

## بررسی و برآورد بارش موثر در کشت گندم - مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد اصفهان

سید مسعود مصطفوی دارانی<sup>۱\*</sup>، مهرداد نصر اصفهانی<sup>۲</sup>، عبدالحسین محمودزاده<sup>۳</sup>

۱-دکترای اقلیم شناسی کشاورزی، اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی اصفهان

۲-دکترای اقلیم شناسی کشاورزی، اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد

۳-کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴، انتشار آنلاین: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴)

### چکیده

شهرستان اصفهان به علت موقعیت جغرافیایی، وابستگی شدید به رودخانه زاینده رود و آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف از جمله کشاورزی، در سالیان اخیر با محدودیت منابع آبی روبرو بوده است. این در حالی است که طبق آمار موجود، بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی کشور به مصارف بخش کشاورزی اختصاص دارد. محاسبه بارش مؤثر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت منابع آبی روبرو می باشند، بسیار حائز اهمیت می باشد. در این پژوهش برآورد بارش مؤثر در کشت گندم در سال زراعی ۹۵-۹۴ به روش مستقیم (میدانی) رامداس انجام گردید و نتایج به دست آمده با شش روش تجربی (فرمولی) رنفرو، اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)، نسبت تبخیر و تعرق به بارش، روش سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)، فائو (FAO/AGLW) و درصدی از طریق آزمون‌های نکویی برازش خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، خطای جذر میانگین مربعات نرمال (NRMSE) و خطای میانگین مطلق (MAE) مقایسه گردید.

نتایج پژوهش بیانگر آن است که روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش و روش سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (SCS) به ترتیب با مقادیر آماره‌های خطای جذر میانگین مربعات مطلق ۰/۳۱ و ۰/۷ و خطای جذر میانگین مربعات نرمال ۰/۳۱ و ۰/۷ و همچنین خطای میانگین مطلق ۰/۱۱ و ۰/۴۵ به ترتیب اولویت به عنوان روش‌های فرمولی جهت استفاده در منطقه کبوترآباد (شهرستان اصفهان) قابل توصیه می باشند.

**کلمات کلیدی:** بارش مؤثر، رامداس، رنفرو، روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده، روش اداره حفاظت خاک ایالات متحده، نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارندگی

### مقدمه

استان اصفهان و به خصوص شهرستان اصفهان به علت موقعیت جغرافیایی، وابستگی شدید به رودخانه زاینده رود و آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف از جمله کشاورزی، در سالیان اخیر با محدودیت منابع آبی روبرو بوده است. در وضعیت موجود در حدود ۸۷ میلیارد مترمکعب یا بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی کشور به مصارف بخش کشاورزی اختصاص دارد. با این وجود راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی بسیار پائین بوده و در مجموع ۶۴ درصد آب کشاورزی به هدر می رود (میراب، ۱۳۸۳). این در حالی است که شدت تبخیر در مناطق مرکزی ایران از جمله حوضه‌های موجود در استان اصفهان به مراتب شدیدتر می باشد. در این مناطق پتانسیل تبخیر به چندین برابر میزان بارش سالیانه می رسد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۷۶). محاسبه باران موثر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت منابع آبی روبرو می باشند، از اهمیت بسزائی برخوردار است. مفهوم باران موثر در علوم مختلف متفاوت می باشد. به طور مثال یک متخصص آب های زیرزمینی آن بخشی از بارش که باعث افزایش ذخیره آب‌های زیرزمینی می گردد را به عنوان بارش موثر در نظر می گیرد یا برای یک متخصص آب‌های سطحی آن قسمت از بارش که به رواناب تبدیل می شود، اهمیت دارد از نقطه نظر علم هواشناسی کشاورزی، باران موثر تنها قسمتی از کل بارندگی سالانه می باشد که در تولید محصولات زراعی و باغی موثر واقع می شود. به عبارتی

استان اصفهان و به خصوص شهرستان اصفهان به علت موقعیت جغرافیایی، وابستگی شدید به رودخانه زاینده رود و آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف از جمله کشاورزی، در سالیان اخیر با محدودیت منابع آبی روبرو بوده است. در وضعیت موجود در حدود ۸۷ میلیارد مترمکعب یا بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی کشور به مصارف بخش کشاورزی اختصاص دارد. با این وجود راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی بسیار پائین بوده و در مجموع ۶۴ درصد آب کشاورزی به هدر می رود (میراب، ۱۳۸۳). این در حالی است که شدت تبخیر در مناطق مرکزی ایران از جمله حوضه‌های موجود در استان اصفهان به مراتب شدیدتر می باشد. در این مناطق

سطحی و یا نفوذ در عمق خاک از دسترس گیاه خارج می‌گردد بارش مؤثر به حساب نمی‌آید. اما نفوذ آب در عمق خاک به دو عامل بافت خاک و مقدار رطوبت خاک قبل و بعد از بارش بستگی دارد.

رحمان و همکاران (۲۰۰۸) با پنج روش محاسبه بارش مؤثر، معادله رنفرو، روش اداره احیای اراضی ایالات متحده، نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش و روش‌های SCS و USDA به بررسی بارش مؤثر برای زراعت آبی در جنوب شرق بنگلادش اقدام نمودند. در این پژوهش آن‌ها با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های کلیماتولوژی به برآورد بارش مؤثر برای دو فصل رویشی بهار و پاییز پرداختند. طی این بررسی مشاهده کردند که درصد بارش مؤثر برای فصل پاییز توسط معادله رنفرو از ۱۳/۹۴٪ در تکناف تا ۴۷/۲۷٪ در ایستگاه چاندپور تغییر می‌کند و در استفاده از روش U.S.B.R (اداره احیای اراضی ایالات متحده) از ۱۸/۷۹٪ در ایستگاه تکناف تا ۴۹/۳۳٪ در ایستگاه چاندپور تغییر می‌کند و با بهره‌گیری از نسبت تبخیر و تعرق به بارش این مقادیر از ۵۲/۹۴٪ در سندوپ تا ۱۰۰٪ در چندین ایستگاه تغییر می‌کند همچنین طبق روش‌های SCS و USDA مقادیر بارش مؤثر در فصل پاییز از ۲۲/۵۸٪ در تکناف تا ۶۴/۱۱٪ در ایستگاه چاندپور تغییر می‌کند. این در حالی بود که درصد بارش مؤثر در فصل بهار از ۶۳/۳۰٪ در چیتاگونگ تا ۷۶/۷۹٪ در مای زدی کورت به وسیله روش‌های USDA و SCS قابل تشخیص بود و براساس یافته‌های این تحقیق هرچه فاصله از دریا بیشتر گردد، مقدار درصد بارش مؤثر نیز بیشتر می‌شود.

شهزادا و حیات خان (۲۰۰۸) در بررسی بارش مؤثر دشت‌های کشاورزی آبی پاکستان با بکارگیری چهار روش معادله رنفرو، SCS و USBR، USDA دریافتند که معادله رنفرو برای دوره‌های کوتاه مدت مناسب نیست و روش USBR را برای مناطقی که دارای بارش سنگین

باران مؤثر قسمتی از کل بارندگی است که به طور مستقیم نیاز رطوبتی گیاه را تأمین کند. در دیمکاری باران مؤثر مقداری از بارندگی است که بتواند برای محصول بعد از آیش در خاک ذخیره شود. بارش‌های انجام شده در مناطق مختلف الزاماً مفید نمی‌باشد و مقداری از آن به هدر می‌رود و حتی می‌تواند ویرانگر باشد.

یکی از کامل‌ترین تعاریف بارش مؤثر توسط داستن (۱۹۶۶) به صورت زیر بیان شده است.

بارش مؤثر به قسمتی از باران سالیانه یا فصلی گفته می‌شود که در محل ریزش به طور مستقیم یا غیر مستقیم (بدون استفاده از پمپاژ) برای تولید محصول مفید واقع می‌شود. در این تعریف از ابتدای اولین عملیات زراعی تا آخرین آن (آخر فصل آبیاری و برداشت محصول) مورد نظر است (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲).

محاسبه و برآورد باران مؤثر در مدیریت منابع آبی، تعیین نیاز آبی، پایش خشکسالی کشاورزی، استفاده بهینه از آب در کشاورزی، تعیین الگوهای کشت و پروژه‌های زهکشی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به وقوع خشکسالی‌های کشاورزی طی سالیان اخیر و محاسبه میزان بارش مؤثر در درک شدت خشکسالی کشاورزی، پژوهش حاضر حائز اهمیت می‌باشد.

اگروسکی و موکوس (۱۹۶۴) باران مؤثر را معادل کل بارش فصل رشد منهای آنچه که پس از اشباع خاک یا آبیاری و به صورت آب مازاد در اثر فرونشست یا به صورت رواناب از دسترس خارج می‌شود، در نظر گرفتند اما حتی پس از بدرپاشی و برای آماده‌سازی زمین نیز آب مورد نیاز است که در این تعریف در نظر گرفته نشده است. بنا به نظر هرشفیلد (۱۹۶۴) باران مؤثر آن بخشی از کل بارانی است که در طی فصل رشد جوابگوی نیازهای آبی گیاهان می‌باشد.

اسنایدر (۲۰۰۱) بیان می‌دارد که بارش مؤثر طی دوره رشد گیاه رخ می‌دهد. وی معتقد است که مقداری از بارش که به وسیله گیاهان در منطقه ریشه جذب و مصرف می‌شود، قسمت مؤثر بارش است و بارشی که به صورت رواناب

در حوزه دریاچه نمک پرداختند. ایشان اعلام نمودند که روش حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا<sup>۱</sup> به دلیل اتکا صرف به داده های تبخیر و تعرق بالقوه، ضریب گیاهی، بارش و عمق آبیاری و فاقد محدودیت های مکانی مناسب ترین روش محاسبه بارش مؤثر در حوضه مذکور می-باشد. آنان همچنین اذعان داشتند که در روش رنفرو میزان بارش موثر از کل بارش بیشتر محاسبه می گردد و به دلیل مخالفت آن با قانون بقای ماده، روش مذکور در حوزه دریاچه نمک قابل استفاده نمی باشد. خالقی (۱۳۹۴) ضمن مقایسه روش های فرمولی برآورد بارش موثر در تعدادی از پژوهش-های انجام شده در کشور، اعلام نمود که در مناطق خشک و نیمه خشک، روش های نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارندگی و اداره حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا مناسب ترین روش می باشند.

این پژوهش در نظر دارد ضمن برآورد باران موثر به روش های مختلف تجربی و تئوری (فرمولی) و روش مستقیم رامداس، با توجه به محاسن و معایب آنها و با در نظر گرفتن امکانات موجود و استفاده از آزمایشات میدانی در ایستگاه تحقیقاتی هواشناسی کشاورزی کبوترآباد به روش مناسب به محاسبه باران موثر در کشت گندم در منطقه اصفهان بپردازد.

بودند، پیشنهاد کردند. این در حالی بود که روش های SCS و USDA را برای مناطق با شدت بارش کم مناسب تشخیص دادند. علاوه بر این در طی مشاهدات خود پی بردند که با افزایش فاصله دریا از مقدار بارش مؤثر کاسته می شود مگر در مناطق شمالی که این روند معکوس می باشد.

عزیزی (۱۳۷۹) با استفاده از روش SCS به بررسی بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم در دشت خرم آباد پرداخت و پس از بررسی دریافت که در میان ماه های مورد بررسی (اکتبر تا مه)، حداکثر باران مؤثر در ماه مارس دریافت شده که برابر با ۱۱٪/۴ کل باران مؤثر سالانه بوده است.

موقر و گلیمکانی (۱۳۸۱) در مقاله ای تحت عنوان محاسبه و پایش باران مؤثر در سیستم های آبیاری به محاسبه بارش مؤثر بارش های سال زارعی ۸۱ - ۸۰ به چهار روش، در استان خراسان پرداختند و در نهایت با تجزیه و تحلیل آماری روش مناسبی انتخاب نمودند. آنان در این بررسی دریافتند که اثرات بارش های جوی در زمستان بر منابع آبی بیشتر از سایر فصول است و این اثرات در نواحی شمالی استان بیشتر از سایر نواحی مشهود است.

خوشحال و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی برآورد مناسب ترین شیوه محاسبه بارش موثر برای کشت گندم پائیزه

## ۱- داده ها و روش کار

با توجه به اینکه پژوهش حاضر به صورت میدانی می باشد و همچنین با توجه به امکانات آزمایشگاهی مناسب و سابقه فعالیت های تخصصی هواشناسی کشاورزی، انجام آن در محل اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی واقع در ۲۴ کیلومتری شرق اصفهان مورد توجه قرار گرفت (شکل ۱). بافت خاک اراضی اطراف ایستگاه رسی لومی و اسیدیته آن ۸/۷ می باشد. مساحت شهرستان اصفهان ۱۵۷۰۶ کیلومتر مربع است که ۱۴/۷ درصد از سطح استان را به خود اختصاص می دهد (سالنامه آماری شهرستان اصفهان، ۱۳۹۱). کل اراضی قابل کشت آن

۱۹۲۹۷۶ هکتار و مهم ترین محصولات زراعی این شهرستان شامل: گندم، جو، یونجه، ذرت، پنبه، پیاز، سیب زمینی می باشد.

نوع مطالعه و روش بررسی فرضیه ها به صورت میدانی و تجربی (تئوریک) و مراحل اجرایی تحقیق به طور خلاصه به شرح زیر است.

- دریافت اطلاعات آب و هوایی روزانه از ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد شامل: دما، بارش، رطوبت نسبی، باد، ساعات آفتابی، تبخیر در طی دوره رشد محصول گندم

<sup>1</sup> -SCS: US Soil Conservation Organization

جهت هواگیری مجاری زهکش مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که طراحی مینی لایسیترها بر اساس روش رامداس انجام شد به نحوی که قطر مینی لایسیترها ۳۰ سانتیمتر و عمق آن نیز ۴۵ سانتیمتر برابر با عمق موثر توسعه ریشه گندم در نظر گرفته شد. مینی لایسیترها در وسط کرت‌های آزمایشی نصب گردیدند و جهت جلوگیری از نفوذ آب کرت‌های مربوطه، لبه مینی لایسیترها ۵ سانتیمتر بالاتر از سطح خاک در نظر گرفته شد (اشکال ۲ تا ۴). نیازهای غذایی گیاه طی مراحل رشد به میزان کافی با استفاده از کودهای مورد نیاز تأمین گردید به نحوی که آثار کمبود عناصر غذایی در هیچ یک از کرتها مشاهده نشد. با این وجود ذکر این نکته ضروری است که قطعه زمین مورد آزمایش طی سالیان طولانی به صورت آیش بود. میزان کود ازته مورد نیاز به صورت کود اوره و به میزان مساوی طی دو مرحله کاشت و به ساقه‌رفتن تأمین گردید. میزان کود فسفر مورد نیاز به صورت کود سوپرفسفات<sup>۱</sup> قبل از کاشت تأمین گردید و به علت غنی بودن خاک از پتاسیم، کود پتاس مورد استفاده قرار نگرفت. طی دوره رشد، علف‌های هرز مزارع با استفاده از روش مکانیکی و آفات و بیماری‌ها نیز به روش‌های شیمیایی کنترل گردید. آلودگی به آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز در طی دوره رشد مشاهده نگردید. کاشت بذور توسط دست در کرتها و مینی لایسیترها انجام شد و میزان بذر مورد استفاده ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار با در نظر گرفتن جوانه زنی ۹۰ درصد و وزن هزار دانه ۳۸/۶ گرم و تراکم تقریبی ۱۵۵ گیاه در هر متر مربع بود.

- نصب ۱۲ عدد مینی لایسیتر (۱۲ تکرار) در ۱۲ کرت آزمایشی محصول گندم رقم پیش‌تاز  
- کاشت گندم در ۱۲ کرت آزمایشی، داشت و برداشت آن به همراه ثبت مراحل رشد فنولوژیک

- دریافت اطلاعات لازم جهت انجام تحقیق شامل: میزان ورودی آب به کرت‌های آزمایشی و مینی لایسیترها، میزان آب خروجی از مینی لایسیترها در طی دوره رشد محصول  
- اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در مینی لایسیترها در طی دوره رشد  
- تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی



## ۱-۲- عملیات زراعی - آزمایشی

گیاه گندم رقم پیش‌تاز در سال زراعی ۹۵-۹۴ در ۱۲ کرت آزمایشی نزدیک به پلانفرم ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد کاشته شد. جهت برآورد میزان بارش موثر در کشت گندم، روش رامداس مورد استفاده قرار گرفت. در این روش با نصب مینی لایسیتر از جنس پلی اتیلن در ۱۲ کرت آزمایشی (۱۲ تکرار) به ابعاد ۲×۲ متر و نصب لوله‌های زهکش جهت اندازه‌گیری میزان آب خروجی از مینی لایسیترها، بیلان آبی محصول گندم کاشته شده مورد بررسی قرار گرفت.

شیب لوله‌های زهکش ۵ درصد در نظر گرفته شد. جهت ممانعت از انسداد لوله‌های زهکش، نصب لوله‌های هواکش

- تغییرات رطوبت خاک
- روش بیلان روزانه رطوبت خاک
- باران سنج تجمعی
- روش رامداس
- لایسیمتر
- روش درام برای برنج
- ۲-۲-۲- روش های مبتنی بر فرمول

- معادله رنفرو
- روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده
- روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش هندوستان
- روش وزارت کشاورزی ایالات متحده
- روابط تجربی

#### روش های اندازه گیری مستقیم

##### تغییرات رطوبت خاک

امکان محاسبه میزان آب موجود در منطقه ریشه از طریق نمونه برداری رطوبت خاک قبل و بعد از هر بارش وجود دارد. افزایش رطوبت خاک علاوه بر هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق (تبخیر و تعرق واقعی) از زمان آغاز بارش تا زمان نمونه برداری خاک، میزان بارش موثر می باشد. پس از بارش - های سنگین در دوره های کوتاه مدت از آغاز بارش تا زمان نمونه برداری خاک، تبخیر و تعرق انجام شده را می توان در حد تبخیر و تعرق پتانسیل در نظر گرفت. بر اساس سند آبیاری و زهکشی سازمان خوار و بار جهانی (شماره ۲۴ - سال ۱۹۷۴) مقدار تبخیر و تعرق مذکور را می توان با استفاده از ضریب ۰/۴ تا ۰/۸ از تشت تبخیر کلاس A به دست آورد.

$$ER = M2 - M1 + KpE$$

ER = بارش موثر =

E0 = تبخیر از تشت تبخیر =

وضعیت رطوبت خاک در منطقه ریشه قبل و پس از بارش M2 و M1 از بارش =

Kp = ضریب تشت تبخیر =

در روش فوق خصوصیات گیاهی و خاک در نظر گرفته می شوند. همچنین روشی ساده و با صحت بالا می باشد ولی به علت تغییرات خاک و خطای نمونه برداری ۵ تا ۴۰ درصد خطا دارد.



شکل ۲- مینی لایسیمترهای طراحی شده قبل از نصب در کرت های آزمایشی



شکل ۳- مینی لایسیمترهای نصب شده در کرت های آزمایشی



شکل ۴- نمای کلی از کرت های آزمایشی در مرحله ساقه رفتن گندم

#### ۲-۲- روش های اندازه گیری بارش موثر و مزایا و

##### معایب آنها

سازمان خوار و بار جهانی (فائو) روش های اندازه گیری بارش موثر را به طور کلی به ۲ روش عمده اندازه گیری مستقیم و فرمولی تقسیم می نماید (سایت فائو). لازم به ذکر است که در برخی از منابع روش های مبتنی بر بیلان آب خاک به عنوان روشی جداگانه ارائه گردیده اند:

#### ۱-۲-۲- روش های اندازه گیری مستقیم

محاسبات می‌تواند براساس تبخیر و تعرق پتانسیل انجام شود. در کشاورزی دیم یا شرایط کم آبیاری که رطوبت خاک به کمتر از آب سهل الوصول کاهش می‌یابد، محاسبات می‌بایست براساس تبخیر و تعرق واقعی انجام گردد. محاسبه تبخیر و تعرق واقعی می‌تواند با استفاده از روش تورنت وایت و متر<sup>۱</sup> (۱۹۵۵)، بایر و رابرتسون<sup>۲</sup> (۱۹۶۶) یا رابطه مابین تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل تحت شرایط کاهش رطوبت خاک (تنتر<sup>۳</sup>-۱۹۶۷) صورت پذیرد.

#### ۵-۲- روش‌های مورد استفاده جهت محاسبه بارش موثر در پژوهش حاضر

در پژوهش حاضر ۶ روش فرمولی شامل روش‌های رنفرو، اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)، نسبت تبخیر و تعرق به بارش، سرویس حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)، فائو (FAO/AGLW)، درصدی مورد بررسی قرار گرفت و واسنجی آنها با روش اندازه‌گیری مستقیم رامداس مد نظر قرار گرفت.

روش‌های مورد استفاده جهت محاسبه بارش موثر در منطقه مطالعاتی به شرح جدول شماره (۱) می‌باشد. محاسبه بارش موثر به روش‌های مندرج در ردیف‌های ۴ تا ۶ با استفاده از نرم افزار کراپ وات (CROPWAT) انجام گردید.

نیاز به نیروی کار زیاد و زمان بر بودن نیز از معایب این روش می‌باشد. استفاده از دستگاه نوترون متر می‌تواند جهت رفع مشکل مذکور مفید باشد اما برای محاسبات روزانه هزینه بر بوده و خطای نمونه برداری نیز دارد.

#### روش بیلان روزانه رطوبت خاک

بیلان روزانه رطوبت خاک همانند حساب بانکی است به این معنی که بارش و آبیاری مشابه بستنکاری و تخلیه رطوبت خاک مشابه بدهکاری می‌باشد. اطلاع دقیق از وضعیت رطوبتی خاک در حالت ظرفیت زراعی از ضروریات این روش می‌باشد. میزان رطوبت خاک به هر میزانی بیشتر از ظرفیت مذکور به عنوان نفوذ عمقی و یا رواناب در نظر گرفته می‌شود. هنگامی که بیلان به صفر می‌رسد، تخلیه بیشتر به عنوان کمبود رطوبت در نظر گرفته می‌شود. بارش و آبیاری به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند در حالی که تبخیر و تعرق از طریق فرمول‌های متعدد موجود محاسبه می‌گردد. در کشاورزی فاریاب، اجازه داده نمی‌شود که میزان رطوبت خاک از مقدار مشخصی که محدودکننده تولید گیاه می‌باشد، کاهش یابد. هنگامی که میزان آب خاک از پائین‌ترین حد آب سهل الوصول کاهش می‌یابد، آبیاری انجام می‌شود. در نتیجه

جدول ۱- روش‌های مورد استفاده جهت محاسبه بارش موثر در منطقه مطالعاتی (سال زراعی ۹۵-۹۴)

ردیف	روش	فرمول
۱	رنفرو	$ER = E \times R_g + A$ بارش موثر = ER بارش طی فصل رشد = $R_g$ میانگین آب آبیاری مصرفی = A نسبت آب مصرفی گیاه به بارش طی فصل رشد = E
۲	اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)	$ER = R(125 - 0.2R) / 125$ ( $R < 250\text{mm}$ ) $ER = 125 + 0.1 * R$ ( $R > 250\text{mm}$ ) بارش موثر هر ماه بر حسب میلی متر = ER بارش هر ماه بر حسب میلی متر = R
۳	نسبت تبخیر و تعرق به بارش	$\frac{ET}{R}$ تبخیر و تعرق = ET بارش = R
۴	روش SCS	$Pe = Fd(1.253P^{0.824} - 2.935) \times 10^{0.000955ETC}$ بارش موثر ماهانه = Pe

3 Tanner (1967)

1 Thornthwaite and Mather (1955)

2 Baier and Robertson (1966)

مجموع بارش هر ماه = P مجموع تبخیر و تعرق هر ماه = ETC ضریب وابسته به عمق آبیاری = Fd		
$P_e = 0.6 * P - 10$ $P_{month \leq 70mm}$ $P_e = 0.7 * P - 24$ $P_{month \geq 70mm}$	فائو (FAO/AGLW)	۵
$P_e = \% 80 * R$ بارش موثر = R	درصدی	۶

## نتایج و بحث

(CU/Rg) برابر با مقدار ۱۶/۷ می باشد که در جدول مربوطه (جدول شماره ۱) تعریف نشده است. در طی فصل رشد، میزان تبخیر و تعرق واقعی ۷۲۳/۷ میلی متر و میزان بارش ۴۳/۴ میلی متر بود. میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم در طی فصل رشد با ثبت مراحل فنولوژیکی گیاه و اعمال ضرایب گیاهی مربوطه مورد محاسبه قرار گرفت. در این پژوهش از کاشت تا ۷۵ درصد سبز شدن به عنوان مرحله ابتدایی رشد، از سبز شدن تا انتهای گلدهی به عنوان مرحله رشد و توسعه، گلدهی تا رسیدن به عنوان مرحله میانی و رسیدن تا برداشت به عنوان مرحله پایانی در نظر گرفته شد (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). ضرایب گیاهی برای مرحله اولیه رشد، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۷، ۰/۹، ۱/۱۵ و ۰/۴ در نظر گرفته شد (نشریه فائو).

$$(CU/Rg) = 16/7$$

از طرف دیگر میزان بارش موثر محاسبه شده بیش از میزان بارش اتفاق افتاده می باشد که این امر دلالت بر عدم توانایی مدل رنفرو در محاسبه بارش موثر و نقض قانون بقای جرم در منطقه مورد مطالعه دارد. نتایج مذکور با نتایج پژوهش خوشحال و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی داشت.

### ۳-۲- اداره احياء اراضي ایالات متحده

(USBR)

به طور کلی روش های اندازه گیری مستقیم میزان بارش موثر دارای دقت بالایی هستند ولی بسیار وقت گیر و پرهزینه می باشند. از روش های اندازه گیری مستقیم جهت واسنجی روش های تجربی استفاده می شود (فرشی، ۱۳۸۲). در میان روش های مذکور، روش رامداس ساده تر و کم هزینه تر و دارای قابلیت کاربرد بیشتری است که در این پژوهش با هدف ارزیابی سایر روش ها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج حاصل از آزمایش مزرعه ای (روش رامداس) در فصل زراعی ۹۵-۹۴ در اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد بر روی محصول گندم و محاسبات مربوط به روش های فرمولی ابتدا مورد بررسی و سپس مورد مقایسه قرار گرفتند.

گیاه گندم در تاریخ ۱۹ نوامبر ۲۰۱۵ کاشته شد و اتمام مراحل سبز شدن، ۳ برگگی<sup>۱</sup>، پنجه زنی<sup>۲</sup>، طویل شدن ساقه<sup>۴</sup>، آبستنی<sup>۵</sup>، گلدهی<sup>۶</sup>، شیری<sup>۷</sup> و رسیدگی فیزیولوژیکی<sup>۸</sup> را به ترتیب با طی ۲۴، ۶۱، ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۵۶، ۱۶۶، ۱۹۰ و ۲۰۳ روز پس از کاشت و برداشت نیز ۲۲۵ روز پس از کاشت (۳۰ ژوئن ۲۰۱۶) انجام شد.

### ۳-۱- روش رنفرو

انجام محاسبات بر اساس فرمول مربوطه

$$(ER = E \times Rg + A)$$

مصرفی گیاه (تبخیر و تعرق) به باران فصل رشد

<sup>5</sup> Booting

<sup>6</sup> Flowering

<sup>7</sup> Milky stage

<sup>8</sup> Physiological maturity

<sup>1</sup> Emergence

<sup>2</sup> 3leaf stage

<sup>3</sup> Tillering

<sup>4</sup> Stem elongation

در این روش میانگین بارش ماهانه ۵ ساله مد نظر قرار می گیرد. با توجه به اینکه فصل رشد گیاه گندم مورد مطالعه از ماه نوامبر ۲۰۱۵ لغایت ژوئن ۲۰۱۶ بود، بارش ۵ ساله ۹۵ درصد بارش اتفاق افتاده می باشد (جدول ۲).

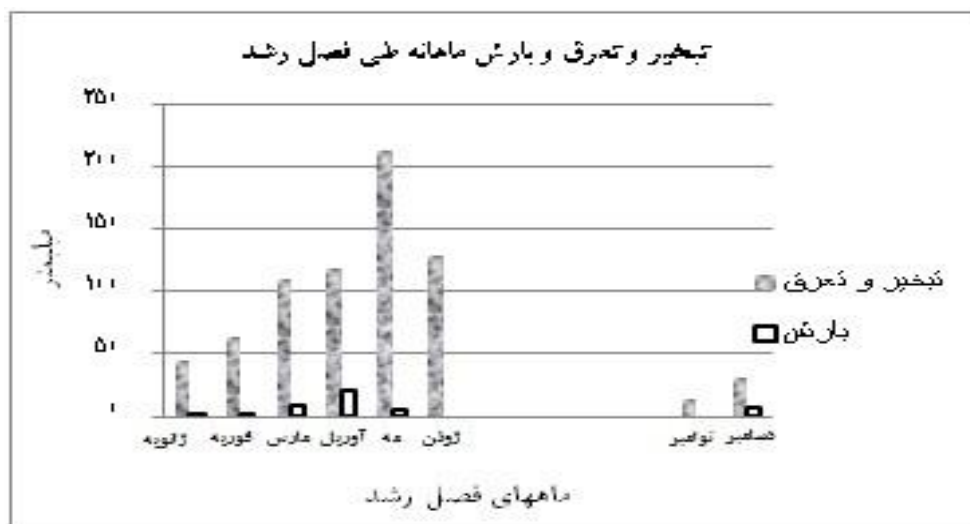
جدول ۲- بارش موثر محاسبه شده طی فصل رشد به روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده (سال زراعی ۹۵-۹۴)

بارش موثر	میانگین	۲۰۱۶	۲۰۱۵	۲۰۱۴	۲۰۱۳	۲۰۱۲	۲۰۱۱
۸۰٪	۳۰/۵	۳/۶	۱/۷	۲۴/۶	۱۹/۵	۴۰/۶	۶۶
۹۵٪	۱۱/۹	۵/۷	۶/۷	۱/۲	۰/۵	۵۱	۰
۹۵٪	۷/۴	۰/۴	۰/۱	۳۳	۳/۶	۰	۶/۴
۹۵٪	۵/۸	۰/۴	۳/۹	۳/۱	۰/۵	۲۱/۲	۱۹
۹۵٪	۲۱/۸	۹/۷	۲۰/۶	۵۴/۳	۱۶/۲	۸/۲	۱۸/۶
۹۵٪	۱۶/۹	۲۱/۵	۶/۵	۱۲/۶	۱۷/۹	۲۵/۹	۵/۷
۹۵٪	۵/۴	۴/۷	۲/۴	۳/۲	۱۱	۵/۵	۳
۹۵٪	۱	۰	۰	۰/۳	۰	۴/۷	۰

### ۳-۳- روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش

قرار گرفت. شکل شماره (۴) مجموع میزان تبخیر و تعرق و بارش ماهانه را طی فصل رشد نشان می دهد. تنها در ۶ روز از دوره رشد ۲۲۵ روزه میزان بارش بیشتر از تبخیر و تعرق بود. براساس روش فوق الذکر، برای کلیه ماه های فصل رشد میزان بارش موثر ۱۰۰ درصد بارش وقوع یافته محاسبه گردید.

در این روش جهت تعیین دوره های مطالعه بارش، بافت خاک منطقه می بایست در نظر گرفته شود. لذا با توجه به اینکه خاک محل آزمایش لومی رسی و سنگین می باشد، دوره های ۱۰ روزه جهت محاسبه مورد استفاده قرار گرفت. تبخیر و تعرق پتانسیل به روش پنمن ماتیت فائو محاسبه گردید و ضرایب گیاهی نیز به شرح بیان شده در بخش مواد و روش ها، مد نظر



شکل ۴- مجموع میزان تبخیر و تعرق و بارش ماهانه طی فصل رشد (سال زراعی ۹۵-۹۴)

### ۳-۴- روش اداره حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)

بارش موثر در این روش با استفاده از تبخیر و تعرق ماهانه، بارش ماهانه و عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری برآورد می‌گردد. بارش موثر محاسبه شده به روش مذکور به صورت ماهانه در جدول شماره (۳) قابل مشاهده می‌باشد. بر اساس این روش حدود ۹۸ درصد بارش اتفاق افتاده موثر بوده است.

اداره حفاظت خاک ایالات متحده بر مبنای اقلیم و رطوبت خاک روشی را جهت برآورد بارش موثر ارائه داده است. این روش در سال ۱۹۶۷ و با استفاده از اطلاعات ۵۰ ساله ۲۲ ایستگاه هواشناسی به دست آمده است (فرشی، ۱۳۸۲).

جدول ۳- بارش موثر ماهانه محاسبه شده به روش SCS (سال زراعی ۹۵-۹۴)

ماه	بارش (میلی متر)	بارش موثر (میلی متر)
ژانویه	۰/۴	۰/۴
فوریه	۰/۴	۰/۴
مارس	۹/۷	۹/۵
آوریل	۲۱/۵	۲۰/۸
مه	۴/۷	۴/۷
ژوئن	۰	۰
ژوئیه	-	-
اوت	-	-
سپتامبر	-	-
اکتبر	-	-
نوامبر	۱/۷	۱/۷
دسامبر	۶/۷	۶/۶
کل	۴۵/۱	۴۴/۱

### ۳-۵- روش فائو (FAO/AGLW)

مواردی که ۸۹ درصد احتمال وقوع مورد نیاز است، کاربرد دارد (پونگپینیوپاپ، ۲۰۱۲). جدول شماره (۴) مقادیر ماهانه بارش موثر و مقادیر کلی آنرا طی فصل رشد نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج آزمایشات و تحلیل‌های انجام شده در اقلیم‌های مختلف خشک و نیمه خشک، فرمولی تجربی توسط سازمان خواروبار جهانی ارائه گردید (جدول شماره ۴). این فرمول به خصوص برای مقاصد طراحی و در

جدول ۴- بارش موثر ماهانه محاسبه شده به روش فائو (سال زراعی ۹۵-۹۴)

ماه	بارش (میلی متر)	بارش موثر (میلی متر)
ژانویه	۰/۴	۰
فوریه	۰/۴	۰
مارس	۹/۷	۰
آوریل	۲۱/۵	۲/۹
مه	۴/۷	۰
ژوئن	۰	۰
ژوئیه	-	-
اوت	-	-
سپتامبر	-	-
اکتبر	-	-
نوامبر	۱/۷	۰

دسامبر	۶/۷	۰
<b>کل</b>	<b>۴۵/۱</b>	<b>۲/۹</b>

### ۳-۶- روش درصدی

گرفته می‌شود (جدول ۵). بدین ترتیب با استفاده از این

روش، بارش موثر محاسبه شده ۳۶ میلی‌متر می‌باشد.

در این روش نیز که توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو)

ارائه شده است، بارش موثر ۸۰ درصد بارش ماهانه در نظر

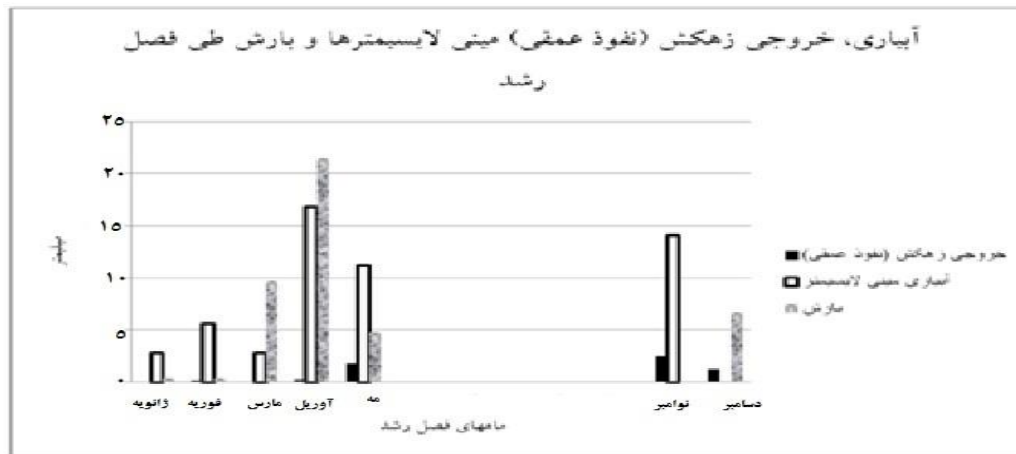
جدول ۵- بارش موثر ماهانه محاسبه شده به روش درصدی (سال زراعی ۹۵-۹۴)

ماه	بارش (میلی‌متر)	بارش موثر (میلی‌متر)
ژانویه	۰/۴	۰/۳۲
فوریه	۰/۴	۰/۳۲
مارس	۹/۷	۷/۷۶
آوریل	۲۱/۵	۱۷/۲
مه	۴/۷	۳/۷۶
ژوئن	۰	۰
ژوئیه	-	-
اوت	-	-
سپتامبر	-	-
اکتبر	-	-
نوامبر	۱/۷	۱/۳۶
دسامبر	۶/۷	۵/۳۶
<b>کل</b>	<b>۴۵/۱</b>	<b>۳۶</b>

### ۳-۷- روش مستقیم رامداس

فصل رشد، بیشترین تعداد روزهای بارانی ۴ روز و حداکثر بارش روزانه ۱۶/۴ میلی‌متر در ماه آوریل اتفاق افتاد و نفوذ عمقی و زهکش حاصل از بارش تنها در ماه آوریل اندازه‌گیری گردید. سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده درخصوص آب زهکش‌ها، حاصل انجام آبیاری‌ها بود. با توجه به پراکنش زمانی و مکانی بارش، در صورت تکرار آزمایش طی چند سال، نتایجی با اعتبار بیشتر حاصل می‌گردید. با این وجود و با در اختیار داشتن آمار یک فصل زراعی، صحت سنجی روش‌های تجربی انجام گردید. شکل شماره (۵) میزان آبیاری و نفوذ عمقی (زهکش) مینی لایسیمترها و بارش انجام شده طی ماه‌های فصل رشد را نشان می‌دهد.

روش رامداس روشی میدانی و مبتنی بر انجام آزمایشات مزرعه‌ای می‌باشد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها بیان گردید، میزان آب ورودی به مینی لایسیمترها شامل آبیاری و بارش می‌باشد. همچنین آب خروجی شامل تبخیر و تعرق گیاهی و نفوذ عمقی (زهکش مینی لایسیمترها) در طی فصل رشد گیاه گندم محاسبه و اندازه‌گیری گردید. متأسفانه بارش قابل ملاحظه‌ای در طی فصل زراعی ۹۴-۹۵ انجام نشد به صورتی که کل بارش انجام شده طی ۸ ماه فصل رشد گیاه گندم ۴۵/۱ میلی‌متر بود. نکته قابل توجه آن است که در طی ۱۳ روز بارانی



شکل ۵- مجموع میزان آبیاری، نفوذ عمقی مینی لایسیترها و بارش ماهانه طی فصل رشد (سال زراعی ۹۵-۹۴)

$$RMSE = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

خطای جذر میانگین مربعات مطلق

$$RMSE = 100/M \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5}$$

خطای جذر میانگین مربعات نرمال

در روابط فوق:  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی و  $n$  تعداد مشاهدات و  $M$  میانگین متغیرهای مشاهداتی می‌باشند. مقادیر عددی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برای پیش‌بینی‌های کاملاً دقیق صفر بوده و با افزایش مغایرت بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده به طور فزاینده‌ای به سمت مقادیر مثبت میل می‌کند (ویلکز، ۲۰۰۶). خطای جذر میانگین مربعات نرمال (NRMSE) بر حسب درصد، معیاری جهت تعیین اختلاف نسبی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی می‌باشد. هنگامی که مقدار خطای جذر میانگین مربعات نرمال کمتر از ۱۰ درصد، بین ۱۰ و ۲۰ درصد، بین ۲۰ و ۳۰ درصد و بالاتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی به ترتیب عالی، خوب، قابل قبول و ضعیف در نظر گرفته می‌شود.

(جمیسون و همکاران، ۱۹۹۱). ویلموت و همکاران (۲۰۱۲) شاخص اصلاحی کارایی مدل (dr) را ارائه نمودند که بدون بعد بوده و بین ۱- تا ۱+ تغییر نموده و بیش از سایر شاخص‌های موجود قادر به نشان دادن صحت مدل می‌باشد.

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، در روش رامداس قسمتی از باران که در زهکش جمع می‌شود اندازه‌گیری و جزو باران غیر موثر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در کلیه ماه‌های فصل رشد بجز ماه آوریل، به علت آنکه زهکش حاصل از بارش وجود نداشت، میزان بارش موثر نزدیک به ۱۰۰ درصد می‌باشد و در ماه آوریل نیز با توجه به بیلان آبی موجود (مجموع بارش ۲۱/۵ میلی‌متر و زهکش ۰/۳ میلی‌متر)، میزان بارش موثر ۹۸/۶ درصد است. لذا می‌توان مشاهده نمود که نتایج حاصل از روش مستقیم رامداس تا حدودی با روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش و به میزان بیشتری با روش SCS همخوانی دارد.

### ۸-۳- مقایسه روش رامداس و مدل‌های تجربی

جهت صحت سنجی روش‌های تجربی با روش مستقیم از آزمون‌های نکوئی برازش شامل خطای جذر میانگین مربعات نرمال (NRMSE) و مطلق (RMSE) و خطای میانگین مطلق (MAE) استفاده گردید که نتایج حاصل در جدول شماره (۶) قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است که در کلیه موارد مقادیر مشاهداتی ( $O_i$ ) شامل مقادیر حاصل از روش رامداس و مقادیر پیش‌بینی شده ( $P_i$ ) شامل مقادیر حاصل از روش‌های تجربی می‌باشد.

$$MAE = n^{-1} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i|$$

خطای میانگین مطلق

آماره‌های خطای جذر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و خطای میانگین مطلق (MAE) در میان تمامی آماره‌های سنجنده کارایی های مدل ها، جزو بهترین‌ها می‌باشند زیرا میانگین اختلافات را در مقیاس مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده نشان می‌دهند (ویلما، ۱۹۸۲). خطای میانگین مطلق، میانگین حسابی قدر مطلق

اختلاف مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی می‌باشد. هنگامی که پیش‌بینی کاملاً دقیق است، مقدار آن برابر با صفر بوده و با افزایش اختلاف مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده، مقدار آن افزایش می‌یابد (ویلیکز، ۲۰۰۶). جدول شماره (۷) مقایسه میزان بارش واقعی و بارش موثر با روش‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۶- آزمون‌های نکویی برازش جهت مقایسه روش رامداس و مدل‌های تجربی (سال زراعی ۹۵-۹۴)

مدلهای تجربی	RMSE	NRMSE	MAE
رنفرو	n.s*	n.s	n.s
اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)	۵/۷۵	۵/۷۶	۶/۱۳
روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۱۱
سرویس حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۴۵
روش فائو (FAO/AGLW)	۷۷/۱۸	۷۷/۲	۹۹/۶
روش درصدی	۷۵/۱۵	۷۵/۲۳	۹۶/۸۷

\* غیر معنی دار از لحاظ آماری

جدول ۷- مقایسه میزان بارش واقعی و بارش موثر با روش‌های مورد مطالعه (سال زراعی ۹۵-۹۴)

بارش	روش درصدی	روش فائو	روش SCS	روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده	نوامبر
۱/۷	۱/۳۶	۰	۱/۷	۳۰/۵	۱/۷
۶/۷	۵/۳۶	۰	۶/۷	۱۱/۹	۶/۷
۰/۴	۰/۳۲	۰	۰/۴	۷/۴	۰/۴
۰/۴	۰/۳۲	۰	۰/۴	۵/۸	۰/۴
۹/۷	۷/۷۶	۰	۹/۷	۲۱/۸	۹/۷
۲۱/۵	۱۷/۲	۲/۹	۲۱/۵	۱۶/۹	۲۱/۵
۴/۷	۳/۷۶	۰	۴/۷	۵/۴	۴/۷
۰/۴	۰/۳۲	۰	۴/۷	۱	۰/۴

نمی‌باشد که نتیجه مذکور با نتایج پژوهش خوشحال و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. با توجه به آزمون‌های نکویی برازش ۳ گانه مورد بررسی مشخص گردید که روش‌های نسبت تبخیر و تعرق به بارش، سرویس حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)، اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)، درصدی و

#### ۴- نتیجه گیری

با عنایت به نتایج آزمون‌های نکویی برازش و مقایسه مقادیر بارش موثر حاصل از روش مستقیم رامداس با روش فرمولی (مدل‌های تجربی) مشخص می‌گردد که از میان روش‌های مورد بررسی، روش رنفرو قابل کاربرد

۴- با توجه به عدم احتساب بارش موثر در پایش خشکسالی کشاورزی، استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در این زمینه مد نظر قرار گیرد.

### منابع

۱- خالقی، ن. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد بارش موثر در کشاورزی، نشریه آب و توسعه پایدار، سال دوم، شماره ۲، ۵۸-۵۱.

۲- خوشحال دستجردی، ج و جوشنی، ع. (۱۳۹۱). برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش موثر برای کشت گندم پائیزه در حوزه دریاچه نمک، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره نهم و دهم، پائیز و زمستان ۱۳۹۱، ۱۶۹-۱۵۳.

۳- رحیمی، ج و همکاران. (۱۳۹۲). مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد بارش موثر در زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۳، ۳۱-۴۶.

۴- عزیزی، قاسم، (۱۳۷۹). برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد دشت خرم آباد)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹، ۱۲۳-۱۱۵.

۵- فرشی، ع.ا، و همکاران. (۱۳۸۲). مدیریت آب آبیاری در مزرعه، انتشارات کمیته ملی آبیاری وزهکشی، ۱۸۵ صفحه.

۶- مطالعات توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی استان اصفهان. (۱۳۷۶). انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، ۱۱۸.

۷- میراب. (۱۳۸۳). نشریه داخلی شرکت بهره برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان تهران، سال دوم، شماره ۴.

۸- سالنامه آماری شهرستان اصفهان سال ۱۳۹۰ (۱۳۹۱) ناشر استانداری اصفهان، دفتر آمار و اطلاعات و سامانه اطلاعات جغرافیایی، وبگاه <http://amar.ostan>

### es.ir

9-Baier, W. & Robertson, G.W. (1966), A new versatile soil moisture budget, Canada, J. Plant Sci. 46: 299-315.

روش فائو (FAO/AGLW) به ترتیب اولویت بیان شده مناسب‌ترین روش‌ها جهت محاسبه بارش موثر در منطقه کیوترا آباد اصفهان به‌شمار می‌روند. ولیکن با توجه به نتایج می‌توان اذعان نمود که دو روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش و سرویس حفاظت خاک ایالات متحده (SCS) به ترتیب مناسب‌ترین روش‌های فرمولی جهت محاسبه بارش موثر کشت گندم در منطقه کیوترا آباد می‌باشند. نتایج مذکور با نتایج حاصل از پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۱۳۹۲) و خالقی (۱۳۹۴) مشابه می‌باشد. ایشان با مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد بارش موثر در زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران اعلام نمودند که در مناطق با هویت اقلیمی خشک و نیمه خشک، روش‌های نسبت تبخیر و تعرق به بارش و اداره حفاظت خاک ایالات متحده (SCS) بهترین نتایج را دارند.

### پیشنهادات

۱- با توجه به اینکه پژوهش اخیر جزو معدود پژوهش‌هایی می‌باشد که جهت برآورد بارش موثر از روش میدانی (روش رامداس) و مینی لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های فرمولی و تجربی استفاده نموده است، لذا نتایج مذکور تا حد زیادی با واقعیت هم‌خوان بوده و در صورت تأمین اعتبارات پژوهشی و تکرار آزمایش طی سال‌های متمادی، می‌توان انتظار داشت که مدل‌های مناسبی را بتوان برای منطقه مرکزی ایران (دشت اصفهان) ارائه نمود.

۲- با توجه به تجربیات کسب شده حاصل از آزمایشات میدانی، مشخص گردید که یکی از موانع اجرایی پژوهش، مشکلات موجود جهت اندازه‌گیری مکرر رطوبت خاک در مینی لایسیمترها می‌باشد. با نصب سنسورهای دائمی در مینی لایسیمترها و اندازه‌گیری روزانه رطوبت خاک در آنها، امکان سنجش بیلان آبی روزانه و افزایش دقت در محاسبات بارش موثر به‌روش بیلان آبی وجود دارد.

۳- انجام آزمایشات مزرعه‌ای مشابه با روش رامداس در خصوص سایر محصولات زراعی در منطقه در صورت تأمین اعتبارات پژوهشی پیشنهاد می‌گردد.

- 16-Shahzada, A., A. Hayatkhan., (2008). Effective Rainfall for Irrigated Agriculture Plains of Pakistan, Pakistan Journal of Meteorology. Vol 6. Issue 11: 61 – 72.
- 17- Snyder, R.L, Davis U.C., (2001), Drought Tips, www.edis.ifas.ufl.edu/aeo, 78 - 19k.
- 18-Tanner, C.B., (1967) Measurement of evapotranspiration. Chapter 29 in irrigation of agricultural lands. Agron II. Wisconsin, Amer Soc. Agron.
- 19- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R., (1955) The water balance. Drexel Inst. Tech. Publ. in Climatol, 8: 1-104.
- 20- Willmott, C.J., (1982), Some comments on the evaluation of model performance, Bulletin of American Meteorological Society, 63(11) 1309-1313.
- 21- Willmott, C.J., Robeson, S.M., Natsuura, K., (2012), Short communication a refined index of model performance, Journal of Climatology, 32: 2088-2094.
- 22- Wilks, D.S., (2006), Statistical methods in the atmospheric sciences, Elsevier, USA
- 10-Dastane, N.G., Vamadevan, V.K., & Saraf, C.S. (1966), Review of techniques employed in determination of water requirements of rice in India. Proc. Intern Rice Comm. Meeting, Louisiana.
- 11-Hershfield, D.M., (1964), Effective rainfall and irrigation water requirements, J. Irrigation. 90: Ir 2:3920: 33-47.
- 12-Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., (1991), A test of computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crop grown in New Zealand, Field Crop Research. 27: 337-350.
- 13- Ogrosky H. O., Mackus V., (1964), Hydrology of agricultural lands, Sec. In Handbook Hydrology by V. T. Chow, McGraw Hill, New York.
- 14-Pongpinyopap, Sh & Mungcharoen, Th., (2012). Comparative Study of green water footprint estimation methods for Thailand: A case study of Cassava-based ethanol. Environmental and natural resources. Vol: 10, No 2, 66-72.
- 15- Rahman, M.M., M.O. Islam and M. Hasanuzzman., (2008), Study of effective Rainfall for irrigated Agriculture in South – Eastern Part of bangladesh, World journal of Agricultural Science 4 (4): 453 – 457.

## **Investigation and estimation of effective rainfall in wheat cultivation Case Study: Isfahan Kabootarabad Agrometeorological Research Station**

**S.M.Mostafavi Darani<sup>1\*</sup>, M.Nasr Esfahani<sup>2</sup>, A.Mahmoodzadeh<sup>3</sup>**

1-PhD of Agroclimatology, Applied meteorology Research Center, Isfahan Meteorological Bureau

2-PhD of Agrometeorology, Kabootarabad agrometeorological Research Bureau

3-M.S of Agrometeorology, Kabootarabad agrometeorological Research Bureau

(Received: 14 Sep 2020, Revised: 31 Aug 2021, Accepted: 05 Sep 2021, Published online: 05 Sep 2021)

### **Abstract**

Isfahan district has been faced with limited water resources in recent years because of its special geographical location and highly dependent on the Zayandeh-rood River and groundwater for various uses, including agriculture. Meanwhile, according to available statistics, more than 90% of the country's water consumptions are allocated to the agricultural sector. Calculating effective rainfall, especially in arid and semi-arid regions that face with limited water resources is very important. In this study, effective rainfall in wheat cultivation in the 2015-2016 crop year was estimated by direct (field) method of Ramdas and obtained results from six empirical methods of Renfro, US Bureau of Reclamation (USBR), Evapotranspiration to precipitation ratio, US Soil Conservation Organization (SCS) method, FAO "(FAO/AGLW)", and percentage were compared with Ramdas technique by root-mean-square error (RMSE) tests, normalized root-mean-square error (NRMSE) and the mean absolute error (MAE). The results indicated that the ratio of evapotranspiration to precipitation and the method of the US Soil Conservation Organization (SCS) with RMSE and NRMSE 0.31 and 0.7, MAE 0.11 and 0.45 respectively could be recommended as empirical approaches in Kabootarabad region (Isfahan district).

**Keywords:** Effective rainfall, Ramdas, Renfro, US Bureau of Reclamation method, US Soil Conservation Organization (SCS) method, Ratio of evapotranspiration to precipitation

---

\* Corresponding author:

Email Address: sayeddarani@yahoo.com