مطالعه مناسب‌ترین روش برآورد بارش مؤثر جهت تعیین نیاز آبی گندم دیم در اصفهان

شمیم لاریجانی[۱*]، محمد سالاریان[۲]، حسین بانژاد[۳]، معصومه نجفی[۴]

۱) دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲) دکتری علوم و مهندسی آب، عضو هیات مدیره شرکت مهندسین مشاور آباداندیشان آب و خاک البرز، ساری، مازندران.

۳) دکتری علوم و مهندسی آب، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴) دانش‌آموخته ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

[*]نویسنده مسئول: Shamim.larijani@mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵**

چکیده

محاسبه مقدار بارش مؤثر به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب مورد نیاز برای کشت گندم از اقدامات مطالعاتی زیربنایی به شمار می‌رود که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. لذا شناسایی و به‌کارگیری روشی مناسب برای برآورد بارش مؤثر به‌خصوص در کشت دیم اهمیت دوچندان پیدا می‌کند. در این پژوهش به ارزیابی روش‌های مختلف تعیین بارش مؤثر ازجمله: روش‌های سرویس حفاظت خاک اداره کشاورزی ایالات متحده (SCS)، بارش قابل اطمینان، تجربی، روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)، درصدی و رنفرو، به کمک نرم‌افزار SPSS و با آزمون آماری دانکن در شهرستان اصفهان و برای کشت گندم دیم، پرداخته شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی نشان داد که روش رنفرو به‌دلیل آنکه مقادیر بارش مؤثر را بیش‌تر از خود بارش نشان می‌دهد مورد پذیرش واقع نشده است. روش‌های SCS و بارش قابل اطمینان و تجربی، به دلیل بدست آمدن مقادیر زیاد منفی (صفر)، بیش‌تر مناسب مناطق مرطوب می‌باشند. نتایج نشان داد که روش درصدی و USDA تطابق بیش‌تری با میزان بارش نسبت به سایر روش‌ها دارند. باتوجه به تطابق بیش‌تر با مقدار بارش متوسط ماهانه بهترین روش برای محاسبه بارش موثر در اصفهان و برای گندم روش USDA پیشنهاد گردید.

واژه‌های کلیدی: بارش مؤثر، گندم، اصفهان، USDA، رنفرو.

مقدمه

بارندگی زمانی اهمیت می‌یابد که به تولید محصول مطمئن کمک کند. برآورد دقیق از بارشی که بیش‌تر از یک دوره زمانی، مفید واقع شده می‌تواند یک تصویر کلی از نقش آن را در آبیاری ارائه کند (Mohan et al., 1996). برآورد بارش مؤثر به عنوان قسمتی از کل بارندگی که برای تأمین نیازهای تبخیر تعرقی در بخش توسعهٔ ریشهٔ گیاه در دسترس است، همواره مشکلی در مدیریت آب کشاورزی بوده است (Rahimi et al., 2014). اصطلاح باران مؤثر به‌وسیله متخصصان رشته‌های مختلف و حتی توسط افراد متخصص در یک رشته هم به صورت‌های متفاوتی تعریف شده است (Mohammadi and Karimpour Reihan, 2008; Malekian et al., 2009). Snyder و Davis (۲۰۰۱) معتقد هستند که بارش مؤثر طی دوره رشد گیاه رخ می‌دهد. آن‌ها در زمینه‌ی بارش مؤثر دو دیدگاه دارند: ۱- بارشی که توسط گیاهان در منطقه‌ی ریشه گیاه ذخیره می‌شود و ریشه آن را جذب کرده و به مصرف گیاه می‌رساند، بارش مؤثر محسوب می‌شود. ۲- بارشی که بعد از ریزش، به صورت رواناب سطحی در می‌آید؛ به زمین نفوذ می‌کند و در دسترس ریشه قرار نمی‌گیرد، به عنوان بارش مؤثر شناخته نمی‌شود. Rahimi و همکاران (۲۰۱۴) جامع‌ترین تعریف بارش مؤثر که از ترکیب تعاریف فرهنگ اصطلاحات آبیاری و زهکشی کمیتهٔ بین المللی آبیاری و زهکشی و مطالعات Bos (۱۹۸۰)، Bos و Nugteren (۱۹۷۴) و Bos و همکاران (۲۰۰۹) در مورد کارایی مصرف آب در سطح به شرح زیر بیان نمودند: بارش مؤثر، قسمتی از بارش کل است که در سطح زیر کشت محصول، در بازهٔ زمانی معین برای تأمین نیازهای تبخیر - تعرق در ناحیهٔ توسعهٔ ریشه در دسترس است. عوامل زیادی بر مقدار باران مؤثر اثر می‌گذارد، اما به طورکلی می‌توان گفت هر عاملی که روی میزان نفوذ، رواناب، ظرفیت نگهداری خاک و تبخیر و تعرق اثر بگذارد روی مقدار باران مؤثر هم اثر می‌گذارد (Mohan et al., 1996). Tsao (۱۹۷۱) در مطالعه‌ای روی شالیزارهای برنج بارش مؤثر روزانه را بر اساس خاک، استفاده آب و مراحل رشد گیاه محاسبه کردند و بارش مؤثر برنامه‌ریزی شده را با توجه به احتمال وقوع برای کل دوره رشد برنج مورد ارزیابی قرار دادند. Smajstrla وZazueta (۲۰۰۲) بارش مؤثر را به روش SCS (سازمان حفاظت خاک آمریکا) محاسبه نموده و نیاز خالص را مقدار آبی در نظر گرفتند که به‌طور مؤثر توسط باران تأمین نمی‌شود. Chahoon و همکاران (۲۰۰۱) در اندازه‌گیری باران و برآورد بارش مؤثر برای محصولات دیم و آبی، بارندگی مؤثر را مقداری از بارندگی دانستند که در منطقه ریشه گیاه ذخیره می‌شود و برای برآورد بارش مؤثر از روش USDA (سازمان کشاورزی ایالات متحده) استفاده کردند. Tsai و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی که به منظور مدیریت سیستم‌های آبیاری شالیزارهای برنج و با هدف تعیین میزان بارش مؤثر برنامه‌ریزی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که حد بالای عمق بارش مؤثر می‌تواند از ۳۰ میلی‌متر تا ۴۲ میلی‌متر افزایش یابد. Rahman و همکاران (۲۰۰۸) بارش مؤثر در کشاورزی را در ۱۰ ایستگاه هواشناسی بنگلادش طی دو دوره رشد خریف (جولای تا اکتبر) و ربیع (دسامبر تا مارس) با استفاده از روش‌های فرمول رنفرو، USBR، نرخ تبخیر و تعرق به بارندگی و SCS بدست آوردند. نتایج نشان داد که درصد بارش مؤثر متناسب با افزایش فاصله از دریا کاهش می‌یابد.

Adnanو Hayat Khan (۲۰۰۹) در تحقیقی به برآورد بارش مؤثر با استفاده از چهار روش پرداختند، مشاهده شد که بارش مؤثر به طور مستقیم با ظرفیت ذخیره‌سازی آب و آبیاری متناسب است و به این نتیجه رسیدند که روش‌های (SCS) و (USDA) برای مناطقی که شدت بارش کمی دریافت می‌کنند مناسب است، مانند بخش‌های جنوبی پاکستان و رنفرو برای دوره کوتاه مدت مناسب نیست. میزان و پراکنش بارش و تغییرات دمای هوا از جمله دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم بسیار مؤثر واقع شوند. این دو عامل به غیر از تحت تأثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی گندم، بر رشد و نمو ریشه این گیاه و میزان جذب آب و مواد غذایی نیز مؤثر می‌باشند (Mares, 1993). سالاریان و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند که روش درصدی و USDA تطابق بیش‌تری با میزان بارش نسبت به سایر روش ها دارند. با توجه به تطابق بیش‌تر با مقدار بارش متوسط ماهانه بهترین روش برای محاسبه بارش موثر در اصفهان و برای گندم روش USDA پیشنهاد گردید. خالدی علمداری و مجنونی هریس (۱۳۹۹) گزارش کردند که اولین رویداد بارش مؤثر، به عنوان مؤثرترین رویداد بارش بر میزان عملکرد گندم دیم است. به‌نظر می‌رسد عدم کفایت بارش‌های مؤثر بهاره که به عنوان یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد اراضی دیم نیز مطرح است، مانع از تبیین اثر مثبت بارش‌های انتهای فصل رشد بر عملکرد شده است. از آن جایی که عوامل اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید گندم می‌باشد و تنش رطوبتی و دمایی از عمده عوامل پائین آمدن عملکرد آن در واحد سطح است، لذا شناسایی و بکارگیری عوامل مؤثر اقلیمی بر عملکرد دانه و بهره‌وری بارش گندم، ضروری می‌باشد. در این پژوهش به ارزیابی روش‌های مختلف تعین بارش مؤثر از جمله: روش‌های سرویس حفاظت خاک اداره کشاورزی ایالات متحده (SCS)، بارش قابل اطمینان، تجربی، روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)، درصدی و رنفرو، به کمک نرم‌افزار SPSS و با آزمون آماری دانکن در شهرستان اصفهان و برای کشت گندم، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی استان اصفهان دو پیامد مهم را به دنبال داشته است، نخست قلت بارش به دلیل نشست دائمی هوا در بیش از نیمی از سال و دیگری توزیع نامنظم بارش و تغییرپذیری بالای آن از سالی به سال دیگر است. همچنین رشته کوه‌های مرتفع زاگرس در غرب و مناطق پست کویری در شرق تغییرات مکانی شدید بارش را از بیش از ۷۰۰ میلی‌متر تا کم‌تر از ۸۰ میلی‌متر به دنبال داشته است. استان اصفهان کم‌تر از ۱۲ درصد بارش اقیانوس‌ها، کم‌تر از ۱۹ درصد بارش آسیا و حدود ۳۴ درصد بارش قاره نسبتا خشک استرالیا بارش دریافت می‌کند. مقایسه بارش استان با بارش کشور که میزان آن کم‌تر از ۶۳ درصد بارش کشور می‌باشد. خشکی مفرط این پهنه از ایران زمین را به وضوح نشان می‌دهد میانگین سالانه بارش در سطح استان معادل ۱۵۰ میلی‌متر است. ۳۲ درصد استان کم‌تر از ۱۰۰ و ۵۰ درصد آن کم‌تر از ۱۱۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند. تنها بارش ۵ درصد استان اصفهان بیش از ۴۰۰ میلی‌متر است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه بارش موثر آمار و

داده‌های مورد نیاز جهت پیش‌برد اهداف پژوهش از سازمان مربوطه ایستگاه سینوپتیک شهرستان اصفهان جمع آوری شد و در نهایت یک دوره آماری ۴۷ ساله به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب گردید. موقعیت دشت اصفهان در طول جغرافیایی "۳۹ ^{o}۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۶ ^{o}۳۲شمالی و ارتفاع ۱۵۹۰ متر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. مواد مورد استفاده جهت برآورد باران مؤثر بسته به روش مورد استفاده، متفاوت است. از جمله مواد به‌کار گرفته شده در روش‌های مختلف برآورد باران مؤثر، می‌توان به مقدار باران در فصل رویش، عمق آبیاری، تبخیر و تعرق و وضعیت رطوبتی خاک در منطقه ریشه قبل و بعد از بارندگی اشاره نمود. در پژوهش حاضر برای محاسبه بارش مؤثر از ۶ روش به شرح ذیل استفاده شده است:

روش سرویس حفاظت خاک اداره کشاورزی ایالات متحده (SCS)

محاسبه مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل علاوه بر نشان دادن ویژگی‌های اقلیم یک منطقه، در محاسبه نیاز آبی مصرفی گیاهان مختلف و نیز طراحی سیستم‌های آبیاری، زهکشی و ذخیره آب کاربرد دارد. کمسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش پنمن-مانتیث را به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر تعرق پیشنهاد نموده است. در این روش فرض می‌شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزنه‌های موجود در آن است. به همین دلیل این روش پنمن-مانتیث را روش برگ بزرگ (Big Leaf) می‌گویند. و معادله آن به صورت زیر می‌باشد (Allen et al., 1998):

$$ET_{\circ} = \frac{0.408\Delta(R_n - G)\gamma\left[\frac{890}{(T+273)}\right]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$ رابطه ۱

که در آن: R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)؛ T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C)؛ U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})؛ $(e_a - e_d)$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری ($KPa°C^{-1}$)؛ Δ شیب منحنی فشار بخار ($KPa°C^{-1}$)؛ γ ضریب رطوبتی ($KPa°C^{-1}$)؛ G شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند. باران مؤثر با استفاده از بارش ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همین‌طور عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری محاسبه و برآورد می‌شود. شکل عمومی رابطه مورد استفاده در روش SCS به‌صورت زیر می‌باشد (Dastane, 1978):

$$P_e = F(1.253P^{0.824} - 2.93 \times 10^{0.000955\ Et_P}$$ رابطه ۲

که در آن P_e: بارش مؤثر ماهانه (میلی‌متر در ماه)، P مجموع بارش هر ماه (میلی‌متر)، Et_P: مجموع تبخیر و تعرق گیاه هر ماه (میلی‌متر) و F ضریبی است که وابسته به عمق آبیاری (D_i) می‌باشد. (D_i : عمق رطوبت تخلیه شده از خاک قبل از باران یا

آبیاری و به عبارت دیگر همان عمق ذخیره آب یا رطوبت است). اگر عمق آبیاری در هر مرحله برابر ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود، F برابر ۱ است و در حالت کلی از رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۳

$$F = 0.53 + 0.0116D - 8.94 \times 10^{-5}D^2 + 2.3 \times 10^{-7}D^3$$

مقدار ضریب F برای اعماق مختلف آبیاری در (جدول ۱) محاسبه شده است.

جدول۱: ضریب F در عمق‌های مختلف آبیاری

عمق آبیاری(mm)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
ضریب F	۰/۵۹	۰/۷۳	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۳

جهت برآورد بارش مؤثر از روش فوق، داده‌های اقلیمی ایستگاه اصفهان در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۶۴) مورد استفاده قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از روش پنمن-مانتیث ابتدا تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه گردیده و سپس با احتساب ضریب گیاه گندم در دوره‌ی رشد، مقدار تبخیر و تعرق متوسط ماهانه برای گیاه مذکور تعدیل گشته است (جدول۲). در ادامه با استفاده از بارش ماهانه و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در ۸ ماه مورد بررسی، بارش مؤثر در هر ماه در طول دوره‌ی آماری محاسبه شده و بر این مبنا متوسط باران مؤثر برای عمق ۷۵ میلی‌متر مورد محسابه قرار گرفته است.

جدول۲: ضریب K_c برای گندم در مراحل مختلف رشد

زمان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
مرحله رشد	اولیه	اولیه	توسعه	توسعه	توسعه	توسعه	میانی	انتهایی
ضریب K_c	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۸۵	۱/۰۴	۱/۱۶	۱/۱۶	۰/۴۵

روش بارندگی قابل اطمینان

بارندگی قابل اطمینان مبتنی بر فرمول تجربی بوده که توسط سازمان خواربار جهانی (FAO) برای اقلیم‌های خشک و مرطوب ارائه شده است. در این روش درصورتی که مقدار بارندگی ماهانه کم‌تر از ۷۰ میلی‌متر باشد معادله آن بصورت:

رابطه ۴

$$P_e = 0.6 \times \left(P_{\text{ماهانه}}\right) - 10$$

و درصورتی که مقدار بارندگی ماهانه بیش‌تر از ۷۰ میلی‌متر باشد:

رابطه ۵

$$PE = 0.8 \times \left(P_{\text{ماهانه}}\right) - 24$$

روش تجربی باران مؤثر

فرمول تجربی دیگری که مشابه با روش بارندگی قابل اطمینان می‌باشد که توسط FAO برای تعیین باران مؤثر ارائه شده است. در این روش مقدار بارش مؤثر، درصورتی‌که مقدار بارندگی ماهانه کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه۶ $PE = 0.5\left(\text{مجموع بارندگی}\right) - (5)$

و درصورتی که مقدار بارندگی ماهانه بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۷ $PE = 0.7\left(\text{مجموع بارندگی}\right) + (20)$

روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)

وزارت کشـــاورزی ایالات متحده نیز فرمولی مطابق زیر به منظور تعیین میزان بارندگی مؤثر ماهانه ارائه نمود. در این روش در صورتی که مقدار بارندگی ماهانه کم‌تر از ۷۰ میلی‌متر باشد (Chahoon et al., 2001):

رابطه ۸ $PE = \frac{P_{\text{ماهانه}}\left(125-0.2\times P_{\text{ماهانه}}\right)}{125}$

و در صورتی که مقدار بارندگی ماهانه بیش‌تر از ۷۰ میلی‌متر باشد:

رابطه ۹ $PE = \left(125 + 0.1 \times P_{\text{ماهانه}}\right)$

روش درصدی

در این روش که توســط FAO ارائه شــده اســت، مقدار بارش مؤثر برابر ۸۰ درصــد از مقدار بارندگی ماهانه درنظر گرفته می‌شود.

معادله رنفرو

رنفرو، معادله تجربی زیر را برای برآورد باران مؤثر پیشنهاد نمود (Chow, 1964).

رابطه ۱۰ $P_e = E.R_g + A$

که در آن P_e: باران مؤثر (میلی‌متر)، R_g باران فصـل رشـد (میلی‌متر)، A متوسـط عمق آب آبیاری (میلی‌متر) و E ضـریب متغیر که تابع نسبت آب مصرفی گیاهان (CU) به باران در طی فصل رشد که مقدار آن در (جدول ۳) ارائه شده است.

جدول۳: مقادیر ضریب E در معادله رنفرو

نسبت CU/R_g	۰/۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۸
ضریب E	۰/۰	۰/۱	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۶۲
نسبت CU/R_g	۲/۰	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۶	۷	۹
ضریب E	۰/۶۵	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۹

نتایج و بحث

بر مبنای داده‌های هواشــناســی ایســتگاه اصــفهان، مجموع بارش متوســط طی دوره ۴۷ ســاله حدود ۱۲۳ میلی‌متر اســت. بررسی‌ها نشان داده است حدود ۹۰ درصد از بارش‌های باریده شده بین ماه‌های دسامبر تا جولای (ماه‌های مورد بررسی) بوده

است. پرباران‌ترین ماه‌های سال مارس، دسامبر و آوریل بودند؛ مجموع بارش رخ داده در این ماه‌ها به ترتیب ۲۲/۳، ۲۰/۷ و ۱۸/۸ میلی‌متر بود. کم‌ترین انحراف معیار در ماه‌های ژوئن و جولای و بیش‌ترین آن در ماه‌های دسامبر و ژانویه مشاهده شد. با توجه به نتایج ارایه شده در (جدول ۴)، مشخص شد که بیش‌ترین ضریب تغییرات (به‌عنوان شاخصی مناسب در بیان پراکندگی و تغییرات) در ماه جولای (۲/۵) بوده است. این درصد بالای تغییرپذیری، نشان‌دهنده‌ی عدم اطمینان به مقدار بارش، معادل میانگین است. نتایج نشان داد که متوسط مجموع بارش ماه‌های مورد بررسی بین حداقل ۰/۸ تا حداکثر۲۲/۳ میلی‌متر بوده است (جدول ۴). این مقدار بارش می‌تواند بازده قابل توجهی در امر کشاورزی داشته باشد. میزان و پراکنش بارش و تغییرات دمای هوا از جمله دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم بسیار مؤثر واقع شوند. همچنین حداکثر بارش زمانی بود که محدودیت دمایی مانع از رشد محصولات کشاورزی و به‌ویژه زراعی است. این مطلب با مشاهده ارقام تبخیر و تعرق بالقوه (جدول ۴) به خوبی آشکار می‌شود. از آنجا که تبخیر و تعرق تابعی از دمای هوا محسوب می‌شود و بر خلاف بارش، رابطه مستقیم با دما دارد، ملاحظه می‌گردد که هم‌زمان با افزایش بارش در ایستگاه مورد بررسی، میزان تبخیر و تعرق بالقوه کاهش و برعکس، همزمان با کاهش بارش میزان تبخیر و تعرق بالقوه افزایش دارد.

جدول۴: تغییرات ماهانه شاخص‌های آماری باران مؤثر ایستگاه اصفهان برای عمق آبیاری ۷۵ میلی‌متر و دوره۴۷ سال

ماه	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY
تبخیر و تعرق ماهامه تعدیل شده برای گیاه گندم (میلی‌متر)	۱۷/۴۲	۲۲/۱۴	۴۲/۲۳	۸۴/۹۲	۱۴۹/۶	۲۰۹/۳	۲۴۱/۳	۹۶/۹۵
متوسط بارش ماهانه (میلی‌متر)	۲۰/۷	۱۹/۲	۱۴/۷	۲۲/۳	۱۸/۸	۹/۷	۱/۱	۰/۸
حداکثر بارش ماهانه در طول ۴۷ سال (میلی‌متر)	۶۱/۲	۸۷/۹	۷۱/۹	۵۷/۸	۵۳/۴	۶۴	۱۰/۹	۹
حداقل بارش ماهانه در طول ۴۷ سال (میلی‌متر)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
انحراف معیار	۱۶/۸۵	۱۶/۵۸	۱۴/۳۲	۱۵/۹۶	۱۵/۹۷	۱۲/۸	۲/۶	۲
ضریب تغییرات	۸۰/۸۱	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۷۱	۰/۸۵	۱/۳۲	۲/۳۶	۲/۵

جدول۵: تغییرات ماهانه بارش مؤثر ایستگاه اصفهان برای عمق آبیاری ۷۵ میلی‌متر در دوره ۴۷ ساله

ماه	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	مجموع
میانگینِ بارش ماهانه ۴۷ سال	۲۰/۷	۱۹/۲	۱۴/۷	۲۲/۳	۱۸/۸	۹/۷	۱/۱	۰/۸	۱۰۷/۲۸
معادله رنفرو	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۴۱/۵
وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)	۱۹/۹	۱۸/۶۵	۱۴/۳۴	۲۱/۴۶	۱۸/۲۴	۹/۵۶	۱/۱۱	۰/۷۶	۱۰۴/۱۴
درصدی ۸۰ درصد	۱۶/۵	۱۵/۳۹	۱۱/۷۵	۱۷/۸۰	۱۵/۰۵	۷/۷۷	۰/۸۹	۰/۶۱	۸۵/۸۲
اداره حفاظت خاک ایالات متحده (SCS)	۱۲/۷	۱۱/۹۶	۹/۳۶	۱۵/۹۳	۱۵/۴۶	۸/۲۸	۰	۰	۷۳/۷۵
روش تجربی	۵/۳۳	۴/۶۲	۲/۳۴	۶/۱۲	۴/۴۰	۰	۰	۰	۲۲/۸۴
روش بارش قابل اطمینان	۲/۴	۱/۵۴۵	۰	۳/۳۵	۱/۲۸	۰	۰	۰	۸/۵۹

در معادله تجربی رنفرو مقدار E میزان بارانی را می‌رساند که احتمالا برای رفع نیازهای گیاه در رابطه با مصرف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچه مقدار E بیش‌تر باشد، مقدار باران مؤثر نیز بیش‌تر خواهد بود. با توجه به اینکه مجموع میانگین بارش دوره رشد گندم (۸ ماه) برای منطقه مورد بررسی ۱۰۷/۲۸ میلی‌متر بوده، مقدار آب مورد مصرف زراعی (CU)، ۱۹۵ میلی‌متر بوده و میانگین عمق آبیاری ۷۵ میلی‌متر درنظر گرفته شده است. لذا با توجه به (جدول ۳) مقدار بارش موثر ($(0.62 \times 107.28) + 75 = 141.5$) میلی‌متر بدست آمد که این مقدار محاسبه شده، بیش‌تر از میانگین کل بارش در دوره رشد (۱۰۷/۲۸میلی‌متر) است که چنین چیزی غیرممکن می‌باشد. همچنین روش رنفرو روشی تجربی است و ممکن است برای بسیاری از حالت‌ها مناسب نباشد. از جمله این که این روش بارش مؤثر را در کل دوره رشد گیاه محاسبه می‌کند و برای دوره‌های کوتاه مدت مانند (دوره ده روزه، دوره ماهانه) مناسب نیست (Rahman et al., 2008). لذا این امر خود دلیل محکمی بر رد ناتوانی این فرمول در برآورد بارش مؤثر است. پس نمی‌توان از این فرمول در این حوضه بهره جست. در ادامه با استفاده از نرم افزار SPSS و به کمک آزمون مقایسه میانگین دانکن به بررسی روش‌های مختلف برآورد بارش مؤثر در منطقه مورد نظر پرداخته شد. جداول ۶ و ۷ نتایج حاصل از این آزمون را نشان می‌دهد.

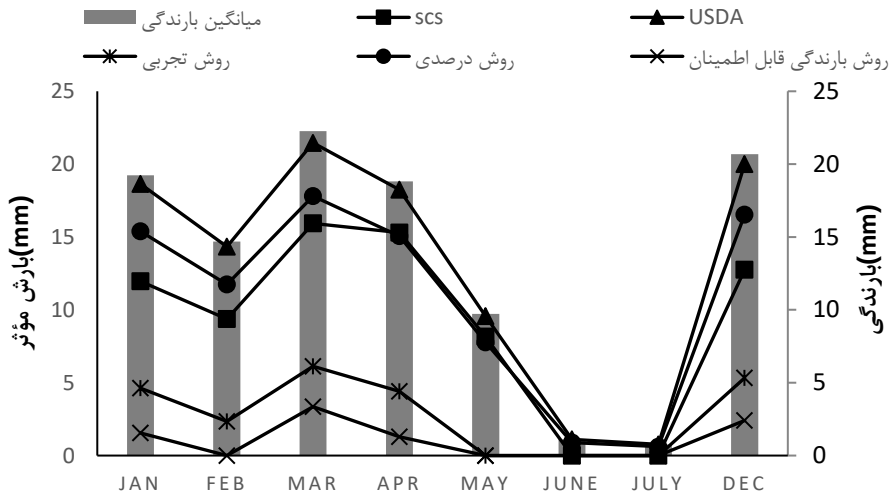
جدول۶: نتایج آنالیز واریانس یک طرفه

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بین گروه‌ها	۸۵۱/۹۴۹	۴	۲۱۲/۹۸۷	۶/۴۸۴	۰/۰۰۱
درون گروه‌ها	۱۱۴۹/۷۵۴	۳۵	۳۲/۵۸۵		
مجموع	۲۰۰۱/۷۰۳	۳۹			

جدول۷: گروه‌بندی روش‌های مورد بررسی به روش دانکن

روش	زیر مجموعه‌ها در سطح ۵ درصد	
	۱	۲
اطمینان	۱/۰۷۴۲	
تجربی	۲/۸۵۵۱	
SCS		۹/۱۸۳۲
درصدی		۱۰/۷۲۸۳
USDA		۱۳/۰۱۸۵

نتایج مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (جدول۷) نشان دهنده این است که روش‌های بارندگی قابل اطمینان و تجربی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر درون گروهی نداشتند و نیز روش‌های درصدی، USDA، SCS، هم به‌طور مشابه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر درون گروهی نداشته، بلکه بین این دو گروه تفاوت آماری معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود دارد. با توجه به نتایج بدست آمده جهت برآورد بارش مؤثر می‌توان از یکی از روش‌های موجود در هر گروه استفاده کرد.



شکل۱: نمودار مقایسه کلیه روش‌های برآورد بارش مؤثر در دوره ۴۷ ساله شهرستان اصفهان

با ملاحظه‌ی (جدول ۶) و (شکل ۱) مشخص می‌گردد که به طورکلی بارش‌های جوی در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و دسامبر نسبت به سایر ماه‌های فصل کشت گندم در شهرستان اصفهان قابل توجه بوده است. بیش‌ترین مقادیر محاسبه شده بارش مؤثر متعلق به روش (USDA) و کم‌ترین آن مربوط به روش بارش قابل اطمینان است. به نحوی که روش‌های تجربی، (SCS) و درصدی پس از روش بارش قابل اطمینان به ترتیب کم‌ترین نتایج را نشان می‌دهند. همانطوری که در (جدول ۶) دیده می‌شود مقدار بارش مؤثر بر طبق روش‌های SCS، بارش قابل اطمینان و روش تجربی مقادیر منفی در آن مشاهده شد که با توجه به اینکه مقدار بارش نمی‌تواند منفی باشد برای آن صفر در نظر گرفته شده است. از طرفی طبق فرمول روش بارش قابل اطمینان (معادله۴) بطورکلی هر مقدار از بارش که کم‌تر از ۷/ ۱۶ میلی‌متر باشد، باران مؤثر آن صفر است، لذا با توجه به ارزش بارش‌های جوی و تأثیرگذاری آن در مناطق خشک و نیمه خشک این حوضه، نمی‌توان از بارش به مقدار ۱۶/۷ چشم پوشی کرد. بنابراین استفاده از روش‌های SCS، بارش قابل اطمینان و روش تجربی در مناطق خشک جهت محاسبه بارش مناسب نمی‌باشد. با توجه به این نکته که تاثیر بارش مؤثر در مناطقی که بارندگی کم‌تری دارند بیش‌تر است (Adnan and Hayat Khan, 2009) و اینکه نیاز آبی گندم دیم تابعی از بارش مؤثر بوده، لذا شایسته است روش‌هایی که بیش‌ترین تطابق را با بارش متوسط ماهانه دارند را اساس کار قرار دهیم. در روش درصدی مقدار ۸۰ درصد برای تعیین مقدار بارش موثر به صورت تجربی توسط FAO کسب شده و در مناطق مختلف مقدارهای مختلف انتخاب می‌شود. لذا نسبت به روش USDA از اطمینان کم‌تری برخوردار است. درنتیجه پس از بررسی و مقایسه مقادیر حاصل از دو روش USDA و درصدی گزینه‌ی مناسب برای برآورد بارش مؤثر باتوجه به موارد ذکر شده و اینکه روش USDA دقت بالایی دارد در این حوضه روش USDA تشخیص داده شد.

نتیجه‌گیری

محاسبه مقدار بارش مؤثر به‌عنوان یکی از منابع تأمین آب مورد نیاز برای کشت گندم از اقدامات مطالعاتی زیربنایی به شمار می‌رود که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. در پژوهش حاضر، مقدار بارش مؤثر در شهرستان اصفهان با استفاده از شش روش SCS (به کمک معادله فائو پنمن مانتیث)، بارش قابل اطمینان، تجربی، USDA، درصدی و روش رنفرو، محاسبه گردیده است. در این بین روش رنفرو به‌دلیل آنکه مقادیر بارش مؤثر را بیش از خود بارش نشان می‌دهد، مورد پذیرش واقع نشده است. باتوجه به نتایج حاصل از آزمون دانکن روش‌های درصدی، روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) و SCS و روش‌های بارش قابل اطمینان و روش تجربی تفاوت معنی‌دار درون گروهی نداشتند. روش‌های SCS و بارش قابل اطمینان و تجربی به‌دلیل مقادیر زیاد منفی که درواقع صفر می‌باشد، برای مناطق خشک مانند اصفهان مناسب نمی‌باشند. بنابراین برای تعیین میزان بارندگی مؤثر در شهرستان اصفهان و برای گندم دیم پیشنهاد می‌شود که بیش‌تر از روش‌های درصدی و به خصوص روش USDA استفاده شود. در خاتمه یادآور می‌شود از آنجا که میزان و زمان ریزش باران قابل کنترل نمی‌باشد، می‌توان با اتخاذ تدابیری میزان کارایی بارش و درنتیجه بارش مؤثر را افزایش داد. از جمله می‌توان به کاهش رواناب سطحی، ذخیره آب جهت اوقات کم باران، کاهش عمق نفوذ آب و برنامه‌ریزی جهت کشت گونه‌های منطبق بر رژیم بارش اشاره نمود.

منابع

خالدی علمداری، م. و مجنونی هریس، ا. (۱۳۹۹). کاربرد شاخص‌های یکنواختی بارش و زمان – بارش مؤثر برای برآورد عملکرد گندم دیم و نوسانات آن در اقلیم نیمه‌خشک تبریز. فصلنامه پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۳۴، شماره ۳، ص ۴۶۱-۴۴۹.

سالاریان، م.، لاریجانی، ش. و نجفی، م. (۱۳۹۵). بررسی مناسب‌ترین روش برآورد بارش موثر برای کشت گندم دیم (مطالعه موردی شهرستان اصفهان). دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴-۲ شهریور ۱۳۹۵، اصفهان، ایران.

Adnan, S. and Hayat Khan, A. (2009). Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology, 6 (11), pp: 61-72.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. 56. FAO, Rome.

Bos, M.G. (1980). Irrigation efficiency at crop production level. ICID Bulletin, 29 (2), pp: 18–26.

Bos, M.G. and Nugteren, J. (1974). On irrigation efficiencies. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, Vol. 19.

Bos, M.G., Kselik, R.A.L., Allen, R.G. and Molden, D. (2009). Water requirements for irrigation and the environment. Dordrecht, Springer.

Chahoon, J., Yonts D. and Melvin, S. (2001). Estimating Effective Rainfall. www.iavrpubs.unl.edu/irrigation/g1099.htm.

Chow, V.T. (1964). Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Co., New York.

Dastane, N.G. (1978). Effective rainfall. FAO Consultant, Project Coordinator, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi.

Malekian, A., Ghasemi, H. and Ahmadian, A. (2009). Evaluation of the Efficiency of CROPWAT Model for Determining Plant Water Requirement in Arid Regions. Desert, 14 (2), pp: 209-215.

Mares, D.J. (1993). Pre-harvest sprouting in wheat. I. Influence of cultivar, rainfall and temperature during grain ripening. Aust. J. Agric. Res, 44 (6), pp: 1259–1272.

Mohammadi, H. and Karimpour Reihan, M. (2008). The effect of 1991-2001 droughts on ground water in Neishabour plain. Desert, 12 (2), pp: 185-197.

Mohan, S., Simhadrirao, B. and Arumugam, N. (1996). Comparative Study of Effective Rainfall Estimation Methods for Lowland Rice. Water Resources Management, 10 (1), pp: 335-44.

Rahimi, J., Khalili, A. and Bazrafshan, J. (2014). Estimation of effective precipitation for winter wheat in different regions of Iran using an Extended Soil-Water Balance Model. Desert, 19 (2), pp: 91-98.

Rahman, M.M., Islam, M.O. and Hasanuzzaman, M. (2008). Study of effective rainfall for irrigated agriculture in south-eastern part of Bangladesh, World Journals of Agri. Sci, 4 (4), pp:453-457.

Smajstrla, A.G. and Zazueta, F.S. (2002). Estimating crop irrigation requirements for irrigation system design and consumptive use permitting. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agriculture Sciences, EDIS.

Snyder, R.L. and Davis U.C. (2001). Drought Tips. www.edis.ifas.ufl.edu/aeo78.

Tsai, S., Chen, S. and Wang, H. (2005). A study on the practical model of planned effective rainfall for paddy fields in Taiwan. Journal of Marine Science and Technology, 13 (2), pp: 73-82.

Tsao, I.S. (1971). A Study on the Calculation and Estimation of Effective Rainfall on Paddy Field by Using Electronic Computer. J. Taiwan Water Cons, 19 (2), pp: 7-29.

Study of the most appropriate method for estimating effective rainfall to determine the water requirement of rainfed wheat in Isfahan

Shamim Larijani [1*], Mohammad Salarian [2], Hossein Banjad [3], Masoumeh Najafi [4]

1) PhD student in Water Science and Engineering, Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

2) PhD in Water Science and Engineering, CEO of Abandandishan Ab and Khak of Alborz , Consulting Engineers Company, Sari, Mazandaran.

3) PhD in Water Science and Engineering, Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

4) Graduate of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.

***Correspondence author:** Shamim.larijani@mail.um.ac.ir

Received Date: 2021. 05.10 **Accepted Date: 2021. 09. 16**

Abstract

Calculating the amount of effective rainfall as one of the water supply sources required for wheat cultivation is one of the basic study measures that can be used in the relevant planning. Therefore, identifying and applying a suitable method for estimating effective rainfall, especially in rainfed cultivation, is doubly important. In this study, various methods of determining effective rainfall were evaluated, including: US Department of Agriculture (SCS) Soil Conservation Service Methods, Reliable, Experimental, USDA) Percentage and Renfro Method, using SPSS software and by testing. Duncan's statistics are given in the city of Isfahan for the cultivation of rainfed wheat. The results of this evaluation show that the Renfro method has not been accepted because it shows the effective rainfall values more than the rainfall itself. Reliable and experimental SCS methods and precipitation are more suitable for wet areas due to high negative values (zero). The results show that the percentage method and USDA are more consistent with the amount of precipitation than other methods. Due to greater compliance with the average monthly rainfall, the best method for calculating effective rainfall in Isfahan and USDA for wheat was proposed.

Keywords: Effective precipitation, Isfahan, Renfro, USDA, Wheat.