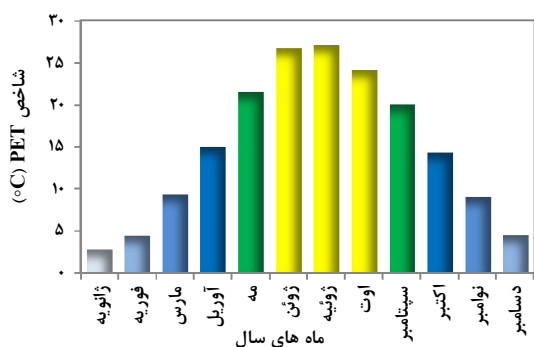
در سال‌های اخیر، مسأله تعیین میزان و محدوده زمانی آسایش اقلیمی مناطق مختلف با توجه به کاربرد آن در فعالیت‌های گردشگری کشاورزی و روستایی قرار گرفته است؛ به طوری که این گروه از گردشگران به دنبال شناخت مطلوب‌ترین زمان یا زمان‌ها هستند. اطلاع از وضعیت جوی در طول سال به مدیران، برنامه‌ریزان و دست‌اندرکاران در امر تحقق برنامه‌هایشان کمک قابل توجهی می‌کند. این پژوهش با تحقیقات مشابهی که بر روی مناطق مختلف انجام شده، در نوع تجزیه و تحلیل داده‌ها تفاوت دارد. اغلب یا حتی می‌توان گفت تمام تحقیقاتی که به دنبال شناخت میزان آسایش اقلیمی مناطق مختلف بوده‌اند، با استفاده از میانگین بلندمدت داده‌های اقلیمی انجام شده است (ذوالفقاری و هاشمی، ۱۳۸۸؛ اسماعیلی و همکاران (b)، ۱۳۸۹). در چنین شرایطی نتیجه حاصل از میانگین نمی‌تواند واقعیت وضعیت آسایش اقلیمی را در ایستگاه مورد نظر نشان دهد؛ زیرا مقادیر حداقل و حداکثرها قابل توجه هستند و می‌توانند اطلاعات مفیدی را از هوای منطقه در اختیار پژوهشگر قرار دهند. بنابراین، در این پژوهش فراوانی شاخص‌های آسایش مد نظر بوده و نتایج با توجه به فراوانی‌ها بیان شده است. شاخص PET که در جدول (۳) ارائه شده است، ارزش عددی ۱۸ تا ۲۳ محدوده آسایش یا از دیدگاه فیزیولوژیک شرایط بدون تنش را نشان می‌دهد که بهترین و مطلوب‌ترین شرایط اقلیم آسایش در محیط‌های باز جهت فعالیت‌هایی نظیر گردشگری روستایی و کشاورزی می‌باشد. در این طبقه‌بندی مقادیر عددی ۲۳ تا ۲۹ تنش‌های گرمایی اندک و مقادیر بین ۱۳ تا ۱۸ بیانگر تنش‌های گرمایی کم است که با در نظر گرفتن مختصر تمهیداتی (مثل پوشیدن لباس مناسب) می‌توان شرایط را به محدوده آسایش رساند و همچنین در جدول (۴) برخی از مشخصات آماری و نوع حساسیت‌های دمایی آورده شده

که در آن‌ها  $M$  نرخ سوخت و ساز بدن ( $W m^{-2}$ )،  $\eta$  کارایی مکانیکی،  $f_{cl}$  نسبت مساحت شخص پوشیده به مساحت بدون پوشش ( $m^2$ )،  $T_a$  دمای هوا ( $^{\circ}C$ )،  $T_{cl}$  دمای سطح لباس ( $^{\circ}C$ )،  $P_{v_{sk}}$  فشار بخار اشباع در دمای پوست ( $pa$ )،  $C_p$  و  $C_f$ ،  $C_b$  به ترتیب گرمای ویژه هوا، غذا و خون ( $W sK^{-1} Kg^{-1}$ )،  $m_f$  انرژی معادل غذا ( $W$ )،  $\varepsilon$  ضریب انتشار پوست،  $\rho_b$  چگالی خون ( $kg lit^{-1}$ )،  $I_{cl}$  مقاومت لباس در برابر انتقال حرارت (CLO)،  $S$  حرارت خالص ذخیره شده در هسته،  $A_{sk}$  سطح پوست ( $m^2$ )،  $T_{sk}$  و  $T_c$  دمای پوست و دمای هسته‌ای بدن ( $^{\circ}C$ )،  $T_r$  دمای تابش متوسط ( $^{\circ}C$ )،  $P_a$  فشار بخار جزئی ( $pa$ )،  $r$  گرمای نهان تبخیر ( $W$ )،  $h_c$  ضریب انتقال گرمای همرفتی ( $W m^{-2} K^{-1}$ )،  $\delta$  ضریب ثابت استفان بولتزمن و  $\tau_{tm}$  جرم هوای تعریفی ( $kg s^{-1}$ ) می‌باشد. روش کار به این گونه می‌باشد که پس از دریافت اطلاعات از سازمان هواشناسی و حصول اطمینان از صحت آماری، داده‌ها جهت یکسان‌سازی و انجام تحلیل‌های مورد نیاز وارد محیط اکسل شده و سپس داده‌های مورد نیاز به طور جداگانه وارد نرم‌افزار RayMan نموده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج محاسبات و خروجی مدل منجر به تشکیل ماتریس ارزش عددی شاخص PET گردید. برای محاسبه شاخص PET تهیه داده‌های هواشناسی نظیر دما، رطوبت نسبی و سرعت باد امکان‌پذیر بوده و برای محاسبه و به دست آوردن برخی پارامترها مانند متوسط دمای تابشی محیط (IMRT) به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد و از آنجا که پارامتر مزبور بیش‌ترین تأثیر را در محاسبه شاخص فوق دارد، لذا برای محاسبه این پارامتر از نرم‌افزار RayMan کمک گرفته شد تا ضریب دقیق محاسبات افزایش یابد. مدل RayMan توسط ماتزاکیس برای محاسبه متوسط دمای تابشی محیط و در نهایت برای محاسبه PET ارائه گردیده است (ماتزاکیس، ۲۰۱۰). با توجه به اینکه داده‌های فیزیولوژیک، پوشش و نوع فعالیت بسیار متغیر هستند بنابراین طبق توصیه مدل می‌توان مواردی به صورت میانگین یا حالت استاندارد در نظر گرفت. همچنین در این پژوهش، به منظور بررسی توزیع مکانی شاخص PET در منطقه مطالعاتی اقدام به بررسی همبستگی شاخص مورد نظر و ارتفاع ایستگاه‌ها گردید. جهت بررسی همبستگی بین



شکل ۳- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان اناز

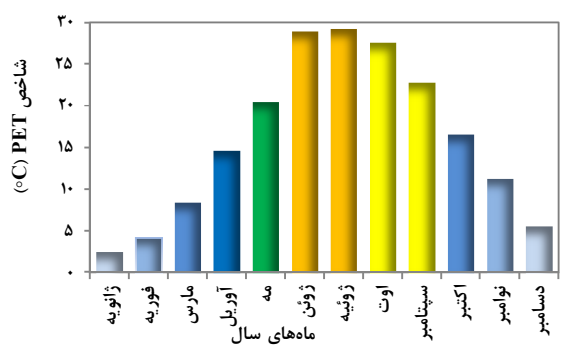
ایستگاه بافت شرایط اقلیمی بسیار مطلوبی داشته و بدون تنش گرمایی زیاد می‌باشد. در ماه‌های سپتامبر و مه با مقادیر عددی ۲۱/۵ و ۲۰ دارای تنش بسیار مطلوب است و در ماه‌های اوت، ژوئیه و ژوئن دارای تنش گرمای اندک و گرما کمی گرم است و در ماه‌های دسامبر، نوامبر، اکتبر، آوریل، مارس، فوریه و ژانویه با مقادیر عددی ۹/۳، ۴/۴، ۲/۸، ۱۵، ۱۴/۳، ۹ و ۴/۵ دارای تنش سرما می‌باشند و حساسیت دمایی سرد دارند (شکل ۴).



شکل ۴- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان بافت

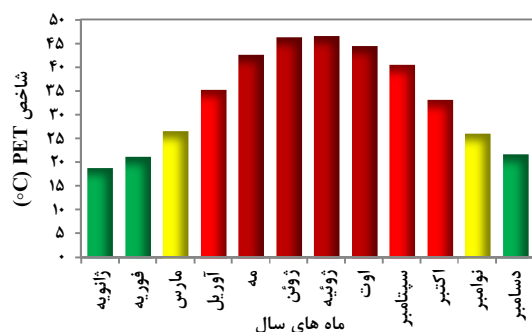
ایستگاه بم دارای شرایط اقلیمی گرم است و در ماه‌های ژوئیه و ژوئن (۱۱ خرداد تا ۹ مرداد) با مقدار عددی ۴۰/۵ و ۴۰/۴ دارای تنش گرمایی بسیار شدید و داغ است و در ماه‌های سپتامبر، اوت و مه تنش گرمایی شدید و حساسیت دمایی خیلی گرم دارد در ماه مه با مقدار عددی ۲۰/۸ شرایط اقلیمی بسیار مطلوبی داشته و بدون تنش سرما است و از لحاظ اقلیم گردشگری کشاورزی مناسب می‌باشد (شکل ۵).

است. بر این اساس وضعیت اقلیم گردشگری استان کرمان در مقیاس ماهانه با استفاده از شاخص PET مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که ماه مه با مقدار عددی ۲۰/۵ بدون تنش بوده و از وضعیت آسایش اقلیمی مطلوبی برخوردار است. در ماه‌های ژوئیه و ژوئن با مقادیر عددی ۲۹/۲ و ۲۸/۹ تنش گرمایی اندک بوده و حساسیت دمایی گرمی دارد و در ماه‌های سپتامبر و اوت با مقدار عددی ۲۲/۸ و ۲۷/۶ تنش گرمای اندک و حساسیت دمایی کمی گرم دارد، ماه‌های دسامبر و ژانویه با مقادیر عددی ۲/۵ و ۵/۶ تنش سرمای بسیار زیاد و حساسیت دمایی خیلی سرد دارد، ماه فوریه با مقدار ۴/۲ تنش سرمای شدید و حساسیت دمایی سرد دارد (شکل ۲).



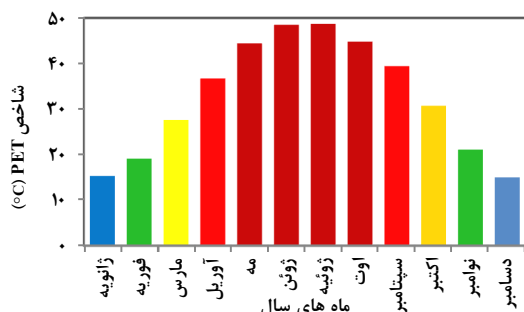
شکل ۲- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان کرمان

در ایستگاه اناز در ماه‌های ژوئیه و ژوئن با بالاترین مقدار PET به ترتیب ۳۶/۸ و ۳۴/۷ تنش گرمایی بسیار شدید و حساسیت دمایی داغ دارد و ماه آوریل با مقدار ۱۸/۹ بدون تنش سرما و از نظر حساسیت دمایی راحت و شرایط اقلیمی مطلوب‌تری دارد در ماه‌های اکتبر و مه با مقدار عددی ۲۶/۶ و ۲۳/۲ دارای تنش گرمای اندک و از لحاظ گرمایی کمی گرم است. ماه‌های سپتامبر و اوت با مقادیر عددی ۳۴/۴ و ۳۰/۸ با وجود تنش گرمای متوسط و از لحاظ گرمایی گرم است. ماه‌های دسامبر، نوامبر، مارس، فوریه و ژانویه از ماه‌های سرد و خنک شهر اناز بوده که از لحاظ تنش گرمایی دارای سرمای متوسط و شدید هستند (شکل ۳).



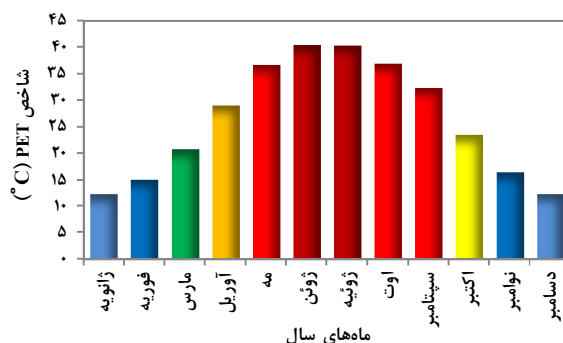
شکل ۷- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان جیرفت

ایستگاه شهید در ماه‌های اوت، ژوئیه، ژوئن و مه با مقادیر عددی ۴۴/۴، ۴۸/۸، ۴۸/۷ و ۴۸/۷ دارای تنش گرمایی بسیار شدید و حساسیت دمایی داغ است و از نظر گردشگری روستایی و کشاورزی شرایط نامطلوبی را دارد. در ماه‌های دسامبر و ژانویه با مقادیر عددی ۱۵/۳ و ۱۵ دارای تنش سرمای اندک و حساسیت دمایی کمی خنک است. این ایستگاه در ماه‌های نوامبر و فوریه با عدم تنش سرمایی از حساسیت دمایی راحت برخوردار می‌باشد و دارای شرایط مطلوب اقلیم گردشگری و فعالیت‌های آگریوتوریسم است (شکل ۸).



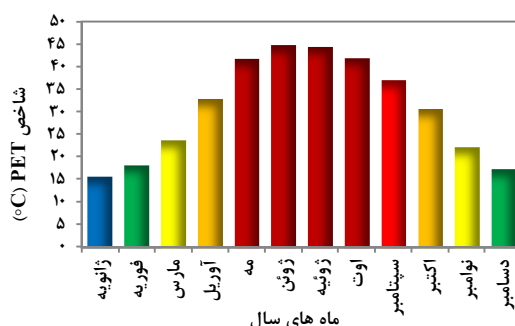
شکل ۸- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان شهید

ایستگاه شهربابک در ماه ژانویه با مقدار عددی ۳/۳ دارای تنش سرمای بسیار شدید و از لحاظ حساسیت دمایی خیلی سرد است و ماه فوریه با مقدار عددی ۵/۲ و ۴/۱ دارای تنش سرمای شدید و حساسیت دمایی سرد می‌باشد. ماه‌های نوامبر و مارس با مقدار عددی ۱۰/۱ و ۹ با تنش سرمای متوسط و حساسیت دمایی خنکی دارد در ماه‌های اکتبر و آوریل با مقدار عددی ۱۶ و ۱۴/۵ دارای تنش سرمای اندک و حساسیت دمایی کمی خنک است ماه‌های اوت و مه با مقدار عددی ۲۳، ۲۵/۸ دارای تنش گرمای اندک و حساسیت



شکل ۵- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان بهم

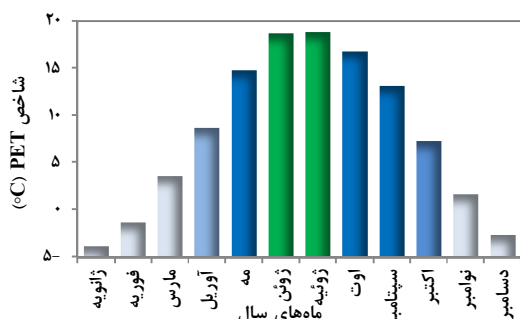
ایستگاه کهنوج از نظر شرایط اقلیمی بسیار گرم است و یکی از گرم‌ترین شهرستان‌های استان کرمان است که ماه‌های دسامبر و فوریه از شرایط مطلوبی برخوردار است و ماه‌های اوت، ژوئیه، ژوئن و مه با مقادیر عددی ۴۴/۸، ۴۴/۹، ۴۴/۵ و ۴۲ تنش گرمایی بسیار شدید و دارای حساسیت دمایی داغ بوده که برای فعالیت‌های محیط باز و گردشگری کشاورزی بسیار گرم و نامساعد است. ماه ژانویه در فصل زمستان از تنش سرمایی اندک و از نظر گرمایی کمی خنک است و بقیه ماه‌ها دارای تنش گرمای اندک و متوسط می‌باشند (شکل ۶).



شکل ۶- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان کهنوج

ایستگاه جیرفت در ماه‌های دسامبر، فوریه و ژانویه بدون تنش سرما بوده و دارای شرایط مطلوب و بهترین ماه‌ها برای فعالیت‌های آگریوتوریسم در این شهر می‌باشد و ماه‌های اوت، ژوئیه، ژوئن و مه از نظر تنش گرمایی دارای تنش گرمای بسیار شدید و از لحاظ حساسیت دمایی داغ است و ماه‌های نوامبر، اکتبر، سپتامبر، آوریل و مه با مقدار عددی ۲۶/۶، ۳۵/۳، ۴۰/۵، ۳۳/۱ و ۲۶/۱ از تنش گرمایی اندک و متوسط و از نظر حساسیت دمایی کمی گرم و گرم دارد (شکل ۷).

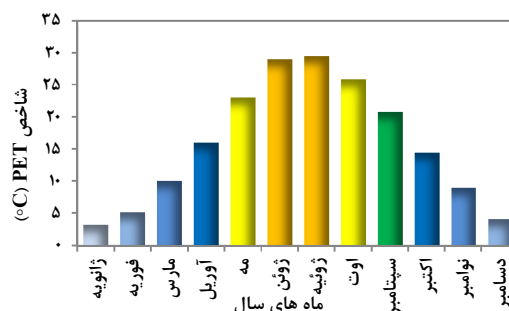
ایستگاه لاله‌زار در ماه‌های دسامبر، نوامبر، مارس، فوریه و ژانویه با مقادیر عددی ۳/۸، ۱/۳، ۳/۶، ۱/۷ و ۲/۶- از لحاظ درجه تنش فیزیولوژیک دارای تنش سرمایی بسیار شدید و از لحاظ گرمایی خیلی سرد است. ماه‌های اکتبر و آوریل با مقادیر عددی ۸/۷ و ۷/۳ از تنش سرمایی متوسط و حساسیت دمایی خنک برخوردار است. و ماه‌های سپتامبر، اوت و مه با مقدار عددی ۱۴/۸، ۱۶/۸ و ۱۳/۱ با وجود تنش سرمایی اندک از حساسیت دمایی کمی خنک برخوردار می‌باشد. ماه‌های ژوئیه و ژوئن با عدم تنش سرما از لحاظ تنش فیزیولوژیک دارای حساسیت دمایی راحت است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان لاله‌زار

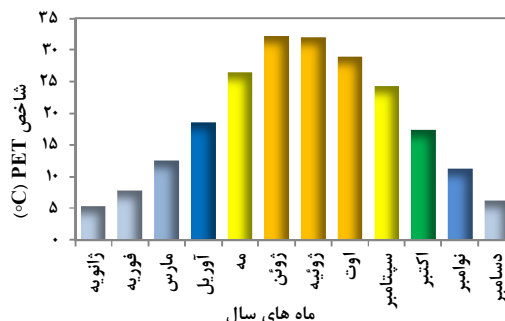
بررسی ضریب همبستگی بین شاخص دمای معادل فیزیولوژیک و ارتفاع ایستگاه‌ها (جدول ۵) نشان می‌دهد که این ضریب برای همه ماه‌ها منفی و در سطح آماری ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. بر این اساس با افزایش ارتفاع مقادیر شاخص PET کاهش می‌یابد. نرخ کاهش شاخص PET به ازای هر کیلومتر افزایش ارتفاع در همه ماه‌های سال ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین شکل (۱۲) پهنه‌های هم‌مقدار شاخص PET را برای ماه‌های مختلف سال که بر اساس تغییرات ارتفاعی ترسیم گردیده‌اند را بر گستره استان کرمان نشان می‌دهد.

دمایی کمی گرم است و ماه‌های ژوئیه و ژوئن با مقدار عددی ۲۸/۹ و ۲۹/۴ دارای تنش گرمایی متوسط و حساسیت دمایی گرم است. در ماه سپتامبر با مقدار عددی ۲۰/۸ از دسته ماه‌هایی است که با عدم تنش سرمایی از حساسیت دمایی راحت برخوردار می‌باشد و دارای شرایط مطلوب اقلیم گردشگری است (شکل ۹).



شکل ۹- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان شهربابک

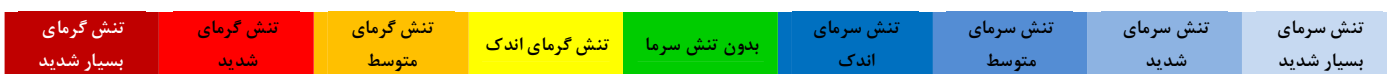
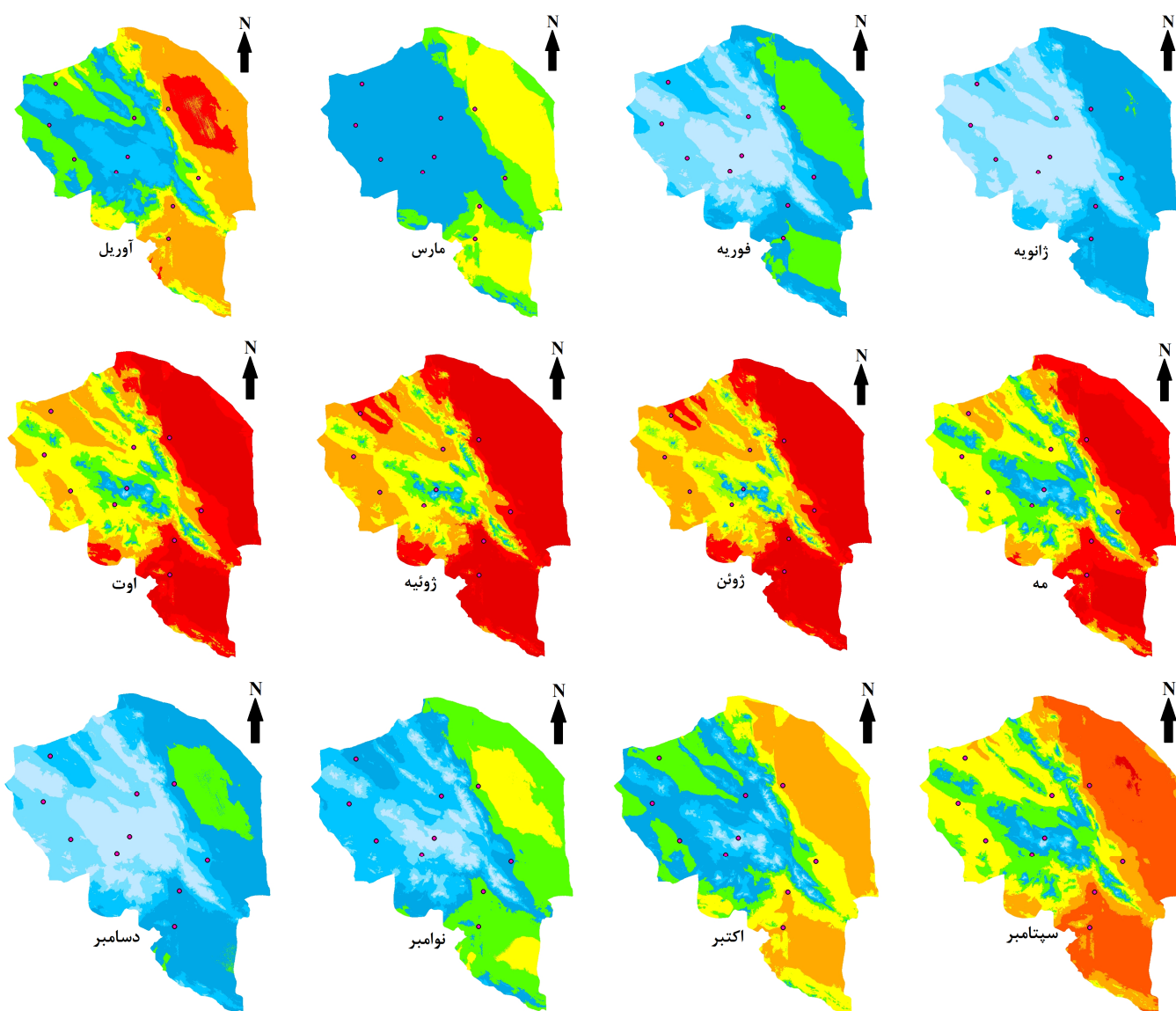
ایستگاه سیرجان در ماه‌های دسامبر، فوریه و ژانویه با مقادیر عددی ۵/۴۸، ۷/۹ و ۶/۳ از لحاظ درجه تنش فیزیولوژیک دارای تنش سرمایی شدید می‌باشد و از لحاظ حساسیت دمایی سرد است. ماه‌های مارس و نوامبر از لحاظ درجه تنش فیزیولوژیک دارای تنش سرمایی متوسط و از لحاظ حساسیت دمایی خنک است. این ایستگاه در ماه‌های آوریل و اکتبر با مقادیر عددی ۱۸/۶ و ۱۷/۴ با عدم تنش سرمایی از لحاظ درجه تنش فیزیولوژیک از حساسیت دمایی راحت برخوردار است که از لحاظ اقلیم گردشگری شرایط مطلوبی دارد. ماه‌های مه و سپتامبر با تنش گرمایی اندک دارای حساسیت دمایی کمی گرم است. ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت دارای تنش فیزیولوژیک گرم و حساسیت دمایی متوسط است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- وضعیت ماهانه آسایش اقلیمی شهرستان شهربابک

جدول ۵- معادلات خطی حاکم بر شاخص PET و ارتفاع ایستگاهها (H) حسب متر

ماه	معادله	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )	ماه	معادله	ضریب تبیین (R <sup>2</sup> )
ژانویه	PET = -۰/۰۱ H + ۱۹/۷۷	۰/۹۱	ژوئیه	PET = -۰/۰۱ H + ۵۱/۵۴	۰/۹۶
فوریه	PET = -۰/۰۱ H + ۲۲/۷۴	۰/۹۲	اوت	PET = -۰/۰۱ H + ۴۸/۴۸	۰/۹۶
مارس	PET = -۰/۰۱ H + ۲۹/۲۵	۰/۹۰	سپتامبر	PET = -۰/۰۱ H + ۴۳/۵۶	۰/۹۴
آوریل	PET = -۰/۰۱ H + ۳۸/۹۶	۰/۹۲	اکتبر	PET = -۰/۰۱ H + ۳۵/۳۳	۰/۹۵
مه	PET = -۰/۰۱ H + ۴۷/۳۹	۰/۹۳	نوامبر	PET = -۰/۰۱ H + ۲۶/۳۷	۰/۹۲
ژوئن	PET = -۰/۰۱ H + ۵۱/۴۳	۰/۹۶	دسامبر	PET = -۰/۰۱ H + ۲۱/۰۴	۰/۸۹



شکل ۱۲- پهنه‌های هم‌مقدار شاخص دمای معادل فیزیولوژیک برای آستانه‌های مختلف آن در استان کرمان

توجهی را در توسعه کشاورزی و گردشگری و کسب درآمدهای اقتصادی و ایجاد فرصت‌های قابل توجه سرمایه‌گذاری گردشگری کشاورزی در استان کرمان ایجاد نماید.

### منابع

اسماعیلی، ر.، گندمکار، ا.، منتظری، م. ۱۳۸۹ (a). پهنه‌بندی اقلیم آسایش استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص دمای فیزیولوژیک. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱(۲): ۱۰۱-۱۱۴.

اسماعیلی، ر.، صابر حقیقت، ا.، ملبوسی، ش. ۱۳۸۹ (b). ارزیابی شرایط اقلیم آسایشی بندر چابهار در جهت توسعه گردشگری. مجموعه مقالات چهارمین کنگره جغرافی‌دانان جهان اسلام: ۱۵۴-۱۶۴.

ذوالفقاری، ح.، هاشمی، ر. ۱۳۸۸. تحلیلی بر نیازهای سرمایشی و گرمایشی در شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۸۸(۸): ۳۴-۲۱.

شاهچراغی، آ.، واحدی، ع. ۱۳۸۹. منظر روستایی و توسعه آگروتوریسم. فصلنامه شهرسازی و معماری، ۲۰(۶۹): ۱۳۳-۱۲۴.

عطایی، ه.، هاشمی نسب، س. ۱۳۸۹. بررسی پتانسیل‌های اقلیم توریستی استان سمنان با استفاده از شاخص دمای معادل فیزیولوژیک. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱(۲): ۲۳-۳۲.

لشکری، ح.، سلکی، ه. ۱۳۸۸. بهینه‌سازی جهت‌گیری فضاهای آزاد در شهر سقز بر اساس شرایط اقلیمی. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱(۳): ۲۷-۴۳.

Ahmadi, M. A. 2012. Evaluation of tourism climate comfort in order to attract more tourism – case study: Sanandaj city in Iran. *life sci. j.*, 9(3): 623-629 (ISSN: 1097-8135).

Amelung, B., Viner, D. 2006. Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climate Index. *J. sustainable tourism*, 14(4): 349-366.

De Freitas, C. R., Scott, D. McBoyle, G. 2008. A Second Generation Climate Index for tourism (TCI) Specification and Verification. *Int. J. Biometeorol.*, 15(2): 399-407.

Gandomkar, A., Mohsseni, N. 2011. Analysis and Estimate Tourism climate Index of Mazandaran

به طور کلی نقشه‌ها نشان‌دهنده تنش سرمایی شدید و بسیار شدید در نواحی غرب و شمال غربی استان در فصول سرد سال می‌باشند و این در حالی است که در همین فصول نواحی شرق و جنوبی استان تنش سرمایی کم‌تری را تحمل می‌کنند. به عنوان نمونه در ماه ژانویه معادل دی‌ماه نواحی شرقی و جنوبی استان شامل شهرستان‌های شهداد، بم، جیرفت و کهنوج تنش سرمایی اندک را تحمل کرده و شهرستان‌های مرکزی، شمال و غربی استان شامل کرمان، لاله‌زار، شهرابک، سیرجان و بردسیر تنش سرمایی شدید و بسیار شدید را نشان می‌دهند. در ماه‌های گرم سال نظیر مه، ژوئیه و اوت نواحی شرقی و جنوبی استان تنش گرمایی بسیار شدید را تحمل می‌کنند. بیش‌ترین گستره‌های فاقد تنش سرمایی در ماه‌های فوریه و نوامبر در نواحی شرق و جنوبی استان واقع شده‌اند.

### نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی نتایج حاصله نشان می‌دهد که در ماه‌های ژانویه، ژوئن، ژوئیه، اوت و دسامبر تعداد کمی از مناطق استان کرمان اقلیم آسایش مطلوبی را جهت اجرای پروژه‌های آگروتوریسم داشته است. در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت تنها منطقه لاله‌زار و در ماه دسامبر نیز جیرفت به‌عنوان مقصد مناسب گردشگری کشاورزی پیشنهاد می‌گردد. جهت تنوع مسیریابی و انعطاف بیش‌تر برنامه‌ریزان گردشگری کشاورزی، ماه‌های فوریه، مارس و نوامبر مسیرهای کرمان، جیرفت، کهنوج و شهداد اقلیم آسایش بهینه‌ای را نشان می‌دهند. نکته قابل توجه و حائز اهمیت است که می‌توان استخراج نمود پتانسیل اقلیمی اجرای برنامه‌های آگروتوریسم در این استان بوده است. چرا که با توجه به نتایج حاصله، این استان از جمله مناطقی از کشور محسوب می‌گردد که در تمام ماه‌های سال حداقل یک مقصد اقلیم آسایشی را جهت اجرای برنامه‌های مرتبط با آگروتوریسم داشته و این مسئله اولویت سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی‌های گردشگری کشاورزی را در این استان نسبت به سایر شاخه‌های گردشگری بالا می‌برد. تشکیل کارگروه‌ها و کمیته‌های تخصصی آگروتوریسم که از متخصصین گردشگری و کشاورزی تشکیل شده‌اند و ترکیب این دو تخصص در این گروه‌ها می‌تواند نتایج قابل

- Matzarakis, A. 2010. Assessing climate for tourism purposes: existing methods and tools for the thermal complex. Proceeding of the International workshop on climate and tourism and recreation. Int. soc. Biometeorol., 171-184.
- Matzarakis, A., Farajzadeh, H. 2009. Quantification of climate for tourism in the northwest of Iran, university of Freiburg, Meteorological institute, Werdering, 10, D-79085 Freiburg. Germany.
- Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G. 1999. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. Int. J. Biometeorol., 43:76-84.
- Morgan, R., Gatell, E., Junyent, R., Micallef, A., Özhan, E., Williams, A. T. 2000. An improved user-based beach climate index. J. Coast. Conserv., 6: 41-50.
- Scott, D., McBoyl, G., Schwartzenruber, M. 2004. Climate change and the Distribution of climate Resources for Tourism in north America. Clim. Res., 27: 105- 117.
- province, using TCI Model, and International Conference on Business, Economics and tourism Management, IPEDR vol 24, IACSIT press, Singapore.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J., Tola, R. S. J. 2005 climate change and international tourism; A simulation study, Global Environmental change, 15: 235-266.
- Hoppe, P. 1999. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int. J. Biometeorol., 43: 71-75.
- Jacqueline, M., Hamilton, D., Madidison, J., Richards, J. 2004. Climate and the Destination Choice of German Tourists. A Segmentation Approach, 2: 207-214.
- Matzarakis, A. 2001. Heat stress in Greece. Int. J. Biometeorol., 41: 34-39.
- Matzarakis, A., Alcoforado, M. J. 2007. Importance of thermal comfort and bio climate for tourism climate change and tourism.



## تخمین ضریب آلبیدوی سطح زمین با استفاده از تصاویر Level1-G و CDR ماهواره لندست-۷

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱\*</sup>، الهام فخاری زاده شیرازی<sup>۲</sup>، صفر معروفی<sup>۳</sup>، یوسف رضایی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

### چکیده

آلبیدوی سطح زمین، که نسبت بین تابش خورشیدی بازتابی به ورودی است، یکی از متغیرهای مهم هواشناسی در محاسبه ترازمندی تابشی سطح، نیاز آبی گیاهان و شرایط مرزی مدل‌های اقلیمی می‌باشد. در چند دهه اخیر، مقدار آلبیدو به وسیله داده‌های ماهواره‌ای نیز برآورد می‌شود. در این پژوهش، مقدار ضریب آلبیدوی سطحی در یک منطقه تحت کشت واقع در همدان با استفاده از تصاویر Level1-G و CDR ماهواره لندست-۷ برآورد و با داده‌های زمینی مقایسه شد. در این راستا، ۱۴ تصویر ماهواره‌ای به کار برده شده است. مؤلفه‌های تابش توسط ثبات تابش خالص واقع در ایستگاه اقلیم‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا برداشت گردید. پس از انجام تصحیحات خطاهای SLC-Off، اثر ابر، خطای سنجنده، خطای اتمسفر و توپوگرافی، مقادیر آلبیدوی سطحی در طول موج‌های مختلف محاسبه گردید. نتایج نشان داد که آلبیدوی برآورد شده پوشش سبز منطقه مورد مطالعه بین ۰/۲۱ تا ۰/۲۶ متغیر بود و آلبیدوی پوشش برف حدود ۰/۶۵ تخمین زده شد. در این رابطه، میانگین مربعات خطای آلبیدوی سطحی تخمین زده شده از تصاویر Level1-G و CDR بین ۰/۰۹ الی ۰/۰۲ به دست آمد. بیشترین خطا مربوط به آلبیدوی سطحی در محدوده مادون قرمز نزدیک بود. با توجه به نتایج تست فیشر، اختلاف معنی‌داری بین آلبیدوی تخمین زده شده از تصاویر Level1-G و CDR مشاهده نگردید. بنابراین، در برآورد آلبیدوی سطحی به صورت خام و با تفکیک مکانی ضعیف، هر یک از دو روش بدون ارجحیت قابل استفاده می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آلبیدوی سطحی، لندست-۷، CDR، بازتاب، همدان

### مقدمه

دیکینسون<sup>۷</sup> (۱۹۸۳) و نقش بسیار مهمی در مطالعات تغییر اقلیم و مدل‌های سطح زمین دارد. این پارامتر دارای تغییرات مکانی و فصلی است که وابستگی زیادی به تغییرات درخشندگی خورشید، رشد گیاهان و فعالیت‌های انسانی مثل کاشت، برداشت، سوزاندن مزارع و بریدن جنگل‌ها دارد (هی<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲). ویلیکیل و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۵) تغییرات ضریب ضریب آلبیدوی زمین را که به وسیله ماهواره اندازه‌گیری شده بود بررسی نمودند و به افزایش ۶ درصدی در طی ۴ سال دست یافتند. برای تعیین تغییرات، نیاز به داده‌های طولانی تری می‌باشد. در بسیاری از مدل‌های گردش عمومی (GCM)<sup>۱۰</sup> آلبیدوی مرئی (۰/۴-۰/۷ میکرومتر) و مادون

آلبیدو در لاتین به معنای سفیدی است، که در واقع کسری از تابش ورودی است که به وسیله سطح انعکاس داده می‌شود (کاوکلای<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳). آلبیدوی سطحی یک پارامتر مهم است که بر اقلیم زمین تأثیرگذار است (سس<sup>۶</sup>، ۱۹۷۸)؛

<sup>۱</sup>استاد هواشناسی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(\* نویسنده مسئول: swsabzi@basu.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۳</sup>استاد هیدرولوژی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

بوعلی سینا، همدان

<sup>۴</sup>استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۵</sup>Caoklay

<sup>۶</sup>Cess

<sup>۷</sup>Dickinson

<sup>۸</sup>He

<sup>۹</sup>Wielicki et al.

<sup>۱۰</sup>General Circulation Model

به جای این که ابتدا تصحیحات اتمسفری را انجام دهد و سپس تصاویر بازتابندگی و محصول آلبیدوی سطحی را مطابق آن چه مرسوم است تولید کند، شرایط اتمسفری و توپوگرافی را هم زمان تخمین زد. تسامی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۸) روش سریع و عملی را برای محاسبه آلبیدوی سطحی از تصاویر لندست و مودیس، برای شرایط مختلف اتمسفری ارائه نمودند. آن ها برای ارزیابی آلبیدوی به دست آمده با روش نوین آن را با محصول Mod09 و Mod43 مودیس مقایسه نمودند و به خطای  $\pm 0.35$  دست یافتند. در این تحقیق مقدار ضریب آلبیدوی سطحی با استفاده از تصاویر Level1-G ماهواره لندست-۷ و انجام تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی تخمین زده شده و سپس با داده های زمینی و داده های محصول CDR<sup>۱۱</sup> لندست-۷ مقایسه شده است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در همدان با موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۷۴۱ متر از سطح دریا می باشد. شهرستان همدان با وسعتی حدود ۴۱۱۸ کیلومتر مربع از خطالرأس رشته کوه الوند تا مرزهای شرقی استان کشیده شده است و مساحتی معادل ۲/۸ درصد کشور ایران را دارا می باشد. اقلیم همدان با توجه به طبقه بندی کوپن جزء مناطق سرد و نیمه خشک است.

### داده های مورد استفاده

در این پژوهش از دو دسته داده های زمینی و ماهواره ای استفاده شده است. داده های ماهواره ای در مجموع ۱۴ تصویر level1-G و محصول CDR لندست-۷<sup>۱۲</sup> است. داده های اندازه گیری شده زمینی آلبیدو از داده های ثبت شده توسط دستگاه واقعه نگار تابش خالص واقع در ایستگاه کليما تولوژی دانشکده کشاورزی بوعلی سینا همدان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴

قرمز نزدیک (۵-۷/۰ میکرومتر) به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته می شود. در مطالعه بیلان سطحی نیز نیاز به آلبیدوی طول موج کوتاه در محدوده (۵-۲۵/۰ میکرومتر) است (لیانگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). اندازه گیری آلبیدوی سطحی به دو صورت زمینی و ماهواره ای امکان پذیر است. امروزه سنسورهای زیادی (قابل نصب بر روی ماهواره) قادر به اندازه گیری مقدار آلبیدوی سطحی می باشند. ماهواره های با قدرت تفکیک مکانی بالا و پهناى باند کم، امکان تهیه نقشه آلبیدوی جهانی و واسنجی آلبیدوی به دست آمده از ماهواره های با قدرت تفکیک مکانی متوسط و سنسورهای با پهناى باند بیش تر با استفاده از نقاط کنترل زمینی را فراهم می آورد (لیانگ، ۲۰۰۰). بهاندري و بک<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) مدل آلبیدوی زمین را برای ماهواره های مدار زمین ارائه نمود. او چنین نتیجه گرفت که مقدار آلبیدو بسیار وابسته به زاویه خورشیدی و زاویه دید ماهواره است. طول جغرافیایی که ماهواره در آن قرار دارد در مدل های ارائه شده نقش معنی داری دارد. آلبیدوی سطحی به طور نرمال برای مدت زیادی پایش شده است و نتایج زیادی از مطالعه بر روی آن به دست آمده است (والثال و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۸۵؛ پینتی و راموند<sup>۴</sup>، ۱۹۸۷؛ کیمس و هولبن<sup>۵</sup>، ۱۹۹۲؛ رانسون و همکاران<sup>۶</sup>، ۱۹۹۱؛ لی و گارند<sup>۷</sup>، ۱۹۹۴). مقادیر ضریب آلبیدو برای سطوح مختلف با استفاده از اطلاعات سنسورهای مختلف توسط محققین زیادی تخمین زده شده است. به عنوان مثال گودین<sup>۸</sup> (۱۹۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در پوشش تندرا و دی آبرو و همکاران<sup>۹</sup> (۱۹۹۴) با به کارگیری تصاویر AVHRR در دریای قطب شمال مقدار این ضریب را محاسبه نمودند و ضمن مقایسه با داده های زمینی به همبستگی مناسبی دست پیدا کردند. در تخمین آلبیدوی سطحی از روش های مختلفی استفاده می شود. هی (۲۰۱۲) برای تخمین آلبیدوی سطحی از تصاویر مودیس،

<sup>1</sup>Liang et al.

<sup>2</sup>Bhandari and Bak

<sup>3</sup>Walthall et al.

<sup>4</sup>Pinty and Ramond

<sup>5</sup>Kimes and Holben

<sup>6</sup>Ranson et al.

<sup>7</sup>Li and Garand

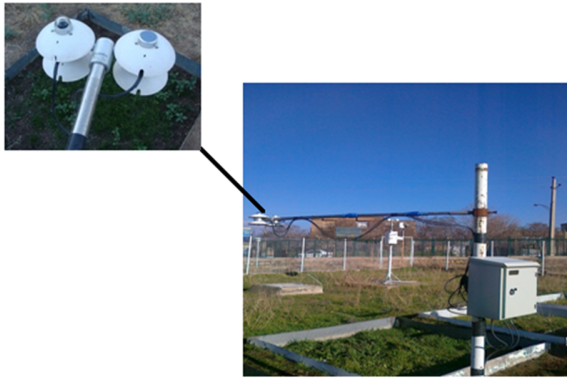
<sup>8</sup>Goodin

<sup>9</sup>De Abreu et al.

<sup>10</sup>Tasumi et al.

<sup>11</sup>Surface Reflectance Climate Data Record (CDR)

<sup>12</sup>Landsat7/Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)



شکل ۲- نمایی از دستگاه واقعه‌نگار تابش خالص واقع در ایستگاه اقلیم‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا

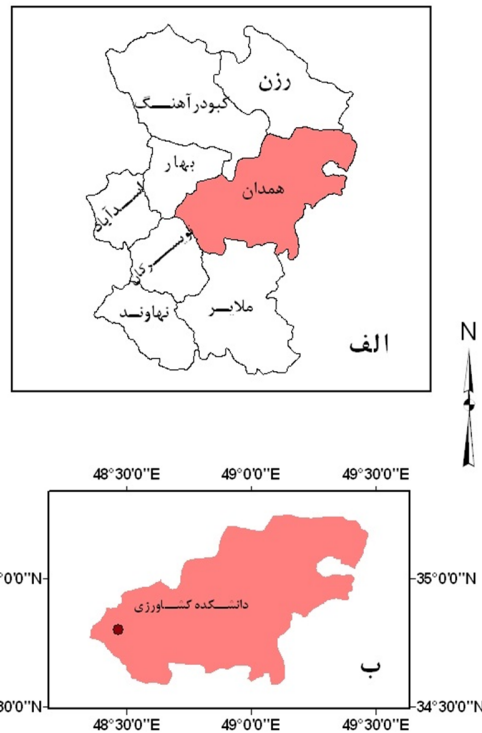
### روش‌ها

مراحل انجام این تحقیق در شکل ۳ نمایش داده شده است.

#### ۱- تصحیح خطای SLC OFF

دستگاه اسکن اصلاح خطوط در لندست-۷<sup>۱</sup> مکانیزی است که برای تصحیح اسکن اولیه توسط آینه در ماهواره لندست-۷ طراحی شده است. این دستگاه در ۳۱ می سال ۲۰۰۳ از کار افتاده است. به همین علت لندست-۷ حدود ۲۲ درصد اطلاعات خود را در هر تصویر از دست داده است (اسکارامازا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). روش‌های مختلفی برای اصلاح خطوط از دست رفته وجود دارد که دقیق‌ترین آن استفاده از یک تصویر پایه بدون داده از دست رفته است. در این تحقیق برای پر کردن داده‌های از دست رفته از روش جایگزینی مقادیر پیکسل‌های همسایه استفاده شده است که به این منظور از روش مثلث‌بندی<sup>۳</sup> استفاده شده است. مزیت مهم این روش این است که ارقام جدیدی تولید نمی‌کند، بلکه از درجات خاکستری موجود در تصویر کمک می‌گیرد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴).

درجه و ۳۲ دقیقه به دست آمده است. مقادیر آلبیدوی زمینی مربوط به ماه‌های ژانویه (دی)، ژوئن (خرداد)، ژوئیه (تیر) و اوت (مرداد) سال ۲۰۱۲ می‌باشد که از تقسیم تابش خروجی بر تابش ورودی در طول موج کوتاه (۲/۸-۰/۳ میکرومتر) محاسبه شده است و بر این اساس تصاویر ماهواره نیز انتخاب شده است. در استفاده از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای هم‌زمانی عبور ماهواره با داده‌های ثبت شده زمینی کاملاً رعایت شده است. برای بررسی وضعیت هوا در تاریخ‌های مورد نظر از داده‌های ساعتی ایستگاه همدیدی فرودگاه همدان با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۱ دقیقه استفاده شده است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های زمینی و در شکل ۲ نمایی از واقعه‌نگار تابش خالص دانشکده کشاورزی ارائه شده است.

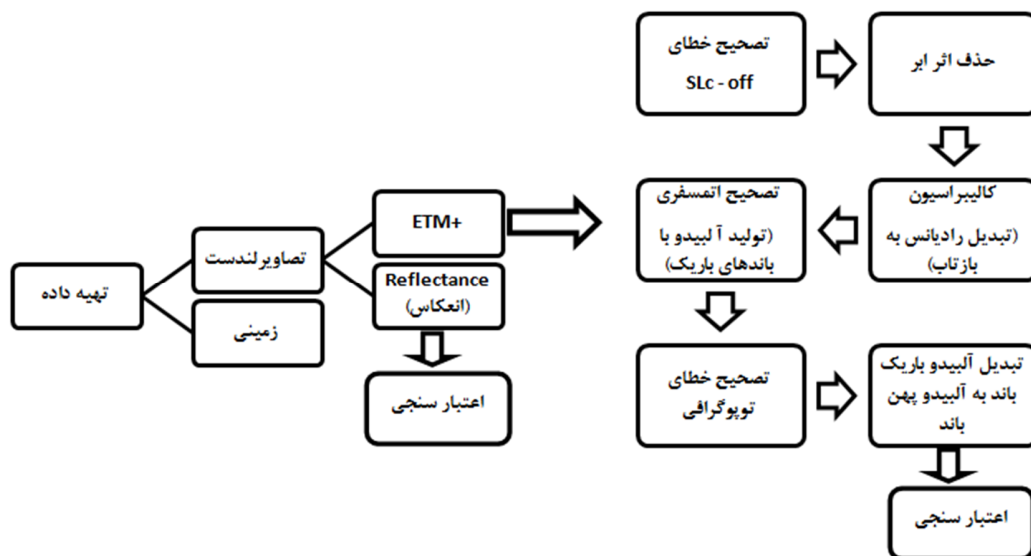


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: الف) در استان، ب) در شهرستان

<sup>1</sup> The Landsat 7 Scan-Line Corrector (SLC)

<sup>2</sup> Scaramuzza et al.

<sup>3</sup> Triangulation Method



شکل ۳- الگوریتم مراحل انجام روش تحقیق

## ۲- حذف ابر

برای حذف اثر ابر ابتدا باید ابر در تصویر تشخیص داده شود. برای تشخیص ابر در تصویر از درجات خاکستری<sup>۱</sup> باند ۶/۱ و ۱ استفاده و پوشانه ابر<sup>۲</sup> برای هر باند تعیین و سپس ابر از تصاویر حذف گردید. برای حذف ابر از دستورالعمل ارائه شده توسط مارت نایزی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) استفاده شده است. فرضیه روش استفاده شده برای حذف ابر بر این اساس است که در صورت تشخیص ابر در تصویر می‌توان داده‌های ابر را با داده‌های دیگر جایگزین کرد. این روش شامل دو مرحله است که در مرحله اول با ایجاد پوشانه ابر براساس مقادیر درجات خاکستری در باند آبی (۱) و باند حرارتی (۶/۱) ابر شناسایی می‌گردد. مرحله دوم برای تکمیل شناسایی ابر در تصویر با استفاده از مقادیر درجات خاکستری باند ۴، پوشانه ابر، سایه ابر و سایه توپوگرافی منطقه ایجاد می‌گردد.

## ۳- واسنجی

این مرحله شامل تبدیل درجات خاکستری به رادیانس است که در واقع کالیبراسیون داخلی سنجنده می‌باشد. درخشندگی میزان انرژی رسیده از هدف به سنجنده است.

با استفاده از معادله ۱ و اطلاعات موجود در متادیتا که به همراه داندلود تصاویر قابل دریافت است، تصاویر خام به تصاویر رادیانس تبدیل گردید (آیریش<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰).

$$L_{\lambda} = \text{gain} \times \text{QCAL} + \text{offset} \quad (1)$$

که در این معادله  $L_{\lambda}$  رادیانس ( $\text{w m}^{-2} \text{str}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) و QCAL درجه خاکستری در پیکسل مورد نظر و gain و offset ضرایب واسنجی سنجنده می‌باشد.

## ۴- تصحیح خطای اتمسفری

دو عامل مهم جذب<sup>۵</sup> و پخش<sup>۶</sup> در اتمسفر وجود دارد که بر روی امواج تأثیرگذار است. دو روش تصحیح اتمسفری مطلق و تصحیح اتمسفری نسبی برای تصحیح خطای اتمسفریک وجود دارد. در این تحقیق از روش مطلق برای تصحیح اتمسفری استفاده شده است. در تصحیح اتمسفری مطلق به منظور تعیین پارامترهای جذب و پخش مربوط به اتمسفر در محیط تصویر برداری منطقه معمولاً از الگوریتم‌هایی که بر پایه مدل انتقال تابشی هستند، استفاده می‌شود. در این مدل پارامترهای فیزیکی و جوی مربوط به اتمسفر منطقه تصویر برداری و همچنین مدل اتمسفری خاص هر منطقه استفاده می‌شود. در این تحقیق جهت انجام

<sup>4</sup>Irish

<sup>5</sup>Absorbtion

<sup>6</sup>Scattering

<sup>1</sup> Digital Number (DN)

<sup>2</sup>Cloud mask

<sup>3</sup>Martinuzzi et al.

توسط تیلت و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۸۲) ارائه شده است، برای تصحیح اثر توپوگرافی استفاده گردیده است. در این روش براساس شرایط روشنایی خورشید در لحظه تصویر برداری ماهواره، با استفاده از داده‌های DEM<sup>۸</sup>، آزیموت<sup>۹</sup> و ارتفاع خورشید<sup>۱۰</sup> تصحیحات انجام می‌گیرد. پس از انجام تصحیحات توپوگرافی مقادیر آلبیدو سطحی در هر باند قابل تخمین است.

#### ۶- تبدیل باندهای باریک آلبیدو به باند پهن

آلبیدوی به دست آمده در مرحله قبل به صورت مجزا در هر باند تخمین زده شده اما از آنجا که بخش عمده تابش ورودی خورشید در محدوده طول موج کوتاه (۲/۵-۴/۰ میکرومتر) است لازم است که آلبیدوی سطحی که کسری از تابش ورودی بازتاب یافته است نیز در پهنای باند مشابه تابش ورودی تخمین زده شود. با انتگرال‌گیری از آلبیدوهای باریک باند می‌توان به آلبیدوی پهن باند دست یافت. برای دست یافتن به یک مدل جهانی برای این تبدیل نیاز به نقاط نمونه برداری زمینی در سطوح مختلف و شرایط مختلف اتمسفری است. لیانگ<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۰) و لیانگ و همکاران (۲۰۰۲) با در نظر گرفتن شرایط مختلف اتمسفری و سطوح مختلف برای ۸ سنجنده، مدل‌های تبدیل آلبیدوی سطحی باریک باند به آلبیدوی پهن باند را ارائه نمودند. در این پژوهش از معادلات ارائه شده توسط آن‌ها برای ماهواره لندست استفاده شده است (معادلات ۲ تا ۸).

$$\alpha_{\text{short}} = 0.356\alpha_1 + 0.130\alpha_3 + 0.373\alpha_4 + 0.085\alpha_5 + 0.072\alpha_7 - 0.0018 \quad (2)$$

$$\alpha_{\text{visible}} = 0.443\alpha_1 + 0.317\alpha_2 + 0.240\alpha_3 \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{diffuse-visible}} = 0.556\alpha_1 + 0.281\alpha_2 + 0.163\alpha_3 - 0.0014 \quad (4)$$

$$\alpha_{\text{direct-visible}} = 0.390\alpha_1 + 0.337\alpha_2 + 0.247\alpha_3 \quad (5)$$

$$\alpha_{\text{NIR}} = 0.693\alpha_4 + 0.212\alpha_5 + 0.116\alpha_7 - 0.003 \quad (6)$$

<sup>7</sup>Tiellet

<sup>8</sup>Digital Elevation Model

<sup>9</sup>Sun Azimuth

<sup>10</sup> Sun Elevation

<sup>11</sup>Liang

تصحیحات اتمسفری از مدل MODTRAN4<sup>۱</sup> که شامل کدهای مدل انتقال تابشی است استفاده شده است. پس از انجام این مرحله تصاویر بازتابندگی به دست می‌آید. ورودی‌های مدل MODTRAN مطابق جدول ۱ می‌باشد. در صورت عدم اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز با توجه به موقعیت منطقه و برخی ویژگی‌های هواشناسی آن از پیش فرض‌های مدل استفاده می‌گردد (مادیول<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

#### جدول ۱- متغیرهای ورودی مدل MODTRAN جهت انجام

تصحیحات اتمسفری	
متغیرهای ورودی	
هواشناسی	غلظت CO <sub>2</sub> فشار بخار آب ازن میدان دید
جغرافیایی	نوع هواویز ارتفاع از سطح دریا ارتفاع سنسور زاویه اوج دید <sup>۳</sup> زاویه اوج خورشیدی <sup>۴</sup> زاویه آزیموت نسبی <sup>۵</sup>
طیفی	آلبیدو محدوده طول موج

#### ۵- تصحیح خطای توپوگرافی

در سنجنده‌ها رفتار سطوح اندازه‌گیری شده، لامبرتی در نظر گرفته می‌شود در حالی که در زمین‌های ناهموار چنین نیست و زاویه تابش خورشیدی متأثر از تغییرات توپوگرافی است. آلبیدو وابسته به تابع توزیع بازتاب دوطرفه<sup>۶</sup> است. اگر در تخمین ضریب آلبیدوی سطحی شرایط توپوگرافی در نظر گرفته نشود، فرض بر این است که سطح همسانگرد است که عملاً چنین نیست و آلبیدوی به دست آمده دارای خطا می‌باشد. برای انجام تصحیح توپوگرافی روش‌های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از روش لامبرتی که

<sup>1</sup>Moderate resolution atmospheric transmission

<sup>2</sup>Module

<sup>3</sup>View zenith angle

<sup>4</sup>Solar zenith angle

<sup>5</sup>Relative azimuth angle

<sup>6</sup>Bidirectional reflectance distribution function (BRDF)

## نتایج و بحث

### محاسبه آلبیدوی سطحی از داده‌های زمینی

در جدول ۲ پارامترهای ثبت شده توسط واقعه‌نگار ارائه شده است. از تقسیم شدت تابش خروجی به شدت تابش ورودی در طول موج‌های کوتاه مقدار آلبیدوی سطحی محاسبه گردید. پایش شدت لحظه‌ای تابش ورودی و خروجی توسط سامانه تابش خالص نصب شده در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی انجام شد. حسگرهای تابش این سامانه ساخت کارخانه Hukseflux هلند و مورد تایید مجامع علمی می‌باشد. با توجه به داده‌های به‌دست آمده میزان آلبیدو در روز ۲۳ ژانویه زیاد و حدود ۶۵ درصد است. پس از بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان مشخص گردید که از روز ۲۱ ژانویه بارش برف آغاز شده است، بنابراین این ضریب مربوط به پوشش برف می‌باشد. کم‌ترین میزان آلبیدوی سطحی مربوط به اول ژانویه است زیرا در این زمان میزان پوشش چمن سطح اندازه‌گیری شده اندک بوده و زمین تقریباً لخت بوده است. در بقیه ماه‌ها دامنه تغییرات آلبیدوی سطحی بین ۰/۲۱ تا ۰/۲۶ است که مطابق با دامنه استاندارد پوشش علفی است.

### تخمین آلبیدوی سطحی از تصاویر لندست 7 (level-G)

برای استخراج ضرایب آلبیدوی سطحی از تصاویر، ابتدا پردازش‌های لازم که در قسمت روش کار ارائه شده به ترتیب گفته شده صورت گرفت و پس از انجام تصحیحات SLC-off، ابر و اتمسفریک تصاویر بازتابندگی به‌دست آمد که در این مرحله مقادیر آلبیدوی سطحی در تک تک باندها در نقطه برداشت زمینی استخراج گردید و براساس فرمول‌های موجود آلبیدوی باند باریک به باند پهن تبدیل گردید. نتایج به‌دست آمده در جدول ۳ ارائه شده است.

### استخراج آلبیدوی سطحی از تصاویر CDR

مقدار آلبیدوی سطحی در هر باند تصاویر CDR استخراج و به آلبیدوی باند پهن تبدیل گردید و داده‌های آن در نقطه مورد نظر استخراج گردید (جدول ۴).

$$\alpha_{\text{diffuse-NIR}} = 0.864\alpha_4 + 0.158\alpha_7 + 0.0043 \quad (7)$$

$$\alpha_{\text{direct-NIR}} = 0.659\alpha_4 + 0.342\alpha_5 + 0.0033 \quad (8)$$

که در آن‌ها  $\alpha_1, \alpha_2$  و ... آلبیدو در باندهای ۱، ۲ و ... لندست-۷ می‌باشد.

### استخراج مقدار آلبیدوی سطحی از تصاویر CDR لندست

بالاترین سطح محصولات لندست تصویر CDR است. این تصاویر دارای ۷ باند است که مقدار بازتاب در هر باند قابل استخراج است. در این پژوهش مقادیر آلبیدوی سطحی در هر باند در نقطه برداشت زمینی استخراج و با فرمول‌های تبدیل آلبیدوی باند باریک به باند پهن مقادیر نهایی آلبیدو به‌دست آمد و با داده‌های زمینی مقایسه گردید.

### اعتبار سنجی

برای بررسی صحت نتایج به‌دست آمده مقدار آلبیدوی سطحی، در محل اندازه‌گیری زمینی از تصاویر آلبیدوی سطحی و تصاویر CDR در طول موج‌های مختلف، استخراج و مورد مقایسه قرار گرفت. برای ارزیابی دقت برآوردها از جذر میانگین مربعات خطا یا  $RMSE^1$  به صورت معادله ۹ استفاده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (9)$$

$O_i$  مقادیر مشاهده شده و  $P_i$  مقادیر پیش‌بینی شده هستند و  $n$  تعداد داده‌های مورد مطالعه می‌باشد. برای تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌های تخمین زده شده از تصاویر Level-G و تصاویر باتاب لندست-۷، از آزمون فیشر استفاده گردید. این آزمون تعمیم یافته آزمون  $t$  است و برای ارزیابی یکسان بودن یا یکسان نبودن دو جامعه و یا چند جامعه به‌کاربرده می‌شود. در آزمون فیشر واریانس کل جامعه به عوامل اولیه آن تجزیه می‌شود. به‌همین دلیل به آن آزمون آنالیز واریانس<sup>۲</sup> نیز می‌گویند.

<sup>1</sup>Root Mean Square Error

<sup>2</sup>ANOVA

جدول ۲- داده های مشاهداتی ثبت شده در دانشکده کشاورزی

SW <sub>Net</sub> (Wm <sup>-2</sup> )	LW <sub>net</sub> (Wm <sup>-2</sup> )	SW <sub>in</sub> (Wm <sup>-2</sup> )	SW <sub>out</sub> (Wm <sup>-2</sup> )	$\alpha$	Temp (°C)	ساعت گذر ماهواره	تاریخ
تابش خالص طول موج کوتاه	تابش خالص طول موج بلند	تابش ورودی طول موج کوتاه	تابش خروجی طول موج کوتاه	آلبیدوی سطحی طول موج کوتاه	دمای هوا		
۷۲	-۷	۸۲	۹	۰/۱۱	۳/۴۸	۱۱:۴۳:۲۵ am	۷-ژانویه-۲۰۱۲
۱۸۶	-۱۰۷	۵۳۰	۳۴۳	۰/۶۵	۳/۷۰	۱۰:۴۱:۲۹ am	۲۳-ژانویه-۲۰۱۲
۶۲۶	-۲۰۲	۸۲۵	۱۹۸	۰/۲۴	۲۹/۰۴	۱۰:۴۴:۰۸ am	۱۵-ژوئن-۲۰۱۲
۵۶۹	-۱۷۶	۷۷۳	۲۰۳	۰/۲۶	۲۹/۹۷	۱۰:۴۶:۰۷ am	۱-ژوئیه-۲۰۱۲
۶۱۹	-۱۸۳	۸۰۶	۱۸۷	۰/۲۳	۲۷/۷۲	۱۰:۴۹:۴۹ am	۱۷-ژوئیه-۲۰۱۲
۶۱۰	-۲۰۱	۷۹۱	۱۸۱	۰/۲۳	۳۱/۱۹	۱۰:۴۸:۰۰ am	۲-اوت-۲۰۱۲
۶۷۰	-۲۵۴	۸۴۴	۱۷۳	۰/۲۰	۳۰/۸۹	۱۰:۴۸:۳۰ am	۱۸-اوت-۲۰۱۲

جدول ۳- مقادیر آلبیدوی سطحی در طول موج های مختلف، تخمین زده شده با تصاویر لندست Level1-G

short	visible	diffuse-visible	direct-visible	NIR	diffuse-NIR	direct-NIR	تاریخ
۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۷	۷-ژانویه-۲۰۱۲
۰/۵۶	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۴۹	۲۳-ژانویه-۲۰۱۲
۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۱	۱۵-ژوئن-۲۰۱۲
۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۲۲	۱-ژوئیه-۲۰۱۲
۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۱	۱۷-ژوئیه-۲۰۱۲
۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۱	۲-اوت-۲۰۱۲
۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۲۱	۱۸-اوت-۲۰۱۲

جدول ۴- مقادیر آلبیدوی سطحی در طول موج های مختلف- تخمین زده شده با تصاویر CDR

short	visible	diffuse-visible	direct-visible	NIR	diffuse-NIR	direct-NIR	تاریخ
۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲	۷-ژانویه-۲۰۱۲
۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۵۹	۰/۴۸	۲۳-ژانویه-۲۰۱۲
۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۶	۱۵-ژوئن-۲۰۱۲
۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۷	۱-ژوئیه-۲۰۱۲
۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۷	۱۷-ژوئیه-۲۰۱۲
۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۶	۲-اوت-۲۰۱۲
۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۷	۱۸-اوت-۲۰۱۲

### اعتبارسنجی

آلبیدوی زمینی توسط دیتالاگر (واقعه‌نگار) در طول موج کوتاه (۲/۸-۰/۳ میکرومتر) ثبت شده است. اما در مورد دوم در کلیه باندها مقایسه امکان‌پذیر است. نتایج مقایسه در جدول ۵ نشان داده شده است. به استثنای روز اول ماه ژانویه در بقیه روزها مقدار آلبیدوی تخمین زده شده کم‌تر از مقدار واقعی می‌باشد. در ماه ژانویه خطای تخمین آلبیدوی سطحی بیش‌تر از ماه‌های دیگر است که دلیل عمده آن وجود روزهای ابری است.

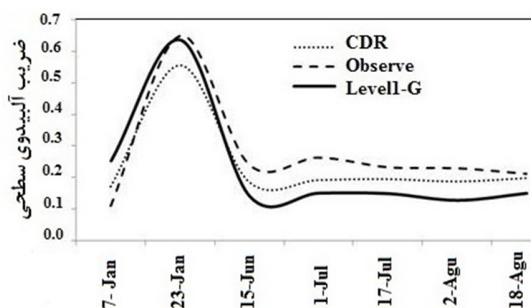
مقایسه داده‌های زمینی با مقادیر آلبیدوی سطحی به‌دست آمده به دو صورت انجام گرفت.

۱- مقایسه داده‌های زمینی با آلبیدوی سطحی به‌دست آمده از تصاویر لندست-۷ Level1-G و CDR، ۲- مقایسه آلبیدوی سطحی به‌دست آمده از تصاویر Level1-G لندست-۷ با تصاویر CDR. در مورد اول آلبیدوی سطحی طول موج کوتاه (ashort) با داده‌های زمینی مقایسه گردید. زیرا

جدول ۵- مقادیر آلبیدوی سطحی در طول موج کوتاه- تخمین زده شده با تصاویر CDR طیفی

تاریخ	مشاهده‌ای	تخمین زده شده از تصاویر CDR	تخمین زده شده از تصاویر level1-G
۷- ژانویه-۲۰۱۲	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۱۴
۲۳-ژانویه-۲۰۱۲	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۶۶
۱۵- ژوئن-۲۰۱۲	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۴
۱- ژوئیه-۲۰۱۲	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۵
۱۷- ژوئیه-۲۰۱۲	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۱۵
۲- اوت-۲۰۱۲	۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۳
۱۸- اوت-۲۰۱۲	۰/۲۱	۰/۲۰	۰/۱۵
مقادیر RMSE در مقایسه با مقادیر مشاهده ای			
		۰/۰۶	۰/۰۸

آلبیدوی سطحی تخمین زده شده از تصاویر level1-G و CDR به جز در طول موج مرئی، وجود ندارد.



شکل ۴- نمودار مقادیر آلبیدوی سطحی تخمین زده شده و مشاهده‌ای

شکل ۴ نمودار مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای آلبیدو در روزهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شکل مذکور تطابق مقادیر آلبیدو در هر سه حالت را تأیید می‌کند. در جدول ۶ نتایج مقایسه آلبیدوی سطحی تخمین زده شده براساس تصاویر Level1-G و تصاویر CDR و نتایج آزمون فیشر ارائه شده است. مقایسه آلبیدوی سطحی تخمین زده شده از تصاویر Level1-G با تصاویر CDR براساس آزمون فیشر، نشان از عدم وجود تفاوت معنی‌دار بود. مقادیر میانگین مربعات خطا بین ۰/۰۹-۰/۰۲ می‌باشد. بیش‌ترین مقدار مربوط به آلبیدوی سطحی در محدوده مادون قرمز نزدیک است. با توجه به نتایج تست فیشر اختلاف معنی‌داری بین

جدول ۶- مقادیر RMSE و نتایج آزمون فیشر مقایسه آلبیدوی سطحی برآورد شده از تصاویر Level1-G با تصاویر CDR

پارامتر	direct-Nir	diffude-Nir	NIR	direct-visible	diffuse-visible	visible	short
RMSE	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۰۴
F	۰/۲۸	۱/۵۵	۱/۶۶	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۱۱	۱/۲۹
F critical	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸	۴/۲۸
معنی‌داری اختلافات	x	x	x	✓	x	✓	x

x تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. ✓ تفاوت معنی‌دار وجود دارد.

### نتیجه‌گیری

مشاهده‌ای با توجه به خطاهای به‌دست آمده، نشان می‌دهد که برای انجام کارهایی مثل تشخیص کاربری زمین بر اساس ضریب آلبیدوی سطحی، تأثیر تغییر کاربری بر ضریب آلبیدوی سطحی و تحقیقاتی که نیاز به دقت مشابه آن‌چه نام برده شد دارد، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تخمین این ضریب مفید و کارآمد خواهد بود. در حال حاضر تعداد ایستگاه‌های زمینی که قادر به اندازه‌گیری آلبیدوی سطحی به‌صورت نقطه‌ای هستند بسیار اندک بوده و پاسخگوی نیاز مراکز تحقیقاتی و فعالیت‌های محققان نمی‌باشد. بنابراین برای

در این پژوهش مقدار ضریب آلبیدوی سطحی با استفاده از تصاویر لندست تخمین زده شد و سپس با داده‌های زمینی مقایسه گردید. به‌این منظور از دو دسته داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای level1-G و محصول CDR لندست-۷ استفاده گردید. پس از انجام تصحیحات لازم مقادیر آلبیدو باریک پهن در طول موج‌های مختلف و پهن باند محاسبه گردید. مقایسه آلبیدوی سطحی تخمین زده شده با آلبیدوی

- photogrammetric and remote sensing, (29): 317-317.
- He, T. 2012. Estimating land surface albedo from satellite data. Doctor of Philosophy dissertation, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park.
- Kimes, D. S., Holben, B.N. 1992. Extracting spectral albedo from NOAA-0 AVHRR multiple view data using an atmospheric correction procedure and an expert system. *Int. J. Remote Sens.*, (13): 275-289.
- Irish, R. R. 2000. Landsat 7 science data users handbook. National Aeronautics and Space Administration, Report: 430-15.
- Li, Z., Garand, L. 1994. Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application. *J. Geophysical Res. Atmos.*, (1984-2012), 99(D4):8335-8350.
- Liang, S., Strahler, A., Walthall, C. 1998. July. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study. In *Geo science and Remote Sensing Symposium Proceedings, IEEE International*, 3: 1286-1288.
- Liang, S. 2000. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms. *Remote Sens. Environ.*, 76(2): 213-238.
- Liang, S., Shuey, C. J., Russ, A. L., Fang, H., Chen, M., Walthall, C. L., Hunt Jr, R. 2002. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sens. Environ.*, 84(1): 25-41.
- Module, F. L. A. A. S. H. 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide, Version 4.7. ITT Visual Information Solutions, Boulder, CO.
- Martinuzzi, S., Gould, W. A., González, O. M. R. 2007. Creating cloud-free Landsat ETM+ data sets in tropical landscapes: cloud and cloud-shadow removal.
- Pinty, B., Ramond, D. 1987. A method for the estimate of broadband directional surface albedo from a geostationary satellite. *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 26(12): 1709-1722.
- Ranson, K. J., Irons, J. R., Daughtry, C. S. T. 1991. Surface albedo from bidirectional reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 35(2): 201-211.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E., Chander, G. 2004. SLC gap-filled products phase one methodology. *Landsat Technical Notes*.
- Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. 2008. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *J. Hydrologic Eng.*, 13(2):51-63.
- Teillet, P. M., Guindon, B., Goodenough, D. G. 1982. On the slope-aspect correction of multispectral
- تحقیقاتی که در سطح وسیع انجام می‌پذیرد، می‌توان با اطمینان زیاد از تصاویر لندست جهت تخمین ضریب آلبیدوی سطحی استفاده نمود. عمده‌ترین علت خطای تخمین ماهواره‌ای، کمبود اطلاعات برای انجام تصحیحاتی مثل حذف اثر خطای اسکنر دستگاه و یا تصحیحات اتمسفری است. برای حذف اثر خطای اسکنر، تصویر هم‌زمان مناسبی برای جایگزین کردن پیکسل‌های مفقود پیدا نشد. لذا از روش‌های میان‌یابی استفاده شد که خود باعث کاهش دقت می‌گردد. همچنین برای انجام تصحیحات اتمسفری به دلیل فقدان پروفیل قائم جو از مدل‌های جهانی استفاده شده که منجر به خطای مازاد می‌گردد. کمبود داده‌های مشاهده‌ای نیز از دیگر مشکلات موجود است که امکان مقایسه دقیق‌تر را از بین می‌برد. در مقایسه ضرایب آلبیدوی سطحی تخمینی با مشاهده‌ای چون داده‌های مشاهده‌ای فقط در طول موج کوتاه در دسترس بود بنابراین در طول موج‌های دیگر امکان مقایسه آلبیدو وجود نداشت. مقایسه بین آلبیدوی سطحی تخمینی از تصاویر لندست Level1-G و CDR، نشان داد که به‌جز در طول موج مرئی، اختلاف معنی‌داری بین این دو روش ماهواره‌ای وجود ندارد. در نتیجه، در صورت عدم دسترسی به یکی از این تصاویر از دیگری می‌توان استفاده کرد.

## منابع

- فاطمی، س. ب.، رضایی، ی. ۱۳۸۴، مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، چاپ سوم، ۲۸۸ صفحه.
- Bhanderi, D. D., Bak, T. 2005. Modeling Earth albedo for satellites in Earth orbit. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Proceedings*.
- Cess, R. D. 1978. Biosphere-albedo feedback and climate modeling. *J. Atmos. Sci.*, 35(9): 1765-1768.
- Coakley, J. A. 2003. Reflectance and albedo, surface. *Encyclopedia of Atmos. Sci.*, 1914-1923.
- De Abreu, R. A., Key, J., Maslanik, J. A., Serreze, M. C., LeDrew, E. F. 1994. Comparison of in situ and AVHRR-derived broadband albedo over Arctic sea ice. *Arctic*, 288-297.
- Dickinson, R. E. 1983. Land surface processes and climate-surface albedos and energy balance. *Adv. Geophys.*, 25, 305-353.
- Goodin, D. G. 1993. Estimating surface albedo in Alpine Tundra using the Landsat Thematic Mapper and digital terrain Data. *International archives of*

- vegetative canopies and bare soil surfaces. *Appl. Optics*, 24(3):383-387.
- Wielicki, B. A., Wong, T., Loeb, N., Minnis, P., Priestley, K., Kandel, R. 2005. Changes in Earth's albedo measured by satellite. *Sci.*, 308(5723): 825-825.
- scanner data. *CanadianJ. Remote Sens.*,8(2): 84-106.
- Walthall, C. L., Norman, J. M., Welles, J. M., Campbell, G., Blad, B. L. 1985. Simple equation to approximate the bidirectional reflectance from



## مطالعه خصوصیات کمی و کیفی گیاه عدس (رقم بیله سوار) تحت تأثیر غلظت‌های مختلف دی‌اکسیدکربن و رژیم‌های مختلف آبیاری

شیده شمس<sup>۱</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۲\*</sup>، امین علیزاده<sup>۲</sup>، محمود شور<sup>۲</sup>، علی‌اکبر کامگارحقیقی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۲

### چکیده

به‌منظور بررسی اثر غلظت دی‌اکسیدکربن و مقادیر مختلف آب آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه عدس، آزمایشی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صورت پذیرفت. در این تحقیق آثار افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm بر رقم بیله‌سوار تحت چهار تیمار آبیاری (FC، ۱۲۵FC، ۷۵FC، ۵۰FC) تحت یک آزمایش بلوک کاملاً تصادفی بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش ۲۱ و ۵۰ درصدی عملکرد گیاه شده است که این افزایش در اثر افزایش ۱۳ و ۴۳٪ جرم خشک ۱۰۰ دانه و ۷ و ۴٪ تعداد غلاف‌ها می‌باشد. همچنین دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن به ترتیب افزایش ۱۵، ۲۸ و ۲۲٪ ارتفاع، جرم خشک ساقه و جرم خشک ریشه را به همراه دارد؛ در حالی که ۳ برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن این پارامترها را به ترتیب ۲۴، ۵۹ و ۳۹٪ افزایش می‌دهد. از سوی دیگر دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن به ترتیب موجب کاهش ۱۲ و ۳۰ درصدی و معنی‌دار تبخیر-تعرق و کاهش ۶ و ۱۵٪ میزان پروتئین موجود در دانه می‌گردد. لازم به ذکر است که کاهش میزان آب آبیاری کاهش تولید و نیز کاهش میزان پروتئین را به همراه دارد.

**واژه‌های کلیدی:** دی‌اکسیدکربن، تبخیر-تعرق، وزن خشک، عملکرد، پروتئین

### مقدمه

در اتمسفر، انتظار می‌رود که اقلیم کره زمین دستخوش تغییراتی گردد که افزایش دمای سطحی و تغییر در الگوهای بارش منطقه‌ای بخشی از آن خواهد بود. دی‌اکسیدکربن می‌تواند به طرق مختلفی بر شرایط موجود در کره زمین اثرگذار باشد. در مبحث گرمایش جهانی CO<sub>2</sub> به عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای شناخته شده و کاهش میزان آن در اتمسفر ضروری به حساب می‌آید. از سوی دیگر، دی‌اکسیدکربن نقش بسیار مهمی را در بخش کشاورزی ایفا می‌نماید که نایب‌ترین آن را نادیده گرفت. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش نرخ فتوسنتز شده، ماده آلی بیش‌تر و تولیدات گیاهی بیش‌تر را به همراه دارد. با این حال، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در برخی مناطق می‌تواند اثراتی منفی را بر رشد گیاه به جای بگذارد. به طور کلی می‌توان گفت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و تغییر اقلیم می‌تواند اثرات گسترده‌ای بر تولیدات کشاورزی داشته

پیش از دوران صنعتی شدن متوسط غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری ۲۷۰ ppm بود که این مقدار تا سال ۱۹۹۴ به ۳۶۰ ppm رسید (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵). پیش‌بینی‌ها نشان داده‌اند که تا سال ۲۱۰۰ غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری به ۴۸۵ تا ۸۵۰ ppm خواهد رسید که این مقدار به نرخ انتشار دی‌اکسیدکربن در آینده وابسته می‌باشد (کارت<sup>۶</sup>، ۱۹۹۶). با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (موسوی@mousavib@um.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۴</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

<sup>۵</sup> IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>۶</sup> Carter

(مدلین و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۱؛ کیمبال و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۲). کنگ و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۲) نشان دادند که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن تحت شرایط آبیاری کامل میزان تعرق گندم، ذرت و پنبه را به ترتیب ۱۷/۴، ۲۲/۱ و ۵/۶٪ کاهش می‌دهد (کیمبال و ایدزو<sup>۱۲</sup>، ۱۹۸۳). به‌طور کلی می‌توان گفت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شود (روجرز و همکاران، ۲۰۰۴؛ مورگان و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۵؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین تحت شرایط تنش آبی، اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر کاهنده کمبود آب را خنثی می‌نماید (لالر و کورنیک<sup>۱۴</sup>، ۲۰۰۲، لی و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی‌ها نشان داده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کارایی مصرف آب در گیاهانی که تحت تنش آبی واقع شده‌اند را افزایش می‌دهد (لیکی، ۲۰۰۹)، بنابراین می‌تواند اثرات تخریبی کمبود آب را جبران نماید (اینسورت و لانگ<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۵؛ پری و همکاران<sup>۱۶</sup>، ۲۰۱۳). با این حال گزارش شده است هنگامی که تنش آبی شدید باشد، افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن نمی‌تواند اثرات منفی کاهش آب را جبران نماید (شمس و همکاران، ۱۳۹۰؛ پری و همکاران، ۲۰۱۳). عدس (*Lens culinaris Medic*) از جمله حبوبات مهم در مناطق نیمه خشک جهان می‌باشد (مولبار و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۱۹۹۵). با توجه به آن که در میان حبوبات بعد از سویا عدس بیش‌ترین مقدار پروتئین و کم‌ترین میزان روغن را دارد، لذا مصرف انسان به سرعت افزایش خواهد یافت (یاداو و همکاران<sup>۱۸</sup>، ۲۰۰۷). لذا با توجه به کمبود تحقیقات صورت گرفته بررسی بر هم‌کنش افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و نیز سطوح مختلف آبیاری بر چگونگی رشد و عملکرد این گیاه ارزشمند خواهد بود.

باشد (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۱۹۹۵). بررسی‌ها نشان داده است دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن در بسیاری از گیاهان موجب افزایش ۱۰-۵۰٪ عملکرد محصول می‌شود (کیور و آکوک<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶). عکس‌العمل گیاهان متفاوت نسبت به افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن متفاوت می‌باشد (لیکی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹). افزایش دی‌اکسیدکربن بر گیاهان لگومینوز در مقایسه با غلات تأثیر بیش‌تری می‌گذارد که این امر را وابسته به عمل تثبیت نیتروژن در ریشه گیاه دانسته‌اند (روجرز و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶؛ موران و جاترو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نشان داده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر معنی‌داری را بر اندازه دانه لوبیا قرمز ندارد با این حال فتوسنتز و عملکرد دانه را به ترتیب ۵۰ و ۲۴ درصد افزایش می‌دهد (پراساد و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲). بررسی دیگری بر لوبیا نشان داده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش تعداد نیام‌ها و در نتیجه عملکرد دانه می‌شود (بونس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۸). تحقیقات پیشین نشان داده است هنگامی که سویا تحت غلظت ۷۴۰ ppm دی‌اکسیدکربن رشد نماید ارتفاع گیاه، سطح برگ، وزن خشک ساقه و عملکرد گیاه در مقایسه با غلظت نرمال دی‌اکسیدکربن به ترتیب ۲۵/۴، ۱۵/۸، ۳۳/۴ و ۲۵/۳ درصد افزایش خواهد داشت (لی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۳). افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۵۰ به ۷۵۰ ppm عملکرد دانه لوبیا قرمز را ۲۰٪ افزایش می‌دهد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین نشان داده شده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۷۰۰ ppm، سطح برگ، وزن ماده خشک تولید شده و عملکرد دانه عدس را به ترتیب ۲۰، ۳۰-۲۰ و ۶۰٪ افزایش می‌دهد (ناصر و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۸). در بسیاری از گونه‌های گیاهی افزایش گاز دی‌اکسیدکربن اتمسفری موجب کاهش ۳۳-۵۰ درصدی هدایت روزنه‌ای و در نتیجه ۲۰-۲۷٪ کاهش در تعرق برگ گیاه می‌شود

<sup>9</sup> Medlyn et al.

<sup>10</sup> Kimball et al.

<sup>11</sup> Kang et al.

<sup>12</sup> Idso

<sup>13</sup> Morgan et al.

<sup>14</sup> Lawlor and Cornic

<sup>15</sup> Ainsworth and Long

<sup>16</sup> Perry et al.

<sup>17</sup> Muehlbaue et al.

<sup>18</sup> Yadav et al.

<sup>1</sup> Cure and Acock

<sup>2</sup> Leakey

<sup>3</sup> Rogers et al.

<sup>4</sup> Moran and Jastrow

<sup>5</sup> Prasad et al.

<sup>6</sup> Bunce

<sup>7</sup> Li et al.

<sup>8</sup> Nasser et al.

## مواد و روش‌ها

روز روشن می‌شود. در نهایت با استفاده از حجم محفظه‌های طراحی شده میزان غلظت دی‌اکسیدکربن وارد شده به هر محفظه با دقت اندازه‌گیری و کنترل شد. به‌منظور تعیین طول ساقه در طی فصل رشد بلندترین ساقه از بوته اندازه‌گیری شده و تغییرات ارتفاع ساقه در طی زمان و در نتیجه طول نهایی ساقه به دست آمد. پس از پایان فصل رشد وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه، وزن صد دانه و عملکرد محاسبه گردید. همچنین میزان پروتئین موجود در دانه‌ها به روش کلدال تعیین گردید. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس مقدار و اجزای عملکرد با استفاده از نرم‌افزار SPSS و در سطح معنی‌داری ۵٪ صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### تبخیر- تعرق

جدول (۱) مقادیر مختلف تبخیر- تعرق گیاه عدس در تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود کاهش آب آبیاری از تیمار  $I_0$  به تیمار  $I_2$  می‌تواند موجب کاهش ۱۷ تا ۲۴ درصدی تبخیر- تعرق گردد، که بیش‌تر این کاهش متعلق به تیمارهایی است که تحت غلظت  $1200 \text{ ppm}$  دی‌اکسیدکربن قرار گرفته‌اند. از سوی دیگر کاهش آب آبیاری تا  $50 \text{ FC}$  موجب کاهش ۳۴ تا ۵۰ درصدی میزان تبخیر- تعرق می‌شود، با این حال بیش‌ترین میزان کاهش تبخیر- تعرق در این حالت مربوط به تیمارهای تحت غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری می‌باشد. علاوه بر آن مشاهده می‌شود افزایش میزان آبیاری تا  $125 \text{ FC}$  نیز موجب افزایش معنی‌دار تبخیر- تعرق گیاه می‌شود، که این افزایش بین ۱۵ تا ۲۲ درصد در نوسان می‌باشد. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری کاهش معنی‌داری را در میزان تبخیر- تعرق گیاه به همراه دارد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود در تیمارهای آبیاری  $I_0$ ،  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از  $400$  به  $800 \text{ ppm}$  به ترتیب موجب کاهش ۱۵، ۱۷، ۱۳ و ۳ درصدی میزان تبخیر- تعرق گیاه می‌شود. همچنین در صورت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا  $1200 \text{ ppm}$  این میزان کاهش به ترتیب برابر با ۳۴، ۴۲، ۲۶ و ۱۹ درصد خواهد شد.

این بررسی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۳ صورت پذیرفت. در این تحقیق به بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری تحت تیمارهای مختلف آبیاری و برهم‌کنش آن‌ها پرداخته شد. این تحقیق بر اساس آزمایش فاکتوریل در طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. چهار سطح آبیاری (نیاز آبی گیاه  $(I_0)$ ،  $125 \%$ ،  $(I_1)$ ،  $75 \%$ ،  $(I_2)$  و  $50 \%$  نیاز آبی گیاه  $(I_3)$ ) فاکتور اول و سه سطح غلظت گاز دی‌اکسیدکربن ( $400$ ،  $(C_0)$ ،  $800$ ،  $(C_1)$  و  $1200 \text{ ppm}$ ،  $(C_2)$ ) فاکتور دوم را تشکیل دادند. تیمارهای مورد بررسی از زمان جوانه‌زدن گیاه شروع شده و تا پایان فصل کشت ادامه یافت. در این بررسی آبیاری به روش وزنی و بر اساس کسری از میزان رطوبت در حالت ظرفیت زراعی انجام گرفت. با توجه به وزن خاک موجود در هر گلدان و گنجایش زراعی خاک مورد بررسی ( $FC=0.37 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )، میزان آب مورد نیاز برای رساندن هر گلدان به حد رطوبت در تیمار مورد نظر محاسبه شد. لذا در هر نوبت آبیاری (دوره آبیاری سه روز) هر گلدان وزن شده و به میزان تفاوت وزن گلدان با وزن مورد نظر (وزن محاسبه شده برای گلدان در حالت  $FC$  و یا درصدی از آن)، آب به گلدان اضافه شد. میزان کمبود آب هر گلدان نشان‌دهنده میزان تبخیر- تعرق آن طی دوره آبیاری بوده و مجموع مقدار آب اضافه شده به هر تیمار نشان دهنده تبخیر- تعرق کل می‌باشد. لازم به ذکر است در این آزمایش گلدان‌های تخریبی در نظر گرفته شد، تا با استفاده از آن گلدان‌ها بتوان وزن بوته‌های عدس را محاسبه نموده و در احتساب آب داده شده به هر یک از تیمارها لحاظ گردد. برای تنظیم دی‌اکسیدکربن با غلظت‌های مورد نظر از یک سیستم کاملاً خودکار استفاده شد. در این سیستم اتاقک‌هایی با ابعاد  $1/5 \times 3$  متر و ارتفاع ۲ متر با پوشش پلاستیکی طراحی شدند. به منظور تزریق دی‌اکسیدکربن به این محفظه‌ها از کیپسول‌های ۵۰ کیلوپی دی‌اکسیدکربن استفاده شد. همچنین به‌منظور کنترل غلظت گاز ورودی به هر محفظه شیرهای برقی و تایمرهای مورد نظر در مسیر قرار داده شد. این سیستم با استفاده از یک سلول نوری در شب خاموش و با افزایش شدت نور در

جدول ۱- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر تبخیر - تعرق (کیلوگرم)

	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
C <sub>0</sub>	۲/۵۳۹ <sup>f</sup>	۳/۲۶۵ <sup>d</sup>	۴/۳۶۳ <sup>a</sup>	۳/۸۰۶ <sup>b</sup>	
C <sub>1</sub>	۲/۴۶۲ <sup>f</sup>	۲/۷۸۸ <sup>c</sup>	۳/۸۷۵ <sup>b</sup>	۳/۳۱۳ <sup>d</sup>	
C <sub>2</sub>	۲/۱۳۲ <sup>h</sup>	۲/۲۹۵ <sup>g</sup>	۳/۴۶۶ <sup>c</sup>	۲/۸۴۷ <sup>e</sup>	

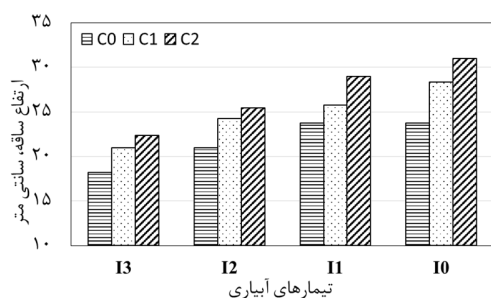
میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۲- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی اکسید کربن و آب آبیاری بر طول ساقه (سانتی‌متر)

	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
C <sub>0</sub>	۱۸/۲۱ <sup>f</sup>	۲۰/۹۸ <sup>e</sup>	۲۳/۷۳ <sup>cd</sup>	۲۳/۷۱ <sup>cd</sup>	
C <sub>1</sub>	۲۰/۹۷ <sup>de</sup>	۲۴/۲۲ <sup>de</sup>	۲۵/۷۶ <sup>c</sup>	۲۸/۳۷ <sup>b</sup>	
C <sub>2</sub>	۲۲/۳۶ <sup>de</sup>	۲۵/۴۴ <sup>c</sup>	۲۸/۹۶ <sup>b</sup>	۳۱/۰۱ <sup>a</sup>	

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

علاوه بر آن، آبیاری به میزان ۱۲۵FC٪ در غلظت‌های بالای دی اکسید کربن نه تنها موجب افزایش طول ساقه نمی‌شود، بلکه کاهش طول ساقه را به همراه دارد. در حالی که جرم خشک ساقه در این حالت افزایش می‌یابد، که این امر در اثر ضخیم‌تر شدن ساقه گیاه به وقوع پیوسته است.



شکل ۱- تغییرات طول ساقه در تیمارهای مورد مطالعه

همان‌گونه که در جدول (۲) ارائه شده است افزایش غلظت دی اکسید کربن محیطی همراه با افزایش طول ساقه می‌باشد، که این به معنای فتوسنتز بیشتر و در نتیجه رشد و تولید ماده‌ی آلی بیشتر می‌باشد، که با نتایج به دست آمده از وزن خشک ساقه هماهنگی دارد. با این حال همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود ارتفاع ساقه گیاه عدس در تیمارهای آبیاری ۱۲۵FC٪ با افزایش غلظت دی اکسید کربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ppm تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. نتایج حاصل از آنالیزهای آماری نشان دادند که افزایش غلظت گاز دی اکسید کربن در محیط رشد گیاه از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ppm به ترتیب موجب افزایش ۱۵ و ۲۴ درصدی ارتفاع ساقه گیاه می‌شود، که بیش‌ترین میزان افزایش را می‌توان در تیمارهای آبیاری FC مشاهده نمود که به ترتیب ۲۰ و ۳۱٪ افزایش طول ساقه دارند. نتایج به دست

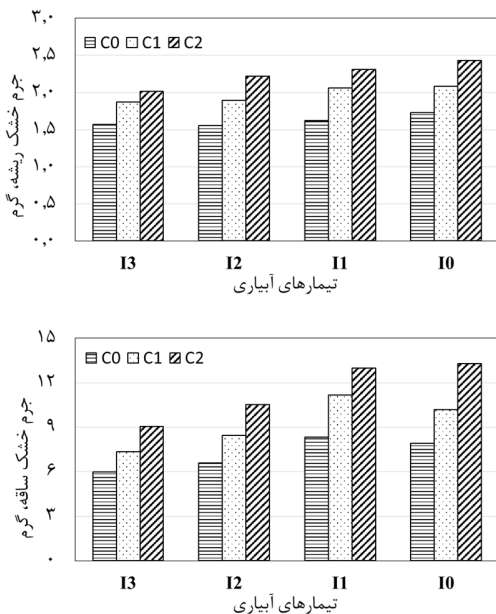
بررسی‌های پیشین نشان داده است که افزایش غلظت دی اکسید کربن تا ۶۶۰ppm تبخیر- تعرق سویا را ۱۰٪ کاهش می‌دهد (جونز و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۸۵). همچنین شمس و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که دو برابر شدن غلظت دی اکسید کربن از ۳۵۰ppm موجب کاهش ۱۵ درصدی نرخ تبخیر- تعرق گیاه لوبیا قرمز می‌شود. از سوی دیگر برکارت و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) نشان دادند که افزایش غلظت دی اکسید کربن در گیاهانی که به‌طور کامل آبیاری می‌شوند موجب کاهش تبخیر- تعرق می‌شود اما در گیاهانی که تحت تنش آبی قرار داشته باشند افزایش دی اکسید کربن اثری بر تبخیر- تعرق گیاه نخواهد داشت. ایشان دلیل این امر را وسعت ریشه در لایه‌های پایینی خاک دانسته‌اند، با این حال در تحقیق حاضر کاهش میزان آب آبیاری اثر کاهنده دی اکسید کربن بر تبخیر- تعرق را از بین نبرد، دلیل این امر را می‌توان محدود بودن عمق گلدان دانست.

### طول ساقه

شکل (۱)، تغییرات ارتفاع ساقه گیاه عدس را در تیمارهای مورد آزمایش نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است کاهش آبیاری موجب کاهش ارتفاع ساقه می‌شود، همچنین افزایش غلظت دی اکسید کربن افزایش ارتفاع ساقه را به همراه دارد. خلاصه نتایج حاصله از تحلیل‌های آماری انجام شده در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با تغییر میزان آب آبیاری از FC به ۱۲۵، ۷۵ و ۵۰FC٪ ارتفاع ساقه گیاه به ترتیب ۵، ۱۷ و ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. با این حال در تیمارهای غلظت دی اکسید کربن نرمال ارتفاع گیاه در آبیاری‌های FC و

<sup>1</sup> Jones et al.

<sup>2</sup> Burkart et al.



شکل ۲- تغییرات جرم خشک ساقه و ریشه در تیمارهای مورد بررسی

کاهش وزن ریشه در اثر افزایش آب آبیاری در هر سه تیمار دی‌اکسیدکربن مشاهده می‌شود، با این حال این کاهش اندک بوده (به طور متوسط ۵٪) و معنی‌دار نمی‌باشد. ریشه برای تأمین آب مورد نیاز خود در خاک انشعابات متعددی تولید می‌کند، لذا در صورتی که آب به میزان فراوان در دسترس گیاه قرار گیرد، ریشه نیازی به تولید انشعاب ندیده، رشد ننموده و وزن آن کم می‌شود. از سوی دیگر همان‌گونه که مشاهده می‌شود کاهش آب آبیاری از FC به ۷۵ و ۵۰٪ موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه در سه تیمار غلظت دی‌اکسیدکربن می‌شود. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که در تیمارهای دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ و ۸۰۰ ppm، کاهش آب آبیاری از ۷۵ به ۵۰٪ ظرفیت زراعی مزرعه اثر معنی‌داری بر جرم خشک ریشه نخواهد داشت در حالی که در تیمار غلظت دی‌اکسیدکربن ۱۲۰۰ ppm این اختلاف در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش معنی‌دار جرم خشک ریشه می‌شود، به طور متوسط بالا رفتن غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب افزایش ۲۲ و ۳۹ درصدی جرم خشک ریشه می‌شود،

آمده از این تحقیق با نتایج حاصله از بررسی سایر محققان همخوانی دارد (پال و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴؛ واناجا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). نشان داده شده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۸۰ به ۷۴۰ ppm موجب افزایش ۲۵/۴ درصدی ارتفاع ساقه سویا می‌شود (لی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳). لی و همکاران<sup>۴</sup> (۱۹۹۷) نشان دادند که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۳۵۰ به ۵۰۰ ppm اثری بر ارتفاع ساقه سویا ندارد، که نتیجه به دست آمده از این تحقیق با درصد بسیاری از مطالعات صورت گرفته متفاوت می‌باشد، که این امر را می‌توان به خصوصیات وارسته مورد بررسی نسبت داد. چرا که با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه افزایش دی‌اکسیدکربن اثری بر تولید ماده آلی و شاخص سطح برگ نیز ندارد. از سوی دیگر می‌توان شرایط محیطی را نیز در این امر دخیل دانست، به طور مثال ممکن است در صورتی که غلظت دی‌اکسیدکربن به بیش از ۵۰۰ ppm افزایش یافته بود نتایج حاصله از این بررسی متفاوت بود.

### جرم خشک ریشه و ساقه

شکل (۲) تغییرات جرم خشک ریشه و ساقه گیاه عدس در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۳) و شکل (۲) مشاهده می‌شود کاهش میزان آب آبیاری موجب کاهش جرم خشک ریشه و ساقه می‌شود، همچنین افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش جرم ریشه و ساقه را در پی دارد.

جدول ۳- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسیدکربن و آب آبیاری بر جرم خشک ریشه و ساقه (گرم)

	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
جرم	۱/۵۶۶ <sup>h</sup>	۱/۵۵۵ <sup>h</sup>	۱/۶۲۴ <sup>g</sup>	۱/۷۳۲ <sup>g</sup>	C <sub>0</sub>
خشک	۱/۸۳۷ <sup>f</sup>	۱/۸۹۴ <sup>ef</sup>	۲/۰۶۴ <sup>d</sup>	۲/۰۸۳ <sup>cd</sup>	C <sub>1</sub>
ریشه	۲/۰۱۷ <sup>de</sup>	۲/۲۱۸ <sup>bc</sup>	۲/۳۰۸ <sup>ab</sup>	۲/۴۳۵ <sup>a</sup>	C <sub>2</sub>
جرم	۵/۹۸۴ <sup>f</sup>	۶/۵۷۷ <sup>f</sup>	۸/۳۲۷ <sup>ede</sup>	۷/۹۳۶ <sup>de</sup>	C <sub>0</sub>
خشک	۷/۳۳۸ <sup>e</sup>	۸/۴۴۴ <sup>cd</sup>	۱۱/۱۷۶ <sup>b</sup>	۱۰/۱۹۰ <sup>b</sup>	C <sub>1</sub>
ساقه	۹/۰۴۳ <sup>c</sup>	۱۰/۵۴۵ <sup>b</sup>	۱۲/۹۸۳ <sup>a</sup>	۱۳/۲۹۷ <sup>a</sup>	C <sub>2</sub>

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

<sup>1</sup> Pal et al.

<sup>2</sup> Vanaja et al.

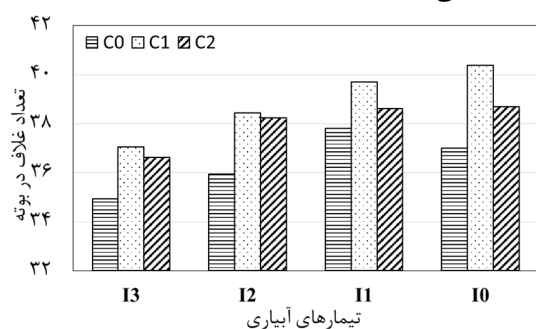
<sup>3</sup> Li et al.

<sup>4</sup> Lee et al.

می‌شود میان تیمارهای  $I_0C_1$ ،  $I_1C_1$  و  $I_2C_2$  تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود ندارد، که این امر گویای آن است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا مقادیر بالاتر اثر کاهنده کاهش آب آبیاری را خنثی نموده و موجب افزایش تولید ماده آلی می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از این بررسی افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش ارتفاع ساقه را به همراه دارد، که در نتیجه آن افزایش جرم خشک ساقه اجتناب ناپذیر می‌باشد. نتایج به دست آمده از این بررسی با نتایج حاصله از مطالعات سایر محققان همخوانی دارد (بلوچی و همکاران، ۱۳۸۷؛ پال و همکاران ۲۰۰۴؛ واناجا و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳).

### تعداد غلاف‌ها

شکل (۳) نشان‌دهنده میزان تغییرات تعداد غلاف‌های به دست آمده از هر بوته گیاه عدس تحت تیمارهای آبیاری مورد مطالعه می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود تعداد غلاف‌های تشکیل شده در هر بوته با کاهش میزان آب آبیاری کاهش می‌یابد، همچنین افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به موجب افزایش تعداد غلاف‌ها می‌شود در حالی که تعداد غلاف‌های تولید شده در غلظت ۱۲۰۰ ppm کم‌تر از تعداد غلاف‌ها در گیاهان تحت تیمار ۸۰۰ ppm می‌باشد.



شکل ۳- تعداد غلاف‌ها در بوته تحت تیمارهای آبیاری مورد مطالعه

با مراجعه به جدول (۴) مشاهده می‌شود کاهش آب آبیاری، کاهش تعداد غلاف‌ها در بوته را به همراه دارد. همچنین تفاوت معنی‌داری میان تعداد غلاف‌های حاصل در تیمارهای آبیاری FC و ۱۲۵ و ۷۵FC وجود ندارد. علاوه بر آن تعداد غلاف‌ها در تیمارهای ۷۵ و ۷۵FC نیز با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهند.

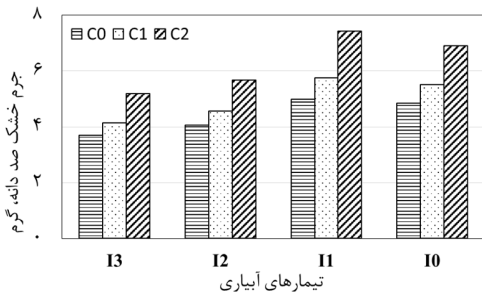
که این افزایش در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. این نتیجه مطابق با نتایج به دست آمده از تحقیقات سایر محققین می‌باشد (مدو و هتفیلد<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳؛ پکلسکی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). علت افزایش جرم خشک ریشه تحت شرایط غلظت‌های بالای دی‌اکسیدکربن را افزایش طول ریشه و نفوذ بیشتر آن در خاک دانسته‌اند (واناجا و همکاران، ۲۰۰۷؛ بنلوچ-گنزالس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴)، که این خصوصیت تحت شرایط آب و هوایی خشک، امتیاز مهمی برای گیاه محسوب می‌شود. همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود در تیمارهای دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ و ۸۰۰ ppm با افزایش آب آبیاری وزن خشک ساقه به طور متوسط ۷٪ افزایش می‌یابد که این افزایش معنی‌دار نمی‌باشد. با این حال در تیمار دی‌اکسیدکربن ۱۲۰۰ ppm وزن خشک ساقه با افزایش آب آبیاری تا ۱۲۵FC، دو درصد کاهش نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مطالعات نشان می‌دهد که کاهش آب آبیاری از FC به ۷۵FC، وزن خشک ساقه را به میزان تقریبی ۲۳٪ به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد، که نرخ این کاهش در تیمارهای غلظت ۱۲۰۰ ppm کمی بیش‌تر از دو غلظت دیگر است (۲۶٪ در برابر ۲۱٪). علاوه بر آن کاهش آب آبیاری از FC به ۵۰FC، در تیمارهای غلظت دی‌اکسیدکربن ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب کاهش معنی‌دار ۳۳، ۳۹ و ۴۷ درصدی وزن خشک ساقه می‌شود. از سوی دیگر وزن خشک ساقه در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰FC اختلاف معنی‌داری را با یکدیگر نشان می‌دهد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به طور متوسط موجب افزایش معنی‌دار ۲۸ و ۵۹ درصدی وزن خشک ساقه می‌گردد. با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ ppm بیش‌ترین افزایش وزن خشک ساقه در تیمار  $I_1$  (آبیاری ۱۲۵FC) مشاهده می‌شود (۳۴٪)، با این حال هنگامی که غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۱۲۰۰ ppm می‌رسد بیش‌ترین افزایش وزن خشک ساقه در تیمار آبیاری ۷۵FC مشاهده می‌شود (۶۰٪)، و همان‌گونه که در جدول مشاهده

<sup>1</sup> Madhu and Hatfield

<sup>2</sup> Pacholski et al.

<sup>3</sup> Benlloch-Gonzalez et al.

آبیاری ۷۵ و ۵۰FC در هیچ یک از تیمارهای غلظت دی‌اکسیدکربن معنی‌دار نمی‌باشد. با این حال کاهش آب آبیاری از FC به ۷۵FC و ۵۰FC موجب کاهش معنی‌دار و تقریبی ۲۱ و ۳۳ درصدی وزن خشک ۱۰۰ دانه می‌شود.



شکل ۴- جرم خشک صد دانه در تیمارهای مورد بررسی

از سوی دیگر همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm موجب افزایش تقریبی ۱۳ و ۴۳ وزن خشک ۱۰۰ دانه می‌شود، که این افزایش در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. بیش‌ترین میزان افزایش جرم خشک صد دانه با تغییر غلظت دی‌اکسیدکربن را می‌توان در تیمار آبیاری ۱۲۵FC٪ مشاهده نمود که در حالت به ترتیب با دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن جرم خشک دانه به ترتیب ۱۶ و ۴۹ درصد افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود، میان تیمارهای I<sub>0</sub>C<sub>0</sub>، I<sub>1</sub>C<sub>0</sub> و I<sub>2</sub>C<sub>1</sub> و همچنین تیمارهای I<sub>0</sub>C<sub>1</sub>، I<sub>1</sub>C<sub>1</sub> و I<sub>2</sub>C<sub>2</sub> اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، که این امر گویای آن است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن کاهش ناشی از کم آبیاری را کاهش می‌دهد.

جدول ۵- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسیدکربن و آب

آبیاری بر جرم خشک ۱۰۰ دانه (گرم)

I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
۳/۶۹۲ <sup>i</sup>	۴/۰۷۱ <sup>hi</sup>	۴/۹۸۷ <sup>efg</sup>	۴/۸۵۹ <sup>fg</sup>	C <sub>0</sub>
۴/۱۴۳ <sup>hi</sup>	۴/۵۷۲ <sup>gh</sup>	۵/۷۶۳ <sup>c</sup>	۵/۵۱۰ <sup>cde</sup>	C <sub>1</sub>
۵/۱۸۵ <sup>def</sup>	۵/۶۷۶ <sup>cd</sup>	۷/۴۳۶ <sup>a</sup>	۶/۹۱۳ <sup>b</sup>	C <sub>2</sub>

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

افزایش جرم خشک ۱۰۰ دانه در این بررسی هم‌راستا با نتایج به دست آمده از تحقیق هایمن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶)

جدول ۴- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسیدکربن و آب

آبیاری بر تعداد غلاف در هر بوته

I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
۳۴/۹ <sup>e</sup>	۳۵/۹ <sup>de</sup>	۳۷/۸ <sup>bcd</sup>	۳۷/۰ <sup>cd</sup>	C <sub>0</sub>
۳۷/۱ <sup>cd</sup>	۳۸/۴ <sup>abc</sup>	۳۹/۷ <sup>ab</sup>	۴۰/۴ <sup>a</sup>	C <sub>1</sub>
۳۶/۶ <sup>cde</sup>	۳۸/۲ <sup>bc</sup>	۳۸/۶ <sup>abc</sup>	۳۸/۷ <sup>abc</sup>	C <sub>2</sub>

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن تا ۸۰۰ ppm موجب افزایش معنی‌دار ۷ درصدی تعداد غلاف‌ها در بوته می‌شود، در حالی‌که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۱۲۰۰ ppm افزایش ۴ درصدی تعداد غلاف‌ها را به همراه دارد که این افزایش تنها در تیمار آبیاری ۷۵FC٪ معنی‌دار می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش تعداد غلاف‌های حاصل از هر بوته می‌شود. نتایج آنالیزهای آماری نشان می‌دهد که تعداد غلاف‌های موجود در هر بوته در تیمارهای دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ ppm به طور معنی‌داری از تعداد غلاف‌ها در تیمارهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm کم‌تر می‌باشد. در حالی‌که اختلاف میان تعداد غلاف‌ها در تیمارهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm معنی‌دار نمی‌باشد. مطالعه‌ی بررسی‌های پیشین نیز نشان داده است که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش تعداد غلاف‌ها را به همراه دارد (روجرز و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶؛ ساها و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲).

#### جرم خشک ۱۰۰ دانه

با کاهش آب آبیاری جرم ۱۰۰ دانه کاهش می‌یابد، از سوی دیگر با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن این پارامتر افزایش نشان می‌دهد (شکل ۴). با مراجعه به جدول (۵) مشاهده می‌شود در تیمارهای غلظت دی‌اکسیدکربن ۴۰۰ و ۸۰۰ ppm افزایش آب آبیاری از FC به ۱۲۵FC٪ افزایش معنی‌داری را در وزن خشک ۱۰۰ دانه نخواهد داشت با این حال تحت غلظت ۱۲۰۰ ppm دی‌اکسیدکربن این افزایش هفت درصدی معنی‌دار می‌باشد. از سوی دیگر آنالیز آماری نتایج حاصله نشان می‌دهد که اختلاف میان تیمارهای

<sup>1</sup> Rogers et al.

<sup>2</sup> Saha et al.

<sup>3</sup> Heinemann et al.

جدول ۶- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسیدکربن و آب

آبیاری بر عملکرد دانه (گرم)				
I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
۱/۲۹۰ <sup>f</sup>	۱/۴۶۳ <sup>e</sup>	۱/۹۱۳ <sup>d</sup>	۱/۸۱۵ <sup>d</sup>	C <sub>0</sub>
۱/۵۳۸ <sup>e</sup>	۱/۷۵۵ <sup>d</sup>	۲/۳۱۰ <sup>c</sup>	۲/۲۴۳ <sup>c</sup>	C <sub>1</sub>
۱/۹۰۰ <sup>d</sup>	۲/۱۷۰ <sup>c</sup>	۲/۹۴۸ <sup>a</sup>	۲/۷۰۰ <sup>b</sup>	C <sub>2</sub>

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ ppm به طور متوسط موجب افزایش عملکرد دانه به میزان ۲۱ درصد وزن اولیه خود می‌شود. که این افزایش در سطح آماری ۰/۹۵ معنی‌دار می‌باشد. از سوی دیگر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۱۲۰۰ ppm نیز افزایش ۵۰ درصدی و معنی‌دار عملکرد کل دانه را به همراه دارد. همان‌گونه که در جدول مشاهده می‌شود عملکرد دانه در تیمارهای I<sub>0</sub>C<sub>0</sub>، I<sub>1</sub>C<sub>0</sub>، I<sub>2</sub>C<sub>1</sub> و I<sub>3</sub>C<sub>2</sub> و نیز تیمارهای I<sub>0</sub>C<sub>1</sub>، I<sub>1</sub>C<sub>1</sub> و I<sub>2</sub>C<sub>2</sub> از لحاظ آماری یکسان می‌باشند، این امر حاکی از آن است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در محیط اثر کاهشی، کم آبیاری و تنش‌های آبی را جبران می‌نماید. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش عملکرد گیاهان زراعی را در پی دارد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰؛ ناصر و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوگی و همکاران، ۲۰۰۹؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳) علت افزایش عملکرد در مطالعات گوناگون مختلف می‌باشد برخی افزایش عملکرد را در اثر افزایش وزن دانه دانسته (هوگی و همکاران، ۲۰۱۳) و برخی دیگر این افزایش را در اثر افزایش تعداد غلاف‌ها بیان کرده‌اند (هایمن و همکاران، ۲۰۰۶)، با این حال در مطالعه حاضر علت افزایش عملکرد را می‌توان افزایش تعداد غلاف‌ها و نیز افزایش وزن دانه در نظر گرفت.

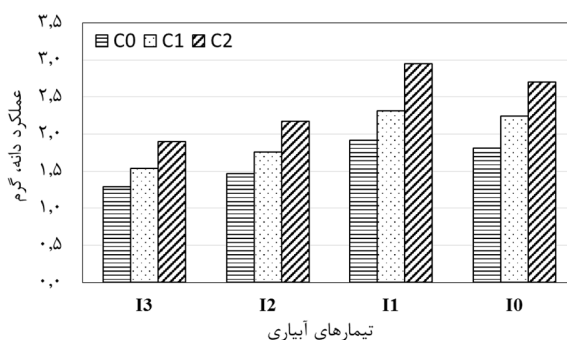
#### میزان نیتروژن موجود در دانه

با توجه به جدول (۷) مشاهده می‌شود با کاهش میزان آب آبیاری از میزان نیتروژن موجود در دانه کاسته می‌شود. همچنین افزایش میزان غلظت دی‌اکسیدکربن نیز موجب کاهش نیتروژن موجود در دانه می‌شود. افزایش آب آبیاری از FC به ۱۲۵FC٪ تغییر معنی‌داری را در میزان پروتئین موجود در دانه به همراه ندارد، همچنین کاهش آبیاری تا

می‌باشد، نتایج نشان داد افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش عملکرد دانه را در پی دارد که این افزایش عملکرد در اثر افزایش جرم دانه می‌باشد، نه افزایش تعداد دانه‌ها. همچنین نتایج به دست آمده از سایر مطالعات نیز با نتیجه به دست آمده از این پژوهش هماهنگی دارد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰؛ هایمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ ساها و همکاران، ۲۰۱۲؛ هوگی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳).

#### عملکرد دانه

شکل (۵) نشان‌دهنده تغییرات عملکرد دانه در بوته گیاه عدس در تیمارهای مختلف اعمال شده می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش عملکرد دانه در بوته می‌شود. همچنین کاهش آب آبیاری، این عملکرد را کاهش می‌دهد. با توجه به جدول (۶) مشاهده می‌شود که افزایش آب آبیاری از FC به ۱۲۵FC٪ افزایش معنی‌داری را برای عملکرد تیمارهای غلظت دی‌اکسیدکربن C<sub>0</sub> و C<sub>1</sub> به همراه ندارد. با این حال گیاهانی که تحت غلظت ۱۲۰۰ ppm دی‌اکسیدکربن رشد کرده‌اند افزایش میزان آب در دسترس گیاه موجب افزایش معنی‌دار هشت درصدی عملکرد می‌شود. کاهش آب آبیاری از FC به ۷۵ و ۵۰FC٪ به ترتیب موجب کاهش ۲۵ و ۴۳ درصدی عملکرد گیاه می‌شود. از سوی دیگر با توجه به جدول مشاهده می‌شود که کاهش آب آبیاری از ۷۵FC٪ به ۵۰FC٪ نیز همراه با کاهش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود.



شکل ۵- تغییرات عملکرد دانه در تیمارهای مورد بررسی (گرم)

<sup>1</sup> Hogy et al.

با این حال بررسی‌ها نشان داده است که در بقولات کاهش نیتروژن و یا پروتئین موجود در دانه گیاه به مراتب کم‌تر از غلات می‌باشد (تائوب<sup>۵</sup>، ۲۰۰۸) به نحوی که در بعضی موارد در میزان پروتئین موجود در دانه تغییری حاصل نمی‌شود (کورتیس<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶)، و حتی در برخی موارد نشان داده شده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در محیط رشد گیاه افزایش نیتروژن موجود در گیاه را به همراه دارد (توربرت و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴). این امر را به تثبیت نیتروژن در ریشه این گیاه نسبت داده‌اند. لذا در مقایسه با سایر گیاهان، تحت شرایط مدیریتی مناسب، لگوم‌ها می‌توانند از اثرات مثبت افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محیطی به نحو بهتری استفاده نمایند (روجرز و همکاران، ۲۰۰۹). در بررسی پژوهش‌های صورت گرفته توسط ایدزو و ایدزو (۲۰۰۱) نشان داده شد که با توجه به شرایط مختلف محیطی، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محیطی میزان پروتئین دانه می‌تواند افزایش و یا کاهش یافته و یا تغییری در میزان آن به‌وجود نیاید.

### نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب کاهش میزان تبخیر- تعرق گیاه عدس می‌شود. با این حال در صورتی که میزان آب در دسترس گیاه افزایش یابد، غلظت دی‌اکسیدکربن اثر کم‌تری بر کاهش تبخیر- تعرق بر جای می‌گذارد. با توجه به نتایج به دست آمده افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب کاهش ۱۲ و ۳۰ درصدی نرخ تبخیر- تعرق می‌گردد. نشان داده شده است که بسته شدن نسبی روزنه‌ها در اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب کاهش خروج بخار آب از برگ و در نتیجه کاهش تبخیر- تعرق می‌شود (شور و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳) که با نتایج به دست آمده از این تحقیق و سایر مطالعات همخوانی دارد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰؛ کنگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ برکارت و همکاران، ۲۰۰۴). ارتفاع ساقه عدس با

۷۵FC٪ نیز اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین موجود در دانه به جا نمی‌گذارد. با این حال پروتئین دانه در تیمارهای آبیاری ۵۰FC٪ کاهش معنی‌داری را نسبت به تیمارهای آبیاری کامل نشان می‌دهند، با این حال اختلاف میان میزان پروتئین موجود در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰FC٪ از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج به دست آمده از این بررسی با نتایج ارائه شده توسط دانشیان و همکاران (۱۳۸۸) هماهنگی دارد، چرا که در شرایط تنش شدید کاهش پروتئین در گیاه سویا مشاهده می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که تحت شرایط تنش خشکی از میزان پروتئین موجود در دانه لوبیا، گندم و کلزا کاسته می‌شود (کالوش و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷؛ هشمت و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳؛ شعبانی و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال ایزدی و تدین (۱۳۹۳) نشان دادند که تنش خشکی اثری بر میزان پروتئین موجود در دانه کرچک ندارد. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب کاهش درصد پروتئین موجود در دانه می‌شود. با توجه به نتایج حاصله از آنالیزهای آماری انجام گرفته مشاهده می‌شود که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm به ترتیب موجب کاهش معنی‌دار ۶ و ۱۵٪ درصد پروتئین موجود در دانه می‌شود. افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و در نتیجه تولید بیش‌تر ماده آلی در گیاه موجب می‌شود که نسبت C:N در گیاه افزایش یافته و در نتیجه نیتروژن و یا به عبارتی پروتئین موجود در دانه کاهش یابد (ویزر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸؛ اربز و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰؛ هوگی و همکاران، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۳).

جدول ۷- اثر متقابل مقادیر مختلف گاز دی‌اکسیدکربن و آب

آبیاری بر درصد پروتئین دانه					
	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>0</sub>	
	۲۷/۰۳ <sup>bc</sup>	۲۷/۷۵ <sup>ab</sup>	۲۸/۲۸ <sup>a</sup>	۲۸/۲۳ <sup>a</sup>	C <sub>0</sub>
	۲۵/۶۴ <sup>ef</sup>	۲۵/۹۸ <sup>de</sup>	۲۶/۶۳ <sup>cd</sup>	۲۶/۷۵ <sup>cd</sup>	C <sub>1</sub>
	۲۳/۲۰ <sup>h</sup>	۲۳/۷۷ <sup>gh</sup>	۲۴/۶۷ <sup>fg</sup>	۲۴/۸۷ <sup>f</sup>	C <sub>2</sub>

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن از لحاظ آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

<sup>5</sup> Taub

<sup>6</sup> Curtise

<sup>7</sup> Torbert

<sup>8</sup> Shoor et al.

<sup>1</sup> Calvache et al.

<sup>2</sup> Heshmat et al.

<sup>3</sup> Wieser et al.

<sup>4</sup> Erbs et al.

(استنسیل و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰؛ ساها و همکاران، ۲۰۱۲). از سوی دیگر در این بررسی با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری جرم خشک ۱۰۰ دانه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد به نحوی که با دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن جرم خشک ۱۰۰ دانه به ترتیب ۱۳ و ۴۳ درصد افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از این بررسی با نتایج حاصله از بررسی سایر محققین همخوانی دارد (شمس و همکاران، ۱۳۹۰، ساها و همکاران، ۲۰۱۲، هوگی و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات صورت گرفته نشان داده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن موجب افزایش جرم خشک ۱۰۰ دانه می‌شود که این افزایش جرم افزایش عملکرد محصول را در پی دارد (هایمن و همکاران، ۲۰۰۶؛ هوگی و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال سایر مطالعات افزایش تعداد غلاف‌ها را عامل اصلی افزایش عملکرد دانسته‌اند. با این حال در این بررسی عامل افزایش عملکرد را می‌توان افزایش تعداد غلاف‌ها و در نتیجه افزایش تعداد دانه و نیز افزایش وزن دانه در نظر گرفت. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که کاهش آب آبیاری و نیز افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن هر دو موجب کاهش میزان پروتئین موجود در دانه گیاه عدس می‌شوند که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm درصد پروتئین موجود در دانه به ترتیب ۶ و ۱۵ درصد کاهش می‌یابد. نشان داده شده است که برای گیاهان لگومینوز افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثر کم‌تری را بر کاهش پروتئین دانه دارد (تائوب، ۲۰۰۸) به نحوی در بسیاری از موارد مطالعات نشان داده است که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن اثری بر میزان پروتئین موجود در دانه حبوبات ندارد (کورتیس، ۲۰۰۶). شایان ذکر است که با توجه به مطالعات پیشین در خصوص غلات مشاهده می‌شود که درصد کاهش پروتئین در عدس بسیار کم‌تر از غلات می‌باشد (توربرت، ۲۰۰۴؛ کورتیس، ۲۰۰۶).

## منابع

ایزدی، ز.، تدین، م. ر. ۱۳۹۳. اثر کم آبیاری بر رشد و عملکرد دانه کرچک در تیمارهای محلول پاشی

کاهش آب آبیاری به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد همچنین افزایش با غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش ارتفاع ساقه از تیمار ۴۰۰ به ۸۰۰ ppm برابر ۱۵٪ و از ۴۰۰ به ۱۲۰۰ ppm برابر ۲۴ درصد بوده است. افزایش ارتفاع ساقه گیاه در سایر بررسی‌های انجام شده روی گندم و سویا نیز دیده شده است (پال و همکاران، ۲۰۰۴؛ واناجا و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج به دست آمده از این بررسی نشان‌دهنده کاهش جرم خشک ریشه و ساقه در اثر کاهش میزان آب آبیاری می‌باشد، همچنین نشان داده شده است که در اثر دو و سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن جرم خشک ریشه به ترتیب ۲۲ و ۳۹ درصد افزایش می‌یابد در حالی که این افزایش در جرم خشک ساقه به ترتیب ۲۸ و ۵۹ درصد می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود درصد تغییر جرم خشک ساقه خصوصاً با سه برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن بسیار بیش‌تر از نرخ تغییر جرم خشک ریشه می‌باشد که علت این امر را می‌توان به کشت در گلدان و کم بودن فضای کافی برای رشد ریشه اشاره نمود. افزایش اندام هوایی و شاخسارها موجب افزایش فتوسنتز و تولید ماده آلی می‌شود، از سوی دیگر ضخیم‌تر شدن ساقه گیاه نیز از دیگر دلایل افزایش جرم خشک ساقه می‌باشد. نشان داده شده است که افزایش رشد ریشه در اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اثر افزایش طول ریشه و نفوذ بیش‌تر آن به لایه‌های خاک رخ می‌دهد (واناجا و همکاران، ۲۰۰۷؛ بنلوچ-گنزالس و همکاران، ۲۰۱۴) که این امر در شرایط کم آبی، برای برآورد نیاز آبی کمک شایانی به گیاه می‌نماید. نتایج به دست آمده از این بررسی با نتایج حاصل از بررسی سایر محققان همخوانی دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۳؛ و مدو و هتفیلد، ۲۰۱۳؛ بنلوچ-گنزالس و همکاران، ۲۰۱۴؛ پکلسکی و همکاران، ۲۰۱۵). کاهش آب آبیاری، کاهش معنی‌دار تعداد غلاف‌ها در هر بوته را به همراه دارد. در حالی که افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن از ۴۰۰ به ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm موجب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف‌های حاصل می‌شود با این حال تعداد غلاف‌ها در تیمارهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ ppm اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. مطالعه بررسی‌های پیشین نیز نشان داده است که دو برابر شدن غلظت دی‌اکسیدکربن افزایش تعداد غلاف‌ها را به همراه دارد

<sup>1</sup> Stanciel et al.

- Curtise, P. 2006. Increased CO<sub>2</sub> Levels Are Mixed Blessing for Agriculture. <http://researchnews.osu.edu/archive/co2plant.htm>. 10 June 10, 2009.
- Erbs, M., Manderscheid, R., Jansen, G., Sedding, S., Pacholski, A., Weigel, H.J. 2010. Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment and nitrogen supply on grain quality parameters and elemental composition of wheat and barley grown in a crop rotation. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 136: 59–68
- Heinemann, A. B., Maia, H. N., Dourado-Neto, D., Ingram, K. T., Hoogenboom, G. 2006. Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] growth and development response to CO<sub>2</sub> enrichment under different temperature regimes. *Eur. J. Agron.*, 24:52–61.
- Heshmat, S., Aldesuqu, A., Akaria, Y., Baka, Z., Bardees, M. 2013. Does exogenous application of kinetin and spermine mitigate the effect of seawater on yield attributes and biochemical aspects of grains? *J. Stress Physiol. Biochemistry*, 2: 21-34.
- Högy, P., Brunnbauer, M., Koehler P., Schwadorf, K., Breuer, J., Franzaring J., Zhunusbayeva D., Fangmeier, A. 2013. Grain quality characteristics of spring wheat (*Triticum aestivum*) as affected by free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Environ. Exp. Bot.*, 88: 11–18.
- Högy, P., Wieser, H., Köhler, P., Schwadorf, K., Breuer, J., Franzaring, J., Muntifer, R., Fangmeier, A. 2009. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on grain yield and quality of wheat: results from a three-year FACE experiment. *Plant Biol.*, 11(1): 60–69.
- Idso, S. B., Idso, K. E. 2001. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on plant constituents related to animal and human health. *Environ. Exp. Bot.* 45: 179–199.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1995. 2<sup>nd</sup> report.
- Jones, P., Jones, J. W., Allen, L. H. 1985. Seasonal carbon and water balances of soybeans grown under stress treatments in sunlit chambers. *Trans. ASAE*, 28: 2021–2028.
- Kang, S. Z., Zhang, F. C., Hu, X. T., Zhang, J. H. 2002. Benefits of CO<sub>2</sub> enrichment on crop plants are modified by soil water. *Plant Soil*, 238: 69–77.
- Kimball, B. A., Kobayashi, K., Bindi, M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Adv Agron*, 70: 293–368.
- Kimball, B. A., Idso, S. B. 1983. Increasing atmospheric CO<sub>2</sub>: Effects on crop yield, water use, and climate. *Agric. Water Man.*, 7: 55-72.
- Lawlor, D., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation اسیدسیالیسیک و اسپیرمن. فرایند و کارکرد گیاهی، ۹۳(۹): ۸۳–۹۲.
- بلوچی، ح. ر.، مدرس ثانوی، س. ع. م.، امام، ی.، برزگر، م. ۱۳۸۷. تاثیر تنش کم آبی، ازدیاد دی اکسیدکربن و تشعشع ماورا بنفش بر صفات کیفی برگ پرچم گندم دوروم (*Desf L. var Durum Triticum turgidum*). *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴۵(الف): ۱۶۷–۱۸۱.
- دانشیان، ج.، هادی، ح.، جنوبی، پ. ۱۳۸۸. ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های سویا در تنش کم آبی. *نشریه علوم زراعی ایران*، (۴) ۱۱: ۳۹۳–۴۰۹.
- شمس، ش.، ناظم‌السادات، س. م. ج.، کامگارحقیقی، ع. ا.، زندپارسا، ش. ۱۳۹۰. بررسی اثر افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و میزان آبیاری بر تبخیر- تعرق و عملکرد گیاه لوبیا. *نشریه علوم و فنون کشاورزی (کشت‌های گلخانه‌ای)*، ۸: ۱–۹.
- Ainsworth, E. A., Long, S. P. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytol.*, 165: 351–372
- Benlloch-Gonzalez, M., Bochicchio, R., Berger, J., Bramley, H., Palta, J. A. 2014. High temperature reduces the positive effect of elevated CO<sub>2</sub> on wheat root system growth. *Field Crops Res.*, 165: 71–79.
- Bunce, J. A. 2008. Contrasting responses of seed yield to elevated carbon dioxide under field conditions within *Phaseolus vulgaris*. *Agric. Eco. Environ.*, 128: 219-224.
- Burkart, S., Manderscheid, R., Weigel, H. J. 2004. Interactive effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. *Eur. J. Agron.*, 21: 401-417.
- Calvache, M., Rechart, K., Bacchi, O. O. S., Dourado-Neto, D. 1997. Deficit irrigation at different growth stages of the common bean. *Sci. Agric. Piracicaba.*, 54: 1-16.
- Carter, T. R. 1996. Developing scenarios of atmosphere, weather and climate for northern regions. *Agric. Food Sci. Finl.*, 5: 235–249.
- Cure, J. D., Acock, B. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agric. For. Meteorol.*, 38: 127-145.

- Pal, M., Karthikeyapandian, V., Jain, V., Srivastava, A. C., Raj, A. and Sengupta, U. K. 2004. Biomass production and nutritional levels of berseem (*Trifolium alexandrinum*) grown under elevated CO<sub>2</sub>. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 101: 31-38.
- Perry, L. G., Shafroth, P. B., Blumenthal, D. M., Morgan, J. A., Le Cain, D. R. 2013. Elevated CO<sub>2</sub> does not offset greater water stress predicted under climate change for native and exotic riparian plants. *New Phytol.*, 197: 532-543.
- Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, L. H., Thomas, J. M. G. 2002. Effect of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global change Biol.*, 8: 710-721.
- Rogers, A., Ainsworth, E. A., Leakey, D. B. 2009. Will Elevated Carbon Dioxide Concentration Amplify the Benefits of Nitrogen Fixation in Legumes? *Plant Physiol.*, 151: 1009-1016.
- Rogers, H. H., Cure J. D., Smith, J. M. 1986. Soybean growth and yield response to elevated carbon dioxide. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 16: 113-128.
- Rogers, A., Allen, D. J., Davey, P. A., Morgan, P. B., Ainsworth, E. A., Bernacchi, C. J., Cornic, G., Dermody, O., Dohleman, F. G., Heaton, E. A., Mahoney, J., Zhu, X. G., Delucia, E. H., Ort, D. R., Long, S. P. 2004. Leaf photosynthesis and carbohydrate dynamics of soybeans grown throughout their life-cycle under free-air carbon dioxide enrichment. *Plant Cell Environ.*, 27: 449-458.
- Rogers, A., Gibon, Y., Stitt, M., Morgan, P. B., Bernacchi, C. J., Ort, D. R., Long, S. P. 2006. Increased C availability at elevated carbon dioxide concentration improves N assimilation in a legume. *Plant Cell and Environ.*, 29: 1651-1658.
- Saha, S., Sehgal, S. K., Nagarajan, Sh., Pal, M. 2012. Impact of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on radiation utilization and related plant biophysical properties in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Agric. For. Meteorol.*, 158-159: 63-70.
- Shabani, A., Sepaskhah, A. R., Kamgar-Haghighi, A. A. 2013. Responses of agronomic components of rapeseed (*Brassica napus* L.) as influenced by deficit irrigation, water salinity and planting method. *Int. J. Plant Prod.*, 7(2): 1735-8043.
- Shoor M., Mondai F., Aliverdi A., Golzardi F. 2012. Interaction Effect of CO<sub>2</sub> Enrichment and Nutritional Conditions on Physiological Characteristics, Essential Oil and Yield of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). *Not. Sci. Biol.*, 4(1): 121-130.
- Stanciel, K., Mortley, D. G., Hileman, D. R., Loretan, P. A., Bonsi, C. K., Hill, W. A. 2000. Growth, to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ.*, 25: 275-294.
- Leakey, A. D. B. 2009. Rising atmospheric carbon dioxide concentration and the future of C4 crops for food and fuel. *Proc. R. Soc. B.*, 276: 2333-2343.
- Lee, E. H., Pausch, R. C., Rowland, R. A., Mulchi, C. L., Rudorff, B. F. T. 1997. Responses of field-grown soybean (cv. Essex) to elevated SO<sub>2</sub> under two atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Environ. Exp. Bot.*, 37: 85-93.
- Li, D., Liu, H., Qiao, Y., Wang, Y., Cai, Zh., Dong, D., Shi, Ch., Liu, Y., Li, X, Liu, M. 2013. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on growth, seed yield, and water use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought stress. *Agric. Water Manag.*, 129: 105-112.
- Madhu, M., Hatfield, J. L. 2013. Dynamics of Plant Root Growth under Increased Atmospheric Carbon Dioxide. *Agron. J.*, 105(3): 657-669.
- Medlyn, B. E., Barton, C. V. M., Broadmeadow, M. S. J., Ceulemans, R., De Angelis, P., Forstreuter, M., Freeman, M., Jackson, S. B., Kellomäki, S., Laitat, E., Rey, A., Roberntz, P., Sigurdsson, B. D., Strassmeyer, J., Wang, K., Curtis, P. S., Jarvis, P. G. 2001. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration: a synthesis. *New Phytol.*, 149: 247-264.
- Moran, K. K., Jastrow, J. D., 2010. Elevated carbon dioxide does not offset loss of soil carbon from a corn-soybean agro-ecosystem. *Environ. Pollut.*, 158: 1088-1094.
- Morgan, P. B., Bollero, G. A., Nelson, R. L., Dohleman, F. G., Long, S. P. 2005. Smaller than predicted increase in aboveground net primary production and yield of field-grown soybean under fully open-air [CO<sub>2</sub>] elevation. *Global Change Biol.*, 11: 1856-1865.
- Muehlbauer F. J., Kaiser W. J., Clement S. L., Summerfield, R. J. 1995. Production and Breeding of Lentil. *Adv. Agron.*, 54: 283-332.
- Nasser, R., Fuller, M. P., Jellings, A. J. 2008. The influence of elevated CO<sub>2</sub> and drought on the growth and nodulation of Lentils (*Lens culinaris* Medic). *Asp. Appl. Biol.*, 88: 17-24.
- Nasser, R. R., Fuller, M. P., Jellings, A. J. 2007. Effect of elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen levels on lentil growth and nodulation. *Agron. Sustain. Dev.*, 28: 1-6.
- Pacholski, A., Manderscheid, R., Weigel, H. J. 2015. Effects of free air CO<sub>2</sub> enrichment on root growth of barley, sugar beet and wheat grown in a rotation under different nitrogen supply. *Europ. J. Agron.*, 63: 36-46.

2007. Effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on growth and yield of black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) – A rainfed pulse crop. *Plant Soil Environ.*, 53(2): 81–88.
- Wieser, H., Manderscheid, R., Erbs, M., Weigel, H. J. 2008. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the quantitative protein composition of wheat grains. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 6531–6535.
- Yadav, Sh. S., McNeil, D. L., Stevenson, Ph. C. 2007. *Lentil, An Ancient crop for modern time.* Springer Netherlands. 180 p.
- pod, and seed yield, and gas exchange of hydroponically grown peanut in response to CO<sub>2</sub> enrichment. *HortScience*. 35(1): 49-52.
- Taub, D. R., Miller, B., Allen, H. 2008. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.*, 14, 565–575.
- Torbert, H. A., Prior, S. A., Rogers, H. H., Runion, G. B. 2004. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> effects on N fertilization in grain sorghum and soybean. *Field Crop Res.*, 88: 57-67.
- Vanaja, M., Raghuram Reddy, P. Jyothi Lakshmi, M., Maheswari, M., Vagheera, P. Ratnakumar, P.



## یادداشت فنی

### تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم (مطالعه موردی: استان فارس)

غلامعباس فلاح قاله‌ری<sup>۱\*</sup>، مهدی اسدی<sup>۲</sup>، عباسعلی داداشی رودباری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۱۸

## چکیده

هدف از این مطالعه تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان فارس با توجه به عوامل اقلیمی و ارتفاع می باشد. به این منظور، در تحقیق حاضر، متغیرهای اقلیمی رطوبت، بارش و دما به همراه توپوگرافی در قالب رهیافت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن دهی به لایه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که استان فارس را می‌توان از نظر قابلیت کشت گندم دیم به چهار ناحیه بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم‌بندی نمود. بر طبق یافته‌ها، مناطق بسیار مناسب جهت کشت گندم دیم در استان فارس، بیشتر در محدوده جنوب غربی و غرب استان قرار دارند (ایستگاه‌های لامرد، شیراز و درودزن). مساحت این محدوده بالغ بر ۳۴۲۹۱۷۲ هکتار است که حدود ۲۸ درصد از کل مساحت استان را در بر می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی، ایران، گندم دیم

## مقدمه

شناخت پارامترهای آب و هوایی و اثر آن‌ها روی گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و به تبع آن افزایش تولید می‌باشد و این موضوع به ویژه در شرایط کشاورزی دیم از اهمیت بیشتری برخوردار است (ساری صراف و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه پیشینه تحقیق نشان داد که در دهه‌های اخیر تحقیقات متعددی در مورد استفاده از قابلیت‌های GIS در تعیین مناطق مستعد کشت محصولات کشاورزی در خارج و داخل کشور انجام شده است که می‌توان به سایتا<sup>۴</sup> (۱۹۹۹)، نوروود<sup>۵</sup> (۲۰۰۰)،

آگارول<sup>۶</sup> (۲۰۰۳)، راتو<sup>۷</sup> (۲۰۰۵)، فرج‌زاده و تکلویغش (۱۳۸۰)، سبحانی (۱۳۸۴)، مهربان و همکاران (۱۳۸۴) و محمودی (۲۰۰۳) اشاره نمود. از آنجا که تفکیک مناطق کشت در کشور ما بیشتر بر اساس سنت‌ها بوده و پتانسیل اقلیمی- کشاورزی اکثر مناطق کشور نامعلوم است، لذا هدف عمده این تحقیق امکان‌سنجی اقلیمی کشت گندم دیم در استان فارس بر اساس پتانسیل‌های اقلیمی آن است تا از این طریق ضمن کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری از نزولات جوی، باعث افزایش عملکرد محصول در واحد سطح شود.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از آمار ۲۵ ساله اقلیمی استان فارس در دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۷ استفاده و برای تجزیه و تحلیل فضایی و تهیه نقشه‌های لایه شیب و ارتفاع از DEM منطقه به کمک نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. جهت انجام تحلیل

<sup>۱</sup> استادیار، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

(\*نویسنده مسئول: ab\_fa789@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم کاربردی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

<sup>۶</sup> Aggarwal

<sup>۷</sup> Rathove

<sup>۴</sup> Sayta

<sup>۵</sup> Norwood

استفاده می‌شود (جدول ۱). در ماتریس مقایسه جفتی، عدد ۹ نشان‌دهنده اهمیت فوق‌العاده زیاد یک معیار نسبت به دیگری است و ارزش عددی ۱ نیز نشان‌دهنده اهمیت‌های برابر می‌باشد (کونز<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰).

امتیاز	تعریف	توضیح
۱	اهمیت مساوی	دو معیار با اهمیت مساوی
۳	اهمیت اندکی بیشتر	اهمیت I بیش تر از J است.
۵	اهمیت بیشتر	اهمیت خیلی بیش تر I از J
۷	اهمیت خیلی بیشتر	اهمیت خیلی بیش تر I از J
۹	اهمیت مطلق	اثبات اهمیت قطعی I به J
۲،۴،۶،۸	مقادیر متوسط	هنگام حالت‌های میانه

### نرخ سازگاری

اگر نرخ سازگاری کم‌تر از ۰/۱ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت؛ در غیر اینصورت باید مقایسه‌ها مجدداً انجام گیرد (برتولینی و براگلیا<sup>۶</sup>، ۲۰۰۶). نرخ سازگاری طبق معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شود.

$$C.R. = C.I. / R.I \quad (1)$$

$$C.I. = \lambda \text{Max-n} / n-1 \quad (2)$$

که n تعداد معیارها و R.I. شاخص سازگاری تصادفی است.

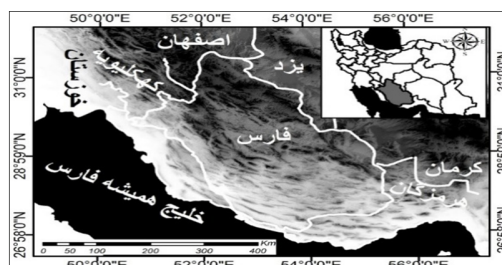
### بحث و نتایج

در شکل ۲ مقایسه زوجی معیارهای لایه‌های اصلی در امکان‌سنجی مناطق مستعد کشت گندم دیم نشان داده شده که براساس تحقیقات گذشته و نظرات صاحبان امر مقادیر آن در ایستگاه‌های منتخب با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice ارزش‌گذاری گردید و با نرم‌افزار ArcGIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (ارزش‌گذاری و مقایسه زوجی برای تک تک لایه‌ها انجام گرفت که برای جلوگیری از اطاله مطلب از بازگویی آن‌ها صرف‌نظر شد) و در آن معیار رطوبت با وزن ۰/۵۱۵ و معیار دمایی با وزن ۰/۰۷۵ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را در امکان‌سنجی مناطق مستعد دارد. همچنین نرخ سازگاری در آن ۰/۰۹ می‌باشد که کم‌تر از مقدار استاندارد آن یعنی ۰/۱ می‌باشد.

سلسله مراتبی و وزن‌دهی به لایه‌ها از نرم‌افزار Expert choice استفاده، و برای تولید نقشه نهایی داده‌ها از قابلیت همپوشانی در نرم‌افزار ArcGIS بهره گرفته شد.

### منطقه مورد مطالعه

استان فارس با مساحتی حدود ۱۳۳ هزار کیلومتر مربع بین مدارهای ۲۷° ۲' تا ۳۱° ۴۲' عرض شمالی و ۵۰° ۴۲' تا ۵۵° ۳۸' طول شرقی قرار گرفته است. میانگین سطح زیر کشت محصول گندم به‌صورت دیم و آبی ۲۱۲۴۹۵ هکتار است که از آن در حدود ۹۲۴۸۲ هکتار به‌صورت آبی، و ۱۲۰۰۱۳ هکتار نیز به‌صورت دیم می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

### فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱</sup>

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری برای زمانی است که تصمیم‌گیرنده دارای معیارهای چندگانه باشد (تیلور<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). نخستین گام در این فرایند، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌باشد؛ اهداف، معیارها و گزینه‌ها و نیز ارتباط آن‌ها در همین ساختار نشان داده می‌شود. مراحل بعد در این فرایند شامل محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، محاسبه ضریب اهمیت گزینه‌ها، و بررسی سازگاری منطقی قضاوت‌هاست (ساعتی<sup>۳</sup>، ۱۹۸۰؛ ساعتی، ۱۹۹۶).

### تعیین اهمیت ضریب معیارها و زیرمعیارها

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، برتری بین گزینه‌ها به وسیله مقایسه جفتی بین آن‌ها تعیین می‌شود (طاها<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳). در این فرایند از اعداد ۱ تا ۹ به‌عنوان یک مقیاس استاندارد، برای مشخص کردن اهمیت گزینه‌ها نسبت به هم

<sup>1</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>2</sup> Taylor

<sup>3</sup> Saaty

<sup>4</sup> Taha

<sup>5</sup> Kunz

<sup>6</sup> Bertolini and Braglia

و پر شدن دانه است (پریر و سالکینی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱). شکل ۴ و جدول ۳ نشان‌دهنده نقشه و مشخصات بارش سالانه در مناطق مستعد کشت گندم می‌باشند، که در آن ایستگاه درودزن از شرایط بسیار مناسب (میانگین بارش ۴۸۰-۴۰۰ میلی‌متر)، برای کشت گندم می‌برخوردار است.

**بارش پاییزه:** با توجه به اینکه مرحله پنجه‌زنی گندم در فصل پاییز رخ می‌دهد، مطالعه مقادیر بارش پاییزه دارای اهمیت زیادی است. بر اساس شکل ۵، به‌رغم تأمین بخشی از بارش مورد نیاز رشد گندم در فصل پاییز محدودیت‌هایی در مناطق جنوب (ایستگاه نماینده لار)، جنوب‌غرب (ایستگاه نماینده لامرد)، جنوب‌شرق (ایستگاه نماینده داراب) و شمال‌غرب (ایستگاه نماینده آباده) وجود دارد (جدول ۴).

**بارش بهاره:** براساس مطالعات گیوی (۱۳۷۶) بارش مناسب بهاره ۱۷۰-۱۱۵ میلی‌متر می‌باشد. مطابق شکل ۶، به‌جز ایستگاه اقلید و حوالی آن (حدود ۳/۵۲ درصد مساحت کل، جدول ۵) که دارای استعداد بسیار مناسب تا مناسب برای کشت گندم می‌باشد بقیه نقاط استان (حدود ۸۰ درصد) اکثراً از نظر بارش بهاره شرایط نامناسبی را دارا می‌باشند.

جدول ۳- مشخصات لایه بارش سالانه

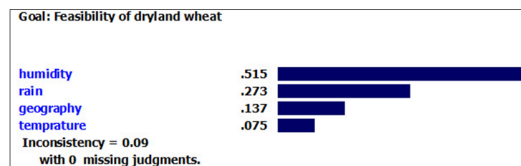
ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۱۳۰-۲۲۰	۰/۰۰۹	۵/۰۵
۲	۲۲۰-۳۰۰	۰/۰۲۰	۵۱/۳۹
۳	۳۰۰-۴۰۰	۰/۰۴۲	۴۱/۲۷
۴	۴۰۰-۴۸۰	۰/۰۸۵	۲/۲۹

جدول ۴- مشخصات لایه بارش پاییزه

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۴۰-۶۰	۰/۰۰۴	۵/۳۴
۲	۶۰-۹۰	۰/۰۰۸	۶۰/۲۰
۳	۹۰-۱۱۰	۰/۰۱۹	۳۰/۷۱
۴	۱۱۰-۱۴۰	۰/۰۴۰	۳/۷۵

جدول ۵- مشخصات لایه بارش بهاره

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۰-۵۰	۰/۰۰۲	۷۹/۲۹
۲	۵۰-۱۰۰	۰/۰۰۴	۱۹/۱۹
۳	۱۰۰-۱۴۰	۰/۰۰۸	۲/۵۳
۴	۱۴۰-۱۹۰	۰/۰۱۹	۰/۹۹



شکل ۲- وزن‌های محاسبه شده معیارها در Expert Choice

**معیار رطوبت:** رطوبت عامل بسیار مهمی در مراحل رشد گندم است. هرچه هوا دارای رطوبت کم‌تر و خشک‌تر باشد، چون توازن بین جذب آب از زمین و تبخیر از برگ‌ها به‌هم خورده، به نبت و رشد آن آسیب رسیده و موجب پژمردگی نبت و چروکیده شدن دانه می‌گردد، در این حالت است نبت احتیاج به آب داشته و آبیاری توصیه می‌شود؛ بنابراین مناسب‌ترین رطوبت موجود برای تولید جوانه از بذر گندم بین ۵۰ تا ۶۵ درصد است (فلاح‌قاله‌ری و داداشی، ۱۳۹۳). به‌این منظور بعد از ارزش‌گذاری گزینه‌های رطوبت نسبی از نرم‌افزار ArcGIS برای تجزیه و تحلیل اطلاعات استفاده گردید، همچنین برای تهیه نقشه‌ها از روش درون‌یابی IDW و برای تلفیق آن‌ها از تابع Weighed Sum در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید (شکل ۳). با توجه به شکل ۳ و جدول ۲، بخش بسیار عمده‌ای (۸۴/۰۱ درصد) از کل استان فارس از نظر رطوبت نسبی برای کشت گندم می‌مناسب (ایستگاه نماینده درودزن، لار، فسا و زرقان) و بسیار مناسب (ایستگاه نماینده درودزن، شیراز و لامرد) می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات لایه رطوبت نسبی

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۳۳-۳۵	۰/۰۰۶	۶/۱۹
۲	۳۵-۳۷	۰/۰۱۵	۹/۸۰
۳	۳۷-۳۹	۰/۰۳۳	۵۱/۵۳
۴	۳۹-۴۱	۰/۰۷۵	۳۲/۴۸

**معیار بارش:** از مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار در عملیات کشاورزی سنتی، بارش است (عزیزی و یاراحمدی، ۱۳۸۲). بنابراین نوسانات آن در عملکرد محصول قابل توجه است.

**بارش سالانه:** تحقیقات نشان داده که در مناطقی که میزان باران سالانه آن ۳۵۰-۳۰۰ میلی‌متر است، تولید محصول بستگی زیادی به ظهور گیاهچه دارد ولی در هر حال حساس‌ترین مرحله رشد برای تأمین رطوبت مرحله گلدهی

<sup>1</sup> Perrier and Salkini

سطح استان از نظر دمایی به چهار سطح بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب کلاس بندی شد، که در آن ایستگاه اقلید و آباده دارای شرایط بسیار مناسب از نظر گندم دیم می باشد (شکل ۱۰ و جدول ۹).

جدول ۷- مشخصات لایه شیب

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۱-۱۰	۰/۰۲۰	۶۲/۴۲
۲	۱۰-۲۰	۰/۰۰۹	۱۹/۲۴
۳	۲۰-۳۰	۰/۰۰۴	۹/۴۵
۴	>۳۰	۰/۰۰۲	۹/۸۹

جدول ۸- مشخصات لایه جهت شیب

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	جنوب	۰/۰۰۸	۳۰/۵۰
۲	شرق	۰/۰۰۳	۲۱/۵۳
۳	غرب	۰/۰۰۲	۱۹/۸۷
۴	شمال	۰/۰۰۱	۲۸/۱۰

جدول ۹- مشخصات لایه دمای تراکمی

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۰-۷۰۰	۰/۰۰۱	۱۳/۱۹
۲	۷۰۰-۱۳۰۰	۰/۰۰۲	۴۰/۵۷
۳	۱۳۰۰-۱۹۰۰	۰/۰۰۵	۳۷/۷۰
۴	۱۹۰۰-۲۴۰۰	۰/۰۱۱	۸/۵۴

### تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه تمام لایه‌های اطلاعاتی و تعیین عوامل مؤثر در امکان‌سنجی مناطق مستعد کشت گندم دیم و با تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی به کمک GIS به تهیه نقشه‌های فاکتورهای مؤثر در مناطق مستعد کشت پرداخته شد. پس از وزن‌دهی لایه‌های مؤثر در مناطق کشت بر اساس فرایند تحلیل سلسه مراتبی، از GIS به منظور تلفیق و هم‌پوشانی نقشه‌ها استفاده شد و نقشه مکان‌های مناسب جهت کشت گندم دیم تهیه گردید. نقشه حاصل در ۴ کلاس (بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب) طبقه‌بندی گردید. مناطق بسیار مناسب جهت کشت گندم دیم در منطقه مورد بررسی، در محدوده جنوب‌غربی، غرب و به‌صورت زبانه‌هایی به مرکز استان کشیده شده است که شامل ایستگاه‌های لامرد، شیراز و درودزن با مساحتی بالغ بر ۳۴۲۹۱۷۲/۷۳ هکتار قرار دارد.

**معیار جغرافیایی:** معیار جغرافیایی شامل سه معیار ارتفاع، شیب و جهت شیب می‌باشد.

**ارتفاع:** با افزایش ارتفاع دما کاهش و بارندگی افزایش می‌یابد، لذا پارامترهای مذکور از مهم‌ترین عناصر اقلیمی برای کشت محصولات کشاورزی می‌باشند. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ استان جهت تهیه نقشه ارتفاعات منطقه استفاده شد، که در آن مناطق شمال، شمال‌شرق و شرقی از نظر ارتفاع استعداد خوبی برای کشت گندم دیم نداشته ولی مناطق جنوب، جنوب‌شرق، جنوب‌غرب، غرب و شمال‌غرب دارای وضعیت بسیار مناسبی برای کشت گندم دیم می‌باشند.

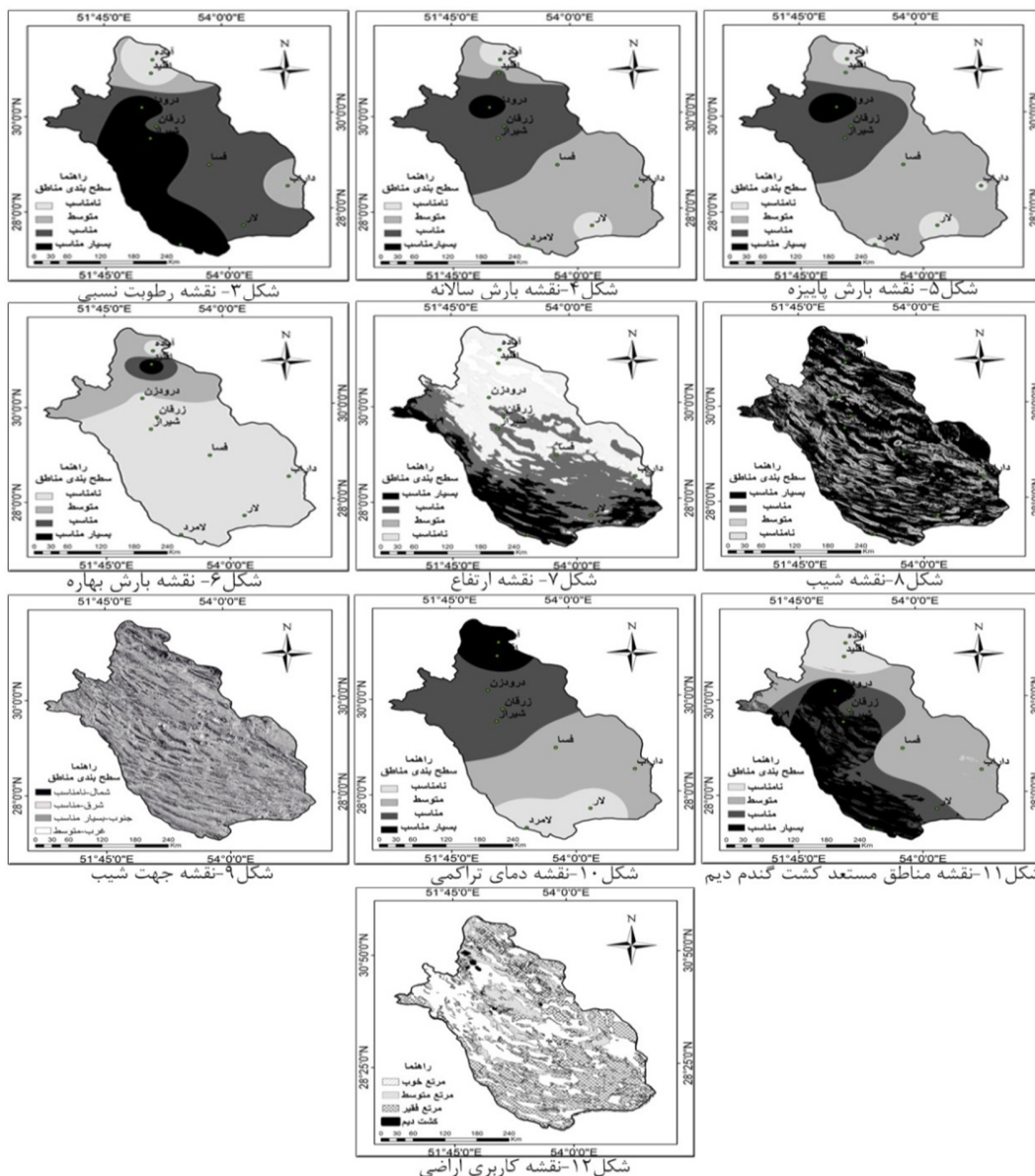
جدول ۶- مشخصات لایه ارتفاع

ردیف	گزینه‌ها	وزن نرمال	درصد از استان
۱	۰-۸۰۰	۰/۰۵۳	۱۷/۹۵
۲	۸۰۰-۱۶۰۰	۰/۰۲۳	۳۶/۲۷
۳	۱۶۰۰-۲۴۰۰	۰/۰۰۹	۳۶/۶۹
۴	>۲۴۰۰	۰/۰۰۴	۹/۰۹

**شیب و جهت شیب:** برای بررسی شیب منطقه، نقشه شیب استان به ۴ کلاس بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب تقسیم گردید (شکل ۸) باتوجه به جدول ۷ حدود ۶۳ درصد مساحت استان از نظر شیب برای کشت گندم دیم بسیار مناسب می‌باشد زیرا که شیب آن زیر ۱۰ درصد می‌باشد و براساس تحقیقات (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) کشت گندم دیم تا شیب ۱۵ درجه امکان‌پذیر است. از آنجا که نور خورشید و جهات جغرافیایی موجب جلوگیری از سرما و افزایش کیفیت دیم و محصولات زراعی می‌شود، کشت این محصول در شیب‌های جنوبی توصیه می‌شود، بنابراین جهت شیب نیز به عنوان یک لایه اطلاعاتی در نظر گرفته شده است (شکل ۹ و جدول ۸).

**معیار دما:** دما در هر یک از مراحل رشد دارای اهمیت ویژه می‌باشد ولی در این بین به دلیل حساس بودن گیاه به تغییرات آب و هوایی، دارای اهمیت بیشتری است (اورلاندی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). جهت بررسی قابلیت کشت گندم دیم از نظر دما از داده‌های دمای تراکمی (درجه- روز) ایستگاه‌های موجود در استان فارس استفاده و در نهایت

<sup>۱</sup> Orlandi et al.



اکثراً جزء مناطق نامناسب می‌باشند و با توجه به اینکه بیش از ۵۲ درصد سطح استان دارای مرتع فقیر است و قسمت اعظمی از آن نیز در مناطق مناسب کشت دیم قرار دارد، لذا توصیه می‌شود کاربری این مناطق در صورت امکان تغییر یابد.

مناطق مناسب با مساحتی بالغ بر ۲۶۵۲۵۹۳/۴۶ هکتار شامل ایستگاه‌های لار، زرقان و به‌صورت رگه‌هایی در ایستگاه‌های شیراز و لامرد می‌باشد. در حالی که کلاس متوسط با مساحت بالغ بر ۴۹۵۳۰۹۱/۸۸ هکتار سطح وسیعی از مناطق جنوب‌شرق، شرق و به‌صورت نوار باریکی مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است (شکل ۱۱ و جدول ۱۰). در ادامه برای اینکه مشخص شود چه مناطقی از استان در حال حاضر کشت دیم دارد نقشه کاربری اراضی استان نیز اضافه شد و مشخص گردید مناطقی که در حال حاضر در آن کشت دیم انجام می‌شود

جدول ۱۰- مشخصات نقشه امکان‌سنجی

محدوده	ردیف	کلاس	درصد از استان
کل منطقه	۱	بسیار مناسب	۲۷/۹۷
	۲	مناسب	۲۱/۶۳
	۳	متوسط	۴۰/۴۱
	۴	نامناسب	۹/۹۹

## نتیجه‌گیری

شناسایی استعدادها و محدودیت‌ها یا به عبارتی پهنه‌بندی اقلیمی-کشاورزی گندم در منطقه مورد بررسی با استفاده از عناصر اقلیمی در محیط GIS از اهداف این تحقیق به‌شمار می‌رود. نتایج، نشان‌گر این است که به ندرت منطقه‌ای یافت می‌شود که از هر لحاظ برای رشد گیاه مناسب باشد. بنابراین شناخت این محدودیت‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها جهت مطابقت با محیط، به نحوی که بهترین بهره‌برداری از محیط صورت گیرد، از طریق مطالعه جامع اقلیمی-کشاورزی امکان‌پذیر است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ هم مشهود است ایستگاه‌های غرب، جنوب و مرکز استان (شامل ایستگاه‌های لامرد، شیراز، زرقان، درودزن و لار) برای کشت گندم بسیار مناسب بوده و برعکس ایستگاه‌های شمال استان (شامل ایستگاه‌های اقلید و آباده) برای کشت گندم نامناسب می‌باشد.

## منابع

- ساری صراف، ب.، بازگیر، س.، محمدی، غ. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم در استان آذربایجان غربی. جغرافیا و توسعه، ۱۳: ۵-۲۶.
- سبحانی، ب. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی آگروکلیماتیک استان اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط GIS. رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- عزیزی، ق.، یار احمدی، د. ۱۳۸۲. بررسی ارتباط پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم با استفاده از مدل رگرسیونی. پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۵(۴۴): ۲۳-۳۰.
- فرج‌زاده، م.، تکلوبیغش، ع. ۱۳۸۰. ناحیه‌بندی آگروکلیمایی استان همدان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی با تاکید بر گندم. نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۱: ۱۴-۲۶.
- فلاح قاله‌ری، غ. ع.، داداشی رودباری، ع. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گندم در استان مازندران با استفاده از مدل AHP. دانشگاه حکیم سبزواری، شماره طرح ۱۱۱۲۳.
- فیض‌زاده، ب.، ابدالی، ح.، رضایی بنفشه، م.، محمدی، غ. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی قابلیت کشت گندم در سطح
- استان آذربایجان شرقی با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS. نشریه زراعت، ۹۶: ۷۵-۹۱.
- گیوی، ج. ۱۳۷۶. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی، موسسه تحقیقات آب و خاک، شماره ۱۰۱۵.
- مهربان، ا.، غفاری، ع.، قنبری بنجار، ا.، جلالی، ن. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی اقلیم برای گندم زمستانه در مناطق مغان اردبیل با استفاده از GIS. دانش کشاورزی، ۱۵(۴): ۱-۱۴.
- Aggarwal, P. K. 2003. Impact of climate change on Indian agriculture. J. plant boil., 30:189-198.
- Bertolini, M., Braglia, M. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. Int. J. Proj. Man., 24: 422-430.
- Kunz, J. 2010. The Analytic Hierarchy Process (AHP), Eagle City Hall Location Options Task Force: 1-25.
- Mahmoudi, N. 2003. Determining suitable area for new wheat varieties in Zanjan province, Using GIS and RS, The Netherlands, ITC. Page 65.
- Norwood, C. 2000. Dry land Winter Wheat as Affected by Previous Crops. Agron. J., 92(1): 121-127.
- Orlandi, L., Ruga, B., Romano., M, Fornaciari. 2005. Olive Floeeringas an Indicator of Local Climatic Change, Department of Plant Biology and Agro Environmental Biotechnology, University of Perugia. Italy: 169-171.
- Perrier, E. R., Salkini, A. B. 1991. Supplemental irrigation in Near East and North Africa. Kluwer Academic pub., Netherlands.
- Rathove, P. S. 2005. Techniques and Management of field crop production. Agro bios, Indian.
- Saaty, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. L. 1990. Decision Making for Leaders. Pittsburgh: RWS publications.
- Saaty, T. L. 1996. The Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.
- Sayta, P. 1999. GIS-Based Spatial crop yield modeling. Www. GIS development net.
- Taha, H. A. 2003. Operations Research. Pearson Education Inc. Fayetteville.
- Taylor, B. W. 2004. Introduction to Management Science. Pearson Education Inc. New Jersey.



## Assessment of model fusion strategy for increasing the accuracy of autumn rainfall forecasting

F. Modaresi<sup>1</sup>, S. Araghinejad<sup>2\*</sup>, K. Ebrahimi<sup>2</sup>

Received: 17/06/2015

Accepted: 10/01/2016

### Abstract

Autumn precipitation forecasting plays a key role in agricultural planning especially rainfed farming feasibility studies. In this study, model fusion technique has been used in order to increase the accuracy of autumn precipitation forecast. Based on two teleconnection signals of SOI and NINO 3.4 as predictors, five models including; Artificial Neural Network (ANN), Generalized Regression Neural Network (GRNN), Support Vector Regression (SVR), K-Nearest Neighbor (KNN), and Linear Regression (LR) with optimized structure have been implemented as individual rainfall forecasting models (IPFMs) in Seimareh subbasin of Karkheh basin, IRAN. In order to combine the IPFMs, the ordered weighted aggregation strategy (OWA) has been performed in which, two weighting methods including Orness and Orlike methods have been used and assessed for determining the weights of IPFMs. The results of this study showed that the forecasted rainfall obtained from two methods of OWA model fusion strategy has more accuracy comparing to individual forecasting models. Moreover, application of the Orlike method did a quite better job than Orness method. Besides, comparing the results of the OWA strategy methods with two other strategies viz model fusion with artificial neural network and selecting the best IPFM revealed that both Orness and Orlike methods are performing more precisely than two other strategies in forecasting rainfall.

**Keywords:** Model Fusion, Ordered Weighted Aggregation (OWA), Orness, Orlike, SOI, NINO 3.4

<sup>1</sup> Ph.D. Candidate of Water Resources Engineering, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, University of Tehran, Iran

(\*Corresponding author email address: araghinejad@ut.ac.ir)



## Comparison of different regional estimation methods for daily minimum temperature (A case study of Isfahan province)

Gh. Fadavi<sup>1</sup>, J. Bazrafshan<sup>2\*</sup>, N. Ghahreman<sup>2</sup>

Received: 02/11/2013

Accepted: 26/09/2015

### Abstract

The main objective of this study is to evaluate different interpolation methods for estimation of regional minimum temperature in Isfahan province, Iran. In order to explore the effect of stations number on the accuracy of the interpolation methods, two years 1992 and 2007 with different number of meteorological stations have been selected. The daily minimum temperature ( $T_{min}$ ) data of 30 meteorological stations (17 synoptic and 13 climatological stations) for year 1992 year and 54 meteorological stations (31 synoptic and 23 climatological stations) for 2007 year were collected from Isfahan and neighboring provinces. In order to regionalize the point data of  $T_{min}$ , several interpolation methods, including inverse distance weighted (IDW), Kriging, Co-Kriging, Kriging-Regression, Multiple Regression and Spline were worked out. To evaluate the performance of these methods, 2 days from each month, i.e. total 24 days for both years were chosen randomly. The obtained results were compared using statistical measures including: RMSE, MBE, MAE and correlation coefficient ( $r$ ). The findings revealed that the application of multiple regression method for interpolation produced the least error in estimation of minimum temperature in 1992 (with RMSE ranging from 2.33 to 5.12 and  $r$  from 0.38 to 0.85). For 2007 year, the best estimation was achieved by multiple regression and Kriging-Regression (RMSE from 2.36 to 5 and  $r$  ranging from 0.38 to 0.83) respectively. The overall performance of Kriging, Co-Kriging, IDW, and Spline methods was also acceptable and they were in next ranks respectively. In general, with increasing number of study the overall accuracy of model performance in estimation of daily minimum temperature has been improved.

**Keywords:** Interpolation, Minimum temperature, Isfahan, Iran

<sup>1</sup> M. Sc. Graduate, Agrometeorology, University of Tehran

<sup>2</sup> Associate Prof. University of Tehran

(\*Corresponding author email address: jbazr@ut.ac.ir)



## Quantifying the risk of heavy rainfall and its damage to agriculture in Iran

A. Khalili<sup>1\*</sup>

Received: 23/09/2015

Accepted: 05/03/2016

### Abstract

This study has been performed with two goals. Firstly, zoning the country based on risk of heavy rain damage to agricultural lands; secondly, developing a model to determine the probability of heavy rainfall damage risk (Prsk) over various regions of Iran considering their land use (e.g. rainfed or irrigated farming regions). Daily precipitation data of 405 meteorological stations across Iran with acceptable and continuous records were collected, and then the Probability Density Function (PDF) for these data was worked out using maximum likelihood method. The occurrence probability of a daily rainfall event greater than or equal to 50mm (Prsk) was also calculated based on these PDFs. The statistical analysis showed that, there exist a linear relationship (significant at 1%) between Prsk, as the dependent variable, and annual precipitation R, elevation Z and latitude Y as the predictors. The obtained regression equation;  $Prsk = a + bZ + cR + dY$  was used for generating the regional risk maps. Besides, the digital precipitation model of Iran based on climatic data of 1100 stations for a 40-year period as well as the digital elevation model of Iran with a resolution of 1x1 Km<sup>2</sup> were prepared for calculating Prsk. Then, by using GIS tools, an error layer was prepared to correct the calculated values of Prsk. Finally these risk values were classified as : < 20= low, 20 – 35= medium, 35-50= high and > 50= very high risk and corresponding maps were produced. Ultimately, for practical applications, a new agro-climatic risk software namely, AgroClimRisk was introduced by which, the Digital Land-use Model and digital boundaries of administrative regions of the country were incorporated in developed Prsk model. This package is capable to calculate the maximum, minimum, mean and coefficient of variation values of Prsk and quantification of its risk of damage to farmlands over each part of the country using geo-statistical methods.

**Keywords:** Agro-insurance, Heavy rainfall risk, Modeling, Iran, GIS

---

<sup>1</sup> Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University college of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran  
(\*Corresponding author email address: akhalili@ut.ac.ir)



## Application of physiological equivalent temperature index for determination of suitable regions for agritourism in Kerman province

A. Bakhtiari<sup>1\*</sup>

Received: 25/04/2015

Accepted: 15/02/2016

### Abstract

Agritourism is one of the most important kinds of tourism in outdoors, which is mainly affected by climatic comfort indices. In this study, the climatic and geographical features of Kerman province from Agritourism point of view have been assessed. Existing record of monthly climatic data of 10 synoptic stations across the province were obtained by which, the climate comfort index of Physiological Equivalent Temperature (PET) was calculated using RayMan package. To investigate the correlation between monthly values of the index and station's elevation, a simple gradient equation was applied. Then, the maps of index changes at different elevations were worked using Arc GIS ver.10. The results indicated that the index decreases with height for entire year. Generated zoning maps showed that in January condition is favorable only in Jiroft. In month of February Jiroft and Shahdad stations, and in March Kahnooj and Bam regions are suitable for Agritourism purposes. Also in April, in Sirjan and Anar, in May, Baft, Anar, Kerman and Shahr-e Babak have found to be proper choices. During June, July and August only Lalehzar area, and in September Lalehzar, Kerman and Baft can be recommended for related activities. In general, months of January, June, July and august have got the least flexibility for any agritoursim planning due to unfavorable weather conditions.

**Keywords:** Climate comfort, Physiological equivalent temperature index, Agritourism, Kerman

---

<sup>1</sup> Instructor, Department of Tourism and Hospitality Management, Faculty of Tourism, Higher Education Complex of Bam, Bam, Iran

(\*Corresponding author email address: Bakhtiari@bam.ac.ir)



## Estimating the land surface albedo using Level1-G and CDR Landsat-7 satellite images

A. A. Sabziparvar<sup>1\*</sup>, E. Fakharizadeh Shirazi<sup>2</sup>, S. Marofi<sup>3</sup>, Y. Rezaei<sup>4</sup>

Received: 24/06/2015

Accepted: 20/01/2016

### Abstract

Land surface albedo, is defined as the ratio of the surface reflected to received solar radiation. It is one of the major meteorological variables required for calculation of the surface radiation budget, crop water requirement and boundary conditions of climate models. During the last several decades, the albedo has been estimated using remotely sensed data. In this study, land surface albedo is estimated by using Level1-G and CDR Landsat-7 satellite images and compared with in-situ data in a farmland located in Hamedan province in the proximity of the climatology station located at faculty of agriculture, Bu-Ali Sina University. For this purpose, 14 satellite images were used. In-situ surface albedo data were also obtained from the net radiometer installed at the study site. Surface albedo was calculated at various wavelengths after removing SLC-Off, cloud effect, and atmospheric and topographic errors. The results showed that the estimated green cover albedo values were within the range of 0.21-0.26 and snow cover albedo was approximately 0.65. Estimates of surface albedo from CDR and Level1-G images were evaluated against the surface measurements by using root mean square errors (RMSE). The calculated RMSE was within the range of 0.02 to 0.09. Furthermore, the maximum error of estimated albedo was observed in NIR wavelengths. According to the Fisher test results, there was no significant difference between the estimated surface albedo from CDR and Level1-G images. Hence, for crude estimation of surface albedo, both approaches can be recommended with no priority; especially, for coarse regional estimates.

**Keywords:** Surface albedo, Landsat-7, Reflectance, CDR, Hamedan

<sup>1</sup>Professor in Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(\*Corresponding author email address: swsabzi@basu.ac.ir)

<sup>2</sup>Ph.D Candidate in Agrometeorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup>Professor of Hydrology, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>4</sup>Assistant Professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran



## The effects of different concentrations of carbon dioxide and irrigation regimes on quantitative and qualitative characteristics of lentil (variety Bileh-savar)

Sh. Shams<sup>1</sup>, M. Mousavi Baygi<sup>2\*</sup>, A. Alizadeh<sup>2</sup>, M. Shoor<sup>3</sup>, A. A. Kamgar-Haghighi<sup>4</sup>

Received: 06/05/2015

Accepted: 21/02/2016

### Abstract

In order to investigate the effect of increasing carbon dioxide concentration on growth and yield of lentil (*Lens culinaris*, Bileh-Savar), an experiment was conducted at Ferdowsi University's research greenhouse. The effects of increasing carbon dioxide concentration from 400 to 800 and 1200 ppm at four irrigation levels (1.25 FC, FC, 0.75 FC and 0.5 FC) under randomized complete design were studied. Elevated amounts of CO<sub>2</sub> concentration from 400 to 800 and 1200 ppm, increased yield by 21 and 50%, respectively which may be attributed to corresponding increase in weight of 100 seeds for 13 and 43% and also increased number of pod; 4% and 7, respectively. Also, by doubling CO<sub>2</sub> concentration, crop height, shoot dry matter and root dry matter were increased by 15, 28 and 22%, respectively; while tripling CO<sub>2</sub> raised these parameters, 24, 59 and 39% respectively. On the other hand doubling and tripling the amount of carbon dioxide concentration, led to a decrease in evapotranspiration for amount of 12 and 30%. Moreover, the protein content of the grain showed an average decrease of 10%. It should be mentioned that reducing the amount of irrigation water reduced the biomass and the amount of protein as well.

**Keywords:** Carbon dioxide, Evapotranspiration, Dry matter, Lentil, Yield

<sup>1</sup> Ph.D. student of Agrometeorology, Dept. of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor of Water Engineering Dept., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(\*Corresponding author email address: mousavib@um.ac.ir)

<sup>3</sup> Associate Professor, Dept. of Horticulture and Landscape Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

<sup>4</sup> Professor of Water Engineering Dept., College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran



## Technical Note

### Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars province

Gh. Fallah Ghalhari<sup>1\*</sup>, M. Asadi<sup>2</sup>, A. Dadashi Roudbari<sup>3</sup>

Received: 22/02/2015

Accepted: 09/12/2015

#### Abstract

The aim of this feasibility study is determination of suitable zones for rainfed wheat cultivation in Fars province, south of Iran. Climatic variables including humidity, rainfall, and temperature along with elevation were employed to determine the suitable areas for wheat cultivation using Analytic Hierarchy Process (AHP) approach. The study results revealed that, from dryland cultivation point of view, the province can be regionalized into four zones i.e. 'very suitable', 'suitable', 'average', and 'non suitable'. Based on the results, the 'very suitable' areas are mostly located in the west and south west of the province (Lamerd, Shiraz and Doroudzan stations), covering an area of 3,429,000 hectares, about % 28 of the total area of the province.

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process (AHP), Iran, Rain-fed wheat

<sup>1</sup> Assistance Professor, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran  
(\*Corresponding authors email address: ab\_fa789@yahoo.com)

<sup>2</sup> Ph.D. Candidate of Agroclimatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

<sup>3</sup> M.Sc. Student of Applied Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Iran

## بسمه تعالی

### راهنمای تهیه مقاله

نشریه هواشناسی کشاورزی نشریه علمی - پژوهشی انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران است که دو شماره در سال منتشر می‌شود. مقاله‌های پژوهشی در زمینه‌های رابطه گیاه و محیط، کمی‌سازی تأثیر پدیده‌های زیان‌بخش بر کشاورزی، مدلسازی و پیش‌بینی‌های هواشناسی کشاورزی، جفت‌سازی مدل‌های جوی - اقیانوسی و مدل‌های زراعی، ارتباط آفات و بیماری‌های گیاهی و دامی با عوامل هواشناسی، کاربرد ابزارها و تکنیک‌های نوین در اندازه‌گیری‌های میدانی هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی محصولات خاص، برهمکنش گیاه و فرایندهای هیدرومتئورولوژیک، مدیریت ریسک در هواشناسی کشاورزی، هواشناسی کشاورزی و امنیت غذایی، اقلیم‌شناسی کشاورزی، اثر تغییر اقلیم بر فرآیندهای فنولوژیک و تولیدات دامی و گیاهی، کاربرد GIS و RS در پایش و مدیریت تولیدات زراعی، فرآیندهای خرد اقلیمی گیاه و محیط و سایر مباحث مرتبط که به زبان فارسی نگاشته شده باشند، قابل ارائه در این نشریه می‌باشند. این مقالات باید نتیجه تحقیقات شخصی نویسندگان بوده و پیش‌تر در مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده باشند.

### روش تحریر

مقاله لازم است به صورت Word 2007 و روی صفحات سفید بدون آرم در ابعاد A4 با حفظ ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف (به صورت دو ستونه و فاصله سطور یک سانتی‌متر) و با درج شماره صفحه (با فونت نازنین ۱۲ و عناوین اصلی به صورت Bold) و حداکثر در ۱۵ صفحه تنظیم شود و از طریق سامانه نشریه به آدرس (<http://agmj.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند.

در متن مقاله تا حد امکان از معادل فارسی واژه‌های تخصصی لاتین، مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی استفاده شود. چنانچه معادل فارسی به اندازه کافی رسا نباشد، عین کلمه لاتین بلافاصله در کمانک (پرانتزها) آورده شود. نام اشخاص و محل‌ها به فارسی آوانگاری شود.

### ترتیب بخش‌ها

بخش‌های مختلف مقاله به ترتیب عبارتند از: عنوان، نویسندگان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی فارسی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، تشکر و قدردانی، منابع، پیوست‌ها، عنوان انگلیسی، نگارنده(گان)، چکیده انگلیسی، واژه‌های کلیدی انگلیسی.

### عنوان

عنوان کوتاه، جامع و بیانگر موضوع اصلی مقاله باشد (با فونت B Nazanin ۱۴ به صورت Bold).

### نگارنده(گان)

آدرس و ایمیل نگارنده(گان) بعد از نام و نام خانوادگی آن‌ها آورده شود. نویسندگان مسئول یکی از نویسندگان حائز رتبه دانشگاهی (مربی، استادیار، دانشیار یا استاد) باشد که تمامی مکاتبات با ایشان انجام خواهد شد.

### چکیده

چکیده باید مجموعه فشرده و گویایی از اهمیت موضوع، روش کار و نتایج تا حداکثر ۲۰۰ کلمه باشد.

## واژه‌های کلیدی فارسی

حداکثر شش واژه کلیدی مربوط به موضوع تحقیق مقاله آورده شود.

### مقدمه

مقدمه باید شامل معرفی و توجیه موضوع مورد بررسی باشد. در مقدمه باید به تحقیقات انجام یافته در زمینه مورد نظر با ذکر منابع از قدیم به جدید به اندازه کافی توجه و ارجاع شود و هدف بررسی و پژوهش نیز روشن گردد.

### مواد و روش‌ها

در این بخش باید چگونگی انجام کار (مواد مورد استفاده و شرح روش‌های جدید به کار رفته، داده‌ها و وسایل به کار رفته، الگوریتم استفاده شده، روش‌های محاسبه و ارزیابی و...) بیان گردد. همچنین ذکر مأخذ روش‌های متداول و شناخته شده در این قسمت مورد توجه قرار گیرد.

### نتایج و بحث

دربرگیرنده نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول، نمودار و تصویر است. علل و روابط بین نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر مورد بحث قرار می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

این بخش باید دربرگیرنده یک استنتاج نهایی از پژوهش و ذکر کاربردهای احتمالی آن باشد.

### سپاسگزاری (در صورت نیاز)

این بخش قبل از فهرست منابع حداکثر در ۵۰ کلمه آورده شود.

### منابع

منابع مورد استفاده به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شود. منابع فارسی قبل از منابع لاتین آورده شوند. منابع در دو ستون نگارش گردد.

در مورد مقاله‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان اختصاری یا کامل نشریه، شماره جلد، شماره نشریه) در داخل کمانک بلافاصله بعد از شماره مجلد قرار بگیرد) و در انتها شماره اولین و آخرین صفحات مقاله (مثال زیر). همچنین نام مجلات به صورت خلاصه و با استفاده از سایت <http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php> به صورت استاندارد ارائه گردد. شماره ردیف برای منابع نیاز نمی‌باشد.

غلامزاده، م، مرید، س، دلاور، م. ۱۳۹۰. استفاده از سیستم هشدار سریع خشکسالی برای بهره‌برداری مخزن سد زاینده رود. نشریه آب و خاک، ۱۵(۵۶): ۳۵-۵۰.

Bowen, H. D., Colwick, R. F., Batchelder, D. G. 1973. Computer simulation of crop production: potential and hazards. Agric. Eng., 54 (10): 42-45.

در مورد کتاب‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار، عنوان و ناشر، تعداد صفحات کتاب.

در مورد پایان نامه‌ها و رساله‌ها نام خانوادگی و حرف اول نام دانشجو، سال دفاع، عنوان، نوع رشته و محل اجرا.

در متن مقاله روش ذکر منابع بصورت زیر است:

نام نویسندگان در متن به فارسی ارائه گردد. چنانچه در متن از نام خانوادگی نگارنده‌ای به عنوان مرجع استفاده شود، تاریخ مربوطه بلافاصله در کمانک‌ها به فارسی آورده شود. اسامی نویسندگان انگلیسی در پانویس همان صفحه و در هر صفحه شروع از شماره یک ذکر گردند.

چنانچه مرجعی توسط یک یا دو نفر نوشته شده باشد، نام خانوادگی نگارنده یا نگارندگان آورده می‌شود. اما در صورتیکه مرجع توسط بیش از دو نگارنده نوشته شده باشد، نام خانوادگی نگارنده اول همراه با عبارت " و همکاران " آورده شود.

### عنوان انگلیسی

آدرس و ایمیل نگارندگان بعد از نام و نام خانوادگی آن‌ها تمامی به لاتین آورده شود.

### چکیده انگلیسی

چکیده انگلیسی باید عیناً منطبق با چکیده فارسی باشد.

### واژه‌های کلیدی انگلیسی

حداکثر شش واژه کلیدی انگلیسی مربوط به موضوع تحقیق مقاله ذکر گردد و باید ترجمه واژه‌های کلیدی فارسی باشد.

### جدول‌ها

جدول‌ها لازم است دارای بالانویس جامع و با کیفیت بالا (با فونت نازنین ۱۰ به صورت Bold) باشند. تا آنجا که امکان دارد تعداد جدول‌ها به حداقل ممکن برسد. عنوان جداول در بالا و وسط‌چین و گویای نتایج مندرج در آن باشد. اعداد داخل جدول حتماً فارسی و با فونت BNazanin اندازه ۹ پررنگ باشد. هر جدول با یک خط افقی از عنوان آن و با یک خط افقی از متن جدول جدا و زیر متن جدول نیز خطی کشیده شود. از کشیدن هر گونه خط عمودی در جدول خودداری شود (مانند جدول ۱). محل جدول‌ها در متن مقاله باشد.

جدول ۱- میانگین متغیرهای هواشناسی ساعتی اندازه‌گیری شده در ایستگاه مطالعاتی

۹	۶	ساعات شبانه‌روز
۱۵/۱	۱۲/۵	دما (درجه سانتی‌گراد)
۳۳	۳۵	رطوبت نسبی (درصد)
۰/۳	۱/۲	سرعت باد (متر بر ثانیه)

### شکل‌ها

شکل‌ها لازم است با کیفیت بالا و زیرنویس جامع (با فونت نازنین ۱۰ پررنگ به صورت وسط‌چین) ارائه شوند. شکل بلافاصله پس از ارجاع شماره شکل در متن، ارائه شود. نمودارها به گونه‌ای تهیه شوند که در چاپ سیاه و سفید قابل تشخیص از یکدیگر باشند. محل شکل‌ها در متن مقاله باشد.

### معادله‌ها

معادله‌ها باید به ترتیب با اعداد فارسی داخل پرانتز در انتهای سمت راست متن شماره‌گذاری شده و اشاره به آن‌ها در متن با آوردن شماره معادله داخل کمانک ضروری است.

## نشریه هواشناسی کشاورزی

### فرم اشتراک نشریه

اینجانب ..... با مشخصات ذیل تقاضای اشتراک یکساله (دو شماره) نشریه هواشناسی کشاورزی را دارم.

- نام شرکت/ سازمان متقاضی:  
آدرس شرکت/ سازمان متقاضی:  
تلفن:  
فکس:  
شماره و تاریخ فیش/ حواله بانکی:
- نام و نام خانوادگی شخص متقاضی:  
آدرس محل کار متقاضی:  
آدرس منزل متقاضی:  
شماره تلفن منزل:  
تلفن محل کار:  
شماره و تاریخ فیش/ حواله بانکی:  
تلفن همراه:  
مبلغ پرداختی:

Email:

مبلغ اشتراک یکساله ۵۰۰/۰۰۰ ریال می باشد که بایستی به شماره حساب ۲۲۵۱۱۱۹۷۲۷ به نام بهرام بختیاری، محمد جواد خانجانی و نودر قهرمان نزد بانک تجارت شعبه دانشگاه شهید باهنر کرمان واریز و تصویر فیش واریزی به دفتر نشریه ارسال گردد. شروع اشتراک بر حسب تاریخ دریافت یا درخواست مشترک از همان شماره یا ابتدای سال خواهد بود. لازم به توضیح است در صورت نیاز به شماره‌های قبلی مراتب را ذیلاً اعلام فرمایید. بهای دو جلد قبلی نیز به شرح فوق می‌باشد.

هر گونه تغییر احتمالی قیمت‌ها در ذخیره اشتراک شما اعمال خواهد شد.

امضاء:

\*\* در صورت تغییر آدرس مراتب را اعلام فرمائید.

# *In The Name of God*

## **Contents**

<b>Assessment of model fusion strategy for increasing the accuracy of autumn rainfall forecasting</b> F. Modaresi, S. Araghinejad, K. Ebrahimi	1
<b>Comparison of different regional estimation methods for daily minimum temperature (A case study of Isfahan province)</b> Gh. Fadavi, J. Bazrafshan, N. Ghahreman	14
<b>Quantifying the risk of heavy rainfall and its damage to agriculture in Iran</b> A. Khalili	24
<b>Application of physiological equivalent temperature index for determination of suitable regions for agritourism in Kerman province</b> A. Bakhtiari	34
<b>Estimating the land surface albedo using Level1-G and CDR Landsat -7 satellite images</b> A. A. Sabziparvar, E. Fakharizadeh Shirazi, S. Marofi, Y. Rezaei	45
<b>The effects of different concentrations of carbon dioxide and irrigation regimes on quantitative and qualitative characteristics of lentil (variety Bileh-savar)</b> Sh. Shams, M. Mousavi Baygi, A. Alizadeh, M. Shoor, A. A. Kamgar-Haghighi	55
<b>Technical Note: Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars province</b> Gh. Fallah Ghalhari, M. Asadi, A. Dadashi Roudbari	68

## **Reviewer and Associate Editors of this Issue**

<b>Dr. M. M. Ahmadi</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. Z. Sariatmadari</b>	University of Tehran
<b>Dr. I. Babaeian</b>	Climatological Research Institute
<b>Dr. B. Bakhtiari</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. S. Bazgeer</b>	University of Tehran
<b>Dr. J. Bazrafshan</b>	University of Tehran
<b>Dr. B. Ghahraman</b>	Ferdowsi University of Mashhad
<b>Dr. N. Ghahreman</b>	University of Tehran
<b>Dr. K. Ghorbani</b>	Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
<b>Dr. P. Irannejad</b>	University of Tehran
<b>Dr. A. Khalili</b>	University of Tehran
<b>Dr. R. Mostafa Zadeh</b>	University of Mohaghegh Ardabili
<b>Dr. M. Mousavi Baygi</b>	Ferdowsi University of Mashhad
<b>Dr. K. Qaderi</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. M. Raeini</b>	Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
<b>Dr. N. Sayari</b>	Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Dr. H. Yazdan Panah</b>	University of Isfahan

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research & Scientific Journal

Vol. 3      No. 2      Autumn & Winter, 2015

**Published by:** Iranian Society of Irrigation and Water Engineering

**Executive Director:** B. Bakhtiari      Shahid Bahonar University of Kerman

**Editor- in-Chief:** A. Khalili      University of Tehran

**Internal Manager:** N. Ghahreman      University of Tehran

**Editorial board:**

<b>Bakhtiari, B.</b>	Assis., Prof., Shahid Bahonar University of Kerman	<b>Irannejad, P.</b>	Assoc., Prof., University of Tehran
<b>Barani, Gh. A.</b>	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman	<b>Kamali, Gh. A.</b>	Assoc., Prof., Islamic Azad University, Scence and Research Branch, Tehran
<b>Bolouri zadeh, M.</b>	Assoc., Prof., Graduate University of Advance Technology	<b>Khalili, A.</b>	Prof., University of Tehran
<b>Ghahreman, N.</b>	Assoc., Prof., University of Tehran	<b>Khanjani, M. J.</b>	Prof., Shahid Bahonar University of Kerman
<b>Hajjam, S.</b>	Assoc., Prof., Islamic Azad University, Scence and Research Branch, Tehran	<b>Raeini, M.</b>	Assoc., Prof., Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

**Literature Editors:** B. Bakhtiari, N. Ghahreman

**Graphics and Page Setting:** M. Ganjalikhani, Z. Afzali Gorouh

**Publisher:** Iranian Society of Irrigation & Water Engineering

**The papers of journal of agricultural meteorology are indexed by:**

ISC, SID, Magiran

**Address:** Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.  
Postal code: 76169-14111      Tel./Fax. : +983433226090

**E-mail:** Agromet\_journal@yahoo.com      **Website:** http://agmj.ir