2016, Vol.2, No.2, Pages 51 to 58
Journal of Water and Sustainable Development

سال دوم، شماره ۲، اسفند ۱۳۹٤، صفحات ۵۱ تا ۵۸
نشریه آب و توسعه پایدار

مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی

نوشین خالقی

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
E-Mail: khaleghinushin@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۷

چکیده

قسمتی از بارش که مستقیماً جوابگوی نیاز آبی گیاه است، بارش مؤثر نام دارد. روش‌های برآورد بارش مؤثر عبارتند از: اندازه‌گیری مستقیم، روش‌های تجربی و مدل بیلان آب در خاك. به دلیل هزینه‌های زیاد اندازه‌گیری و نگهداری ادواتی چون لایسیمتر، معمولاً از روش‌های تجربی و بیلان برای برآورد بارش مؤثر استفاده می‌شود. در این مقاله، ضمن معرفی روش‌های عمده برآورد باران مؤثر، مزایا، معایب و موارد کاربرد هر یک از روش‌ها ارائه شده است. براساس مطالعات انجام شده، روش بیلان علیرغم نیازمندی به داده‌های دقیق از اجزای فیزیکی، بعد از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم بیشترین دقت را دارد. روش نسبت تبخیر-تعرق پتانسیل به بارش، مؤثرترین روش برای طرح‌های اولیه و ابتدایی است. معادله رنفرو بدلیل اینکه بسیار تجربی می‌باشد، روش نامناسبی است. روش USDA [1] نیز در حوضه‌هایی که مقدار تبخیروتعرق پتانسیل بیشتر از مقدار بارش است، مناسب نمی‌باشد. بارش مؤثر به روش USDA بیشترین مقادیر را بدست داده و کمترین آن مربوط به روش بارش قابل اطمینان است. بعلاوه، روش‌های فرمول تجربی، سرویس حفاظت خاک آمریکا، وزارت کشاورزی ایالات متحده و روش درصدی نتایج نزدیک به هم را ارائه خواهند داد. در مناطق خشك و نیمه خشك، روش‌های نسبت تبخیر-تعرق پتانسیل به بارندگی و ادارة حفاظت خاك ایالات متحده بهترین نتیجه را می‌دهند. در مناطق مرطوب نیز روش بارش قابل اطمینان به عنوان روش مناسب انتخاب گردیده است تا برنامه‌ریزی‌ها بر مبنای مقادیر واقعی‌تر انجام گیرد.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی، بارش مؤثر، لایسیمتر، روش‌های تجربی، بیلان.

Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture

N. Khaleghi

MSc. of Agrometeorology, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
Email: khaleghinushin@yahoo.com
Received: 17-5-2015
Accepted: 28-12-2015

Abstract

The Part of precipitation that directly meets the water requirements of a plant, is termed the effective rainfall. Effective rainfall estimation methods consist of: direct measurement, empirical methods, and soil-water balance modeling. Due to the high costs of measurements and storing devices such as lysimeter, empirical and balance methods are most commonly used to estimate the effective rainfall. In this paper, as well as introducing the main methods of effective rainfall estimation, the benefits, drawbacks, and applications of each method are discussed. Based on the reported literature, the balance method, in spite of its need for exact data regarding the physical elements, after the direct measurement methods, has the most accuracy. The potential evapotranspiration ratio method is the most effective approach for basic projects. The Renfrew equation because it is very empirical, is therefore not a suitable method. The USDA method is also not appropriate for areas where the quantity of rainfall is more than the potential evapotranspiration rate. The highest effective rainfall amount is given by the USDA method and the lowest level is given by the Reliable method. In addition, the results of the empirical approaches, as well as the US Soil Conservation Service, US Department of Agriculture and Percentage method give similar results. In arid and semi-arid areas, the potential evapotranspiration to precipitation method and the soil conservation department of the United States provide the best results. In wet areas, the Reliable method is chosen as the most appropriate approach to planning because it provides more realistic values.

Keywords: water requirement, effective rainfall, lysimiter, experimental methods, balance.

مقدمه

بارش حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی است که تقریباً تمامی ابعاد حیات در کره زمین را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. بیشترین مقدار آب باران برای تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما در هر نوبت از بارندگی، تنها قسمتی از نزولات مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و مابقی آن به طرق مختلف مثل تبخیر، رواناب و عبور از ناحیه ریشه، از دسترس گیاه خارج می‌شود؛ به همین دلیل مفهوم بارش مؤثر جهت بیان آن قسمت از بارش که مستقیماً جوابگوی نیاز آبی گیاه است، بکار برده می‌شود (عزیزی، ۱۳۷۹). اطلاعات مربوط به بارش مؤثر می‌تواند برای طراحی پروژه‌های آبیاری، طراحی و کاربرد سیستم‌های زهکشی، آبشوئی و شوری، کشت برنج، طراحی سیستم‌های آبیاری با استفاده از آب‌های زیرزمینی و کشاورزی دیم مورد استفاده قرار گیرد (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸).

عزیزی در مطالعه‌ای در سال ۱۳۷۹، بارش مؤثر خرم‌آباد را براساس روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) برآورد کرد. نتایج مطالعه مذکور نشان داد که با وجود اینکه خرم‌آباد امکان دریافت بارش سالیانه نسبتاً قابل توجهی را در مقایسه با اغلب ایستگاه‌های کشور دارد و دشت خرم‌آباد از قابلیت نسبتاً خوبی جهت کشت دیم برخوردار است، اما عدم توزیع بهینه بارش ماهانه در ارتباط با کشت دیم و همینطور عدم اطمینان از دریافت بارش کافی در ایام مورد نیاز گیاه، محدودیت‌هائی را سبب می‌شود (عزیزی، ۱۳۷۹). مجرد و همکاران (۱۳۸۴) مقادیر بارش موثر را به عنوان بخشی از نیاز آبی محصول برنج در جلگه مازندران به روش‌های درصدی، بارش قابل اطمینان، وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)، SCS، فرمول تجربی و معادله رنفرو[۲] برآورد کردند. در مطالعه‌ای دیگر، از بین روش‌های معادله رنفرو، SCS، USDA، درصدی و بارش قابل اطمینان، روش SCS برای برآورد باران مؤثر در کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک انتخاب گردید؛ به دلیل اینکه از یکسو تنها به داده‌های تبخیرو تعرق بالقوه، ضریب گیاهی، بارش و عمق آبیاری وابسته می‌باشد و از سوی دیگر فاقد محدودیت‌های مکانی و ... است (خوشحال دستجردی و جوشنی، ۱۳۹۱).

در بررسی دیگر که به منظور تخمین بارش مؤثر در پاکستان انجام شد، با استفاده از داده‌های ۵۸ ایستگاه هواشناسی، چهار روش معادله رنفرو ، اداره احیاء اراضی (U.S.B.R)[۳]، نسبت و USDA جهت برآورد باران مؤثر برای دو فصل رشد به کار برده شد و تغییرات مقدار باران مؤثر در طول دو فصل با استفاده از این روش‌ها تعیین شد (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸). در مطالعه‌ای دیگر، روش‌های نسبت تبخیر و تعرق به بارش، هندی ۱، هندی ۲ و ویتنام برای برآورد باران مؤثر کشت برنج مورد بررسی قرار گرفت. این روش‌ها به همراه روش وزارت کشاورزی ایالات متحده با روش بیلان آب مقایسه شدند. آنالیزها براساس داده‌های روزانه تبخیر و تعرق و بارش مربوطه و برای کشت برنج در جنوب هند انجام شد. نتیجه بررسی این بود که روش‌های نسبت و هندی ۲ برآورد نزدیکتری از باران مؤثر به روش بیلان آبی داشتند و از آنجائیکه روش بیلان یک روش دقیق و در عین حال بسیار دشوار است، می‌توان از دو روش مذکور برای برآورد باران مؤثر استفاده کرد (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

از آنجائیکه شناخت باران موثر از نقطه‌نظر پیش‌بینی وضعیت آب قابل استفاده برای رشد گیاه حائز اهمیت است، در این مقاله، روش‌های عمده برآورد بارش مؤثر، مزایا، معایب و کاربرد آنها ارائه شده است.

تعاریف باران مؤثر

باران مؤثر از دیدگاه هر متخصص تعریف خاصی دارد. برای یک مهندس آبیاری، بارانی است که یا مستقیماً به منبع ذخیره می‌رسد و یا به طور غیرمستقیم از رواناب سطحی زمین‌های اطراف جمع می‌شود. از دیدگاه متخصصین کشاورزی، باران مؤثر قسمتی از کل بارش است که مستقیماً جوابگوی نیازهای آبی گیاه بوده و نیز رواناب سطحی که بتوان برای تولید محصول از برکه یا چاه به مزرعه پمپاژ کرد (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸). در زراعت دیم، وقتی زمین به حالت آیش گذاشته می‌شود، قسمتی از کل باران که برای محصول بعدی در خاک ذخیره می‌گردد به عنوان بارش مؤثر مد نظر قرار می‌گیرد (مالک، ۱۳۶۲). Hages و Buell (۱۹۵۵) باران مؤثر را قسمتی از بارندگی می‌دانند که برای رشد گیاه قابل دسترس بوده و مقدار آن برابر با کل باران منهای رواناب و تبخیر است. اوگرسکی و مکوس باران مؤثر را برابر با کل باران فصل رشد منهای رطوبت از دسترس خارج شده به صورت رواناب یا نفوذ می‌دانند (عزیزی، ۱۳۷۹). به نظر ایسرالسن و هانسن، یک باران ملایم بر روی سطح برگ یا زمین هر چند به منطقه ریشه نرسد، می‌تواند تبخیر و تعرق گیاه را کاهش دهد؛ از اینرو می‌تواند به عنوان باران مؤثر در نظر گرفته شود (عزیزی،۱۳۷۹). در کل می‌توان نتیجه گرفت که اگر مقدار نفوذ به عمق پائین‌تر از دسترسی ریشه گیاه و مقدار رواناب و همینطور مقدار رطوبتی که بعد از برداشت محصول در خاک باقی می‌ماند را در دوره رویش یا فصل رشد از کل مقدار باران همین دوره یا فصل رشد کم کنیم، باران مؤثر بدست می‌آید که ممکن است برابر، بیشتر یا کمتر از نیاز آبی گیاه مورد نظر باشد (عزیزی، ۱۳۷۹).

به طور خلاصه می‌توان گفت خصوصیات بارش، مشخصات خاک، آهنگ تبخیر و تعرق گیاه و مدیریت آبیاری از جمله فاکتورهای اصلی در میزان باران مؤثر هستند. معمولاً باران‌های کوتاه مدت و با شدت کم، مؤثرترین باران‌ها هستند. همچنین یک بارش با توزیع خوب و یکنواخت و به صورت رگبار سبک بیشتر از رگبارهای سنگین برای گیاه مؤثر است (USDA، ۱۹۹۳).

معرفی روش‌های برآورد باران مؤثر

روش‌های مختلفی برای برآورد باران مؤثر وجود دارد. یک روش مناسب و قابل استفاده در تخمین باران مؤثر بایستی شامل خصوصیات گیاه، تبخیر و تعرق و رواناب سطحی باشد. برای کاربری اراضی روش بکار رفته باید ساده، دقیق، ارزان و سریع باشد (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸). به طور کلی روش‌های تعیین بارش مؤثر به سه دسته تقسیم می‌شوند: اندازه‌گیری مستقیم، روش‌های تجربی و مدل بیلان آب خاك. به دلیل هزینه‌های زیاد اندازه‌گیری و نگهداری ادواتی چون لایسیمتر، به طور معمول از روش‌های تجربی و بیلان برای برآورد بارش مؤثر استفاده می‌شود. روش‌های مبتنی بر بیلان آب خاك، بعد از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم بیشترین دقت را دارند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲).

مهمترین روش‌های تجربی پر کاربرد عبارتند از: بیلان آب، معادله رنفرو، نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش، روش اداره احیاء اراضی و روش وزارت کشاورزی ایالات متحده، سرویس حفاظت خاک آمریکا، هندی ۱، هندی ۲، ویتنام، درصدی، فرمول تجربی باران مؤثر و روش بارندگی قابل اطمینان.

- روش بیلان آب

در روش بیلان آب از اجزای ساده هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. در روش‌های موجود بیلان رطوبتی روزانه آب-خاک، برای برآورد میزان بارش مؤثر، رهیافت‌های متفاوتی وجود دارد. در برخی از مدل‌های بیلان آب-خاک، عمق توسعه ریشه در تمامی مراحل رشد ثابت و به اندازه عمق ریشه در زمان حداکثر رشد گیاه فرض شده است. در برخی دیگر، مقدار آب مازاد که از منطقه ریشه خارج می‌شود، مقدار نفوذ عمقی در نظر گرفته شده و جزء بارش مؤثر روزانه در نظر گرفته نمی‌شود (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۱). به عنوان نمونه، در روش بیلان برای مزرعه شالیزار، مقدار باران مؤثر طی دوره زمانی t (در منبع مربوطه معادله برای هر دوره زمانی ارائه شده است) از رابطه زیر به دست می‌آید (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶):

$$S_t = S_{t-1} + I_t - ET_t + ER_t - P_t \quad (۱)$$

S_t: ذخیره آب در پایان دوره، S_{t-1}: ذخیره آب در شروع دوره، I_t: میزان آبیاری، ET_t: مقدار تبخیر و تعرق واقعی، ER_t: باران مؤثر، P_t: مقدار نفوذ

- معادله رنفرو

روش معادله رنفرو یک معادله ریاضی برای برآورد باران مؤثر است (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸).

$$ER = E.Rg + A \quad (۲)$$

ER: باران مؤثر، Rg: بارش فصل رشد، A: متوسط آبیاری به کار برده شده در طول فصل رشد، E: نسبت آب مصرفی (CU) به بارش در طول فصل رشد (جدول ۱).

جدول ۱- مقادیر E مورد استفاده در روش معادله Renfro (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸)

CU/Rg	E	CU/Rg	E	CU/Rg	E
۰	۰	۱/۶	۰/۵۷	۳/۵	۰/۸۴
۰/۲	۰/۱	۱/۸	۰/۶۱	۴	۰/۸۸
۰/۴	۰/۱۹	۲	۰/۶۵	۴/۵	۰/۹۱
۰/۶	۰/۲۷	۲/۲	۰/۶۹	۵	۰/۹۳
۰/۸	۰/۳۵	۲/۴	۰/۷۲	۶	۰/۹۶
۱	۰/۴۱	۲/۶	۰/۷۵	۷	۰/۹۸
۱/۲	۰/۴۷	۲/۸	۰/۷۷	۹	۰/۹۹
۱/۴	۰/۵۲	۳	۰/۸	-	-

- نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش

روش نسبت تبخیروتعرق پتانسیل به بارش که به اختصار روش نسبت نامیده می‌شود، یک روش نیمه تجربی ساده است. با استفاده از این روش، علاوه بر باران مؤثر در طول کل فصل رشد، می‌توان مقدار آن را برای تعدادی از روزها نیز تخمین زد. این نسبت برای هر دوره زمانی و بر حسب درصد بیان می‌شود (Rahman و همکاران، ۲۰۰۸). در این روش، باران مؤثر تحت تأثیر تبخیروتعرق پتانسیل، اتلاف آب از طریق نفوذ و همچنین نوع خاک و خصوصیات رطوبت خاک تغییر می‌کند (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸).

- روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده (U.S.B.R)

روش اداره احیاء اراضی ایالات متحده (U.S.B.R) به وسیلهٔ استام[۴] ارائه شده است که اصولاً برای نواحی خشک و نیمه خشک توصیه می‌شود. در این روش از متوسط باران فصلی (یا ماهانه) ۵ سال از خشک‌ترین سال‌های متوالی، استفاده می‌شود؛ به‌گونه‌ای که بارندگی به جزءهای ۲۵/۴ میلی‌متری

تقسیم می‌شود. در جدول (۲) با توجه به اینکه هر یک از اجزاء در چه محدوده‌ای از بارندگی قرار دارند، بارش موثر آن مشخص شده است (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱). همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، در هر یک از محدوده‌های افزایش بارش، دو حد بالا و پایین درصد تعیین شده است. بنابراین هر یک از حدود درصد در ۲۵/۴ ضرب شده و به حدود بالا و پایین محدوده تجمعی بارش قبل از خود اضافه می‌گردد.

جدول ۲- باران مؤثر بر مبنای افزایش بارش ماهانه در روش U.S.B.R (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸)

محدوده افزایش بارش (میلی‌متر)	درصد	محدوده تجمعی بارش مؤثر (میلی‌متر)
۰ - ۲۵/۴	۹۰ -۱۰۰	۲۲/۹ -۲۵/۴
۲۵/۴ – ۵۰/۸	۸۵ -۹۵	۴۴/۴ -۴۹/۵
۵۰/۸ – ۷۶/۲	۷۵ -۹۰	۶۳/۵ -۷۲/۴
۷۶/۲ –۱۰۱/۶	۵۰ -۸۰	۷۶/۲ -۹۲/۷
۱۰۱/۶ -۱۲۷	۳۰ -۶۰	۸۳/۸ -۱۰۷/۹
۱۲۷ -۱۵۲/۴	۱۰ -۴۰	۸۶/۴ -۱۱۸/۱
> ۱۵۲/۴	۰ -۱۰	۸۶/۴ -۱۲۰/۶

- روش وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA)

وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) بیان می‌دارد مقداری از باران که در طی دوره رشد یک گیاه دریافت شده و برای مصارف آن در دسترس قرار گیرد، بارش مؤثر نامیده می‌شود (مالک، ۱۳۶۲). در این روش، میزان بارندگی موثر ماهانه، طبق روابط زیر محاسبه می‌شود (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱):

$$If: P < 250\ mm, \quad P_{eff} = (P/125)\times(125 - 0.2P) \qquad (۳)$$

$$If: P > 250\ mm, \quad P_{eff} = 125 + 0.1P \qquad (۴)$$

P_{eff}: بارش مؤثر ماهانه، P: بارندگی ماهانه

- روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS)

سرویس حفاظت خاک آمریکا روشی را بر مبنای داده‌های رطوبت خاک و اقلیم برای برآورد بارش مؤثر ارائه داده است. در این روش، بارش مؤثر با استفاده از باران ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همین‌طور عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۷۵ میلی‌متری) برآورد می‌شود (مجرد و همکاران، ۱۳۸۴):

$$P_e = F_d\,(1.253P^{0.824} - 2.935)\times 10^{0.000955\,ETC} \qquad (۵)$$

P_e: بارش مؤثر ماهانه، P: مجموع بارش هر ماه، ETC: مجموع تبخیر و تعرق هر ماه، F_d: ضریبی که وابسته به عمق آبیاری (Di) می‌باشد (جدول ۳). در رابطه فوق تمام واحدها بر حسب میلی‌متر در نظر گرفته شده است. اگر عمق آبیاری در هر مرحله برابر با ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود، F برابر با یک است؛ اگر عمق آبیاری کمتر از ۷۵ میلی‌متر باشد:

$$F = 0.133 + 0.201\ Ln\ Di$$

و اگر عمق آبیاری بیشتر از ۷۵ میلی‌متر باشد:

$$F = 0.946 + 7.3\times10 - Di^4$$

جدول۳- ضریب F در عمق‌های مختلف آبیاری

عمق آبیاری (mm)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
ضریب F	۰/۵۹۶	۰/۷۳۵	۰/۸۱۶	۰/۸۷۴	۰/۹۱۹	۰/۹۵۶	۰/۹۸۷	۱	۱/۰۱۹	۱/۰۳۷

- روش هندی ۱ و ۲

در روش هندی ۱ و ۲ اولین بار در هند به کار رفتند و از آن پس به این نام خوانده شدند. در روش هندی ۱، درصدی از کل بارش بین ۵۰ تا ۸۰ درصد به عنوان بارش مؤثر در نظر گرفته می‌شود و در روش هندی ۲، بارش کمتر از ۶/۲۵ میلی‌متر در روز و بیشتر از ۷۵ میلی‌متر در روز و همچنین بیشتر از ۱۲۵ میلی‌متر در یک دوره ۱۰ روزه به عنوان بارش غیرمؤثر در نظر گرفته می‌شود (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

- روش ویتنام

در روش ویتنام که اولین بار در هند بکار برده شد، بارش روزانه کمتر از ۵ میلی‌متر و بیشتر از ۵۰ میلی‌متر غیرمؤثر در نظر گرفته می‌شود. اگر تبخیر و تعرق واقعی روزانه ۱۰ میلی‌متر باشد، بارش تا مقدار ۶۰ میلی‌متر در دو روز متوالی به عنوان مؤثر و بیشتر از این مقدار غیرمؤثر در نظر گرفته می‌شود. بطور مشابه بارش تا مقدار ۷۰ میلی‌متر در سه روز متوالی مؤثر و بیشتر از این مقدار غیرمؤثر خواهد بود. همین روال برای مقادیر بیشتر نیز جاری است (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

- روش درصدی

در روش درصدی که توسط FAO ارائه شده است، بارندگی مؤثر، ۸۰ درصد بارش ماهانه قلمداد می‌شود (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱).

- روش بارندگی قابل اطمینان

روش بارندگی قابل اطمینان مبتنی بر فرمولی تجربی بوده که توسط سازمان خواربار جهانی FAO برای اقلیم‌های خشک و مرطوب ارائه شده است (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱). این روش عبارت است از:

$$If: P <= 70\ mm, \quad P_{eff} = 0.6P - 10 \qquad (۶)$$

$$If: P > 70\ mm, \quad P_{eff} = 0.8P - 24 \qquad (۷)$$

P_{eff}: بارش مؤثر هر ماه (mm)، P: بارش کل هر ماه (mm)

- فرمول تجربی باران مؤثر

فرمول تجربی باران مؤثر، فرمول تجربی دیگری مشابه با روش بارندگی قابل اطمینان می‌باشد که توسط FAO برای تعیین باران موثر ارائه شده است (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱):

$$If: P < 50\ mm, \quad P_{eff} = 0.5\ P - (-5) \qquad (۸)$$

$$If: P > 50\ mm, \quad P_{eff} = 0.7\ P - (-15) \qquad (۹)$$

جمع‌بندی

انتخاب روش مناسب برای برآورد باران مؤثر بستگی به عواملی مانند کفایت داده‌های موجود، دقت کار و دوره زمانی مورد نظر دارد. به دلیل هزینه نسبتاً بالای بکارگیری روش‌ها و ابزارهای دقیق، به طور معمول برای برآورد بارش مؤثر از روش‌های تجربی و بیلان آب خاك که یک روش فیزیکی است، استفاده می‌شود. معمولاً برای مقادیر کمِ بارش، همه روش‌ها تقریباً برآورد یکسانی از باران مؤثر دارند؛ اما برای مقادیر بیشتر، اختلاف آشکاری در برآورد باران مؤثر حاصل از روش‌های مختلف وجود دارد و این به دلیل آن است که هر یک از روش‌ها به شکل خاصی از بارش در معادله خود استفاده می‌کنند (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

روش بیلان علیرغم اینکه نیازمند داده‌های دقیق از اجزای فیزیکی مانند تبخیر- تعرق، نفوذ، ذخیره موجود مزرعه، مقدار آبیاری و رواناب است، بعد از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم بیشترین دقت را دارد (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

معادله رنفرو رواناب و نوع گیاه را در نظر نگرفته است و فقط دو فاکتور خشکی و خاک را لحاظ کرده است؛ در نتیجه دقت این روش بسیار پائین می‌باشد (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸). بررسی معادله رنفرو نشان می‌دهد که مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده براساس آن، بیشتر از مقادیر بارش بدست می‌آید که این امر خود دلیل محکمی بر ناتوانی این فرمول در برآورد بارش مؤثر است.

با استفاده از روش اداره احیاء اراضی، باران مؤثر فصلی و نیز باران مؤثر ماهانه قابل برآورد است. از ویژگی‌های اصلی این روش، برآورد سریع باران مؤثر است. در عین حال روش اداره احیاء اراضی نمی‌تواند رضایت‌بخش باشد، زیرا نوع خاک، طبیعت گیاه و فراوانی و توزیع بارش را در نظر نگرفته است. بعلاوه فاکتور خشکی را هم لحاظ نکرده است. روش نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش را نیز مؤثرترین روش برای طرح‌های اولیه و ابتدایی نسبت به بقیه روش‌ها می‌دانند (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸). در این روش، تقریب براساس خصوصیات خاک و رواناب است و خشکی هم در نظر گرفته شده است (Rahman و همکاران، ۲۰۰۸).

روش سرویس حفاظت خاک آمریکا بر اساس فاکتورهای خشکی، خاک و گیاهان، باران مؤثر را برآورد می‌کند که تخمین‌های خوبی بخصوص برای طراحی پروژه‌ها فراهم می‌نماید (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶). روش وزارت کشاورزی ایالات متحده به دلیل اینکه مقدار بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه و عمق خاك را برای برآورد بارش مؤثر ماهانه درنظر می‌گیرد، نتایج رضایت‌بخشی تولید می‌کند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). در عین حال عیب آن اینست که مقادیر بارش مؤثر را زیاد برآورد می‌کند (Adnan و Hayat Khan، ۲۰۰۸).

روش ویتنام در اغلب موارد مقدار نسبتاً کمی از کل باران مؤثر فصلی را نشان می‌دهد. بعلاوه این روش مستقیماً نیازهای تبخیر و تعرق را منعکس نمی‌کند (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

روش هندی ۲ مانند بیلان و نسبت برای استفاده‌های عملی در برآورد باران مؤثر مناسب است. این روش به دلیل اینکه نیازهای تبخیر-تعرق را لحاظ نمی‌کند، به نسبت روش بیلان آب، برآورد بیشتری از بارش موثر بدست می‌دهد. در بیشتر موارد روش هندی ۲ برآورد بیشتری از باران مؤثر نسبت به روش هندی ۱ دارد. اگرچه روش‌های نسبت و هندی ۲ تجربی هستند، اما مقادیر بدست آمده از آنها به روش بیلان نزدیک بوده و با اینکه روش بیلان از همه روش‌ها دقیق‌تر است، اما می‌توان در کاربردهای عملی از دو روش مذکور استفاده کرد (Mohan و همکاران، ۱۹۹۶).

در مناطق با هویت اقلیمی خشك و نیمه خشك در طبقه‌بندی دومارتن، به ترتیب روش‌های نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارندگی و ادارة حفاظت خاك ایالات متحده بهترین نتیجه

را می‌دهند. دلیل این امر آنست که در این مناطق، تبخیر مهمترین عامل محدودکننده بارش مؤثر به شمار می‌رود، بنابراین در این مناطق روش‌هایی که تبخیر را یك عامل اساسی در برآورد بارش مؤثر لحاظ می‌کنند، نتایج بهتری می‌دهند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). ضمن اینکه، روش‌های فرمول تجربی، سرویس حفاظت خاک آمریکا، درصدی و وزارت کشاورزی ایالات متحده نتایج نزدیک به هم را ارائه خواهند داد (کولائیان و غلامی سفیدکوهی، ۱۳۹۱).

نتایج حاصل از مطالعه خوشحال دستجردی و جوشنی (۱۳۹۱) بر روی پنج روش معادله رنفرو، روش SCS، روش USDA، روش درصدی و روش بارش قابل اطمینان در حوضه دریاچه نمک با میانگین سالانه بارش ۲۴۶/۶ میلی‌متر حاکی از آن است که بیشترین مقادیر محاسبه شده بارش مؤثر بعد از معادله رنفرو، متعلق به روش USDA و کمترین آن مربوط به روش بارش قابل اطمینان است. در حوضه‌هایی که مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از مقدار بارش است، نمی‌توان بر روی ارقام حاصل از روش USDA برنامه‌ریزی و مدیریت انجام داد. از طرفی باتوجه به فرمول روش بارش قابل اطمینان، بطور کلی هر مقدار از بارش که کمتر از ۱۶/۸ میلی‌متر باشد، باران مؤثر آن صفر است. لذا با توجه به ارزش بارش‌های جوی و تأثیرگذاری آن در مناطق خشک و نیمه خشک نمی‌توان از بارش به مقدار ۱۶/۸ میلی‌متر در این مناطق چشم‌پوشی کرد و برخلاف نظر کولائیان و غلامی سفیدکوهی (۱۳۹۱) استفاده از این روش در مناطق خشک مناسب نمی‌باشد (خوشحال دستجردی و جوشنی، ۱۳۹۱). برعکس در مناطق مرطوب، روش بارش قابل اطمینان به عنوان روش مناسب انتخاب گردیده است تا برنامه‌ریزی‌ها بر مبنای مقادیر واقعی‌تر انجام گیرد (مجرد و همکاران، ۱۳۸۴).

کاربرد مکانی و زمانی این روش‌ها نیز به ترتیب در جداول (۴) و (۵) آمده است. مزایا و معایب روش‌های مورد بررسی برای برآورد باران مؤثر به طور خلاصه در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۴- دسته‌بندی روش‌های برآورد باران مؤثر از نظر کاربرد مکانی

روش‌ها	کاربرد مکانی
بیلان، نسبت، سرویس حفاظت خاک آمریکا، درصدی، فرمول تجربی، ویتنام، هندی ۱، هندی ۲	همه مناطق
معادله رنفرو	نامناسب برای بسیاری از مناطق
روش وزارت کشاورزي ایالات متحده	مناطق دارای بارش‌های با شدت کم
روش اداره احیاء اراضی	مناطق خشک و نیمه خشک
روش بارش قابل اطمینان	مناطق مرطوب

جدول ۵- دسته‌بندی روش‌های برآورد باران مؤثر از نظر مقیاس زمانی

روش‌ها	مقیاس زمانی
بیلان، اداره احیاء اراضی، نسبت، ویتنام، فرمول تجربی، هندی ۱ و هندی ۲	بدون محدودیت زمانی
سرویس حفاظت خاک آمریکا، وزارت کشاورزی ایالات متحده، بارش قابل اطمینان و درصدی	ماهانه
معادله رنفرو	کل فصل رشد

به طور کلی می‌توان گفت برای تعیین اعتبار یک روش خاص در هر منطقه، باید اندازه‌گیری دقیق از میزان بارش مؤثر را در اختیار داشت. از اینرو لازم است نسبت به تعیین دقیق میزان بارندگی موثر گیاهان تحقیق مناسب صورت گیرد؛ زیرا استفاده از روش مناسب تعیین بارندگی موثر بخصوص در مواقع بروز خشکسالی، باعث می‌شود تا ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌های آبیاری برای تأمین باقیمانده نیاز آبی از سایر منابع، افزایش یابد. در خاتمه یادآور می‌شود از آنجا که میزان و زمان ریزش باران قابل کنترل نمی‌باشد، می‌توان با اتخاذ تدابیری، میزان کارائی بارش و در نتیجه 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 کاشت گونه‌های منطبق بر رژیم بارش اشاره نمود.

جدول ۶- مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر

روش‌ها	مزایا	معایب	معادله	داده های مورد نیاز
بیلان	بیشترین دقت بعد از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم، هم‌واحد بودن همه کمیت‌ها، امکان برآورد کوتاه مدت	نیازمند داده های دقیق فیزیکی	$S_t= S_{t-1} + I_t - ET_t + ER_t - P_t$	ذخیره آب در پایان دوره، ذخیره آب در شروع دوره، میزان آبیاری، مقدار تبخیروتعرق واقعی، مقدار نفوذ
معادله رنفرو	راحتی محاسبه	بسیار تجربی و دقت بسیار پایین، نامناسب برای بسیاری از مناطق، عدم امکان برآورد کوتاه مدت	$ER = E.Rg + A$	بارش فصل رشد، متوسط آبیاری به کار برده شده در طول فصل رشد، نسبت آب مصرفی به بارش در طول فصل رشد
U.S.B.R	امکان برآورد بارش مؤثر ماهانه و فصلی	در نظر نگرفتن فاکتورهای مختلف و تنها براساس رواناب سطحی	بین محدوده‌های بارش و اختصاص درصدهای مشخص به هر یک از محدوده‌ها	بارش ماهانه یا فصلی
نسبت	مناسب برای برنامه‌ریزي‌هاي كلي و برآورد اولیه و سریع، کم هزینه، خطای کم، سریع و اقتصادی، دقت بالا	دشواری محاسبات	$ER = ET_0 / P$	تبخیروتعرق پتانسیل، بارش
SCS	بدون محدودیت مکانی و نیاز به ابزار خاص، مناسب برای هر نوع گیاه و خاک، کاربرد وسیع، دقت بالا	در نظر نگرفتن آهنگ آبگیری خاک و شدت‌های بارش	$P_e = F_d (1.253P^{0.824} - 2.935) \times 10^{0.000955\ ETC}$	مجموع بارش هر ماه، مجموع تبخیروتعرق هر ماه، ضریب وابسته به عمق آبیاری
USDA	در نظر گرفتن پارامترهای مختلف و در نتیجه دقت قابل قبول	برآورد زیاد از بارش مؤثر	If : $P < 250$ mm, $P_{eff} = (P/125)\times(125 - 0.2P)$ If : $P > 250$ mm, $P_{eff} = 125 + 0.1P$	بارش ماهانه
بارش قابل اطمینان	برآورد کمتر از بارش موثر و افزایش ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌ها	نامناسب برای مناطق خشک	If : $P <= 70$ mm, $P_{eff} = 0.6P - 10$ If : $P > 70$ mm, $P_{eff} = 0.8P - 24$	بارش ماهانه
هندی ۱	راحتی محاسبه و بدون نیاز به داده‌های فیزیکی زیاد	دقت کم	$0.5\ P \le P_{eff} \le 0.8\ P$	بارش
هندی۲	مناسب برای استفاده‌های عملی در برآورد بارش مؤثر	درنظر نگرفتن تبخیروتعرق، برآورد بیشتر از بارش مؤثر	$6.25mm/day \le P_{eff} \le 75mm/day$ or $P_{eff} \le 125mm/10day$	بارش
ویتنام	راحتی محاسبه و بدون نیاز به داده‌های فیزیکی زیاد	برآورد کم از کل بارش مؤثر فصلی، عدم انعکاس نیازهای تبخیروتعرق	$5mm/day \le P_{eff} \le 50mm/day$	بارش
درصدی	راحتی محاسبه و بدون نیاز به داده‌های فیزیکی زیاد	دقت کم	$P_{eff} = 0.8\ P$	بارش ماهانه
تجربی	راحتی محاسبه و بدون نیاز به داده‌های فیزیکی زیاد	دقت کم	If : $P < 50$ mm, $P_{eff} = 0.5\ P-(-5)$ If : $P > 50$ mm, $P_{eff} = 0.7\ P-(-15)$	بارش

پی‌نوشت

1- United States Department of Agriculture Soil Conservation Service

2- Renfro Equation

3- United States Bureau of Reclamation

4- Stam

منابع

خوشحال دستجردی، ج. و جوشنی، ع. ۱۳۹۱. برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک سال سوم، ۹ و ۱۰: ۱۶۹-۱۵۳.

داستین، ان. جی. ۱۳۶۲. باران مؤثر در زراعت آبی. ترجمه:

اسماعیل مالک. مشهد، مرکز نشر دانشگاهی.
رحیمی، ج.، بذرافشان، ج. و خلیلی، ع. ۱۳۹۲ . مطالعة تطبیقی روش‌های برآورد بارش مؤثر در زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵ (۳): ۳۱-۴۶.
عزیزی، ق. ۱۳۷۹. برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد: دشت خرم‌آباد). پژوهش‌های جغرافیائی، ۳۹: ۱۳۳- ۱۱۵.
کولائیان، ع. و غلامی سفیدکوهی، م. ۱۳۹۱. معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
مجرد، ف.، قمرنیا، ه. و نصیری، ش. ۱۳۸۴. برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۴: ۷۶-۵۹.
Adnan Sh. and Hayat Khan A. 2008. Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology, 6: 61-72.
Hages G.L. and Buell J.H. 1955. Trees also need water at the right time and place. Water and our forests.
Mohan S., Simhadrirao B. and Arumugam N. 1996. Comprative study of Effective rainfall estimation methods for lowland rice. Water Resources Management, 10: 35 - 44.
United States Department of Agriculture., National Engineering Handbook, Part 623. 1993. Irrigation Water Requirements,Chapter2.
Rahman M.M., Islam M.O. and Hasanuzzaman M. 2008. Study of effective rainfall for irrigated agriculture in South-Eastern part of Bangladesh. World Journal of Agricultural Science, 4(4): 453-457.