University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Estimation of effective rainfall in the method of inverse problem solving in wheat-cultured fields and its comparison with experimental methods

Soheila Mohtashami[1] | Abdolmajid Liaghat[2]✉

1. Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: s.mohtashami@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Irrigation Engineering, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 18 March 2023

Received in revised form 28 July 2023

Accepted 01 August 2023

Published online 10 March 2024

Keywords:

CROPWAT,

Effective rainfall,

Experimental methods,

Inverse solving.

ABSTRACT

In this study, effective rainfall in wheat - cultivated areas of kermanshah province has been estimated as an inverse solution method and the results are estimated using the experimental method of effective rainfall (USDA, FAO, percentage and experimental)and their relative error is estimated. According to the need for meteorological data and the performance of caltivated dry farming wheat crop, kermanshah province's meteorological data, which consisted of 10 meteorological stations and also increased production data and the area sown to wheat crop for caltivated dry farming wheat crop for 14 years. First, effective rainfall was calculated with the help of different methods of computation and also the actual evapotranspiration of caltivated dry farming wheat using functions in the study area was calculated and therefore, the amount of precipitation was estimated. Then, the effective rainfall estimation methods are experimentally compared. The results expressed that during the last 14 years, the amount of effective rainfall estimated according to the inverse solution method during the period of caltivated dry farming wheat crop growth ranges from 119.85 to 279.90 mm. The results showed that the average error of the experimental method in the estimation of effective rainfall was significantly higher than the reverse solution method and the percentage method with average error margin of 25.9 % and FAO method with mean relative error rate of 47.78% had the highest error compared to the reverse solution method. Due to the fact that the experimental methods of effective rainfall estimation have a significant amount of error compared to the inverse solution method, a suitable model of effective rainfall estimation was developed. The results showed that the model proposed in this research, with an average relative error of 1.07%, is able to more accurately estimate the amount of effective precipitation in Kermanshah province than other experimental methods**.**

Cite this article: Mohtashami, S., & Liaghat, A. (2024). I Estimation of effective rainfall in the method of inverse problem solving in wheat-cultured fields and its comparison with experimental methods. *Journal Natural Environment*, 76 (4), 689-699. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.356951.2539

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.356951.2539

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس در اراضی تحت کشت گندم دیم و مقایسهٔ آن با روش‌های تجربی

سهیلا محتشمی[۱] | عبدالمجید لیاقت[۲]✉

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، کرج، ایران. رایانامه: s.mohtashami@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، کرج، ایران. رایانامه: aliaghat@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
بارش،
روش حل معکوس،
روش‌های تجربی،
CROPWAT.

چکیده

در این پژوهش باران مؤثر در اراضی تحت کشت گندم دیم استان کرمانشاه به روش حل معکوس برآورد گردیده و نتایج حاصل از آن با روش‌های تجربی برآورد باران مؤثر (USDA، FAO، درصدی و تجربی) مقایسه و خطای نسبی آن‌ها برآورد شده است. با توجه به نیاز به داده‌های هواشناسی و عملکرد محصول گندم دیم، از داده‌های هواشناسی استان کرمانشاه که شامل ۱۰ ایستگاه هواشناسی بوده و همچنین از اطلاعات میزان تولید و سطح زیرکشت موجود در سالنامه‌های زراعی برای محصول گندم دیم برای ۱۴ سال زراعی استفاده شد. ابتدا بارش مؤثر به کمک انواع روش‌های مورد اشارهٔ تجربی محاسبه و همچنین تبخیر تعرق واقعی محصول گندم دیم با استفاده از توابع عملکرد در محدودهٔ مطالعاتی محاسبه و در نتیجه مقدار بارش مؤثر برآورد گردید. سپس روش‌های برآورد بارش مؤثر به‌صورت تجربی و حل معکوس مقایسه شدند. نتایج نشان داد که روش درصدی با میانگین خطای نسبی ۲۵/۹ درصد کمترین خطا و روش FAO با میانگین خطای نسبی ۴۷/۷۸ درصد بیشترین خطا را نسبت به روش حل معکوس داشتند. با توجه به اینکه، روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر نسبت به روش حل معکوس مقدار خطای قابل توجهی داشته به توسعهٔ مدل مناسبی از برآورد بارش مؤثر پرداخته شد؛ بدین‌منظور، منحنی بر ۱۲ سری از داده‌های بارش–بارش مؤثر برازش داده شد و ۲ سری از داده‌ها برای صحت‌سنجی بکار گرفته شدند. خطای داده‌های اعتبارسنجی تابع با معیار خطای RMSE ارزیابی شد. مقدار RMSE برای داده‌های اعتبارسنجی ۴/۶۱ میلی‌متر محاسبه شد. سپس، روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر و روش تابع فیت شده مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده در این پژوهش با میانگین خطای نسبی ۱/۰۷ درصد قادر است با دقت بیشتری میزان بارش مؤثر را در استان کرمانشاه نسبت به روش‌های تجربی دیگر برآورد کند.

استناد: محتشمی، سهیلا؛ و لیاقت، عبدالمجید (۱۴۰۲). برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس در اراضی تحت کشت گندم دیم و مقایسه مقایسهٔ آن با روش‌های تجربی. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۴)، ۶۹۹-۶۸۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.356951.2539

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

بارش حیاتی‌ترین عنصر اقلیمی است که حیات کرهٔ زمین به آن وابسته است. اثر بارش به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در بسیاری از بخش‌ها از جمله بخش کشاورزی و به‌ویژه کشاورزی دیم قابل توجه است. با توجه به اهمیت آب در بخش کشاورزی، شناخت دقیق کل باران و همچنین میزان قابل استفاده یا مؤثر آن به‌منظور برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر در بخش کشاورزی و طراحی پروژه‌های آبیاری، طراحی و کاربرد سیستم‌های زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Adnan and Hayat Khan, 2008). اصطلاح باران مؤثر از دیدگاه متخصصین مختلف تفاسیر خاصی دارد. از دیدگاه متخصصین کشاورزی بارندگی مؤثر مقداری از بارندگی کل است که برای تأمین نیاز آبی گیاه مفید واقع می‌گردد. تأمین آب برای مصارف کشاورزی اراضی دیم به‌طور کامل به‌واسطهٔ بارشی که بر سطح زمین فرو می‌ریزد و برای گیاه قابل دسترس است، حاصل می‌گردد (Hasheminasab *et al*., 2014). بنابراین، به‌منظور استفاده هرچه بهتر از بارندگی برای بخش کشاورزی در اراضی دیم، برآورد باران مؤثر امری حیاتی است. روش‌های متعددی برای برآورد باران مؤثر وجود دارد که عبارتند از: روش اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از دستگاه لایسیمتر، روش‌های تجربی و روش مدل بیلان آب در خاک. به‌دلیل هزینه‌های زیاد اندازه‌گیری و نگهداری ادواتی چون لایسیمتر، معمولاً از روش‌های تجربی و بیلان آب برای برآورد بارش مؤثر استفاده می‌شود (Khaleghi, 2015). روش‌های تجربی مختلفی برای برآورد باران مؤثر وجود دارد که می‌توان از این روش‌ها به روش USDA[1]، FAO[2] که توسط سازمان غذای جهانی ارائه شده است، روش فرمول تجربی و روش درصدی اشاره نمود (Mojarad and Nasiri, 2006). اغلب روش‌های تجربی تنها برای یک منطقهٔ مشخص کاربرد داشته و جهان شمول نمی‌باشند و تعمیم روابط روش‌های تجربی به تمام مناطق با خطا همراه خواهد بود و این روابط بایستی متناسب با شرایط هر منطقه‌ای، کالیبره شوند.

Azizi (۲۰۰۰) به برآورد بارش مؤثر در اراضی تحت کشت گندم دیم پرداختند. به‌دلیل اینکه در روش SCS تنها داده‌هایی مثل بارش، تبخیر–تعرق پتانسیل و عمق آبیاری مورد نیاز بوده و در آن محدودیت مکانی وجود ندارد، از این روش برای برآورد بارش مؤثر استفاده نمودند. Kolaeyan و Gholami Sefidkoohi (۲۰۱۲) به بررسی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های سرویس حفاظت خاک آمریکا، روش درصدی، روش USDA و فرمول تجربی نتایج نزدیک به هم را برای منطقهٔ مورد مطالعه ارائه دادند. Khoshal Dastjerdi و Joshani (۲۰۱۲) به برآورد مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوضهٔ دریاچهٔ نمک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که، روش SCS به‌دلیل اینکه به داده‌های تبخیر–تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی بارش و عمق آبیاری وابسته می‌باشد و همچنین فاقد محدودیت‌های مکانی است، مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر در حوضهٔ دریاچهٔ نمک می‌باشد. در پژوهشی Rahimi و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روش‌های برآورد بارش مؤثر برای کشت محصول گندم دیم پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، روش تجربی و در مناطق با اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب به‌ترتیب، روش‌های USDA و FAO نسبت به روش‌های تجربی دیگر مناسب‌ترند. Asadzade Shorfe و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر در دشت اردبیل پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که روش USDA مناسب‌ترین روش محاسبهٔ بارش مؤثر در این دشت می‌باشد. مطالعات Rahman و همکاران (۲۰۱۸) در رابطه با بارش مؤثر در کشت آبی بنگلادش نشان داد، روش رنفرو و روش USBR دقت مناسبی در برآورد بارش مؤثر ندارند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که روش USDA به‌دلیل اینکه مقدار بارش، تبخیر تعرق ماهانه و عمق خاک را در نظر می‌گیرد به‌مراتب دقیق‌تر از دیگر روش‌های یاد شده است. Pourgholam Amiji و همکاران (۲۰۱۹) به پهنه‌بندی باران مؤثر در استان خوزستان تحت کشت گندم دیم پرداختند. در این پژوهش مقادیر بارش مؤثر به روش‌های FAO، USDA، تجربی و حل معکوس برآورد شدند و نتایج نشان داد که در ماه‌های کم بارش روش USDA بهترین روش برای برآورد باران مؤثر می‌باشد. Han و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی عوامل تأثیرگذار بر بارش مؤثر از جمله، بارش، آبیاری و نیاز آبی محصول را بررسی پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد، که با افزایش بارندگی، بارندگی مؤثر کاهش و با افزایش مقدار آبیاری، بارندگی مؤثر به‌تدریج کاهش و با افزایش نیاز

[1]United States Department of Agriculture
[2]Food and Agriculture Organization

آبی محصول، بارندگی مؤثر به‌تدریج افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت و تأثیر مقدار بارش در طول دورهٔ رشد گیاه و عملکرد محصول و اینکه میزان عملکرد محصولات دیم وابسته به میزان آبی است که گیاه جذب می‌نماید، می‌توان گفت که تقریباً تمام باران مؤثر صرف تبخیر تعرق می‌شود. با داشتن میزان عملکرد محصولات دیم می‌توان به میزان بارش مؤثر دست یافت. بنابراین، به‌منظور برآورد دقیق‌تر از بارندگی مؤثر با داشتن میزان عملکرد محصولات دیم برای یک منطقه و استفاده از رابطهٔ میان تبخیر تعرق و عملکرد محصول (دورنبوس و کسام)، می‌توان تبخیر تعرق واقعی و در نتیجه مقدار باران مؤثر را به‌دست آورد (Pourgholam Amiji *et al*., 2019).

روش‌های مختلفی جهت محاسبهٔ بارش مؤثر وجود دارد اما از آنجا که تنها منبع تأمین نیاز آبی محصولات دیم باران است، بنابراین عملکرد محصولات دیم می‌تواند برآورد دقیق‌تری از بارش مؤثر نسبت به روش‌های تجربی دیگر داشته باشد. بنابراین روش حل معکوس به‌عنوان روش مبنا برای مقایسهٔ بین برآورد روش‌های تجربی انتخاب شد که در مطالعات قبلی تاکنون به این موضوع پرداخته نشده است. در این پژوهش، روش‌های تجربی مذکور با روش حل معکوس مقایسه شده و خطای نسبی آن‌ها تعیین می‌گردد. همچنین ارائهٔ مدلی به‌منظور برآورد بارش مؤثر در استان کرمانشاه نیز، از اهداف این تحقیق می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

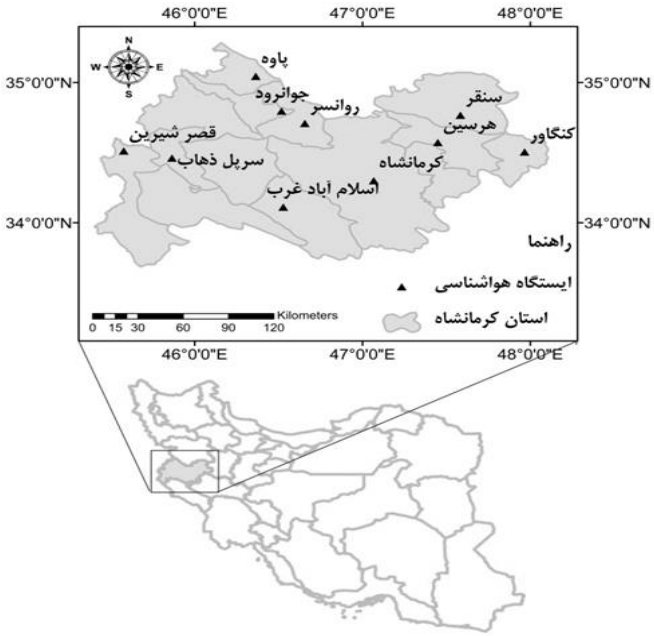
محدودهٔ مطالعاتی: استان کرمانشاه از استان‌های غربی کشور به‌شمار می‌آید و دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. مختصات جغرافیایی استان کرمانشاه از طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۹ ثانیهٔ شرقی تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیهٔ شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۸ ثانیهٔ شمالی تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۸ ثانیهٔ شمالی می‌باشد. این استان دارای ۱۴ شهرستان است. به‌منظور انجام پژوهش حاضر از آمارهای هواشناسی ماهانه متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و بارش برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه با طول دورهٔ آماری ۱۴ سال (سال‌های زراعی ۸۴–۸۳ تا ۹۸–۹۷) در طول دورهٔ رشد محصول گندم دیم پاییزه (اوایل آبان تا اواخر فروردین) استفاده گردید. شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

برآورد بارش مؤثر: روش‌های تجربی متعددی برای برآورد بارش مؤثر وجود دارد که نوع روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و روابط آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. به‌دلیل اینکه بسط روش‌های تجربی به تمامی نقاط جغرافیایی عاری از خطا نبوده و با تغییر شرایط جغرافیایی ممکن است این روابط برای منطقهٔ دیگر با شرایط متفاوت جغرافیایی دقت بالایی نداشته باشند. بارندگی مؤثر به‌منظور مقایسه، با استفاده از تمامی این روش‌ها محاسبه شد (Khaleghi, 2015; Saeidi, 2018).

به‌منظور محاسبهٔ بارش مؤثر با استفاده از روش‌های ۱ تا ۴ در جدول ۱، متوسط بارش برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در طول دورهٔ رشد محصول گندم دیم (اوایل آبان تا اواخر فروردین) برای سال‌های زراعی مورد نظر محاسبه شد. به‌منظور برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس (رابطهٔ ۵ در جدول ۱)، به اطلاعات عملکرد محصولات نیاز است. بنابراین، اطلاعات سطح زیرکشت (بر حسب هکتار) و میزان برداشت محصول گندم دیم (بر حسب تن) از سالنامه‌های زراعی برای ۱۴ سال آماری (۸۴–۸۳ تا ۹۸–۹۷) دریافت و میزان عملکرد محصول (تن/هکتار) محاسبه شد.

علاوه بر میزان عملکرد محصولات، تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شد. نرم‌افزار CROPWAT 8.0 میزان تبخیر تعرق پتانسیل و مقدار نیاز آبی گیاه را بدون در نظر گرفتن هرگونه تنش و تحت شرایط استاندارد برآورد می‌کند (Lashkari و همکاران، ۱۳۸۷). به‌منظور محاسبهٔ تبخیر–تعرق پتانسیل گیاه اصلی (ETc)[3] بایستی ضریب گیاهی (Kc)[4] محصول گندم در تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) طبق رابطهٔ ۱ ضرب شود (Alizadeh, 1998; Abedinpour, 2016).

[3]Potential crop evapotranspiration
[4]Crop coefficient



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه استان کرمانشاه

جدول ۱- روش‌های بکارگرفته شده برای برآورد بارش مؤثر در استان کرمانشاه

ردیف	روش	روابط	
۱	روش درصدی	Preff = 0.8P	
۲	روش USDA	(P<= 250mm) (P>250 mm)	Preff= (P×(125 0.2*P))/125 Preff = 125+(0.1×P)
۳	روش FAO	(P<=70 mm) (P>70 mm)	Preff = (0.6×P)-10 Preff= (0.8×P)–24
۴	روش تجربی	(P<= 50 mm) (P>50 mm)	Preff = (0.5×P)–5 Preff= (0.7×P)+20
۵	روش حل معکوس		$1-\frac{Ya}{Y_{max}}=K_y\,(1-\frac{ET_a}{ET_c})$

توضـــیحات: در روابط بالا P: بارش ماهانه (میلی‌متر)، Preff: بارش مVثر ماهانه (میلی‌متر)، $\mathbf{ET_a}$: مقدار تبخیر تعرق واقعی (میلی‌متر)، $\mathbf{ET_c}$ :: تبخیر تعرق پتانسیل (میلی‌متر)، $\mathbf{Ya}$: عملکرد خشک محصول، $\mathbf{Y_{max}}$: بیشینه عملکرد خشک محصول و $\mathbf{K_y}$: ضریب پاسخ عملکرد گیاه می‌باشد.

$$ETc = Kc \times ETo$$ رابطهٔ ۱

ضرایب رشد گیاهی (Kc) براساس تجربیات محققین برآورد شده و دارای ارزش جهانی است که از جداول FAO برای گیاه گندم استخراج شد. سپس با رابطهٔ ۵ (رابطهٔ دورنبوس و کسام) از جدول ۱ مقدار تبخیر–تعرق واقعی برای هر سال زراعی محاسبه شد (Doorenbos and Kassam, 1997)؛ که همان باران مؤثر می‌باشد.

پارامتر ارزیابی

میانگین درصد خطای نسبی (MARE)[5]: به‌منظور مقایسهٔ روش‌های تجربی (USDA، FAO، تجربی و درصدی) با روش حل معکوس از رابطهٔ ۲، میانگین درصد خطای نسبی استفاده شد.

$$MARE = \sum \left|\frac{Ps-Pm}{Pm}\right| \times 100$$ رابطهٔ ۲

در رابطهٔ ۲، MARE: میانگین درصد خطای نسبی، Pm: باران مؤثر واقعی برآورد شده به روش حل معکوس و Ps: باران مؤثر

[5]Mean Absolute Relative Error

برآورد شده با روش‌های مختلف تجربی مورد مقایسه با بارش مؤثر واقعی می‌باشد.

میانگین مربعات خطا (RMSE)[6]: به‌منظور صحت‌سنجی تابع ارائه شده از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد که نحوهٔ محاسبهٔ آن مطابق رابطهٔ ۳ می‌باشد. در این رابطه، P_i: نشان‌دهندهٔ مقادیر پیش‌بینی شده، O_i: نشان‌دهندهٔ مقادیر مشاهده شده (واقعی) و n: تعداد داده‌ها است.

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

رابطهٔ ۳

یافته‌های پژوهش و بحث

با در دست داشتن مقادیر میانگین بارش ماهانهٔ ۱۰ ایستگاه یاد شده در شکل۱ و با بکارگیری روابط ۱ تا ۴ در جدول ۱ مقادیر بارش مؤثر ماهانه به روش‌های درصدی، USDA، FAO و روش تجربی محاسبه شد. مجموع بارش مؤثر در طول دورهٔ رشد گندم دیم پاییزه به روش‌های یاد شده تجربی، در جدول ۱ ارائه داده شده است.

جدول ۲- مجموع بارش مؤثر به روش‌های تجربی در طول دورهٔ رشد گندم دیم (میلی‌متر)

سال زراعی	FAO	USDA	درصدی	تجربی
۸۴-۸۵	۲۱۸/۵۸	۳۶۰/۶	۳۲۶/۷	۳۵۴/۹۵
۸۵-۸۶	۲۲۱/۷۵	۳۶۱/۴	۳۳۸/۸۲	۳۹۶/۴۷
۸۶-۸۷	۷۷/۶۲	۱۹۷/۴	۱۷۰/۱۶	۱۱۷/۷۴
۸۷-۸۸	۱۱۲/۲۹	۲۴۱/۴	۲۱۲/۸۲	۱۸۴/۷۵
۸۸-۸۹	۱۲۱/۷۷	۲۵۷/۷	۲۲۷/۸۹	۲۳۱/۷۸
۸۹-۹۰	۹۸/۱۸	۲۲۶/۸	۱۹۷/۵۷	۲۰۶/۵۹
۹۰-۹۱	۱۱۶/۹۲	۲۴۴/۹	۲۱۸/۱	۲۶۳/۲۹
۹۱-۹۲	۱۷۲/۶۴	۳۱۸/۳	۲۸۸/۸۳	۳۵۲/۷۳
۹۲-۹۳	۱۷۶/۳۱	۳۱۴/۵	۲۸۸/۶۵	۳۱۷/۶۱
۹۳-۹۴	۷۲/۷۶	۱۹۰/۳	۱۶۳/۶۸	۱۱۳/۷۱
۹۴-۹۵	۲۷۱/۲۳	۴۰۱/۵	۳۹۰/۰۲	۴۴۱/۲۷
۹۵-۹۶	۲۳۷/۹۱	۳۵۸/۵	۳۴۵/۳۵	۳۷۲/۷
۹۶-۹۷	۳۴۳/۸	۴۴۲/۱	۴۵۷/۱	۴۶۶/۳۴
۹۷-۹۸	۴۷۹/۰۳	۵۴۳/۱	۵۹۹/۰۳	۶۲۴/۱۵

در جدول ۳ میزان عملکرد محصول گندم دیم برای سال‌های زراعی مورد نظر نمایش داده شده است. مجموع تبخیر-تعرق پتانسیل در طی دورهٔ رشد محصول گندم دیم پاییزه از طریق نرم‌افزار CROPWAT و همچنین تبخیر-تعرق واقعی از طریق تابع عملکرد محصول برای سال‌های زراعی مورد نظر محاسبه شد (جدول ۴). به‌دلیل اینکه تنها منبع تأمین آب در محصولات دیم آب باران می‌باشد و تقریباً تمامی آب جذب شده صرف تبخیر-تعرق شده، تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد در جدول ۴ معادل میزان بارش مؤثر در طول فصل رشد می‌باشد. انتظار می‌رود که در سال‌هایی که بارش مؤثر کمتر برآورد شده، عملکرد محصول نیز کمتر باشد. با مقایسهٔ جدول ۴ و جدول ۳ مشاهده شد، در سال زراعی ۸۷-۸۶ و سال زراعی ۹۴-۹۳ که میزان بارش مؤثر کمتر از سال‌های زراعی دیگر است و سال‌های خشکی محسوب می‌شوند، میزان عملکرد محصول نیز گندم دیم در سال‌های مذکور نسبت به سال‌های زراعی دیگر با توجه به جدول ۳ کاهش یافته است. همچنین در سال زراعی ۹۵-۹۴ بارش مؤثر بیشتر

[6]Root Mean Squared Error

جدول ۳- عملکرد محصول گندم دیم برای سال‌های زراعی مورد نظر در استان کرمانشاه

سال زراعی	تولید (تن)	سطح (هکتار)	عملکرد (تن/هکتار)
۸۴-۸۵	۵۴۱۵۶۱/۵	۳۵۹۲۷۵	۱/۵۱
۸۵-۸۶	۴۴۳۹۹۵	۳۲۰۵۵۸	۱/۳۹
۸۶-۸۷	۷۳۷۷۶	۲۴۶۷۴۳	۰/۳
۸۷-۸۸	۳۶۰۶۸۸	۳۴۷۲۳۸	۱/۰۴
۸۸-۸۹	۴۷۴۳۹۵	۳۷۴۹۵۴	۱/۲۷
۸۹-۹۰	۲۶۶۱۷۴	۳۲۲۵۴۱	۰/۸۳
۹۰-۹۱	۲۶۹۷۸۸	۴۰۵۰۷۲	۰/۶۷
۹۱-۹۲	۲۸۹۹۱۴	۳۳۷۰۳۷	۰/۸۶
۹۲-۹۳	۳۸۸۸۶۰	۳۲۴۶۴۴	۱/۲
۹۳-۹۴	۲۱۹۸۸۵	۲۹۳۱۲۵	۰/۷۵
۹۴-۹۵	۵۱۲۱۳۴	۳۱۴۰۰۰	۱/۶۳
۹۵-۹۶	۳۶۵۵۹۷	۳۱۴۰۰۰	۱/۱۶
۹۶-۹۷	۳۶۱۰۳۰	۳۱۴۰۰۰	۱/۱۵
۹۷-۹۸	۳۸۹۳۸۰	۲۹۵۰۰۰	۱/۳۲

جدول ٤- تبخیر تعرق پتانسل و واقعی گندم در طی دورهٔ رشد

سال زراعی	تبخیر تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	تبخیر تعرق واقعی (میلی‌متر)
۸۴-۸۵	۲۷۹/۴۵	۲۶۵/۷۳
۸۵-۸۶	۲۵۷/۸۵	۲۳۲/۵۴
۸۶-۸۷	۲۶۲/۸	۱۱۹/۸۵
۸۷-۸۸	۲۶۶/۴	۲۰۲/۱۲
۸۸-۸۹	۲۷۴/۰۵	۲۳۳/۷۰
۸۹-۹۰	۲۷۶/۷۵	۱۸۶/۲۰
۹۰-۹۱	۲۶۴/۱۵	۱۶۰/۴۳
۹۱-۹۲	۲۸۲/۶	۱۹۳/۶۰
۹۲-۹۳	۲۶۶/۴	۲۱۹/۵۵
۹۳-۹۴	۲۸۱/۷	۱۸۰/۳۱
۹۴-۹۵	۲۷۹/۹	۲۷۹/۹۰
۹۵-۹۶	۲۴۲/۷۳	۱۹۶/۰۷
۹۶-۹۷	۲۸۶/۶۵	۲۳۰/۳۸
۹۷-۹۸	۳۰۶/۹	۲۶۷/۹۹

و در نتیجه عملکرد بیشتری مشاهده می‌شود. سپس، روش حل معکوس به‌عنوان روش مبنا انتخاب و روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر با معیار درصد خطای نسبی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند (جدول ۵). با توجه به جدول ۵ کمترین میزان درصد خطای نسبی مربوط به روش تجربی در سال زراعی ۸۹-۸۸ و بیشترین خطای نسبی مربوط به روش FAO در سال زراعی ۸۹-۸۸ می‌باشد. جدول ۶ نتایج مقایسهٔ روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر با روش حل معکوس را با معیار میانگین درصد خطای نسبی برای سال‌های زراعی مورد مطالعه نمایش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد که برآورد مقادیر باران مؤثر به روش درصدی نسبت به نتایج مقادیر باران مؤثر برآورد شده به روش حل معکوس با توجه به مقادیر کم‌تر خطا، دارای مقادیر قابل قبول‌تری است.

جدول ۵- خطای نسبی روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر با روش حل معکوس

سال زراعی	خطای نسبی روش تجربی	خطای نسبی FAOروش	خطای نسبی روش درصدی	خطای نسبی USDAروش
۸۴-۸۵	۲۵/۱۳	۲۱/۵۷	۱۸/۶۶	۲۶/۳۱
۸۵-۸۶	۴۱/۳۵	۴/۸۷	۳۱/۳۶	۳۵/۶۶
۸۶-۸۷	۱/۷۹	۵۴/۴۱	۲۹/۵۶	۳۹/۳
۸۷-۸۸	۹/۴	۸۰	۵/۰۲	۱۶/۲۸
۸۸-۸۹	۰/۸۳	۹۱/۹۱	۲/۵۵	۹/۳۱
۸۹-۹۰	۹/۸۷	۸۹/۶۵	۵/۷۵	۱۷/۹
۹۰-۹۱	۳۹/۰۷	۴۰/۰۴	۲۶/۴۴	۳۴/۴۸
۹۱-۹۲	۴۵/۱۱	۱۲/۱۴	۳۲/۹۷	۳۹/۱۷
۹۲-۹۳	۳۰/۸۷	۲۴/۵۳	۲۳/۹۳	۳۰/۱۹
۹۳-۹۴	۵۸/۵۷	۴۷/۸۳	۱۰/۱۶	۵/۲۳
۹۴-۹۵	۳۶/۵۷	۳/۲	۲۸/۲۳	۳۰/۲۹
۹۵-۹۶	۴۷/۳۹	۱۷/۵۹	۴۳/۲۲	۴۵/۳۱
۹۶-۹۷	۵۰/۶	۳۲/۹۹	۴۹/۶۰	۴۷/۸۹
۹۷-۹۸	۵۷/۰۶	۴۴/۰۶	۵۵/۲۶	۵۰/۶۶

جدول ٦- میانگین درصد خطای نسبی در طول سال‌های آماری

روش تجربی	FAOروش	روش درصدی	USDAروش
۳۲/۴۰	۴۷/۴۸	۲۵/۹	۳۰/۵۷

برازش منحنی

همان‌طور که مشخص شد، روش‌های تجربی موجود، خطای قابل توجهی در تخمین بارش مؤثر دارند و این روابط بایستی برای مناطق مختلف واسنجی شوند. بنابراین، با استفاده از ابزار برازش منحنی[۷] در محیط متلب منحنی بر روی داده‌های بارش و بارش مؤثر برازش داده شد که رابطهٔ این منحنی مطابق رابطهٔ ۴ به‌دست آمد. ابزار برازش منحنی موجود در متلب این امکان را فراهم می‌کند که با انتخاب متغیرها و نوع برازش (خطی و غیر خطی) برازش بهینه میان داده‌ها صورت گیرد و همچنین رابطهٔ میان متغیرها را در اختیار قرار می‌دهد. از میان ۱۴ سری داده‌های موجود (متغیرهای بارش و بارش مؤثر) ۲ سری از داده‌ها (سال‌های زراعی ۹۷-۹۶ و ۹۸-۹۷) به‌عنوان داده‌های تست به‌منظور صحت سنجی برازش انتخاب شدند. میانگین مربع خطای (RMSE) این رابطه برای داده‌های تست ۴/۶۱ میلی‌متر و ضریب تعیین این رابطه ۰/۹۹، نزدیک به برازش کامل منحنی رگرسیون بر داده‌ها به‌دست آمد.

منحنی برازش داده شده بر داده‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.

$$P_{effective} = a \times P^{b} + c$$ رابطهٔ ۴

در رابطهٔ ۴ پارامترهای $P_{effective}$: بارش مؤثر، P: بارش و a، b و c ضرایب رابطه می‌باشند، که مقادیر آن‌ها به شرح زیر است:

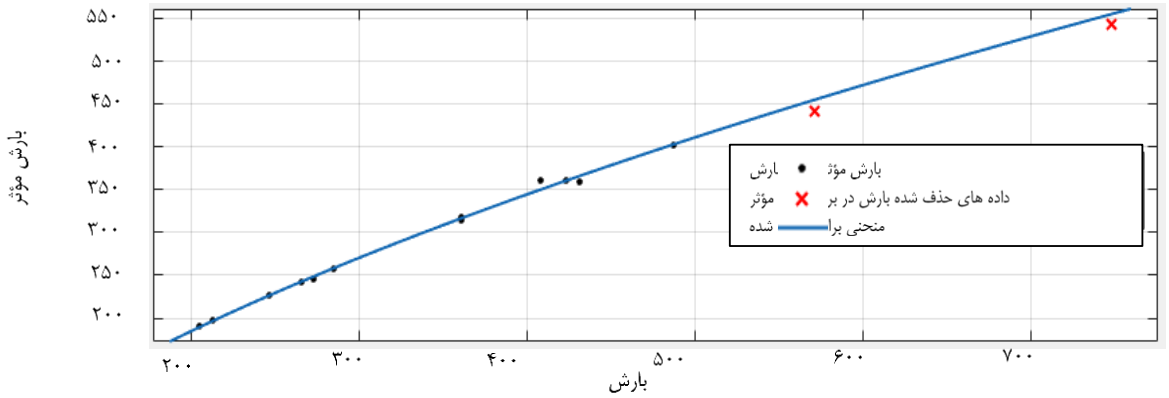
a= ۱۵/۴۵

b= ۰/۵۷۵۳

c= −۱۴۰/۸

بنابراین، با در دست داشتن میزان بارش در طول فصل رشد و با استفاده از رابطهٔ ۴ می‌توان مقدار بارش مؤثر را در منطقهٔ کرمانشاه با دقت مناسب‌تری نسبت به روش‌های تجربی دیگر برآورد و همچنین از این رابطه برای برآورد و پیش‌بینی عملکرد

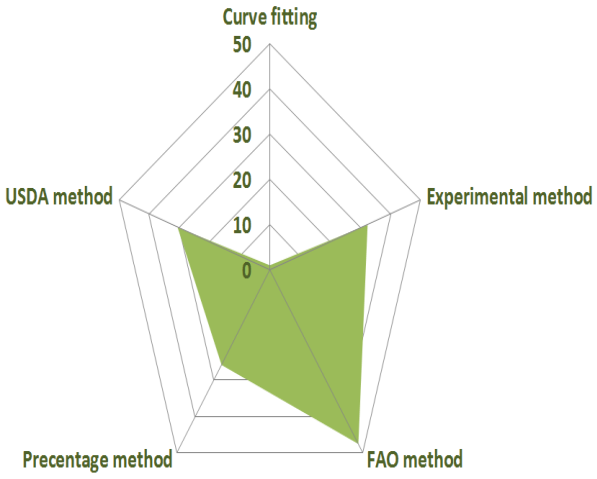
[7]Curve Fitting



شکل ۲- نمودار فیت بارش و بارش مؤثر

جدول ۷- میانگین درصد خطای نسبی روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر در استان کرمانشاه

روش	میانگین درصد خطای نسبی
روش تجربی	۳۲/۴۰
روش FAO	۴۷/۴۸
روش درصدی	۲۵/۹۰
روش USDA	۳۰/۵۷
روش برازش منحنی	۱/۰۷



شکل ۳- نمودار مقایسهٔ میانگین درصد خطای نسبی روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر

محصول گندم دیم برای سال‌های آینده استفاده نمود.

مقایسهٔ روش‌های تجربی و منحنی برازش با روش حل معکوس: با بکارگیری رابطهٔ ۴، مقادیر بارش مؤثر برای ۱۴ سری دادهٔ موجود (سال‌های زراعی ۸۵-۸۴ تا ۹۸-۹۷) محاسبه و خطای آن با روش حل معکوس و معیار ارزیابی خطای میانگین درصد خطای نسبی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. جدول ۷ مقادیر میانگین درصدخطای نسبی روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر بکار گرفته شده در این پژوهش و همچنین روش برازش منحنی را در مقایسه با روش مبنا (روش حل معکوس) نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، مقدار خطای برآورد بارش مؤثر با استفاده از روش برازش منحنی به‌طور قابل توجهی کم‌تر از میزان خطای روش‌های تجربی دیگر می‌باشد. به‌منظور مقایسهٔ بهتر روش‌های تجربی و روش برازش منحنی، شکل ۳ ارائه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به‌ترتیب، روش‌های FAO، روش تجربی، روش USDA، روش درصدی بیشترین خطا را در برآورد بارش مؤثر دارند و خطای روش برازش منحنی قسمت بسیار کوچکی از نمودار را به‌خود اختصاص داده است. براساس نتایج، روش تابع فیت‌شده قادر است بارش مؤثر را در استان کرمانشاه با میزان خطای کمتری نسبت به روش‌های تجربی ارائه شده برای برآورد آن تخمین بزند.

نتیجه‌گیری

برآورد باران مؤثر به دلیل هزینه‌بر بودن ابزارهای دقیق، معمولاً به کمک روش‌های تجربی انجام می‌گیرد. به‌منظور استفادهٔ بهینهٔ آب در بخش کشاورزی و مدیریت پروژه‌های زهکشی، شناخت و برآورد بارش مؤثر ضروری است. هدف این پژوهش مقایسهٔ چند روش تجربی برآورد بارش مؤثر در استان کرمانشاه و توسعهٔ مدل مناسبی برای برآرود آن بود. روش حل معکوس به‌عنوان روش مبنا برای محاسبهٔ بارش مؤثر در نظر گرفته شد. اطلاعات هواشناسی و اطلاعات سالنامه‌های زراعی و نرم‌افزار برآورد تبخیر تعرق پتانسیل برای محاسبهٔ بارش مؤثر بکار گرفته شدند. یررسی‌ها نشان داد که بسط روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر به تمامی نقاط جغرافیایی عاری از خطا نبوده و با تغییر شرایط جغرافیایی ممکن است این روابط برای منطقهٔ دیگر با شرایط متفاوت جغرافیایی دقت بالایی نداشته باشد و این روابط بایستی برای مناطق مختلف کالیبره شوند. همچنین، از آنجا که تنها منبع تأمین نیاز آبی محصولات دیم باران است، بنابراین عملکرد محصولات دیم می‌تواند برآورد دقیق‌تری از بارش مؤثر نسبت به روش‌های تجربی دیگر داشته باشد. نتایج میانگین خطای نسبی روش‌های تجربی برآورد بارش مؤثر نسبت به روش حل معکوس نشان داد که روش درصدی با میانگین خطای ۲۵/۹ درصد، کمترین خطا و همچنین روش FAO با میانگین خطای نسبی ۴۷/۷۸ درصد بیشترین خطا را نسبت به روش حل معکوس در برآورد بارش مؤثر دارد. سپس، تابعی بر نمودار بارش–بارش موثر فیت شد که میانگین خطای داده‌های تست آن ۴/۶۱ میلی‌متر برآورد شد. با بکارگیری مدل ارائه‌شده در این پژوهش و در دست داشتن میزان بارش تجمعی (بر حسب میلی‌متر) در طول فصل رشد، با دقت مناسبی می‌توان بارش مؤثر را در استان کرمانشاه برای محصول گندم دیم تخمین زد.

References

Abedinpour, M., 2016. Determination of Wheat Growth, Crop Coefficient (KC) and Water Stress Coefficient (Ks) under Different Salinity. Preprints 2016, 2016110091.

Adnan, Sh., Hayat Khan, A., 2008. Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. Pakistan. Journal of Meteorology 6, 6172.

Alizadeh, A., 1988. Principles of applied hydrology, 11th edition, Astan Quds Razavi Publications, p 156. (In Persian)

Andarzian, B., Bannayan, M., Stedutoc, P., Mazraeha, H., Baratid, M.E., Baratie, M.A., Rahnamaa A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management 100, 1-8.

Asadzade Shorfe, H., Raoof, M., Mahmoodifard Garmi, Z., 2015. The best method of calculation in Ardabil plain. The second national conference on protection of natural resources and environment, Ardabil. (In Persian)

Ayu, I.W., Sebayang, H.T., Soemarno, P.S., 2018. Assessment of Rice Water Requirement by Using CROPWAT Model in Sumbawa Regency, West Nusa Tenggara, Indonesia. VEGETOS: An International Journal of Plant Research 31(2).

Azizi, Gh., 2000. Estimation of effective rainfall in relation to dry wheat cultivation (Case: Khorram Abad). Geographical Research 32(39), 123-115. (In Persian)

Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage, Paper 33. FAO, Rome.

Han, N., Lou, G., Wang, Y., Zhou, Q., Jin,G., Li, S., Ye, L., 2019. Calculation of Effective Rainfall in the Spring Maize Growing Period. HAL Science 143-151.

Hasheminasab, F, S., Mousavi Baygi, M., Bakhtiari, B., Bannayan, M., 2014. The Effects of Rainfall on Dryland Wheat Yield and Water Requirement Satisfaction Index at Different Time Scales. Journal of Irrigation and Water Engineering 17(5), 1-13. (In Persian)

Khaleghi, N., 2015. Comparision of effective rainfall estimation methods in agriculture. Water and Sustainable Development 2(2), 51-58. (In Persian)

Khoshal Dastjerdi, J., Joshani, A, R., 2012. Estimating the most appropriate method of calculating effective rainfall for autumn wheat cultivation in the Namak lake area. Geographical studies of dry areas 3(9-10): 153-169. (In Persian)

Kolaeyan, A., Gholami Sefidkoohi, M.A., 2012. Introducing the best method of determining the effective rainfall of rice cultivation in Qaemshahr city. The third National Comprehensive Resource Management Conference, Sari, Iran. (In Persian)

Lashkari, H., Keykhosravi, GH. & Rezae, A., 2009. Analysis of the effectiveness of the CROPWAT model in estimating the water requirement of wheat crops in the west of Kermanshah: the cities of Islamabad Gharb, Sarpol Zahab and Ravansar. Human Sciences MODARES 1(60), 248-270. (In Persian)

Mojarad, F. and Nasiri, Sh., 2006. The results of return periods and safe intervals for conducting experiments for rice cultivation in Mazandaran Plain. Human Sciences MODARES 10(2), 160-181. (In Persian)

Mozafari, Gh. and Ghaemi, H., 2002. Analysis of implementation conditions at the level of studied rainfed areas: East of Kermanshah. Physical Geography Research 34(42), 119-103. (In Persian)

Pourgholam Amiji, M., Hooshmand, M., Raja, O., Liaghat, A., 2019. Effective Rain Zoning In Khuzestan Province under Autumn Rainfed Wheat Cultivation. Water and Irrigation Management 9(2), 211-230. (In Persian)

Rahimi, J., Bazrafshan, J., Khalili, A., 2013. A Comparative Study on Empirical Methods for Estimating Effective Rainfall for Rainfed Wheat Crop in Different Climates of Iran 45(3), 31-46. (In Persian)

Rahman M.M., Islam M.O., Hasanuzzaman M., 2008. Study of effective rainfall for irrigated agriculture in South-Eastern part of Bangladesh. World Journal of Agricultural Science 4(4), 453-457. (In Persian)

Saeidi, R., Ramezani Etedali, H., Sotoodehnia, A., kaviani, A., Nazari, B., 2018. Determination of the Relationships between Yield and Evapotranspiration of Maize under Salinity Stress and Nitrogen Deficiency Conditions. Journal of Water Research in Agriculture 32(3), 351-366. (In Persian)