

به نام خدا

نشریه هواشناسی کشاورزی

جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸

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

سر دبیر:

علی خلیلی

مدیر داخلی:

نوذر قهرمان

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	دانشیار (دانشگاه شهید باهنر کرمان)	رئینینی، محمود	استاد (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری)
بلوری زاده، محمد آقا	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

ویراستار بخش انگلیسی: دکتر نوذر قهرمان

طرح روی جلد: معین گنجعلیخانی

مسئول دبیرخانه نشریه: 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: ۰۳۴-۳۳۲۵۷۱۹۰

وب سایت: <http://agrimet.ir>

پست الکترونیک: agromet_journal@yahoo.com

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



داوران این شماره

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 سمنان	دکتر محمد رحیمی
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر نسرين سياری
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر خلیل قربانی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر بیژن قهرمان
دانشگاه تهران	دکتر نوذر قهرمان
دانشگاه شهید باهنر کرمان	دکتر روح‌الله مرادی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر ابوالفضل مساعدي
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محمد موسوی بایگی



فهرست مقالات

- ۱ سخن سردبیر
علی خلیلی
- ۳ ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه (مطالعه موردی: حوضه سفیدرود)
حسین دهبان، کیومرث ابراهیمی، شهاب عراقی‌نژاد، جواد بذرافشان
- ۱۳ ارزیابی بخار آب قابل بارش داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR با رادیوسوند برای ایستگاه شیراز
امین شیروانی، حسن نوروزی
- ۲۲ ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش فصل رشد گندم دیم در استان کردستان
مجتبی شکوهی
- ۳۶ بررسی اثرگذاری گونه‌های درختی بر گسیل گازهای گلخانه‌ای از خاک جنگل‌های دست‌کاشت (مطالعه موردی: ساری)
لیلا وطنی، سید محسن حسینی، محمود رایینی سرجاز، سید جلیل علوی
- ۴۷ بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر توزیع مکانی مناطق کشت ذرت در استان خوزستان
آمنه دشت بزرگی، بهلول علیجانی، علیرضا شکبیا
- ۵۹ برآورد هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت در شرایط پتانسیل تولید زراعی
حمیدرضا افشارنادری، نوذر قهرمان، پرویز ایران‌نژاد



سخن سردبیر



ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه (مطالعه موردی: حوضه سفیدرود)

حسین دهبان^۱، کیومرث ابراهیمی^{۲*}، شهاب عراقی نژاد^۳، جواد بذرافشان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰

چکیده

پیش‌بینی بارش در مقیاس فصلی و ماهانه اهمیت زیادی در مدیریت بهینه منابع و مطالعات اقلیمی-کشاورزی دارد. هدف مطالعه حاضر ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه حوضه آبریز سفیدرود است. برای این منظور، داده‌های پیش‌بینی تاریخی مدل‌های NMME از تارنمای دانشگاه کلمبیا و داده‌های بارش ایستگاه‌های همدیدی موجود در منطقه از سازمان هواشناسی کشور برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۷ دریافت شدند. با به‌کارگیری روش‌های آماری، دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش ماهانه در مقایسه با داده‌های مشاهداتی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مدل‌های NMME به تنهایی دارای دقت مناسبی نمی‌باشد، به گونه‌ای که حداکثر مقدار میانگین ضریب تبیین محاسبه شده ۰/۶ به دست آمد. ترکیب نتایج چند مدل پیش‌بینی نشان داد که دقت پیش‌بینی‌ها را می‌توان تا حد قابل قبولی افزایش داد، به طوری که میانگین مقادیر ضریب تبیین به ۰/۷ افزایش یافت. همچنین برای بررسی عدم قطعیت پیش‌بینی بارش، ۷۸ عضو از مدل‌های پیش‌بینی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، مدل‌ها در برخی از ماه‌های سال بیش‌برآورد (با احتمال نزدیک به ۸۰ درصد)، دارند. همچنین تحلیل عدم قطعیت مدل‌های پیش‌بینی نیز نشان داد که با ترکیب نتایج مدل‌های مختلف، می‌توان بازه عدم قطعیت را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بارش، پیش‌بینی، عدم قطعیت، همادی

مقدمه

فراهم می‌کند (Vitart et al., 2012). مطالعات زیادی به استفاده از پیش‌بینی‌های هواشناسی و اقلیم در مدیریت منابع آب در سطح جهان پرداخته‌اند که اهمیت این نوع از پیش‌بینی‌ها را برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب نشان می‌دهد. از این پژوهش‌ها می‌توان به پیش‌بینی مصارف آب (Altunkaynak and Nigussie, 2017)، پیش‌بینی خشکسالی جهت مدیریت اکولوژیکی و مدیریت منابع آب (Ma et al., 2018)، ارزیابی پیش‌بینی‌های فصلی اقلیمی برای تصمیم‌گیری (Bruno Soares et al., 2018)، مدیریت آب زیرزمینی برای کشاورزی (Fallon et al., 2019)، پیش‌بینی دمای فصلی (Najafi et al., 2018)، پیش‌نگری اثرات کمی تغییر اقلیم (Khalili et al., 2016) اشاره کرد. قبل از این که از پیش‌بینی‌های فصلی از جمله پیش‌بینی بارش ماهانه در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع استفاده شود باید ابتدا دقت نتایج پیش‌بینی‌های انجام شده، مورد ارزیابی قرار گیرد. روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی بارش ماهانه وجود دارد. مدل‌هایی که در پژوهش حاضر از آن‌ها برای پیش‌بینی بارش در مقیاس

استفاده از اطلاعات پیش‌بینی هیدرواقلمی برای بهبود مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی بهینه در سامانه‌های منابع آب، مفید است چرا که رابطه تنگاتنگی بین مدیریت منابع آب و هواشناسی وجود دارد و اطلاعات هیدرواقلمی پیشرفته و نوین برای پشتیبانی و توسعه بهتر مدیریت منابع آب، مفید است (Barsugli et al., 2012). پتانسیل پیش‌بینی در مقیاس فصلی به ویژه برای جریان آب، باعث افزایش راندمان تخصیص آب و ارائه خدمات بهتر به حوزه‌های مختلف می‌شود. استفاده از چنین پیش‌بینی‌هایی توانایی آماده شدن و مقابله با شرایط پیش‌بینی شده در آینده را فراهم می‌کند و به طور بالقوه خطرات مربوط به آب و هوا را کاهش داده و بستر را برای استفاده درست از فرصت‌ها

^۱ دانشجوی دکترای مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران

^۲ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: EbrahimiK@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.154084.1043

^۳ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۴ دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

ماهانه و فصلی استفاده شده است، مدل های عددی اقلیمی هستند. یکی از معروف ترین این مدل ها، مدل اقلیمی CFSv2^۱ (Saha et al., 2014) می باشد که توسط مرکز ملی پیش بینی های زیست محیطی آمریکا (NCEP)^۲ توسعه داده شده است. مطالعات متعددی نیز در نقاط مختلف جهان به ارزیابی دقت پیش بینی این نوع مدل ها در مقیاس ماهانه و فصلی پرداخته اند و اکثراً به این نتیجه رسیدند که استفاده از این مدل ها باعث ایجاد پتانسیل خوبی در پیش بینی پارامترهای اقلیمی در مقیاس ماهانه و فصلی در جهان شده است. برای مثال در پژوهشی، پتانسیل و دقت مدل CFSv2 در پیش بینی بارش و دمای ۲ متری از سطح زمین در ۱۷ منطقه از چین مورد ارزیابی قرار گرفت به این صورت که داده های شبکه ای پیش بینی شده نسبت به داده های مشاهداتی شبکه ای برای دوره ۲۰۰۷ تا ۱۹۸۲ با هم مقایسه شدند. هدف از پژوهش آن ها، شناسایی مناطق و فصل هایی از سال بود که در آن ها، دقت پیش بینی مدل، بالا باشد. نتایج پژوهش نشان داد که دقت مدل CFSv2 در پیش بینی بارش و دمای ۲ متری، بسیار وابسته به نوع منطقه و فصل پیش بینی است. همچنین نتایج آن ها نشان داد که دقت مدل CFSv2 در پیش بینی دما فصلی، بیش تر از دقت پیش بینی بارش فصلی بوده است (Lang et al., 2014). در پژوهش دیگری که در اروپا انجام شد نتایج پیش بینی همادی مدل های فصلی شمال آمریکا (NMME)^۳ مورد بررسی قرار گرفت. آن ها نتایج ۸ مدل پیش بینی فصلی موجود در مرکز NMME را برای پیش بینی فصلی در اروپا با استفاده از روش های مختلف ترکیب مدل ها، به پیش بینی همادی تبدیل کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که استفاده مدل ها به صورت جداگانه در پیش بینی فصلی، دارای مهارت خوبی نبوده و استفاده از روش های مختلف ترکیب کردن نتایج مدل ها (پیش بینی همادی) باعث افزایش دقت پیش بینی خواهد شد (Slater et al., 2017). در پژوهش دیگری که برای پیش بینی دمای فصلی در حوضه های آبریز ایران انجام شد، دقت مدل های مرکز NMME مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از مدل های پیش بینی مرکز NMME در پیش بینی دمای فصلی دارای

خطای زیادی است و اگر از ترکیب نتایج پیش بینی مدل های مختلف استفاده شود، نتایج پیش بینی حاصل (پیش بینی همادی) قابل اعتماد خواهد بود (Najafi et al., 2018). در پژوهش دیگری در کشور چین به بررسی مدل های مرکز NMME جهت بهبود نتایج پیش بینی بارش پرداخته شد. در پژوهش مذکور، از روش های پس پردازش یادگیری ماشین^۴ و موجک^۵ جهت حذف خطای پیش بینی بارش استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که روش های پس پردازش مذکور به عنوان یک ابزار مفید برای حذف خطای سیستماتیک مدل های NMME قابل استفاده هستند و باعث بهبود نتایج پیش بینی بارش خواهند شد (Xu et al., 2019). در ارتباط با استفاده از نتایج مدل های پیش بینی اقلیمی در مقیاس زمانی فصلی و ماهانه در امر مدیریت منابع آب نیز مطالعاتی توسط برخی از پژوهشگران انجام شده است. برای مثال Shamir (2017) پژوهشی را در رابطه با استفاده از پیش بینی های جریان فصلی در مدیریت منابع آب در یکی از حوضه های آبریز آریزونا که با محدودیت ذخیره آبخوان مواجه بود، انجام داد. او با استفاده از شاخص های نوسانات جنوبی و همچنین مدل پیش بینی فصلی اقلیمی CFS، پیش بینی پارامترهای هواشناسی را تا ۴ ماه آینده مورد بررسی قرار داد. نتایج پژوهش او نشان داد که با به کارگیری نتایج پیش بینی در مدیریت و بهره برداری از مخازن آب زیرزمینی، باعث می شود تا در منطقه مورد مطالعه، از شدت میزان افت سطح آب زیر زمینی کاسته شود. مطالعات گذشته همچنین نشان می دهد که تاکنون در اکثر موارد، برای پیش بینی هیدرولوژیکی از جمله جریان ورودی به مخازن آب، از روش های آماری و مدل های داده مبنا استفاده شده است. برای مثال می توان به برخی از این پژوهش ها ارتباط با پیش بینی هیدرولوژیکی از جمله رگرسیون (Schick et al., 2018)، شبکه های عصبی (Xu et al., 2009؛ Dariane and Azimi, 2018)، مدل های مبتنی بر سری زمانی (Reza et al., 2018؛ Nazir et al., 2019؛ Gharde et al., 2016) اشاره نمود. این در صورتی است که در اکثر مناطق ایران با مشکل کمبود داده مواجه هستیم و مدل های داده مبنا را نمی توان با دقت مناسب توسعه داد. از طرفی بررسی پژوهش های

⁴ Machine learning

⁵ Wavelet

¹ Climate Forecasting System-version 2

² National Centers for Environmental Prediction

³ North American Multi-Model Ensemble

۲۰۱۷ دریافت شدند که جزئیات بیش‌تر این مدل‌ها در بخش مدل‌های پیش‌بینی فصلی اقلیمی ارائه شده است.

Table 1- Long-term averaged precipitation (mm) of the synoptic stations

جدول ۱- میانگین بلند مدت بارش (mm) مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Oct.	Nov.	Dec.
Mianeh	29	26	36	22	31	29
Khalkhal	27	37	48	34	44	32
Khodabande	36	44	60	26	53	43
Zanjan	25	29	39	24	34	27
Bijar	35	34	54	27	46	37
Zareineh-obato	37	40	56	28	54	39
Ghorve	33	36	59	25	46	36

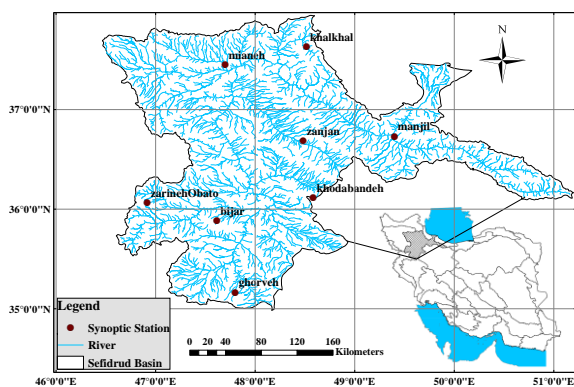


Figure 1- Location of study area and spatial distribution of selected synoptic stations

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های همدیدی منتخب

مدل‌های عددی پیش‌بینی فصلی

مدل‌های پیش‌بینی فصلی اقلیمی از جمله مدل‌های گردش عمومی جو هستند که پیش‌بینی از چند هفته تا چند ماه از خصوصیات جو را انجام می‌دهند. این مدل‌ها در مقایسه با پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت آب و هوا که بسیار وابسته به شرایط اولیه جو هستند (Vitart et al., 2008) وابستگی زیادی به ترکیب سیستم آب و هوایی مثل دمای سطح آب و رطوبت خاک دارند (Troccoli, 2010).

مدل‌های پیش‌بینی مرکز NMME

مرکز NMME پروژه‌ای است که از سال ۲۰۱۱ شروع به کار کرده است و هدف آن ارائه پیش‌بینی‌های نزدیک به زمان واقعی با دقت بالا با همادی کردن نتایج مدل‌های مختلف است (Kirtman, 2014). این مرکز متشکل از مراکز پیش‌بینی آمریکا (NASA)، NOAA/NCEP،

گذشته نشان می‌دهد که پتانسیل خوبی در ارتباط با مدل‌های اقلیمی برای پیش‌بینی متغیرهای هیدرواقلمی در مقیاس زمانی ماهانه و فصلی وجود دارد. بنابراین به عنوان یک راهکار جایگزین به جای روش‌های سنتی، می‌توان از مدل‌های اقلیمی برای پیش‌بینی هیدرولوژیکی در مقیاس فصلی و ماهانه استفاده نمود. بررسی سوابق مطالعاتی نشان می‌دهد که تا کنون مطالعات گسترده‌ای در ارزیابی پیش‌بینی ماهانه و فصلی بارش با استفاده از نتایج مدل‌های اقلیمی جهانی در ایران انجام نشده است و ارزیابی دقت این مدل‌ها در پیش‌بینی بارش حوضه‌های آبریز ایران به طوری که بتوان در مدیریت و بهره‌برداری بهنگام از منابع آب، استفاده نمود، مورد بررسی قرار نگرفته است. عمده مطالعات انجام شده در ایران مرتبط با پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت جهت استفاده در سامانه‌های هشدار سیل بوده و در مقیاس ماهانه و فصلی نیز روش‌ها سنتی به کار گرفته شده است. لذا هدف اصلی در پژوهش حاضر، ارزیابی پتانسیل استفاده از پیش‌بینی‌های ماهانه مدل‌های اقلیمی جهانی برای پیش‌بینی بارش در حوضه آبریز سفیدرود است. انتظار می‌رود که از نتایج این پژوهش بتوان در مراحل بعدی برای امور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه آبریز سفیدرود در نظر گرفته شد و ایستگاه‌های همدیدی با حداقل طول دوره آماری ۲۵ سال موجود در حوضه آبریز انتخاب شدند. داده‌های بارش مشاهداتی از سازمان هواشناسی ایران دریافت به عنوان داده‌های دیده‌بانی شده تاریخی جهت مقایسه با پیش‌بینی تاریخی بارش حاصل از مدل‌های پیش‌بینی در نظر گرفته شدند. در جدول ۱ مشخصات کلی ایستگاه‌های همدیدی همراه با میانگین بلندمدت بارش در ماه‌های مورد بررسی و در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های همدیدی موجود در آن ارائه شده است. داده‌های پیش‌بینی تاریخی حاصل از مدل‌های پیش‌بینی فصلی نیز از وبگاه اینترنتی دانشگاه کلمبیا^۱ برای دوره ۱۹۸۲ تا

² National Aeronautics and Space Administration

¹ <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/monanom.shtml>

رگرسیون گام به گام^۶

در آمار، رگرسیون گام به گام یک روش مناسب برای مدل‌های رگرسیون است که در آن انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده با روش خودکار انجام می‌شود و معمولاً برای داده‌هایی استفاده می‌شود که معیار سنجش آن‌ها فاصله‌ای است. رگرسیون خطی به دو صورت رگرسیون خطی ساده و رگرسیون خطی چندمتغیره مطرح می‌گردد. رویکرد انتخاب متغیر به عنوان پیش‌بینی کننده در رگرسیون گام به گام به صورت انتخاب پیش‌رو، پس‌رو و روش دو طرفه است (Efronson, 1960). در پژوهش حاضر با استفاده از رگرسیون گام به گام برای انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی کننده و همچنین ترکیب مدل‌های پیش‌بینی بارش استفاده خواهد شد.

طبقه‌بندی بارش

در پژوهش حاضر برای طبقه‌بندی بارش به سه کلاس نرمال، زیر نرمال و بالاتر از نرمال، از شاخص درصد بارش نرمال (PNPI)^۷ استفاده شد. بر اساس شاخص PNPI، بارش را می‌توان به ۹ طبقه تقسیم نمود ولی در پژوهش حاضر سعی شد تا کلاس مربوط به نرمال را مبنای قرار داده و سایر کلاس‌های بالاتر و پایین‌تر از نرمال را به دو طبقه کلی بالاتر و پایین‌تر از نرمال در نظر بگیریم. شاخص PNPI از معادله ۱ و معمولاً در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه محاسبه می‌شود (Morid et al., 2006).

$$PNPI = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله، P_i میزان بارش در سال و یا ماه i ام و \bar{P} میانگین بارش بلندمدت متناظر با آن می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج پیش‌بینی ماهانه بارش حاصل از ۶ مدل پیش‌بینی NMME از درگاه اینترنتی مربوطه برای ۶ ماه میلادی (اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) با زمان پیش‌بینی متفاوت (شرایط اولیه متفاوت) دریافت شدند. به این صورت که بارش هر ماه میلادی با سه زمان پیش‌بینی مختلف پیش‌بینی شده است. در پژوهش حاضر پیش‌بینی بارش برای ماه‌های میلادی که متناسب با آن در ایران نیز شروع بارش‌ها است انجام شده است. این

ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی بارش (NCAR،^۱ IRI،^۲ NOAA/GFDL (CMC)^۳ است (Slater et al., 2017). در جدول ۲ اطلاعات برخی از مدل‌های موجود در پایگاه داده NMME آورده شده است.

Table 2- Seasonal forecasting models used in this research from NMME center

جدول ۲ - مدل‌های پیش‌بینی فصلی مورد استفاده از مرکز NMME

Model	Hindcast	Resolution	Lead time
CVSv2	1982 to present	1°	1-11 month
COLA-RSMAS-CCSM4			
CMC1-CanCM3	1981 to present	1°	1-11 month
CMC2-CanCM4			
GFDL-CM2p5-FLOR-A06	1980 to present	1°	1-11 month
GFDL-CM2p5-FLOR-B01			

ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی بارش

به منظور ارزیابی دقت نتایج پیش‌بینی بارش حاصل از مدل‌های پیش‌بینی در مقایسه با داده‌های مشاهداتی (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴)، از روش رگرسیونی گام به گام و شاخص‌های آماری ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)^۵ استفاده شد. به این صورت که ابتدا داده‌های پیش‌بینی تاریخی مدل پیش‌بینی تاریخی بارش ماهانه برای در سطح محدوده مطالعاتی و برای پیش‌بینی‌های صدور ماه‌های مختلف و زمان پیش‌بینی از ۱ تا ۳ ماه آینده تهیه شد. سپس از داده‌های بارش ماهانه ۸ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی برای مقایسه و ارزیابی بارش پیش‌بینی (تصحیح و تدقیق پیش‌بینی) استفاده گردید. لازم به ذکر است که پیش‌بینی بارش در ماه‌های خشک سال لحاظ نشده است و پیش‌بینی بارش ماه‌های میلادی ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر در نظر گرفته شده است. به این صورت که بارش هر یک از این ماه‌ها در زمان پیش‌بینی مختلف (صدور پیش‌بینی در ماه‌های مختلف از ۱ تا ۳ ماه قبل) بررسی شده است.

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration

² Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Climate Model

³ International Research Institute for Climate and Society

⁴ Canadian Coupled Global Climate Model

⁵ Root Mean Square Error

⁶ Stepwise Regression

⁷ Percent Normal Precipitation Index

وجود داشته باشد. به عبارتی جابجایی مکانی بارش نیز بررسی شده است. برای نمونه در شکل ۲، نتایج مربوط انتخاب بهترین مدل پیش‌بینی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه از سه زمان پیش‌بینی مختلف به صورت متوسط هر سه زمان پیش‌بینی ارائه شده است. انتخاب بهترین مدل بر اساس دو معیار RMSE (کم‌ترین مقدار) و معیار همبستگی (بیش‌ترین مقدار) صورت گرفته است. بر اساس این شکل، دو مدل GFDL از لحاظ شاخص‌های آماری مورد بررسی، در پیش‌بینی بارش ماه ژانویه (در پیش‌بینی‌های صادره از دسامبر، نوامبر و اکتبر) در ایستگاه‌های واقع در غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه، کارایی بالایی داشته و در ایستگاه‌های شرقی حوضه، مدل CFSv2 به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. در جدول ۳ نیز برای نمونه، ضریب تبیین (R^2) در پیش‌بینی بارش ژانویه (صدور پیش‌بینی از ۱ تا ۳ ماه قبل) بر اساس بهترین مدل منتخب در هر ایستگاه ارائه شده است.

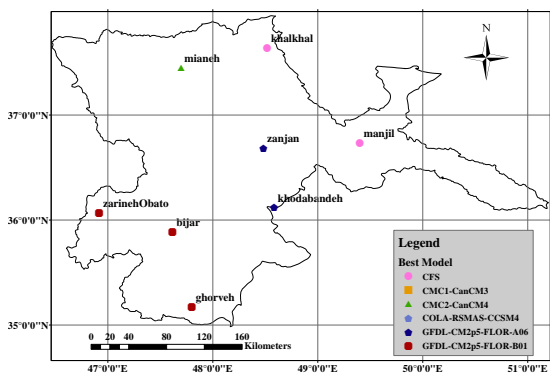


Figure 2- Best forecasting model at each station
شکل ۲- بهترین مدل پیش‌بینی در هر ایستگاه

بر اساس جدول ۳، در ماه ژانویه میزان R^2 بر اساس بهترین مدل پیش‌بینی عمدتاً بین ۰/۴ تا ۰/۶ برای پیش‌بینی‌های صادره از یک ماه قبل می‌باشد و این میزان همبستگی برای پیش‌بینی در مقیاس ماهانه تقریباً قابل قبول می‌باشد زیرا در پژوهش‌های مشابه انجام شده در سایر کشورها از جمله (Slater et al., 2017) که به ارزیابی دقت مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش پرداخته‌اند عمدتاً به همین میزان همبستگی دست یافته‌اند. میزان R^2 در ایستگاه بیجار و برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه از یک ماه قبل ۰/۷۷ بوده است و از سایر ایستگاه‌ها بالاتر است. کم‌ترین مقدار R^2 نیز برای پیش‌بینی از یک ماه قبل بارش ماه ژانویه نیز در ایستگاه خداپنده و به مقدار ۰/۳۶ بوده است.

ماه‌ها شامل ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، مه، اکتبر، نوامبر و دسامبر می‌باشد و برای هر ماه، ۳ پیش‌بینی متفاوت (پیش‌بینی صادره برای ۱ تا ۳ ماه آینده) موجود می‌باشد. لازم به ذکر است که پیش‌بینی هر ماه برای دوره تاریخی از ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۷ انجام شده است و امکان ارزیابی هر یک از مدل‌های پیش‌بینی را با استفاده از روش‌های آماری فراهم کرده است. برای انجام پژوهش حاضر، نتایج ۶ مدل پیش‌بینی در محدوده حوضه آبریز سفیدرود (شامل پیکسل‌های پیش‌بینی مدل) دریافت شدند و با استفاده از داده‌های دیده‌بانی شده ۸ ایستگاه هم‌دیدگی موجود در منطقه با طول آماری مناسب، پس‌پردازش هر یک از مدل‌های پیش‌بینی صورت گرفت و میزان همبستگی و خطای هر یک از مدل‌ها برای اجرای مدل‌ها در دوره تاریخی محاسبه و ارزیابی شد. در ادامه نتایج مربوط به ارزیابی دقت پیش‌بینی هر یک از مدل‌ها (نتایج حاصل از تحلیل همبستگی و رگرسیون) ارائه شده است.

ارزیابی دقت مدل‌ها به صورت منفرد

در ابتدا دقت پیش‌بینی بارش انجام شده توسط ۶ مدل مورد بررسی به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نتایج پیش‌بینی بارش دوره تاریخی هر یک از مدل‌های بارش مشاهداتی هر یک از ایستگاه‌ها با هم مقایسه گردید. ابتدا نتایج هر مدل پیش‌بینی برای گره‌های هم‌جوار هر ایستگاه و برای زمان پیش‌هشدار یا زمان پیش‌بینی ۱ تا ۳ ماه برای ماه‌های مورد بررسی به صورت سری زمانی تهیه شد و در مرحله بعد میزان همبستگی و شاخص RMSE بارش مشاهداتی و بارش پیش‌بینی شده در هر یک از گره‌ها محاسبه گردید. در واقع بهترین گره‌ها به عنوان گره پیش‌بینی کننده بارش در ایستگاه انتخاب شدند. لازم به ذکر است که در مواردی برای ایستگاه بیش از یک گره نیز به عنوان بهترین گره انتخاب شد که در نهایت با ترکیب خطی آن‌ها، یک رابطه خطی بین بارش ایستگاه و بارش پیش‌بینی شده به دست آمد. این کار برای هر ۶ مدل مورد بررسی انجام شد و در نهایت بهترین مدل در هر ایستگاه متناسب با تحلیل گره‌ها مجاور انتخاب گردید. دلیل انتخاب گره‌های مجاور این بود که چنانچه بارش پیش‌بینی شده دارای جابجایی مکانی باشد و بارش پیش‌بینی شده توسط مدل با مکان ایستگاه فاصله داشته باشد (اریبی مکانی)، امکان تشخیص و اصلاح آن

میانگین بلندمدت بارش، اندکی قابل توجه است. بنابراین کم تر می توان به نتایج پیش بینی مدل ها در حالت انفرادی برای پیش بینی های صادره بیش از یک ماه اعتماد کرد. باید توجه داشت که این موضوع در همه ایستگاه های مورد بررسی صادق نبوده یا به عبارت دیگر از نتایج مدل های پیش بینی به صورت انفرادی می توان در برخی از مناطق استفاده شود. لازم به ذکر است که مدل منتخب به عنوان بهترین مدل پیش بینی در هر یک از ایستگاه های مورد بررسی واقع در حوضه آبریز سفیدرود در پیش بینی بارش ماه های مختلف، متفاوت بوده است. به عنوان مثال، بهترین مدل منتخب پیش بینی در پیش بینی بارش ژانویه با بهترین مدل ماه نوامبر با هم متفاوت بوده است. از این رو برای پیش بینی بارش هر ماه یا باید از مدل مناسب در ماه مورد نظر استفاده شود و یا اینکه با تلفیق نتایج مدل ها با توجه به درجه اهمیت هر یک از آن ها در ماه مورد هدف، به یک سامانه همادی چند مدلی پیش بینی دست یافت به طوری که از آن بتوان در تمامی ماه ها و یا در حداکثر تعداد ماه ها جهت پیش بینی بارش به صورت عملیاتی (استفاده در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب) استفاده نمود. از این رو در پژوهش حاضر سعی شد تا با ترکیب نتایج مدل ها، دقت مدل ها را در پیش بینی بارش افزایش داد و همچنین به مدل پیش بینی قابل اعتماد در تمام ماه های مورد بررسی دست یافت. برای ترکیب مدل ها با یکدیگر از رگرسیون گام به گام استفاده شد. در جدول ۵ نتایج ارزیابی تلفیق مدل های پیش بینی (همادی کردن ۶ مدل) به طور متوسط برای کل ایستگاه های مورد بررسی نشان داده شده است.

Table 5- Root Mean Square Error of predicted precipitation compared to observation precipitation (For combining models)

جدول ۵- ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا بارش پیش بینی شده در مقایسه با بارش مشاهداتی (برای تلفیق مدل ها)

Index	Jan.	Feb.	Mar.	Oct.	Nov.	Dec.
Lead time: 1 month						
R ²	0.73	0.68	0.71	0.61	0.65	0.74
RMSE	6.8	8.4	5.1	8.8	6.8	4.2
Lead time: 2 month						
R ²	0.58	0.63	0.55	0.51	0.61	0.46
RMSE	10.0	11.7	9.2	12.1	10.9	9.5
Lead time: 3 month						
R ²	0.51	0.45	0.40	0.49	0.53	0.59
RMSE	13.8	12.0	14.3	14.5	15.4	17.6

Table 3- Coefficient of determination of predicted precipitation of Jan compared to observation precipitation

جدول ۳- ضریب تبیین بارش پیش بینی شده در مقایسه با بارش مشاهداتی

Station	IC ¹ from Oct	IC from Nov	Forecast from Dec
Mianeh	0.26	0.34	0.47
Khalkhal	0.38	0.41	0.49
Khodabande	0.58	0.26	0.36
Zanjan	0.42	0.40	0.63
Bijar	0.49	0.56	0.77
Zareineh-obato	0.44	0.67	0.51
Ghorve	0.59	0.33	0.40
Manjil	0.41	0.44	0.53

بر اساس جدول ۳ همان طور که انتظار می رود میزان R² برای پیش بینی از یک ماه قبل نسبت به پیش بینی از دو و سه ماه قبل در اکثر ایستگاه های مورد بررسی بیش تر شده است به عبارت دیگر هرچه افق پیش بینی افزایش یابد، میزان دقت پیش بینی نیز کم می شود. برای پیش بینی بارش در ماه های دیگر نیز میزان R² در محدوده بین ۰/۴ تا ۰/۷ به دست آمد. در جدول ۴ نیز میزان مجذور میانگین مربعات خطای (RMSE) نمونه برای پیش بینی بارش ماه ژانویه ارائه شده است.

Table 4- Root Mean Square Error of predicted precipitation compared to observation precipitation (for single model In January)

جدول ۴- مجذور میانگین مربعات خطا بارش پیش بینی شده در مقایسه با بارش مشاهداتی (برای مدل منفرد در ماه ژانویه)

Station	IC from Oct	IC from Nov	IC from Dec
Mianeh	15.4	8.0	6.1
Khalkhal	14.0	10.0	5.5
Khodabande	11.0	9.0	7.2
Zanjan	12.0	11.7	5.0
Bijar	16.6	12.2	9.2
Zareineh-obato	17.0	13.9	12.4
Ghorve	13.1	13.2	10.7
Manjil	11.8	6.3	7.5

میزان RMSE در پیش بینی ماه ژانویه برای پیش بینی از یک ماه قبل بر اساس بهترین مدل در اکثر ایستگاه ها کم تر از ۱۰ میلی متر بوده که در مقایسه با میانگین بلندمدت بارش ماه ژانویه در ایستگاه های مورد بررسی، این میزان خطا قابل قبول می باشد (جدول ۴). برای پیش بینی های صادره از ۲ و ۳ ماه قبل نیز متوسط RMSE بین ۱۰ تا ۱۷ میلی متر بوده که در مقایسه با

¹ Initial Condition

صورت استفاده نتایج پیش‌بینی با لحاظ تمامی اعضای آن‌ها، احتمال بیش‌برآورد در پیش‌بینی بارش وجود خواهد داشت و لذا باید دقت نمود که نتایج قبل از استفاده در تصمیم‌گیری، اصلاح شوند. در شکل‌های ۳ و ۴ برای نمونه، نتایج مربوط به طبقه‌بندی بارش مربوط به ۱۰ عضو مدل CMC2-CanCM4 و مدل COLA-RSMAS-CCSM4 برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه (به طور متوسط برای پیش‌بینی از ۱ تا ۳ ماه قبل) نشان داده شده است.

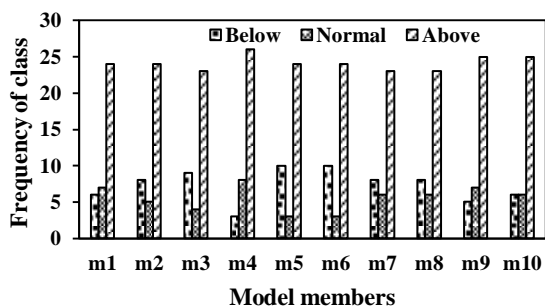


Figure 3- Frequency of precipitation in different classes- members of the CMC2-CanCM4 model
شکل ۳- فراوانی بارش در کلاس‌های مختلف - اعضای مدل CMC2-CanCM4

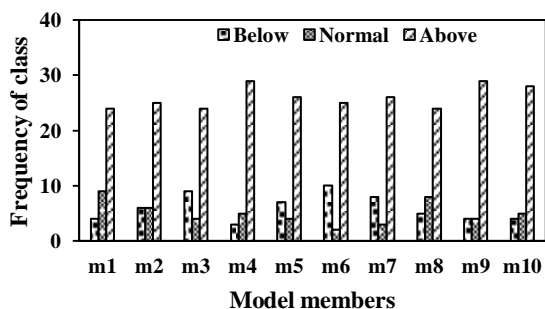


Figure 4- Frequency of precipitation in different classes- members of the COLA-RSMAS-CCSM4 model
شکل ۴- فراوانی بارش در کلاس‌های مختلف - اعضای مدل COLA-RSMAS-CCSM4

بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ بیش‌تر فراوانی بارش در تمامی اعضا مربوط به کلاس بالای نرمال می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده برای پیش‌بینی ماه ژانویه (پیش‌بینی صادره از یک ماه قبل) می‌باشد و ممکن است برای زمان پیش‌بینی متفاوت، فراوانی کلاس‌ها تغییر کند. همچنین برای پیش‌بینی بارش ماه‌های دیگر از سال نیز انتظار می‌رود نتایج متفاوت‌تری به دست آید.

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، بعد از ترکیب نتایج مدل‌ها با یکدیگر شاخص‌های ارزیابی پیش‌بینی بهبود یافته‌اند. همچنین در همه ماه‌ها میزان همبستگی نسبت به حالت منفرد (با لحاظ بهترین مدل پیش‌بینی) نسبتاً بالاتر می‌باشد.

بررسی بارش طبقه‌بندی شده

در پژوهش حاضر علاوه بر ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی در حالت تک عضوی (استفاده از میانگین عضوهای مدل پیش‌بینی)، سعی شد تا از تمامی عضوهای هر مدل که برای شرایط اولیه متفاوت اجرا شده‌اند نیز برای ارزیابی میزان دقت مدل‌ها استفاده شود. در ابتدا با توجه به میانگین بلندمدت بارش مشاهداتی در هر ایستگاه، بارش ماهانه هر ایستگاه با به‌کارگیری شاخص PNPI به سه طبقه نرمال، پایین و بالای نرمال تقسیم‌بندی شد. به این صورت که بازه بین ۲۰ درصد بالا و پایین میانگین بلندمدت به عنوان محدوده نرمال در نظر گرفته شد. در جدول ۶، طبقه و آستانه بارشی متناظر با آن برای نمونه در ماه ژانویه برای هر ایستگاه ارائه شده است.

Table 6- January precipitation category base on observation precipitation

جدول ۶- طبقه‌بندی بارش ماه ژانویه براساس بارش

Station	مشاهداتی		
	Below	Normal	Above
Mianeh	>29.4	23.5-29.4	<23.5
Khalkhal	>27.0	21.6-27.0	<21.6
Khodabande	>36.4	29.1-36.4	<29.1
Zanjan	>25.0	20.0-25.0	<20.0
Bijar	>34.9	27.9-34.9	<27.9
Zareineh-obato	>29.6	29.6-37.0	<29.6
Ghorve	>32.7	26.2-32.7	<26.2
Manjil	>18.6	14.9-18.6	<14.9

نتایج نشان داد که در طبقه‌بندی بارش هر یک از اعضای مدل‌های پیش‌بینی مورد بررسی، به طور متوسط در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، بیش از ۸۰ درصد مواقع (برای تمامی مدل‌های مورد بررسی) پیش‌بینی بارش ماه ژانویه توسط هر یک از اعضای مدل بیش‌تر از مقدار نرمال متناسب با جدول ۶ بوده است. به عبارت دیگر اکثر اعضای مدل‌هایی که تحت شرایط اولیه متفاوت در مدل به دست آمده‌اند، در بازه بالاتر از نرمال قرار می‌گیرند. با توجه به این که نتایج به دست آمده مربوط به مقایسه پیش‌بینی دوره تاریخی مدل‌ها با مقادیر مشاهداتی تاریخی می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که در

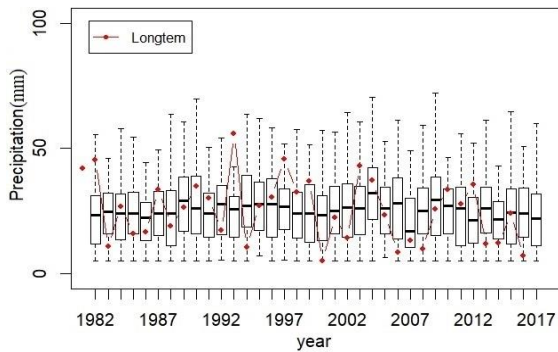


Figure 6- Boxplot of predicted precipitation in Jan during the long-term period at the Gharveh station (the prediction is done since one month ago)

شکل ۶- نمودار جعبه‌ای بارش پیش‌بینی شده ماه ژانویه در دوره تاریخی در ایستگاه قروه (پیش‌بینی از دو ماه قبل)

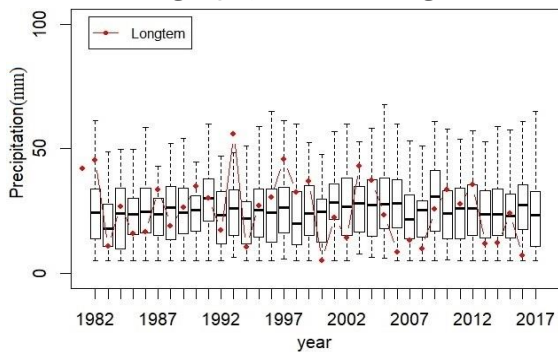


Figure 7- Boxplot of predicted precipitation in Jan during the long-term period at the Gharveh station (the prediction is done since one month ago)

شکل ۷- نمودار جعبه‌ای بارش پیش‌بینی شده ماه ژانویه در دوره تاریخی در ایستگاه قروه (پیش‌بینی از سه ماه قبل)

همان طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود پهنای افقی نمودار بارش پیش‌بینی شده نسبت به پهنای نمودار دوره تاریخی کم‌تر شده است. تحلیلی که می‌توان از این دو نمودار داشت این است که اگر به جای این که برای پیش‌بینی عملیاتی بارش برای ماه‌های آینده از سری تاریخی بارش استفاده شود (فرض بر تکرار سری تاریخی در دوره آینده)، می‌توان با قطعیت بیشتری از بارش پیش‌بینی شده نسبت به داده‌ها دوره تاریخی استفاده نمود. در واقع با توجه به عدم قطعیت موجود در مدل‌های پیش‌بینی که در بالا به آن اشاره شد، با ترکیب نتایج حاصل از چند مدل، می‌توان قطعیت بارش پیش‌بینی شده را تا حدودی افزایش داد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج بسیاری از پژوهش‌هایی که به ارزیابی مدل‌های NMME در پیش‌بینی بارش پرداخته‌اند مطابقت دارد.

عدم قطعیت بارش پیش‌بینی شده

برای بررسی میزان عدم قطعیت بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌های NMME، تمامی اعضای هر یک از مدل‌ها به صورت جداگانه و به عنوان مدل پیش‌بینی در نظر گرفته شدند. در واقع هر یک از اعضای مدل بیان‌گر یک پیش‌بینی به ازای شرایط اولیه خاص خود است. به عبارتی برای مدل‌ها برای شرایط اولیه مختلف اجرا می‌شوند و پیش‌بینی‌های متعددی را برای آینده تولید می‌کنند. در مجموع برای ۶ مدل پیش‌بینی به تعداد ۷۸ عضو پیش‌بینی وجود خواهد داشت. بنابراین برای بررسی محدوده عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی بارش، ۷۸ پیش‌بینی مختلف از پارامتر بارش برای دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۷ به صورت نمودار جعبه‌ای ترسیم شدند. شکل‌های ۵ تا ۷، محدوده عدم قطعیت بارش پیش‌بینی شده را برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه نشان می‌دهد. همان طور که در شکل‌های ۵ تا ۷ مشاهده می‌شود، میزان تغییرات بارش زیاد است و این موضوع بیان‌گر عدم قطعیت بالای موجود در بارش پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها مرکز NMME است. بعد از این پس‌پردازش آماری نتایج پیش‌بینی مدل‌های مختلف میزان خطا^۱ اصلاح شد و نتایج مدل‌ها با هم تلفیق و میانگین‌گیری شد. این کار موجب شد تا عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی بارش اندکی کاهش یابد. در شکل ۸ نمونه‌ای از نمودار تابع تجمعی تجربی برای پیش‌بینی بارش ماه ژانویه که بعد از اصلاح مدل‌ها و ترکیب آن‌ها به دست آمده است در مقایسه با نمودار توزیع تجمعی تجربی بارش دوره تاریخی نشان داده شده است.

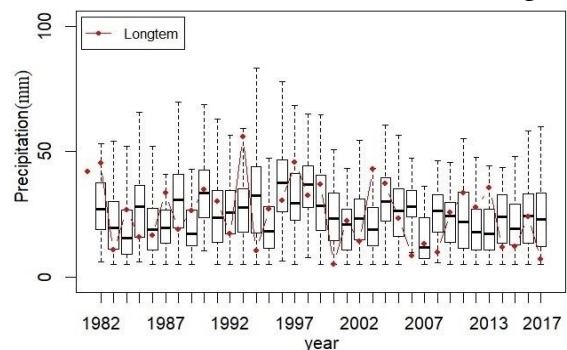


Figure 5- Boxplot of predicted precipitation in Jan during the long-term period at the Gharveh station (the prediction is done since one month ago)

شکل ۵- نمودار جعبه‌ای بارش پیش‌بینی شده ماه ژانویه در دوره تاریخی در ایستگاه قروه (پیش‌بینی از یک ماه قبل)

¹ Bias

پیش‌بینی ۶ مدل با یکدیگر مشخص شد که دقت پیش‌بینی‌ها نسبت به حالت منفرد افزایش خواهد یافت به گونه‌ای که از سامانه همادی چند مدلی ساخته شده می‌توان با دقت قابل قبولی، بارش را در ماه‌های مورد بررسی (ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر) پیش‌بینی نمود. همچنین نتایج حاصل از بررسی پیش‌بینی بارش در سه کلاس نرمال، بالای نرمال و پایین نرمال مشخص شد که مدل‌های پیش‌بینی بارش NMME در برخی از ماه‌های سال (مثل ماه ژانویه) دارای بیش‌برآورد هستند. این در حالی است که ممکن است در ماه‌های دیگر از سال، مدل‌های مذکور دارای کم‌برآورد (اریبی منفی یا مثبت) نیز باشند که نیاز به بررسی دارد. بنابراین قبل استفاده از نتایج پیش‌بینی‌های حاصل از مدل‌های مذکور، حتما باید اصلاح خط و تعدیل در نتایج انجام شود. بررسی عدم قطعیت مدل‌های پیش‌بینی مورد استفاده در پژوهش نشان می‌دهد که با ترکیب مدل‌های مختلف (به ویژه ترکیب اعضای هر یک از مدل‌ها)، می‌توان دامنه عدم قطعیت مدل‌ها را کاهش داد و به نتایج پیش‌بینی قابل اعتمادتری از بارش دست یافت.

سیاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه تهران، شرکت مدیریت منابع آب و مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو به دلیل تأمین امکانات و داده‌های لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Altunkaynak, A., Nigussie, T. A. 2017. Monthly water consumption prediction using season algorithm and wavelet transform-based models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(6), 04017011.

Barsugli, J. J., Vogel, J. M., Kaatz, L., Smith, J. B., Waage, M., Anderson, C. J. 2012. Two faces of uncertainty: Climate science and water utility planning methods. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(5), 389-395.

Bruno Soares, M., Daly, M., Dessai, S. 2018. Assessing the value of seasonal climate forecasts for decision making. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9(4), e523.

Darlane, A. B., Azimi, S. 2018. Streamflow forecasting by combining neural networks and fuzzy models using advanced methods of input

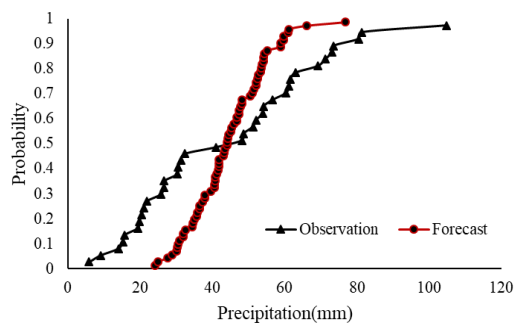


Figure 6- The distribution function graph of predicted precipitation and the long-term period precipitation for Jan (the prediction in done since one month ago)

شکل ۸- نمودار توزیع تجمعی تجربی بارش پیش‌بینی شده و بارش دوره تاریخی برای ماه ژانویه

برای مثال مقایسه شاخص همبستگی بین بارش پیش‌بینی شده و مشاهداتی سایر پژوهش‌ها از جمله (Yuan, 2014; Slater, 2017) نشان می‌دهد که این میزان همبستگی در بهترین حالت به طور متوسط حداکثر بین ۰/۵ تا ۰/۷ بوده است در صورتی که برای پیش‌بینی دما (رجوع شود به (Najafi et al., 2018) این میزان همبستگی بیش‌تر بوده است.

نتیجه‌گیری

استفاده از پیش‌بینی‌های آب و هوا و اقلیم در مدیریت بهینه بهره‌برداری از منابع آب دارای اهمیت بالایی است. چنانچه پیش‌بینی‌های مورد استفاده از قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار نباشند می‌تواند خسارات و آسیب‌های جبران‌ناپذیری را به پیکره منابع آب به خصوص در زمان وقایع حدی (سیلاب و خشکسالی) وارد نماید. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی پتانسیل مدل‌های جهانی موجود در زمینه پیش‌بینی ماهانه بارش جهت استفاده در بهره‌برداری بهنگام منابع آب در نظر گرفته شد و پیش‌بینی دوره تاریخی بارش حاصل از ۶ مدل جهانی (همراه با ۷۸ عضو با شرایط اولیه مختلف) با داده‌های مشاهداتی ۸ ایستگاه همدیدی در یک دوره بلندمدت با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که پیش‌بینی ۶ مدل جهانی به صورت انفرادی در برخی از ماه‌های سال دارای دقت مناسبی هستند به گونه‌ای که برای پیش‌بینی بارش هر ماه در افق‌های پیش‌بینی متفاوت، یک مدل به عنوان مدل بهینه انتخاب گردید اما باید دقت کرد که در حالت منفرد، نتایج پیش‌بینی بیش‌تر از ۱ ماه از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. همچنین با تلفیق نتایج

- variable selection. *Journal of Hydroinformatics*, 20(2), 520-532.
- Efroymson, M. A. 1960. Multiple regression analysis," *Mathematical Methods for Digital Computers*, Ralston A. and Wilf, H. S., (eds.), Wiley, New York.
- Fallon, A. L., Villholth, K. G., Conway, D., Lankford, B. A., Ebrahim, G. Y. 2019. Agricultural groundwater management strategies and seasonal climate forecasting: perceptions from Mogwadi (Dendron), Limpopo, South Africa. *Journal of Water and Climate Change*, 10(1), 142-157.
- Gharde, K. D., Kothari, M., Mahale, D. M. 2016. Developed seasonal ARIMA model to forecast stream flow for Savitri Basin in Konkan Region of Maharashtra on daily basis. *Journal of Indian Society Coastal Agricultural Research*, 34, 110-119.
- Khalili1, A., Rahimi, J., Bazrafshan, J. 2016. Quantitative projection of the probable impacts of climate change on date and damage risk of late spring frost during 21st century over Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 4(2): 38-48. (In Farsi)
- Kirtman, B. P., Min, D., Infanti, J. M., Kinter III, J. L., Paolino, D. A., Zhang, Q., Van Den Dool, H., Saha, S., Mendez, M. P., Becker, E., Peng, P. 2014. The North American multi-model ensemble: phase-1 seasonal-to-interannual prediction; phase-2 toward developing intraseasonal prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(4): 585-601.
- Lang, Y., Ye, A., Gong, W., Miao, C., Di, Z., Xu, J., Liu, Y., Luo, L., Duan, Q. 2014. Evaluating skill of seasonal precipitation and temperature predictions of NCEP CFSv2 forecasts over 17 hydroclimatic regions in China. *Journal of Hydrometeorology*, 15(4): 1546-1559.
- Ma, F., Luo, L., Ye, A., Duan, Q. 2018. Seasonal drought predictability and forecast skill in the semi-arid endorheic Heihe River basin in northwestern China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11): 5697-5709.
- Morid, S., Smakhtin, V., Moghaddasi, M. 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(7): 971-985.
- Najafi, H., Massah Bavani, P., Robertson, A. W. 2018. Evaluation of NMME seasonal temperature forecasts over Iran's river basins. *Journal of Agricultural Meteorology*, 6(1): 19-30. (In Farsi)
- Nazir, H. M., Hussain, I., Faisal, M., Shoukry, A. M., Gani, S., Ahmad, I. 2019. Development of Multidecomposition Hybrid Model for Hydrological Time Series Analysis. Complexity, doi: 10.1155/2019/2782715.
- Reza, M., Harun, S., Askari, M. 2018. Streamflow forecasting in bukit merah watershed by using ARIMA and ANN. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), doi: 10.30811/portal.v9i1.612.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y. T., Chuang, H.Y., Iredell, M., Ek, M. 2014. The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate*, 27(6): 2185-2208.
- Schick, S., Rössler, O. K., Weingartner, R. 2018. Monthly streamflow forecasting at varying spatial scales in the Rhine basin. *Hydrology and earth system sciences*, 22(2), 929-942.
- Shamir, E. 2017. The value and skill of seasonal forecasts for water resources management in the Upper Santa Cruz River basin, southern Arizona. *Journal of Arid Environments*, 137, 35-45.
- Slater, L. J., Villarini, G., Bradley, A. A. 2017. Weighting of NMME temperature and precipitation forecasts across Europe. *Journal of Hydrology*, 552: 646-659.
- Troccoli, A. 2010. Seasonal climate forecasting. *Meteorological Applications*, 17(3): 251-268.
- Vitart, F., Buizza, R., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bidlot, J. R., Bonet, A., Fuentes, M., Hofstadler, A., Molteni, F., Palmer, T. N., 2008. The new VAREPS monthly forecasting system: A first step towards seamless prediction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 134(636): 1789-1799.
- Vitart, F., Robertson, A. W., Anderson, D. L., 2012. Subseasonal to Seasonal Prediction Project: Bridging the gap between weather and climate. *Bulletin of the World Meteorological Organization*, 61(2), doi: 10.1038/s41612-018-0013-0.
- Xu, J., Zhu, X., Zhang, W., Xu, X., Xian, J. 2009. Daily stream flow forecasting by artificial neural network in a large-scale basin. In 2009 IEEE Youth Conference on Information, Computing and Telecommunication (pp. 487-490). IEEE.
- Xu, L., Chen, N., Zhang, X., Chen, Z., Hu, C., Wang, C. 2019. Improving the North American multi-model ensemble (NMME) precipitation forecasts at local areas using wavelet and machine learning. *Climate Dynamics*: 1-15.
- Yuan, X. 2014. An experimental seasonal hydrological forecasting system over the Yellow River basin – Part 2: The added value from climate forecast models. *Hydrology and Earth System Science*, 20: 2453–2466.

ارزیابی بخار آب قابل بارش داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR با رادیوسوند برای ایستگاه

شیراز

امین شیروانی^{۱*}، حسن نوروزی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

چکیده

بخار آب نقش مهمی در ترازمندی رطوبتی جو و نیز فرآیند بارش در لایه پایینی و ردسپهر ایفا می‌کند. در این مطالعه، روند تغییرات بخار آب قابل بارش که جمع بخار آب در لایه‌های مختلف می‌باشد، با استفاده از داده‌های رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ تحلیل شده است. همچنین داده‌های بازتحلیل پایگاه داده NCEP-NCAR و ERA-Interim از مرکز ECMWF دریافت و جهت مقایسه مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از آماره آزمون من-کندال، روند معنی‌داری در بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند و ECMWF برای تمامی ماه‌ها (به جز داده‌های رادیوسوند در ماه اوت) مشاهده نشد. روند بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند برای بیش‌تر ماه‌ها کاهشی و غیرمعنی‌دار می‌باشد. اما آزمون‌های شیب خط و من-کندال هر دو نشان دادند که روند سالانه داده‌های NCEP-NCAR معنی‌دار و افزایشی است. نرخ کاهشی و افزایشی بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند و NCEP-NCAR به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۵۲ میلی‌متر در هر دهه است. برای تمامی ماه‌ها (به جز آوریل)، بین داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim یک همبستگی مثبت در سطح معنی‌داری ۵٪ وجود دارد. اما ضریب همبستگی پیرسون برای NCEP-NCAR برای هیچ یک از ماه‌ها معنی‌دار نیست. تفاوت میانگین داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب کم برآوردی و بیش برآوردی را نشان می‌دهند. جزر میانگین مربعات خطا میان داده‌های رادیوسوند و ERA-Interim به طور کلی کم‌تر از NCEP-NCAR است. در مجموع، داده‌های ERA-Interim دقت بالاتری دارند و با داده‌های رادیوسوند سازگارتر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: رطوبت جو، رادیوسوند، روند، داده‌های بازتحلیل

مقدمه

اقلیم، بلکه برای شناخت بهتر بازخورد بخار آب در پدیده گرمایش جهانی مهم است. این فراسنج نقش کلیدی در چرخه انرژی جهانی از طریق تبخیر از سطح و گرمای نهان آتمسفری دارد (Trenberth et al., 2005). تلاش‌های بسیاری برای تعیین مقدار تغییرات بخار آب موجود در جو شده است. برای این منظور از دو دسته داده استفاده می‌شود. اولین دسته شامل داده‌های رادیوسوند و سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)^۳ است (Nilsson and Elgered., 2008). مزیت استفاده از این دسته داده‌ها، اندازه‌گیری مستقیم بخار آب در هر ایستگاه است. به دلیل این‌که اغلب این داده‌ها پراکنده، ناقص یا ناهمگن هستند برون‌آوری تغییرات جهانی بخار آب از داده‌های مشاهده‌ای اغلب مشکل است. برای مثال ۹۰۰ رادیوسوند در سطح جهان توزیع شده است که تنها در سطح زمین قابل

بخار آب یکی از بنیادی‌ترین فراسنج‌های آتمسفری می‌باشد که نقش مهمی در سیستم‌های آب و هوایی دارد. این فراسنج یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای در جو است که تغییرات زمانی و مکانی آن نقش کلیدی در تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارد (Trenberth et al., 2006; Wagner et al., 2005). بنابراین پیش‌بخار آب برای درک اقلیم و تغییرات اقلیم مهم است. ارزیابی تغییرات بخار آب موجود در آتمسفر نه تنها برای تغییر

^۱دانشیار بخش مهندسی آب و مرکز پژوهش‌های جوی اقیانوسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

(*نویسنده مسئول: am_shirvani@hotmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.158865.1047

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، بخش مهندسی

آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

^۳ Global Positioning System

خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر دارای ناهنجاری‌های مثبت و نواحی مرکزی، نواحی مرتفع و شمال غرب و شمال شرق کشور به دلیل دور بودن از منابع رطوبتی و متأثر بودن از ارتفاعات دارای ناهنجاری‌های منفی است. همچنین با تحلیل چرخه‌ها نشان دادند که چرخه‌های کوتاه‌مدت دو تا پنج ساله بیش‌ترین حاکمیت را در کشور داشته‌اند. با وجود این، بیش‌ترین چرخه‌های کوتاه‌مدت در نواحی جنوب شرق رخ داده است. (Chen and Liu (2016) به منظور بررسی روند بخار آب قابل بارش جهانی مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهده‌ای و ماهواره‌ای با استفاده از منابع چندگانه، داده‌های ECMWF، داده‌های بازتحلیل مرکز ملی محیط زیست NCEP Reanalyses، Radiosonde، GPS و مایکروویو ماهواره برای دوره ۱۹۷۹-۲۰۱۴ انجام دادند. آن‌ها با ارزیابی داده‌های بخار آب قابل بارش ECMWF و NCEP توسط Radiosonde دریافتند که ECMWF خطای RMSE برابر ۲/۸۸ میلی‌متر می‌باشد که نسبت به NCEP با خطای ۳/۱۲ میلی‌متر دارای خطای کم‌تری است. بنابراین گزارش کردند که NCEP عملکرد ضعیفی در منطقه گرمسیری دارد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که در طول سال‌های اخیر روند رو به رشد بخار آب جهانی با استفاده از پنج منبع ذکر شده در بالا آشکارتر شده است و شیب رگرسیون آب قابل بارش-دما در بیش‌تر اقیانوس‌ها مقادیر مثبت و در بسیاری از قاره‌ها مقادیر منفی به دست آمده است. (Xie et al., (2011) با استفاده از ۱۰۶ ایستگاه رادیوسوند در چین (۱۹۷۹-۲۰۰۵) نشان دادند که در تابستان بخش شمالی چین دارای روند بخار آب قابل بارش افزایشی و در زمستان بیش‌تر مناطق چین دارای روند بخار آب قابل بارش کاهشی هستند. (Jiang et al., (2019) با مقایسه بخار آب قابل بارش رادیوسوند با داده‌های بازتحلیل منابع ERA5، MERRA2، NCEP1 و NCEP2 نشان دادند که ERA5 برای نشان دادن تغییرات سالانه PWV در آسیای مرکزی عملکرد بهتری دارد. در تحقیق حاضر تغییرات زمانی و روند کل بخار آب قابل بارش با استفاده از داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای یک دوره اقلیمی بررسی می‌شود. همچنین در پژوهش حاضر از داده‌های رادیوسوند به عنوان مبنا برای مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA-Interim از ECMWF و NCEP-NCAR استفاده خواهد

دسترسی هستند (Kuo et al., 2005). داده‌های رادیوسوند بخار آب جوی در درازمدت بایگانی و ارائه شده‌اند. بنابراین در تحقیقات طولانی‌مدت آب و هوایی (اقلیم) مورد استفاده قرار می‌گیرند (Liu et al., 2015). حال با توجه به دلایل مختلف از جمله حذف ایستگاه ابزار یا روش‌های عملیاتی، اغلب ناهمگنی رخ می‌دهد و باعث تغییرات مصنوعی در سری زمانی رادیوسوند می‌شود. از این رو روند بلندمدت از داده‌های رادیوسوند به طور چشم‌گیری با توجه به ضوابط ایستگاه‌های مختلف برآورد می‌شود. دسته دوم از داده‌های بخار آب، داده‌های بازتحلیل می‌باشند. مزایای این داده‌ها پوشش جهانی، خروجی چند متغیره، درستی مکانی و همگن بودن است. بنابراین آن‌ها می‌توانند برای تحقیقات جوی بسیار با ارزش باشند. علاوه بر این موقعیت و خطا در درجه ماهواره برای داده‌های بازتحلیل ممکن است عملکرد سیستم را کاهش دهد. در نتیجه روند تولید شده برای بخار آب قابل بارش توسط داده‌های بازتحلیل ممکن است پدیده غیر واقعی را نشان دهد. بنابراین آگاهی از کیفیت و کمیت داده‌های آب قابل بارش در تحلیل و بهره‌وری از آن‌ها مهم می‌باشد. از آنجایی که رادیوسوندها بخار آب قابل بارش را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کنند دقت این داده‌ها بالا و در حد چند میلی‌متر است. بسیاری از مطالعات انجام شده مربوط به تغییرات بخار آب جوی در مناطق مختلف و دوره‌های زمانی مختلف بوده است. به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی بخار آب قابل بارش در جو ایران (Asakereh and Doostkamian (2014) با استفاده از داده‌های بخار آب قابل بارش NCEP-NCAR پژوهشی را انجام دادند و نشان دادند که ضریب تغییرپذیری بخار آب قابل بارش در ایران بسیار زیاد و به شدت تحت تأثیر ارتفاعات به ویژه در امتداد کوه‌های زاگرس می‌باشد. کم‌ترین میزان تغییرپذیری مربوط به نواحی مرکزی و سواحل دریای خزر و خلیج فارس می‌باشد. آن‌ها همچنین نشان دادند که روند بلندمدت بخار آب قابل بارش در تمامی ساعت‌های مورد مطالعه در سراسر ایران دارای روند کاهشی بوده است. (Asakereh et al., (2015) تحلیل تغییرات ناهنجاری‌ها و چرخه بخار آب قابل بارش جو ایران را با استفاده از داده‌های بخار آب قابل بارش مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که نواحی ساحلی به دلیل هم‌جواری با منابع عظیم رطوبتی

دهه ۸۰ میلادی ثبت شده است. اما بیش تر این ایستگاه‌ها در کشورهای توسعه یافته قرار دارند (Vey et al., 2010). نمودار سری‌های زمانی تعداد ایستگاه‌های رادیوسوند که از سال ۱۹۰۵ به بعد داده گزارش کرده‌اند و تعداد آن‌ها متغیر بوده است در پایگاه IGRA موجود می‌باشد. بر اساس طراحی بالن مانند رادیوسوند، می‌توان به طور مستقیم پارامترهای جوی مانند فشار، دما و رطوبت نسبی را در ارتفاع‌های مختلف اندازه‌گیری کرد. داده‌های رادیوسوند به صورت برخط برای ایستگاه‌های فعال در سرتاسر دنیا در پایگاه دانشگاه Wyoming^۵ موجود و به صورت رایگان قابل ذخیره می‌باشند. در این پایگاه، ایران دارای ۱۱ ایستگاه رادیوسوند است که کل بخار آب قابل بارش و دیگر فراسنج‌های جوی را اندازه‌گیری می‌کنند. از این میان ایستگاه رادیوسوند شیراز دارای رکورد مناسبی است. در این پژوهش داده‌های رادیوسوند ایستگاه شیراز مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). مشخصات این ایستگاه در جدول ۱ بر اساس اطلاعات WMO آمده است. در این مطالعه، داده‌های بخار آب قابل بارش برای ایستگاه رادیوسوند شیراز از پایگاه دانشگاه Wyoming استخراج شدند. این داده‌ها از سال ۱۹۷۴ به بعد موجود می‌باشند ولی به دلیل ناپیوستگی در سری‌های زمانی و تعداد کم روزها در برآورد میانگین بخار آب قابل بارش ماهانه برای سال‌های قبل از ۱۹۹۰، مطالعه حاضر برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ انجام شد.



Figure 1- The geographical location of Shiraz synoptic station (triangle) and used grid point (circle) from reanalysis data (NCEP-NCAR or ERA-Interim)
 شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی شیراز (مثلث)

و گره استفاده شده (دایره) از داده‌های بازتحلیل (NCEP-NCAR یا ERA-Interim)

شد. در تحقیقات قبلی داخلی اغلب از داده‌های بازتحلیل NCEP-NCAR برای تحلیل بخار آب قابل بارش استفاده شده است. در تحقیق حاضر دقت این داده‌ها نسبت به داده‌های ERA-Interim بر پایه داده‌های مشاهداتی بررسی می‌شوند.

مواد و روش‌ها

کل بخار آب قابل بارش (TPWV)^۱ می‌تواند به عنوان مجموع بخار آب جوی در ستون عمودی از زمین تا ارتفاع مشخص تعریف شود (Ferrare et al., 2002). اگر x رطوبت ویژه^۲ یا نسبت آمیختگی^۳ حسب گرم بخار آب بر کیلوگرم هوا باشد آنگاه بخار آب قابل بارش حسب میلی‌متر که در یک لایه محدود شده با فشارهای p_1 و p_2 قرار دارد، به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود.

$$PWV = \frac{1}{g} \int_{p_1}^{p_2} x dp \quad (1)$$

به طوری که g شتاب جاذبه زمین حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد. مقدار فشار در لایه‌های بالایی می‌تواند تا لایه مشخص و دلخواهی در نظر گرفته شود. این معادله برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی بخار آب قابل بارش در جو ایران در مطالعه Asakereh and Doostkamian (2014) نیز استفاده شده است. در مطالعه حاضر، فشار در معادله ۱، ۳۰۰ میلی‌بار در نظر گرفته شد. مقدار بخار آب در لایه‌های بالایی جو که فشار کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌بار است، بسیار ناچیز می‌باشد (Jiang et al., 2019). از این رو در معادله ۱ مقدار بخار آب در لایه‌های بالایی جو که فشار کم‌تر از ۳۰۰ میلی‌بار است، در نظر گرفته نشد. سه دسته داده کل بخار آب قابل بارش به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت.

داده‌های مشاهداتی رادیوسوند

مشاهدات ایستگاه‌های رادیوسوند دارای طولانی‌ترین رکورد مشاهدات بخار آب قابل بارش است. بیش از ۹۰۰ ایستگاه رادیوسوند فعال در سراسر جهان وجود دارد که در حال حاضر داده گزارش می‌کنند در حالی که در پایگاه IGRA^۴ داده‌های بیش از ۱۵۰۰ ایستگاه رادیوسوند در

¹ Total Precipitable Water Vapour

² Specific Humidity

³ Mixing Ratio

⁴ <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>

⁵ <http://weather.uwyo.edu/upperair/Universityofyoming>.

داده‌های ERA-Interim

ERA-Interim یکی از جدیدترین محصول داده‌های واکاوی شده جو زمین است که توسط ECMWF^۱ تهیه شده است. این داده‌ها از ۱ ژانویه ۱۹۷۹ شروع و به طور مداوم در زمان واقعی نزدیک می‌شوند (Dee et al., 2011). توسعه ERA-Interim به طور عمده برای رفع برخی از مشکلات ادغام داده‌ها در مواجهه با تولید ERA-40 (Uppla et al., 2005) و همچنین بهبود کیفیت محصولات واکاوی شده است (Dee et al., 2011). در جمع‌آوری داده‌ها، مشاهدات هواشناسی از سیستم‌های مختلف، به عنوان مثال ایستگاه‌های سطح زمین، کشتی‌ها، اقیانوس‌ها، ایستگاه‌های رادیوسوند، هواپیماها و ماهواره‌های سنجنش از دور به یک مدل گردش عمومی برای بازسازی شرایط جوی گذشته دست یافتند (Dee et al., 2011). در این پژوهش داده‌های ماهانه کل بخار آب قابل بارش به دست آمده از ERA-Interim برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ استفاده می‌شوند. در این مطالعه از دقت مکانی ۲/۵×۲/۵ درجه برای داده‌های ECMWF به منظور جور بودن و روی هم قرار گرفتن موقعیت جغرافیایی گره‌های این داده با گره‌های داده‌های NCEP-NCAR استفاده می‌شود. طول و عرض جغرافیایی نزدیک‌ترین گره به ایستگاه شیراز به ترتیب ۵۲/۵ درجه شمالی و ۳۰ درجه شرقی می‌باشد که در شکل ۱ مشخص شده است.

داده‌های واکاوی شده NCEP-NCAR

داده‌های ماهانه کل بخار آب قابل بارش برای گره مورد مطالعه برای سال‌های ۲۰۱۷-۱۹۹۰ از داده‌های واکاوی شده بانک‌های اطلاعاتی NCEP-NCAR استخراج شدند (Kalnay et al., 1996). دقت مکانی این مجموعه داده ۲/۵×۲/۵ درجه می‌باشد.

Table 1 - Characterizations of Radiosond Shiraz station

جدول ۱- مشخصات ایستگاه رادیوسوند شیراز	
WMO Index Number	40848
ICAO Location Indicator	OISS
Station Name	Shiraz
Country	Iran, Islamic Republic of
WMO Region	2
Station Position	29°32'N 052°35' E (dms)
Station Elevation (H _a)	1486 Meters
Upper Air Position	29°32'N 052°35' E (dms)
Upper Air Elevation (H _p)	1491 Meters

آزمون ناپارامتری من-کندال^۲

از آزمون ناپارامتری من-کندال برای بررسی روند بخار آب قابل بارش استفاده شد. این روش برای روندیابی مورد تأیید WMO نیز می‌باشد. مزیت این آزمون در این است که نسبت به مقادیر حدی استوار است چون که با رتبه داده‌ها کار می‌کند. فرض صفر این آزمون مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است و پذیرش فرض مقابل دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. مراحل محاسبه این آزمون به قرار زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با یکدیگر، اعمال تابع sgn و برون‌آوری پارامتر S با استفاده از معادله ۲.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که n تعداد جملات سری، x_j داده زام سری و x_k داده kام سری است. تابع sgn نیز طبق معادله ۳ تعریف می‌شود.

$$\text{sgn} = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ب) محاسبه واریانس با استفاده از معادله ۴

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن n تعداد داده‌ها و m تعداد سری‌هایی است که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد.

ج) برون‌آوری آماره آزمون Z به کمک معادله ۵

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

اگر قدرمطلق آماره آزمون محاسبه شده کوچک‌تر از عدد جدول نرمال استاندارد (۱/۹۶) باشد فرض صفر (عدم وجود روند) قبول و در غیر این صورت فرض صفر در سطح خطای ۵ درصد رد می‌شود. همچنین با پذیرش رد فرض صفر اگر مقدار آماره آزمون منفی باشد روند کاهشی و در صورت مثبت بودن روند افزایشی خواهد بود.

ارزیابی داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR

برای بررسی همبستگی خطی بین داده‌های

² Mann-kendall

¹ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts>

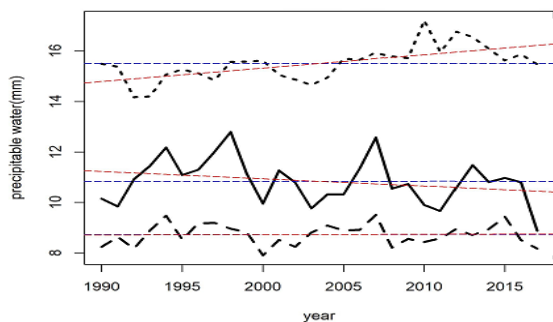


Figure 2-Time series plot of annual precipitable water vapor from Radiosonde (line), ERA-Interim (dash line) and NCEP-NCAR (dot line) data for the blue dash lines period 1990-2017. Horizontal represent the corresponding climatological means. The red dash lines indicate the corresponding linear trends

شکل ۲- نمودار سری‌های زمانی سالانه بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند (خط)، ERA-Interim (خط چین) و NCEP-NCAR (نقطه‌چین) برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۷. خط چین‌های افقی آبی بیان‌گر میانگین درازمدت مربوطه می‌باشند. خط چین‌های قرمز نیز بیانگر روند خطی مربوطه می‌باشند.

برای کنکاش بیشتر در مورد روند میانگین سالانه بخار آب قابل بارش از آزمون من کندال نیز استفاده شد. قبل از انجام این آزمون، نمودار تابع خودهمبستگی^۳ به منظور بررسی همبستگی پیاپی داده‌ها در شکل ۳ رسم شد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود داده‌های میانگین سالانه بخار آب قابل بارش دارای همبستگی پیاپی نمی‌باشند. بنابراین نیاز به تبدیل داده‌ها قبل از انجام آزمون من کندال نمی‌باشد (Shirvani, 2015; Shirvani, 2017). مقدار آماره S معادله ۲، مقدار Z معادله ۵ و P-value آزمون من کندال برای میانگین سالانه بخار آب قابل بارش به ترتیب برابر با ۵۵-، ۱/۰۶- و ۰/۲۸ به دست آمد. اندازه مقدار Z آزمون من کندال نشان می‌دهد که سری سالانه بخار آب قابل بارش دارای روند کاهشی می‌باشد و مقایسه آن با عدد جدول نرمال استاندارد در سطح خطای ۵ درصد ($Z_{0.025}=1.96$) نشان می‌دهد که این روند کاهشی معنی‌دار نمی‌باشد و سری فاقد روند معنی‌دار می‌باشد. روند خطی و ناپارامتری من کندال برای مقیاس زمانی ماهانه بخار آب قابل بارش مشاهده شده نیز مانند مقیاس سالانه که در بالا شرح داده شد، بررسی گردید و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهند که روند بخار آب قابل بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس،

مشاهداتی و دو مجموعه داده ERA-Interim و NCEP-NCAR از ضریب همبستگی پیرسون استفاده می‌شود. همچنین برای ارزیابی خطا از جذر میانگین مربعات خطا^۱ (RMSE) و اختلاف میانگین^۲ (MD) مطابق معادله‌های ۶ و ۷ استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n} \quad (7)$$

که در آن‌ها O_i مقادیر مشاهده شده بخار آب قابل بارش و P_i مقادیر ERA-Interim یا NCEP-NCAR و n تعداد سال‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج و بحث

تغییرات درازمدت بخار آب قابل بارش بر داده‌های

مشاهداتی رادیوسوند

سری‌های زمانی میانگین سالانه بخار آب قابل بارش داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه همدیدی شیراز برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۷ در شکل ۲ رسم شده است. میانگین درازمدت سالانه بخار آب قابل بارش در این دوره آماری برابر ۱۰/۸۴ میلی‌متر می‌باشد که با نقطه‌چین افقی در این شکل نشان داده شده است. در شکل ۲ روند خطی نیز به صورت خط‌چین قرمز نشان داده شده است. روند خطی با استفاده از یک معادله رگرسیونی بین بخار آب قابل بارش به عنوان متغیر پاسخ و زمان به عنوان متغیر مستقل به صورت معادله ۸ محاسبه شد.

$$PW(t) = -0.029 \times t + 68.9 \quad (8)$$

به طوری که آماره t برابر ۱/۴- و P-value مربوط به ضریب رگرسیونی برابر ۰/۱۷ می‌باشد. لذا شیب این خط رگرسیونی در سطح ۵٪ معنی‌دار نبوده و جدول تحلیل واریانس مربوط به مدل رگرسیونی نشان داد که این مدل معنی‌دار نمی‌باشد. از این‌رو بر خلاف آن که روند کاهشی در میانگین سالانه بخار آب قابل بارش مشاهده می‌شود ولی این روند از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

¹ Root Mean Square Error

² Mean difference

³ Autocorrelation function

ناپارامتری مانند من کندانال برای بررسی بیش تر راست آزمایی داده‌های ECMWF و NCAR-UCAR بهره ببرند. اختلاف میانگین معادله ۷ بین داده‌های مشاهداتی رادیوسوند و این دو مجموعه داده در جدول ۳ ذکر شده است. اندازه قدر مطلق اختلاف میانگین داده‌های ERA-Interim برای ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر به طور قابل توجهی کم تر از داده‌های NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند می‌باشند. همچنین معیارهای ضریب همبستگی پیرسون و جذر میانگین مربعات خطا معادله ۶ برای مقایسه داده‌های مشاهداتی با این دو مجموعه داده محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است.

Table 2 Results of linear regression and MK test for monthly mean of observed precipitable water vapor data

جدول ۲- نتایج روند رگرسیون خطی و آزمون من کندانال برای میانگین ماهانه داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی

Mann-Kendall			
Months	S	Z	P value
Jan.	-77	-1.5	0.13
Feb.	-56	-1.09	0.28
Mar.	-22	-0.42	0.68
Apr.	-24	-0.45	0.65
May	-4	-0.06	0.95
Jun.	44	0.85	0.4
Jul.	-12	-0.22	0.83
Aug.	-102	-2	0.05
Sept.	-30	-0.57	0.57
Oct.	-30	-0.57	0.57
Nov.	0	0	1
Dec.	-12	-0.22	0.83

Simple linear regression			
Months	Slope	T	P value
Jan.	-0.09	-1.8	0.08
Feb.	-0.02	-0.54	0.59
Mar.	-0.03	-0.92	0.36
Apr.	-0.02	-0.5	0.62
May	-0.004	-0.10	0.92
Jun.	0.078	1.39	0.17
Jul.	-0.02	-0.36	0.71
Aug.	-0.10	-2.02	0.053
Sept.	-0.02	-0.55	0.58
Oct.	-0.053	-1.05	0.30
Nov.	-0.008	-0.14	0.88
Dec.	-0.02	-0.50	0.61

همان طور که در جدول ۳ دیده می‌شود مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و ERA-Interim برای تمامی ماه (به جز آوریل) مثبت می‌باشد و P-value مربوطه نیز همگی کم تر از سطح معنی‌داری (۵٪) می‌باشند. بنابراین بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و ERA-Interim برای تمامی ماه‌ها (به جز آوریل) همبستگی معنی‌داری وجود

آوریل، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر و دسامبر کاهش یافته ولی فقط در ماه اوت این روند معنی‌دار است. بنابراین در مجموع بخار آب قابل بارش مشاهداتی دارای روند معنی‌داری در مقیاس ماهانه (جز اوت) نمی‌باشد.

مقایسه داده‌های بخار آب قابل بارش برآورد شده از مجموعه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند

میانگین درازمدت ماهانه بخار آب قابل بارش برای تمامی ماه‌ها با استفاده از داده‌های رادیوسوند، ERA-Interim و NCEP-NCAR به طور جداگانه برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ محاسبه و در شکل ۴ رسم شد. همان گونه که دیده می‌شود با حرکت از ماه‌های سرد به طرف ماه‌های گرم میزان بخار آب قابل بارش افزایش می‌یابد و در ماه ژوئیه و اوت بیش‌ترین مقدار را دارد و در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس دارای کم‌ترین مقدار می‌باشد.

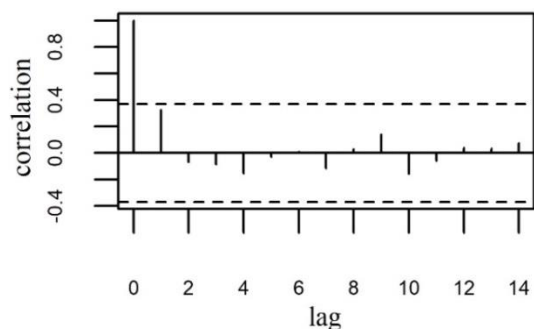


Figure 3- Autocorrelation functions (ACFs) of observed annual precipitable vapor water time series for Shiraz station for the period 1990-2017. The horizontal dashed lines represent the 95% confidence interval of $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$

شکل ۳- تابع خود همبستگی برای سری زمانی سالانه بخار آب قابل بارش مشاهداتی ایستگاه شیراز برای دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰. خط چین‌های افقی بیان‌گر فاصله اطمینان ۹۵ درصدی $\pm \frac{1.96}{\sqrt{n}}$

در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس مقادیر مشاهداتی و NCEP-NCAR به هم نزدیک است در حالی که از ماه مه تا سپتامبر تفاوت قابل توجهی میان تراز میله‌های NCAR-UCAR و رادیوسوند دیده می‌شود. با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که بر خلاف NCAR-UCAR تراز میله‌ها در ECMWF برای همه ماه‌ها به طور یکنواخت به تراز میله‌های رادیوسوند نزدیک است. وجود این تفاوت‌ها مؤلفان را بر آن داشت تا از آزمون‌های

پایه داده‌های ERA-Interim دارای روند خطی معنی‌داری نمی‌باشند ولی بر پایه داده‌های NCEP-NCAR دارای روند افزایشی معنی‌داری می‌باشند. این در حالی است که داده‌های مشاهداتی روند کاهشی نشان دادند که معنی‌دار نبود. بنابراین داده‌های NCEP-NCAR حتی در مورد میل و جهت سری نیز قابل اعتماد نمی‌باشند. مجموع داده‌های NCEP-NCAR بیش‌برآورد و داده‌های ERA-Interim کم‌برآورد را نشان می‌دهند. تفاوت داده‌های NCEP-NCAR با داده‌های مشاهداتی چشم‌گیر و واضح است ولی داده‌های ERA-Interim به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌باشند.

Table 3- Correlation coefficient, root mean square error (RMSE) and the mean difference values between Radiosonde data with ERA-Interim and NCEP-NCAR

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و تفاوت میانگین‌ها بین داده‌های رادیوسوند با ERA-Interim و NCEP-NCAR

Month	P value		Correlation Coefficient	
	NCEP-NCAR	ERA-Interim	NCEP-NCAR	ERA-Interim
Jan.	0.4	0.016	-0.16	0.45
Feb.	0.98	0	-0.003	0.71
Mar.	0.78	0	0.05	0.55
Apr.	0.72	0.44	-0.06	-0.14
May	0.19	0	0.25	0.7
Jun.	0.43	0	0.15	0.66
Jul.	0.27	0	-0.21	0.55
Aug.	0.67	0	-0.08	0.69
Sept.	0.06	0.04	0.35	0.39
Oct.	0.71	0	-0.07	0.61
Nov.	0.51	0	0.12	0.71
Dec.	0.08	0	-0.32	0.69
Year	0.46	0	-0.14	0.59

Month	RMSE		Mean Difference	
	NCEP-NCAR	ERA-Interim	NCEP-NCAR	ERA-Interim
Jan.	2.71	3.29	0.03	2.55
Feb.	2.44	2.38	-0.21	1.94
Mar.	2.2	2.14	0.45	1.61
Apr.	3.19	2.95	-1.69	2.11
May	7.14	2.24	-6.63	1.8
Jun.	11.28	2.65	-10.84	1.94
Jul.	11.84	3.49	-11.02	2.08
Aug.	10.07	3.55	-9.57	3.1
Sept.	8.46	3.08	-8.16	2.37
Oct.	4.84	2.99	-4.06	2.46
Nov.	4.07	2.64	-2.69	1.96
Dec.	2.97	2	-1.46	1.52
Year	4.8	2.23	-4.6	2.17

نتیجه‌گیری

تغییرات درازمدت و روند کل بخار آب قابل بارش با استفاده از داده‌های مشاهداتی رادیوسوند برای ایستگاه

دارد. ولی همبستگی خطی بین داده‌های بخار آب قابل بارش مشاهداتی و NCEP-NCAR برای تمامی ماه‌ها ضعیف می‌باشد و معنی‌دار نیست. همچنین مقدار خطای RMSE برای داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim برای تمامی ماه‌ها (به جز ژانویه) کم‌تر از RMSE داده‌های NCEP-NCAR است. برای نمونه مقدار خطای RMSE برای داده‌های بخار آب قابل بارش ERA-Interim و NCEP-NCAR در ماه ژوئیه به ترتیب برابر ۳/۴۹ و ۱۱/۸۴ میلی‌متر می‌باشد.

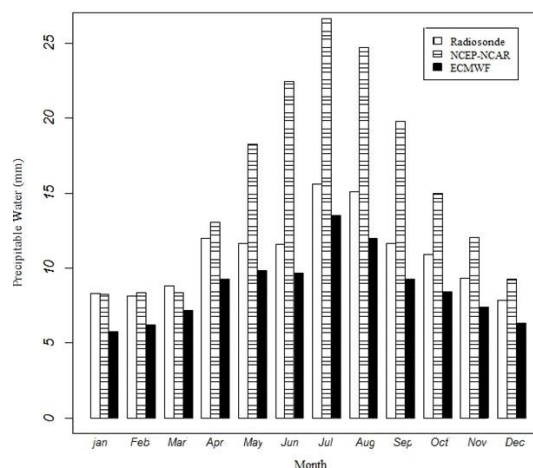


Figure 4- Bar chart of climatological mean for monthly time scale of precipitable water from Radiosonde, ERA-Interim and NCEP-NCAR data for the period 1990-2017

شکل ۴- نمودار میله‌ای میانگین دراز مدت برای مقیاس زمانی ماهانه بخار آب قابل بارش داده‌های رادیوسوند، ERA-Interim و NCEP-NCAR برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۷

همچنین این خطا در مقیاس سالانه نیز به ترتیب برابر ۲/۲۳ و ۴/۸۰ میلی‌متر می‌باشد. سری‌های زمانی میانگین سالانه بخار آب قابل بارش بر پایه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR برای دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۷ در شکل ۲ نیز رسم شده است. برآورد میانگین درازمدت سالانه بخار آب قابل بارش بر پایه داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب برابر ۸/۷ و ۱۵/۵ میلی‌متر می‌باشد که با خط افقی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین روند خطی به صورت خط‌چین در این شکل نشان داده شده است. مقدار شیب روند خطی برای داده‌های ERA-Interim و NCEP-NCAR به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۵ است. P-value مربوطه نیز به ترتیب برابر ۰/۹ و ۰/۲ می‌باشند که بیان‌گر آن است که داده‌های میانگین سالانه بخار آب قابل بارش بر

Interim تخمین بهتری نسبت به داده‌های NCEP-NCAR برای کل بخار آب قابل بارش ارائه می‌دهند در حالی که در تحقیقات قبلی در کشور اغلب از داده‌های NCEP-NCAR استفاده شده است. این نتایج با کارهای Chen and Liu (2016) که در مقیاس جهانی و همچنین Jiang et al., (2019) که بر روی آسیای مرکزی تحقیق کرده‌اند، هم‌خوانی دارد. نتیجه‌گیری می‌شود که برای تحقیقات بعدی در کشور از داده‌های ERA-Interim به عنوان یک نماینده مناسب به جای NCEP-NCAR استفاده شود و قبل از استفاده داده‌های بازتحلیل در ابتدا باید این داده‌ها با داده‌های مشاهداتی برای پارامتر مورد نظر مقایسه و سپس مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- Asakereh, H., Doostkamian, M. 2014. Temporal changes of perceptible water in the atmosphere of Iran. *Iran Water Resources Research*, 10(29): 72- 86.
- Asakereh, H., Doustkamian, M., Qaemi, H. 2015. Analysis of anomalies and perceptible water cycles in Iran atmosphere. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(4): 444-453.
- Chen, B., Liu, Z. 2016. Global water vapor variability and trend from the latest 36 year (1979 to 2014) data of ECMWF and NCEP reanalyses, radiosonde, GPS, and microwave satellite. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(19), DOI: 10.1002/2016JD024917.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., . . . Bauer, d. P. 2011. The ERA- Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656): 553-597.
- Ferrare, R., Brasseur, L., Clayton, M., Turner, D., Remer, L., Gao, B. C. 2002. Evaluation of TERRA aerosol and water vapor measurements using ARM SGP data. In *American Meteorological Society 11th Conference on Atmospheric Radiation*, Ogden, Utah, pp. 3-7.
- Jiang, J., Zhou, T., Zhang, W. 2019. Evaluation of satellite and reanalysis precipitable water vapor datasets against radiosonde observations in Central Asia. *Earth and Space Science*, DOI: 10.1029/2019EA000654.
- همدیدی شیراز حاکی از آن است که روند کل بخار آب قابل بارش مشاهداتی در اغلب ماه‌ها و مقیاس سالانه کاهش یافته و در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار نبوده است. ارزیابی کل بخار آب قابل بارش بازتحلیل NCEP-NCAR و ERA-Interim از مرکز ECMWF با داده‌های مشاهداتی رادیوسوند نشان داد که همبستگی ماهانه و سالانه بین داده‌های مشاهداتی و ERA- Interim قوی و در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد ولی داده‌های NCEP-NCAR همبستگی ضعیفی با داده‌های مشاهداتی دارند. بر پایه معیارهای تفاوت میانگین‌ها و جذر میانگین مربعات خطا، دقت داده‌های ERA- Interim بیش‌تر از NCEP-NCAR می‌باشد. بنابراین، داده‌های ERA- Kalnay, E. Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year reanalysis project: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77: 437- 471.
- Kuo, Y. H., Schreiner, W., Wang, J., Rossiter, D., Zhang, Y. 2005. Comparison of GPS radio occultation soundings with radiosondes. *Geophysical Research Letters*, 32(5), DOI:10.1029/2004GL021443.
- Liu, Z., Chen, B., Chan, S. T., Cao, Y., Gao, Y., Zhang, K., Nichol, J. 2015. Analysis and modelling of water vapor and temperature changes in Hong Kong using a 40- year radiosonde record: 1973–2012. *International Journal of Climatology*, 35(3): 462-474.
- Nilsson, T., Elgered, G. 2008. Long- term trends in the atmospheric water vapor content estimated from ground- based GPS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D19), DOI: 10.1029/2008JD010110.
- Shirvani, A. 2015. Change point analysis of mean annual air temperature in Iran. *Atmospheric Research*, 160: 91-98.
- Shirvani, A. 2017. Change in annual precipitation in the northwest of Iran. *Meteorological Applications*, 24: 211-218.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J., Smith, L. 2005. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, 24(7-8): 741-758.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., Kiehl, J. 2009. Earth's global energy budget. *Bulletin of the*

- American Meteorological Society, 90(3): 311-324.
- Vey, S., Dietrich, R., Rülke, A., Fritsche, M., Steigenberger, P., Rothacher, M. 2010. Validation of precipitable water vapor within the NCEP/DOE reanalysis using global GPS observations from one decade. *Journal of Climate*, 23(7): 1675-1695.
- Wagner, T., Beirle, S., Grzegorski, M., Platt, U. 2006. Global trends 1996–2003 of total column precipitable water observed by Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) on ERS-2 and their relation to near-surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D12), DOI:10.1029/2005JD006523.
- Xie, B., Zhang, Q., Ying, Y. 2011. Trends in precipitable water and relative humidity in China: 1979–2005. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(10): 1985-1994.



ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش فصل رشد گندم دیم در استان کردستان

مجتبی شکوهی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

چکیده (نام ایستگاه‌ها اضافه شود)

گرمایش جهانی الگوی دما و بارش را دستخوش تغییر کرده و بر تولید محصولات زراعی از جمله گندم دیم اثر گذار خواهد بود. در این پژوهش با روش‌های تحلیل همبستگی و تحلیل کای اسکور تکرار شونده، ارتباط عملکرد گندم دیم در منطقه کردستان با متغیرهای دمایی و بارش تعیین و سپس چشم‌انداز عملکرد تحت یک سناریوهای واداشت تابشی ارزیابی گردید. به این منظور خروجی روزانه هفت مدل انتخابی CMIP5 تحت سناریوی RCP8.5 برای دوره زمانی ۲۰۴۵ الی ۲۰۶۵ اخذ و با روش خطای نگاشت هم فاصله تابع توزیع تجمعی (EDCDFm) تصحیح شدند. نتایج نشان داد، بارش در اوایل کاشت و طی مرحله گل‌دهی، و دمای حداکثر پیش از شروع دوره رکود زمستانه گیاه و طی مرحله گل‌دهی، و همچنین دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه تأثیرگذارترین عوامل بر عملکرد محصول هستند. پیش‌نگری‌ها نشان داد افزایش دمای بیشینه در ماه‌های نوامبر، دسامبر، آوریل و مه، موجب کاهش محصول خواهد شد، در حالیکه با افزایش دمای بیشینه و کمینه ماه‌های ژانویه و فوریه شرایط برای تولید مطلوب تر خواهد بود. پیش‌نگری تغییرات بارش نشان داد با کاهش بارش ماه‌های آوریل و مه، شرایط رطوبتی جهت تولید نامناسب است، در حالیکه افزایش بارش ماه نوامبر می‌تواند شرایط رطوبتی در اوایل کاشت، و در نتیجه میزان عملکرد محصول را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: تصحیح اربیی، EDCDFm، مدل‌های CMIP5، گندم، سناریو

مقدمه

(Sanchez, 2000; 2003). با وجود عدم قطعیت‌ها در مورد ارتباط گرمایش جهانی و تغییرپذیری اقلیم (Huntingford et al., 2013)، گرمایش اخیر جهانی به طور قابل توجهی الگوی توزیع تغییرات دمایی (Gourdji et al., 2013;) و بارش (Rahmstorf and Coumou, 2011) را دستخوش تغییر کرده است. این تغییر الگوها بر محیط تولید محصولات زراعی از جمله گندم اثرگذار خواهد بود. تا سال ۲۰۳۰ مناطق کشت گندم در جهان که با خطر وقوع دماهایی بسیار بالا طی مراحل حساس رشد و نموی تهدید می‌شوند به دو برابر افزایش می‌یابد و تا سال ۲۰۵۰ نواحی در معرض خطر به سه برابر افزایش خواهد یافت (Gourdji et al., 2013). محصول گندم غذای غالب ایرانیان (Yazdanshenas et al., 2011) به ویژه به شکل نان است و به عنوان یک محصول راهبردی و تأثیرگذار بر امنیت غذایی حائز اهمیت است. طبق آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶، مقدار تولید گندم آبی و دیم کشور به ترتیب ۸/۹ و ۳/۵ میلیون تن بوده است که استان کردستان با تولید

تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلفی از جامعه تأثیر می‌گذارد که از بین آن‌ها اثر تغییر اقلیم بر امنیت آبی و غذایی بسیار حائز اهمیت است (Wang et al., 2013). کمبود آب و مواد غذایی بزرگترین مشکل در سطح جهانی بوده که با شدت بیش‌تری مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Misra, 2014). علاوه بر این‌ها افزایش جمعیت به بیش از ۹ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ از یک طرف و کاهش زمین‌های کشاورزی از طرف دیگر، تأمین امنیت غذایی برای این رشد جمعیت را در آینده نزدیک با چالش روبه رو ساخته است (Altinsoy et al., 2013). بنابراین برای سیاست‌گذاران و دانشمندان، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و منابع آب به عنوان یک موضوع مهم دارای اهمیت ویژه‌ای است (Fuhrer, 2013).

^۱ دانش‌آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

(*نویسنده مسئول: mojtabashokohi@gmail.com)

محصول در نواحی سردتر باشد مثل کانادا که عملکرد ذرت و گندم بهاره به ترتیب تا ۶۴ و ۵۷ درصد نسبت به سال دهه ۱۹۸۰ افزایش می‌یابد (Qian et al., 2013). در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود در جنوب آفریقا تولید محصولات ۱۱- تا ۱۴ درصد تغییر کند (Zinyengere et al., 2013) و در جنوب استرالیا عملکرد گندم ۱۳/۵ تا ۳۲ درصد کاهش یابد (Luo et al., 2005) و در دشت‌های شمالی چین تولید گندم تا ۹/۸ درصد افزایش یابد (Zhang et al., 2004). این درحالی است تغییرات اقلیمی اخیر در روسیه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول گندم زمستانه نداشته (Licker et al., 2013). بنابراین می‌توان گفت اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم در مناطق مختلف متفاوت است و ممکن است به نفع یا ضرر آن باشد و نیاز است اثر تغییر اقلیم بر شرایط آگروکلیمایی در هر منطقه به دقت بررسی شود تا بتوان سیاست‌های سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم را متناسب با هر منطقه برنامه‌ریزی نمود. هر گونه تغییر در شرایط اقلیمی به ویژه در مراحل حساس رشد و نمو محصولات منتج به کاهش شدید عملکرد می‌شود (Bannayan et al., 2010). پاسخ گیاه گندم به شرایط نامساعد اقلیمی (تنش رطوبتی و حرارتی) بسته به مراحل رشد نموی متفاوت بوده و می‌تواند عملکرد محصول گندم را تحت تأثیر قرار دهد (McMaster and Wilhelm, 2003). دماهای بسیار پایین $17/2^{\circ}C$ - ($1/2^{\circ}C \pm$) در زمستان (Porter and Gawith, 1999)، و دماهای کم‌تر از $1^{\circ}C$ - پس از پایان زمستان و شروع دوباره فصل رشد در مرحله به سنبله رفتن به شدت به گیاه صدمه می‌زند (Bergjord et al., 2008). مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله نموی گیاه به تنش حرارتی (Sinclair and Jamieson, 2006) است که وقوع دماهای بین $27^{\circ}C$ تا $31^{\circ}C$ کمی قبل از شروع گل‌دهی و در طی دوره گل‌دهی عملکرد دانه را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Wheeler et al., 1996)، و حتی تداوم یک دوره با دماهای بسیار بالا تقریباً منجر به از دست رفتن کل عملکرد می‌شود (Porter and Semenov, 2005). دمای بیش ۳۱ درجه سانتی‌گراد در مدت کوتاهی پس از مرحله گل‌دهی و $35^{\circ}C$ در طول پر شدن و رسیدن دانه منجر به کاهش فتوسنتز خالص و عملکرد محصول می‌شود (Porter and Gawith, 1999; Tashiro and Wardlaw, 1989). در مرحله رسیدن دانه افزایش دمای شبانه (دمای حداقل)

۵۱۸۰۰۰ تن گندم دیم بعد از استان گلستان در رتبه دوم تولید گندم دیم در کشور قرار دارد. استان کردستان یکی از مناطق عمده تولید گندم دیم در ایران است که در اکثر سال‌ها مقام اول تولید گندم دیم را به خود اختصاص می‌دهد. لذا تغییر اقلیم می‌تواند بر تولید گندم دیم در این استان مؤثر بوده و در نتیجه امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار داده و تبعات اجتماعی و امنیتی به دنبال داشته باشد. مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصول کشاورزی یا از روش‌های آماری استفاده کرده و از نتایج پاسخ محصول به تغییرات اقلیمی گذشته به عنوان عاملی برای پیش‌بینی عملکرد محصول در آینده استفاده می‌نمایند (Egli, 2008; Lobell and Burke, 2010; Malone et al., 2009; Tao et al., 2006) یا این که از خروجی مدل‌های اقلیمی (GCM) در مدل‌های شبیه‌سازی زراعی استفاده می‌کنند (Daccache et al., 2011; Lobell and Asseng, 2017; Lv et al., 2013). اما از طرفی مدل‌های شبیه‌سازی محصول نیاز به داده‌های ورودی زیادی دارند (داده‌های خاک، آب و هوا، مشخصات وارسته و شیوه‌های مدیریت زراعی) (Angulo et al., 2013) و برای یک محیط همگن (یک سایت) طراحی شده و مناسب برای تحلیل‌ها در مقیاس مزرعه هستند (Hartkamp et al., 2001; Priya and Shibasaki, 1999). بنابراین استفاده آن‌ها در نواحی بزرگ مانند مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم به علت تغییرات داده‌های ورودی و ناهمگنی در منطقه با مشکل رو به رو است و سبب خطا در شبیه‌سازی‌های زراعی می‌شود (Hansen and Jones, 2000; Lal et al., 2011; Wang et al., 1993). بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری، ارتباط عملکرد محصول با متغیرهای دمایی و بارش تعیین شده و سپس از آن به عنوان عاملی برای پیش‌بینی تغییرات عملکرد محصول تحت پیش‌نگری‌های اقلیمی آینده استفاده شد. واکنش محصول به عوامل اقلیمی به شدت وابسته به شرایط محیطی گیاه است (Kersebaum et al., 2005; Wassenaar et al., 1999). شرایط اقلیمی آینده ممکن است در برخی مناطق مطلوب گیاه باشد. یا این که تنش آبی و افزایش دما می‌تواند عملکرد محصول را در مناطقی که در حال حاضر در شرایط مطلوبی قرار دارند به سمت نامطلوب شدن پیش برد (Ortiz et al., 2008; Smith et al., 2013). روند گرمایی اقلیم ممکن است به نفع تولید

شد و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد محصول از ۷۷۳ کیلوگرم بر هکتار در ایستگاه بیجار تا ۸۲۸ کیلوگرم بر هکتار در ایستگاه سقز متغیر است (جدول ۱).

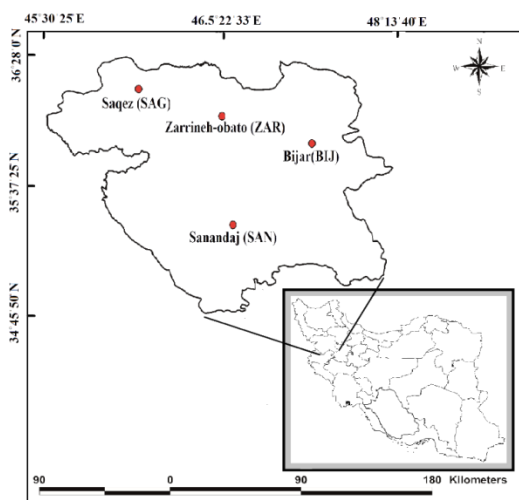


Figure 1- Overview of the location of the stations and study areas

شکل ۱- نمایش کلی از موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه

یکی از مسائل حائز اهمیت در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم، انتخاب مدل‌های گردش عمومی GCM^۱ متناسب با منطقه هست (Shokouhi et al., 2018). بنابراین از هفت مدل GCM پیشنهادی (جدول ۲) از مجموع مدل‌های CMIP5 برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد (Shokouhi et al., 2018). برای اطلاع از جزئیات بیشتر انتخاب مدل‌های انتخابی به مطالعه Shokouhi et al., (2018) مراجعه شود. استفاده از مدل‌های انتخابی برای منطقه مورد مطالعه می‌تواند عدم قطعیت در پیش‌نگری‌های اقلیمی را تا حد ممکن کاهش دهد (Shokouhi et al., 2018). داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی مورد نظر از وب سایت مرکز توزیع داده (DDC)^۲ هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۳ تحت سناریوی RCP8.5 (به عنوان بدبینانه‌ترین سناریو در افزایش غلظت دی اکسید کربن و دما) و برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ فراهم گردید.

سبب افزایش میزان تنفس نگهداری گیاه شده و منجر به کاهش تولید بیوماس و عملکرد محصول می‌شود (Rosenzweig and Tubiello, 1996; Ryan, 1991). رطوبت بسیار شدید خاک بین مرحله کاشت تا پایان پنجه‌زنی سبب کاهش تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته و عملکرد دانه می‌شود (Malik et al., 2002). از طرفی عدم رطوبت مناسب جهت پنجه‌زنی در اوایل کاشت سبب می‌شود گیاه فرصت کافی برای پنجه‌زنی قبل از شروع زمستان نداشته باشد و نتواند در برابر سرماهای شدید مقاومت کرده و در نتیجه سبب کاهش عملکرد می‌شود (Yau et al., 2011). از طرفی بارش‌های سنگین طی مرحله گل‌دهی تا رسیدن دانه خطر وقوع پدیده ورس را افزایش داده (Gent and Kiyomoto, 1997) که این خود سبب کاهش کمیت و کیفیت دانه شده و منتج به کاهش عملکرد می‌شود (Berry et al., 2003). حال این سوال مطرح می‌شود که در اثر تغییر اقلیم شرایط نامساعد آب و هوایی ذکر شده چگونه تغییر خواهد نمود و شرایط دمایی و بارش در آینده به نفع یا ضرر تولید گندم در استان کردستان است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق ارزیابی این است که آیا تحت پیش‌نگری‌های اقلیمی آینده تغییر شرایط دمایی و بارش در استان کردستان به نفع تولید محصول گندم هستند یا به ضرر آن. در این راستا در ابتدا ارتباط عملکرد محصول با شرایط دمایی و بارش در دوره پایه ارزیابی شده و سپس تغییرات این شرایط در آینده بررسی می‌شود. با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تولید محصول کشاورزی، می‌توان آثار سوء این پدیده را شناخت و در نتیجه سیاست‌های سازگاری مناسب‌تری اتخاذ نمود.

مواد و روش‌ها

تمرکز این مطالعه بر روی استان کردستان است که طبق آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی به عنوان یک استان مهم در تولید گندم دیم شناخته می‌شود (شکل ۱). داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی دمایی حداکثر، دمایی حداقل و بارش در این استان، برای ۴ ایستگاه سینوپتیک (جدول ۱ و شکل ۱) از سازمان هواشناسی کشور فراهم گردید. مشخصات اقلیمی، جغرافیایی و موقعیت مکانی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است. داده‌های عملکرد محصول گندم دیم طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۳ برای مناطق مورد مطالعه از وزارت جهاد کشاورزی تهیه

^۱ General Circulation Model

^۲ Data Distribution Centre (DDC) http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5/Reference-Archive.html

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Table 1- Geographical, agronomic and climatic characteristics for each station

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی، زراعی و اقلیمی برای هر ایستگاه

Station name	Established year	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Average yield (Kg ha ⁻¹)	Average precipitation (mm)	Average temperature (°C)
Saqez (SAG)	1961	46.27	36.25	828	487	11.2
Sanandaj (SAN)	1959	47.00	35.33	812	450	13.6
Bijar (BIJ)	1987	47.62	35.88	773	340	11.1
Zarrineh-obato (ZAR)	1989	46.92	36.07	810	395	7.9

Table 2- Seven selected CMIP5 models, experiments and ensemble members, used in this study

جدول ۲- هفت مدل انتخابی CMIP5 و گروه‌های هر مدل استفاده شده

Model Name	Research Centre	Horizontal Resolution (latitude × longitude)	Experiments and Ensemble Members
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	1.401×1.406	hist. r[1-10]i1p1, RCP26 r1i1p1, RCP85 r[1,2,4,6,10]i1p1
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence Australia	1.865×1.875	r[1-10]i1p1
EC-EARTH	European Earth System Model, Netherlands/Ireland	1.121×1.125	hist. r[1,2,6,7,8,9,12,13,14]i1p1, RCP26 r[8,12]i1p1, RCP85 r[1,2,6,8,9,11,12,13]i1p1
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre, UK	1.25×1.875	r[1-4]i1p1
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre Simon Laplace, Paris, France	1.268×2.5	hist. r[1-3]i1p1, RCP26 & RCP85 r1i1p1
MIROC5	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, and National Institute for Environmental Studies, Japan	1.401×1.406	hist. r[1-5]i1p1, RCP26 & RCP85 r[1-3]i1p1
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	1.865×1.875	r[1-3]i1p1

جدول ۳ آورده شده است. رابطه بین عملکرد محصول و متغیرهای اقلیمی تعریف شده، توسط ضریب همبستگی (r) و P-value به عنوان معیاری از معناداری ارزیابی شد. برای شناسایی و تبیین ارتباط سری داده‌های عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای روزانه دمایی و بارش، در دوره‌های مختلف رشد و نمو از روش کای‌اسکور تکرارشونده^۲ (χ^۲) استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان روابط علت و معلولی را تعیین و ارتباط عملکرد محصول و عوامل آب و هوایی را نشان داد (Caprio and Quamme, 2006). روش کای‌اسکور تکرارشونده اولین بار توسط (Caprio, 1966) توسعه یافت و از آن زمان به بعد برای محصولات گوناگون در مناطق مختلف به کارگرفته شد (Bannayan and Sanjani, 2011; Kutcher et al., 2010; Shokouhi and Sanaei nejad, 2014). داده‌های عملکرد محصول در سری روندزدایی شده بر حسب کم به زیاد رتبه‌بندی شده و بالاترین و پایین‌ترین چارک به ترتیب در گروه سال‌هایی با

برای هر یک از گروه‌ها و اعضای مدل‌های GCM (جدول ۲) روش تصحیح خطای نگاشت هم فاصله تابع توزیع تجمعی^۱ (EDCDFm) برای هر متغیر اقلیمی در هر منطقه اعمال شد و سپس متوسط تمام گروه‌های هر مدل به عنوان خروجی آن مدل برای آن متغیر اقلیمی لحاظ شد (Shokouhi et al., 2018). شایان ذکر است، داده‌های اقلیمی در اجرای مدل‌های CMIP5 تا پایان سال ۲۰۰۵ میلادی به عنوان دوره تاریخی (یا دوره پایه) و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوهای انتشار آینده در نظر گرفته شده است. برای اطلاع بیشتر از چگونگی روش تصحیح خطا و انتخاب هفت مدل انتخابی به مطالعه (Shokouhi et al., 2018) مراجعه شود. به منظور تعیین ارتباط عملکرد محصول با دما و بارش در دوره پایه، از دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش ماهانه، متغیرهای ماهانه اقلیمی تعریف شد (برای هر ماه)، این متغیرها در

² Iterative Chi-square

¹ Equidistant Cumulative Distribution Function matching (EDCDFm)

داده در الگوی دمایی و بارش نسبت به دوره پایه، اثر این گونه تغییرات بر عملکرد محصول ارزیابی می‌شود.

نتایج و بحث

ضریب همبستگی (r) بین عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای اقلیمی تعریف شده بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در جدول ۳ آورده شده است. همبستگی تقریباً تمام متغیرهای تعریف شده بارش با عملکرد محصول در تمام ایستگاه‌ها مثبت است (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار همبستگی بین عملکرد محصول و متغیرهای بارش، برای ایستگاه‌های سقز، زرینه اوباتو، بیجار و سنندج به ترتیب مربوط به متغیرهای بارش ماه اکتبر (Pr_Oct)، بارش ماه نوامبر (Pr_Nov)، بارش ماه می (Pr_May) و بارش ماه آوریل (Pr_Apr) است (جدول ۳). به طور کلی می‌توان گفت در تمام ایستگاه‌ها در بین متغیرهای بارش، بارش ماه‌های، مه (Pr_May)، آوریل (Pr_Apr)، اکتبر (Pr_Oct) و نوامبر (Pr_Nov) دارای بیش‌ترین همبستگی با عملکرد محصول هستند (جدول ۳). در تمام ایستگاه‌ها بارش ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) ارتباط معنادار و قابل توجهی با عملکرد محصول ندارد (جدول ۳). نوع ارتباط عملکرد محصول گندم دیم با دمای حداکثر، بسته به ماه مورد نظر در ایستگاه‌ها متفاوت است (جدول ۳). در تمام ایستگاه‌ها عملکرد محصول ارتباط مستقیمی با دمای حداکثر ماه‌های ژانویه (Tmax_Jan) و فوریه (Tmax_Feb) دارد در حالی که در سایر ماه‌ها (به جز ماه اکتبر که رابطه قابل توجه و معناداری وجود ندارد) این ارتباط معکوس است (جدول ۳). در بین متغیرهای اقلیمی دمای حداکثر، متغیرهای دمای حداکثر ماه آوریل (Tmax_Apr) و دمای حداکثر ماه نوامبر (Tmax_Nov) دارای بیش‌ترین تعداد همبستگی معنادار و قابل توجه هستند. این همبستگی‌ها در همه ایستگاه‌ها، نشان دهنده رابطه عکس عملکرد محصول با دمای حداکثر هستند (جدول ۳). نوع ارتباط عملکرد محصول گندم دیم با دمای حداقل، بسته به ایستگاه و ماه متفاوت است. البته تعداد همبستگی‌های معنی‌دار بین عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، نسبت به متغیرهای اقلیمی دمای حداکثر و بارش کم‌تر است (جدول ۳). در ماه‌های ژانویه (Tmin_Jan) و فوریه (Tmin_Feb) دارای

عملکرد بالا و پایین، و مابقی سال‌ها که نیمی از آن‌ها را شامل می‌شود به عنوان سال‌هایی با عملکرد نرمال لحاظ شد. قدم بعدی طبقه‌بندی متغیرهای دمای حداکثر و حداقل در طبقات با فاصله 5°C (Bannayan and Sanjani, 2011) و بارندگی در طبقات با فاصله 0.2 میلی‌متر (Kutcher et al., 2010) می‌باشد. در مرحله بعد جداول فراوانی تجمعی طبقات مختلف متغیرها، برای تمام روزهای یک پنجره متحرک سه هفتگی (یک هفته به جلو) در هر یک از گروه‌های عملکردی تشکیل شد و در نهایت مقادیر χ^2 برای گروه‌های عملکردی بالا و پایین طبق معادله ۱ برای هر طبقه از متغیرها تولید شد (Caprio, 1966).

$$\chi^2_i = \frac{(O_{yi} - T_{yi})^2}{T_{yi}} + \frac{(O_{ni} - T_{ni})^2}{T_{ni}} \quad (1)$$

که در آن O_{yi} و O_{ni} به ترتیب نشان‌دهنده مقایر مشاهده شده برای سال‌های با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌های با عملکرد نرمال در نام طبقه متغیر و T_{yi} و T_{ni} به ترتیب نشان‌دهنده مقایر مورد انتظار برای سال‌های با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌های با عملکرد نرمال در نام طبقه متغیر است. طبقه متغیری که مقدار χ^2 برای آن به حداکثر خود برسد، به عنوان مقدار آستانه آن متغیر تعریف شد (Kutcher et al., 2010). حداقل مقدار χ^2 برای معنی‌داری در درجه آزادی ۱ و سطح ۱ درصد برابر مقادیر بیش‌تر مساوی از ۷ یا مقادیر کم‌تر مساوی از ۷- است، و دوره‌ای معنادار لحاظ شد که حداقل برای دو هفته مقدار χ^2 در این محدوده قرار گیرد (Caprio, 1966). در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین چنانچه برای یک مقدار آستانه، تعداد روزها بیش‌تر از تعداد روزهای مورد انتظار باشد، χ^2 مثبت و در غیر این صورت منفی لحاظ شد. تعداد روزهای بیش‌تر (χ^2 مثبت) به این معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر بیش‌تر است. روزهای کم‌تر (χ^2 منفی) به این معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر کم‌تر است. برای آشنایی بیش‌تر از جزئیات تحلیل کای اسکور تکرار شونده به (Caprio, 1966; Caprio and Quamme, 1999) مراجعه کنید. در این مطالعه دمای شبانه اشاره به دمای حداقل روزانه دارد. در نهایت با توجه پیش‌نگری‌های اقلیمی متوسط هفت مدل انتخابی و بررسی تغییرات روی

سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه و فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲). در حالی که در ایستگاه سقز برای سال‌های با عملکرد بالا، تعداد روزهای کم‌تری با دماهای حداقل $T_{min} < -13$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه و فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد عملکرد محصول با دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه رابطه مستقیمی داشته و نسبت به سایر ماه‌ها از همبستگی بالاتری در تمام ایستگاه‌ها برخوردار است (جدول ۳). علاوه بر این نتایج تحلیل χ^2 نشان داد در سال‌های با عملکرد پایین، در ایستگاه‌های سقز، بیجار و سنندج به ترتیب تعداد روزهای کم‌تری با دماهای حداکثر $T_{max} > 8$ ، $T_{max} > 5$ ، $T_{max} > 12$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه تا اوایل فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲).

همبستگی‌های مثبت، قابل توجه و معنادار، در بین ایستگاه‌ها هستند (جدول ۳). در حالی که در تمام ایستگاه‌ها عملکرد محصول با دمای حداقل ماه ژوئن (T_{min_Jun}) رابطه معکوسی دارند (جدول ۳). در ادامه با انجام تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده χ^2 به صورت روزانه می‌توان با جزئیات بیش‌تری ارتباط عملکرد محصول با بارش و دما را طی مراحل مختلف دوره رشد و نمو توصیف نمود. از این رو بحث این قسمت در ادامه به همراه نتایج و بحث تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده ارائه می‌شود. تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده رابطه سال‌های با عملکرد پایین و بالا را نسبت به دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه در طی مراحل مختلف رشد و نمو محصول در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۲). نتایج تحلیل χ^2 نشان داد در سال‌های با عملکرد پایین، تعداد روزهای بیش‌تری با دماهای حداقل بسیار پایین در ایستگاه‌های زرینه اوباتو $T_{min} < -15$ ، بیجار $T_{min} < -13$ و سنندج $T_{min} < -8$ درجه

Table 3- Correlation analysis of annual product yield with monthly climatic variables of precipitation, maximum temperature and minimum temperature

جدول ۳- تحلیل همبستگی عملکرد سالانه محصول با متغیرهای ماهانه اقلیمی تعریف شده بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل

Station	Correlation Coefficient (r) for Precipitation (Pr) variables								
	Pr_Oct ¹	Pr_Nov	Pr_Dec	Pr_Jan	Pr_Feb	Pr_Mar	Pr_Apr	Pr_May	Pr_Jun
SAG	0.4*	0.34	0.15	0.05	0.16	0.02	0.38	0.26	0.25
ZAR	0.34	0.38	0.26	0.11	0.24	0.15	0.5**	0.7**	0.22
BIJ	0.35	0.44*	0.12	-0.11	-0.09	0	0.37	0.46*	0.16
SAN	0.32	0.37	0.22	0.09	0.19	0.29	0.39	0.31	0.11
Correlation Coefficient (r) for Maximum temperature (Tmax) variables									
	Tmax_Oct	Tmax_Nov	Tmax_Dec	Tmax_Jan	Tmax_Feb	Tmax_Mar	Tmax_Apr	Tmax_May	Tmax_Jun
SAG	0.05	-0.63**	-0.34	0.26	0.16	-0.06	-0.42*	-0.21	-0.03
ZAR	0.02	-0.62**	-0.29	0.36	0.19	-0.11	-0.57**	-0.61**	-0.02
BIJ	0.14	-0.55**	-0.31	0.32	0.26	0.1	-0.33	-0.23	-0.01
SAN	0.08	-0.6**	-0.17	0.27	0.23	0.08	-0.29	-0.13	0.11
Correlation Coefficient (r) for Minimum temperature (Tmin) variables									
	Tmin_Oct	Tmin_Nov	Tmin_Dec	Tmin_Jan	Tmin_Feb	Tmin_Mar	Tmin_Apr	Tmin_May	Tmin_Jun
SAG	0.29	0.17	-0.13	0.38	0.31	0.1	0.09	0.07	-0.22
ZAR	0.11	-0.27	-0.19	0.48*	0.34	0.07	-0.34	0.16	-0.38
BIJ	0.34	-0.36	-0.23	0.4*	0.36	0.12	-0.15	-0.21	-0.05
SAN	0.33	0.28	0.12	0.39	0.49*	0.26	0.18	0.3	-0.12

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است.

۱- منظور از متغیر Pr_Oct یعنی مقدار بارش ماه اکتبر. به همین ترتیب برای سایر ماه‌ها و دمای حداکثر و حداقل

* and ** significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively

1- The Pr_Oct variable means the amount of precipitation in October. So for the other months and the maximum and minimum temperatures

سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده است (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد عملکرد محصول با دمای حداکثر ماه‌های ژانویه و فوریه رابطه مستقیمی دارد (جدول

در ایستگاه زرینه اوباتو در سال‌های با عملکرد بالا، تعداد روزهای بیش‌تری با دماهای حداکثر $T_{max} > 8$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه تا اوایل فوریه نسبت به

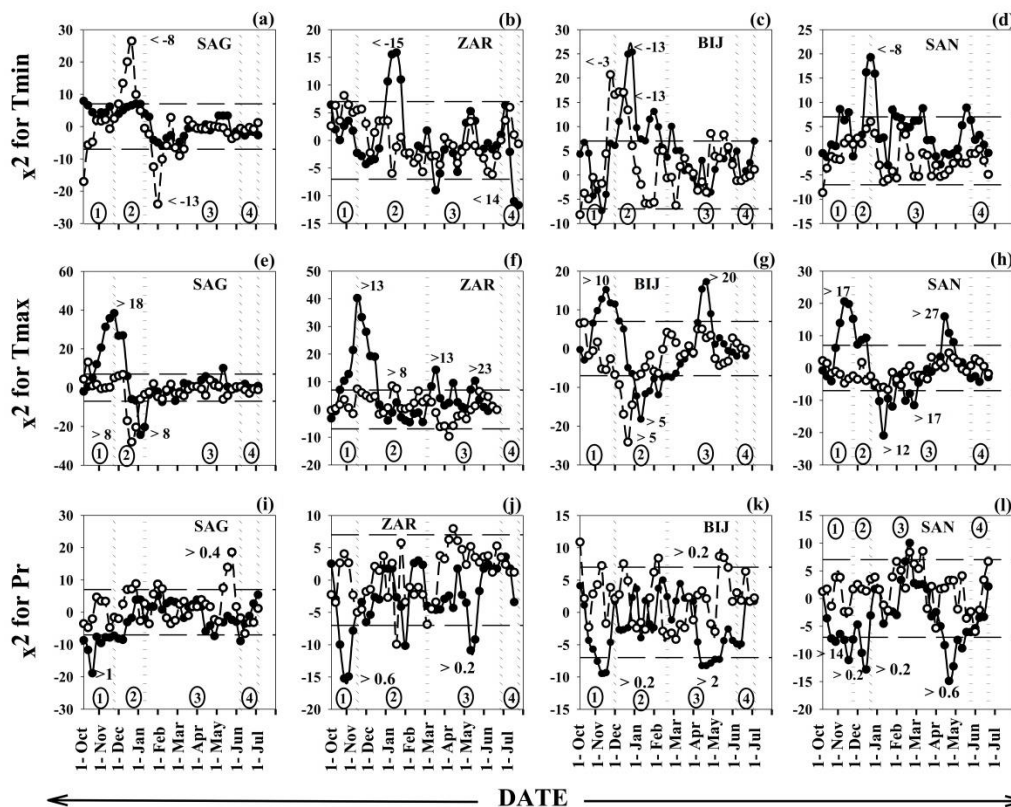


Figure 2- The results of iterative Chi-square χ^2 for, (a) - (d) the minimum temperature (T_{min} °C), (e) - (h) maximum temperature (T_{max} °C) and (i) - (l) precipitation (Pr mm) at each station. The horizontal dashed lines [- -] in each graph indicates the minimum value for the χ^2 significant at 1% level (at least for two consecutive weeks). The threshold values χ^2 are shown on each graph. Vertical dotted lines [|] in each graph separator plant phenology which involves stages, planting stage, germination and tillering stage, stem elongation and anthesis stage and ripening stage which indicated by numbers 1, 2, 3 and 4 respectively in each graph. High yield years: (○—); Low yield years: (●—).

شکل ۲- نتایج تحلیل کای اسکور تکرارشونده χ^2 برای، (a) - (d) دمای حداقل (T_{min} °C)، (e) - (h) دمای حداکثر (T_{max} °C) و (i) - (l) بارش (Pr mm) در هر ایستگاه. خطوط منقطع افقی در هر نمودار [- -] نشان دهنده حداقل مقدار χ^2 برای معنی داری در سطح یک درصد است (حداقل برای دو هفته متوالی). مقادیر آستانه χ^2 بر روی هر نمودار نشان داده شده است. خطوط نقطه چین عمودی در هر نمودار [|] تفکیک کننده مراحل فنولوژی گیاه است که شامل مراحل، مرحله کاشت، مرحله جوانه و پنجه زنی، مرحله توسعه ساقه و گل دهی و مرحله رسیدن است که حدود آن ها به ترتیب با شماره های ۱، ۲، ۳ و ۴ در هر نمودار مشخص شده است. سال های با عملکرد پایین (●—) و سال های با عملکرد بالا (○—).

محصول تأثیرگذار است. تحقیقات نشان داد عدم رطوبت کافی در زمان کاشت و گل دهی شدیداً بر عملکرد تأثیر می گذارد و بنابراین تک آبیاری در زمان کاشت و یک آبیاری در زمان گل دهی سبب افزایش چشمگیر عملکرد جو دیم می شود (Tavakoli, 2012). مطالعات دیگر نیز نشان داد که بارندگی ماه های فروردین و اردیبهشت بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم در استان همدان دارد (Sabziparvar et al., 2013).

در حالی که برای سال های با عملکرد بالا، طی مراحل توسعه ساقه و گل دهی، ایستگاه سقز دارای روزهای بیشتری با بارش $Pr > 0.4$ میلی متر است (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد، در تمام ایستگاه ها، عملکرد محصول با بارش ماه های آوریل و مه دارای همبستگی مثبت، قابل توجه و معنادار است (جدول ۳). این نشان می دهد علاوه بر بارش در اوایل کاشت، بارش در مرحله توسعه ساقه و به ویژه مرحله گل دهی نیز بر عملکرد

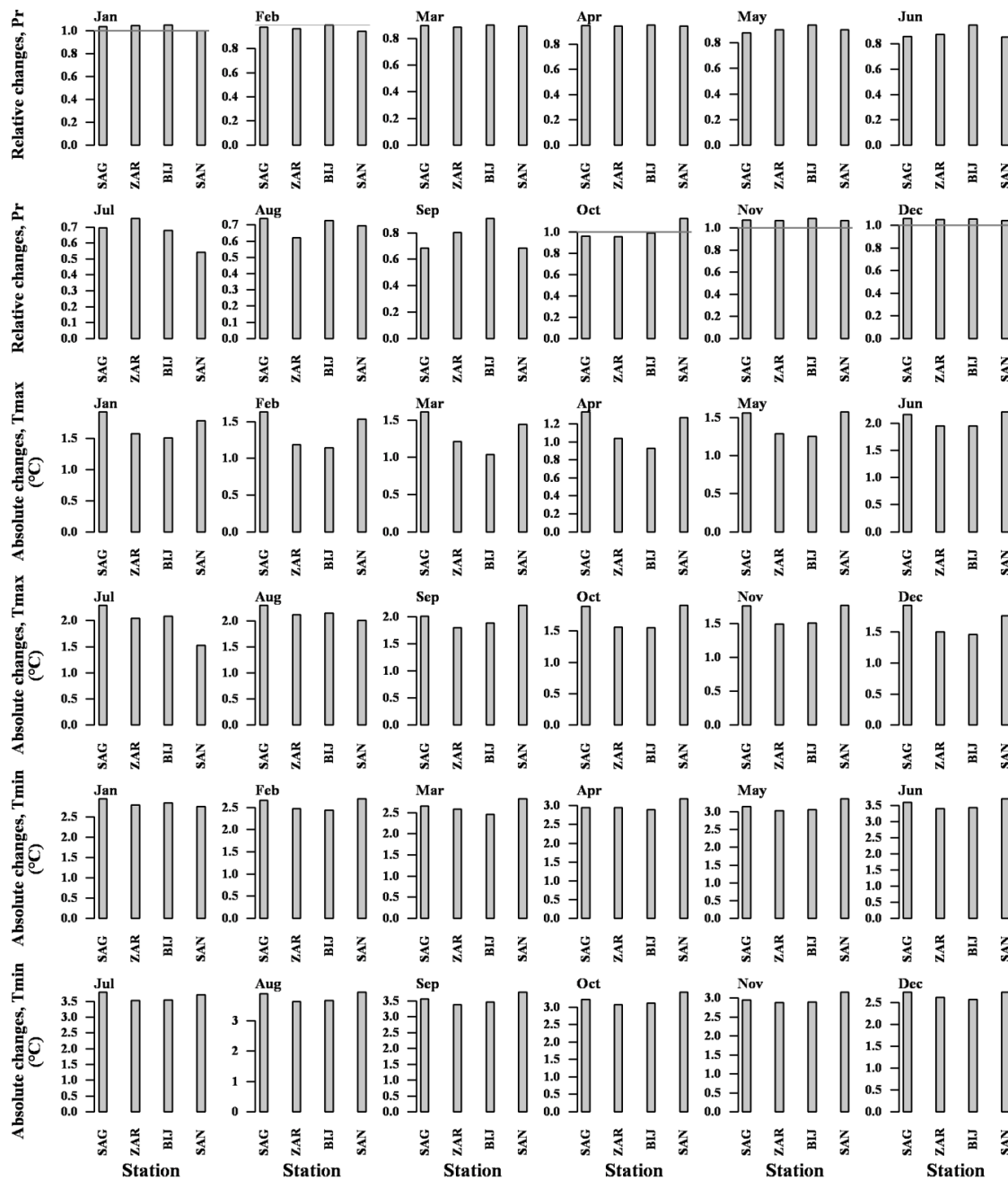


Figure 3- The relative changes in monthly precipitation (the ratio of the amount of precipitation in the future to the base period), the absolute changes in the maximum monthly temperature (Tmax), and the absolute change in the minimum monthly temperature (Tmin) for each station, under the RCP8.5 scenario and for the average seven selected models in the period 2045-2065 relative to the base period

شکل ۳- تغییرات نسبی بارش ماهانه (نسبت مقادیر بارش در آینده به دوره پایه) (Pr)، تغییرات مطلق دمای حداکثر ماهانه (T_{max}) و تغییرات مطلق دمای حداقل ماهانه (T_{min}) برای هر ایستگاه، تحت سناریوی RCP8.5 و برای متوسط هفت مدل انتخابی در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه

مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) و دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه از جمله مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل آب و هوایی بر عملکرد محصول در تمام ایستگاه‌ها هستند. حال با توجه به نتایج تحلیل ۷۲ می‌توان علت بالاتر بودن متوسط عملکرد محصول در سقز نسبت به سایر مناطق را بیان نمود. آن‌چنان که در شکل ۲

در نهایت با توجه به نتایج تحلیل همبستگی و تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده ۷۲، در کل می‌توان گفت بارش در ابتدای مراحل کاشت محصول (طی ماه‌های اکتبر و نوامبر) به همراه بارش طی مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) و دمای حداکثر پیش از شروع زمستان‌گذرانی گیاه (طی ماه نوامبر تا اوایل دسامبر) و دمای حداکثر طی

نسبت به دوره پایه، برای متوسط تمام ایستگاه‌ها از ۲/۶ درجه سانتی‌گراد برای ماه فوریه تا ۳/۸ درجه سانتی‌گراد برای ماه اوت متغیر خواهد بود (شکل ۳). این نشان می‌دهد که متوسط افزایش دمای حداقل برای تمام ایستگاه‌ها نسبت به دمای حداکثر، ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر است. این افزایش دمای حداقل می‌تواند تهدید یخ‌زدگی و وقوع دماهای بسیار پایین را در زمستان کاهش دهد. با در نظر گرفتن نتایج تحلیل همبستگی و تحلیل کای‌اسکور تکرار شونده و ارزیابی ارتباط عملکرد محصول با متغیرهای اقلیمی بارش ماهانه، دمای حداکثر ماهانه و دمای حداقل ماهانه حال می‌توان با توجه به پیش‌نگری تغییرات این متغیرها، در نهایت با ارزیابی کارشناسی اثر این تغییرات را بر عملکرد محصول تعیین نمود. اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش ماهانه، دمای حداکثر ماهانه و دمای حداقل ماهانه بر عملکرد محصول گندم در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP8.5 برای هر ایستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

مشخص است، در مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) بارش و دمای حداکثر در ایستگاه سقر نسبت به سایر ایستگاه‌ها در شرایط مطلوب‌تری بوده است. پیش‌نگری تغییرات نسبی بارش ماهانه و تغییرات مطلق دمای حداکثر و حداقل ماهانه برای هر ایستگاه تحت سناریوی RCP8.5 برای متوسط هفت مدل انتخابی در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد متوسط بارش ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه در تمام ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه کم و بیش افزایش و در سایر ماه‌ها (به جز ایستگاه سنندج در ماه اکتبر) کاهش می‌یابد (شکل ۳). نتایج نشان داد در همه ایستگاه‌ها متوسط دمای حداکثر و حداقل ماهانه در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (شکل ۳). مقدار افزایش دمای حداکثر ماهانه نسبت به دوره پایه، برای متوسط تمام ایستگاه‌ها از ۱/۱ درجه سانتی‌گراد برای ماه آوریل تا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد برای ماه اوت متغیر خواهد بود (شکل ۳). این در حالی است که مقدار افزایش دمای حداقل ماهانه

Station	Climatic indicators																	
	Pr						Tmax						Tmin					
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Sagez (SAG)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Zarrineh-obato (ZAR)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Bijar (BIJ)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Sanandaj (SAN)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Figure 4- The effect of monthly precipitation (Pr), maximum monthly temperature (Tmax) and minimum monthly temperature (Tmin) changes on the yield of rainfed wheat at each station under the RCP8.5 scenario. Green, red and gray colors indicate favorable, unfavorable and unchanging weather conditions to wheat production in the period 2045-2045 compared to the base period, respectively

شکل ۴- اثر تغییرات بارش ماهانه (Pr)، دمای حداکثر ماهانه (Tmax) و دمای حداقل ماهانه (Tmin)، تحت سناریوی RCP8.5 بر عملکرد محصول گندم در هر ایستگاه. رنگ سبز، قرمز و خاکستری به ترتیب نشان دهنده بهتر شدن، بدتر شدن و عدم تغییر شرایط آب و هوایی، جهت تولید محصول در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه است

۴). البته افزایش دمای حداکثر و حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه می‌تواند در تمام ایستگاه‌ها به نفع تولید محصول باشد (شکل ۴). پیش‌نگری تغییرات بارش نشان داد در تمام ایستگاه‌ها بارش ماه‌های آوریل و مه کاهش خواهد یافت و شرایط رطوبتی را به ضرر تولید محصول پیش خواهد برد (شکل ۴). در حالی که افزایش بارش ماه نوامبر در تمام ایستگاه‌ها، می‌تواند شرایط رطوبتی در اوایل کاشت محصول را بهبود داده و شرایط را به نفع تولید محصول پیش برد (شکل ۴).

چنانچه تغییرات متغیرهای اقلیمی در جهت بهبود عملکرد محصول باشد، اثر آن متغیر اقلیمی با رنگ سبز، و در غیر این صورت با رنگ قرمز در شکل ۴ نشان داده می‌شود. چنانچه اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول تغییری نکند و یا ارتباط معناداری بین متغیرهای اقلیمی و عملکرد محصول در دوره پایه برقرار نباشد، اثر تغییرات این گونه تغییرات متغیرهای اقلیمی در شکل ۴ با رنگ خاکستری مشخص شده است. با توجه به نکات بیان شده می‌توان گفت که با افزایش دمای حداکثر ماه‌های نوامبر، دسامبر، آوریل و مه در دهه‌های آتی، شرایط دمایی در تمام ایستگاه‌ها به ضرر تولید محصول خواهد بود (شکل

نتیجه گیری

بی تردید عملکرد محصول گندم دیم تحت تأثیر عوامل متعددی است. در این مطالعه اثر تغییر اقلیم (دمای هوا و بارش به عنوان دو متغیر مهم اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر تغییرات عملکرد محصول دارند) بر عملکرد محصول گندم دیم در استان کردستان به عنوان یکی از مهم ترین مناطق تولید گندم دیم در ایران ارزیابی شد. به منظور انجام این ارزیابی از نتایج پاسخ محصول به متغیرهای اقلیمی دما و بارش در گذشته به عنوان عاملی برای ارزیابی عملکرد محصول در آینده استفاده شد. تحلیل همبستگی به همراه تحلیل کای اسکور تکرار شونده، دوره های تأثیرگذار عوامل دمایی و بارشی را در طی دوره رشد و نمو محصول به خوبی شناسایی کردند. نتایج این تحلیل ها نشان داد بارش در ابتدای مراحل کاشت محصول و طی مرحله گل دهی به همراه دمای حداکثر پیش از شروع زمستان گذرانی گیاه و طی مرحله گل دهی از جمله تأثیرگذارترین عوامل بر عملکرد محصول در تمام ایستگاه ها هستند. پیش نگر تغییرات بارش ماهانه، دمای حداکثر و حداقل ماهانه نشان داد، برخی از این تغییرات در جهت مطلوب تر شدن شرایط آب و هوایی و در جهت تولید محصول و برخی دیگر شرایط را نامطلوب نموده و به ضرر تولید محصول پیش خواهد رفت. بنابراین به طور قطع نمی توان گفت شرایط آب و هوایی طی دوره رشد و نمو محصول در اثر تغییر اقلیم به نفع یا ضرر تولید محصول خواهد بود. بنابراین لازم است از جنبه های دیگر نیز اثر تغییرات اقلیمی بر شرایط آب و هوایی تولید محصول بررسی شود. به عنوان مثال اثر تغییر اقلیم بر ریسک وقوع رخداد های وخیم اقلیمی (وقوع دماهای بسیار بالا در مرحله گل دهی، تنش های حرارتی شدید در مرحله پر شدن دانه، توزیع نامناسب بارش ها که منجر به خشکسالی یا سیل می شود و غیره) که بر عملکرد محصول تأثیر منفی دارند، طی دوره رشد نیز بررسی شوند. با مطالعه تغییر اقلیم و بررسی اثرات آن بر روی تولید محصول، می توان آثار سوء این پدیده را شناخت. با کمی کردن اثرات تغییر اقلیم بر محصول در هر منطقه می توان سیاست های سازگاری مناسب تری مثل توسعه رقم های جدید یا شیوه های مدیریت زراعی متناسب با هر منطقه را توسعه داد.

منابع

- Altinsoy, H., Kurt, C., Kurnaz, M. L. 2013. Analysis of the Effect of Climate Change on the Yield of Crops in Turkey Using a Statistical Approach, in: Helmig, C.G., Nastos, P.T. (Eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics SE* - 53, Springer Atmospheric Sciences. Springer Berlin Heidelberg, pp. 379–384.
- Angulo, C., Rötter, R., Lock, R., Enders, A., Fronzek, S., Ewert, F. 2013. Implication of crop model calibration strategies for assessing regional impacts of climate change in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 32–46.
- Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., Khazaie, H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(1): 109-120. (In Farsi)
- Bannayan, M., Sanjani, S., 2011. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment. *Agricultural and forest meteorology*, 151(12): 1589–1598.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2): 105–114.
- Bergjord, A. K., Bonesmo, H., Skjelvåg, A. O. 2008. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat: I. Model development. *European journal of agronomy*, 28(3): 321–330.
- Berry, P. M., Sterling, M., Baker, C. J., Spink, J., Sparkes, D. L. 2003. A calibrated model of wheat lodging compared with field measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 119(3): 167–180.
- Caprio, J. 1966. A statistical procedure for determining the association between weather and non-measurement biological data. *Agricultural Meteorology*, 3(1): 55–72.
- Caprio, J. M., Quamme, H. A. 1999. Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(1): 129–137.
- Caprio, J. M., Quamme, H. A. 2006. Influence of weather on apricot, peach and sweet cherry production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian journal of plant science* 86(1): 259–267.
- Daccache, A., Weatherhead, E. K., Stalham, M. A., Knox, J. W. 2011. Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12): 1641–1653.

- Egli, D.B., 2008. Soybean yield trends from 1972 to 2003 in mid-western USA. *Field Crops Research*, 106(1): 53–59.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97(1–3): 1–20.
- Gent, M. P. N., Kiyomoto, R. K. 1997. Physiological and agronomic consequences of Rht genes in wheat. *Journal of crop production*, 1(1): 27–46.
- Gourdji, S. M., Sibley, A. M., Lobell, D. B. 2013. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2): 24041.
- Hansen, J. W., Jones, J. W. 2000. Scaling-up crop models for climate variability applications. *Agricultural Systems*, 65(1): 43–72.
- Hartkamp, A. D., White, J. W., Hoogenboom, G. 1999. Interfacing Geographic Information Systems with Agronomic Modeling: A Review Presented at Annu. Meet. ASA, 89th, Anaheim, CA, 26–31 Oct. 1997.
- Huntingford, C., Jones, P. D., Livina, V. N., Lenton, T. M., Cox, P. M. 2013. No increase in global temperature variability despite changing regional patterns. *Nature*, 500(7462): 327–330.
- Jenner, C.F., 1994. Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. *Functional Plant Biology* 21(6), 791–806.
- Kersebaum, K. C., Lorenz, K., Reuter, H. I., Schwarz, J., Wegehenkel, M., Wendroth, O. 2005. Operational use of agro meteorological data and GIS to derive site specific nitrogen fertilizer recommendations based on the simulation of soil and crop growth processes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(1-3): 59–67.
- Kutcher, H. R., Warland, J. S., Brandt, S. A. 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2): 161–165.
- Lal, H., Hoogenboom, G., Calixte, J. P., Jones, J. W., Beinroth, F. H. 1993. Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Transactions-American Society Of Agricultural Engineers*, 36 (1): 175-184.
- Licker, R., Kucharik, C. J., Doré, T., Lindeman, M. J., Makowski, D. 2013. Climatic impacts on winter wheat yields in Picardy, France and Rostov, Russia: 1973–2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 176(0): 25–37.
- Liu, C., Allen, R. P. 2013. Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850–2100. *Environmental Research Letters* 8(3): 34002, [doi:10.1088/1748-9326/8/3/034002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034002).
- Lobell, D. B., Asseng, S. 2017. Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. *Environmental Research Letters*, 12(1): 15001, [doi:10.1088/1748-9326/015001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/015001).
- Lobell, D. B., Burke, M. B. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11): 1443–1452.
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B. 2005. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132(3-4): 273–285.
- Lv, Z., Liu, X., Cao, W., Zhu, Y. 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172: 234–248.
- Malik, A. I., Colmer, T. D., Lambers, H., Setter, T. L., Schortemeyer, M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*, 153(2): 225–236.
- Malone, R. W., Meek, D. W., Hatfield, J. L., Mann, M. E., Jaquis, R. J., Ma, L. 2009. Quasi-biennial corn yield cycles in Iowa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6–7): 1087–1094.
- McCaig, T. N., 1997. Temperature and precipitation effects on durum wheat grown in southern Saskatchewan for fifty years. *Canadian journal of plant science*, 77(2): 215–223.
- McMaster, G., Wilhelm, W. 2003. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *The Journal of Agricultural Science*, 141(2): 129–147.
- Misra, A. K. 2014. Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1): 153–165.
- Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G. V, Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Iván Ortiz-Monasterio, J., Reynolds, M. 2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126(1–2): 46–58.
- Porter, J. R., Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10(1): 23–36.
- Porter, J.R., Semenov, M.A., 2005. Crop responses to climatic variation. *Philosophical*

- Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 360(1463): 2021–2035.
- Priya, S., Shibasaki, R. 2001. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, 136(2–3): 113–129.
- Qian, B., De Jong, R., Gameda, S., Huffman, T., Neilsen, D., Desjardins, R., Wang, H., McConkey, B. 2013. Impact of climate change scenarios on Canadian agroclimatic indices. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(2): 243–259.
- Rahmstorf, S., Coumou, D. 2011. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(44): 17905–17909.
- Rosenzweig, C., Tubiello, F.N. 1996. Effects of changes in minimum and maximum temperature on wheat yields in the central US A simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80(2–4): 215–230.
- Ryan, M.G. 1991. Effects of climate change on plant respiration. *Ecological Applications*, 1(2): 157–167.
- Sabziparvar, A. A., Torkaman, M., Maryanaji, Z. 2013. Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance (Case study: Hamedan Province). *Journal of Water and Soil*, 26(6): 1554–1567. (In Farsi)
- Sanchez, P.A. 2000. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1–3): 371–383.
- Shokouhi, M., Sanaei Nejad, S. 2014. Determination of Weather Conditions Associated With the Production of Rainfed Barley Crop (Case Study: East Azerbaijan). *Journal of Agroecology*, 6(3): 634–644. (In Farsi)
- Shokouhi, M., Sanaei Nejad, S., Bannayan Aval, M. 2018. Evaluation of Simulations of Precipitation and Temperature from CMIP5 Climate Models in Regional Climate Change Studies (Case Study: Major Rainfed Wheat-Production Areas in Iran). *Journal of Water and Soil*, 32(5): 1013–1027. (In Farsi)
- Sinclair, T. R., Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research*, 98(1), 60–67.
- Slafer, G. A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 142(2): 117–128.
- Kroebel, R., Li, C., Qian, B., Worth, D. E., McConkey, B. G., Drury, C. F. 2013. Assessing the effects of climate change on crop production and GHG emissions in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 179(0): 139–150.
- Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., Zhang, Z. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1–4): 82–92.
- Tashiro, T., Wardlaw, I. A. N. F. 1989. A Comparison of the Effect of High Temperature on Grain Development in Wheat and Rice. *Annals of Botany*, 64(1): 59–65.
- Tavakoli, A. R. 2012. Single irrigation and sowing date for rainfed barley in Maragheh region and estimation of production functions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 13(2): 39–56. (In Farsi)
- Ugarte, C., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research*, 100(2–3): 240–48.
- Wang, J., Huang, J., Yan, T. 2013. Impacts of Climate Change on Water and Agricultural Production in Ten Large River Basins in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(7): 1267–1278.
- Wang, M., Li, Y., Ye, W., JF, B., Yan, X. 2011. Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China. *Climate Research*, 46(3): 223–242.
- Wardlaw, I. F., Sofield, I., Cartwright, P. M. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Functional Plant Biology*, 7(4): 387–400.
- Wassenaar, T., Lagacherie, P., Legros, J. P., Rounsevell, M. D. A. 1999. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. *Climate Research*, 11(3): 209–220.
- Wheeler, T. R., Hong, T. D., Ellis, R. H., Batts, G. R., Morison, J. I. L., Hadley, P. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *Journal of Experimental Botany*, 47(5): 623–630.
- Yau, S. K., Nimah, M., Farran, M. 2011. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 98(12): 1776–1781.

Yazdanshenas, L., Moghadasi, R., Yazdani, S. 2011. A Model for the Wheat Market in Iran. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 2(2): 49–55.

Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration,

crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(2): 107–122.

Zinyengere, N., Crespo, O., Hachigonta, S. 2013. Crop response to climate change in southern Africa: A comprehensive review. *Global and Planetary Change*, 111: 118–126.



بررسی اثرگذاری گونه‌های درختی بر گسیل گازهای گلخانه‌ای از خاک جنگل‌های دست کاشت (مطالعه موردی: ساری)

لیلا وطنی^۱، سید محسن حسینی^{۲*}، محمود رایبینی سرجاز^۳، سید جلیل علوی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

انباشت گازهای گلخانه‌ای در نیوار زمین گرمایش فراگیر و پی‌آیند آن تغییر اقلیم را در پی داشته است. برای کاهش تغییر اقلیم و سازگاری با آن راهکارهایی چند پیشنهاد شده است. کاشت درختان جنگلی و مدیریت کاهش فرآیندهای واکافت مواد آلی خاک، به ترتیب راهکارهایی برای به دام‌اندازی دی‌اکسید کربن نیوار و کاهش گسیل گازهای گلخانه‌ای (CO₂، CH₄ و N₂O) از خاک جنگل‌های دست کاشت در ساری می‌باشند. هدف این پژوهش بررسی اثرگذاری گونه‌های درختی بر گسیل گازهای گلخانه‌ای (CO₂، CH₄ و N₂O) از خاک جنگل‌های دست کاشت در ساری می‌باشد. در این پژوهش جنگل کاری‌های ۲۰ ساله با گونه‌های درختی افراپلت، توسکا، بلوط، بلندمازو، صنوبر و زربین برگزیده و شار گسیل گازهای CO₂، CH₄ و N₂O از خاک توده‌های درختی برای دو فصل تابستان و زمستان اندازه‌گیری شد. در هر توده درختی ۳ محفظه گردآوری گاز در ژرفای ۱۰ سانتی‌متری خاک نصب شد. نوع و شار گسیل گازها با دستگاه گازکروماتوگرافی اندازه‌گیری شد. یافته‌ها گویای تفاوت بسیار معنی‌دار (P≤0.01) نرخ گسیل گازهای CO₂، CH₄ و N₂O از خاک در توده‌های درختی در فصل تابستان بود، ولی در فصل زمستان تنها نرخ گسیل گاز CO₂ تفاوت معنی‌داری (P≤0.05) در میان توده‌های درختی نشان داد. یافته‌های دسته‌بندی تاپسیس نشان داد که از خاک گونه‌های بلوط، افراپلت، زربین، توسکا و صنوبر به ترتیب گازهای گلخانه‌ای کم‌تری گسیل می‌شود. از این رو پیشنهاد می‌شود در آینده برای جنگل کاری به این مورد توجه شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، جنگل کاری، خاک، کاهش، متان

مقدمه

مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار هستند و پیامدهای منفی چشم‌گیری بر بوم‌سامانه‌های خشکی و دریایی دارند (Taghdisian and Minapour, 2002). یکی از اقتصادی‌ترین راهکارها برای رویارویی با تغییرات اقلیمی، گسترش و توسعه جنگل‌ها می‌باشد. در واقع درختان می‌توانند با کاهش نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای باعث کاهش پیامدهای تغییر اقلیم شوند (Haren et al., 2013). بوم‌سامانه‌های جنگلی در ابعاد جهانی نقش کلیدی در پیوند با تعدیل پیامدهای تغییر اقلیم (جذب گاز کربنیک جو و ذخیره آن در پوشش‌های گیاهی و خاک) دارند (Jafari, 2008). امروزه جنگل‌ها به دلایل مختلف در حال ویرانی و سطح آن‌ها رو به کاهش است، از این رو افزایش سطح جنگل از راه جنگل کاری در بسیاری از کشورهای جهان مورد توجه و تأکید قرار گرفته است (Paul et al., 2002; Liu et al., 2014). جنگل کاری برای تعدیل اثرات تغییر اقلیم ضروری است (Allen et al., 2015). اما

پدیده تغییر اقلیم که در پی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن در جو (نیوار) به وجود آمده است (Haghdoust et al., 2011)، باعث افزایش گرمایش کره زمین شده است (Mahmoudi-Taleghani et al., 2006). گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به عنوان

^۱ دانشجوی دکتری اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
^۲ استاد گروه جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
(*نویسنده مسئول: hosseini@modares.ac.ir)

DOI:
^۳ استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران
^۴ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

مربوط به دما و رطوبت خاک بود، درحالی که گسیل گاز CH_4 خاک به تغییرات فصلی وابسته نبود. در پژوهش Liu et al., (2014) فقط نرخ گسیل گاز CO_2 در خاک دارای الگوی فصلی مشخصی بود و در فصل بارندگی بسیار بیش‌تر از فصل خشک بوده است، اما گسیل گازهای CH_4 و N_2O به طور معنی‌داری به دما و رطوبت خاک ارتباط نداشت و هیچ تفاوت فصلی را نشان نداد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که گونه‌های درختی تأثیر معنی‌داری بر نرخ گسیل گازهای CO_2 و N_2O داشتند اما این تأثیر در مورد گاز CH_4 صدق نمی‌کرد. امروزه این که چگونه درختان و جنگل‌ها بر چرخه‌های آب، انرژی و کربن اثر می‌گذارند و چگونه می‌توان از آن‌ها برای بهبود و تداوم سازگاری با تغییرات اقلیمی استفاده کرد، مسأله بسیار مهمی است که برای برنامه‌ریزی توسعه جنگل ضروری است (Ellison, 2018). اما این که برای توسعه جنگل‌ها از چه گونه‌های درختی استفاده شود تا در آینده بتواند باعث کاهش پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیم شوند موضوعی است ضروری که در شرایط کنونی می‌بایست مورد توجه برنامه‌ریزان جنگل قرار بگیرد. از این رو این پژوهش با هدف مشخص نمودن نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای در خاک توده‌های دست‌کاشت با چهار گونه درختی پهن‌برگ و یک گونه سوزنی‌برگ در دو فصل تابستان و زمستان و تعیین تأثیر نوع گونه درختی بر گسیل گازهای گلخانه‌ای (CH_4 ، N_2O و CO_2) در جنگل‌کاری‌های منطقه پایین‌بند طرح جنگل‌داری مهدشت ساری در استان مازندران انجام شد. فرض پژوهش بر این است که نرخ گسیل گاز گلخانه‌ای CO_2 در دو فصل تابستان و زمستان در توده‌های پهن‌برگ بیش‌تر از توده سوزنی‌برگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده طرح جنگل‌داری مهدشت واقع در حوزه آبخیز تچن شهرستان ساری در استان مازندران در محدوده ۵۳ درجه تا ۵۳ درجه و ۲ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه تا ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). شیب دامنه منطقه عموماً رو به شمال و شمال غربی است و متوسط ارتفاع منطقه پژوهش ۴۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

مهم‌ترین مسأله در جنگل‌کاری تعیین گونه درختی مناسب است. گونه‌های درختی سوزنی‌برگ و پهن‌برگ می‌توانند اثرات متفاوتی بر خاک و پوشش گیاهی ناحیه داشته باشند (Shaabanian et al., 2010). یکی از اثرات درختان بر محیط، گسیلیدن گازهای گلخانه‌ای در خاک است. درختان می‌توانند با کاهش نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای باعث کاهش پیامدهای تغییر اقلیم شوند (Haren et al., 2013; Liu et al., 2014). خاک به عنوان چشمه^۱ و چاهک^۲ گازهای CH_4 ، N_2O و CO_2 می‌باشد (Oertal et al., 2016). گازهای منتشر شده (گسیلیده) از خاک جنگل طی فرایند تجزیه و تنفس گیاهان و میکروارگانسیم‌های (ریزاندامگان) هم‌زیست با درختان آزاد می‌شوند (Unger and Yue, 2014). بررسی گسیل گازهای گلخانه‌ای CH_4 ، N_2O و CO_2 در جنگل‌های سوزنی‌برگ عرض‌های جغرافیایی شمالی نشان داد که رطوبت بر نرخ گسیل گاز CO_2 اثر دارد در حالی که نرخ گسیل گازهای CH_4 و N_2O تحت تأثیر رطوبت تغییر چندانی نداشت (Torga et al., 2017). اما پژوهش Lu et al., (2014) نشان داد که دما شدیداً بر گسیل گاز CO_2 در خاک اثرگذار است و رطوبت بر نرخ گسیل گاز N_2O تأثیر فراوانی دارد. در پژوهش Morishita et al., (2007) مشخص شد که نرخ گسیل گازهای CH_4 ، N_2O ، NO و CO_2 با افزایش دمای خاک افزایش یافته است. فاکتورهای دما و رطوبت هر دو بر نرخ گسیل گازهای CO_2 و CH_4 مؤثر بوده‌اند اما تنها رطوبت بر نرخ گسیل گاز N_2O اثرگذار بود. با افزایش رطوبت خاک نرخ گسیل گاز نیتروژن‌اکسید به دلیل محدودیت اکسیژن کاهش یافت. در پژوهش Cheng and Alberta (2013) مشخص شد که در جنگل پهن‌برگ با افزایش دمای خاک در فصل تابستان نرخ گسیل گازهای N_2O و NO افزایش یافت اما در جنگل سوزنی‌برگ افزایش دما تأثیر چندانی بر گسیل این گازها نداشت. در برخی پژوهش‌های انجام شده نرخ گسیل CO_2 و N_2O به دمای خاک وابستگی نشان داد اما گسیل CH_4 وابسته به دما خاک نبود (Krause et al., 2013). این مسأله در پژوهش Wang et al., (2012) نیز دیده شد و گسیل CO_2 و N_2O در خاک منطقه جنگل‌کاری آمیخته به رویدادهای فصلی وابسته بود. این تغییرات بیش‌تر

¹ Source

² Sink

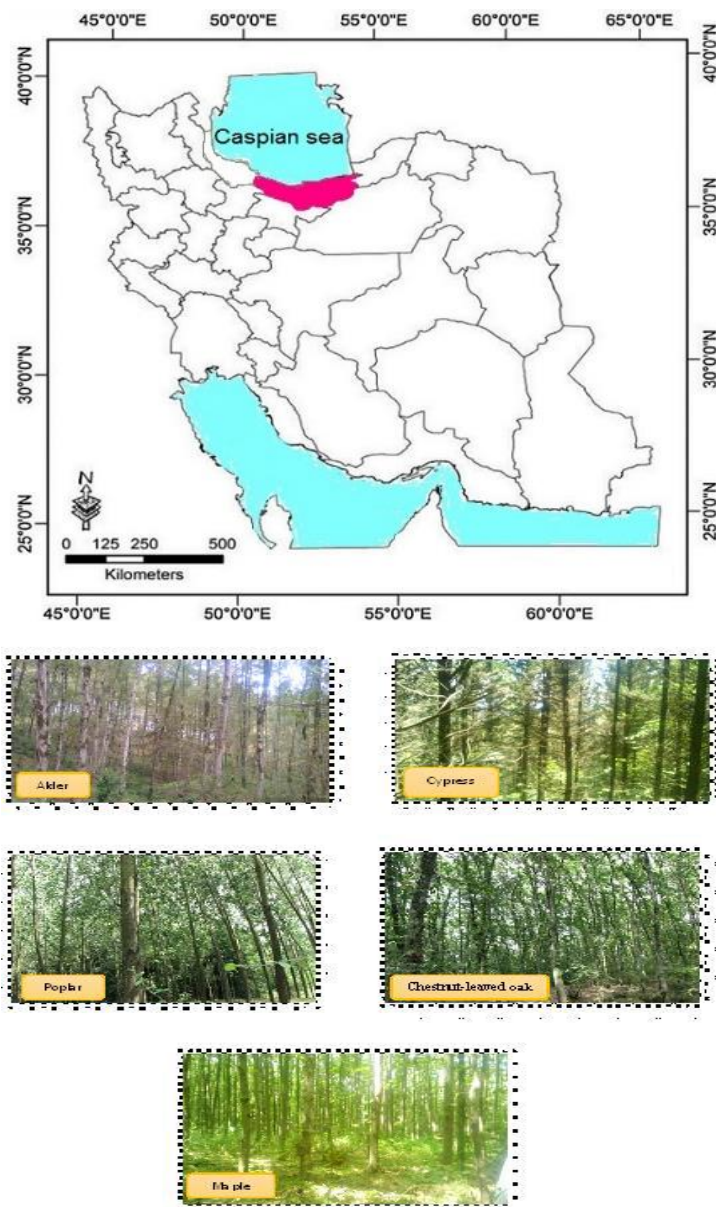


Figure 1- Study sites in low land forest at Mahdasht.Sari. Mazandaran

شکل ۱ - منطقه مورد مطالعه در جنگل‌های پایین بند منطقه مهدشت ساری - مازندران

منطقه معتدل و مرطوب با زمستان سرد می‌باشد دوره خشکی منطقه تحقیق از اوایل خرداد ماه شروع شده و تا اواخر مرداد ماه ادامه می‌یابد (شکل ۲). از لحاظ زمین‌شناسی منطقه دارای سنگ مادری شامل ماسه سنگ آهکی، آهک مارنی و مارن آهکی بوده و پایداری زمین ضعیف می‌باشد. خاک منطقه نیز غالباً قهوه‌ای شسته شده و عمق خاک نسبتاً ژرف و عمق ریشه‌دوانی متوسط و بافت خاک متوسط می‌باشد (Organization of forests and rangelands, 2010).

این منطقه در سال ۱۳۷۵ با گونه‌های مختلف درختی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ با فاصله کاشت ۲×۲ متر جنگل‌کاری شد. سطح جنگل‌کاری خالص با هر گونه حداقل سه هکتار می‌باشد و عملیات پرورشی یکسانی برای توده‌ها انجام شده است. گونه‌های درختی منطقه پژوهش شامل افرا پلت^۱، توسکا قشلاقی^۲، بلوط بلندمازو^۳ و زربین^۴ در درون جنگل و یک عرصه درخت‌کاری شده با گونه صنوبر^۵ در پیرامون جنگل می‌باشد. آب و هوای

¹ Maple (*Acer velutinum* Bioss)

² Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn)

³ Chestnut-leaved oak (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey)

⁴ Cypress (*Cupressus sempervirens* var. *Horizontalis*)

⁵ *Populus deltoids* Barter.ex Marsh

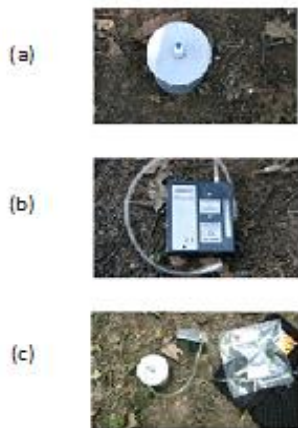


Figure 3- Chamber (a) Air sampling set up (b) Collecting the air sample in special sampling bag (c) شکل ۳- محفظه حبس هوا (a) دستگاه نمونه برداری هوا (b) جمع آوری نمونه هوا داخل کیسه مخصوص نمونه برداری (c)

از سرنگ گازی یک میلی‌لیتری برای برداشت نمونه از کیسه هوا و تزریق به دستگاه گازکروماتوگراف استفاده شد. برای افزایش دقت کار، تزریق هر نمونه سه تا چهار بار انجام و میانگین آن گزارش شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای تجزیه آماری داده‌ها (در قالب طرح فاکتوریل با پایه طرح کاملاً تصادفی) از آنالیز واریانس یک‌طرفه^۱ استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۲ و همگنی واریانس با استفاده از آزمون Levene، مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون SNK^۳ استفاده شد. اولویت‌بندی و رج‌بندی گونه‌ها با توجه به تلفیق نتایج داده‌ها در دو فصل تابستان و زمستان با استفاده از روش تاپسیس انجام شد.

رتبه‌بندی با استفاده از روش تاپسیس^۴

روش‌ها و فنون مختلفی برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه وجود دارد و تاپسیس یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۵ است. در این روش تصمیم‌گیری تعدادی گزینه m و تعدادی معیار n برای تصمیم‌گیری وجود دارد که باید با توجه به معیارها، گزینه‌ها رتبه‌بندی شوند. معیارها می‌توانند دارای ماهیت مثبت یا منفی باشند،

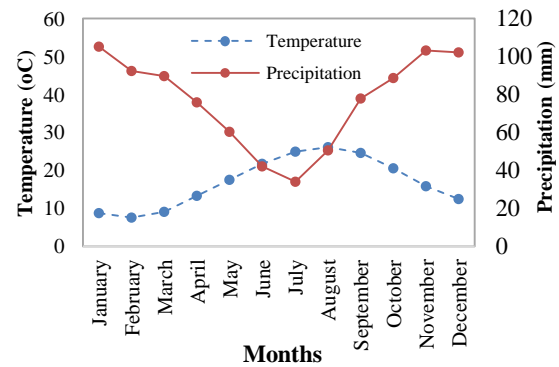


Figure 2- Mean monthly temperature and precipitation in study area based on Mahdasht metrological station data

شکل ۲ - میانگین ماهانه دما و بارندگی در منطقه مورد مطالعه بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی مهدشت

اندازه‌گیری نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای

برای محاسبه نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای (CH₄، CO₂ و N₂O) در ابتدای فصل تابستان سال ۱۳۹۶ تعداد سه محفظه مخصوص (لوله PVC با قطر ۱۰ و طول ۲۰ سانتی‌متر با درپوش مخصوص که دارای شیر تخلیه هوا می‌باشد) در خاک هر توده درختی نصب شد تا نمونه‌برداری طی دو فصل تابستان و زمستان انجام شود (شکل 3a). در زمان انجام نمونه‌برداری پس از قرار دادن درپوش محفظه بر روی آن هوای درون محفظه توسط دستگاه نمونه‌برداری هوا^۱ تخلیه شد (شکل 3b). یک ساعت بعد نمونه‌برداری هوا توسط دستگاه پمپ هوا انجام شد (شکل 3c). برای نمونه‌برداری به ترتیب زیر اقدام شد

- ۱- کالیبره کردن پمپ نمونه‌برداری ۲- وصل کردن خروجی هوای پمپ به کیسه هوا و روشن نمودن پمپ ۳- باز کردن شیر ورودی کیسه هوا و انتقال هوا به کیسه ۴- بستن شیر کیسه هوا و خاموش کردن پمپ نمونه‌برداری و ارسال کیسه‌های حاوی گاز به آزمایشگاه. برای آنالیز نمونه‌ها از دستگاه گازکروماتوگراف مدل Agilent 6890N با ستون CP-sill-، Chrompack capillary column، 13CB استفاده شد. به این ترتیب که نخست با تزریق یک میلی‌لیتر از نمونه استاندارد (در غلظت‌های مختلف) به دستگاه، منحنی کالیبراسیون آماده شده و سپس یک میلی‌لیتر از نمونه هوای موجود در کیسه نمونه‌برداری به دستگاه تزریق شد.

¹ One-Way ANOVA

³ Kolmogorov-Smirnov

⁴ Student- Newman- Keuls

² Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

³ Multiple Criteria Decision Making

¹ Air sampling pump- SKC standard

فاصله از ایده‌آل‌های مثبت و منفی و محاسبه راه‌حل ایده‌آل

در این مرحله میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل ایده‌آل حساب می‌شود. فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از معادله ۲ محاسبه خواهد شد. گام نهایی محاسبه راه‌حل ایده‌آل است. در این مرحله میزان فاصله نسبی هر گزینه به ایده‌آل‌های مثبت (v_{j+}) و منفی (v_{j-}) با معادله‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌شود.

$$d_{i+} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j+})^2} \quad (2)$$

v_{ij} مقدار عددی نرمال شده موزون و d_{i+} فاصله از ایده‌آل مثبت می‌باشد.

$$d_{i-} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{j-})^2} \quad (3)$$

d_{i-} فاصله از ایده‌آل منفی می‌باشد. در نهایت مقدار عددی CL با استفاده از معادله ۴ مشخص می‌شود. این مقدار بین صفر و یک می‌باشد.

$$CL_i^* = \frac{d_{i-}}{d_{i-} + d_{i+}} \quad (4)$$

CL_i^* نزدیکی نسبی به راه‌کار ایده‌آل می‌باشد. هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد راه‌کار به جواب ایده‌آل نزدیک‌تر و در نتیجه راه‌کار بهتر می‌باشد.

نتایج و بحث

گسیل گاز دی اکسید کربن در تابستان و زمستان ویژگی‌های دمای خاک و رطوبت خاک و هوا در هنگام نمونه‌برداری به شرح مندرج در جدول ۱ می‌باشد. آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که مقدار گسیل گاز گلخانه‌ای CO_2 از خاک توده‌های مختلف درختی در دو فصل تابستان ($P \leq 0.01$) و زمستان ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی‌داری دارد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها (SNK) نشان داد که در فصل تابستان توده‌های توسکا، افرا و صنوبر از نظر نرخ گسیل گاز CO_2 دارای بیش‌ترین نرخ و توده‌های بلوط و زربین به ترتیب دارای کم‌ترین نرخ گسیل گاز CO_2 بودند. اما در فصل زمستان توده زربین دارای بیش‌ترین نرخ گسیل و توده‌های افرا و بلوط دارای کم‌ترین نرخ گسیل گاز CO_2 بوده‌اند.

همچنین واحد اندازه‌گیری آن‌ها نیز می‌تواند متفاوت باشد. به هر گزینه بر پایه هر معیار امتیازی داده می‌شود. این امتیازها می‌توانند برپایه اندازه کمی و واقعی یا کیفی و نظری باشد و یک ماتریس تصمیم $m \times n$ تشکیل شود. منطق اصولی این مدل راه‌حل ایده‌آل (مثبت) و راه‌حل ایده‌آل منفی را تعریف می‌کند (Mahtabi et al., 2012). راه‌حل ایده‌آل (مثبت) راه‌حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می‌دهد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کم‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و در عین حال دورترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی دارد. به عبارتی در رتبه‌بندی گزینه‌ها به روش تاپسیس گزینه‌هایی که بیش‌ترین همانندی را با راه‌حل ایده‌آل داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می‌کنند. از مهم‌ترین دلایل استفاده از روش تاپسیس در این مقاله استفاده از قابلیت این روش در مد نظر قرار دادن همزمان چندین معیار در فرایند ارزیابی می‌باشد این در حالی است که در پژوهش‌های پیشین، بیش‌تر از روش امتیازدهی، با در نظر گرفتن یک معیار برای ارزیابی، استفاده می‌شده است (Mahtabi et al., 2012). این روش شامل مراحل زیر است:

تشکیل ماتریس تصمیم

در روش TOPSIS با استفاده از n معیار به ارزیابی m گزینه پرداخته می‌شود و یک ماتریس تصمیم $m \times n$ تشکیل می‌شود.

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

برای نرمال‌سازی مقادیر از روش برداری به شرح معادله ۱ استفاده می‌شود.

$$nij = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (1)$$

x_{ij} مقدار عددی هر داده و $\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$ مجموع مجذور مربع داده‌ها و nij مقدار نرمال شده هر داده می‌باشد.

محاسبه ایده‌آل‌های مثبت و منفی

محاسبه PIS^۱ و NIS^۲ گام بعدی است. در این گام برای هر شاخص یک ایده‌آل مثبت (A+) و یک ایده‌آل منفی (A-) محاسبه می‌شود.

^۴ Positive Ideal Point
^۵ Negative Ideal Point

Table 1- Temperature of air and soil and soil moisture during taking the samples in summer and winter (August and February)

جدول ۱- دمای هوا و خاک و رطوبت خاک در زمان برداشت نمونه‌ها در تابستان و زمستان (مرداد و بهمن)

Seasons	Parameter	Planted forests				
		Poplar	Oak	Maple	Alder	Cypress
Summer	Air temperature °C	33.8	32.3	32.8	33.5	33
	Soil temperature °C	28	25.2	25.5	26.5	27.7
	Litter temperature °C	30	26.5	26.5	27.5	28
	Soil water content (%)	12.5	3.4	9.4	11.5	4.2
Winter	Air temperature °C	11.5	11.6	11.7	11.5	11.2
	Soil temperature °C	9.5	8	8.5	7.5	7.1
	Litter temperature °C	10	8.5	9	8	7.5
	Soil water content (%)	20.4	18	26	37	15.4

Table 2- Mean values of CO₂ emission (ppm) in summer and winter (August and February)

جدول ۲- مقادیر میانگین گسیل گاز CO₂ (ppm) در تابستان و زمستان (مرداد و بهمن)

Season	Planted forest	Mean values± SE	F value	P value
Summer	Maple	1625±76.53 a	69.506	0.000
	Alder	1648.66±61.86 a		
	Cypress	830.33±7.96 c		
	Poplar	1753.33±18.55 a		
	Oak	1059.66±45.48 b		
Winter	Maple	746.5±32.04 b	3.615	0.045
	Alder	1056±19.05 ab		
	Cypress	1600±226.84 a		
	Poplar	1164.5±326.49 ab		
	Oak	806.5±31.46 b		

Table 3- Mean values of CH₄ emission (ppm) in summer and winter (August and February)

جدول ۳- مقادیر میانگین و آنالیز واریانس مقادیر گسیل گاز CH₄ (ppm) در تابستان و زمستان (مرداد و بهمن)

Season	Tree species	Mean values	F value	P value
Summer	Maple	1.376±0.0006 b	27.984	0.000
	Alder	1.34±0.0135 b		
	Cypress	1.72±0.0161 a		
	Poplar	1.82±0.0076 a		
	Oak	1.21±0.0086 b		
Winter	Maple	1.152±0.04 a	1.674	0.232
	Alder	1.2545±0.0125 a		
	Cypress	1.272±0.108 a		
	Poplar	1.1925±0.282 a		
	Oak	1.0145±0.0395 a		

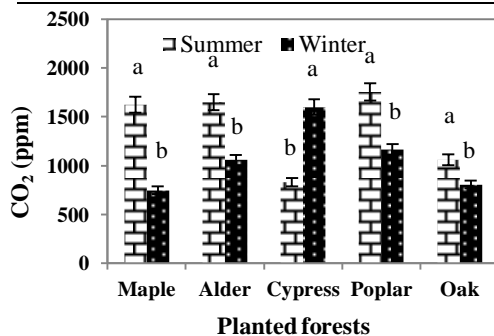


Figure 4- CO₂ emission from soil in planted stands in summer and winter

شکل ۴- گسیل گاز CO₂ از خاک در توده‌های دست‌کاشت در تابستان و زمستان

مقایسه گسیل گاز CO₂ در دو تابستان و زمستان (آزمون t مستقل) نشان داد که میزان گسیل گاز CO₂ در دو فصل تفاوت آماری معنی‌داری دارد. میزان گسیل گاز CO₂ در توده‌های پهن‌برگ در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان بود ولی میزان آن در توده سوزنی‌برگ در فصل زمستان بیشتر از تابستان بود (شکل ۴).

گسیل گاز متان در تابستان و زمستان

نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد مقدارگسیل گاز گلخانه‌ای CH₄ از خاک توده‌های مختلف درختی در فصل تابستان تفاوت آماری معنی‌داری دارد (P≤0.01) اما در فصل زمستان گسیل گاز متان اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (آزمون SNK) نشان داد که در فصل تابستان نرخ گسیل گاز CH₄ در توده‌های زربین و صنوبر دارای بیش‌ترین مقدار و در توده‌های افرا، توسکا و بلوط به ترتیب دارای کم‌ترین مقدار بوده است. مقدار گسیل گاز CH₄ از خاک توده‌های مختلف در فصل زمستان تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع میزان گسیل گاز CH₄ در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان بود (شکل ۵).

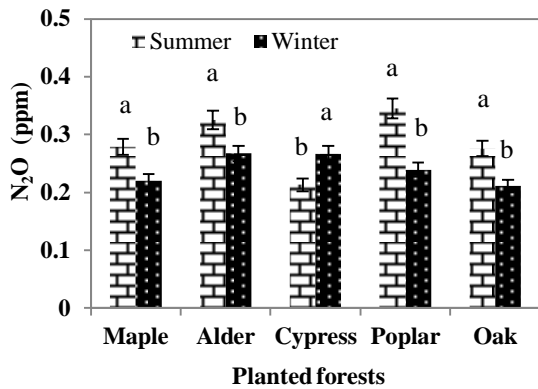


Figure 6- N₂O emission from soil in planted stands in the summer and winter

شکل ۶- گسیل گاز N₂O از خاک در توده‌های دست کاشت در تابستان و زمستان

رتبه‌بندی گونه‌های درختی با روش TOPSIS

نتایج داده‌های نرمال شده پژوهش به شرح مندرج در جدول ۵ می‌باشد. برای نرمال‌سازی مقادیر از روش برداری استفاده شد.

Table 5- Normalized values of research data

جدول ۵- مقادیر نرمال شده داده‌های تحقیق

Greenhouse gases emissions (ppm)	Alder	Maple	Cypress	Poplar	Oak
CO ₂ Summer	0.515	0.508	0.259	0.548	0.331
CO ₂ Winter	0.422	0.298	0.569	0.466	0.322
N ₂ O Summer	0.499	0.428	0.327	0.53	0.424
N ₂ O Winter	0.494	0.407	0.493	0.442	0.39
CH ₄ Summer	0.396	0.407	0.51	0.538	0.358
CH ₄ Winter	0.475	0.436	0.482	0.452	0.384

محاسبه PIS و NIS به شرح مندرج در جدول ۶ می‌باشد. نتایج اولویت‌بندی روش تاپسیس نشان داد که با توجه به نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای در دو فصل تابستان و زمستان به ترتیب گونه‌های بلوط، افرا، زربین، توسکا و صنوبر با گسیل کمتر گازهای گلخانه‌ای اولویت‌بندی شدند (جدول ۷). بررسی گسیل گازهای گلخانه‌ای در خاک جنگل نشان داد نوع گونه درختی بر فرایندهای بیولوژیکی خاک اثر دارد، این یافته با نتیجه پژوهش Haren et al., (2013) هم‌خوانی داشت و نرخ گسیل انواع گازهای اصلی گلخانه‌ای تحت تأثیر گونه‌های مختلف درختی متفاوت بود. شرایط آب و هوایی و بالا بودن

گسیل گاز نیتروژن اکسید در تابستان و زمستان

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که در فصل تابستان مقدار گسیل گاز N₂O از خاک توده‌های مختلف درختی تفاوت معنی‌داری دارد (P≤0.01). اما در فصل زمستان گسیل گاز N₂O اختلاف معنی‌داری را در بین توده‌های مختلف درختی نشان نداد (جدول ۴).

Table 4- Mean values of N₂O emission (ppm) in summer and winter (August and February)

جدول ۴- مقادیر میانگین و آنالیز واریانس مقادیر گسیل گاز N₂O (ppm) در تابستان و زمستان (مرداد و بهمن)

Season	Tree species	Mean values	F value	P value
Summer	Maple	0.279±0.001 b	22.834	0.000
	Alder	0.325±0.013 a		
	Cypress	0.213±0.016 c		
	Poplar	0.345±0.008 a		
	Oak	0.276±0.009 b		
Winter	Maple	0.2205±0.010 a	1.833	0.199
	Alder	0.2675±0.004 a		
	Cypress	0.267±0.013 a		
	Poplar	0.2395±0.039 a		
	Oak	0.211±0.008 a		

نرخ گسیل گاز N₂O در فصل تابستان در توده‌های توسکا و صنوبر دارای بیش‌ترین مقدار و در توده‌های افرا، بلوط و زربین به ترتیب دارای کم‌ترین مقدار بوده است. نتیجه آزمون t مستقل نشان داد که مجموع میزان گسیل گاز N₂O در توده‌های پهن‌برگ در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان بود ولی میزان گسیل آن در توده سوزنی‌برگ زربین در فصل زمستان بیش‌تر از فصل تابستان بود (شکل ۶).

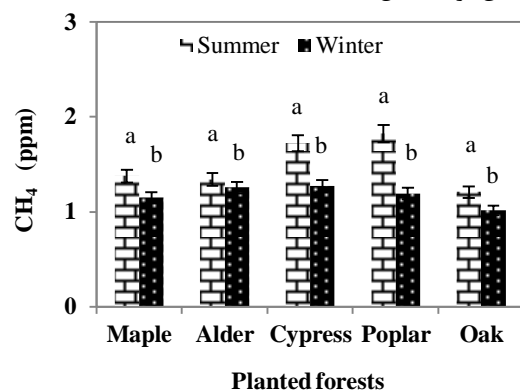


Figure 5- CH₄ emission from soil in planted stands in summer and winter

شکل ۵- گسیل گاز CH₄ از خاک در توده‌های دست کاشت در تابستان و زمستان

N_2O از خاک جنگل می‌باشند. این موضوع در پژوهش Cheng and Alberta, (2013) بررسی شد در منطقه پژوهش گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ وجود داشت، تأثیر افزایش دما بر خاک این دو نوع جنگل متفاوت بود. در جنگل پهن‌برگ با افزایش دمای خاک نرخ گسیل گازهای N_2O و NO افزایش یافت اما در جنگل سوزنی‌برگ افزایش دما تأثیر چندانی بر گسیل این گازها نداشت. نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر در مورد پهن‌برگان همخوانی داشت ولی در مورد گونه سوزنی‌برگ همخوانی نداشت. گسیل گازهای گلخانه‌ای در خاک جنگل کوهستانی در شمال چین توسط Liu et al., (2006) بررسی شد این منطقه با گونه‌های مختلف درختی احیا شده بود. گسیل گاز CO_2 در خاک نشان دهنده الگوی فصلی مشخصی بود به طوری که در طول فصل زمستان بسیار بیش‌تر از فصل تابستان بود اما گسیل CH_4 و N_2O به دما و رطوبت خاک و یا تعامل آن‌ها ارتباط نداشت و هیچ تفاوتی را در فصول خشک و بارندگی نشان نداد، نتایج این بخش پژوهش برخلاف نتیجه پژوهش حاضر بود چون نرخ گسیل گازهای CO_2 ، CH_4 و N_2O در توده‌های پهن‌برگ در فصل گرم تابستان بیش‌تر از فصل زمستان بود و بین نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف وجود داشت. در شرایط تغییر اقلیم افزایش سطح جنگل کاری به منظور ترسیب کربن از ضروریات است و تأثیر جنگل کاری‌ها بر نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای باید مشخص شود. تأثیر جنگل کاری بر گسیل گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، CH_4 و N_2O در پژوهش Dou et al., (2015) نشان داد که جنگل کاری منجر به افزایش گسیل دی‌اکسید کربن خاک تا ۶۴ درصد و نیز افزایش نیتروژن‌اکسید به میزان ۵۴ درصد در سال شده است. اوج جریان گسیل CO_2 و CH_4 در تابستان و اوج جریان N_2O در فصل زمستان بوده است. این نتیجه با نتیجه پژوهش حاضر در خصوص گازهای CO_2 و CH_4 در فصول تابستان و زمستان همخوانی داشت ولی در مورد گاز N_2O همخوانی نداشت. نتایج پژوهش Wang et al., (2012) نشان داد که گسیل گازهای CO_2 و N_2O در جنگل کاری به تغییرات فصلی وابسته بوده است، درحالی‌که گسیل گاز CH_4 در خاک به روند فصلی وابستگی نشان نداد. این یافته با نتیجه پژوهش حاضر در

رطوبت بر نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای اثرگذار است. افزایش رطوبت موجب کاهش نرخ گسیل گاز CO_2 شد ولی بر نرخ گسیل گازهای CH_4 و N_2O اثرگذار نبود این افزایش رطوبت ناشی از تغییرات رطوبت در دو فصل تابستان و زمستان می‌باشد که توسط Torga et al., (2017) در جنگل‌های عرض‌های جغرافیایی شمالی و در بین گونه‌های درختی مختلف بررسی شد. نتایج این پژوهش در خصوص نرخ گسیل CO_2 و N_2O با نتیجه گسیل CO_2 و N_2O پهن‌برگان پژوهش حاضر همخوانی داشت ولی در مورد گونه سوزنی‌برگ زربین نتیجه متفاوت بود چرا که نرخ گسیل CO_2 و N_2O در خاک تحت پوشش گونه زربین در فصل زمستان افزایش یافته بود.

Table 6- Positive and negative ideals
جدول ۶- ایده آل‌های مثبت و منفی

Planted forest	Positive ideal point (PIS)	Negative ideal point (NIS)	Sum of the Positive ideal point and Negative ideal point
Oak	0.1228	0.4149	0.5377
Poplar	0.4384	0.1237	0.5621
Cypress	0.4001	0.3536	0.7537
Maple	0.2781	0.3348	0.6129
Alder	0.3618	0.2095	0.5713

Table 7- The final priority of tree species considering the lower emission of greenhouse gases in summer and winter

جدول ۷- اولویت بندی نهایی گونه‌های درختی با توجه به

گسیل کم‌تر گازهای گلخانه‌ای در تابستان و زمستان

Planted forest	CL	Priority
Oak	0.772	1
Maple	0.546	2
Cypress	0.469	3
Alder	0.367	4
Poplar	0.22	5

در پژوهش حاضر نرخ گسیل گاز CH_4 در فصل زمستان به کم‌تر از فصل تابستان بود این نتیجه با نتیجه پژوهش Torga et al. (2017) متفاوت بود چرا که در پژوهش ایشان نرخ گسیل این گاز در فصل زمستان افزایش یافته بود. افزایش دما باعث افزایش نرخ گسیل CO_2 می‌شود (Lu and Cheng, 2008) دما شدیداً بر گسیل CO_2 در خاک اثرگذار بود اما رطوبت جز عوامل اصلی اثرگذار بر گسیل گاز CO_2 نبود. این نتیجه با یافته‌های پژوهش حاضر در مورد توده‌های پهن‌برگ همخوانی داشت اما در مورد توده سوزنی‌برگ زربین متفاوت بود. گونه‌های درختی و تغییرات دمایی حاصل از تغییرات فصل دو عامل اثرگذار بر گسیل گازهای NO و

غیرمستقیم تغییرات اقلیم را بر جنگل‌کاری‌ها بررسی نمایند و برای توسعه جنگل‌ها به مسأله تغییرات اقلیمی توجه نمایند، جنگل‌کاری‌ها می‌تواند باعث تعدیل پیامدهای تغییر اقلیم شود (Locatelli et al., 2015) و اگر این عوامل نادیده گرفته شوند برنامه‌ریزان قادر به ارزیابی تأثیر پوشش زمینی بر تغییر اقلیم و سازگاری آن‌ها و کاهش پیامدهای تغییر اقلیم نخواهند بود. تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بیش‌تر تحت تأثیر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای رخ داده است بنابراین برای کاهش پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی ضروری است نسبت به کاهش گسیل گازهای گلخانه‌ای به طرق مختلف اقدام شود. جنگل‌کاری و توسعه جنگل‌ها یکی از اقتصادی‌ترین راهکارها است. جنگل‌کاری با گونه‌های مختلفی انجام می‌شود و هر یک از گونه‌های درختی بر نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای در خاک تأثیر متفاوتی دارند. فرضیه پژوهش یعنی بیش‌تر بودن نرخ گسیل گاز CO_2 در توده‌های پهن‌برگ نسبت به سوزنی‌برگ در فصل تابستان تأیید می‌شود اما این فرضیه در فصل زمستان رد می‌شود چرا که نرخ گسیل گاز CO_2 در توده سوزنی‌برگ در فصل زمستان بیش‌تر از توده‌های پهن‌برگ بود. استفاده از روش تاپسیس در این پژوهش به دلیل بررسی تلفیقی و هم‌زمان تأثیر دو معیار (گسیل گازهای گلخانه‌ای در دو فصل) در جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بود. نتایج اولویت‌بندی روش تاپسیس نشان داد که گونه‌های بلوط، افرا، زربین، توسکا و صنوبر به ترتیب با گسیل کم‌تر گازهای گلخانه‌ای در دو فصل تابستان و زمستان گونه‌های بهتری برای انتخاب در عملیات جنگل‌کاری در منطقه پژوهش می‌باشند. اکنون با استفاده از نتایج این پژوهش و سایر پژوهش‌های مرتبط می‌توان نسبت به شناسایی و تعیین گونه‌هایی که منجر به کاهش گسیل گازهای گلخانه‌ای می‌شوند در برنامه‌های جدید جنگل‌کاری اقدام کرد. فاکتور گسیل گازهای گلخانه‌ای تنها یک عامل اثرگذار بر گرمایش جهانی است و برای تعیین گونه مناسب در توسعه جنگل‌ها تحت شرایط گرمایش جهانی می‌بایست این فاکتور در کنار سایر فاکتورهای اثرگذار بر گرمایش جهانی (مانند آلودگی، تفرق درختان، ترسیب کربن و نیتروژن و گسیل ذرات آروسول) مورد توجه مدیران جنگل قرار گیرد.

مورد گسیل گازهای CO_2 و N_2O هم‌خوانی داشت، ولی در مورد گسیل گاز CH_4 هم‌خوانی نداشت چون در پژوهش حاضر نرخ گسیل گاز متان در دو فصل متفاوت بود. نتایج پژوهش (Morishita et al., 2007) نشان داد که نرخ گسیل گازهای CO_2 ، CH_4 و N_2O با افزایش دمای خاک افزایش و نرخ گسیل گاز N_2O با افزایش رطوبت خاک کاهش یافته است. این نتیجه با پژوهش حاضر در مورد گاز نیتروژن‌آکسید هم‌خوانی داشت اما نرخ گسیل گاز CH_4 با کاهش رطوبت خاک کاهش یافت که این بخش برخلاف پژوهش حاضر بود چرا که در پژوهش حاضر گسیل گاز متان با کاهش رطوبت در فصل تابستان باز هم مقدار بیش‌تری نسبت به فصل زمستان داشت. دما و رطوبت خاک هر دو به طور مجزا بر گسیل این گازها مؤثر هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، CH_4 و N_2O در خاک توده‌های پهن‌برگ در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان می‌باشد اما در مورد گونه سوزنی‌برگ زربین نتیجه تفاوت داشت. نرخ گسیل گازهای CO_2 و N_2O در فصل زمستان در خاک توده زربین بیش‌تر از نرخ آن در فصل تابستان بود این مسأله احتمالاً به همیشه سبز بودن این گونه و فعالیت حیاتی در کل طول سال مرتبط باشد. همچنین نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای CO_2 ، CH_4 و N_2O در فصل تابستان در بین توده‌های درختی تفاوت معنی‌داری داشت اما در فصل زمستان این تفاوت تنها در مورد گسیل گاز CO_2 مشاهده شد و نرخ گسیل گازهای گلخانه‌ای CH_4 و N_2O در در بین توده‌های مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان نداد.

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی باعث ایجاد بی‌ثباتی برای جنگل‌ها شده است و مدیریت آن را مشکل‌تر ساخته است. برای مدیریت مناطق جنگلی دست‌کاشت باید به این نکته توجه داشت که شرایط و محیط آینده با محیط کنونی تفاوت خواهد داشت اما نمی‌توان در مورد این تفاوت‌ها با اطمینان اظهارنظر کرد. در این شرایط مدیران باید با ادغام استراتژی‌های سازگار با تغییرات اقلیم، استفاده از گزینه‌های انعطاف‌پذیر و محافظت از منابع نسبت به ایجاد جنگل اقدام نمایند (Sok et al., 2012). اگر مدیران جنگل پیش‌بینی‌های لازم برای کاهش اثرات مستقیم و

منابع

- Allen, K., Corre, M.D., Tjoa, A., Veldkamp, E. 2015. Soil Nitrogen-Cycling Responses to Conversion of Lowland Forests to Oil Palm and Rubber Plantations in Sumatra, Indonesia. *PLoS One*, 29;10(7): 0133325
- Cheng, Z. C., Alberta, J. Z. 2013. Effects of soil pH and salt on N₂O production in adjacent forest and grassland soils in central Alberta, Canada. *Soils and Sediments*, 13 (5):863-868.
- Dou, X., Chen, B., Black, T., Jassal, R.S., Che, M. 2015. Impact of Nitrogen Fertilization on Forest Carbon Sequestration and Water Loss in a Chronosequence of Three Douglas-Fir Stands in the Pacific Northwest. *Forests*, 6(6): 1897-1921; <https://doi.org/10.3390/f6061897>.
- Ellison, J.C. 2018. Effects of Climate Change on Mangroves Relevant to the Pacific Islands University of Tasmania, Australia Pacific marine climate change report card. *Science Review* : 99-111.
- Haren, R.V., Oldenborgh, G.J., Lenderink, G. Hazeleger, W. 2013. Evaluation of modeled changes in extreme precipitation in Europe and the Rhine basin. *environmental Research Letter*, (8) 014053 (7p).
- Haghdooost, N., Akbarinia, M., Varamesh, S. Hosseini, S.M. 2011. The Effect of Replacement of Devastated Forests with plantation on Soil Fertility and Sequestration. *Journal of environmental studies*, 38(3): 135-146.
- Jafari, M. 2008. Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16 (2): 314-326. (In Farsi)
- Krause, K., Niklaus, P.A., Schleppei, P. 2013. Soil-atmosphere fluxes of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O in a mountain spruce forest subjected to long-term N addition and to tree girdling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 181:61-68. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.07.007>
- Liu, X.P., Zhang, W.J., Hu, C.S., Tang, X.G. 2014. Soil greenhouse gas fluxes from different tree species on Taihang Mountain, North China. *Biogeosciences*, 11: 1649-1666. doi:10.5194/bg-11-1649-2014.
- Locatelli, B., Pavageau, C., Pramova, E., Di Gregorio, M. 2015. Integrating climate change mitigation and adaptation in agriculture and forestry: opportunities and trade-offs, *Wiley Interdisciplinary reviews-climate change*, 6: 585-598.
- Lu, X. Cheng, G. 2008. Climate change effects on soil carbon dynamics and greenhouse gas emissions in *Abies fabri* forest of subalpine, southwest China. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(5): 1015-1021. DOI:10.1016/j.soilbio.2008.10.028
- Mahtabi ughani, M., Najafi, A., Unesi, H., Moeedoddini, M. 2012. Application of tools in planning and managing of urban hysteresis. *Human and environment*, 10(4): 57-66. (In Farsi)
- Mahmoudi-Taleghani, A., Zahedi, R., Amiri, G.H., adeli, A., Sagheb Talebi, KH. 2006. Estimation of carbon sequestration in forests under the management of a case study of Golband Forest in the north of the Iran. *Journal of Forest and Poplar Research*, 15: 241-252. (In Farsi)
- Morishita, T., Sakata, T., Takahashi, M., Ishizuka, S., Mizoguchi, T., Inagaki, Y., Terazawa, K., Sawata, S., Igarashi, M., Ya-suda, H., Koyama, Y., Suzuki, Y., Toyota, N., Muro, M., Kinjo, M., Yamamoto, H., Ashiya, D., Kanazawa, Y., Hashimoto, T., Umata, H. 2007. Methane uptake and nitrous oxide emission in Japanese forest soils and their relationship to soil and vegetation types, *Soil Science. Plant Nutrition*, 53: 678-691.
- Organization of forests and rangelands. 2010. *Forestry plan in Mahdasht*. (In Farsi)
- Oertal, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., Erasmí, S. 2016. Greenhouse gas emissions from soils. *Chemie der Erde. Geochemistry*, 76(3): 327-352.
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J.G. Khanna, P. K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3): 241-257.
- Shaabani, N., Heydari, M., Zeinivand, M. 2010. Effect of afforestation with broad leaved and conifer species on herbaceous diversity and some physico-chemical properties of soil (Case study: Dushan afforestation - Sanandaj). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3), 446. (In Farsi)
- Sok, V., Boruff, B.J., Morrison-Saunders, A. 2012. Addressing climate change through environmental impact assessment: international perspectives from a survey of IAIA members *Impact Assessment and Project Appraisal*. 29 (4) : 317-325.
- Taghdisian, H., Minapour, S. 2002. Climate change, what we need to know, the National Environmental Climate Change Project Office, in collaboration with United Nations Office of Civil Aviation, Tehran, Environmental Protection Agency. (In Farsi)
- Torga, R., Mander, Ü., Soosaar, K., Kupper, P., Tullus, A., Rosenvald, K., Ostonen, I., Kutti, S., Jaagus, J., Söber, J., Maddison, M., Kaasik, A., Lõhmus, K. 2017. Weather extremes and tree species shape soil greenhouse gas fluxes in an experimental fast-growing deciduous forest

of air humidity manipulation, *Ecological Engineering*, 106: 369-377.
Unger, N., Yue, X. 2014. Strong chemistry-climate feedbacks in the Pliocene, *geophysical*

research letter, 41: 527-533.
Wang, L., Wang, F., Yuan, L. 2012. Study on the carbon tax on forest resource, *Forestry economics*, 11(2): 76-82.

بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر توزیع مکانی مناطق کشت ذرت در استان خوزستان

آمنه دشت‌بزرگی^۱، بهلول علیجانی^{۲*}، علیرضا شکیبا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۵

چکیده

تغییر اقلیم یک چالش اساسی برای تولید محصولات کشاورزی بوده و اثرات آن بر اساس ویژگی‌های محلی هر منطقه و نوع سیستم تولید متفاوت است. به همین دلیل برای کاهش خسارت در تولیدات کشاورزی در وضعیت موجود و استفاده از پتانسیل‌های در حال ظهور آینده، تعیین تغییرات ایجاد شده در نواحی، ارتقاء ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو، در این مقاله تلاش گردیده است تغییرات فضایی نواحی مناسب کشت ذرت آینده استان خوزستان با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم تا دهه ۲۰۵۰ شبیه‌سازی گردد. چارچوب روش‌شناسی این پژوهش، طبقه‌بندی آگرواکولوژیک می‌باشد. این طبقه‌بندی با ترکیب دو گروه از مؤلفه‌های اقلیمی (دما تحت سناریوهای مختلف) و غیر اقلیمی (کاربری اراضی) شامل خاک، شیب، اراضی فاریاب و مناطق دارای کشاورزی مدیریت شده با استفاده از فرآیند واکاوی سلسله مراتبی انجام شده است. داده‌های اقلیمی وضعیت موجود و آینده از مرکز بین المللی WorldClim برای سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 به ترتیب به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، میانی و بدبینانه برای ۱۲ مدل GCM تهیه و میانگین‌گیری گردید. نتایج به دست آمده بیان کرد نواحی مناسب جهت کشت ذرت تا سال ۲۰۵۰؛ ۶۵٪ در AEZ1 و ۳۶٪ برای AEZ2 (این زونها به اختصار ذکر شود) کم می‌شود. و ذرت عمدتاً در نواحی شمال غربی (شمال غربی استان؟؟) کشت خواهد شد و نواحی جنوب شرق شرایط کشت خود را از دست می‌دهند. این درحالیست که در وضعیت فعلی، ناحیه جنوب شرق به عنوان یکی قطب‌های کشت ذرت استان خوزستان شناخته می‌شود و استمرار کشت این گیاه صرفاً با اتخاذ تدابیر دقیق مدیریتی احتمالاً مقدور خواهد بود.

واژه های کلیدی: دما، ذرت، سناریو، خوزستان، طبقه‌بندی

مقدمه

وضعیت موجود و آینده می‌تواند منجر به تغییرات معنی‌داری در محدوده‌های جغرافیایی کشت یک محصول شود (Kaur et al., 2017). تغییر اقلیم یک چالش اساسی برای تولید محصولات کشاورزی بوده و اثرات آن بر اساس ویژگی‌های محلی هر منطقه و نوع سیستم تولید متفاوت است. به همین دلیل برای کاهش خسارت در تولیدات کشاورزی در وضعیت موجود و استفاده از پتانسیل‌های در حال ظهور آینده، تعیین تغییرات ایجاد شده در نواحی، ارتقاء ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری از اهمیت بسزایی برخوردار است (Holzkämper, 2017; Shukla et al., 2017; Cao et al., 2019). تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر منجر به تغییرات معنی‌دار در محدوده‌های جغرافیایی گونه‌های گیاهی شده است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند این وضعیت در آینده ادامه خواهد یافت (Chen et al., 2011). به این ترتیب، اکوسیستم‌های کشاورزی در یک

محصولات کشاورزی با هر سطح عملکرد به وسیله عوامل محیطی محدود می‌شوند و یکی از عوامل تعیین‌کننده در این زمینه اقلیم است. با تغییر شرایط اقلیمی و اثرات مثبت و منفی که در پی خواهد داشت، احتمال شرایط تولید محصولات کشاورزی تغییر خواهد کرد (Olesen and Bindi, 2002; Adnan et al., 2017; Holzkämper, 2017; Cao et al., 2019). تغییر شرایط اقلیمی در

^۱دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

^۲استاد آب و هواشناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

(*)نویسنده مسئول: bralijani@gmail.com

DOI: 10.22125/agmj.2019.177878.1061

^۳دانشیار گروه سنجش از دور و GIS و عضو قطب علمی توسعه پایدار محیط جغرافیایی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

انجام شده در مناطق دیگر دنیا منطبق بوده و نشان می‌دهد تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌گردد. البته عمده مطالعات انجام شده موردی بوده و در آن‌ها به تحلیل مکانی از تغییر نواحی کشت کم‌تر توجه شده است (Banayan, Aval, 2010; Ababaei et al., 2012). در میان مطالعات انجام شده، (Bolok Azari et al., 2013) با استفاده از مدل AEZ¹، نیاز آبی محصولات زراعی را در شرایط تغییر اقلیم برای دشت هشتگرد شبیه‌سازی کردند و کم‌ترین و بیش‌ترین تغییرات نیاز آبی گیاهان دشت هشتگرد را در دوران آبی پهنه‌بندی کردند. نتایج حاصل از بررسی منابع نشان می‌دهند اگر چه تغییر اقلیم بر امنیت غذایی جهان تأثیر گذاشته و دولت‌ها را در تأمین غذا با چالش مواجه نموده است اما اثرات منطقه‌ای آن متفاوت می‌باشد. اغلب منابع بر اثرپذیری بیش‌تر مناطق حاره، جنب حاره و به طور کلی کشورهای در حال توسعه از پیامدهای منفی تغییر اقلیم نسبت به مناطق معتدل و قطبی به دلیل شکنندگی آن مناطق تأیید نموده‌اند. این پژوهش با هدف استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم آینده برای پیش‌بینی تغییرات دما و تحلیل تغییرات فضایی نواحی کشت ذرت در آینده نواحی جنوب غرب ایران (استان خوزستان) انجام شده است.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی کشور است که نه تنها در حال حاضر نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی دارد، بلکه با توجه به ظرفیت‌ها و استعدادهای بالقوه نقشی بی‌بدیل در توسعه آینده کشاورزی کشور خواهد داشت (گزارش انجمن غلات ایران)^۲. در ارتباط با مناطق اگر واکولوژی ایران و کشت ذرت، استان خوزستان از لحاظ کشت ذرت جایگاه و اهمیت ویژه‌ای دارد. بیش از ۹۰ درصد کشت ذرت در شمال و شمال غرب این استان متمرکز است که دارای اراضی بسیار مستعد برای کشت می‌باشد. شکل ۱ نواحی کشت ذرت در جنوب غرب ایران را نشان می‌دهد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند

محیط بیوفیزیکی و اجتماعی و اقتصادی تحت تأثیر تغییر متغیرهای اقلیم قرار گرفته‌اند و با تغییر جغرافیایی گونه و سیستم‌های کشاورزی محصولات کشت نسبت واکنش نشان می‌دهند (Kaur et al., 2017; Zhang et al., 2018; Singh eggrawal, 2018). ذرت، یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به منظور تأمین امنیت غذایی در جهان است. نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم را بر کمربند کشت ذرت آمریکای شمالی در اواخر قرن بیستم نشان داد با افزایش یک درجه سانتی‌گراد دما، کمربند کشت ذرت به سمت نواحی شمالی‌تر آمریکا جابجا خواهد شد (Blasing and Solomon, 1983; Newman, 1980). همچنین مشاهدات (Lobell et al., 2011; 2012) نشان داده است با افزایش دما، محصولات زراعی کوچک‌تر و عملکرد دانه آن‌ها کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال عملکرد جهانی ذرت در پاسخ به افزایش دما به ویژه در دوره‌های رشد طولانی، که دما گرم‌تر می‌شود در حال کاهش است. افزون بر مباحث بیان شده، دوره گل‌دهی محصولات زراعی به ویژه ذرت به افزایش دما بسیار حساس می‌باشد زیرا با بالا رفتن دما در این دوره، گرده‌افشانی ناقص انجام می‌شود به طوری که در تولید مثل گیاهان اختلال ایجاد می‌کند. این مسأله منجر به عدم تشکیل دانه می‌شود و عملکرد محصول را به شدت کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2018; Ruane et al., 2018; King et al., 2018). از تحقیقات دیگر در این زمینه می‌توان به کار (Carins et al., 2012) اشاره کرد که آن‌ها به منظور تعیین استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم در زمینه تحمل تنش‌های خشکی و گرما و بهبود شیوه‌های مدیریت، سازگاری تولید ذرت با تغییر اقلیم را در کشورهای جنوب صحرای آفریقا را مطالعه نمودند. آن‌ها در بررسی خود از خروجی ۱۹ مدل GCMs استفاده کردند. پیش‌بینی آن‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ دما به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. آن‌ها پیشنهاد دادند برای اصلاح دانه‌های ذرت و اتخاذ شیوه‌های مدیریت، نیاز فوری به اولویت‌بندی استراتژی‌های پژوهشی در زمینه تغییر اقلیم و انعطاف‌پذیری نسبت به تغییرات آن می‌باشد. در ایران از اواسط دهه ۱۳۸۰ تا به امروز تحقیقاتی در ارتباط با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی انجام گردیده است. نتایج این پژوهش‌ها با سایر مطالعات

¹ Agro-Ecological Zone

² <http://www.farsgrain.ir>

بررسی در معرض قرارگیری اولین گام روش‌شناسی در چارچوب مفهومی تغییر اقلیم می‌باشد.

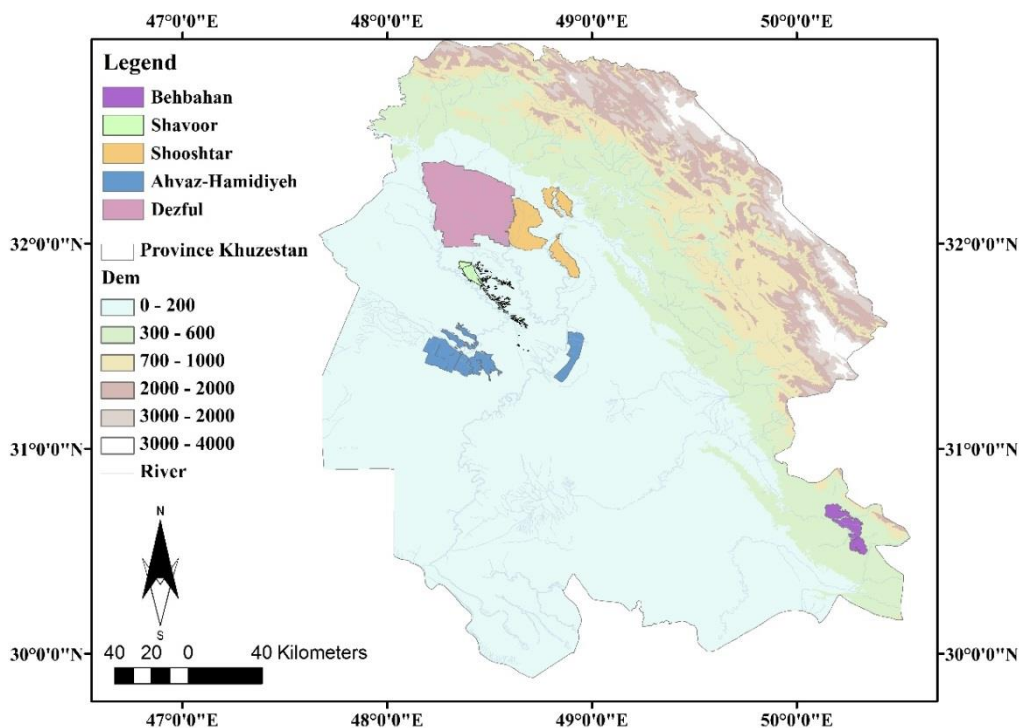


Figure 1- Topography and maize Cultivation Areas in Khuzestan Province

شکل ۱- توپوگرافی و نواحی کشت ذرت در استان خوزستان

نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ در این پژوهش، داده‌های مورد نیاز طبقه‌بندی آگرواکولوژیک از اطلاعات مکانی متعددی در دو گروه اطلاعات اقلیمی، شامل بیشینه و کمینه دما ماهانه شامل چهار لایه وضعیت موجود و سه سناریوی RCP² 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 هستند، و مؤلفه‌های محیطی غیر اقلیمی هستند که در طبقه‌بندی AEZ برای وضعیت موجود و آینده ثابت در نظر گرفته شده‌اند. این گروه از اطلاعات شامل کاربری اراضی، خاک، شیب، نواحی با پتانسیل آبیاری و نواحی دارای کشاورزی مدیریت شده می‌باشند. داده‌های مکانی مورد نیاز برای تمام اطلاعات از شبکه‌بندی پنج در پنج دقیقه‌ای (حدود ۱۰ در ۱۰ کیلومتر) تشکیل و در قالب لایه‌های ASCII آماده شده‌اند. داده‌های اقلیمی وضعیت موجود (میانگین ۱۲ ماهانه دوره ۳۰ ساله ۲۰۰۰) و آینده از مرکز بین‌المللی WorldClim (میانگین ۱۲ ماهه دوره ۲۰۵۰) برای سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 به ترتیب به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، میانی و بدبینانه تهیه گردید.

در بررسی تغییر اقلیم و کشاورزی از میان پارامترهای محیطی مختلف اثرگذار بر تولید ذرت، تغییرات افزایشی دما بیش‌ترین تأثیر را دارد. همچنین بررسی ارتباط بین تغییر اقلیم و توزیع مناسب نواحی کشت در بررسی دقیق آسیب‌پذیری بخش کشاورزی یک منطقه و به دنبال آن یافتن مکان‌های بهینه کشت در آینده جهت سازگاری با اثرات تغییر اقلیم از رویکردهای مهم در مطالعات مشابه با موضوع تحقیق می‌باشد. در این زمینه تحقیقات سازمان FAO¹ و پایگاه داده مکانی آن از منابع اصلی می‌باشد. چارچوب روش‌شناسی بررسی تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده نسبت به وضعیت موجود بر اساس طبقه‌بندی آگرواکولوژیک (AEZ) انجام شده است. طبقه‌بندی آگرواکولوژیک نقشه‌ای است که از ترکیب مؤلفه‌های مختلف از قبیل شاخص‌های اقلیمی، خاک، شیب، کاربری اراضی و غیره به دست می‌آید. هدف از تولید این طبقه‌بندی شناسایی مناطق بهینه کشت به منظور مدیریت کشاورزی منطقه و سازگاری در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد (Kurukulasuriya and Rosenthal, 2013). شکل ۲ روش‌شناسی نواحی مناسب کشت ذرت را

² Representative Concentration Pathway

¹ Food and Agriculture Organization

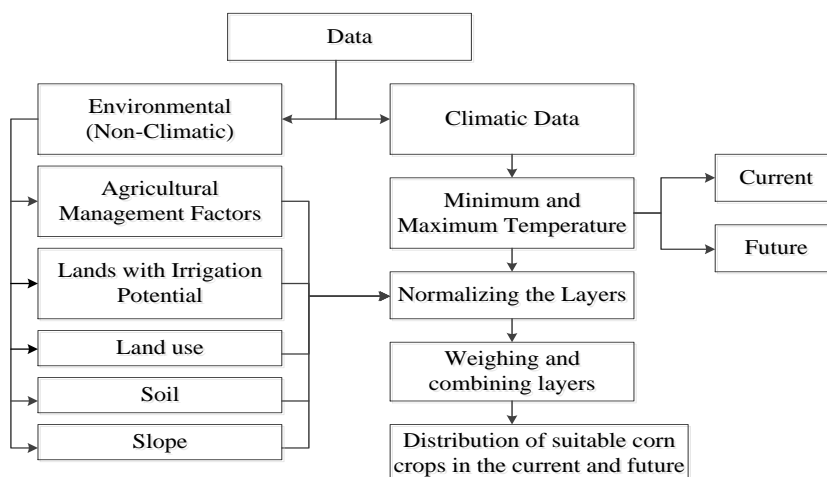


Figure 2 - The Methodology Framework

شکل ۲ - چارچوب روش شناسی

شاخص‌های مورد استفاده MSD^3 , $RMSD^4$, $NRMSD^5$ و $ANMBD^6$ (معادله ۱ تا ۴) می‌باشد.

$$MSD = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

$$NRMSD = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2}}{\bar{x}} \quad (3)$$

$$ANMBD = \frac{\left| \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2}}{\bar{x}} \right|}{\bar{x}} \quad (4)$$

نرمال‌سازی مقادیر پیکسل‌های لایه‌های مختلف با روش کلاس‌بندی مجدد در GIS^۷ انجام شد. در این کلاس‌بندی ۵ بالاترین، ۴ متوسط بالا، ۳ متوسط، ۲ متوسط کم و ۱ کم‌ترین ارزش در نظر گرفته شد. در ادامه کلاس‌بندی لایه‌های مختلف شرح داده می‌شود.

داده‌های اقلیمی

بر مبنای استانداردهای کشت ذرت سازمان جهاد کشاورزی، حداکثر دوره زمانی مناسب برای کشت ذرت ۱۴۷-۱۳۱ روز معادل ۱۷۶۰-۱۵۳۸ درجه روز رشد (GDD)^۸ می‌باشد.

از میان مدل‌های فاز پنجم^۱ CMIP5 ۱۲ مدل GCM^۲ معرفی شده در جدول ۱ انتخاب گردید. مبنای انتخاب مدل‌ها اشتراک میان تولید داده‌های حداکثر و حداقل دما برای سه سناریوی انتخابی در پایگاه داده WorldClim می‌باشد. پس از تهیه داده‌ها از این پایگاه داده، به منظور کاهش عدم قطعیت و افزایش دقت نتایج میانگین مدل‌ها برای هر یک از سناریوها محاسبه و فایل رستر نهایی به عنوان ورودی به طبقه‌بندی آگرواکولوژیک معرفی گردید. اطلاعات مورد نیاز داده‌های محیطی غیراقلیمی از مرکز بین‌المللی GeoNetwork وابسته به سازمان خواروبار جهانی (FAO) تهیه گردیده است.

Table 1- GCM models

جدول ۱- مدل‌های GCM

Row	GCMs	Long	Lat
1	BCC-CSM1-1	2.8	2.8
2	CCSM4	1.2	0.9
3	GFDL-ESM2G	2	2
4	GISS-E2-R	2.5	2
5	HadGEM2-AO	1.8	1.2
6	HadGEM2-ES	1.8	1.2
7	IPSL-CM5A-LR	3.7	1.9
8	MIROC-ESM-CHEM	2.8	2.8
9	MIROC-ESM	2.8	2.8
10	MIROC5	1.4	1.4
11	MRI-CGCM3	1.1	1.1
12	NorESM1-M	2.5	1.2

اعتبارسنجی میانگین ۱۲ ماهانه دوره آماری وضعیت موجود پایگاه داده‌ای WorldClim با ایستگاه‌های سینوپتیک آبادان، آغاچاری، اهواز، ماهشهر، بهبهان، رامهرمز، دزفول و مسجد سلیمان برای دوره آماری ۲۲ ساله مشترک میان ایستگاه از ۲۰۱۶-۱۹۹۴ انجام گردید.

^۱ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

^۲ Global Climate Model

^۳ Mean Square Deviation

^۴ Root Mean Square Deviation

^۵ Normalized Root Mean Square Deviation

^۶ Absolute Normalized Mean Bias Deviation

^۷ Geographic Information System

^۸ Growing degree days

Table 2- WorldClim validation data with the data of synoptic stations in Khuzestan province
جدول ۲- اعتبار سنجی داده های WorldClim با داده های ایستگاه های سینوپتیک استان خوزستان

Station	ANMBD		Nrmsd		RMSD		MSD	
	T Max	T Min	T Max	T Min	T Max	T Min	T Max	T Min
Abadan	-0.03	-0.01	0.01	0.01	0.21	0.15	0.04	0.02
Omideyeh- Aghajari	-0.11	0.03	0.01	0.01	0.40	0.22	0.16	-0.05
Ahvaz	-0.02	-0.03	0.00	0.01	0.15	0.22	0.02	0.05
Mahshahr	-0.02	-0.08	0.01	0.02	0.18	0.36	0.03	0.13
Behbahan	-0.10	0.03	0.01	0.01	0.39	0.21	0.15	-0.05
Ramhormoz	-0.01	-0.07	0.00	0.02	0.13	0.34	0.02	0.12
Dezful	0.00	0.04	0.00	0.01	0.05	0.22	0.00	-0.05
Masjed soleiman	0.09	-0.07	0.01	0.02	0.36	0.34	-0.13	0.11

شیب

ذرت در استان خوزستان در سطح گسترده کشت می شود به همین دلیل نواحی با شیب کم اهمیت زیادی دارا هستند. بر اساس بررسی های به عمل آمده با توجه به تنوع درجه شیب در منطقه، لایه شیب بین ۵-۱ درجه وزن دهی گردید (جدول ۳).

کاربری اراضی

اراضی بهینه جهت کشت ذرت در استان خوزستان اراضی با قابلیت کشت زراعی و سطح گسترده آبیاری هستند. بر این اساس این اراضی در وزن دهی اولویت زیاد (۵) را به خود اختصاص داده اند. پس از آن اراضی مناسب، بوتزارها می باشند؛ این اراضی در وزن دهی اولویت متوسط (۳) را شامل شدند. دیگر اراضی منطقه مورد مطالعه در اولویت کم (۱) جای گرفتند.

نواحی با سیستم آبیاری

با توجه به این که ذرت در استان خوزستان با سیستم آبیاری کشت می شود لذا نواحی که پتانسیل آبیاری در حجم بالایی دارند دارای اهمیت فراوانی هستند. این اراضی عمدتاً در حاشیه رودخانه های دز، شاور، کرخه، کارون و مارون قرار دارند. مطابق با نقشه ۳-۷ نواحی با پتانسیل سطح بالای آبیاری، اولویت زیاد (۵)، نواحی با آبیاری در مقیاس کم، اولویت متوسط (۳) و دیگر نواحی اولویت کم (۱) را به خود اختصاص دادند.

نواحی با کشاورزی مدیریت شده

این لایه از سه گروه عمده نواحی با مدیریت خیلی خوب، مدیریت خوب و مدیریت نشده تشکیل شده است. همان گونه که در مباحث قبل ذکر گردید، در منطقه مورد مطالعه ذرت به طور گسترده کشت می شود. به همین دلیل در وزن دهی، نواحی با مدیریت خیلی خوب، اولویت

همچنین دمای مناسب برای کشت ذرت برای بیشینه های دما بین ۴۵-۱۸ و کمینه های دما ۲۵-۸ درجه سانتی گراد پیشنهاد می شود. بر این اساس مناطق مناسب از نظر دمایی بین امتیازات ۵ (اولویت زیاد: ۷-۵ ماه دمای مناسب)، ۳ (اولویت متوسط: ۱۰-۸ ماه دمای مناسب) و ۱ (اولویت کم: کم تر از ۲ ماه و بیش تر از ۱۰ ماه) طبقه بندی و نقشه های آن برای وضعیت موجود و آینده تهیه شدند.

مؤلفه های محیطی (ثابت)

خاک

بررسی های نشان داده که سیستم های طبقه بندی مختلفی در زمینه خاک شناسی وجود دارد. در این پژوهش به دلیل این که به اطلاعاتی از طبقه خاک نیاز بود که در شبکه بندی پنج دقیقه ای تولید شده باشند به همین از سیستم طبقه بندی خاک^۱ FAO/UNESCO استفاده گردید. بر اساس این طبقه بندی، کشت ذرت در استان خوزستان درجه اول در و در خاک های کلسی سول و فلاوی سول درجه بعد در خاک های سولانک چاک کشت می شود و دیگر طبقه بندی ها برای کشت ذرت دارای اهمیت نمی باشند. به همین دلیل در وزن دهی خاک های کلسی سول و فلاوی سول، اولویت زیاد (۵)، خاک های سولانک چاک اولویت متوسط (۳) و دیگر طبقه بندی ها اولویت کم (۱) را به خود اختصاص دادند. در ادامه مشخصات خاک های کلسی سول، فلاوی سول و سولانک چاک (<http://khosromk.blogfa.com/1386/08>) بیان می شود. پراکندگی طبقه بندی خاک استان بر اساس این سیستم نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.

¹ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

GCM نشان می‌دهد که بیش‌ترین تغییرات ایجاد شده در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 6 می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). نتایج گویای این است که در سناریوی RCP 4.5 نواحی غربی و نواحی بخش‌های محدودی شمال استان در بیشینه‌های دما و نواحی جنوبی، جنوب شرقی و بخش‌های پراکنده‌ای در شمال برای کمینه‌های دما حساسیت نشان می‌دهند. در سناریوی RCP 6 که به عنوانی بیان‌گر عدم کنترل و مدیریت وضعیت موجود شناخته می‌شود تغییرات مکانی با شدت بیش‌تری نشان داده می‌شود. در این سناریو گستره نواحی نامناسب برای بیشینه دما در غرب استان به سمت شمال کشیده خواهد شد و گستره نواحی نسبتاً مناسب و نامناسب در نواحی کوهستانی افزایش خواهد یافت. در کمینه دما سناریو RCP 6، کاهش نواحی مناسب دما به شکل بارزی مشهود می‌باشد و نواحی با اولویت بالا محدود به نواحی مرکزی متمایل به شمال و بخش‌های پراکنده‌ای در نواحی کوهستانی واقع در شمال و شرق استان می‌باشد. بر اساس امتیازدهی اطلاعات توصیفی هر مؤلفه، جهت تولید نقشه طبقه‌بندی آگرواکولوژی، ۵ طبقه AEZ، شناسایی گردید. به ترتیب اولویت، AEZ1، بالاترین اهمیت برای کشت ذرت می‌باشد، AEZ2، نواحی هستند که از درجه متوسط بالا، AEZ3 درجه متوسط، AEZ4 متوسط کم و AEZ5 کم برخوردارند. نواحی AEZ1 - AEZ3 بر اساس اولویت نواحی مناسب و دیگر برای کشت ذرت پیشنهاد نمی‌گردند. بر اساس شکل ۶ نواحی مناسب برای کشت ذرت در وضعیت موجود واقع در دشت خوزستان می‌باشند. اولویت اول و دوم (AEZ1 و AEZ2) در نواحی شمال (جنوب کوهپایه‌ها)، جنوب شرق و نواحی پراکنده‌ای در غرب، مرکز و جنوب استان است. این طبقه ۲۰ درصد، AEZ2 ۳۲ درصد، AEZ3 ۲۳ درصد، AEZ4 و AEZ5 به ترتیب ۱۳ و ۱۲ درصد از استان را تشکیل می‌دهند. غالب نواحی نامناسب برای کشت ذرت شامل نواحی کوهستانی در شمال و نواحی محدودی در سواحل (AEZ 4 و AEZ5) می‌باشد.

زیاد (۵)، مدیریت خوب، اولویت متوسط (۳) و مدیریت نشده اولویت کم (۱) را شامل شدند.

وزن‌دهی مؤلفه‌ها و تلفیق آن‌ها

همان‌گونه که در ابتدای بحث ذکر گردید، وزن‌دهی مؤلفه‌ها با استفاده از روش AHP^۱ (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) انجام شده است. AHP ابزاری توانمند برای تعیین وزن مؤلفه‌ها نسبت به یکدیگر و اطلاعات توصیفی آن‌ها می‌باشد. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به سنجه‌ها یا ویژگی‌ها می‌باشد^۲. مرحله اول ساختن درخت سلسله مراتبی، مرحله دوم تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها وزن دادن به جایگزین‌ها، مرحله سوم ترکیب ضریب اهمیت گزینه‌ها ترکیب وزن‌ها و مرحله چهارم آزمایش سازگاری. مطابق با چارچوب روش‌شناسی AHP ابتدا اطلاعات توصیفی هر مؤلفه بین ۵-۱ در محیط GIS وزن‌دهی، سپس لایه‌های جدید تولید شدند. شکل ۶ نمودار سلسله مراتبی مؤلفه‌ها و اطلاعات توصیفی آن‌ها را نشان می‌دهد. پس از تولید لایه‌های جدید بر اساس وزن هر اطلاع توصیفی، مؤلفه‌های مختلف نسبت به یکدیگر در مدل AHP امتیازدهی شدند. ضریب سازگاری محاسبه شده ۰/۰۱۴ می‌باشد. با توجه به این که مقدار آن از ۰/۱ کم‌تر است می‌توان گفت وزن‌های برآورد شده قابل قبول هستند. جدول ۱ امتیاز مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس خروجی AHP، بیشینه دما بیش‌ترین امتیاز و پس از آن لایه شیب و خاک قرار گرفتند و کم‌ترین امتیاز به لایه نواحی با سیستم کشاورزی اختصاص پیدا کرد. در مرحله آخر با تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نواحی مناسب کشت ذرت برای وضعیت موجود و سناریوهای آینده اجرا گردید. سپس خروجی مدل با یکدیگر مقایسه و بر اساس آن نواحی مناسب کشت ذرت بر اساس تغییرات دما در وضعیت موجود و آینده شناسایی و تحلیل گردید.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی تغییرات مکانی دوره‌های مناسب دمایی برای کشت ذرت در آینده بر مبنای میانگین ۱۲ مدل

^۱ Analytical Hierarchy process

^۲ <http://gis4.blogfa.com/post-24.aspx>

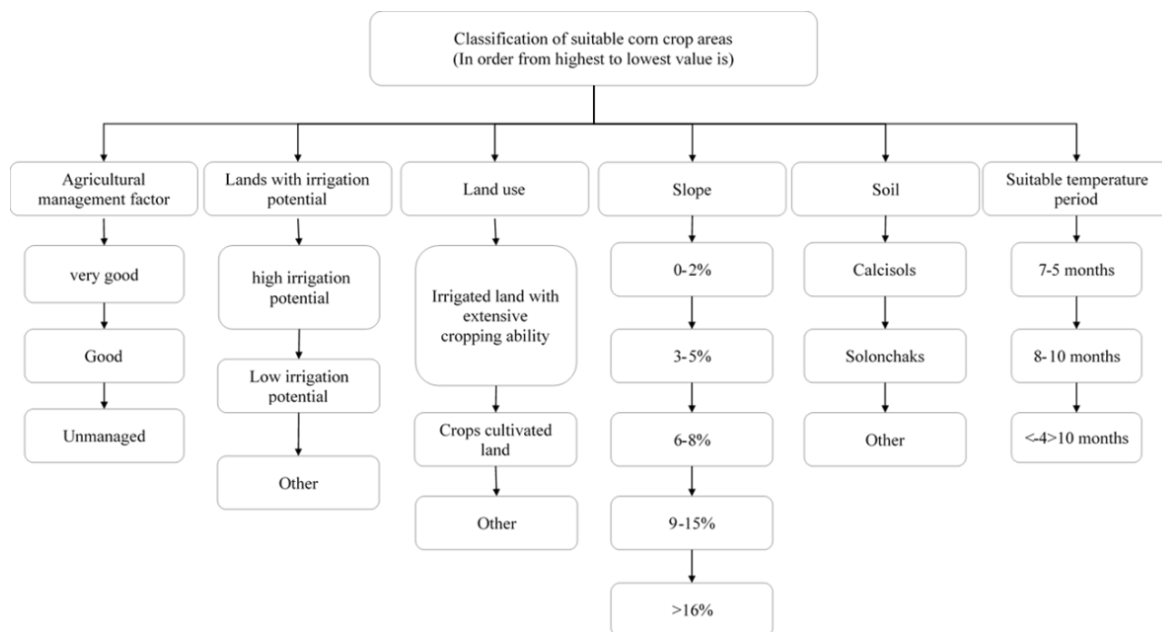


Figure 3. hierarchical graph components and their descriptive information

شکل ۳- نمودار سلسله مراتبی مؤلفه‌ها و اطلاعات توصیفی آن‌ها

Table 3- Components Points

جدول ۳- امتیاز مؤلفه‌ها

Components	T Max	T Min	Areas with managed agriculture	Land use	Areas with Irrigation System	Slope	Soil	Score
T Max	1	2	5	3	5	5	5	0.21
T Min	0.5	1	2	2	2	1	1	0.13
Areas with managed agriculture	0.2	0.5	1	1	1	0.2	0.2	0.05
Land use	0.3	0.5	1	1	2	0.5	0.5	0.07
Areas with Irrigation System	0.2	0.5	1	0.5	1	0.2	0.2	0.04
Slope	2	2	5	2	5	1	1	0.19
Soil	1	1	5	2	5	1	1	0.19

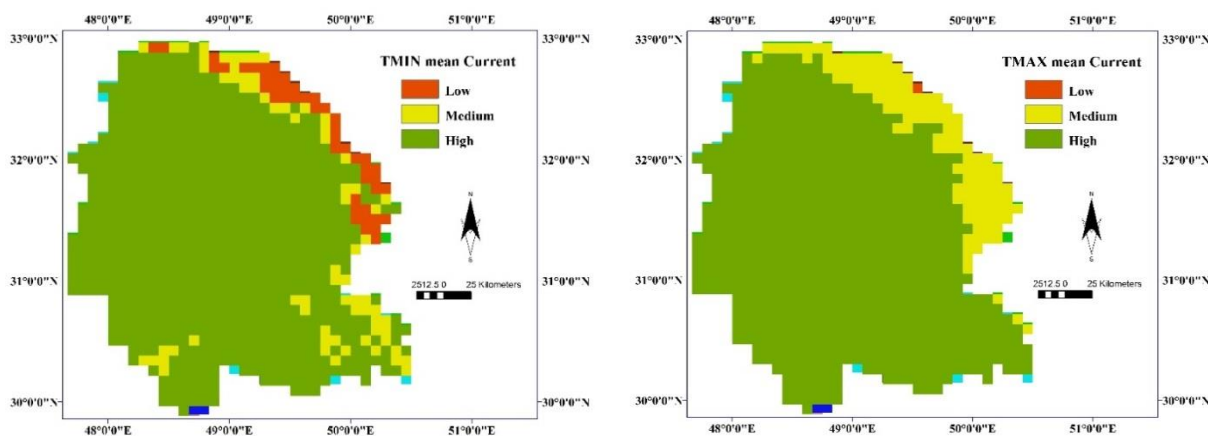


Figure 4- Prioritizing the maize area based on the maximum and minimum temperatures in current

شکل ۴- اولویت‌بندی نواحی کشت ذرت بر اساس حداکثر و حداقل دما در وضعیت موجود

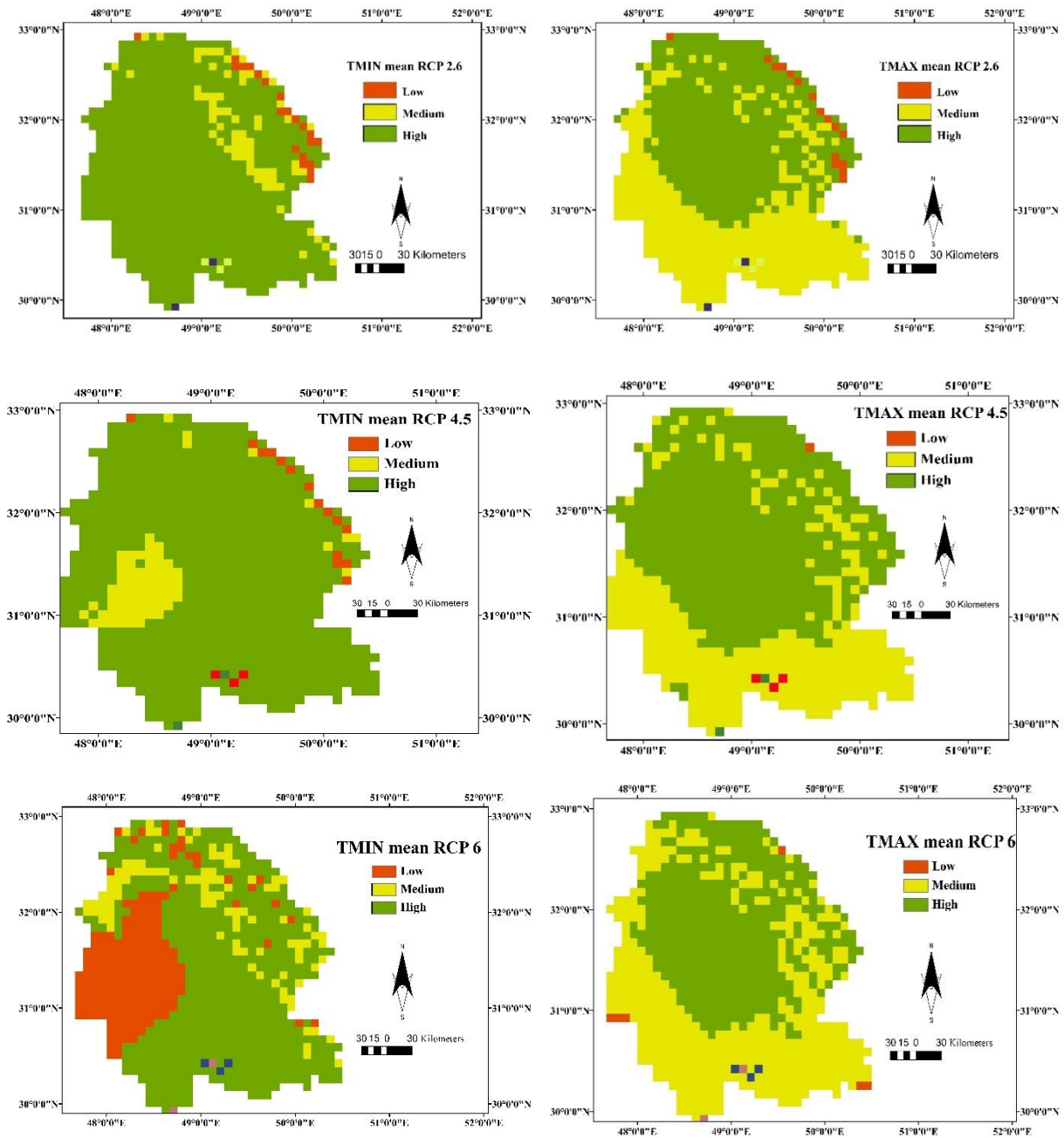


Figure 5- Prioritizing the maize area based on maximum and minimum temperatures based on climate scenarios

شکل ۵- اولویت‌بندی نواحی کشت ذرت بر اساس حداکثر و حداقل دما بر مبنای سناریوهای اقلیمی

نواحی با بررسی‌های دقیق و اعمال اقدامات سازگاری می‌توانند شرایط کشت ذرت را داشته باشند. شبیه‌سازی انجام شده نشان می‌دهند که تغییر اقلیم بر تغییر مکانی نواحی مناسب جهت کشت ذرت اثر معنی‌داری دارد. بر اساس شکل‌های ۷ تا ۱۰ و جدول ۴ بدون لحاظ نمودن استراتژی‌های سازگاری مطابق با سناریوی RCP 6، زمانی که آستانه‌های دما در زمان گلدهی تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش می‌یابد در اثر تغییر اقلیم عملکرد ذرت کاهش

نواحی کوهستانی به دلیل عوامل محدود کننده شامل دما (دوره کوتاه دمای مناسب کمتر از ۴ ماه)، خاک و شیب نامناسب و نواحی ساحلی به دلیل خاک و دمای نامناسب (دماهای بالا) در طبقه‌بندی مناسب قرار نگرفتند. طبقه AEZ3 نسبت به نواحی بسیار مناسب، مناسب و نواحی نامناسب حد وسط را دارند. این نواحی دارای محدودیت‌های محیطی متفاوتی از قبیل جنس خاک، کاربری اراضی و دمای نامناسب می‌باشند. این

RCP 6 از به ترتیب ۱۳ درصد و ۱۲ درصد تا دهه ۲۰۵۰ کاهش خواهند یافت و به دنبال آن بر طبقات AEZ3- AEZ5 افزوده خواهد شد (شکل های ۸ و ۹).

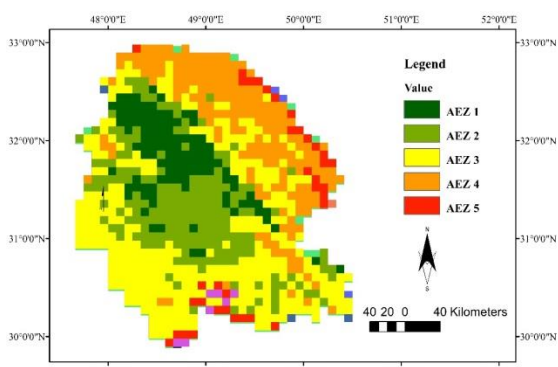


Figure 7- Change of suitable maize crops for RCP 2.6 by 2050

شکل ۷- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت بر سناریوهای RCP 2.6 تا سال ۲۰۵۰

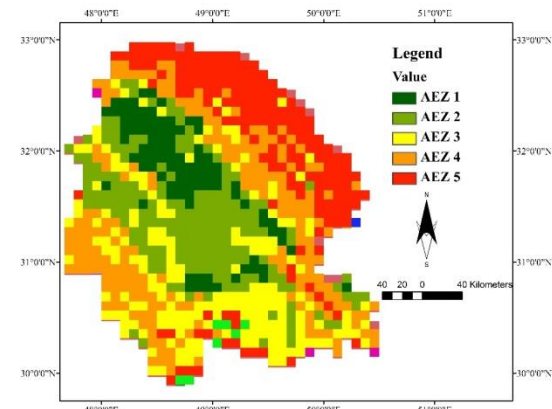


Figure 8. Change of suitable maize crops for RCP 4.5 by 2050

شکل ۸- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت بر سناریوهای RCP 4.5 تا سال ۲۰۵۰

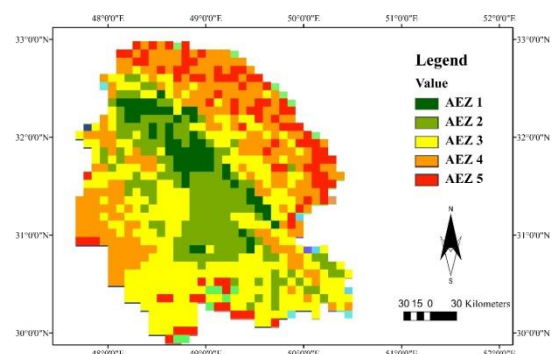


Figure 9. Change of suitable maize crops for RCP 6 by 2050

شکل ۹- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت بر سناریوهای RCP 6 تا سال ۲۰۵۰

دمای حدی معمولاً بر مبنای حداکثر و حداقل های دما در یک دوره زمانی مشخص تعریف می شود. افزایش دمای

می یابد و نواحی مناسب جهت کشت آن تا سال ۲۰۵۰، ۶۵ درصد در AEZ1 و ۳۶ درصد برای AEZ2 کم می شود.

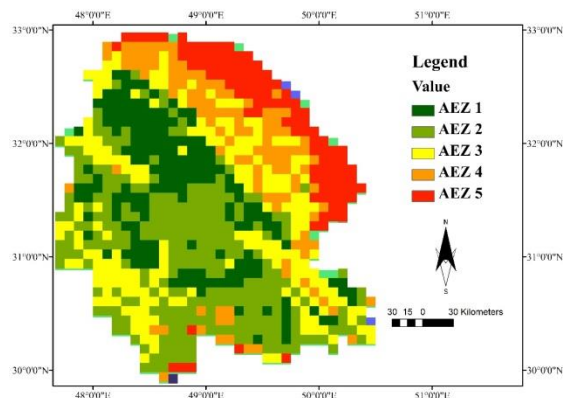


Figure 6. The areas suitable for the cultivation of maize by category in Agro ecological current

شکل ۶- نواحی مناسب کشت ذرت بر اساس طبقه بندی آگرواکولوژیک در وضعیت موجود

ذرت عمدتاً در نواحی شمال غربی (ناحیه شمال) کشت خواهد شد و نواحی جنوب شرق (بهبهان) شرایط کشت خود را از دست می دهند. این درحالی است در وضعیت موجود ناحیه بهبهان به عنوان یکی قطب های کشت ذرت استان خوزستان شناخته می شود و جز با اعمال راهکارهای مدیریتی با تدابیر ویژه کشت ذرت در این مناطق امکان پذیر نخواهد شد. بر مبنای پژوهش های Vuuren et al., (2011) سناریوی RCP 2.6 شرایط بهینه را با لحاظ نمودن راهکارهای سازگاری در تغییر مناطق آگرواکولوژیک در نظر می گیرد. بررسی ها نشان می دهند چنانچه راهکارهای سازگاری در سطوح مختلف جهت حفظ استان خوزستان به عنوان قطب تولید ذرت و نگهداشت سرمایه گذاری انجام شود، در شرایط افزایش دما وضعیت نواحی مناسب جهت کشت ذرت به سناریوی RCP 2.6 می رسد که در آن ۳۵ درصد در AEZ1 و ۲۸ درصد از اراضی مناسب در AEZ2 تا سال ۲۰۵۰ از بین می رود. اما در این شرایط نواحی که به عنوان قطب کشت ذرت در استان شناخته می شوند باقی خواهند ماند (شکل ۷). سناریوی RCP 4.5، شرایط متعادل تری را نسبت به RCP 6 و حرکت از شرایط بهینه را با لحاظ نمودن راهکارهای سازگاری در RCP 2.6 به ایجاد شرایطی بدون اتخاذ راهکارهای سازگاری در کشت ذرت نشان می دهد. در وضعیت ایجاد شده مطابق با سناریوی RCP 4.5، نواحی AEZ 1، ۴۴ درصد و نواحی AEZ2، ۳۱ درصد کاهش خواهند یافت. مساحت این دو طبقه در سناریوی

جهت کشت ذرت می‌شوند. به علاوه، در اولویت اول، مناسب‌ترین نواحی کشت ذرت (AEZ1) به نواحی شمال غرب استان (حاشیه رودخانه‌های دز و شاور) جایی که کم‌تر با چالش تأمین آب برای آبیاری مواجه هستند محدود می‌شود و بعد از آن نواحی مرکزی متمایل به جنوب استان (حاشیه رودخانه کارون) و بخش‌های بسیار محدودی در شرق تا جایی که محدودیت خاک، کاربری اراضی وجود نداشته باشد محدود می‌شود. به طور کلی بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت در سراسر دنیا بررسی شده و تقریباً در تمام مطالعات انجام شده تأیید شده که افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم اثر بیشتری نسبت به کاهش بارندگی بر عملکرد ذرت دارد و باعث کاهش عملکرد آن می‌شوند (Sánchez et al., 2014; Shi and Tao, 2014; Rao et al., 2014; Crafts-Brandner and Salvucci, 2002; Bonfante et al., 2015; Kaur et al., 2017; Ruane et al., 2018; King et al., 2018; Cao et al., 2019).

نتیجه‌گیری

همان گونه که در بخش نتایج و بحث مطرح گردید، بررسی تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده بر اساس مدل‌سازی طبقه‌بندی آگرواکولوژیک انجام شده است. طبقه‌بندی آگرواکولوژیک از چارچوبی مفید برای ترکیب اطلاعات مربوط به مؤلفه‌های فیزیکی محیط‌های کشاورزی تشکیل شده است. که به وسیله آن‌ها محیط‌های مناسب کشت جهت سازگاری با تغییر اقلیم شناسایی می‌گردند. در تحلیل آسیب‌پذیری پس از بررسی تغییرات دما در آینده، مطالعه میزان تغییر مناطق مناسب، جهت کشت ذرت در شرایط تغییر اقلیم گامی مهم می‌باشد. همان گونه که در مواد و روش‌ها بیان گردید برای طبقه‌بندی آگرواکولوژیک دو دسته مؤلفه‌های ثابت و متغیر استفاده شده است. مؤلفه‌های ثابت شامل خاک، شیب، کاربری اراضی، نواحی با سیستم آبیاری و نواحی با کشاورزی مدیریت شده می‌باشد و مؤلفه‌های متغیر از حداکثر و حداقل دما تشکیل گردیده‌اند که در آن‌ها شرایط آینده در سه سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 لحاظ شده است. بررسی میزان اثرگذاری تغییر اقلیم بر مناطق مناسب کشت ذرت نشان داد چنانچه تا سال ۲۰۵۰ شدت تغییرات ایجاد شده در شرایط اقلیم کنترل و راهکارهای سازگاری اتخاذ گردد

حدی با ایجاد تغییرات در دوره رشد محصولات کشاورزی می‌تواند آسیب فیزیولوژیکی ایجاد کنند و در نهایت منجر به افت عملکرد شود. از این رو افزایش دما، با تأثیر بر فراوانی و شدت رخدادهای حدی اقلیمی چالش‌های بزرگی برای تولید محصولات کشاورزی است (Zhang et al., 2018). بر اساس نتایج به دست آمده به وضوح روشن است تغییر اقلیم بر توزیع فضایی نواحی مناسب جهت کشت ذرت تأثیر خواهد گذاشت (شکل‌های ۹-۷) و چگونه منطقه مورد مطالعه با لحاظ نمودن شرایط سازگاری یا بدون آن و اتخاذ راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نواحی مناسب جهت کشت را از دست خواهد داد و در سیستم کشاورزی این محصول ناپایداری ایجاد می‌شود. نتایج به دست آمده با مطالعات انجام شده در آمریکای مرکزی و لاتین (Confalonieri et al., 2012) و آفریقا (Seo et al., 2014) همخوانی دارد. در این تحقیق سناریوی RCP2.6، کم‌ترین تغییرات مکانی و سناریوی RCP6.0، حداکثر تغییرات مکانی را نشان می‌دهد.

Table 4: Spatial variations of agro-ecological classification current and RCP scenarios

جدول ۴- درصد تغییرات مکانی طبقه بندی آگرواکولوژیک در

وضعیت موجود و سناریوهای RCP

Class	Current	RCP6	RCP4.5	RCP2.6
AEZ 1	20	7	11	13
AEZ 2	32	20	22	23
AEZ 3	23	35	22	38
AEZ 4	13	27	24	22
AEZ 5	12	11	21	4

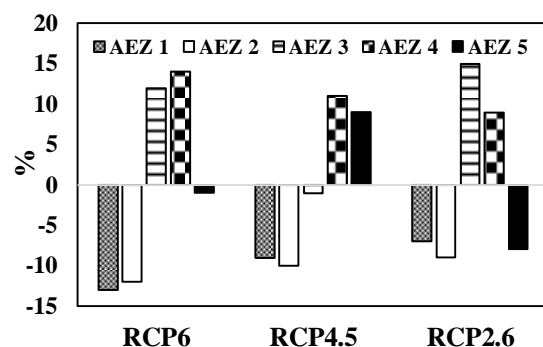


Figure 10 - The percentage of spatial changes of the future areas of maize crops

شکل ۱۰- درصد تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده

نتایج به دست آمده از تحلیل آسیب‌پذیری بیان می‌کنند که منطقه مورد مطالعه به شدت نسبت به تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است و تغییرات ایجاد شده با شیب خط ملایمی، به تدریج منجر به از دست رفتن نواحی مناسب

نشود تا سال ۲۰۵۰، ۶۵ درصد از اراضی مناسب کشت کاهش خواهد یافت و قابلیت کشت ذرت در نواحی مرکزی و جنوب شرقی به شدت کاهش می یابد.

منابع

- Ababaei, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., Rezaverdinejad, V., Karimi, B. 2010. Climate Change Impact on Wheat Yield and Analysis of the Related Risks (Case Study: Esfahan Ruddasht Region). *Journal of Water and Soil Sciences (Iranian Journal)*, 20: 135-150. (in Farsi)
- Adnan, S., Ullah, K., Gao, S., Khosa, A. H., Wang, Z. 2017. Shifting of agroclimatic zones, their drought vulnerability, and precipitation and temperature trends in Pakistan. *International Journal of Climatology*, 37: 529-543.
- Anonymous. 2015. Soil studies of the Department of Natural Resources and Watershed Management of Khuzestan Province. (in Farsi)
- Banayan Aval, M. 2010. Crop models efficiency and performance under elevated atmospheric CO₂. *Journal of water and soil*, 4: 115-126. (in Farsi)
- Blasing, T. J., Solomon, A. M. 1983. Response of the North American corn belt to climatic warming (No. CONF-830341-1). Oak Ridge National Lab. TN (USA).
- Bolouk Azari, S., Massah Bavani, A. R., Azadegan, B. 2013. Assessment of Changes in Yield and Agricultural Water Productivity of Hashtgerd Plain Affected by Climate Change in the Future Periods Using AEZ/GIS Approach. *Iranian Journal of irrigation and Drainage*, 4(6): 273-286. (in Farsi)
- Bonfante, A., Monaco, E., Alfieri, S. M., De Lorenzi, F., Manna, P., Basile, A., Bouma, J. 2015. Climate change effects on the suitability of an agricultural area to maize cultivation: application of a new hybrid land evaluation system. In *Advances in Agronomy*, 133: 33-69.
- Cao, M., Zhu, Y., Lü, G., Chen, M., Qiao, W. 2019. Spatial Distribution of Global Cultivated Land and Its Variation between 2000 and 2010, from Both Agro-Ecological and Geopolitical Perspectives. *Sustainability*, 11(5): 1242.
- Cairns, J. E., Sonder, K., Zaidi, P. H., Verhulst, N., Mahuku, G., Babu, R., Prasanna, B. M. 2012. 1 Maize Production in a Changing Climate: Impacts, Adaptation, and Mitigation Strategies. *Advances in agronomy*, 114(1):.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* 333: 1024.
- Crafts-Brandner, S. J., Salvucci, M. E. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C₄ plant, maize, to heat stress. *Plant Physiology*, 129(4): 1773-1780
- FAO. 2012. World production and trade of cassava products. <http://www.fao.org/docrep/x5032e/x5032E08.htm> (accessed on August 20, 2013).
- Holzämper, A. 2017. Adapting Agricultural Production Systems to Climate Change-What's the Use of Models?. *Agriculture*, 7(10): 86.
- Kaur, H., Huggins, D. R., Rupp, R. A., Abatzoglou, J. T., Stöckle, C. O., Reganold, J. P. 2017. Agro-ecological class stability decreases in response to climate change projections for the Pacific Northwest, USA. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5: 74.
- King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., Unc, A. 2018. Northward shift of the agricultural climate zone under 21st century global climate change. *Scientific reports*, 8(1): 7904.
- Kurukulasuriya, P., Rosenthal, S. 2013. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations.
- Lobell, D. B., Sibley, A., Ortiz-Monasterio, J. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change*, 2 186-189.
- Lobell, D. B., Bänziger, M., Magorokosho, C., Vivek, B. 2011. *Nature Climate Change*, 1: 42-45
- Newman, J. E. 1980. Climate change impacts on the growing season of the North American Corn Belt. *Biometeorology*, 7(2): 128-142.
- Olesen, J. E., Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16: 239-262.
- Rao, B. B., Chowdary, P. S., Sandeep, V. M., Rao, V. U. M., Venkateswarlu, B. 2014. Rising minimum temperature trends over India in recent decades: implications for agricultural production. *Global and Planetary Change*, 117: 1-8.
- Roostae, M., T. Sohrabi, T., Massah Bavani, M., Ahadi, M. S. 2012. Risk analysis of climate change impact on maize yield and water productivity in 2010-2039 period. *Journal of water and soil*, 2: 361-371. (in Farsi)
- Ruane, A. C., Phillips, M. M., Rosenzweig, C. 2018. Climate shifts within major agricultural

- seasons for+ 1.5 and+ 2.0° C worlds: HAPPI projections and AgMIP modeling scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259: 329-344.
- Sánchez, B., Rasmussen, A., Porter, J. R. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global change biology*, 20(2): 408-417.
- Seo, Y. A., Lee, Y., Park, J. S., Kim, M. K., Cho, C., Baek, H. J. 2014. Assessing changes in observed and future projected precipitation extremes in South Korea. *International Journal of Climatology*.
- Shi, W., Tao, F. 2014. Vulnerability of African maize yield to climate change and variability during 1961–2010. *Food Security*, 6(4): 471-481.
- Shukla, R., Chakraborty, A., Joshi, P. K. 2017. Vulnerability of agro-ecological zones in India under the earth system climate model scenarios. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 22(3): 399-425.
- Singh, M., Aggarwal, R. K. 2018. Mapping of Agro-Ecological Zones of North-West India in Context to Climate Change Using Geographical Information System. *Current World Environment*, 13(1): 75.
- Vuuren, D. P., Edmonds, J. A., Kainuma, M., Riahi, K., Weyant, J.(2011). A special issue on the RCPs. *Climatic Change*, 109, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0157-y>
- Zhang, L., Zhang, Z., Chen, Y., Wei, X., Song, X. 2018. Exposure, vulnerability, and adaptation of major maize-growing areas to extreme temperature. *Natural Hazards*, 91(3): 1257-1272.



برآورد هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت در شرایط پتانسیل تولید زراعی

حمیدرضا افشارنادری^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، پرویز ایران‌نژاد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶

چکیده

در این پژوهش، با هدف دستیابی به نمودار تغییرات هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت (RUE)، یک رقم میان‌رس ذرت در فصل بهار در مزرعه پژوهشی دانشگاه تهران در کرج کشت شد. اطلاعات میدانی زیست‌سنجی با پایش منظم زیست‌توده خشک و شاخص مساحت برگ سبز بوته‌ها در ۱۵ هفته متوالی از فصل رشد، جمع‌آوری گردید. سپس با سنجش کامل شدت روزانه تابش تمام‌طیفی خورشید و آسمان در سطح مزرعه، به کمک شبیه‌سازی آفتاب‌گیری و پردازش تصویر، با در نظر گرفتن میانگین روزانه بازتابندگی و ضریب خاموشی پوشش گیاهی، از یک مدل چندلایه تابش درون پوشش گیاهی برای برآورد نظری میزان نور مرئی جذب شده در پوشش ذرت استفاده شد. شبیه‌سازی آفتاب‌گیری روزانه شب‌هنگام در بین ساعات ۲۱:۰۰ تا ۲۱:۳۰، اجرا شد و در آن، تمام قد بوته ذرت به طور هم‌زمان از تمام زوایای بین پرتوهای آفتاب و سطح افق در طی روز نمونه‌برداری، با نور تکفام پرتودهی می‌شد. سنجش میانگین روزانه بازتابندگی تکفام بوته نیز به کمک پردازش تصویر انجام گرفت. اندازه‌گیری‌ها از زمان بسته شدن تاج پوشش متوقف و در نهایت، ۱۲ مقدار کارایی مصرف تابش در بازه‌های زمانی یک هفته‌ای محاسبه شد. نتایج این پژوهش بیان‌گر آن است که حتی در وضعیت پتانسیل تولید زراعی نیز نمی‌توان با قطعیت تنها یک مقدار ثابت از RUE را به کل فصل رشد ذرت تعمیم داد. طی فصل رشد دامنه تغییرات کارایی مصرف تابش ذرت به ۳۶/۱ g/MJ می‌رسد. میانه مقادیر هفتگی این کمیت که احتمال رخداد آن در نیمی از فصل رشد ۱۰۰ درصد است، برابر ۳/۵ g/MJ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده، تابش فعال فوتوسنتزی، پوشش گیاهی، فصل رشد، ضریب خاموشی

مقدمه

واکنش‌های فوتوسنتز معین می‌کند. به بیان دیگر، کارایی مصرف تابش به‌طور ساده، غیرمستقیم و کلی نتیجه نهایی تمام فرآیندهای رشد و نمو محصول که وابستگی گیاه‌شناختی، فیزیولوژیکی، ژنتیکی و زیست‌شیمیایی بسیار پیچیده‌ای به فوتوسنتز دارند را نسبت به انرژی جذب شده در فرآیند فوتوسنتز مقایسه می‌نماید (Hikosaka et al., 2016). موارد زیر از مهم‌ترین دلایل برآورد کارایی مصرف تابش محصول هستند: ۱- برآورد نظری مقدار زیست‌توده از کارایی مصرف تابش نسبت به برآورد زیست‌توده از فوتوسنتز پوشش گیاهی^۷ ساده‌تر است (Zhu et al., 2012). ۲- معیاری مناسب در کمی‌سازی بهره‌وری زراعی، سلامت گیاه و عملیات کشاورزی است. ۳- مبنایی ساده و کارآمد در شبیه‌سازی رشد محصول است (Monteith and Unsworth, 2013). از مقدار کارایی مصرف تابش یک

کارایی مصرف تابش^۴ محصول شاخصی است که به الهام از تعریف بازدهی تبدیل انرژی، میزان تولید زیست‌توده^۵ گیاهی را به تابش مصرفی محصول پیوند می‌زند. کارایی مصرف تابش عبارت است از خارج‌قسمت زیست‌توده خشک گیاه (بر حسب گرم) بر تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده^۶ توسط گیاه (بر حسب ژول) (Russell et al., 1990). این شاخص سهم خالص تولید زیست‌توده را به‌ازای انرژی تابشی جذب شده در

^۱ دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(*نویسنده مسئول: nghahreman@ut.ac.ir)

DOI:

^۳ دانشیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

^۴ RUE: Radiation Use Efficiency

^۵ Biomass

^۶ APAR: Absorbed Photosynthetically Active Radiation

^۷ Canopy

استفاده از نتایج این سنجش در برآورد روزانه ضریب خاموشی^۱ پوشش گیاهی، یا تعمیم مقادیر لحظه‌ای ضریب خاموشی پوشش گیاهی به کل ساعات روشنایی روز یا حتی تمام فصل رشد و ۳- تعمیم مقادیر لحظه‌ای بازتابندگی پوشش گیاهی به کل ساعات روشنایی روز یا حتی تمام فصل رشد، یا چشم‌پوشی کلی از تأثیر آن (صفر گرفتن بازتابندگی پوشش گیاهی). در بسیاری از گزارش‌های پژوهشی مرتبط با برآورد کارایی مصرف تابش گونه‌های زراعی، شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده توسط گیاه با وجود همین ساده‌سازی‌ها برآورد گردیده است که در ادامه به چند نمونه از آنها اشاره شده است. اگر چه محاسبه شیب خط وایازش به میزان اندکی این خطاها را کاهش می‌دهد، اما در پایش پویایی کارایی مصرف تابش محصول در بازه‌های زمانی کوتاه مدت، به دلیل ماهیت ریزمقیاس پایش، تکرار این اشتباهات پایش را از خطای سامانمند بزرگی متأثر می‌کند که کاهش اعتمادپذیری نتایج را در پی خواهد داشت. ترکیبی از خطاهای برآورد فوق‌الذکر در پژوهش‌های مختلف وجود دارد. برای نمونه Liu et al., (2012) در ارزیابی کارایی مصرف تابش دو رقم ذرت در سه الگوی کشت متفاوت، با صفر گرفتن بازتابندگی پوشش ذرت، سنجش میزان جذب تابش فعال فوتوسنتزی روزانه را به ساعات ۱۰:۰۰ تا ۱۴:۰۰ محدود ساخته و با نتایج آن ضریب خاموشی پوشش ذرت را محاسبه کرده‌اند. Andrade et al., (1993) جذب تابش فعال فوتوسنتزی روزانه را تنها در ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۳:۰۰ به وقت محلی اندازه گرفته و از بازتابندگی پوشش ذرت چشم‌پوشی کرده‌اند. Greaves and Wang (2017) در ارزیابی اثر تنش آبی بر میزان جذب نور و کارایی مصرف تابش ذرت، برای کل فصل رشد ضریب خاموشی پوشش ذرت را برابر ۰/۶۵ و بازتابندگی پوشش ذرت را صفر فرض کرده‌اند. Westgate et al., (1997) برای برآورد کارایی مصرف تابش در شرایط تأثیر دو فاصله‌گذاری متفاوت بین ردیف‌های کشت، با چشم‌پوشی از بازتابندگی پوشش ذرت، تنها در ساعات ۱۲:۰۰ تا ۱۴:۰۰ جذب روزانه تابش فعال فوتوسنتزی را اندازه‌گیری کرده‌اند. Kiniry et al., (1998) نیز در بررسی پاسخ کارایی مصرف تابش ذرت و ذرت خوشه‌ای (سورگوم) نسبت به تغییرات کمبود فشار بخار آب،

محصول سه برآورد متفاوت وجود دارد: ۱- در یک مقطع زمانی خاص از فصل رشد (مثلا موقع گلدهی یا رسیدگی محصول) میزان این کمیت به واسطه تعریف آن تنها با درج یک عدد، محاسبه می‌شود (Akmal et al., 2014). ۲- با توجه به تعریف کارایی مصرف تابش محصول، شیب خط وایازش (رگرسیون) بین مقادیر زیست‌توده خشک نمونه‌برداری شده از واحد سطح کشت (مثلا با واحد گرم بر متر مربع)، و تابش فعال فوتوسنتزی تجمعی جذب شده توسط محصول به عنوان میانگینی از کارایی مصرف تابش گیاه در فصل رشد تعیین می‌شود (Monteith, 1994; Sinclair and Muchow, 1999). ۳- با توجه به اوقات نمونه‌برداری از زیست‌توده بدون استفاده از خط وایازش، با کاربست مستقیم تعریف کارایی مصرف تابش، جدولی از مقادیر کارایی مصرف تابش در فصل رشد محصول تهیه می‌شود (Hossain et al., 2014). در این پژوهش نیز به این شیوه عمل شده است. به علت زمان‌بری، دشواری و هزینه زیاد اندازه‌گیری میدانی کارایی مصرف تابش، تحقیقاتی که به طور منظم و دقیق کارایی مصرف تابش گونه‌های زراعی در فصل رشد محصول را پایش کند بسیار اندک است. در بیش‌تر پژوهش‌ها از روش دوم برآورد این شاخص، استفاده شده است (Lindquist et al., 2005). این روش برای شبیه‌سازی رشد محصول درستی و دقت زیادی ندارد، زیرا تنها به یک مقدار عددی از کارایی مصرف تابش برای کل فصل رشد محصول بسنده می‌کند و تغییرات کارایی مصرف تابش در مراحل رشد، نمو و فنولوژی محصول را نادیده می‌گیرد. با این وجود، محاسبه شیب خط وایازش بین داده‌های تابش فعال فوتوسنتزی تجمعی جذب شده گیاه و زیست‌توده خشک برداشت‌شده از واحد مساحت سطح، روش رایج برآورد کارایی مصرف تابش محصولات زراعی است که البته در موارد نمونه‌برداری زمانی پراکنده و نامنظم درست‌ترین گزینه است. برای مثال از این روش در پژوهش Andrade et al., (1993) برای برآورد کارایی مصرف تابش ذرت استفاده شده است. معمولا وجود سه اشتباه اساسی در برآوردهای میدانی یا نظری شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده توسط محصول، منجر به کاهش قطعیت و درستی نتایج برآورد رگرسیونی کارایی مصرف تابش محصول می‌شود. این اشتباهات به ترتیب اولویت عبارتند از: ۱- سنجش ناقص شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده توسط محصول در طول روز، ۲-

¹ Extinction coefficient

اوره با مقدار کلی ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سطح مزرعه پخش شد. در تاریخ ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۶ بوته‌های ذرت در ردیف‌های کشت سبز و از این تاریخ آبیاری بارانی که به‌طور عمده با سامانه آبیاری عقربه‌ای (سنتر پیوت) صورت می‌گرفت، در کرت مطالعاتی به‌مساحت 10×15 متر مربع با کارکرد تناوبی آبیاری‌های ثابت تکمیل گردید. تا مرحله رسیدگی ذرت دور آبیاری هر ۶ روز یک مرتبه و با دبی پاشش $2/2$ لیتر در ثانیه برای مدت ۴ ساعت تنظیم شد. در مواقع ۶ و ۷ برگی شدن بوته‌های ذرت نیز برای حفظ شرایط پتانسیل تولید زراعی از طریق مبارزه با علف‌های هرز و آثار رقابتی آنها، به‌مقدار ۲ لیتر در هکتار از سم علفکش نیکوسولفورن با نام تجاری «کروز» استفاده گردید.

داده‌های زیست‌سنجی

اولین نمونه‌برداری تخریبی از بوته‌ها در تاریخ ۷ خرداد ۱۳۹۶ با برش طوقه‌ای یک بوته در هر متر مربع از ردیف‌های کشت کرت مطالعاتی انجام شد. در این تاریخ با گذشت یک هفته از سبز شدن کلیه بوته‌ها از مصرف کامل اندوخته غذایی (اندوسپرم) بذرها و عدم تأثیر آن در تولید زیست‌توده جدید، و واگذاری کامل تولید زیست‌توده به فوتوسنتز اطمینان حاصل گردید. این نمونه‌برداری تخریبی به‌طور مرتب در طول فصل رشد به‌فاصله زمانی یک هفته تکرار و نمونه‌ها با فرض یکسان‌انگاری رشد و نمو تمامی بوته‌ها، مورد سنجش مساحت برگ‌های سبز قرار گرفته و سپس کل بوته به‌کوره الکتریکی منتقل می‌گردید. سنجش تخریبی مساحت برگ‌های سبز بوته‌ها با دستگاه مساحت‌سنج برگ از کمپانی Delta-T Devices Ltd. انگلستان انجام شد. در جدول ۱ مقادیر این اندازه‌گیری‌ها در ۱۵ نوبت نمونه‌برداری درج شده است. بوته‌های انتقالی به‌کوره الکتریکی پس از ۲۴ ساعت استقرار در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد، کاملاً خشک و تمامی اندام‌های هوایی ذرت برای تعیین زیست‌توده خشک توزین می‌گردید. در جدول ۱ برای ۱۵ هفته متوالی از نمونه‌برداری تخریبی بوته‌ها، مقادیر زیست‌توده خشک ذرت موجود در یک متر مربع از سطح کشت نیز ثبت شده است.

نور خالص دریافتی

منظور از تابش فعال فوتوسنتزی همان تابش نور مرئی با دامنه طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است که سبب فعال

بازتابندگی پوشش را صفر و میزان جذب روزانه تابش فعال فوتوسنتزی را تنها در ساعات ۱۰:۰۰ تا ۱۴:۰۰ وقت محلی اندازه گرفته‌اند. در پژوهش حاضر، که هدف آن پایش پویایی هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت است، با رویکرد افزایش درستی و قطعیت برآورد، برای دستیابی به‌نمودار تغییرات زمانی کارایی مصرف تابش در فصل رشد، اقدام به‌کشت و داشت ذرت شد.

مواد و روش‌ها

در بیشتر مطالعات و پژوهش‌های مرتبط به زیست‌سنجی^۱ گونه‌های زراعی، به‌خاطر دشواری و هزینه زیاد پایش مرتب جرم ریشه‌ها در فصل رشد، از سهم ریشه‌ها در اندازه کلی زیست‌توده گیاهی چشم‌پوشی و تنها اندام‌های هوایی گیاه پس از برش طوقه‌ای بوته به‌عنوان زیست‌توده توزین می‌شوند. با فرض یکسان‌انگاری رشد و نمو همه بوته‌ها در فصل رشد، همین روش تخریبی مبنای نمونه‌برداری زیست‌توده ذرت در کاشت و داشت مزرعه‌ای قرار گرفت.

روش کاشت و داشت

در تاریخ ۲۳ اردیبهشت ۱۳۹۶ ذرت رقم متوسط‌رس "Maxima" در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در محمدشهر کرج، با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۲۹۲/۹ متر از سطح آب‌های آزاد، با پیروی از هندسه کاشت مستطیلی به‌شکل و آرایش ردیفی کشت شد. کاشت با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و به‌طور تقریبی در راستای شمالی - جنوبی با تراکم کشت ۱۰ بوته در هر متر مربع انجام شد. به‌منظور رعایت شرایط پتانسیل تولید زراعی که وضعیت عدم کمبود آب، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک در فصل رشد محصول است، پیش از کاشت کودهای پایه‌ای N-P-K به‌مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار از کود اوره، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از کود سولفات پتاسیم در شخم قبل از کاشت به‌خاک اضافه شد. در مرحله داشت نیز هنگام ظهور گل‌آذین^۲ ذرت به‌صورت دستی، کود سرک

¹ Biometry

² Tassel

تأثیر بازتابش خاک، تراکسیل نور از برگ‌ها و پراکندگی نور در پوشش گیاهی لحاظ نشده، و تنها مؤلفه اصلی کاهش نور مرئی دریافتی در سطح پوشش گیاهی که همان بازتابش پوشش گیاهی می‌باشد، مد نظر قرار گرفته است. علل اصلی این چشم‌پوشی: ۱- سهم بسیار ناچیز بازتابش خاک (به‌ویژه خاک زیر پوشش گیاهی) و پراکندگی نور در پوشش گیاهی نسبت به تابش مستقیم و پخشیده خورشید در تأمین نور و ۲- پیچیدگی بسیار زیاد برآورد نظری یا میدانی سهم این عوامل در تأمین نور است (Campbell and Norman, 1998; Verhoef, 1984). در طول فصل رشد ذرت سنجش مداوم شدت تابش تمام‌طیف خورشید و جو در سطح مزرعه، به‌صورت انباشته (تجمعی) و پیوسته در کل ساعات روشنایی روز توسط ^{2}TSR انجام گرفت. در جدول ۲ مقادیر انباشته تابش برای هفته‌های بین دو نوبت متوالی از نمونه‌برداری تخریبی بوته‌های ذرت فهرست شده است. در جدول ۲ متناظر با این ۱۴ هفته از فصل رشد ذرت، مقادیر هفتگی شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی (محاسبه شده از معادله ۱) نیز آورده شده است. در این پژوهش به‌کمک پردازش تصویر مقادیر میانگین روزانه بازتابندگی پوشش ذرت در ۷ هفته اول نمونه‌برداری برآورد گردید که فهرست آن در جدول ۲ آمده است. برای بقیه هفته‌های فصل رشد نیز به‌دلیل بسته شدن کامل پوشش ذرت، به‌طور ثابت مقدار میانگین روزانه بازتابندگی پوشش در هفته هفتم تعمیم داده شده است. عملیات پردازش تصویر توسط نرم‌افزار Digimizer بر روی تصاویر برداشتی از یک بوته ذرت هنگام شبیه‌سازی آفتابگیری^۳ روزانه آن انجام گرفت. شبیه‌سازی آفتابگیری روزانه شب‌هنگام در بین ساعات ۲۱:۰۰ تا ۲۱:۳۰، به‌وسیله نوعی پویسگر^۴ زاویه‌ای ویژه اجرا شد. در شکل ۱ تصویری از وضعیت استقرار این پویسگر در پوشش ذرت مزرعه آمده است. در شبیه‌سازی آفتابگیری روزانه با این دستگاه، تمام قد بوته ذرت هدف به‌طور هم‌زمان از تمام زوایای بین پرتوهای آفتاب و سطح افق در طی روز نمونه‌برداری، پرتودهی می‌شد. در این وضعیت بازتاب نور از بوته، نماینده‌ای از میانگین روزانه بازتابش نور خورشید از بوته ذرت است و برداشت تصویر آن اطلاعات خام بازتابندگی را

شدن واکنش‌های فوتوشیمیایی چرخه فوتوسنتز در رنگدانه‌های سبزینه (کلروفیل) در کلروپلاست‌ها، به‌ویژه از نوارهای^۱ آبی و قرمز طیف مرئی می‌شود.

جدول ۱- مساحت برگ‌های سبز یک بوته و زیست‌توده خشک ذرت در دوره نمونه‌برداری

Table 1- One plant green leaves area and maize dry biomass during the sampling period

Day After Emergence	Sampling date	One plant Green leaves area (m ²)	Maize dry biomass per unit area (g.m ⁻²)
7	28-May-2017	0.0069	3.5
14	4-Jun-2017	0.0193	13.2
21	11-Jun-2017	0.0298	39.8
28	18-Jun-2017	0.1634	421.9
35	25-Jun-2017	0.2797	632.5
42	2-Jul-2017	0.4478	935.5
49	9-Jul-2017	0.4857	1001.2
56	16-Jul-2017	0.5066	1166.7
63	23-Jul-2017	0.5119	1263.6
70	30-Jul-2017	0.5161	2627.1
77	6-Aug-2017	0.5242	3140.1
84	13-Aug-2017	0.5346	3459.9
91	20-Aug-2017	0.5358	3461.6
98	27-Aug-2017	0.4512	3198.6
105	3-Sep-2017	0.3603	2791.5

تمام بافت‌های فوتوسنتز کننده با جذب زیاد نورهای آبی و قرمز، سبز رنگ به‌چشم می‌آیند (Jones, 2014). برای برآورد مقدار تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش گیاهی، ابتدا باید میزان نور مرئی دریافتی پوشش را مشخص کرد، که به دو روش کلی برآورد نظری و اندازه‌گیری میدانی انجام می‌یابد. اندازه‌گیری میدانی نور دریافتی به‌وسیله انواع تابش‌سنج‌ها یا نورسنج‌های اختصاصی پوشش گیاهی اجرا می‌شود. در این پژوهش نیز مبنای محاسبه نور خالص دریافتی، اندازه‌گیری شدت تابش تمام‌طیف در سطح مزرعه و استفاده از معادله ۱ بود.

$$\text{Daily IPAR}_{\text{net}} = 0.45 R_s (1 - \overline{F_{\text{PAR}}}(d)) \quad (1)$$

در معادله فوق $\text{Daily IPAR}_{\text{net}}$ شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی در طول روز R_s ($\text{J.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)، شدت روزانه تابش تمام‌طیف خورشید و جو ($\text{J.m}^{-2}.\text{day}^{-1}$)، $\overline{F_{\text{PAR}}}(d)$ میانگین روزانه درصد بازتابندگی پوشش گیاهی در نوار مرئی و ضریب ۰/۴۵ سهم نور مرئی از تابش تمام‌طیفی خورشید و جو در سطح زمین است (Monteith and Unsworth, 2013). شایان ذکر است که در معادله ۱ برای برآورد شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی

² TSR: Total Solar Radiometer

³ Insolation

⁴ Scanner

¹ Bands

چند آشکارساز خطی محدودیت زمانی سنجش درست و بدون ابهام آرایه خطی به ساعات ۱۱:۰۰ تا ۱۳:۰۰ روز است. این محدودیت ناشی از اشتباه کسینوسی^۳ آشکارسازهای نور آرایه خطی این وسایل در درجات بزرگ زاویه سوسوی^۴ نور فرودی است. به همین دلیل با محدود شدن زمان سنجش با این دستگاه نمی‌توان به‌برآورد کاملاً درستی از مقدار کل نور جذب شده در ساعات روشنایی روز دست یافت (Webb et al., 2008). منظور از اشتباه کسینوسی انحراف نشانه‌های خروجی یک آشکارساز یا حسگر تابش است که تابعی از کسینوس زاویه سوسوی پرتوهای فرودی به آشکارساز یا حسگر تابش می‌باشد. در این پژوهش برای محاسبه هفتگی کل تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده از برآورد نظری آن با کاربری مدل چندلایه تابش درون پوشش گیاهی استفاده شد. این مدل که برای برآورد نظری میزان جذب نور و ضریب خاموشی پوشش گیاهی، نتایج سنجش‌های دستگاه‌های سپتومتر نیز به آن وارد می‌شود، مدل اصلی و پایه برآورد نظری نور مرئی جذب شده در پوشش گیاهی است، که معادله اساسی آن برای این منظور عبارت است از:

$$APAR=IPAR_{net}(1-\exp(-K(t).LAI(t))) \quad (2)$$

در این معادله APAR شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش گیاهی بر حسب ژول بر متر مربع در واحد زمان، $IPAR_{net}$ شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی بر حسب ژول بر متر مربع در واحد زمان، $K(t)$ ضریب خاموشی پوشش گیاهی در هر مرحله رشد و $LAI(t)$ شاخص مساحت برگ^۵ پوشش گیاهی در آن مرحله از رشد است و ضریب خاموشی و شاخص مساحت برگ هر دو بدون واحد هستند (Monteith and Unsworth, 2013).

در روشنایی تصویردانه‌های^۱ بوته ذخیره می‌کند. در شکل ۲ تصویر برداشتی از یک بوته ذرت در هنگام شبیه‌سازی آفتابگیری روزانه در تاریخ ۲۱ خرداد ۱۳۹۶ و پنجره اجرایی نرم‌افزار Digimizer نشان داده شده است.



Figure 1- The scanner used for insolation simulation of maize plants

شکل ۱- تصویری از پوششگر مورد استفاده در شبیه‌سازی آفتابگیری بوته‌های ذرت

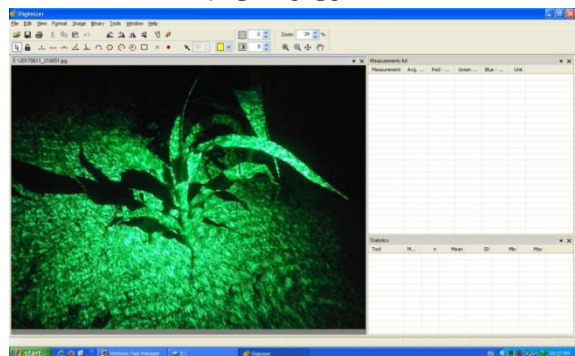


Figure 2- An example of executive system window of Digimizer software and loaded image

شکل ۲- نمونه‌ای از پنجره اجرایی نرم‌افزار Digimizer و تصویر بارگذاری شده در آن

تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده

معمولاً برآورد میدانی تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در مزرعه توسط دستگاه‌های سپتومتر^۲ یا شبکه‌ای از نورسنج‌های مستقر در ارتفاعات مختلف درون پوشش گیاهی انجام می‌پذیرد (Monteith, 1969; Ross, 1981). هزینه و مشکلات اجرایی این شبکه‌ها، به‌ویژه پاکیزه نگاه داشتن نورسنج‌های واقع بر سطح خاک زیر بوته‌ها، منجر به استفاده بیشتر از دستگاه‌های قابل حمل سپتومتر در برآورد میدانی نور مرئی جذب شده در پوشش گیاهی مزرعه شده است. دو گونه تجاری رایج این ادوات: ۱- سنجش‌گرهای آرایه چند آشکارساز خطی و ۲- سنجش‌گرهای گران‌قیمت مجهز به عدسی چشم ماهی می‌باشند (Jones, 2014). ایراد عمده سنجش‌گرهای آرایه

³ Cosine error

⁴ Zenith angle

⁵ LAI: Leaf Area Index

¹ Pixels

² Ceptometer

جدول ۲- فهرست مقادیر انباشته هفتگی شدت تابش تمام طیفی، $IPAR_{net}$ (شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی) و میانگین

روزانه بازتابندگی نوار مرئی پوشش ذرت

Table 2- List of weekly cumulative quantities of Full Spectrum Irradiation, $IPAR_{net}$ (Intensity of Net Intercepted Photosynthetically Active Radiation) and Daily average of maize canopy visible band reflectivity

Week Number	Day After Emergence	Weekly Full Spectrum Irradiation ($\frac{MJ}{m^2 \cdot week}$)	Daily average of maize canopy visible band reflectivity (%)	Weekly $IPAR_{net}$ ($\frac{J}{m^2 \cdot week}$)
3	14	239.032	19	87127164
4	21	219.812	22	77154012
5	28	235.516	29	75247362
6	35	217.690	15	83266425
7	42	205.274	12	81288504
8	49	182.166	10	73777230
9	56	185.931	11	74465366
10	63	204.091	11	81738446
11	70	192.617	11	77143109
12	77	192.866	11	77242833
13	84	185.935	11	74466968
14	91	179.127	11	71740364
15	98	177.081	11	70920941
16	105	175.490	11	70283745

جذبندگی زاویه‌ای تکفام^۱ یک بوته گیاه با جذبندگی زاویه‌ای تکفام یک متر مربع از پوشش گیاهی ۲- تیرگی و کدورت کامل برگ‌ها ۳- ناوابستگی ضریب خاموشی به طول موج نور و ۴- استقرار قائم ساقه اصلی بوته و تقارن محوری و مرکزی برگ‌ها نسبت به آن. ضخامت زیاد برگ‌های سبز در بیش‌تر مراحل رشد رویشی و زاایشی ذرت و ریخت‌شناسی (مورفولوژی) بوته‌های قد بلند آن، نزدیکی به فرض‌های ۲ و ۴ را نیز تضمین می‌کند. با فرض ضروری یکسان‌انگاری رشد و نمو تمام بوته‌های ذرت با تراکم کشت ۱۰ بوته در هر متر مربع، شاخص مساحت برگ سبز در هفته‌های نمونه‌برداری تخریبی از ۱۰ برابر کردن مساحت برگ‌های سبز یک بوته (جدول ۱) محاسبه گردید و به‌خاطر تغییر اندک آن در طی یک هفته، اندازه هفتگی آن ثابت فرض شد. با همین فرض میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش ذرت در طول یک هفته نیز ثابت گرفته شد و فهرست مقادیر هفتگی آن در جدول ۳ آمده است. در جدول ۳ مقادیر هفتگی شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش ذرت (محاسبه شده از معادله ۳) و تفاوت هفتگی زیست‌توده خشک ذرت در واحد سطح کشت نیز درج شده است.

نتایج و بحث

بر اساس تعریف و مفهوم کارایی مصرف تابش، معادله ۵ مدلی ساده، قوی و کارآمد در شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی ارائه می‌کند.

با انتگرال‌گیری از معادله ۲ در مدت طلوع تا غروب آفتاب، مقادیر انباشته روزانه شدت تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش گیاهی از معادله ۳ محاسبه شد.

$$DailyAPAR = DailyIPAR_{net} (1 - \exp(-\bar{K}(d) \cdot LAI(d))) \quad (3)$$

در این معادله Daily APAR شدت روزانه تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش گیاهی ($J \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)، $IPAR_{net}$ شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی در طول روز ($J \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$)، $\bar{K}(d)$ میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش گیاهی و $LAI(d)$ شاخص مساحت برگ پوشش گیاهی در روز مورد نظر است. برخلاف اغلب مطالعات پیشین در زمینه برآورد کارایی مصرف تابش محصولات زراعی که در آنها تنها برآورد مقادیر لحظه‌ای ضریب خاموشی پوشش گیاهی مورد نظر بوده است، در این پژوهش برای افزایش درستی برآورد میزان جذب روزانه تابش فعال فوتوسنتزی، بدون تعمیم مقادیر لحظه‌ای ضریب خاموشی پوشش گیاهی به کل ساعات روشنایی روز، با کاربست معادله ۴ میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش گیاهی محاسبه شد (این معادله توسط نگارنده استخراج شده است).

$$\bar{K}(d) = \frac{-\ln(1 - A(d))}{2 A(d)} \quad (4)$$

در این معادله $\bar{K}(d)$ میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش گیاهی و $A(d)$ مساحت کل برگ‌های سبز یک بوته گیاه در روز مورد نظر (m^2) است. در این نوشتار به‌جزئیات فیزیکی و ریاضی استخراج معادله ۴ پرداخته نمی‌شود ولی فرض‌های اصلی استخراج این معادله عبارتند از: ۱- تناسب

¹ Monochromatic Angular Absorptivity

محاسبه، و برای فصل رشد ذرت ۱۲ مقدار متفاوت از کارایی مصرف تابش در بازه‌های زمانی یک هفته حاصل گردید (مقادیر سه هفته آخر فصل رشد صفر هستند). این مقادیر (نمودار شکل ۳)، با رویکرد کلی افزایش درستی و دقت برآورد در این پژوهش، از چهار ویژگی و امتیاز متفاوت برخوردار هستند:

۱- عملیات کاشت و داشت در وضعیت پتانسیل تولید زراعی بوده است؛ بنابراین، تولید و افزایش هفتگی زیست‌توده و شاخص مساحت برگ سبز در شرایط مطلوب و آرمانی (ایده‌آل) رشد از نظر عدم کمبود آب و مواد مغذی پایه‌ای گیاه بوده است. لذا در نمودار شکل ۳ نیز مقادیر آرمانی کارایی مصرف تابش در هفته‌های فصل رشد ذرت ثبت شده‌اند که مرجع و معیار مقایسه کارایی مصرف تابش ارقام متوسط‌ترس ذرت هستند.

$$DBM_i = \int_{t_{1i}}^{t_{2i}} APAR(t)_i \cdot RUE_i(t) dt \quad (5)$$

در این معادله DBM_i زیست‌توده خشک محصول در مرحله رشد i بر حسب گرم، $APAR(t)_i$ تابع زمانی انرژی تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده در پوشش گیاهی، در مرحله رشد i و بر حسب ژول و $RUE_i(t)$ کارایی مصرف تابش محصول در مرحله i از رشد و نمو محصول بر حسب گرم بر ژول است (Pitman, 2000). در این مدل که اصلی‌ترین متغیر محرکه فوتوسنتز و تولید زیست‌توده گیاهی را در برآورد رشد محصول لحاظ می‌کند، اگر $RUE_i(t)$ یک تابع ثابت و برابر با مقدار شیب خط وایزش فرض شود، در کل فصل رشد محصول نمی‌توان به‌برآورد کاملاً درست و دقیقی از روند رشد دست یافت. ارائه فهرستی هفتگی از کارایی مصرف تابش ذرت سبب ظهور $RUE_i(t)$ در هر مرحله از رشد و نمو ذرت می‌شود. برای این منظور با توجه به‌تعریف کارایی مصرف تابش، از جدول ۳ خارج‌قسمت مقادیر هفتگی ستون (b) بر مقادیر متناظر ستون (a)

جدول ۳- فهرست مقادیر هفتگی ضریب خاموشی پوشش ذرت، شدت $APAR$ (تابش فعال فوتوسنتزی جذب شده) و تفاوت زیست‌توده

خشک ذرت در واحد سطح کشت

Table 3- Weekly values of maize canopy extinction coefficient, APAR (Absorbed Photosynthetically Active Radiation) intensity and maize dry biomass per unit planting area

Week Number	Day After Emergence	Maize canopy extinction coefficient	(a) Weekly APAR Intensity ($\frac{J}{m^2 \cdot week}$)	(b) Weekly difference of maize dry biomass per unit planting area ($\frac{g}{m^2 \cdot week}$)
3	14	0.50	2959712	9.7
4	21	0.50	7155721	26.6
5	28	0.51	10575248	382.1
6	35	0.55	49141074	210.6
7	42	0.59	65523989	303.0
8	49	0.66	69988627	65.7
9	56	0.68	71787037	165.5
10	63	0.70	79349087	96.9
11	70	0.70	75006410	1363.5
12	77	0.70	75193113	513.0
13	84	0.71	72651379	319.8
14	91	0.72	70173333	1.7
15	98	0.72	69392977	-263.0
16	105	0.66	66785054	-407.1

نتیجه فهرست مقادیر هفتگی ستون (a) جدول ۳ تفکیک زمانی بسیار زیادی دارند و فاقد اشتباه حاصل از نقصان و ناپیوستگی زمانی برآورد جذب نور مرئی در پوشش گیاهی هستند.

۳- برخلاف بسیاری از پژوهش‌های مرتبط با برآورد کارایی مصرف تابش که تأثیر بازتابندگی پوشش گیاهی در برآورد شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی نادیده گرفته می‌شود، یا در بهترین حالت تنها به‌تعمیم زمانی مقادیر لحظه‌ای بازتابندگی پوشش بسنده می‌شود، در این پژوهش

۲- پیوستگی زمانی سنجش روزانه تابش تمام‌طیف خورشید و جو در ساعات روشنایی کلیه روزها ۱۰۰ درصد و پیوستگی روزانه آن در هفته‌های فصل رشد ذرت ۹۸ درصد بوده است (برای تاریخ‌های ۸ و ۹ تیر ۱۳۹۶، شدت تابش تمام‌طیفی خورشید و جو در سطح مزرعه، به‌صورت نظری برآورد شد)؛ تفکیک زمانی^۱ سنجش تابش مستقیم و پخشیده خورشید نیز بسیار زیاد و ۱۰ ثانیه بوده است. در

¹Temporal Resolution

این نمودار در هفته‌های پنجم و یازدهم فصل رشد، به ترتیب فنولوژیکی در مراحل برگ‌دهی از فاز رشد رویشی و آغاز پر شدن دانه‌ها از فاز رشد زایشی ذرت است. علت اصلی تمایل زیاد شیب‌های افزایشی در مجاورت قله‌های نمودار شکل ۳ نیز این است که ذرت گیاهی چهار کربنه در چرخه زیست‌شیمیایی فوتوسنتز است که نسبت به گونه‌های زراعی سه کربنه کارایی فوتوسنتزی بیشتری دارد و لذا انتظار می‌رود که آهنگ تولید زیست‌توده، سرعت رشد و کارایی مصرف تابش آن نیز شیب زیادتری داشته باشد (Hanks and Ritchie, 2001; Yin and Gon van, 2005). بر اساس مقادیر ستون (b) جدول ۳، وقوع دو قله نمودار شکل ۳ با رسیدن به دو بیشینه سرعت رشد زیست‌توده ذرت هم‌زمان شده است. همچنین با توجه به مقادیر جدول ۱، نقطه عطف منحنی زمانی افزایش رشد زیست‌توده ذرت نیز در هفته پنجم فصل رشد واقع شده و هم‌زمان با رسیدن به قله اول نمودار شکل ۳ می‌باشد.

از میانگین روزانه بازتابندگی پوشش ذرت در برآورد روزانه شدت خالص تابش فعال فوتوسنتزی دریافتی استفاده شده است. این موضوع در حالی به افزایش درستی مقادیر جدول ۳ منجر می‌شود که حتی در رویه و نتایج سنجش بیش‌تر ادوات سیتومتر نیز تأثیر بازتابندگی پوشش گیاهی لحاظ نشده است.

۴- برآورد مقادیر کارایی مصرف تابش بر مبنای میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش گیاهی صورت گرفته است، که با حذف خطای تعمیم زمانی یک مقدار لحظه‌ای از ضریب خاموشی پوشش گیاهی به کل ساعات روشنایی روز، سبب افزایش درستی برآورد کارایی مصرف تابش گیاه می‌شود. بنابراین، با توجه به پیوستگی زمانی فوتوسنتز و تولید زیست‌توده در کل ساعات روشنایی روز، لحاظ کردن میانگین روزانه ضریب خاموشی پوشش گیاهی به جای مقادیر لحظه‌ای آن، به مراتب دقت برآورد کارایی مصرف تابش محصول را افزایش می‌دهد.

در شکل ۳ نمودار زمانی کارایی مصرف تابش در بازه‌های هفتگی فصل رشد ذرت ترسیم شده است. دو قله

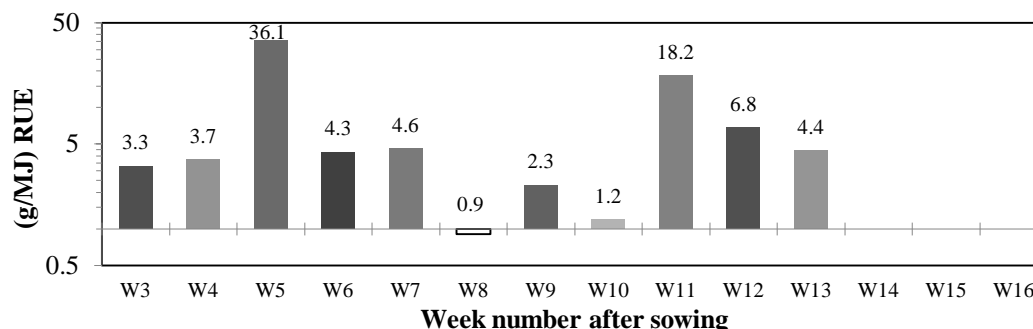


Figure 3- The time graph of maize weekly radiation use efficiency during growing season
 شکل ۳- نمودار کارایی مصرف تابش در بازه‌های هفتگی فصل رشد ذرت

از سوی دیگر با توجه به نمودار شکل ۳ مشخص می‌شود که در دوره گذار از فاز رشد رویشی به فاز رشد زایشی، کارایی مصرف تابش ذرت افت چشمگیری یافته و دو کمینه غیر صفر آن در هفته‌های هشتم و دهم فصل رشد، تقریباً با مراحل ظهور گل‌آذین و گرده‌افشانی هم‌زمان هستند. با استفاده از مقادیر نمودار شکل ۳ میانه، انحراف معیار و ضریب تغییرات هفتگی کارایی مصرف تابش به ترتیب برابر با $3/5$ g/MJ، $9/43$ و 160 درصد به دست می‌آید. در مدت انجام این پژوهش مرجعی یافت نشد که آمار هفتگی از کارایی مصرف تابش ذرت را ارائه کند، تا بتوان نتایج به دست آمده را با آن مقایسه کرد. با این وجود، با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط Boote and Loomis (1991)، Lindquist et al., (2005) مشخص شد که میانه مقادیر هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت در نمودار شکل ۳، تفاوت زیادی با مقدار کلی کارایی مصرف تابش ذرت در فصل رشد ندارد. این محققین به ترتیب مقدار کلی کارایی مصرف تابش ذرت را $3/74 \pm 0/20$ g/MJ و $2/9-3/3$ g/MJ گزارش کرده‌اند. Liu et al., (2017) برای دو سال متوالی ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی، به طور ثابت مقدار کلی کارایی مصرف تابش ذرت را $3/95$ g/MJ یافته‌اند که تفاوت زیادی با $3/5$ g/MJ ندارد. Soltani and Sinclair (2012) نیز مقدار کلی کارایی مصرف تابش ذرت را $3/5$ g/MJ بیان کرده‌اند.

از سوی دیگر با توجه به نمودار شکل ۳ مشخص می‌شود که در دوره گذار از فاز رشد رویشی به فاز رشد زایشی، کارایی مصرف تابش ذرت افت چشمگیری یافته و دو کمینه غیر صفر آن در هفته‌های هشتم و دهم فصل رشد، تقریباً با مراحل ظهور گل‌آذین و گرده‌افشانی هم‌زمان هستند. با استفاده از مقادیر نمودار شکل ۳ میانه، انحراف معیار و ضریب تغییرات هفتگی کارایی مصرف تابش به ترتیب برابر با $3/5$ g/MJ، $9/43$ و 160 درصد به دست می‌آید. در مدت انجام این پژوهش مرجعی یافت نشد که آمار هفتگی از کارایی مصرف تابش ذرت را ارائه کند، تا بتوان نتایج به دست آمده را با آن مقایسه کرد. با این وجود، با توجه به اطلاعات ارائه شده توسط Boote and

نتیجه‌گیری

با رعایت این نکته در کشت بهاره، مقادیر هفتگی کارایی مصرف تابش در هر کشت تحقیقاتی دیگر از ارقام متوسط‌ترس ذرت نیز، با نتایج این پژوهش قابل مقایسه است. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که در فصل رشد ذرت، تابع زمانی کارایی مصرف تابش یک تابع ثابت نیست و دامنه تغییرات آن به $36/1 \text{ g/MJ}$ می‌رسد (حدود ۱۰ برابر مقدار کلی کارایی مصرف تابش در فصل رشد). مقدار کارایی مصرف تابش در مرحله رسیدگی ذرت صفر است و در مراحل ظهور گل‌آذین و گرده‌افشانی نیز کاهش زیادی دارد. نمودار توابع زمانی کارایی مصرف تابش، از نظر تولید زیست‌توده قوی‌ترین و آسیب‌پذیرترین مراحل رشد و نمو محصول را مشخص می‌کنند. لذا می‌توان از نمودار ارائه شده در این پژوهش، به‌عنوان معیاری ساده و جامع برای تعیین زمان کوددهی سرک و حساسیت به تنش آبی نیز استفاده کرد. از دیدگاه هواشناسی کشاورزی، با تکرار این پژوهش در فصل کشت بهاره دیگر مناطق زراعی جغرافیای ایران، و مقایسه کارایی مصرف تابش در آن مناطق، مستعدترین یا توانمندترین مناطق کشت بهاره ذرت مشخص می‌شود؛ و نقشه پراکندگی جغرافیایی این مناطق اطلاعاتی کلیدی در مباحث و مطالعات ملی آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی کلان زراعی است.

سپاسگزاری

از مساعدت جناب آقای دکتر محمدرضا جهانسوز رئیس مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در انجام کار میدانی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

شاخص کارایی مصرف تابش به‌دلیل جامع‌نگری فوتوسنتز و کلیه فرآیندهای تولید زیست‌توده با معیار جذب فعال و متمرکز نور مرئی در پوشش گیاهی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مطالعه و بررسی بهره‌وری زراعی، سلامت گیاه و عملیات کاشت و داشت محصول است. دستیابی به مقادیر هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت در شرایط پتانسیل تولید زراعی علاوه بر کاربرد در شبیه‌سازی رشد ذرت، اقدامی مهم در زمینه مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با هواشناسی کشاورزی، زراعت و تولیدات گیاهی، زیست‌سنجی زراعی، آبیاری، بوم‌شناسی زراعی، گیاه‌پزشکی، اصلاح نژاد زراعی، حاصلخیزی خاک و بیماری‌شناسی گیاهی است. هر تیمار منفرد یا مرکب از عوامل مورد بررسی در رشته‌های فوق‌الذکر، مقدار کارایی مصرف تابش محصول را تغییر می‌دهد. بنابراین، مقایسه کارایی مصرف تابش در وضعیت پتانسیل تولید زراعی با مقادیر متناظر آن در شرایط غیر پتانسیل، یا شرایط کاشت و داشت طرح‌های آزمایشی ویژه در پرورش محصول، بزرگی تأثیر هر عامل یا تیمار منفرد یا مرکب را در میزان بهره‌وری زراعی و سلامت محصول مشخص می‌سازد. روشن است که میزان درستی و قطعیت این مقایسه‌ها با افزایش تفکیک زمانی و توجه به مقیاس هفتگی کارایی مصرف تابش افزایش یافته و به‌همین خاطر، می‌توان نتایج این پژوهش را به‌عنوان ملاک و مرجعی از شاخص هفتگی کارایی مصرف تابش ذرت معرفی کرد. ضمن آنکه کاشت ذرت در این پژوهش با آرایش، هندسه و تراکم کشت متداول ملی بوده است و لذا

منابع

- Akmal, M., Ibrahim, M., Asim, M., Afzal, M., Achakzai, A. K. K. 2014. Leaf area profile and light use efficiency study in maize as influenced by changes in the planting geometry and N-Rates. *Pure and Applied Biology*, 3(4):132-143.
- Andrade, F. H., Uhart, S. A., Cirilo, A. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*, 32:17-25.
- Boote, K. J., Loomis, R.S. 1991. Modeling Crop Photosynthesis: From Biochemistry to Canopy. CSSA Special publication 19. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. 169p.
- Campbell, G. S., Norman, J. M. 1998. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer. 286p.
- Greaves, G. E., Wang, Y. 2017. The effect of water stress on radiation interception, radiation use efficiency and water use efficiency of maize in a tropical climate. *Turkish Journal of Field Crops*, 22(1):114-125.
- Hanks, J., Ritchie, J. T. 2001. Modeling Plant and Soil Systems. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc. Soil Science Society of America, Inc. 545p.
- Hikosaka, K., Niinemets, U., Anten, N. P. R. 2016. Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications. Springer Science + Business Media Dordrecht, 428p.

- Hossain, M. M., Rumi, M. S., Nahar, B. S., Batan, M. A. 2014. Radiation use efficiency in different row orientation of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 7(1): 41-46.
- Jones, H. G. 2014. *Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press. 407p.
- Kiniry, J. R., Landivar, J. A., Witt, M., Gerik, T. J., Cavero, J., Wade, L. J. 1998. Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research*, 56: 265-270.
- Lindquist, J. L., Arkebauer, T. J., Walters, D. T., Cassman, K. G., Dobermann, A. 2005. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. *Agronomy Journal*, 97:72-78.
- Liu, T., Song F., Liu, S., Zue, X. 2012. Light interception and radiation use efficiency response to narrow - wide row planting patterns in maize. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3): 506-513.
- Liu, X., Rahman, T., Yang, F., Song, C., Yong, T., Liu, J., Zhang, C., Yang, W. 2017. PAR Interception and utilization in different maize and soybean intercropping patterns. *PLOS ONE*. DOI:10.1371/journal.pone. 0169218:1-17.
- Monteith, J. 1969. Light interception and radiative exchange in crop stands. *Agronomy and Horticulture-Faculty Publications*, 185:89-115.
- Monteith, J. L., 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and Forest Meteorology*, 68:213-220.
- Monteith, J. L., Unsworth, M. H. 2013. *Principles of Environmental Physics*. Elsevier Ltd., 401p.
- Pitman, J. I. 2000. Absorption of photosynthetically active radiation, radiation use efficiency and spectral reflectance of bracken [*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn] canopies. *Annals of Botany*, 85 (Supplement B):101-111.
- Ross, J. 1981. *The Radiation Regime and Architecture of Plant Stands*. Dr W. Junk Publishers. 391pages.
- Russell, G., Marshall, B., Jarvis, P. G. 1990. *Plant Canopies: Their Growth, Form and Function*. Cambridge University Press, 178p.
- Sinclair, T. R., Muchow, R. C. 1999. Radiation-use efficiency. *Adv. Agronomy*, 65:215-265.
- Soltani, A., Sinclair, T. R. 2012. *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. CAB International. 322p.
- Verhoef, W. 1984. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, 16:125-141.
- Webb, N., Nichol, C., Wood, J., Potter, E. (2008). *User Manual for the SunScan Canopy Analysis System Type SS1*. Delta-T Devices Ltd.. 83p.
- Westgate, M. E., Forcella, F., Reicosky, D. C., Somsen, J. 1997. Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research*, 49:249-258.
- Yin, X., Gon van Larr, H. H. 2005. *Crop Systems Dynamics. An Ecophysiological Simulation Model for Genotype - by - Environment Interactions*. Wageningen Academic Publishers. 155p.
- Zhu, X. G., Song, Q., Ort, D. R. 2012. Elements of a dynamic systems model of canopy photosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 15:237-244.

Evaluation of NMME models in forecasting of monthly rainfall (Case study: Sefidrood Basin)

H. Dehban¹, K. Ebrahimi^{2*}, Sh. Araghinejad³, J. Bazrafshan⁴

Received: 07/12/2018

Accepted: 11/07/2019

Abstract

Monthly rainfall forecasting plays a major role in the water resources management and agroclimatic studies. The main purpose of this study is to assess the accuracy of NMME (North American Multi-Model Ensemble) models in forecasting monthly rainfall in Sefidrood basin, North of Iran. For this purpose, the historical predicted data of NMME models for the period 1982 to 2017 were retrieved from, University of Columbia website, and compared with observed data obtained from the Iranian Meteorological Organization. The accuracy of NMME models predictions was evaluated by comparing them with the observed data, using statistical indices. The results showed that the single NMME model is not accurate, where the average value of determination coefficient (R^2) was equal to 0.6. The models combination improved the accuracy of predictions, such that the determination coefficient increased to 0.7. Furthermore, for evaluation of the precipitation uncertainty, seventy-eight ensembles of the prediction models were investigated. The results of this evaluation showed that the models overestimated rainfall upto 80%. In addition, the uncertainty analysis of prediction models showed that the combination of models may reduce the uncertainty range.

Keywords: Ensemble, Forecast, NMME, Uncertainty



در خط دوم نام کامل NMME ذکر شود.

¹ Ph. D. Student of Water Resources Engineering, University of Tehran

² Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

(*Corresponding author's Email Address: EbrahimiK@ut.ac.ir)

DOI: 10.22125/agmj.2019.154084.1043

³ Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

⁴ Associate Professor, Irrigation and Reclamation Engineering Department, University of Tehran



Comparison of precipitable water vapour data of ERA- Interim and NCEP-NCAR with radiosonde observations (Case of Shiraz Station)

A. Shirvani^{1*}, H. Norouzi²

Received: 16/12/2018

Accepted: 14/07/2019

Abstract

Water vapor plays an important role in the atmospheric water balance and precipitation formation process in the lower troposphere. In this study, trend of the total precipitable water vapor (TPWV) which is column-integrated water vapor, is analyzed using radiosonde data of synoptic Shiraz station during the period 1990-2017. Besides, the TPWV data from the ERA- Interim of the ECMWF and NCEP-NCAR reanalysis datasets were retrieved and used for comparison. The Mann Kendall (M-K) test, showed no significant trend in TPW data for both Radiosonde and ECMWF data for all months, except for Radiosonde data of August. Generally a non-significant decreasing trend in radiosonde time series of TPWV was observed for most of months. However, both linear regression and M-K tests showed a significant increasing trend in annual TPW of NCEP-NCAR data. The rate of decrease and increase in PW for Radiosonde and NCEP-NCAR data are 0.29 and 0.52 mm per decade, respectively. For all months (except April), there is a positive significant Pearson correlation between Radiosonde TPW series and ERA- Interim at 5% significance level. However, the Pearson correlation coefficients were not significant for NCEP-NCAR. The root mean square error of PWV data and ERA- Interim is generally smaller than NCEP-NCAR. The latter, showed an overestimation comparing to radiosonde. In general, ERA- Interim data has higher accuracy and more agreement with observed Radiosonde data.

Keywords: Atmospheric moisture, Trend, Reanalysis data,



¹ Associate professor, water department and atmospheric ocean research center, college of agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

(*Corresponding author's email address: am_shirvani@hotmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.158865.1047

² M.Sc. student in Agricultural Meteorology, water department, college of agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran



Evaluation of the Impact of Climate Change on Temperature and Precipitation of Rainfed Wheat Production in Kurdistan Province

M. Shokouhi^{1*}

Received: 16/12/2018

Accepted: 14/07/2019

Abstract

Global warming has changed the pattern of temperature and precipitation distribution and will affect the production of crops such as rainfed wheat. In current study, by using correlation analysis and Iterative Chi-square analysis the wheat yield's relationship with temperature and precipitation variables was determined, and used to project the crop yield under climate change scenarios. The daily outputs of seven selected CMIP5 models under RCP8.5 scenario for the period 2045 to 2065 were used and corrected by Equidistant Cumulative Distribution Function matching (EDCDFm) method. The results showed that precipitation at the time of planting and during the flowering stage, the maximum temperature just before winter dormancy stage and during the flowering, the minimum temperature of January and February months are the most significant factors affecting the crop yield. The projected climatic conditions showed that the maximum temperature rise in November, December, April, and May will be unfavorable for crop production. Increased both maximum and minimum temperatures of months of January and February may provide more favorable conditions. Also, the projection of precipitation indicated that decreased rainfall of April and May, would lead to unfavorable moisture conditions. Unlike, increased precipitation in November could improve the moisture conditions at the time of sowing which favors greater yield.

Keywords: Biase correction, CMIP5 Models, EDCDFm, Scenario, Wheat



¹ Ph.D graduate of Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(*Corresponding author's Email Address: mojtabashokouhi@gmail.com)

DOI:

Effect of tree species on greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) emission from soil in forest plantations

L. Vatani¹, S. M. Hosseini^{2*}, M. Raeini Serjaz³, S. J. Alavi⁴

Received: 16/12/2018

Accepted: 14/07/2019

Abstract

Increasing greenhouse gases accumulation in the Earth atmosphere, has been resulted in inclusive heating and as a result of climate change. There are several ways to mitigate the effects of climate change. Increasing the forest area via plantation, has considered as one of the ways to reduce the effects of global warming. The aim of this study is to determine the effect of tree species on greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) emission from soil under various tree species in forest plantations (20 years old) with maple, alder, oak, poplar and cypress during two seasons summer and winter in the northern forests of Iran. In order to perform this study, three chambers were installed to collect gasses at a depth of 10 cm in each tree stands. The type and rate of emission of greenhouse gases were determined by gas chromatography set-up. The results indicated that there is a significant difference in CO₂, CH₄ and N₂O gases emission among various tree stands in the summer ($P \leq 0.01$), while in the winter only the emission of CO₂ had significant difference ($P \leq 0.05$) in various sites. TOPSIS ranking indicated oak, maple, cypress, alder and poplar respectively, are the best tree considering lower greenhouse gases emission in this area. It is necessary to consider this issue as an effective alternative on climate change for forest development in the future.

Keywords: Climate change, forested trees, forest plantation, methane, soil.



¹ Ph.D candidate of forest ecology, Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran, Iran

² Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran, Iran

(*Corresponding Author's Email Address: hosseini@modares.ac.ir)

DOI:

³ Professor, Department of water engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran

⁴ Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran



Study of climate change and land use effects on spatial distribution of maize cultivation regions in Khuzestan Province

A. Dashtbozorgi¹, B. Alijani^{2*}, A. Shakiba³

Received: 23/04/2019

Accepted: 27/07/2019

Abstract

Climate change is a major challenge for ecosystems and in particular, its impact on agriculture varies depending on regional characteristic and farming systems. Hence new challenges for production are emerging which should be carefully examined. The aim of this study is to project future spatial changes in current maize producing regions of Khuzestan Province, southwest of Iran under RCP scenarios by 2050s. The applied methodology is based on agro-ecological classification. This classification approach consists of combining two groups of environmental components including climatic (temperature under different scenarios) and non-climatic (land use) components including soil, slope, irrigated land, and type of farm management, by using the analytic hierarchy process. The baseline and future climate data were retrieved from the WorldClim database and ensembles for RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 6 for 12 selected GCMs. Results suggested that by 2050, the regions suitable for growing maize will be reduced by 65% in AEZ1 and by 36% in AEZ2. Maize will be grown mainly in the northwestern regions, and the southeastern regions will lose their suitability for maize cultivation. Presently, the southeastern region of the province is the main production area, in which the continuous growing of maize would be almost impossible under future climatic conditions.

Keywords: Temperature, Maize, Scenarios, Khuzestan, Classification



¹ Ph.D. student Climatology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

² Professor of Climatology, Director of center of excellence for spatial analysis of environmental hazards, Kharazmi University, Karaj, Iran

(*Corresponding author email address: bralijani@gmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.177878.1061

³ Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Member of center of excellence sustainable development of environment geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran



Estimation of weekly radiation-use efficiency of maize under potential production conditions

H. R. Afsharnaderi¹, N. Ghahreman^{2*}, P. Irannejad³

Received: 16/12/2018

Accepted: 14/07/2019

Abstract

The aim of this study is obtaining continuous weekly values of maize RUE by novel in-situ measurements of radiation. A semi-maturing cultivar of maize was cultivated in University of Tehran research farm in Karaj. Dry biomass and leaf area index were measured during 15 consecutive weeks of growing season. Then, based on in-situ complete pyrliometry, by using insulation simulation and image processing, daily average of maize canopy reflectivity, extinction coefficient and the absorbed visible light of the canopy were estimated using a multi-layer model. During growing season infield continuous measurement of full spectrum irradiation, was measured continuously by TSR for all daylight hours. The diurnal insolation was simulated for that plant by an angular scanner (illuminator) during night time between 21:00 to 21:30 hrs. By applying an image processing technique, the visible band reflectivity of maize cover was estimated for the first seven weeks of study period. The measurements were continued till full closure of canopy and 12 different weekly values of RUE were calculated using the field measured data. The proposed approach allows generating continuous graph of RUE values. The research results indicate that even in the potential production conditions, using a constant value of radiation use efficiency for entire growing season of maize is not possible. During the growing season, the range of maize radiation-use efficiency reached 36.1 g/MJ, but the weekly values median of this quantity was equal to 3.5 g/MJ, which its occurrence probability in half of the growing season is 100%.

Keywords: Biomass, Extinction coefficient, Growing season, Plant canopy, Photosynthetically Active Radiation



¹ Ph.D. Student of Agrometeorology, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
(*Corresponding author email address: nghahreman@ut.ac.ir)

DOI:

³ Associate Professor, Geophysics Institute, University of Tehran, 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 نویسنده(گان) بوده و پیش‌تر در مجلات داخلی و خارجی به چاپ نرسیده باشند.

روش نگارش

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://agrimet.ir>) ارسال شود. چکیده در یک ستون و بقیه مقاله در دو ستون نگارش گردند. متن اصلی مقالات باید با فونت (B Nazanin 12) و فاصله سطور یک سانتی‌متر و کلیه عبارات انگلیسی با قلم (Times New Roman 10) به صورت غیر ایتالیک تایپ شوند. 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.

ترتیب بخش‌ها

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

عنوان

عنوان کوتاه، جامع و بیانگر موضوع اصلی مقاله باشد (با فونت B Nazanin 14 Bold).

نگارنده(گان)

نام و نام خانوادگی نگارندگان در پایین عنوان مقاله ذکر شود و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده(گان) آورده شود (با فونت B Nazanin 11 Bold).

*** نویسنده 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 (کلمات فارسی با فونت (B Nazanin 12) و کلمات انگلیسی با فونت (Times New Roman 10).

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 (کلمات فارسی با فونت B Nazanin 12 و کلمات انگلیسی با فونت Times New Roman 10).

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

درب‌گیرنده 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

کلید منابع مورد استفاده اعم از فارسی و انگلیسی در پایان مقاله به زبان انگلیسی برگردانده و به ترتیب حروف الفبای نام خانوادگی اولین نگارنده مرتب می‌شوند. در انتهای منابع فارسی عبارت (In Farsi) قید می‌شود. در برگردان منابع فارسی نام منابع و نام نویسندگان باید از خود مجلات اخذ شود و به صورت ترجمه دلخواه انجام نشود. در ارجاع به منابع باید تا جای ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند (Keller, 1982). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از نقطه ویرگول ";" استفاده می‌شود مانند (Keller, 1982; Hargreaves and Samani, 1982; Ghamghami et al., 2017).

چنانچه منبعی در شروع جمله استناد شود به صورت نام (سال) انجام می‌گیرد و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند.

نحوه ارجاع مقاله‌ها نام خانوادگی نگارنده (گان)، حرف اول نام آن‌ها، سال انتشار مقاله، عنوان مقاله، عنوان 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). شماره ردیف برای منابع نیاز نمی‌باشد.

Ghamghami, M., Ghahreman, N., Irannejad, P., Pezeshk, H. 2017. Assessment of Bayesian structure of hidden Markov model for real time prediction of maize phenology. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(1): 1-14. (In Farsi)

He, B., Wu, J., Lu, A., Cui, X., Zhou, L., Liu, M., Zhao, L. 2013. Quantitative assessment and spatial characteristic analysis of agricultural drought risk in China. *Natural Hazards*, 66(2):155-166.

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.

عنوان انگلیسی

عنوان مقاله به زبان انگلیسی، باید متناظر با عنوان فارسی باشد و پس از آن مرتبه علمی، محل اشتغال، آدرس ایمیل نگارنده (گان) تمامی به لاتین آورده شود (با فونت Times New Roman 10).

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 به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) 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 و عبارات داخل جدول حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold 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. ضروری است فرمت جداول انگلیسی باشد به گونه‌ای که مطالب جدول از چپ به راست خوانده شود. واحدهای فیزیکی استفاده شده در سیستم متریک (SI) باشند.

Table 1- Mean hourly meteorological variables in studied station

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

Time (hr)	6	9
Temperature (°C)	12.5	15.1
Relative Humidity (%)	35	33
Wind Speed (m s ⁻¹)	1.2	0.3

شکل‌ها

شکل‌ها لازم است با کیفیت بالا و زیرنویس به انگلیسی و فارسی (با فونت B nazanin 10 Bold به صورت وسط‌چین به فارسی و Times New Roman 9 Bold به انگلیسی) ارائه شوند. اعداد و عبارات داخل شکل‌ها حتماً انگلیسی و با فونت Times New Roman 9 Bold باشد. 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. نقشه‌ها باید دارای فرمت استاندارد (جهت شمال، مختصات، راهنمای نقشه و مقیاس) باشند.

معادله‌ها

معادله‌ها باید به ترتیب با اعداد فارسی داخل پرانتز در انتهای سمت راست متن شماره‌گذاری شده و اشاره به آن‌ها با ذکر فقط واژه معادله (نه رابطه و فرمول) در متن با آوردن شماره آن معادله داخل کمانک ضروری است. کلیه متغیرها و پارامترها در متن تعریف شده باشند. کلیه معادلات و پارامترهای آن‌ها باید به صورت فرمول تایپ شوند و غیرایتالیک باشند و مشابه متغیرهای ارائه شده در معادلات باشند. اندازه قلم برای کلیه روابط و متغیرهای ریاضی ۱۰ است.

***** تذکر مهم:**

نویسندگان موظف به رعایت کلیه موارد مندرج در این دستورالعمل در هنگام ارسال بوده و در صورت عدم رعایت نکات فوق مرحله داوری به تعویق افتاده و مقاله جهت تصحیح عودت داده خواهد شد. همچنین نویسندگان موظف به اعمال نظرات داوران در متن، نمودارها، عکس‌ها و جداول هستند. چنانچه پس از پذیرش در مرحله بازبینی نهایی و صفحه آرایی موارد مورد درخواست نشریه رعایت نگردد، چاپ مقاله و پذیرش آن منتفی خواهد شد.

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 نوذر 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 می-باشد.

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

Evaluation of NMME models in forecasting of monthly rainfall (Case study: Sefidrood Basin) H. Dehban, K. Ebrahimi, Sh. Araghinejad, J. Bazrafshan	3
Comparison of precipitable water vapour data of ERA- Interim and NCEP-NCAR with radiosonde observations (Case of Shiraz Station) A. Shirvani, H. Norouzi	13
Evaluation of the Impact of Climate Change on Temperature and Precipitation of Rainfed Wheat Production in Kurdistan Province M. Shokouhi	22
Effect of tree species on greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O) emission from soil in forest plantations L. Vatani, S. M. Hosseini, M. Raeini Serjaz, S. J. Alavi	36
Study of climate change and land use effects on spatial distribution of maize cultivation regions in Khuzestan Province A. Dashtbozorgi, B. Alijani, A. Shakiba	47
Estimation of weekly radiation-use efficiency of maize under potential production conditions H. R. Afsharnaderi, N. Ghahreman, P. Irannejad	59

Reviewer and Associate Editors of This Issue

Dr. I. Babaeian	Climatological Research Institute
Dr. B. Bakhtiari	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. S. Bazgeer	University of Tehran
Dr. J. Bazrafshan	University of Tehran
Dr. B. Ghahraman	Ferdowsi Univesity of Mashhad
Dr. N. Ghahreman	University of Tehran
Dr. Kh. Ghorbani	Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University
Dr. A. Khalili	University of Tehran
Dr. R. Moradi	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. A. Mosaedi	Ferdowsi Univesity of Mashhad
Dr. M. Mousavi Baygi	Ferdowsi Univesity of Mashhad
Dr. N. Sayari	Shahid Bahonar University of Kerman
Dr. M. Rahimi	University of Semnan

In the Name of God

JOURNAL OF AGRUCULTURAL METEOROLOGY

Research and Scientific Journal

Vol. 7 No. 1 Spring and Summer, 2019

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:

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

English Text Editor: N. Ghahreman
Technical Editors: B. Bakhtiari, N. Ghahreman
Graphist: M. Ganjalikhani **Page Setting:** Z. Afzali-Gorouh
Office-in-Charge: Z. Afzali-Gorouh
Publisher: Iranian Society of Irrigation and 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. : +983433257190

E-mail: Agromet_journal@yahoo.com Website: <http://agrimet.ir>

