



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۹ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۸

صفحه‌های ۲۳۰-۲۱۱

پهنه‌بندی باران مؤثر در استان خوزستان تحت کشت گندم دیم پاییزه

مسعود پورغلام آمیجی^۱، محمد هوشمند^۲، امید رجا^۳، عبدالمجید لیاقت^{۴*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳

چکیده

به منظور انجام پژوهش حاضر از داده‌های هواشناسی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان با طول دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۹-۲۰۱۸) استفاده گردید. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT، باران مؤثر از سه روش USDA، FAO و فرمول تجربی توسعه‌یافته برآورد گردید. با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop، تبخیر تعرق واقعی گندم دیم در محدوده مطالعاتی محاسبه و میزان باران مؤثر به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی باران مؤثر در ایستگاه‌های مورد بررسی در شش ماه نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس رسم گردید. نتایج خطای نسبی (RE) نشان داد که در سه ماه پر بارش نوامبر، دسامبر و ژانویه، به ترتیب روش تجربی با میانگین خطای ۹/۸- درصد، FAO با ۲۱/۷- درصد و تجربی با ۱۲/۹ درصد بهترین برآورد باران مؤثر در مقایسه با روش حل معکوس را داشته‌اند. در ماه‌های کم بارش فوریه و مارس، روش USDA به ترتیب با میزان خطای ۴۸/۶- درصد و ۵۱/۶- درصد، بهترین برآورد باران مؤثر این سه روش در مقایسه با روش حل معکوس داشته‌اند. نقشه پهنه‌بندی برآورد باران مؤثر نیز نشان داد که در ماه‌های پر بارش و زمانی که گیاه تحت رشد اولیه قرار دارد، با حرکت از سمت شمال استان به قسمت جنوبی، بر مقدار باران مؤثر افزوده می‌گردد. نتیجه‌گیری کلی نشان می‌دهد که درصد اعتماد به روش‌های تجربی کم بوده و با محاسبه دقیق باران مؤثر و تغییر تاریخ کشت در سطح کشور می‌توان بهره‌وری و تولید محصولات دیم را افزایش داد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و تعرق، حل معکوس، AquaCrop، ArcGIS، CROPWAT.

Effective Rain Zoning In Khuzestan Province under Autumn Rainfed Wheat Cultivation

Masoud Pourgholam Amiji¹, Mohammad Hooshmand², Omid Raja³, Abdolmajid Liaghat⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: October 15, 2019

Accepted: December 01, 2019

Abstract

The meteorological data of 12 synoptic stations of Khuzestan province with a 20-year statistical period (1999-2018) were used to perform the present study. First, using CROPWAT software, the effective rainfall was estimated from three methods USDA, FAO and the developed experimental formula. Using AquaCrop software, real transpiration evaporation of rainfed wheat in the study area was calculated and effective rainfall amount was obtained. Then, using ArcGIS software, effective rainfall zoning at the stations studied was drawn in November, December, January, February and March. Relative error (RE) results showed that in the three most rainy months of November, December and January, the best estimation of rain was the experimental method with mean error of -8.8 percent, FAO with -21.7 percent and experimental with 12.9 percent, respectively compared to the inverse solution method. In the low rainfall months of February and March, the USDA method had the best estimation of the effective rain of these three methods with the inverse solution method with -48.6 percent and -51.6 percent, respectively. The zoning map of the estimated effective rainfall also showed that in the rainy months and when the plant is in early growth, the amount of effective rainfall increases by moving from the north side of the province to the southern part. The overall results show that the percentage of confidence in the experimental methods is low and by calculating the effective rainfall and changing the date of cultivation at the country level can increase the productivity and production of rainfed crops.

Keywords: AquaCrop, ArcGIS, CROPWAT, Evapotranspiration, Inverse Solution.

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع موردنیاز جامعه بشری و در عین حال یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های قرن حاضر است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. عدم انطباق بین تأمین و تقاضای آب، می‌تواند بحران‌آفرین باشد. این بحران می‌تواند در بُعد محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی در بعد جهانی اتفاق افتد. عدم تعادل در بخش منابع آب می‌تواند ناشی از چرخه هیدرولوژی و محدودیت طبیعی منابع آب و نیز فعالیت‌های بشری نظیر استفاده بی‌رویه از منابع و آلوده کردن منابع آب باشد (۳). مطالعات مختلفی وجود دارد که خطرات ناشی از کمبود آب و آسیب‌پذیری منابع آب را در مقیاس منطقه‌ای و جهانی مورد بررسی قرار داده‌اند (۲۵، ۳۵ و ۲۰).

باتوجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشکسالی درسال‌های آینده حادث‌تر خواهد شد. از طرفی با توجه به محدودیت منابع آب در ایران و شرایط خاص جغرافیایی کشور، استفاده از مدیریت‌ها و شیوه‌های نوین آبیاری با مصرف کم‌تر آب امری بدیهی خواهد بود (۱). سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و استفاده بهینه از آب موجود، دو راهبرد مهم برای استفاده مفید از آب در کشاورزی مطرح می‌باشند. با اعمال مدیریت صحیح در سیستم آب، خاک و گیاه می‌توان ضمن افزایش محصول، یک کشاورزی پایدار ایجاد کرد (۱۸). از طرفی انجام کارهای پژوهشی در سطح کشور که بتواند به اعداد دقیقی درباره حجم آب مصرفی محصولات مختلف در کشور منتهی شود، امری لازم و ضروری بوده و نتایج آن می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری مسئولین مرتبط با آب و کشاورزی نماید.

با توجه به اهمیت حیاتی آب در زندگی بشر، شناخت دقیق کل باران و هم‌چنین مقدار قابل‌استفاده یا مؤثر آن به

منظور برنامه‌ریزی کشاورزی، اقتصادی و مؤثر بودن منابع آب ضروری است. اصطلاح باران مؤثر یا آب سبز نه تنها به‌وسیله متخصصین رشته‌های مختلف بلکه به‌وسیله افراد متخصص در یک رشته واحد نیز به‌طور متفاوت تفسیر شده است. در زمینه زراعت دیم، وقتی که زمین به آیش گذاشته می‌شود، قسمتی از کل باران که برای محصول بعدی در خاک ذخیره می‌شود، به‌عنوان باران مؤثر به‌حساب می‌آید. از نظر یک کشاورز، باران مؤثر آن مقدار از بارانی است که برای به ثمررساندن گیاهانی که با مدیریت خود در خاک کاشته است مفید می‌باشد، اما آبی که بر اثر رواناب از مزرعه یا بر اثر فرونشست از منطقه ریشه گیاه خارج می‌شود، غیر مؤثر است.

متغیرهای اقلیمی از عوامل اصلی کنترل‌کننده زراعت دیم هستند و انطباق دوره رویشی و زایشی با شرایط اقلیمی مساعد و استفاده از باران نیز در افزایش عملکرد و استفاده بهینه از منابع آب موجود تأثیرگذار می‌باشد (۱۱). برای موفقیت در زراعت دیم، آگاهی از دو عامل تأثیرگذار در کشت دیم شامل ویژگی‌های دمایی و بارش در مناطق مختلف بسیار حائز اهمیت است (۱۳، ۲۹). انتظار می‌رود که در دوره منتهی به سال ۲۰۲۰، در کشورهای در حال توسعه، تقاضای سالانه گندم برای مصرف انسان ۱/۶ درصد و برای مصارف خوراک دام ۲/۶ درصد افزایش یابد (۳۱). با توجه به اثرات وسیع تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی به‌ویژه زراعت دیم و با عنایت به این‌که حدود ۴/۲ میلیون هکتار از اراضی کشور تحت کشت دیم است. لازم است تحقیقاتی جهت بررسی این تغییرات و اثرات ناشی از آن بر محصولات کشاورزی از جمله گندم که غذای اصلی در کشور ما محسوب می‌شود، انجام گیرد تا راهکارهای مناسب برای مقابله با عوارض منفی پدیده تغییر اقلیم و سازگاری با آن اعمال گردد (۲۳).

رحمان و همکاران (۳۳) بیان کردند که بارش مؤثر طی

سویی دیگر فاقد محدودیت‌های مکانی است، مناسب‌ترین روش محاسبه بارش مؤثر در این حوضه می‌باشد.

کولانیان و سفیدکوهی (۱۴) در استان مازندران به بررسی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر پرداختند. در این تحقیق، با استفاده از شاخص دوره آماری ۱۱ ساله هواشناسی مربوط به ایستگاه قراخیل قائمشهر، مقادیر بارش مؤثر با استفاده از هفت روش برای گیاه برنج محاسبه شد. نتایج نشان داد چهار روش شامل روش سرویس حفاظت خاک آمریکا، روش درصدی، روش وزارت کشاورزی ایالات متحده و فرمول تجربی نتایج نزدیک به هم را برای منطقه ارائه دادند.

سالاریان و همکاران (۹) به بررسی روند ماهانه بارش مؤثر برای کشت گندم دیم حاصل از روش‌های SCS، درصدی، بارش قابل‌اطمینان، تجربی و USDA در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۰ در شهرستان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد در تمامی روش‌ها در ماه‌های دی، بهمن، اسفند نسبت به متوسط سالانه روند کاهش در میزان بارش مؤثر وجود دارد. در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آذر روند بارش مؤثر به‌صورت افزایشی است.

رحیمی و همکاران (۸) روش‌های برآورد بارش مؤثر در زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل بیلان آب- خاک تدوین‌شده با توجه به محدودیت‌های داده‌های اندازه‌گیری، توانایی مناسبی را در تعیین بخشی از تغییرات میزان محصول گندم دیم که به‌وسیله تغییرات در میزان بارش مؤثر قابل توجیه است، دارد. هم‌چنین هرچه میزان ضریب خشکی دومازتن افزایش یابد، درصدی از بارش که در کشت گندم دیم مؤثر است، کاهش خواهد یافت. در مناطق با هویت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، روش تجربی نسبت تبخیر و تعرق به بارش و در مناطق با هویت اقلیمی مرطوب و

دوره رشد گیاه رخ می‌دهد. آن‌ها معتقدند که مقداری از بارش که به‌وسیله گیاهان در منطقه ریشه جذب و مصرف می‌شود، قسمت مؤثر بارش است و بارشی که به‌صورت رواناب سطحی و یا نفوذ در عمق خاک از دسترس گیاه خارج می‌گردد، بارش مؤثر به حساب نمی‌آید. برآورد بارش مؤثر که قسمتی از بارش کل بوده و برای تأمین نیازهای تبخیر تعرقی در بخش توسعه ریشه گیاه در دسترس است، به‌دلیل هزینه بالای به‌کارگیری ابزارهای دقیق، عمدتاً به کمک روش‌های تجربی انجام می‌شود (۲۴).

باران مؤثر از دیدگاه هر متخصص تعریف خاصی دارد. برای یک مهندس آبیاری، بارانی است که یا مستقیماً به منبع ذخیره می‌رسد و یا به‌طور غیرمستقیم از رواناب سطحی زمین‌های اطراف جمع می‌شود (۲). از دیدگاه متخصصین کشاورزی، باران مؤثر قسمتی از کل بارش است که مستقیماً جوابگوی نیازهای آبی گیاه بوده و نیز رواناب سطحی که بتوان برای تولید محصول از برکه یا چاه به مزرعه پمپاژ کرد (۱۹).

خوشحال دستجردی و جوشنی (۵) مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک را مورد بررسی قرار دادند. حوضه آبریز دریاچه نمک یکی از مناطق گندم خیز کشور است و برنامه‌ریزی برای کشت این محصول نیازمند برآورد درست نیاز آبی گیاه از طریق بارش خواهد بود. در این پژوهش بارش مؤثر از پنج روش USDA، SCS، درصدی، رنفرو^۳ و بارش قابل‌اطمینان محاسبه شده است. نتایج حاصل از تحلیل روش‌های مورد مطالعه و شیوه‌های محاسبات بارش مؤثر نشان داد که روش SCS به‌دلیل این‌که از یک‌سو تنها به داده‌های تبخیر و تعرق بالقوه، ضریب گیاهی بارش و عمق آبیاری وابسته می‌باشد و از

1. United States Department of Agriculture.
2. Soil Conversation Service
3. Renfro

مؤثر در غرب جلگه بیش تر است. بارش مؤثر سهم بیش تری از نیاز آب مصرفی را در غرب جلگه تأمین می کند؛ حال آن که این سهم در شرق کم تر است. مقادیر بارش مؤثر در منطقه بسیار کم تر از نیاز خالص آبیاری است.

در بررسی دیگر که به منظور تخمین بارش مؤثر در پاکستان انجام شد، با استفاده از داده های ۵۸ ایستگاه هواشناسی، چهار روش معادله رنفرو، اداره احیای اراضی (U.S.B.R)، نسبت و USDA برای برآورد باران مؤثر برای دو فصل رشد به کار برده شد و تغییرات مقدار باران مؤثر در طول دو فصل با استفاده از این روش ها تعیین شد (۱۹). مشخص نبودن مناطق مستعد و مناسب برای کشت غلات دیم از معضلات مهم بر سر راه کشت مطمئن این محصولات در کشور می باشد. با توجه به اهمیت راهبردی گندم، شناسایی مناطق مستعد برای کاشت این گیاه زراعی براساس ارزیابی داده های محیطی می تواند باعث تولید پایدار این محصول در مناطق مختلف گردد (۲۷).

امروزه قابلیت ها و پتانسیل های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در تحلیل زمانی و مکانی داده های زمینی بر هیچ کس پوشیده نیست. استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه تناسب اراضی برای یک محصول خاص، الگوی توزیع مناسب بودن آن محصول را برای هر واحد نقشه در واحدهای اراضی نشان می دهد (۱۰).

پژوهش گران در مقاله ای با عنوان پهنه بندی پتانسیل های توپوکلیمایی کشت گندم دیم در استان کرمانشاه به این نتیجه رسیدند که هرچه از غرب استان (قصر شیرین و سرپل ذهاب) به سمت شرق (سنقر و صحنه) حرکت کنیم مناطق برای کشت گندم از مساعد به سمت عالی پیش می رود. نتایج نشان داد که پراکندگی بارش و عملکرد گندم دیم از سمت غرب به شرق ضعیف می شود، لذا بیانگر صحت انتخاب مناطق مستعد کشت گندم دیم می باشد (۱۲).

نیمه مرطوب، به ترتیب SCS و FAO نسبت به روش های تجربی دیگر برتری دارند.

دلاور و همکاران (۶) در مطالعه ای به بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر برخی شاخص های مؤثر در رشد گندم دیم مانند بارش مؤثر، تاریخ کاشت و طول دوره رشد در چهار ایستگاه واقع در استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. ابتدا شرایط اقلیمی دوره آتی (۲۰۶۶-۲۰۶۵) پیش بینی شد. به این منظور از خروجی مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 استفاده گردید. ریزمقیاس نمایی داده ها توسط مدل LARS-WG صورت گرفت. پس از شبیه سازی پارامترهای اقلیمی دوره مذکور، میزان بارش مؤثر در طول دوره رشد گندم به روش فائو و همچنین تاریخ کاشت مناسب با توجه به تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه حداقل ۱۰ میلی متر به شرط تداوم یافتن در روزهای بعد، تعیین شد. مراحل رشد گندم هم با محاسبه GDD (درجه روز-رشد) به دست آمد. نتایج حاکی از افزایش دما در هر چهار ایستگاه است. همچنین نتایج نشان داد در سه ایستگاه شهرکرد، کوهرنگ و بروجن مقدار بارش مؤثر در آبان ماه نسبت به دوره پایه افزایش، اما در لردگان با کاهش مواجه خواهد شد. به این ترتیب در سه ایستگاه اول، تاریخ کاشت در اغلب سال ها زودتر و در لردگان دیرتر از دوره پایه به دست آمد. طول دوره رشد نیز در ایستگاه های شهرکرد، بروجن و لردگان به طور متوسط ۱۲ روز و در کوهرنگ ۱۳ روز کاهش خواهد یافت.

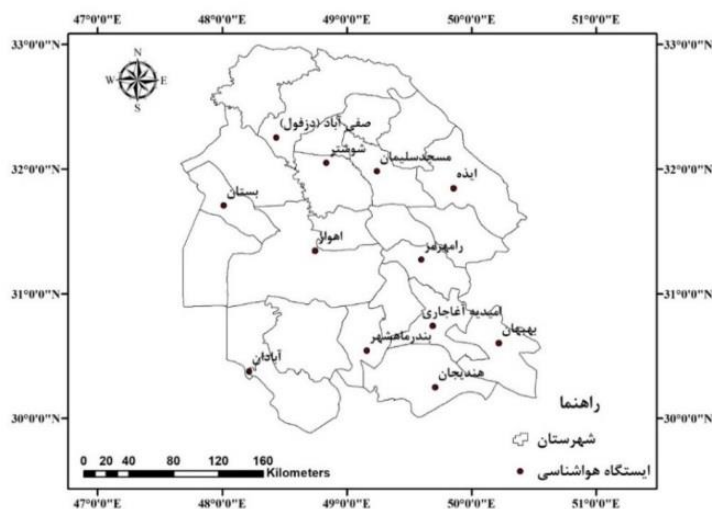
مجرد و همکاران (۱۷) مقادیر بارش مؤثر را به عنوان بخشی از نیاز آبی محصول برنج در جلگه مازندران به روش های درصدی، بارش قابل اطمینان، SCS، SDA، فرمول تجربی و معادله رنفرو برآورد کردند. نتایج مطالعه نشان داد که نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری در شرق جلگه مازندران بیش تر از غرب آن است؛ در حالی که مقدار بارش

درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. براساس آخرین تقسیم‌های کشوری، این استان دارای ۲۳ شهرستان است. استان خوزستان را از نظر پستی و بلندی می‌توان به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم کرد. منطقه کوهستانی در شمال و شرق استان قرار گرفته و منطقه جلگه‌ای آن از جنوب دزفول، مسجد سلیمان، رامهرمز و بهبهان آغاز شده و تا کرانه‌های خلیج فارس و اروند رود ادامه می‌یابد. به‌منظور انجام پژوهش حاضر از داده‌های ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، سرعت باد و بارش برای ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان خوزستان با طول دوره آماری ۲۰ سال (۲۰۱۸-۱۹۹۹) استفاده گردید. شکل (۱) پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. مشاهدات پدیده‌های هواشناسی به فاصله سه ساعت یکبار و در مجموع هشت بار در شبانه‌روز ثبت می‌گردد. نمودار تغییرات دما و بارش دو سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است.

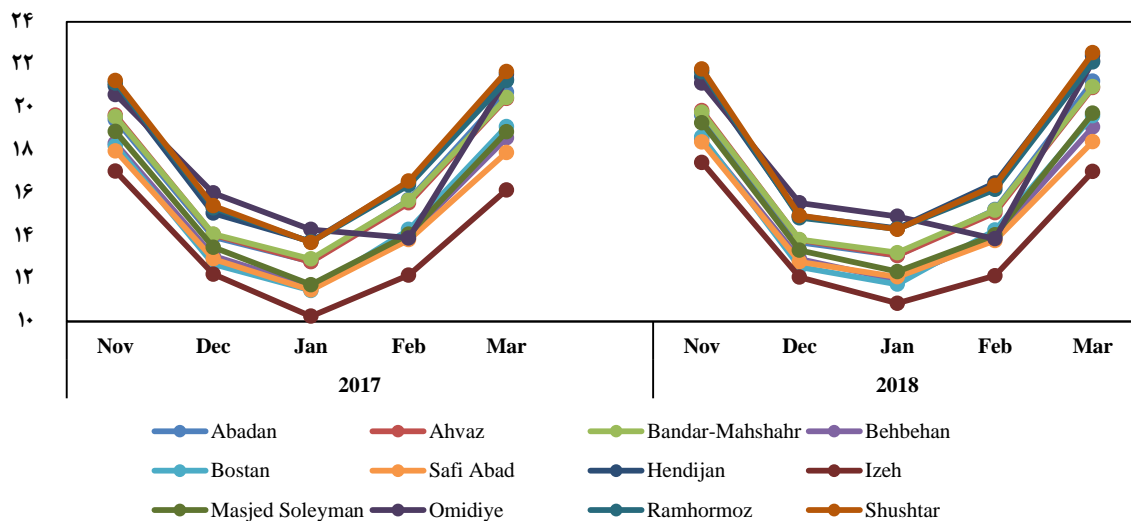
روش‌های مختلفی جهت برآورد باران مؤثر وجود دارد اما از آنجایی که مطالعه جامعی جهت مقایسه روش‌های مذکور با میزان باران مؤثر واقعی تاکنون انجام نگرفته است، لذا پژوهش حاضر در پاسخ به این سؤال شکل گرفت. جامعیت مطالعه شامل پهنه‌بندی باران مؤثر در کل استان خوزستان و مقایسه با روش‌های تجربی موجود می‌باشد. هم‌چنین از مدل مفهومی و فیزیکی AquaCrop که اعتبار بیشتری در برآورد تبخیر-تعرق شرایط واقعی نسبت به نرم‌افزار CROPWAT را داشته، به‌عنوان روش مبنای مقایسه بین برآورد روش‌های تجربی استفاده شد. روش حل معکوس معرفی شده، مبتنی بر برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه و اطلاعات باران هر منطقه می‌باشد که در مطالعات قبلی انجام شده تاکنون به این موضوع پرداخته نشد.

مواد و روش‌ها محدوده مطالعاتی

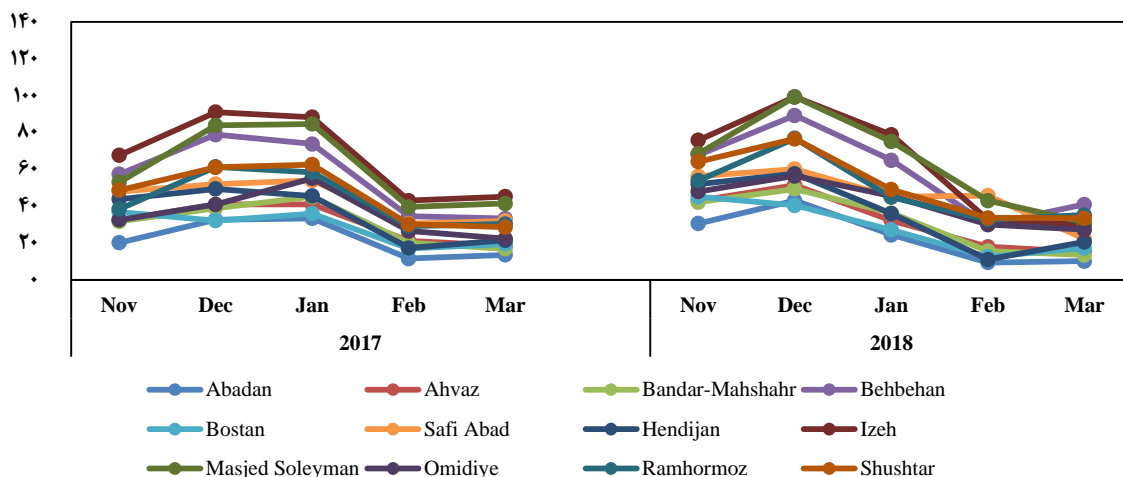
استان خوزستان استانی در جنوب غربی ایران است، که بر کرانه خلیج فارس قرار دارد. این استان با حدود ۶۴ هزار کیلومتر مربع وسعت، در محدوده طول جغرافیایی بین ۴۷



شکل ۱. ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه استان خوزستان



شکل ۲. میانگین دما در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۳. میزان بارش در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در ایستگاه‌های مورد مطالعه

به عبارتی دیگر مواقعی که بارندگی بیشتر است، مقدار

کارایی آن کاهش خواهد یافت (۱۶، ۲۶، ۳۶، ۲۲):

$$P_{eff} = \frac{P_{tot}(125 - 0.2P_{tot})}{125} \quad (1)$$

IF $P_{tot} < 250 \text{ mm}$

$$P_{eff} = 1.25 + 0.1 P_{tot} \quad (2)$$

IF $P_{tot} > 250 \text{ mm}$

که در آن P_{eff} بارندگی مؤثر به میلی‌متر در ماه و P_{tot}

کل بارندگی به میلی‌متر در ماه است.

روش‌های برآورد بارش مؤثر

USDA: از روش USDA برای محاسبه مقدار بارندگی

مؤثر در نرم‌افزار CROPWAT 8.0 استفاده شد. در این

روش فرض بر این است که محصولات می‌توانند ۸۰-۶۰

درصد از بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر را استفاده کنند،

برای میزان بارندگی بالاتر از ۲۵۰ میلی‌متر در ماه، میزان

استفاده محصولات از کل بارندگی تنها ۱۰ درصد است؛

شماره ۳۳ این سازمان توسعه داده است، استفاده شد. این مدل با تفکیک ET_a به تبخیر از سطح خاک (E_a) و تعرق (T_a) و مجزای نمودن عملکرد نهایی (Y) به ماده خشک (B) و شاخص برداشت توسعه یافت. جدا نمودن ET_a به E_a و T_a سبب می‌شود که بخش غیر مؤثر آب در تولید محصول (تبخیر) در نظر گرفته نشود (V). این مدل قادر است میزان عملکرد محصول را در شرایط کم آبیاری و در صورت وجود تنش رطوبتی تخمین بزند. برای محاسبه میزان عملکرد محصول از رابطه (V)، که براساس تبخیر و تعرق نسبی و همچنین براساس معادله بیلان آب عمل می‌کند، استفاده شد:

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (V)$$

Y_a و Y_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_x و ET_a به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر و تعرق گیاه و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به میزان کاهش تبخیر و تعرق است. ورودی‌های مدل AquaCrop شامل داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریتی می‌باشد که در بخش اقلیمی آن، داده تبخیر- تعرق مرجع و دمای حداکثر و حداقل از نرم‌افزار ET₀Calculator که مبنای آن معادله پنمن مانتیث فائو است، محاسبه شد. در این مطالعه از ورژن 6.0 نرم‌افزار AquaCrop استفاده شد.

داده‌های اقلیمی شامل میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل روزانه، مقادیر بارندگی روزانه، سرعت باد، ساعات آفتابی و میانگین سالیانه غلظت CO₂ است. از اطلاعات آماری سال ۲۰۱۸-۱۹۹۹ در ۱۲ ایستگاه هواشناسی خوزستان برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ET₀ در دوره رشد گندم، به روش پنمن- مانتیث و با استفاده از نرم‌افزار ET₀Calculator که با مدل AquaCrop پیوند دارد، استفاده شد. غلظت CO₂ موجود

FAO روش بارندگی قابل اطمینان یا FAO مبتنی بر فرمولی تجربی بوده که توسط سازمان خواروبار جهانی FAO برای اقلیم‌های خشک و مرطوب ارائه شده است (۴). این روش عبارت است از:

$$P_{eff} = 0.6P - 10 \quad \text{IF} \quad P_{tot} \leq 70 \text{ mm} \quad (3)$$

$$P_{eff} = 0.8P - 24 \quad \text{IF} \quad P_{tot} > 70 \text{ mm} \quad (4)$$

که در آن P_{eff} بارش مؤثر هر ماه (mm) و P بارش کل هر ماه (mm) می‌باشد.

تجربی: فرمول تجربی باران مؤثر، فرمول دیگری مشابه با روش بارندگی قابل اطمینان می‌باشد که توسط FAO برای تعیین باران مؤثر ارائه شده است (۴):

$$P_{eff} = 0.5P - 5 \quad \text{IF} \quad P_{tot} \leq 50 \text{ mm} \quad (5)$$

$$P_{eff} = 0.7P + 20 \quad \text{IF} \quad P_{tot} > 50 \text{ mm} \quad (6)$$

که در آن P_{eff} بارش مؤثر هر ماه (mm) و P بارش کل هر ماه (mm) می‌باشد.

روش حل معکوس

در این روش برای برآورد بارش مؤثر از رابطه (V) و حل معکوس آن استفاده شد. به عبارتی در این روش فرض بر این است که کل باران مؤثر برابر با تبخیر- تعرق واقعی است. از طرفی چون روش‌های تجربی براساس اطلاعات جمع‌آوری شده برای یک سری مناطق و شرایط خاص استخراج شده‌اند و از طرفی که باران مؤثر وابسته به باران کل و نوع و رشد گیاه است، به نظر روش پیشنهادی (حل معکوس) از نظر مفهومی کامل‌تر و جامع‌تر از بقیه روش‌ها می‌باشد. برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی و تخمین عملکرد محصول گندم از مدل AquaCrop که سازمان خواروبار جهانی (فائو) با تجدیدنظر در نشریه

مراحل مختلف رشد گیاهان که به وسیله حالت درجه-روز- رشد (GDD) AquaCrop محاسبه شد که کلیه پارامترهای واسنجی با نتایج تحقیقاتی که قبلاً صورت گرفته مطابقت دارد و نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است (۲۲، ۳۰).

جدول ۱. خصوصیات فنولوژیکی مراحل رشد گندم در

مرحله واسنجی مدل AquaCrop		
GDD	واحد	پارامتر
۷۶	درجه- روز	فاصله کاشت تا گلدهی
۵۱۵	درجه- روز	فاصله کاشت تا حداکثر تاج
۱۱۴۱	درجه- روز	فاصله کاشت تا شروع پیری
۱۵۸۰	درجه- روز	فاصله کاشت تا اتمام رشد

از یک تاریخ کاشت متوسط در بازه زمانی هر کشت براساس اطلاعات جمع‌آوری شده در منطقه برای واسنجی مدل، استفاده شد. در منطقه مورد مطالعه، تاریخ کاشت محصول در جدول ۲ نشان داده شده است. بر همین اساس طول دوره رشد (LCM)^۴ هر یک از گیاهان براساس GDD محاسبه و ارائه شده است (جدول ۲).

مبنای نرم‌افزار CROPWAT جهت برآورد نیاز آبی گیاهان، معادله پنمن مانیتث فائو است. پارامترهای ورودی نرم‌افزار CROPWAT، داده‌های هواشناسی، بارش، گیاه و خاک است و داده‌های بارش جهت برآورد بارش مؤثر استفاده شد. در این مطالعه از ورژن 8.0 نرم‌افزار مذکور که جدیدترین نسخه آن می‌باشد، برای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل و مقایسه آن با تبخیر-تعرق نسبی استفاده شد. از تحقیقاتی که قبلاً صورت گرفته و تحقیق و بازدید میدانی، از اطلاعات متوسط تاریخ کاشت و برداشت، طول دوره رشد (مرحله اولیه، توسعه، میانی و پایانی) و ضرایب

در اتمسفر از مقادیر محاسبه شده در مدل (اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده از سال ۱۹۰۲ تا سال ۲۰۹۹ واقع در رصدخانه Mauna Loa در هاوایی) به دست آمد. مقادیر بارندگی در فصل رشد نیز به صورت ماهانه به مدل داده شد. داده‌های گیاهی دو نوع ورودی دارند که برخی از آن‌ها ثابت ۱ و برخی دیگر متغیر و غیر ثابت ۲ هستند. مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند و با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده‌اند. داده‌های خاک نیز به مدل داده شد.

واسنجی مدل AquaCrop برای شرایط منطقه‌ای و براساس عملکرد محصول زراعی برحسب وزن خشک (DYp) ۳ در استان خوزستان انجام گردید. به دلیل این‌که مدل AquaCrop عملکرد خشک محصولات را به عنوان خروجی در نظر می‌گیرد (۳۲). مقادیر Yp (عملکرد) مربوط به گندم با توجه به این‌که بر حسب وزن دانه گزارش می‌شوند، به عنوان DYp در واسنجی مدل استفاده شد. پارامترهای واسنجی شده مدل برای دستیابی به عملکرد خشک محصولات زراعی (DYp)، شامل پارامترهای گیاهی از قبیل توسعه گیاه (پوشش تاج اولیه، میزان ضریب کاهش تاج گیاه)، اجزای تولید محصول (شاخص برداشت مرجع و ضریب بهره‌وری نرمال شده برای CO₂ و ETO)، عوامل مؤثر بر تنش آبی (فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش آبی و رشد برگ، آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک، آستانه پایینی تخلیه رطوبت خاک برای رشد رویشی)، دمای پایه و دمای قطع رشد هستند. پارامترهای گیاهی که پس از واسنجی مدل، در شبیه‌سازی رشد محصول گندم دیم برای منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات فنولوژیکی

1. Conservative
2. Non-Conservative
3. Dry Yield

4. Length of Crop Maturity

مرحله قبلی آورده شد اصلاح گردید و از برآوردهایی که جهت محاسبه تبخیر- تعرق مرجع از طریق مدل ETtoCalculator انجام شد، برای تکمیل اطلاعات ورودی لازم به نرم‌افزار CROPWAT استفاده گردید. در جدول (۳) پارامترهای گیاهی که پس از واسنجی مدل، در شبیه‌سازی رشد محصول زراعی گندم در استان خوزستان مورد استفاده قرار گرفت، نشان داده شده است.

گیاهی (اولیه، میانی و انتهایی) به‌منظور برآورد نیاز آبی گیاهان غالب محدوده (جهت تکمیل‌کردن پارامترهای ورودی گیاه نرم‌افزار) استفاده گردید. در صورت نبودن تحقیقات قبلی، پارامتر ذکرشده در فوق از نشریه فائو ۵۶ اطلاعات لازم استخراج می‌شود. البته ضرایب گیاهی پیشنهادی ارائه‌شده توسط فائو با توجه به پارامترهای اقلیمی محدوده مورد مطالعه قابل اصلاح است. در همین راستا ضرایب گیاهی مرحله توسعه و پایانی طبق معادلاتی که در

جدول ۲. اطلاعات مورد استفاده گندم دیم در واسنجی مدل Aquacrop

محصول	DY _P (ton.ha ⁻¹)	متوسط تاریخ کاشت	متوسط تاریخ برداشت	LCM (روز)	ET (mm)
گندم دیم	۱/۸	اواسط آبان	اواسط فروردین	۱۵۵	۲۰۳

DY_P: عملکرد خشک گیاه، LCM: طول دوره رشد گیاه و ET: نیاز آبی پنج ماهه گندم دیم.

جدول ۳. پارامترهای مهم گیاهی به‌کاررفته در مدل Aquacrop برای شبیه‌سازی رشد محصول گندم

توضیحات	گندم	واحد	پارامتر
پوشش تاج اولیه (CC ₀)	۴/۱	%	
ضریب کاهش پوشش گیاهی در پیری (CDC)	۰/۵	%GDD ⁻¹	
ضریب افزایش پوشش گیاهی (CGC)	۰/۴	%GDD ⁻¹	
ضریب تعرق گیاه K _{cTx}	۱/۱	-	
ضریب بهره‌وری نرمال شده برای (ET ₀ و CO ₂)	۱۵	g/m ²	
ضریب عملکرد تحت شرایط افزایش غلظت CO ₂	۵۰	%	
آستانه بالا برای توسعه تاج گیاه	۰/۳	-	
آستانه پایین برای توسعه تاج گیاه	۰/۶	-	
آستانه بالا برای بسته شدن روزنه‌ها	۰/۵	-	
فاکتور شکل برای توسعه تاج گیاه	۵	-	
ضریب منحنی شکل برای تنش روزنه‌ها	۲	-	
ضریب منحنی شکل برای پیری تاج گیاه	۰/۷	-	
ضریب منحنی شکل تنش پیری	۲	-	
شاخص برداشت (HI ₀)	۳۰	%	
دمای پایه	۰	سلسیوس	
دمای بالا	۲۷	سلسیوس	
حداکثر عمق توسعه ریشه	۱/۵	m	

$$RE = \frac{P_s - P_m}{P_m} \times 100 \quad (9)$$

در رابطه فوق RE خطای نسبی، P_s و P_m به ترتیب باران مؤثر واقعی و باران مؤثر برآوردشده با روش‌های مختلف می‌باشد.

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های برآورد باران مؤثر

در مناطق دیم، باران مؤثر همگی صرف تبخیر- تعرق شده و با داشتن میزان عملکرد محصولات می‌توان به میزان تبخیر- تعرق و سپس باران مؤثر دست یافت. اما از آنجایی که دستیابی به اطلاعات عملکرد به تفکیک هر شهرستان و کل بازه مطالعاتی مشکل است، لذا با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop میزان تبخیر تعرق واقعی برآورد شد. نرم‌افزار COWPAT میزان تبخیر- تعرق پتانسیل و مقدار نیاز آبی گیاه بدون را در نظر گرفتن هرگونه تنش و تحت شرایط استاندارد برآورد می‌کند. بنابراین مدل مفهومی و فیزیکی AquaCrop از اعتبار بیشتری در برآورد تبخیر- تعرق در شرایط واقعی برخوردار بوده و بیش‌تر به واقعیت نزدیک می‌باشد؛ به همین دلیل این روش پیشنهادی به‌عنوان روش مبنا برای مقایسه بین برآورد روش‌های تجربی قرار گرفت. هم‌چنین لازم به ذکر است که با توجه به برآورد تبخیر- تعرق واقعی و اطلاعات باران هر شهرستان، میزان باران مؤثر محاسبه شده و مقایسه آن با روش‌های تجربی باران مؤثر در جدول‌های (۴) تا (۸) برای پنج ماه مورد بررسی ارائه شده است.

بررسی‌ها نشان داد برآورد مقادیر باران مؤثر به روش معکوس (روش پیشنهادی در این مطالعه) نسبت به نتایج مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش USDA با توجه به مقادیر کم‌تر خطا، نزدیک بوده و در اکثر مناطق دارای مقادیر قابل قبول است. به‌طورکلی مقادیر باران مؤثر

پس از تعیین تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از نرم‌افزار AquaCrop و تقسیم آن بر بارش طبق رابطه (۸)، باران مؤثر (واقعی) برای هر ماه و ۱۲ ایستگاه موردبررسی محاسبه شد:

$$P_{eff} = \frac{ET_a}{P} \times 100 \quad (8)$$

که در آن ET_a تبخیر- تعرق واقعی گیاه (mm) و P بارش (mm) و P_{eff} بارش مؤثر (%) می‌باشد.

تهیه نقشه‌های پراکندگی و ادغام آن‌ها توسط روش‌های آمار فضایی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در گرایش‌های مختلف نقش ویژه‌ای یافته است. روش کریجینگ از جمله مدل‌های پرطرفدار در این زمینه می‌باشد. این روش مهم‌ترین و گسترده‌ترین روش درون-یابی است که بر پایه مدل‌ها و روابط آماری پایه‌ریزی شده است. لایه رستری تولیدشده از این روش، سطحی بسیار دقیق را نمایش می‌دهد. روش Kriging بر خلاف روش IDW از تمام مشاهدات منطقه موردنظر استفاده می‌کند. در این مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 برای پهنه‌بندی باران مؤثر ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس با استفاده از روش کریجینگ برای درون‌یابی استفاده شد. انتخاب ماه‌های نوامبر تا مارس به این دلیل بود که طول دوره کشت گندم دیم در استان خوزستان تقریباً از اواسط آبان‌ماه (ابتدای نوامبر) تا اواسط فروردین‌ماه (انتهای مارس) می‌باشد و محاسبه بارش مؤثر باید در ماه‌هایی انجام گیرد که گیاه تحت کشت است.

پارامتر ارزیابی

برای مقایسه باران مؤثر برآوردشده با روش‌های USDA، FAO و فرمول تجربی با روش حل معکوس، از رابطه درصد خطای نسبی استفاده شده است. رابطه (۹) کم‌برآورد یا بیش‌برآورد روش‌های فوق برای تعیین بارش مؤثر را نشان می‌دهد:

داشت. هم‌چنین بازه تغییرات انحراف معیار از ۵۹/۸- تا ۹۵/۷ درصد متغیر بود.

بررسی برآورد باران مؤثر به روش‌های مختلف در این مطالعه برای ماه دسامبر نشان داد، مقادیر باران مؤثر برآورد شده به‌روش معکوس و USDA نتایج قابل‌قبولی را به‌جز در ایستگاه‌های بهبهان، دزفول و مسجد سلیمان نشان می‌دهند. هم‌چنین در ایستگاه‌های هندیجان و آبادان دارای کم‌برآورد بوده و مابقی ایستگاه‌ها دارای بیش‌برآورد هستند. به‌طورکلی مقادیر باران مؤثر برآوردشده به‌روش USDA در ماه دسامبر نسبت به‌روش حل معکوس در تمام ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه آبادان بیش‌تر بوده و هم‌چنین با حرکت از سمت شمال‌غربی استان به سمت جنوب‌شرقی، نسبت به سایر مناطق استان دارای مقادیر باران مؤثر کم‌تری است (جدول ۵ و شکل ۴). مقادیر باران مؤثر برآوردشده به‌روش FAO نسبت به‌روش معکوس در اکثر ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه بهبهان و مسجد سلیمان در مابقی ایستگاه‌ها دارای کم‌برآورد هستند. البته در ایستگاه‌های دزفول، رامهرمز و شوشتر با توجه به درصد خطای پایین به‌دست‌آمده، مقدار باران مؤثر در روش FAO به‌خوبی برآورد شده است.

برآوردشده به‌روش USDA در ماه نوامبر در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه آبادان بیش‌تر از روش حل معکوس بوده و هم‌چنین هر چقدر از سمت شمال استان به سمت جنوب پیش رفته شود، مقادیر باران مؤثر بیش‌تر است (جدول ۴ و شکل ۴). مقادیر باران مؤثر برآوردشده به‌روش FAO نسبت به روش معکوس در اکثر ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه دزفول با درصد خطای ۳/۳ درصد، مابقی ایستگاه‌ها دارای کم‌برآورد و خطای زیادی هستند. هم‌چنین مقادیر باران مؤثر برآوردشده به‌روش تجربی در اکثر ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه‌های بهبهان، دزفول و مسجد سلیمان با خطای به‌ترتیب ۱۹۱/۵، ۴/۴ و ۱۸۱/۱ درصد دارای کم‌برآورد بوده و مابقی ایستگاه‌ها دارای بیش برآورد با درصد خطای قابل‌توجهی هستند (جدول ۴). لازم به ذکر است روش تجربی و FAO تخمین مشابهی نسبت به هم ارائه می‌دهند. علی و مبارک (۲۱) با بررسی روش‌های مختلف تخمین بارندگی مؤثر در مناطق خشک و مرطوب کشور بنگلادش برای کشت برنج و مقایسه آن با مصرف واقعی برنج، گزارش دادند که روش Indian-1 کم‌ترین میزان انحراف معیار را در بین روش‌های مختلف

جدول ۴. خطای نسبی بارش مؤثر برآوردشده (میلی‌متر) با روش‌های مختلف در ماه نوامبر

نام ایستگاه	P _{eff}	USDA	RE (%)	FAO	RE (%)	تجربی	RE (%)
آبادان	۲۸/۹	۱۹/۵	-۳۲/۵	۲/۱	-۹۲/۷۴	۵/۱	-۸۲/۴
اهواز	۲۵/۳	۳۰/۸	۲۱/۵	۹/۵	-۶۲/۵۱	۱۱/۳	-۵۵/۴
بندرماهشهر	۲۸/۲	۳۰/۱	۶/۷	۹	-۶۸/۱۰	۱۰/۸	-۶۱/۷
بهبهان	۲۰/۷	۵۲/۱	۱۵۲/۳	۲۴/۴	۱۸/۱۶	۶۰/۲	۱۹۱/۵
بستان	۲۵	۳۴/۷	۳۸/۹	۱۲/۱	-۵۱/۵۸	۱۳/۴	-۶۴/۴
دزفول	۱۸/۲	۴۴/۳	۱۳۴/۴	۱۸/۸	۳/۳	۱۹	۴/۴
هندیجان	۳۹/۶	۴۰/۷	۲/۷	۱۶/۳	-۵۸/۸۶	۱۶/۹	-۵۷/۳
ایذه	۲۲/۸	۳۰/۸	۳۵	۹/۵	-۵۸/۳۷	۱۱/۳	-۵۰/۵
مسجد سلیمان	۲۲/۱	۴۸/۵	۱۱۹/۳	۲۱/۸	-۱/۴۵	۵۷/۱	۱۵۸/۱
امیدیه آغاچاری	۳۱/۸	۴۲/۶	۳۴	۱۷/۶	-۴۴/۶۲	۱۸	-۴۳/۴
رامهرمز	۲۶/۶	۳۶/۱	۳۵/۷	۱۳/۱	-۵۰/۷۵	۱۴/۳	-۴۶/۲
شوشتر	۲۷/۲	۴۴/۹	۶۴/۹	۱۹/۲	-۲۹/۴۹	۱۹/۴	-۲۸/۸

جدول ۵. خطای نسبی بارش مؤثر برآوردشده (میلی متر) با روش های مختلف در ماه دسامبر

نام ایستگاه	P _{eff}	USDA	RE (%)	FAO	RE (%)	تجربی	RE (%)
آبادان	۳۴/۷	۳۰/۵	-۱۲	۹/۶	-۷۲/۳	۱۱/۳	-۶۷/۳۹
اهواز	۲۹/۳	۳۸/۳	۳۰/۶	۱۴/۶	-۵۰/۲	۱۵/۵	-۴۷/۱۵
بندر ماهشهر	۳۱/۶	۳۶/۶	۱۵/۷	۱۳/۴	-۵۷/۶	۱۴/۵	-۵۴/۱۷
بهبهان	۲۳/۷	۶۸/۹	۱۹۰/۳	۳۹	۶۴/۳	۷۵/۲	۲۱۶/۹
بستان	۲۹/۱	۳۰/۵	۵	۹/۳	-۶۸	۱۱/۱	-۶۱/۷۹
دزفول	۲۱/۷	۴۷/۷	۱۱۹/۸	۲۱/۲	-۲/۳	۵۶/۴	۱۵۹/۹۱
هندیجان	۴۶/۷	۴۵/۵	-۲/۵	۱۹/۶	-۵۸	۱۹/۷	-۵۷/۸۱
ایذه	۲۷/۷	۳۸/۳	۳۸/۵	۱۴/۶	-۴۷/۲	۱۵/۵	-۴۳/۹۴
مسجدسلیمان	۲۴/۲	۷۲/۶	۲۰۰/۶	۴۳	۷۸/۱	۷۸/۷	۲۲۵/۸۸
امیدیه آغاچاری	۳۶/۵	۵۲/۵	۴۳/۷	۲۴/۷	-۳۲/۴	۶۰/۵	۶۵/۵۷
رامهرمز	۲۸/۶	۵۵/۴	۹۳/۵	۲۶/۸	-۶/۴	۶۳	۱۲۰/۰۵
شوشتر	۲۹	۵۵/۱	۹۰/۱	۲۶/۷	-۷/۹	۶۲/۸	۱۱۶/۷

مؤثر را به خوبی و با درصد خطای پایین برآورد کرده اند. هم چنین در ایستگاه های آبادان، بستان، هندیجان و ایذه دارای کم برآورد بوده و مابقی ایستگاه ها دارای بیش برآورد هستند. جدول (۶) مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش USDA در ماه ژانویه نشان می دهد. مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش FAO نسبت به روش معکوس در اکثر ایستگاه ها به جز ایستگاه بهبهان و مسجدسلیمان در مابقی ایستگاه ها دارای کم برآورد هستند. مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش تجربی به جز ایستگاه امیدیه آغاچاری، مابقی ایستگاه ها دارای خطای قابل توجهی هستند. به طور کلی نمی توان روش تجربی را به عنوان یک روش خوب برای برآورد باران مؤثر در استان نام برد (جدول ۶). ورما و همکاران (۳۶) میزان باران مؤثر گیاه برنج را در شش منطقه در کشور هند محاسبه کردند. میزان باران در محدوده ۸۴۰ تا ۱۰۶۸ میلی متر متغیر بود. سپس باران مؤثر را به روش USDA محاسبه کردند که در بازه ۵۸۵ تا ۶۹۶ میلی متر متغیر بود. بر اساس باران مؤثر به دست آمده، میزان خطای نسبی در بین ۳۱ تا ۶۲ درصد متغیر بود که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (۳۴).

مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش تجربی در ایستگاه های بهبهان، دزفول، مسجد سلیمان، امیدیه آغاچاری، رامهرمز و شوشتر دارای بیش برآورد بوده و در مابقی ایستگاه ها دارای کم برآورد با درصد خطای قابل توجهی هستند و نمی توان از آن به عنوان یک روش خوب برای برآورد باران مؤثر در استان نام برد (جدول ۵). ایوید و همکاران (۲۶) میزان باران و باران مؤثر گیاه گندم را با استفاده از روش حفاظت خاک وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) در جنوب کشور عراق در یک دوره ۳۰ ساله برآورد کردند. نتایج نشان داد که میزان باران در ماه های مختلف در محدوده ۰ تا ۲۴ میلی متر متغیر است. سپس میزان باران مؤثر را محاسبه کردند که میزان آن بین ۰ تا ۲۳/۱ میلی متر متغیر بوده که نشان دهنده خطای نسبی بین ۰ تا ۴ درصد بود که مشاهدات آن ها با نتایج این مطالعه تطابق نسبی دارد (۳۶).
بررسی باران مؤثر برآوردشده به روش های مختلف در این مطالعه در ماه ژانویه نشان داد، به طور کلی روش معکوس و USDA نتایج قابل قبولی را به جز در ایستگاه های بهبهان، دزفول و مسجدسلیمان مقادیر باران

جدول ۶. خطای نسبی بارش مؤثر برآوردشده (میلی‌متر) با روش‌های مختلف در ماه ژانویه

نام ایستگاه	P _{eff}	USDA	RE (%)	FAO	RE (%)	تجربی	RE (%)
آبادان	۴۵	۳۱/۶	-۲۹/۸	۱۰	-۷۷/۸	۱۱/۷	-۷۴
اهواز	۳۸/۱	۳۸/۴	۰/۸	۱۴/۷	-۶۱/۴	۱۵/۶	-۵۹
بندر ماهشهر	۴۰/۷	۴۱/۸	۲/۸	۱۷/۱	-۵۸	۱۷/۶	-۵۶/۷
بیهان	۲۹/۵	۶۵/۱	۱۲۰/۹	۳۵	۱۸/۸	۷۱/۷	۱۴۳/۳
بیستان	۳۵	۳۳/۹	-۳/۱	۱۱/۶	-۶۶/۹	۱۳	-۶۲/۹
دزفول	۲۷/۵	۴۹/۳	۷۹/۲	۲۲/۴	-۱۸/۶	۵۴	۹۶/۳
هندیجان	۵۸/۵	۴۲/۳	-۲۷/۶	۱۷/۴	-۷۰/۲	۱۷/۸	-۶۹/۵
ایذه	۳۴/۷	۲۷/۷	-۲۰/۱	۷/۴	-۷۸/۶	۹/۵	-۷۲/۶
مسجدسلیمان	۳۰/۱	۷۳/۲	۱۴۳/۲	۴۳/۸	۴۵/۵	۷۹/۳	۱۶۳/۵
امیدیه آغاچاری	۴۹/۶	۵۰/۲	۱/۱	۲۳/۱	-۵۳/۵	۵۵/۱	۱۱
رامهرمز	۳۷	۵۲/۹	۴۳/۱	۲۵	-۳۲/۴	۶۰/۹	۶۴/۸
شوشتر	۳۶/۶	۵۶/۳	۵۳/۸	۲۷/۶	-۲۴/۶	۶۲/۶	۷۱

بیش‌برآورد بوده و حتی درصد خطای قابل توجهی هستند. به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد نمی‌توان از روش‌های FAO و تجربی به‌عنوان یک روش مؤثر و کارآمد برای برآورد باران مؤثر در استان استفاده کرد (جدول ۷).

لاریجانی و همکاران (۱۵) صحت‌سنجی پنج رابطه تعیین بارش مؤثر SCS، بارش قابل‌اطمینان، تجربی، USDA و درصدی را برای محصولات مختلف دیم (گندم، جو، عدس و نخود) در دو منطقه پرباران (رشت) و کم‌باران (داران) انجام دادند. نتایج این ارزیابی نشان داده است در رشت همه روش‌های بارش مؤثر در زمینه کشت دیم قابل‌استفاده هستند، اما در داران، برای استفاده از این روش‌ها لازم است که از قبل واسنجی شوند. نتایج نشان داده است به‌منظور اولویت‌بندی استفاده از روش‌های بررسی‌شده در این دو منطقه، روش‌های SCS و USDA برای رشت و روش‌های USDA و درصدی برای داران پیشنهاد می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج تحقیق صورت‌گرفته مطابقت دارد.

بررسی برآورد باران مؤثر به روش‌های مختلف در این مطالعه برای ماه فوریه نشان داد، مقادیر برآوردشده از طریق روش معکوس و USDA نتایج قابل‌قبولی را نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد. اما باز هم در این روش‌ها مقادیر خطا قابل‌توجه است. هم‌چنین مقادیر مؤثر برآوردشده از طریق روش USDA در این ماه نسبت به روش معکوس در تمامی ایستگاه‌ها دارای مقادیر کم‌تری بوده و به‌عبارتی دارای کم‌برآورد هستند. به‌طورکلی به‌جز مناطق شمال‌غربی نسبت به سایر مناطق استان دارای مقادیر باران مؤثر کم‌تری است (جدول ۷ و شکل ۵). مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش FAO نسبت به روش معکوس در تمامی ایستگاه‌ها دارای کم‌برآورد بوده دارای درصد خطای قابل‌توجهی است. به‌طوری‌که در ایستگاه آبادان مشاهده می‌شود مقدار باران مؤثر در این ماه، صفر برآورد شده است. هم‌چنین مقادیر باران مؤثر برآوردشده به روش تجربی نشان داد تمامی ایستگاه‌ها دارای

جدول ۷. خطای نسبی بارش مؤثر برآوردشده (میلی‌متر) با روش‌های مختلف در ماه فوریه

نام ایستگاه	P _{eff}	USDA	RE (%)	FAO	RE (%)	تجربی	RE (%)
آبادان	۶۱	۱۱/۴	-۸۱/۳	۰	-۱۰۰	۰/۸	-۹۸/۷
اهواز	۵۱/۲	۲۰/۶	-۵۹/۸	۲/۸	-۹۴/۵	۵/۷	-۸۸/۹
بندر ماهشهر	۴۸/۷	۱۹/۵	-۵۹/۹	۲/۱	-۹۵/۷	۵/۱	-۸۹/۵
بهبهان	۳۷/۶	۳۲/۷	-۱۳	۱۰/۸	-۷۱/۳	۱۲/۳	-۶۷/۳
بستان	۵۳/۸	۱۶/۵	-۶۹/۳	۰/۲	-۹۹/۶	۳/۵	-۹۳/۵
دزفول	۳۷/۴	۲۹	-۲۲/۴	۸/۳	-۷۷/۸	۱۰/۳	-۷۲/۴
هندیجان	۷۴/۳	۱۶/۹	-۷۷/۲	۰/۴	-۹۹/۵	۳/۷	-۹۵
ایذه	۴۱/۳	۲۰/۶	-۵۰/۱	۲/۸	-۹۳/۲	۵/۷	-۸۶/۲
مسجدسلیمان	۳۹/۱	۳۷/۱	-۵/۲	۱۳/۸	-۶۴/۷	۱۴/۸	-۶۲/۲
امیدیه آغاچاری	۵۸/۷	۲۵/۵	-۵۶/۵	۶	-۸۹/۸	۸/۳	-۸۵/۹
رامهرمز	۴۹/۸	۲۷/۹	-۴۴	۷/۶	-۸۴/۸	۹/۷	-۸۰/۵
شوشتر	۵۱/۷	۲۸/۷	-۴۴/۴	۸/۱	-۸۴/۳	۱۰/۱	-۸۰/۴

است. نتایج نشان داد که فاصله از دریا باعث کاهش درصد بارندگی مؤثر می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. آیو و همکاران (۲۲) با اندازه‌گیری میزان باران در کشور اندونزی و محاسبه باران مؤثر آن در کشت برنج با استفاده از روش USDA گزارش دادند که میزان باران آن بین ۱/۷ تا ۲۸۵ میلی‌متر متغیر بود. میزان باران مؤثر برآوردشده نیز در محدوده ۱/۷ تا ۱۵۳ میلی‌متر متغیر بود. براساس این اطلاعات، میزان خطای نسبی آن‌ها بین ۰ تا ۸۶ درصد متغیر بود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد (۲۶).

از آنجا که میزان و زمان ریزش باران قابل کنترل نمی‌باشد، می‌توان با اتخاذ تدابیری، میزان کارایی بارش و در نتیجه بارش مؤثر را افزایش داد. از جمله می‌توان به کاهش رواناب سطحی، ذخیره آب برای اوقات کم‌باران، کاهش عمق نفوذ آب و برنامه‌ریزی جهت کاشت گونه‌های منطبق بر رژیم بارش اشاره نمود (۴). داشتن اطلاعات بارش مؤثر به تفکیک شهرستان، باعث دستیابی به مزایای گفته‌شده در فوق می‌شود و درصد استفاده از باران باریده‌شده به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک را بالا خواهد برد.

بررسی‌ها نشان داد، برآورد مقادیر باران مؤثر در ماه مارس به‌روش معکوس نسبت به مقادیر باران مؤثر برآوردشده به‌روش‌های USDA، FAO و تجربی دارای مقادیر کم‌تر و متعاقباً دارای خطای زیادی است. به‌طورکلی مقادیر باران مؤثر برآوردشده از روش‌های FAO و تجربی در ماه مارس در تمام ایستگاه‌ها دارای مقادیر کمی بوده و هم‌چنین به‌جز بخش اندکی در سمت شمال‌شرقی استان، مقادیر باران مؤثر در سایر مناطق مشابه است (جدول ۸ و شکل ۶). ادنان و هیات خان (۱۹) با بررسی چهار روش برآورد باران مؤثر رنفرو، اداره احیا اراضی آمریکا (USBR)، نسبت تبخیر- تعرق پتانسیل به بارش و روش USDA در کشور پاکستان گزارش دادند که درصد باران مؤثر در شمال‌شرق پنجاب در فصل کشت اکتبر تا آوریل از ۱۳/۰۳ درصد تا ۱۰۰ درصد و در فصل کشت (ماه می تا سپتامبر) از ۳۱/۳۱ درصد تا ۱۰۰ درصد در بیش‌تر ایستگاه‌ها متغیر است. هم‌چنین گزارش دادند که روش USBR برای مناطق با حجم زیاد و شدت زیاد بارندگی و روش USDA برای مناطق جنوبی کم‌باران مناسب

جدول ۸. خطای نسبی بارش مؤثر برآوردشده (میلی‌متر) با روش‌های مختلف در ماه مارس

نام ایستگاه	P _{eff}	USDA	RE (%)	FAO	RE (%)	تجربی	RE (%)
آبادان	۶۲/۷	۱۳/۴	-۷۸/۶	۰	-۱۰۰	۱/۸	-۹۷/۱
اهواز	۵۳/۴	۱۸	-۶۶/۳	۱/۱	-۹۷/۹	۴/۳	-۹۱/۹
بندر ماهشهر	۵۶	۱۶/۵	-۷۰/۵	۰/۲	۹۹/۶-	۳/۵	-۹۳/۸
پهپهان	۴۱/۱	۳۱/۶	-۲۳/۱	۱۰	-۷۵/۷	۱۱/۷	-۷۱/۵
بستان	۴۹/۶	۱۸/۹	-۶۱/۹	۱/۷	-۹۶/۶	۴/۸	-۹۰/۳
دزفول	۳۶/۵	۳۰/۵	-۱۶/۴	۹/۳	-۷۴/۵	۱۱/۱	-۹۶/۶
هندیجان	۷۸/۱	۲۰/۹	-۷۳/۲	۳	-۹۶/۲	۵/۸	-۹۲/۶
ایذه	۴۰/۸	۱۸	-۵۵/۹	۱/۱	-۹۷/۳	۴/۳	-۸۹/۵
مسجدسلیمان	۴۳/۳	۳۸/۷	-۱۰/۷	۱۴/۹	-۶۵/۶	۱۵/۸	-۶۳/۵
امیدیه آغاچاری	۶۵/۵	۲۱/۶	-۶۷	۳/۴	-۹۴/۸	۶/۲	-۹۰/۵
رامهرمز	۵۱/۵	۲۸/۹	-۴۳/۹	۸/۲	-۸۴/۱	۱۰/۲	-۸۰/۲
شوشتر	۵۷	۲۷/۳	-۵۲/۱	۷/۲	-۸۷/۴	۹/۳	-۸۳/۷

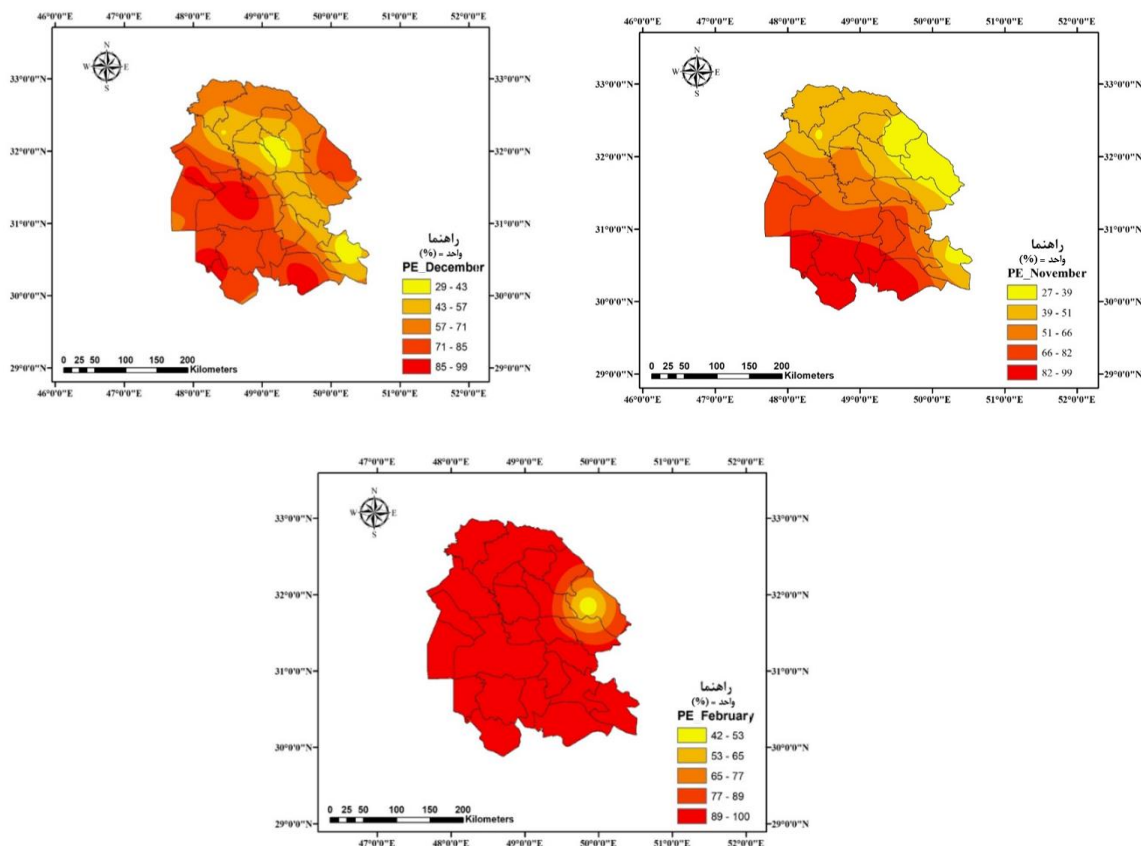
پهنه‌بندی باران مؤثر

نقشه پهنه‌بندی باران مؤثر برای ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس در محدوده مطالعاتی در محیط GIS رسم گردید و در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است. نقشه‌های رسم‌شده برای ماه‌های موردنظر، در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد در ماه نوامبر کم‌ترین مقادیر باران مؤثر در نواحی شمال، شمال‌شرق و شرق در بازه ۵۱-۲۷ درصد و بیش‌ترین مقادیر باران مؤثر در نواحی جنوب و جنوب‌غرب در بازه ۹۹-۶۶ درصد به‌دست آمد (شکل ۴). پهنه‌بندی و مقادیر باران مؤثر برآوردشده در ماه دسامبر نشان داد که نواحی مرکزی به سمت جنوب‌شرقی، کم‌ترین مقدار باران مؤثر در بازه ۵۷-۲۹ درصد را دارا بوده و در نواحی شمال‌شرق، غرب و جنوب، بیش‌ترین مقدار آن ۹۹-۷۱ درصد به‌دست آمد (شکل ۴).

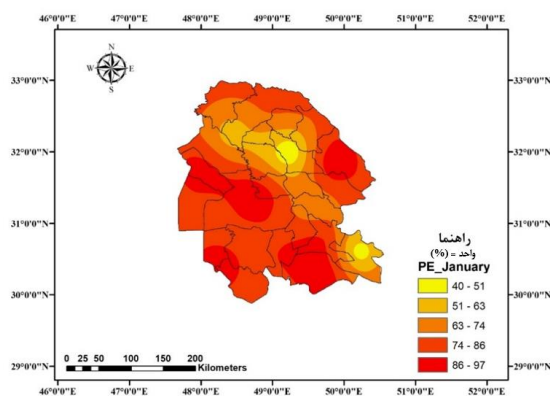
بررسی مقادیر باران در سطح استان نشان می‌دهد، در نواحی شمال، شمال‌شرق و شرق نسبت به نواحی دیگر در ماه‌های نوامبر و دسامبر میزان بارندگی بیش‌تر بوده و

مقدار تبخیر- تعرق کم‌تر است، به همین دلیل مقدار باران مؤثر در این نواحی کم‌تر برآورد گردیده است (شکل ۴). هان و همکاران (۲۸) با بررسی میزان بارندگی مؤثر در دوره رشد ذرت بهاره در کشور چین، نتیجه گرفتند که با افزایش بارندگی، میزان بارندگی مؤثر کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نیاز آبی محصول، باران مؤثر به‌تدریج افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

مطابق شکل (۵)، پهنه‌بندی باران مؤثر در ماه ژانویه نشان داد در اکثر محدود مطالعاتی به‌جز نواحی مرکزی باران مؤثر در بازه ۹۷-۷۴ درصد برآورد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد مقادیر باران در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدود مطالعاتی طی ماه‌های دسامبر و ژانویه تقریباً در یک محدوده بوده و تفاوت معنی‌داری ندارد اما با توجه به این‌که ماه ژانویه (ماه سوم دوره رشد) نسبت به ماه دسامبر (ماه دوم دوره رشد) تبخیر و تعرق کشت گندم بیش‌تر است، لذا مقادیر باران مؤثر بیش‌تری برآورد شده است (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. پهنه‌بندی باران مؤثر ماه نوامبر و دسامبر در محدوده مطالعاتی



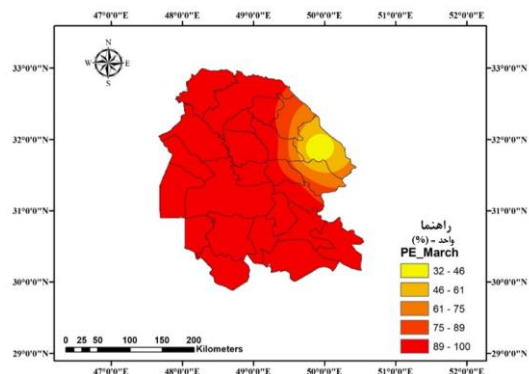
شکل ۵. پهنه‌بندی باران مؤثر ماه ژانویه و فوریه در محدوده مطالعاتی

شهرستان ایذه)، میزان باران مؤثر بیش از ۸۹ درصد می‌باشد. در این دو ماه، ضمن افزایش دما، گیاه در مراحل میانی و پایانی رشد قرار دارد، به همین دلیل میزان تبخیر-

پهنه‌بندی مقادیر باران مؤثر در طی ماه‌های فوریه و مارس در ایستگاه‌های ۱۲ گانه در سطح استان نشان داد در تمام نواحی به جز قسمت محدودی در ناحیه شمال شرقی

پربارش نوامبر، دسامبر و ژانویه، به ترتیب روش تجربی با میانگین خطای ۹/۸- درصد، FAO با ۲۱/۷- درصد و تجربی با ۱۲/۹ درصد بهترین برآورد باران مؤثر در مقایسه با روش حل معکوس را داشته‌اند. در ماه‌های کم‌بارش فوریه و مارس، روش USDA به ترتیب با میزان خطای ۴۸/۶- درصد و ۵۱/۶- درصد، بهترین برآورد باران مؤثر این سه روش در مقایسه با روش حل معکوس داشته‌اند. نقشه‌های پهنه‌بندی برآورد بارش مؤثر نشان داد که در ماه‌های پربارش و زمانی که گیاه تحت رشد اولیه قرار دارد، با حرکت از سمت شمال استان به قسمت جنوبی (به جز قسمت کوچکی از مرکز و جنوب شرقی)، بر مقدار بارش مؤثر افزوده می‌گردد. در دو ماهه آخر دوره رشد که گندم به حداکثر رشد رویشی و زایشی می‌رسد، در تمامی سطح استان بارش مؤثر قابل توجه بوده و فقط قسمت شرقی استان بارش مؤثر کم‌تری را دارد. این موضوع بیانگر این مطلب است که در سمت شرق و جنوب شرقی استان، گیاه گندم نیاز آبی بیش‌تری نسبت به دیگر نواحی داراست زیرا مقدار بارش مؤثر در قسمت‌های ذکر شده کم‌تر از قسمت شمال و جنوب و غرب می‌باشد. به‌طورکلی روش USDA برآورد بهتری نسبت به دو روش تجربی و روش FAO داشته و روش قابل اطمینان‌تری می‌باشد. بنابراین برآورد صحیح مقادیر تبخیر- تعرق واقعی، آگاهی از میزان بارش سالانه، دوره رشد و باران مؤثر مدیران را قادر می‌سازد تا با مشخص کردن حداکثر نیاز آبی علاوه بر تأمین بخشی از نیاز از طریق بارش، به فکر فراهم کردن نیاز آبی از سایر منابع باشند. از طرفی با تغییر تاریخ کشت در مناطق موردبررسی می‌توان حداکثر بهره را از بارش مؤثر برده و عملکرد و بهره‌وری محصولات دیم را ارتقا داد. از کاربردهای این پژوهش این است که با دانستن میزان باران مؤثر می‌توان منابع آب موجود جهت آبیاری تکمیلی را ذخیره کرد و در مواقع

تعرق افزایش یافته است اما از طرفی میزان بارندگی نسبت به ماه‌های قبل کاهش پیدا کرده است، در نتیجه میزان باران مؤثر برآوردشده طبق روش حل معکوس در این مطالعه افزایش یافته است (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۶. پهنه‌بندی باران مؤثر ماه مارس در محدوده مطالعاتی

نتیجه‌گیری

به دلیل هزینه بالای به‌کارگیری ابزارهای دقیق برآورد باران مؤثر، عمدتاً این کار به‌کمک روش‌های تجربی انجام می‌شود. برای استفاده هرچه بهتر از آب در کشاورزی، شناخت باران مؤثر امری حیاتی است. زیرا با کاربرد اطلاعات مربوط به باران مؤثر می‌توان به طرح‌ها و اجرای پروژه‌های آبیاری، طرح و عملیات سامانه‌های زهکشی، شست‌وشوی نم‌ها، کشت محصولات عمده کشاورزی به‌خصوص دیم و برنامه‌ریزی سامانه‌های آبیاری با استفاده از آب‌های زیرزمینی یاری رساند. هدف از این پژوهش، مقایسه چند روش تجربی برآورد بارش مؤثر با روش مبتنی بر تبخیر و تعرق و یا به‌عبارتی نیاز آبی کشت گندم دیم پاییزه در پهنه استان خوزستان بود. بخشی از کار با بررسی داده‌های هواشناسی و بخشی دیگر با استفاده از نرم‌افزارهای برآورد تبخیر-تعرق، برآورد بارش مؤثر از طریق رابطه‌های مختلف و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی انجام شد. نتایج خطای نسبی (RE) نشان داد که در سه ماه

۶. دلاور، ن.، اخوان، س. و محنت کشف، ع. م. (۱۳۹۶).
اثر تغییر اقلیم بر برخی شاخص‌های مؤثر در رشد
گندم (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری).
علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع
طبیعی). ۲(۲۱): ۱۴۹-۱۳۱.
۷. ذبیحی، ا.، درزی نفت چالی، ع. و خوش‌روش، م. (۱۳۹۵).
آنالیز اثر تنش خشکی بر عملکرد، کارایی
مصرف آب و شوری ناحیه ریشه برنج. تنش‌های
محیطی در علوم زراعی. ۹ (۴): ۳۷۵-۳۸۵.
۸. رحیمی، ج.، بذرافشان، ج. و خلیلی، ع. (۱۳۹۲).
مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد بارش مؤثر در
زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران.
پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۵ (۳): ۴۶-۳۱.
۹. سالاریان، م.، نجفی، م. و فریدحسینی، ع. (۱۳۹۳).
بررسی روند ماهانه بارش مؤثر برای کشت گندم دیم
(مطالعه موردی: شهرستان اصفهان)، چهارمین
کنفرانس بین‌المللی چالش‌های زیست‌محیطی و
گاهشناسی درختی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع
طبیعی ساری، ایران.
۱۰. سرمدیان، ف. و طاعتی، ع. (۱۳۹۴). پیمایش زراعی
اکولوژیک بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم
با استفاده از GIS و RS. بوم‌شناسی کشاورزی. ۷ (۳):
۳۸۰-۳۶۸.
۱۱. عباسی، ف.، محمدی، ح.، بازگیر، س. و آزادی، م. (۱۳۹۷).
برآورد تاریخ بهینه کشت و مراحل حساس
رشد به تنش آبی در مناطق عمده کشت گندم دیم
ایران. مدیریت آب و آبیاری. ۸ (۲): ۲۸۷-۲۶۷.
۱۲. عینی، ح.، صادقی، س. و حسین‌زاده، س. (۱۳۹۱).
پهنه‌بندی پتانسیل‌های توپوکلیمایی
کشت گندم دیم در استان کرمانشاه. جغرافیا و
توسعه ناحیه‌ای. ۱۰ (۱۹): ۴۵-۲۱.
- حساس رشد گیاه مورد استفاده قرار داد. از طرفی تاریخ
کشت بهینه جهت استفاده حداکثری از بارش مؤثر
مشخص می‌شود که منجر به عملکرد و بهره‌وری بالای
محصولات خواهد شد. پیشنهاد می‌شود که عملکرد دقیق
محصولات دیم به صورت پایش میدانی مورد ارزیابی قرار
گیرد تا به صورت دقیق‌تری بتوان به نتایج استناد کرد.
هم‌چنین بررسی‌های کامل‌تری بر کلیه محصولات کشت
دیم انجام شود تا از این طریق، مطالعات مربوط به یک
محصول خاص نشده و بتوان برای یک منطقه وسیع،
دستورالعمل جامعی برای بهره‌گیری از باران مؤثر را ارائه
کرد.

منابع

۱. اسدزاده شرفه، ح. و رئوف، م. (۱۳۹۷). مقایسه
کارایی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری بارانی و
هیدروفلوم (مطالعه موردی: دشت اردبیل). مدیریت
آب و آبیاری. ۸ (۱): ۶۸-۵۵.
۲. توان پور، ن. و قائمی، ع. ا. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی استان
فارس از نظر کشت گندم پاییزه دیم براساس پارامتر
بارش و عوامل مورفولوژیکی. آبیاری و زهکشی
ایران. ۴ (۱۰): ۵۵۵-۵۴۴.
۳. حمدی احمدآباد، ی.، لیاقت، ع.، رسول زاده، ع. و
قادرپور، ر. (۱۳۹۸). بررسی روند سرانه مصرف آب
در ایران براساس رژیم غذایی دو دهه گذشته.
تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۱): ۸۷-۷۷.
۴. خالقی، ن. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر
در کشاورزی. آب و توسعه پایدار. ۲ (۲): ۵۸-۵۱.
۵. خوشحال دستجردی، ج. و جوشنی، ع. ر. (۱۳۹۱).
برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای
کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک. مطالعات
جغرافیایی مناطق خشک. ۳ (۹-۱۰): ۱۶۹-۱۵۳.

- Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*, 7(1): 1-12.
22. Ayu, I. W., Sebayang, H. T. & Soemarno, P. S. (2018). Assessment of Rice Water Requirement by Using CROPWAT Model in Sumbawa Regency, West Nusa Tenggara, Indonesia. *VEGETOS* 31: 2. doi: 10.4172/2229-4473.1000409 Volume 31 Issue 2 1000409 Page 2 of 6. Source: Primary Data (2017). Parameter Value Texture Total moisture available Maximum infiltration rate Maximum depth of roots Availability of initial moisture Medium. 140, 3.
 23. Bannayan, M. & Eyshi Rezaei, E. (2014). Future production of Rainfed wheat in Iran (Khorasan province): climate change scenario analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(2): 211-227.
 24. Chahoon, J., Yonts, D. & Melvin, S. (2001). Estimating Effective Rainfall. Nebraska Extension Publications. 15 pp.
 25. Cosgrove, W. J. and Rijsberman, F. R. (2014). World water vision: making water everybody's business. Earthscan Publications Ltd, London. 142 p.
 26. Ewaid, S. H., Abed, S. A. & Al-Ansari, N. (2019). Crop Water Requirements and Irrigation Schedules for Some Major Crops in Southern Iraq. *Water*, 11(4), 756.
 27. Farajzadeh, M. (2002). Modelling wheat yield criteria agro in Wes Azerbaijan province. Tehran University. MA dissertation.
 28. Han, N., Lou, G., Wang, Y., Zhou, Q., Jin, J., Li, S. & Ye, L. (2016). Calculation of Effective Rainfall in the Spring Maize Growing Period. *International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture*. Springer, Cham.
 29. Kamali, Gh., Melani, P. & Behiar, M. (2010). Preparation of Dry Wheat Atlas of Zanjan Province Using Climatic and GIS Data. *Water and Soil Journal*, 24 (5): 894-907.
 30. Karandish, F., Mousavi, S. S. & Tabari, H. (2017). Climate change impact on precipitation and cardinal temperatures in different climatic zones in Iran: analyzing the probable effects on cereal water-use efficiency. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(8): 2121-2146.
 31. Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G. V., Ban, T. ... & Reynolds, M. (2008). Climate change: can wheat beat the heat?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126(1-2): 46-58.
 ۱۳. کمالی، غ.، ملائی، پ. و بهیار، م. (۱۳۸۹). تهیه اطلس گندم دیم استان زنجان با استفاده از داده‌های اقلیمی و GIS. آب و خاک. ۲۴(۵): ۸۹۴-۹۰۷.
 ۱۴. کولانیان، ع. و سفید کوهی، م. ع. (۱۳۹۱). معرفی بهترین روش تعیین روش تعیین باران مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
 ۱۵. لاریجانی، ش.، سالاریان، م.، علیزاده، ا. و سهرابی، ت. (۱۳۹۶). صحت‌سنجی روابط تعیین بارش مؤثر در مناطق پرباران و کم‌باران ایران (مطالعه موردی: رشت و داران). اکوهیدرولوژی. ۴ (۳): ۸۲۵-۸۳۶.
 ۱۶. لشکری، ح.، کیخسروی، ق. و رضایی، ع. (۱۳۸۷). تحلیل کارایی مدل CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب و روانسر. مدرس علوم انسانی. ۱۳ (۱): ۲۷۰-۲۴۸.
 ۱۷. مجرد، ف.، قمرنیا، ه. و نصیری، ش. (۱۳۸۴). برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۴: ۷۶-۵۹.
 ۱۸. مولوی، ح.، لیاقت، ع. و نظری، ب. (۱۳۹۵). ارزیابی سیاست‌های اصلاح الگوی کشت و مدیریت کم‌آبایی با استفاده از مدل‌سازی پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز ارس). مدیریت آب و آبیاری. ۶ (۲): ۲۳۶-۲۱۷.
 19. Adnan, Sh. & Hayat Khan, A. (2009). Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6(11): 61-72.
 20. Ahmadauli, KH. (2013). Development of virtual water transfer model for correction of cropping pattern and optimal use of agricultural water in the country. University of Tehran. Ph. D. dissertation
 21. Ali, M. H. & Mubarak, S. (2017). Effective rainfall calculation methods for field crops: An

32. Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. & Fereres, E. (2016). Reference Manual Aquacrop Version 5.0 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
33. Rahman, M. M., Islam, M. O. & Hasanuzzaman, M. (2008). Study of effective rainfall for irrigated agriculture in south-eastern part of Bangladesh. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(4): 453-457.
34. Tavakoli, A. R., Moghadam M. M. & Sepaskhah, A. R. (2015). Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rainfed condition in Iran. *Agricultural Water Management*, 161: 136-146.
35. Vaghefi, S. A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H. & Abbaspour, K. C. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*, 9(1): 1464.
36. Verma, R., Gangwar, A., Kumar, M. & Verma, R. K. (2019). Study on Water Requirement of Rice Using CROPWAT Model for Lucknow Division of Uttar Pradesh. *Journal of AgriSearch*, 6(1), 44-49.