نیوار، دوره ۴۵، شماره ۱۱۳-۱۱۲، بهار و تابستان ۱۴۰۰ (دو فصلنامه) (مقاله پژوهشی) DOI: 10.30467/NIVAR.2021.248241.1168
Archive of SID

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

سید مسعود مصطفوی دارانی[1*]، مهرداد نصر اصفهانی[2]، عبدالحسین محمودزاده[3]

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

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴)

چکیده

شهرستان اصفهان به‌علت موقعیت جغرافیایی، وابستگی شدید به رودخانه زاینده‌رود 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 به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت منابع آبی روبرو می باشند، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش برآورد بارش موثر در کشت گندم در سال زراعی ۹۵-۹۴ به روش مستقیم (میدانی) رامداس انجام گردید و نتایج به‌دست 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 نکوئی 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**) به‌ترتیب 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 به‌ترتیب اولویت به‌عنوان روش‌های فرمولی جهت استفاده در منطقه کبوترآباد (شهرستان اصفهان) قابل توصیه می‌باشند.

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

مقدمه

استان اصفهان و به‌خصوص شهرستان اصفهان به‌علت موقعیت جغرافیایی، وابستگی شدید به رودخانه زاینده‌رود و آب‌های زیرزمینی جهت مصارف مختلف ازجمله کشاورزی، در سالیان اخیر با محدودیت منابع آبی روبرو بوده‌است. 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 می‌رود (میراب، ۱۳۸۳). این درحالی است که شدت تبخیر درمناطق مرکزی ایران از جمله حوضه‌های موجود در استان اصفهان به‌مراتب شدیدتر می‌باشد. در این مناطق پتانسیل تبخیر به چندین برابر میزان بارش سالیانه می‌رسد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۷۶).

محاسبه باران موثر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک که با محدودیت منابع آبی روبرو می‌باشند، از اهمیت بسزائی برخوردار است. مفهوم باران موثر در علوم مختلف متفاوت می‌باشد. 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 می‌گیرد یا برای یک متخصص آب‌های سطحی آن قسمت از بارش که به رواناب تبدیل می‌شود، اهمیت دارد از نقطه نظر علم هواشناسی کشاورزی، باران موثرتنها قسمتی از کل بارندگی سالانه می باشد که در تولید محصولات زراعی و باغی موثر واقع می‌شود. به عبارتی

* نگارنده رابط: sayeddarani@yahoo.com
www.SID.ir

Archive of SID

باران موثر قسمتی از کل بارندگی است که به طور مستقیم نیاز رطوبتی گیاه را تأمین کند. در دیمکاری باران موثر 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 موثر توسط داستن(۱۹۶۶) به صورت زیر بیان شده است.

بارش موثر به قسمتی از باران سالیانه یا فصلی گفته می شود که در محل ریزش به طور مستقیم یا غیر مستقیم (بدون استفاده از پمپاژ) برای تولید محصول مفید واقع می شود. 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 موثر در مدیریت منابع آبی، تعیین نیازآبی، پایش خشکسالی کشاورزی، استفاده بهینه از آب در کشاورزی، تعیین الگوهای کشت و پروژه‌های زهکشی و غیره مورد استفاده قرارمی‌گیرد. با توجه به وقوع خشکسالی‌های کشاورزی طی سالیان اخیر و محاسبه میزان بارش موثر در درک شدت خشکسالی کشاورزی، پژوهش حاضر حائز اهمیت می باشد.

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

اسنایدر(۲۰۰۱) بیان می‌دارد که بارش مؤثر طی دوره رشد گیاه رخ‌می‌دهد. وی معتقد است که مقداری از بارش که به‌وسیله گیاهان در منطقه ریشه جذب و مصرف می شود، قسمت مؤثر بارش است و بارشی که به صورت رواناب سطحی و یا نفوذ در عمق خاک از دسترس گیاه خارج می‌گردد بارش مؤثر به‌حساب 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 تبخیروتعرق 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 چانپور تغییر می کند و با بهره‌گیری از نسبت تبخیروتعرق به بارش این مقادیر از ۵۲/۹۴٪ در سندویپ تا ۱۰۰٪ در چندین ایستگاه تغییرمی‌کند همچنین طبق روش‌های **SCS** و **USDA** مقادیر بارش مؤثر در فصل پاییز از ۲۲/۵۸٪ درتکناف تا ۶۴/۱۱٪ در ایستگاه چاندپور تغییرمی‌کند. این در حالی بود که درصد بارش مؤثر در فصل بهار از ۶۳/۳۰٪ در چیتاگونگ تا ۷۶/۷۹٪ در مای زدی کورت به‌وسیله روش‌های **USDA** و **SCS** قابل تشخیص بود و براساس یافته های این تحقیق هرچه فاصله از دریا بیشتر گردد، مقدار درصد بارش مؤثر نیز بیشتر می شود.

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

www.SID.ir

Archive of SID

بودند، پیشنهادکردند. این در حالی بود که روش‌های **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 گلمکانی (۱۳۸۱) در مقاله‌ای تحت عنوان محاسبه و پایش باران مؤثر در سیستم‌های آبیاری به محاسبه بارش مؤثربارش‌های 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 بارش‌های 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 در حوزه دریاچه نمک پرداختند. ایشان اعلام نمودند که روش حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا[1] به دلیل اتکا صرف به داده های تبخیروتعرق بالقوه، ضریب گیاهی، بارش و عمق آبیاری و فاقد محدودیت‌های مکانی مناسب‌ترین 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 می‌گردد و به دلیل مخالفت آن با قانون بقای ماده، روش مذکور در حوزه دریاچه نمک قابل استفاده نمی‌باشد. 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، روش‌های 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 روش‌های مختلف تجربی و تئوری(فرمولی) و روش مستقیم رامداس، با توجه به محاسن و معایب آنها و با در نظرگرفتن 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.

۱- داده‌ها و روش کار

با توجه به اینکه پژوهش حاضر به‌صورت میدانی می‌باشد و همچنین با توجه به امکانات آزمایشگاهی مناسب و سابقه فعالیت‌های تخصصی هواشناسی کشاورزی، انجام آن در محل اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوتر آباد با مختصات جغرافیایی ۳۲درجه و ۳۱ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی واقع در ۲۴ کیلومتری شرق اصفهان مورد توجه قرار گرفت (شکل۱). بافت خاک اراضی اطراف ایستگاه رسی لومی و اسیدیته آن ۸/۷ می‌باشد. مساحت شهرستان اصفهان ۱۵۷۰۶ کیلومتر مربع است که ۱۴/۷ درصد از سطح استان را به خود اختصاص می‌دهد (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 فرضیه‌ها به‌صورت میدانی و تجربی (تئوریک) و مراحل اجرایی تحقیق به‌طور خلاصه به‌شرح 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

[1] -SCS: US Soil Conservation Organization

www.SID.ir

Archive of SID

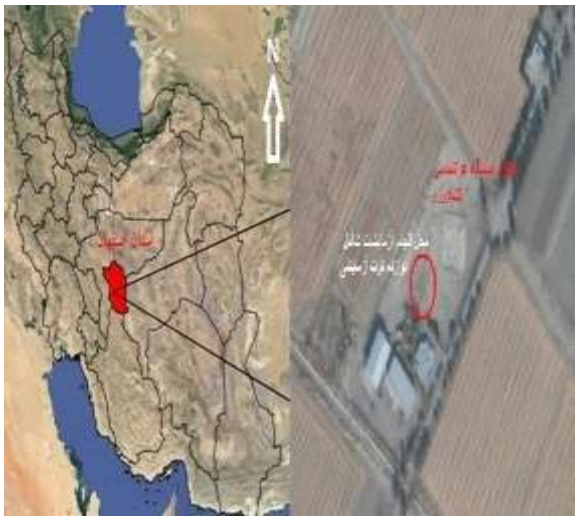
- نصب ۱۲ عدد مینی‌لایسیمتر (۱۲ تکرار) در ۱۲ کرت آزمایشی محصول گندم رقم پیشتاز

-کاشت گندم در ۱۲ کرت آزمایشی، داشت و برداشت آن به‌همراه ثبت مراحل رشد فنولوژیک

- دریافت اطلاعات لازم جهت انجام تحقیق شامل: میزان ورودی آب به کرت‌های آزمایشی و مینی لایسیمترها، میزان آب خروجی از مینی لایسیمترها در طی دوره رشد محصول

-اندازه گیری میزان رطوبت خاک در مینی لایسیمترها در طی دوره رشد

-تجزیه و تحلیل داده های حاصل از اندازه گیری های میدانی



۱-۲- عملیات زراعی- آزمایشی

گیاه گندم رقم پیشتاز در سال زراعی ۹۵-۹۴ در ۱۲ کرت آزمایشی نزدیک به پلاتفرم 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 مینی‌لایسیمتر از جنس پلی اتیلن در ۱۲ کرت آزمایشی (۱۲ تکرار) به ابعاد ۲×۲ متر و نصب لوله های زهکش جهت اندازه‌گیری میزان آب خروجی از مینی‌لایسیمترها، 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 جهت هواگیری مجاری زهکش مد نظر قرارگرفت. لازم به ذکر است که طراحی مینی‌لایسیمترها بر اساس روش رامداس انجام شد به نحوی که قطر مینی لایسیمترها ۳۰ سانتیمتر و عمق آن نیز ۴۵ سانتیمتر برابر با عمق موثر توسعه ریشه گندم در نظر گرفته شد. مینی لایسیمترها در وسط کرت‌های آزمایشی نصب گردیدند و جهت جلوگیری از نفوذ آب کرت‌های مربوطه، لبه مینی لایسیمترها 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 به‌صورت آیش بود. میزان کود ازته مورد نیاز به‌صورت کود اوره و به‌میزان مساوی طی دو مرحله کاشت و به ساقه‌رفتن تأمین گردید. میزان کود فسفر مورد نیاز به‌صورت کود سوپرفسفات[1] قبل از کاشت تأمین گردید و به‌علت 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 مینی‌لایسیمترها 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.

1 SSP: Single Superphosphate

www.SID.ir

Archive of SID

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 اندازه‌گیری بارش موثر و مزایا و معایب آنها

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

۱-۲-۲- روش‌های اندازه گیری مستقیم

- تغییرات رطوبت خاک
- روش بیلان روزانه رطوبت خاک
- باران‌سنج 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 نمونه‌برداری رطوبت خاک قبل و بعد از هر بارش وجود دارد. افزایش رطوبت خاک علاوه بر هدررفت آب از طریق تبخیروتعرق (تبخیروتعرق واقعی) از زمان آغاز بارش تا زمان نمونه‌برداری خاک، میزان بارش موثر می‌باشد. پس از بارش-های سنگین در دوره‌ای کوتاه مدت از آغاز بارش تا زمان نمونه برداری خاک، تبخیروتعرق انجام شده را می‌توان در حد تبخیروتعرق پتانسیل در نظر گرفت. بر اساس سند آبیاری و زهکشی سازمان خوار و بار جهانی (شماره ۲۴-سال ۱۹۷۴) مقدار تبخیروتعرق مذکور را می‌توان 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

M2 وM1 وضعیت رطوبت خاک در منطقه ریشه قبل و پس 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 می‌باشد ولی به‌علت تغییرات خاک و خطای نمونه‌برداری ۵ تا ۴۰ درصد خطا دارد. نیاز به نیروی کار زیاد و زمان بر بودن نیز از معایب این روش می‌باشد. استفاده از دستگاه نوترون متر می‌تواند جهت رفع

www.SID.ir

Archive of SID

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 بستانکاری 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 به‌هر میزانی بیشتر از ظرفیت مذکور به‌عنوان 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 تبخیروتعرق 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 سهل‌الوصول کاهش می‌یابد، آبیاری انجام می‌شود. درنتیجه محاسبات می‌تواند براساس تبخیروتعرق پتانسیل انجام شود. در کشاورزی دیم یا شرایط کم‌آبیاری که رطوبت خاک به کمتر از آب سهل‌الوصول کاهش می‌یابد، محاسبات می‌بایست براساس تبخیروتعرق واقعی انجام گردد. محاسبه تبخیر و تعرق واقعی می‌تواند با استفاده از روش تورنت وایت و متر[1] (۱۹۵۵)، بایر و رابرتسون[2] (۱۹۶۶) یا رابطه مابین تبخیروتعرق واقعی و پتانسیل تحت شرایط کاهش رطوبت خاک (تنر[3]-۱۹۶۷) صورت پذیرد.

۵-۲-روش های 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 تبخیروتعرق 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 به‌شرح 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.

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

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

1 Thornthwaite and Mather (1955)

2 Baier and Robertson (1966)

3 Tanner (1967)

www.SID.ir

Archive of SID

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

نتایج وبحث

به‌طور کلی روش‌های اندازه‌گیری مستقیم میزان بارش موثر دارای دقت بالایی هستند ولی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشند. از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم جهت واسنجی روش‌های تجربی استفاده می‌شود(فرشی، ۱۳۸۲). در میان روش‌های مذکور، روش رامداس ساده‌تر و کم هزینه‌تر و دارای قابلیت کاربرد بیشتری است که در این پژوهش با هدف ارزیابی سایر روش‌ها مورد استفاده قرارگرفت.

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

گیاه گندم در تاریخ ۱۹ نوامبر ۲۰۱۵ کاشته شد و اتمام مراحل سبز شدن[1]، ۳برگی[2]، پنجه‌زنی[3]، طویل شدن ساقه[4]، آبستنی[5]، گلدهی[6]، شیری[7] و رسیدگی فیزیولوژیکی[8] را به‌ترتیب 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.

۱-۳- روش رنفرو

انجام محاسبات بر اساس فرمول مربوطه

($ER=E\times Rg + A$) نشان‌دهنده آن بود که نسبت آب مصرفی گیاه (تبخیر و تعرق) به باران فصل رشد (CU/Rg) برابر با مقدار ۱۶/۷ می باشد که در جدول مربوطه (جدول شماره ۱) تعریف نشده است. در طی فصل رشد، میزان تبخیروتعرق واقعی ۷۲۳/۷ میلی‌متر و میزان بارش ۴۳/۴ میلی‌متر 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 به‌عنوان مرحله ابتدایی رشد، از سبز شدن تا انتهای گلدهی به‌عنوان مرحله رشد و توسعه، گلدهی تا رسیدن به‌عنوان مرحله میانی و رسیدن تا برداشت به‌عنوان 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)=۱۶/۷

از طرف دیگر میزان بارش موثر محاسبه شده بیش از میزان بارش اتفاق افتاده می‌باشد 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.

۲-۳- اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)

در این روش میانگین بارش ماهانه ۵ ساله مد نظر قرار می گیرد. با توجه به اینکه فصل رشد گیاه گندم مورد مطالعه

[1] Emergence
[2] 3leaf stage
[3] Tillering
[4] Stem elongation
[5] Booting
[6] Flowering
[7] Milky stage
[8] Physiological maturity

www.SID.ir

Archive of SID

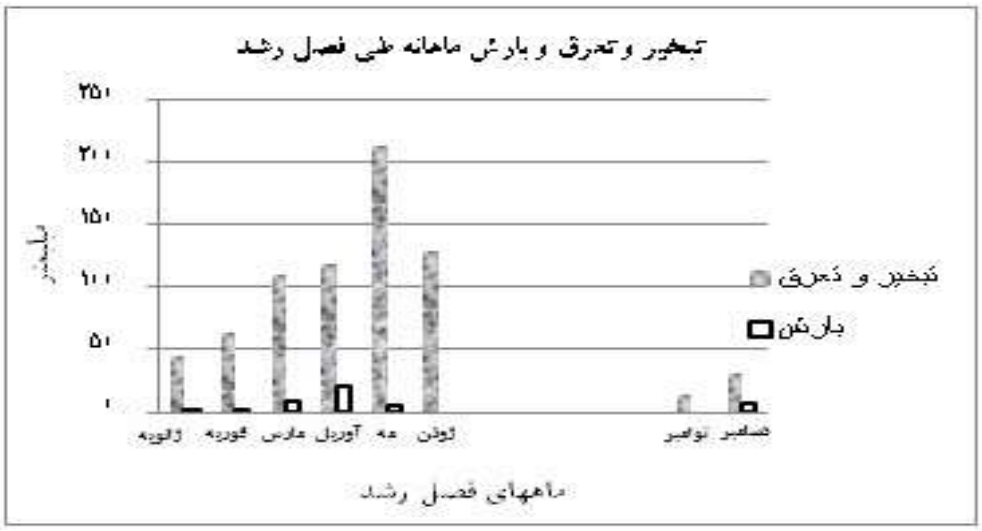
از ماه نوامبر۲۰۱۵ لغایت ژوئن ۲۰۱۶ بود، بارش ۵ ساله ماه‌های رشد مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بارش موثر در ماه نوامبر ۸۰ درصد بارش و در سایر ماه‌ها ۹۵ درصد بارش اتفاق افتاده می باشد(جدول ۲).

جدول۲- 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	نوامبر
۹۵٪	۱۱/۹	۵/۷	۶/۷	۱/۲	۰/۵	۵۱	۰	دسامبر
۹۵٪	۷/۴	۰/۴	۰/۱	۳۳	۳/۶	۰	۶/۴	ژانویه
۹۵٪	۵/۸	۰/۴	۳/۹	۳/۱	۰/۵	۲۱/۲	۱۹	فوریه
۹۵٪	۲۱/۸	۹/۷	۲۰/۶	۵۴/۳	۱۶/۲	۸/۲	۱۸/۶	مارس
۹۵٪	۱۶/۹	۲۱/۵	۶/۵	۱۲/۶	۱۷/۹	۲۵/۹	۵/۷	آوریل
۹۵٪	۵/۴	۴/۷	۲/۴	۳/۲	۱۱	۵/۵	۳	مه
۹۵٪	۱	۰	۰	۰/۳	۰	۴/۷	۰	ژوئن

۳-۳- روش نسبت تبخیر و تعرق به بارش

در این روش جهت تعیین دوره‌های مطالعه بارش، بافت خاک منطقه می بایست در نظر گرفته شود. لذا با توجه به اینکه خاک محل آزمایش لومی رسی و سنگین می‌باشد، دوره های ۱۰ روزه جهت محاسبه مورد استفاده قرار گرفت. تبخیروتعرق پتانسیل به روش پنمن مانتیث فائو محاسبه گردید و ضرایب گیاهی نیز به شرح بیان شده در بخش مواد و روش‌ها، مد نظر قرار گرفت. شکل شماره (۴) مجموع میزان تبخیر و تعرق و بارش ماهانه را طی فصل رشد نشان می‌دهد. تنها در ۶ روز از دوره رشد ۲۲۵ روزه میزان بارش بیشتر از تبخیرو تعرق بود. براساس روش فوق الذکر، برای کلیه ماه های فصل رشد میزان بارش موثر ۱۰۰ درصد بارش وقوع یافته محاسبه گردید.



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

www.SID.ir

Archive of SID

٤-۳- روش اداره حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)

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). 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 به‌روش مذکور به‌صورت ماهانه در جدول شماره (۳) قابل مشاهده می باشد. بر اساس این روش حدود ۹۸ درصد بارش اتفاق افتاده موثر بوده است.

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

۵-۳- روش فائو(FAO/AGLW)

بر اساس نتایج آزمایشات و تحلیل‌های انجام شده در اقلیم-های 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 مواردی که ۸۹ درصد احتمال وقوع مورد نیاز است، کاربرد دارد (پونگچینیوپاپ ، ۲۰۱۲). جدول شماره (۴) مقادیر ماهانه بارش موثر و مقادیر کلی آنرا طی فصل رشد نشان می‌دهد.

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
کل	**٤٥/١**	**۲/۹**

www.SID.ir

Archive of SID

٦-۳- روش درصدی

در این روش نیز که توسط سازمان خواروبار جهانی (فائو) ارائه شده است، بارش موثر ۸۰ درصد بارش ماهانه در نظر گرفته می‌شود (جدول ۵). بدین ترتیب با استفاده از این روش، بارش موثر محاسبه شده ۳۶ میلی‌متر می باشد.

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

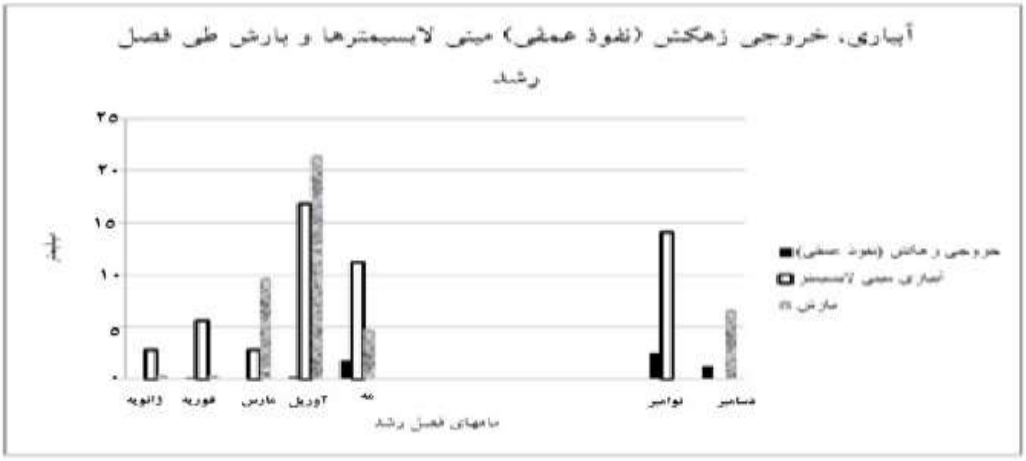
ماه	بارش (میلی متر)	بارش موثر (میلی متر)
ژانویه	۰/۴	۰/۳۲
فوریه	۰/۴	۰/۳۲
مارس	۹/۷	۷/۷۶
آوریل	۲۱/۵	۱۷/۲
مه	۴/۷	۳/۷۶
ژوئن	۰	۰
ژوئیه	–	–
اوت	–	–
سپتامبر	–	–
اکتبر	–	–
نوامبر	۱/۷	۱/۳۶
دسامبر	۶/۷	۵/۳۶
کل	**٤٥/١**	**٣٦**

۳-۷- روش مستقیم رامداس

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 تبخیروتعرق 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 ۹۵-۹۴ انجام نشد به‌صورتی 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 فصل رشد ، بیشترین تعداد روزهای بارانی ۴ روز و حداکثر بارش روزانه ۱۶/۴ میلی متر در ماه آوریل اتفاق‌افتاد و نفوذ عمقی و زهکش حاصل از بارش تنها در ماه آوریل اندازه گیری 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 می-گردید. 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 رشدرا نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵- مجموع میزان آبیاری، نفوذ عمقی مینی لایسیمترها و بارش ماهانه طی فصل رشد(سال زراعی ۹۵-۹۴)

همانطور که قبلاً نیز گفته شد، در روش رامداس قسمتی از باران که در زهکش جمع می شود اندازه‌گیری و جزو باران غیرموثر در نظر گرفته می شود. بنابر این در کلیه ماه های فصل رشد بجز ماه آوریل، به‌علت 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 تبخیروتعرق 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 می باشد. لازم به ذکر است که در کلیه موارد مقادیر مشاهداتی (Oi) شامل مقادیر حاصل از روش رامداس و مقادیر پیش بینی شده (Pi) شامل مقادیر حاصل از روش‌های تجربی می باشد.

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

خطای میانگین مطلق

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

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: Pi و Oi 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 پیش بینی شده به طور فزاینده‌ای به سمت مقادیر مثبت میل می کند (ویلکز، ۲۰۰۶). خطای جذر میانگین مربعات نرمال (NRMSE) بر حسب درصد، معیاری جهت تعیین اختلاف نسبی داده‌های مشاهداتی و پیش بینی 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، شبیه سازی 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 می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

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 (ویلمات، 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 پیش بینی شده، مقدار آن افزایش می یابد (ویلکز ، ۲۰۰۶). جدول شماره (۷) مقایسه میزان بارش واقعی و بارش موثر با روش‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۶- آزمون های نکوئی 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	
۱/۷	۱/۳۶	۰	۱/۷	۳۰/۵	نوامبر
۶/۷	۵/۳۶	۰	۶/۷	۱۱/۹	دسامبر
۰/۴	۰/۳۲	۰	۰/۴	۷/۴	ژانویه
۰/۴	۰/۳۲	۰	۰/۴	۵/۸	فوریه
۹/۷	۷/۷۶	۰	۹/۷	۲۱/۸	مارس
۲۱/۵	۱۷/۲	۲/۹	۲۱/۵	۱۶/۹	آوریل
۴/۷	۳/۷۶	۰	۴/۷	۵/۴	مه
۰/۴	۰/۳۲	۰	۴/۷	۱	ژوئن

٤- نتیجه گیری

با عنایت به نتایج آزمون‌های نکویی برازش و مقایسه مقادیر بارش موثر حاصل از روش مستقیم رامداس با شش روش فرمولی (مدل‌های تجربی) مشخص می گردد که از میان روش‌های مورد بررسی، روش رنفرو قابل کاربرد نمی‌باشد که نتیجه مذکور با نتایج پژوهش خوشحال و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد.

با توجه به آزمون های نکوئی برازش ۳ گانه مورد بررسی مشخص گردید که روش‌های نسبت تبخیر و تعرق به بارش، سرویس حفاظت خاک ایالات متحده(SCS)،

www.SID.ir

Archive of SID

اداره احیاء اراضی ایالات متحده (USBR)، درصدی و روش فائو(FAO/AGLW) به ترتیب اولویت بیان شده مناسب ترین روش‌ها جهت محاسبه بارش موثر در منطقه کبوترآباد 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 مناسب ترین روش‌های فرمولی جهت محاسبه بارش موثر کشت گندم در منطقه کبوترآباد می‌باشند. نتایج مذکور با نتایج حاصل از پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۱۳۹۲) و خالقی (۱۳۹۴) مشابه می باشد. 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-باتوجه به اینکه پژوهش اخیر جزو معدود پژوهش هایی 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 می باشد. 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 می گردد.

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 مناسب ترین 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 روش های برآورد بارش موثر در زراعت گندم دیم در اقلیم های مختلف ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۵، شماره ۳، ۳۱-۴۶.

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

۵- فرشی، ع. ا.، وهمکاران. (۱۳۸۲). مدیریت آب آبیاری درمزرعه، انتشارات کمیته ملی آبیاری وزهکشی، ۱۸۵صفحه.

۶- مطالعات تو سعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی ا ستان اصفهان. (۱۳۷۶). انتشارات سازمان مدیریت وب رنامه‌ریزی استان اصفهان، ۱۱۸ .

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

۸- سالنامه آماری شهر ستان ا صفهان سال ۱۳۹۰(۱۳۹۱) نا شر ا ستانداری ا صفهان، 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.

www.SID.ir

Archive of SID

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.

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

www.SID.ir