



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه فنی

مروری بر روش‌های تعیین و تخمین مقدار بارش مؤثر در تعیین نیاز آبیاری

نگارندگان

آرش تافته، ناصر دواتگر و علی‌اکبر عزیزی زهان

اعضای هیات علمی و محقق موسسه تحقیقات خاک و آب

نشریه فنی: 574

1398

سرشناسه	تافته، آرش، 1363-
عنوان و نام پدیدآور	مروری بر روش‌های تعیین و تخمین مقدار بارش مؤثر در تعیین نیاز آبیاری / نگارندگان
مشخصات نشر	آرش تافته، ناصر دواتگر و علی‌اکبر عزیزی زهان
مشخصات ظاهری	کرج: موسسه تحقیقات خاک و آب، 1398.
فروسا	35 ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول (بخشی رنگی)، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	کتاب‌های پژوهشی و علمی، نشریه فنی؛ 2.
وضعیت فهرست نویسی	978-622-6705-03-5
یادداشت	فیبا
موضوع	یادداشت: کتابنامه: ص 34.
موضوع	آب - جمع‌آوری
موضوع	Water harvesting
موضوع	آب -- ایران -- جمع‌آوری
موضوع	Water harvesting -- Iran
موضوع	آبیاری -- مدیریت
موضوع	Irrigation -- Managment
موضوع	آبیاری - ایران - مدیریت - داده‌پردازی
موضوع	Irrigation -- Iran -- Management -- Data processing
شناسه افزوده	دواتگر، ناصر، 1339-
شناسه افزوده	عزیزی زهان، علی‌اکبر، 1354-
شناسه افزوده	موسسه تحقیقات خاک و آب
شناسه افزوده	Soil & water research institute
رده بندی کنگره	1398 م 4 / 2 / TD 418
رده بندی دیویی	628/142
شماره کتابشناسی ملی	5665962

مشخصات نشریه

عنوان: مروری بر روش‌های تعیین و تخمین مقدار بارش مؤثر در تعیین نیاز آبیاری

نگارندگان: آرش تافته، ناصر دواتگر و علی‌اکبر عزیزی زهان

ناشر: مؤسسه تحقیقات خاک و آب

کارشناس انتشارات: زهرا محمدی

ویراستار: زهرا محمدی

صفحه‌آرا: سمانه پورمنصور

طراح جلد: راضیه محمدی

سال انتشار: 1398

نشانی: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بعد از رزکان نو، بلوار امام خمینی (ره)،

موسسه تحقیقات خاک و آب، کد پستی: 3177993545 - صندوق پستی: 311-31785

دورنگار: 026-36210121

تلفن: 026-36201900

Website: www.swri.ir

Email: info@swri.ir

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

این نشریه با شماره 55429 در تاریخ 98/2/4 در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی

به ثبت رسیده است.

نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت صحت مطالب به عهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
1- تعریف بارش مؤثر	1
2- اهمیت بارش مؤثر	1
1-2- شرایط متفاوت بارش و تأثیرات آن	3
2-2- منطق استفاده از تبخیر - تعرق واقعی در برآورد بارش مؤثر	4
2-3- مروری بر کاربرد روش‌های موجود در تعیین بارش مؤثر	4
3- روش‌های تعیین بارش مؤثر	7
3-1- روش‌های اندازه‌گیری مستقیم	8
3-1-1- اندازه‌گیری تغییرات رطوبتی خاک	8
3-1-2- روش استفاده از باران‌سنج تجمعی	9
3-1-3- روش رامداس	9
3-1-4- روش لایسیمتر	10
3-2- روش‌های برآورد با استفاده از معادله‌های تجربی	11
3-2-1- معادله رنفرو	11
3-2-2- روش دفتر احیای اراضی ایالات متحده آمریکا (USBR ¹)	13
3-2-3- روش نسبت تبخیر- تعرق پتانسیل به بارش	15
3-2-4- روش سرویس حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (SCS ²)	18
3-2-5- روش‌های FAO	20
3-2-5-1- روش ضریب ثابت	21
3-2-5-2- روش بارش قابل اطمینان	21
3-2-5-3- رابطه تجربی بارش مؤثر	25

1 - United States Bureau of Reclamation (USBR)

2- Soil Conservation Service United States of America (SCS)

29	(USDA ¹) روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا
30	 روابط تجربی منطقه‌ای
31	 برآورد بارش مؤثر با احتمال وقوع مختلف
33	 نتیجه‌گیری نهایی
34	 منابع

1 -United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA)

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول 1- مقادیر ضریب بارش مؤثر در روش رنفرو	12
جدول 2- مقادیر ضریب بارش مؤثر در روش USBR	13
جدول 3- مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده توسط روش USBR در ایستگاه اهواز	14
جدول 4- مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده توسط روش USBR در ایستگاه ایذه	15
جدول 5 - دوره مناسب بارش در شرایط مختلف خاک، تبخیر - تعرق گیاه مرجع و نوع گیاه	16
جدول 6- نسبت تبخیر - تعرق مرجع به بارش در دوره زمانی 30 روز در ایستگاه اهواز	16
جدول 7- نسبت تبخیر - تعرق مرجع به بارش در دوره زمانی 15 روز در ایستگاه ایذه	17
جدول 8- نتایج محاسبه بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش SCS در اهواز	19
جدول 9- نتایج محاسبه بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش SCS در ایستگاه ایذه	20
جدول 10- نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش قابل اطمینان در ایستگاه اهواز	22
جدول 11- نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش قابل اطمینان در ایستگاه ایذه	23
جدول 12- نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم برای دوره زمانی 10 روزه با روش قابل اطمینان در ایستگاه اهواز	24
جدول 13- نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم در دوره زمانی 10 روزه با روش قابل اطمینان در ایستگاه ایذه	25
جدول 14- نتایج بارش مؤثر ماهانه برای گیاه گندم با استفاده از رابطه تجربی در ایستگاه اهواز	26
جدول 15- نتایج بارش مؤثر ماهانه برای گیاه گندم با استفاده از رابطه تجربی در ایستگاه ایذه	26

جدول 16- نتایج بارش مؤثر در بازه زمانی 10 روزه برای گیاه گندم با روش تجربی در ایستگاه اهواز.....	27
جدول 17- نتایج محاسبه دهه‌ای بارش مؤثر در بازه زمانی 10 روزه گیاه گندم با روش تجربی در ایستگاه ایذه.....	28
جدول 18- نتایج بارش مؤثر ماهانه با استفاده از روش USDA در ایستگاه اهواز.....	29
جدول 19- نتایج بارش مؤثر ماهانه با استفاده از روش USDA در ایستگاه ایذه.....	30
جدول 20- ضریب بارش مؤثر در سطوح احتمال وقوع مختلف بر اساس نشریه فنی مدیریت آب آبیاری FAO.....	31

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
9.....	شکل 1- نمای روش باران‌سنج تجمعی طراحی شده توسط استن هیل (1958)
10.....	شکل 2- نمای دستگاه باران‌سنج تجمعی طراحی شده توسط رامداس (1960)
32.....	شکل 3- رابطه ضریب باران مؤثر در بازه بارش 550 الی 600 میلی‌متر

1- تعریف بارش مؤثر

بارش مهم‌ترین پدیده اقلیمی است که بر بسیاری از تغییرات در کره زمین اثر دارد. بارش به‌صورت مستقیم بر زندگی بشر از قدیم تاکنون تأثیر داشته و سرنوشت و تاریخ تمدن بشر وابستگی خاصی به وقوع آن داشته است. مهم‌ترین ویژگی بارش در این زمینه، رابطه آن با بخش کشاورزی و امنیت غذایی است. نقش بارش در تولید محصولات زراعی، غیرقابل انکار بوده و توزیع مکانی و زمانی آن و ذخیره شدن درصدی از آن در عمق فعال ریشه بر مقدار نیاز آبیاری و شرایط کشت و کار عاملی مهم و اساسی است. بارش مؤثر منبع مهمی برای تأمین نیاز آبی گیاهان، به‌ویژه در شرایط کشت دیم می‌باشد. برای تعیین نیاز خالص آبیاری گیاه در بازه‌های مختلف از رابطه 1 استفاده می‌شود. با کسر بارش مؤثر از تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه می‌توان مقدار نیاز خالص آبیاری گیاه را برآورد نمود و برنامه‌ریزی توزیع آب را تعیین کرد؛ بنابراین نیاز آبیاری تابعی مستقیم از بارش مؤثر است که از رابطه 1 محاسبه می‌شود:

$$Irr_{req} = ET_c - P_e \quad (1)$$

که در آن Irr_{req} نیاز خالص آبیاری گیاه برحسب میلی‌متر، ET_c تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه برحسب میلی‌متر و P_e مقدار بارش مؤثر برحسب میلی‌متر است.

میلر و تامسون (1970) بارش مؤثر را نسبت باران به تبخیر در نظر گرفته‌اند که این تعریف گمراه‌کننده است، زیرا به تأثیر باران اشاره شده است و نه بارش مؤثر. دو اصطلاح بارش مؤثر و تأثیر باران هم‌معنا نیستند، بلکه دو معنای متمایز دارند. اصطلاح تأثیر، درجه مفید بودن و کارایی باران را با توجه به خشکی محل خاطر نشان می‌سازد؛ درحالی‌که بارش مؤثر قسمت مفید کل باران دریافتی است و در طی دوره رشد گیاه رخ می‌دهد (لاریجانی و همکاران، 1396).

2- اهمیت بارش مؤثر

باران ماهیانه، فصلی و سالیانه از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند و این تغییر درباره بارش مؤثر و در نتیجه نیازهای آبیاری نیز صادق است. برآورد دقیق از بارشی که در یک

دوره زمانی (مانند طول دوره رشد گیاه) مفید واقع شده است، می‌تواند یک تصویر کلی از کارکرد آن در آبیاری ارائه کند (موهان و همکاران، 2001). داستین (1974) بیان داشته است که تخمین بارش مؤثر در طراحی پروژه‌های آبیاری، طراحی و کاربرد سامانه‌های زهکشی، آبشویی و شوری، کشت برنج، طراحی سیستم‌های آبیاری و کشاورزی دیم قابل استفاده است. با توجه به اهمیت تخمین این پارامتر در کشاورزی می‌توان، بارش مؤثر را در یک جمله تعریف کرد که قسمتی از بارش است که در منطقه ریشه گیاه ذخیره شده و صرف تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه می‌شود (ادنان و حیات خان، 2008)؛ برنامه‌ریزی تأمین آب نمی‌تواند بر اساس کمترین بارش مؤثر استوار باشد، زیرا این امر سبب می‌شود که پروژه‌های تأمین و مدیریت آبیاری برای اغلب سال‌ها تا حد زیادی غیراقتصادی شود. از سوی دیگر، این پروژه‌ها نمی‌تواند بر اساس میانگین بارش مؤثر استوار شود، زیرا تأمین آب کافی را فقط برای نیمی از اوقات تضمین می‌کند. از این رو مقدار بارش مؤثر بر اساس احتمالات محاسبه می‌شود (لاریجانی و همکاران، 1396). به عبارت دیگر در هر نوبت از بارش، تنها قسمتی از نزولات جوی مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و مابقی آن به شکل‌های مختلفی مثل تبخیر، رواناب و نفوذ عمقی درآمده و از ناحیه ریشه گیاه خارج می‌شود. از این رو برای تعیین بارش مؤثر، آن قسمت از باران در نظر گرفته می‌شود که به مصرف گیاه رسیده و از نیاز آبی گیاه می‌کاهد (عزیزی، 1379). بارش مؤثر به وضعیت رطوبت اولیه خاک، مقدار آبیاری، عمق آب ایستابی، مشخصه‌های گیاهی (عمق ریشه و پوشش سبز گیاه)، ویژگی‌های خاک (ظرفیت نگهداشت آب در خاک، شرایط خاک تحت‌الارضی و سخت لایه)، شیب اراضی، پارامترهای اقلیمی (دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و نیاز تبخیری) و مشخصه‌های بارش (شدت، مقدار، فراوانی، توزیع زمانی و مکانی باران) بستگی دارد (علی و مبارک، 2017). چگونگی برآورد بارش مؤثر به عنوان بخشی از بارش ذخیره شده در منطقه رشد گیاه همواره یک مشکل اساسی در مدیریت آب کشاورزی بوده است (تسائو، 1971)؛ بنابراین تخمین دقیق بارش مؤثر برای برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت آب در مزرعه مورد نیاز و ضروری می‌باشد (لاریجانی و همکاران، 1396).

2-1- شرایط متفاوت بارش و تأثیرات آن

در طی بازه زمانی هوای سرد و مرطوب که تبخیر کم انجام می‌شود، رویدادهای بارش کوچک می‌توانند مؤثر باشند و برعکس، در این رابطه سه شرایط می‌تواند فرض شود (علی و مبارک، 2017):

1- دوره مرطوب با رویدادهای بارشی کوچک

در بازه زمانی با هوای سرد و مرطوب، بارش روزانه می‌تواند مؤثر در نظر گرفته شود؛ به این علت که دمای خاک و هوا کم و رطوبت بیشتر است که اجازه می‌دهد آب به خاک پیش از آنکه تبخیر شود، نفوذ کند. قضاوت در مورد آنکه چه مقدار از بارش مؤثر است بعد از سپری شدن روزهای سرد امکان‌پذیر است. پایش رطوبت خاک می‌تواند در تعیین اینکه چه مقدار از بارش مؤثر بوده است، کمک نماید.

2- دوره خشک با رویدادهای بارشی کوچک

در طی بازه زمانی خشک، بارش روزانه نمی‌تواند مؤثر باشد؛ زیرا دمای بالای هوا و خاک و کم بودن رطوبت خاک سبب می‌شود که آب باران تبخیر شود. قضاوت در مورد آنکه چه مقدار از بارش غیر مؤثر است بستگی به کل شرایط شامل نوع گیاه (تیپ ریشه از نظر کوتاه و بلند بودن و پوشش گیاه) دارد. پایش رطوبت خاک می‌تواند در تعیین اینکه چه مقدار از بارش مؤثر بوده است کمک نماید.

3- رویدادهای بارشی بزرگ

رویدادهای بارشی بزرگ ممکن است رطوبت بیشتری از ظرفیت نگهداری آب در خاک و نیاز تبخیری اتمسفر را تأمین کنند. در رویدادهای بارشی بزرگ بخشی از آب می‌تواند به عمق پایین‌تر از عمق ریشه گیاه منتقل و به عنوان نفوذ عمقی تلف شود و یا اینکه در اثر رواناب سطحی از مزرعه خارج و به سامانه‌های زهکش سطحی یا زیرسطحی وارد شود. در این شرایط گرفتن یک مقدار ثابت از کل بارش به عنوان بارش مؤثر دارای پایه علمی نیست.

2-2- منطق استفاده از تبخیر - تعرق واقعی در برآورد بارش مؤثر

یک گام روبه‌جلو در برآورد بارش مؤثر استفاده از دو مؤلفه هواشناسی باران و تبخیر- تعرق است. به‌طور مشخص تبخیر- تعرق واقعی و نه تبخیر - تعرق بالقوه یک متغیر مؤثر در برآورد بارش مؤثر است؛ اما بیشتر از تبخیر- تعرق بالقوه استفاده می‌شود. هر دو متغیر باران و تبخیر - تعرق از یک ناحیه اقلیمی به ناحیه دیگر متفاوت و وابسته به مقیاس زمانی هستند و هر دو در بیشتر نواحی اقلیمی نیز تحت تأثیر مشخصه‌های فصلی هستند. تبخیر- تعرق واقعی یک پارامتر کلیدی برای نشان دادن رشد موفقیت‌آمیز گیاه به حساب می‌آید. هر مقدار آب بیش از تبخیر- تعرق واقعی نشان‌دهنده نیاز واقعی گیاه نیست و نمی‌توان آن را برای گیاه مؤثر دانست؛ به عبارت دیگر هر مقدار آب بارش بیش از ظرفیت مزرعه در طول دوره رشد گیاه می‌تواند برای گیاه غیر مؤثر باشد (اویس و همکاران، 2000).

2-3- مروری بر کاربرد روش‌های موجود در تعیین بارش مؤثر

با توجه به گستردگی و تنوع روش‌های بیان‌شده برای تعیین بارش مؤثر پژوهشگران زیادی در این زمینه تلاش نموده‌اند که این روش‌ها را بررسی نمایند که در زیر به برخی از این نتایج اشاره شده است:

چاهون و همکاران (2001) در اندازه‌گیری باران و برآورد بارش مؤثر برای محصولات دیم و آبی، نشان دادند که بارش مؤثر به دو عامل مقدار بارش و مقدار ذخیره‌شده از آن در عمق ریشه وابسته است و روش USDA را برای برآورد بارش مؤثر مناسب دانستند. اسماجسترلا و همکاران (2001) بارش مؤثر را با استفاده از روش SCS در فلوریدای آمریکا محاسبه نموده و نیاز آبیاری خالص را مقدار آبی در نظر گرفتند که به‌طور مؤثر توسط باران تأمین نمی‌شود. عزیزی (2000) نیز از روش SCS برای برآورد بارش مؤثر استفاده و نسبت بارش مؤثر را برای گیاه گندم 75 درصد بارش گزارش نمود.

لیتلوود (2003) برای برآورد بارش مؤثر در کشور کنیا از پارامترهای بافت خاک، پوشش گیاهی، مؤلفه‌های نیاز تبخیر اتمسفری، انتقال رطوبت از عمق به سطح خاک و

ریشه و همچنین رواناب حاصل از بارندگی استفاده کرد و سپس با کسر نمودن رواناب از مقدار رطوبت خاک، مقادیر بارش مؤثر را برآورد نمود. اشنایدر و همکاران (2001) نشان دادند که عمق بارش مؤثر به بافت و مقدار رطوبت خاک وابسته بوده و برای اندازه‌گیری بارش مؤثر به روش مستقیم باید پیش و بعد از هر بارش، رطوبت خاک تعیین شود که این مسئله در محاسبات بیلان آبی دارای اهمیت بوده و کارایی این روش به‌دقت اندازه‌گیری‌ها به‌طور مستقیم وابسته است. بر طبق تعریف بوس و همکاران (2009) بارانی که سبب شستشوی خاک شده باید در تعیین بارش مؤثر در نظر گرفته نشود؛ بنابراین آنچه از مقدار باران تنها صرف تبخیر- تعرق می‌شود، بارش مؤثر خواهد بود. لاشاری و همکاران (2010) بیان نمودند که مقدار آبی که از عمق ریشه خارج شود باید به‌عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته و برای تعیین عمق ریشه باید از اندازه آن در مرحله میانی رشد استفاده نمود؛ در غیر این صورت نمی‌توان برآورد مناسبی از بارش مؤثر در هر منطقه مورد مطالعه داشت. آویناش و همکاران (1990) بیان نمودند که دقیق‌ترین روش برای برآورد بارش مؤثر روش‌های اندازه‌گیری مستقیم هستند، اما روش بیلان آب و خاک نیز در رتبه دوم قرار و عملکرد قابل قبولی دارد. رحیمی و بذرافشان (2011) و رحیمی (2012) با استفاده از روش بیلان آبی در کشت گندم، مقادیر بارش مؤثر را برای کل کشور برآورد و بیان کردند که بیلان آبی، روشی مطمئن برای برآورد بارش مؤثر در مناطق مختلف کشور است.

مجرد و همکاران (1384) در پژوهشی مقادیر بارش مؤثر را به‌عنوان 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 برآورد نمودند. نتایج نشان داد که روش بارش قابل اطمینان برآورد اجرایی مناسب‌تری را در این مزارع دارد و می‌توان از آن در محاسبات طراحی اولیه بهره برد. خوشحال دستجردی و جوشنی (1391) از بین روش‌های معادله رنفرو، SCS، USDA، درصدی و بارش قابل اطمینان، برای برآورد بارش مؤثر در کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک روش SCS را انتخاب نمودند. این محققین اعلام نمودند که این روش فقط به داده‌های تبخیر- تعرق گیاهی، ضریب گیاهی، بارش و عمق آبیاری وابسته بوده و فاقد محدودیت‌های کاربرد مکانی است.

ولی در برآوردهای بلندمدت به آسانی نمی‌توان عمق آبیاری را بوسیله آن در سطح وسیع تعیین نمود، از این‌رو استفاده از این رابطه در شرایط تحقیقاتی قابل توصیه است. از سوی دیگر در هنگام استفاده از روش SCS در مقیاس ناحیه‌ای لازم است پارامترهای اساسی آن به‌صورت مفروض انتخاب شوند که بر دقت برآورد بارش مؤثر در این مقیاس تاثیرگذار خواهد بود.

ادنان و حیات‌خان (2008) در پژوهشی به‌منظور تخمین بارش مؤثر در پاکستان، با استفاده از داده‌های 58 ایستگاه هواشناسی، چهار روش رابطه رنفرو، دفتر احیاء اراضی آمریکا (USBR)، نسبت تبخیر- تعرق پتانسیل به بارش و وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) تغییرات مقدار بارش مؤثر در طول دو فصل زراعی را تعیین نمودند. موهان و همکاران (1996) روش‌های نسبت تبخیر- تعرق به بارش، هندی 1، هندی 2 و ویتنام و روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا را برای برآورد بارش مؤثر کشت برنج استفاده و با روش بیلان آب مقایسه نمودند. آنالیزها بر اساس داده‌های روزانه تبخیر- تعرق و مقدار بارندگی مربوطه و برای کشت برنج در جنوب هند انجام شد. نتیجه بررسی این بود که روش‌های نسبت تبخیر- تعرق به بارش و هندی 2 برآورد نزدیک‌تری از بارش مؤثر نسبت به روش بیلان آبی داشتند و از آنجایی که روش بیلان یک روش دقیق و درعین حال بسیار دشوار است، می‌توان از دو روش یادشده برای برآورد بارش مؤثر استفاده نمود.

رحمان و همکاران (2008) با مطالعه بارش مؤثر در کشاورزی آبی جنوب شرق بنگلادش اعلام کردند که روش رنفرو دقت مناسبی در برآورد بارش مؤثر ندارد و روش USBR نیز به دلیل عدم در نظر گرفتن توزیع و پراکنش بارش روش مناسب و دقیقی نبوده و به دلیل ساده‌سازی‌های انجام‌شده روش قابل‌اعتمادی نیست. روش نسبت تبخیر- تعرق به بارش از نظر محاسبات دشوار بوده و امکان مدل‌سازی عددی و حل معادله‌ای برای آن وجود ندارد ولی استفاده از آن، نتایج رضایت بخشی را برای فاز اولیه طرح‌ها ارائه می‌نماید. روش SCS بر اساس شاخص‌های خشکی خاک و گیاه عمل نموده و تخمین متعادل‌تری را نسبت به روش‌های پیشین ارائه نمود. روش USDA به دلیل اینکه مقدار بارش و تبخیر- تعرق ماهانه و عمق خاک را در نظر می‌گیرد به‌مراتب دقیق‌تر از دیگر روش‌های یادشده بوده و برای پروژه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری بسیار مناسب است، ولی

بزرگ‌ترین عیب آن این است که مقدار تخمین آن با احتمال وقوع کم انجام شده و نمی‌توان به آن اعتماد آماری زیادی داشت (رحیمی و همکاران، 1392). خوشحال دستجردی و جوشنی (1391) گزارش نمودند که روش باران قابل‌اطمینان کمترین و روش USDA بیشترین مقادیر بارش مؤثر را تخمین می‌زنند. این محققین همچنین اعلام نمودند در حوضه‌هایی که تبخیر از بارش بیشتر است روش USDA برآورد مناسبی را ارائه نمی‌نماید و از این رو برای حوضه‌های پر بارش مناسب‌تر است.

مرور منابع نشان می‌دهد که نیاز است روش‌های تعیین بارش مؤثر دسته‌بندی شوند؛ زیرا انتخاب روش مناسب برای برآورد بارش مؤثر به عواملی مانند کیفیت داده‌های موجود، دقت کار و دوره‌های زمانی موردنظر وابسته است. به دلیل هزینه‌های نسبتاً بالای به‌کارگیری روش‌های مستقیم و ابزارهای دقیق، به‌طور معمول از روش‌های تجربی و بیلان آب خاک استفاده می‌شود. در مقادیر کم بارش این روش‌ها داده‌های مشابهی تولید می‌کنند، اما در بارش‌های بالا این تفاوت‌ها چشم‌گیرتر می‌شود. از این رو با توجه به شرایط محیطی باید روش متناسب با اهداف انتخاب شود.

3- روش‌های تعیین باران مؤثر

در نشریه شماره 25 فائو (داستین، 1974) فرض شده است که بارش روزانه کمتر از 5 میلی‌متر به‌عنوان بارش مؤثر شناخته نمی‌شود (در طی دوره خشک)، زیرا این مقدار باران پیش از آنکه به خاک نفوذ کند از سطح خاک تبخیر می‌شود. این شرایط فقط برای تابستان (دوره زمانی به‌شدت گرم) و گیاهان باریشه عمیق معتبر است، اما در مراحل اولیه رشد گیاهان باریشه کم‌عمق (مانند پیاز) یا ریشه با عمق متوسط (مانند گندم) باران 5 میلی‌متر (به‌ویژه در هوای سرد) می‌تواند در تبخیر- تعرق مشارکت کند. در اصل، بارشی که فقط سطح خاک را مرطوب کند و وارد نیمرخ خاک نشود، همچنان مؤثر در نظر گرفته می‌شود، زیرا بخشی از آن توسط گیاه در پاسخ به نیاز تبخیری اتمسفر مصرف می‌شود (علی و مبارک، 2017). برخی محققین بارش مؤثر را برای بازه سالیانه و بر مبنای میانگین طولانی‌مدت داده‌های هواشناسی محاسبه می‌کنند و در آن گیاه و دوره‌های رشد

گیاه را در نظر نمی‌گیرند. این‌گونه محاسبات ارزش کمی دارد، زیرا ممکن است شرایط آب و هوایی و نوع گیاه به‌طور معنی‌داری متفاوت از شرایط گذشته باشد. از گذشته برای برآورد بارش مؤثر روش‌های متعددی وجود دارد (موهان و همکاران، 1996؛ و علی و مبارک، 2017):

1. روش‌های اندازه‌گیری مستقیم
2. روش‌های برآورد با استفاده از معادلات تجربی
3. روش‌های بیلان آبی

در روش‌های یادشده از متغیرهای زمان مبنا برای محاسبات بارش مؤثر استفاده می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری مستقیم بیشترین نتایج صحیح را در برآورد بارش مؤثر از خود نشان می‌دهند، اما گران و نیازمند ابزار و فناوری‌های خاص هستند. یک روش مورد تأیید بایستی به شکل مناسبی رواناب سطحی، تغییرات ذخیره آب در خاک و مشخصه‌های گیاه را در نظر بگیرد. در استفاده مزرعه‌ای، این روش‌ها می‌بایستی ساده، ارزان، سریع و صحیح باشند و همچنین برای استفاده وسیع در طرح‌های ناحیه‌ای و تقویم‌های آبیاری قابل‌استفاده باشند (علی و مبارک، 2017).

برای هر یک از روش‌های تعیین بارش مؤثر مزایا و معایب متعددی وجود دارد. پیش از هرگونه ارزیابی نهایی و تأکید بر استفاده، مروری بر این روش‌ها مفید خواهد بود.

3-1- روش‌های اندازه‌گیری مستقیم

این روش‌ها در صورت اجرای دقیق و اندازه‌گیری مناسب از دقیق‌ترین روش‌های تعیین بارش مؤثر هستند که به شکل‌های مختلفی قابل انجام است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

3-1-1- اندازه‌گیری تغییرات رطوبتی خاک (موهان و همکاران، 1996)

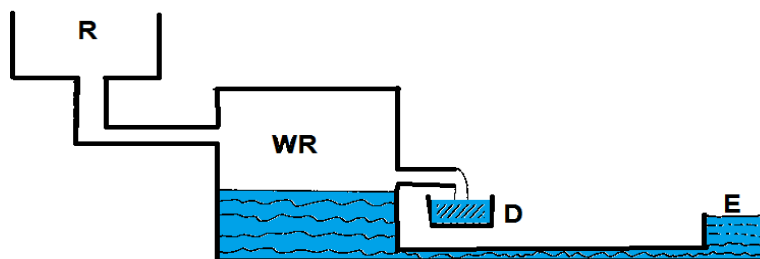
روش اندازه‌گیری تغییرات رطوبتی در پروفیل خاک یکی از روش‌های مستقیم است که از رابطه 2 تعیین می‌شود:

$$Pe = \theta_2 - \theta_1 + ET \quad (2)$$

که در آن θ_1 و θ_2 رطوبت خاک قبل و بعد از بارش تا عمق ریشه گیاه و ET تبخیر - تعرق گیاه در بازه مورد اندازه‌گیری بوده و همگی برحسب میلی‌متر می‌باشند. با استفاده از این روش می‌توان مقدار بارانی که در محیط ریشه ذخیره شده است را محاسبه نمود. در بسیاری از پژوهش‌ها از این روش استفاده می‌شود.

3-1-2- روش استفاده از باران‌سنج تجمعی

در این روش از دستگاه باران‌سنج تجمعی که توسط استن هیل (1958) طراحی شده است استفاده می‌شود (شکل 1). این دستگاه از یک ورودی آب، به‌عنوان مخزن دریافت‌کننده آب باران، تشکیل شده است. این مخزن دارای حجمی معادل حجم آب قابل ذخیره در عمق ریشه در خاک بوده (که وابسته به خصوصیات فیزیکی خاک است)؛ و دارای یک سطح تبخیر مانند تشت است، کارگذاری دستگاه و اندازه‌گیری پیوسته سطح آب پس از بارش باعث افزایش دقت این روش می‌شود. در این روش آب اضافی به‌صورت زهاب در ظرف دیگری تجمع یافته و اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به مقدار تفاضل به دست آمده مقدار بارش مؤثر در هر بارش تعیین می‌شود.

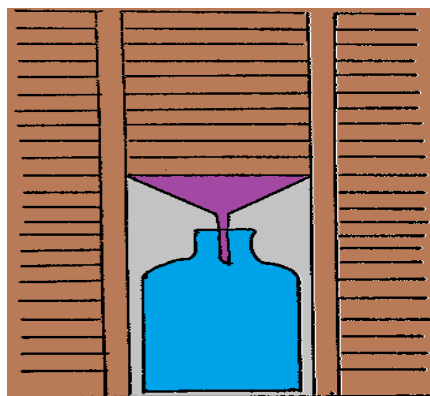


شکل 1- نمای روش باران‌سنج تجمعی طراحی شده توسط استن هیل (1958). R مقدار بارش ورودی، E مقدار آب معادل تبخیر - تعرق گیاه مورد بررسی، D مقدار آب مازاد بر نیاز گیاه است و WR حجم معادل نیاز آبی گیاه است که بر اساس سطح E در مخزن تعیین می‌شود.

3-1-3- روش رامداس

وسیله‌ای که توسط رامداس (1960) برای اندازه‌گیری بارش مؤثر ابداع شد از یک استوانه به قطر 30 سانتی‌متر و ارتفاعی معادل عمق توسعه ریشه گیاه در خاک، یک قیف و یک

جمع‌کننده مانند شکل 2 تشکیل شده است. در این روش نیز مقدار آب مازاد بر حجم تعریف شده، در مخزن کار گذاشته‌شده در زیر عمق ریشه ذخیره می‌گردد و قابل اندازه‌گیری است. عمق خاک روی سیلندر معادل عمق مؤثر توسعه ریشه بوده و آب اضافه از این عمق خارج شده و به داخل قیف هدایت می‌شود. با اندازه‌گیری پی‌درپی مخزن می‌توان با استفاده از کسر بارش اتفاق افتاده و آب موجود در مخزن، مقدار بارش مؤثر را تعیین کرد.



شکل 2- نمای دستگاه باران‌سنج تجمعی طراحی شده توسط رامداس (1960)

3-1-4- روش لایسیمتر (موهان و همکاران، 1996)

لایسیمترها انواع مختلفی شامل لایسیمتر زهکش‌دار، وزنی، فشاری و الکترونیکی دارند. اگرچه این روش‌ها بیشتر برای تعیین تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع و گیاهان زراعی استفاده می‌شود، ولی گاهی هم برای اندازه‌گیری بارش مؤثر بکار می‌روند. در این حالت عمق ریشه باید معادل عمق لایسیمتر طراحی شده باشد که در آن بیلان آب در خاک تعیین شده و سپس باران مؤثر از رابطه 3 تعیین می‌شود:

$$Pe = \Delta\theta + ET - Dp - I_{IT} \quad (3)$$

که در آن $\Delta\theta$ تغییرات ذخیره رطوبت خاک در قبل و بعد از بارندگی در عمق ریشه گیاه برحسب میلی‌متر، ET تبخیر - تعرق گیاه برحسب میلی‌متر در بازه اندازه‌گیری شده، I_{IT}

مقدار آب آبیاری برحسب میلی‌متر در بازه موردنظر و Dp مقدار نفوذ عمقی ناشی از آبیاری و بارش از ناحیه ریشه برحسب میلی‌متر می‌باشد. در صورتی که بارش و آبیاری در بازه نزدیک به هم اتفاق افتاده باشند مقدار نفوذ عمقی زیاد شده و باران مؤثر به شدت کاهش می‌یابد. این روش مقدار باران مؤثر را بر اساس مدیریت آبیاری برای هر گیاه و به صورت واقعی در اختیار قرار می‌دهد. این روش دقیق‌ترین روش برای اندازه‌گیری بارش مؤثر است.

3-2- روش‌های برآورد با استفاده از معادله‌های تجربی

در روش‌های تجربی با استفاده از معادله‌ها و نمودارهایی که به صورت تجربی توسط محققین مختلف تهیه شده است، مقدار بارش مؤثر برآورد می‌شود. از جذابیت‌های این روش‌ها این است که کم‌هزینه بوده و کاربرد مناسب‌تری به‌ویژه در مدل نویسی دارند ولی از مشکل‌های قابل بحث در این روش‌ها این است که هر رابطه در شرایط و محلی خاص معتبر بوده و قابل تعمیم به همه شرایط نیستند و این نکته‌ای است که باید حتماً در استفاده از این روش‌ها مدنظر قرار گیرد. برای بررسی این روش‌ها گیاه گندم در اهواز و ایزه مورد بررسی شدند. کشت گیاه گندم در خوزستان در دهه دوم آبان ماه و برداشت آن در دهه اول اردیبهشت انجام می‌شود.

3-2-1- معادله رنفرو

معادله زیر توسط رنفرو (1964) برای برآورد میزان بارش مؤثر ارائه شده است (به نقل از منبع داستین، 1974):

$$Pe = E \times Rg + d \quad (4)$$

که در آن Pe بارش مؤثر، Rg باران فصل رشد و d میانگین عمق خالص آبیاری در کل فصل رشد (همه برحسب میلی‌متر) و E تابعی از نسبت آب جذب شده توسط گیاه¹ (CU) به باران فصل رشد² (Rg) است که از جدول 1 به دست می‌آید. مقدار E اشاره به

1 - Consumption Uptake (cu)

2 - Rain during the growth (RG)

درجه‌ای از مقدار باران است که صرف تأمین آب جذب شده توسط گیاه می‌شود. هراندازه مقدار E بزرگ‌تر باشد، مقدار بارش مؤثر نیز بیشتر خواهد بود.

جدول 1- مقادیر ضریب بارش مؤثر در روش رنفرو

CU/Rg	E	CU/Rg	E	CU/Rg	E
0	0	1/6	0/57	3/5	0/84
0/2	0/1	1/8	0/61	4	0/88
0/4	0/19	2	0/65	4/5	0/91
0/6	0/27	2/2	0/69	5	0/93
0/8	0/35	2/4	0/72	6	0/96
1	0/41	2/6	0/75	7	0/98
1/2	0/47	2/8	0/77	9	0/99
1/4	0/52	3	0/8	-	-

از مشکل‌های این مدل آن است که بارش مؤثر را برای کل دوره رشد محاسبه کرده و دقت ماهانه و دهه‌ای برای استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه و مدیریت آبیاری در طول فصل زراعی را ندارد و در بیشتر شرایط صادق نیست (ادنان و هیات خان، 2008).

این روش در دو اقلیم گرم و مرطوب (شهرستان ایزده) و گرم و خشک (شهرستان اهواز) در استان خوزستان مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از اطلاعات دریافت شده از سازمان هواشناسی در سال زراعی 93 الی 94، مقدار نیاز آبی گیاه گندم در اهواز در کل فصل رشد 409 میلی‌متر و مقدار کل بارش در دوره رشد گندم 295 میلی‌متر می‌باشد. این اطلاعات با توجه به تاریخ کشت گندم در 15 آبان ماه و برداشت آن در اول اردیبهشت ماه به‌دست آمده است. فرض می‌شود که میانگین عمق خالص آبیاری در کل فصل رشد 50 میلی‌متر است، از این‌رو ضریب E برابر با 0/52 به دست می‌آید و مقدار باران مؤثر کل دوره رشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CU/Rg = 409/295 = 1/38 \approx 1/4 \implies E = 0/52$$

$$P_e = 0/52 \times 295 + 50 = 203 \text{ (mm)}$$

مقدار نیاز آبی گیاه گندم در ایذه در کل فصل رشد 290 میلی‌متر و مقدار کل بارش در دوره رشد گندم 535 میلی‌متر است. این اطلاعات نیز بر اساس تاریخ کشت 15 آبان ماه و برداشت گندم در اول اردیبهشت ماه به دست آمده است؛ از این رو ضریب E برابر با 0/23 به دست می‌آید و مقدار باران مؤثر کل دوره رشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CU/R_g = 290/535 = 0/54 \quad \Longrightarrow \quad E = 0/23$$

$$P_e = 0/23 \times 535 + 50 = 173 \text{ (mm)}$$

3-2-2- روش دفتر احیای اراضی ایالات متحده آمریکا (USBR¹)

استام (1967) روشی را ارائه نمود که در آن میانگین بارش ماهانه و فصلی خشک‌ترین 5 سال متوالی را به قسمت‌های 1 اینچ تقسیم نموده و برای هر قسمت درصدی از بارش را به عنوان بارش مؤثر در نظر می‌گیرد که ضرایب آن در جدول 2 آورده شده است. این روش برای نواحی نیمه خشک و خشک توصیه شده است.

جدول 2- مقادیر ضریب بارش مؤثر در روش USBR

محدوده افزایش بارش مؤثر (میلی‌متر)	محدوده افزایش بارش (اینچ)	حداقل و حداکثر (درصد)	محدوده تجمعی بارش (میلی‌متر)
0 - 25/4	0-1	90-100	22/9 - 25/4
25/4 - 50/8	1-2	85-95	44/4 - 49/5
50/8 - 76/2	2-3	75-90	63/5 - 72/4
76/2 - 101/6	3-4	50-80	76/2 - 92/7
101/6 - 127	4-5	30-60	83/8 - 107/9
127 - 152/4	5-6	10-40	86/4 - 118/1
>152/4	>6	0-10	86/4 - 120/6

1 - United States Bureau of Reclamation (USBR)

این روش تجربی بوده و برای دوره‌های ماهانه و فصلی بکار می‌رود و برای دوره دهه‌ای که برای برنامه‌ریزی آبیاری لازم است کاربرد ندارد. در این روش تیپ خاک، نوع گیاه، توزیع فراوانی بارش و درجه خشکیدگی در نظر گرفته نشده است. این روش می‌تواند برای اهداف طراحی استفاده شود اما برای استفاده در شرایط اقلیمی که دارای تفاوت زیادی با گذشته است، قابل استفاده نیست. علاوه بر آن این روش می‌تواند بسته به توزیع بارش بیش برآورد یا کم برآورد باشد. در هر صورت این روش چندان رضایت‌بخش نیست.

به عنوان مثال بارش مؤثر به روش USBR در دوره ماهانه برای دو ایستگاه اهواز و ایذه محاسبه و نتایج ایستگاه اهواز در جدول 3 نشان داده شد:

جدول 3- مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده توسط روش USBR در ایستگاه اهواز

ماه	متوسط 5 سال بارندگی (میلی‌متر)	ضریب بارش مؤثر	بارش مؤثر (میلی‌متر)
آبان	49	0/9	44
آذر	13	0/95	12
دی	28	0/9	25
بهمن	18	0/95	17
اسفند	17	0/95	16
فروردین	45	0/9	41
اردیبهشت	45	0/9	41
جمع کل	215	-	196

جدول 4- مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده توسط روش USBR در ایستگاه ایزه

ماه	متوسط 5 سال بارندگی (میلی متر)	ضریب بارش مؤثر	بارش مؤثر (میلی متر)
آبان	81	0/7	57
آذر	46	0/9	41
دی	58	0/8	46
بهمن	101	0/65	66
اسفند	133	0/3	40
فروردین	119	0/45	54
اردیبهشت	89	0/65	58
جمع کل	627	-	362

برای این کار میانگین ماهانه 5 سال داده آماری ایستگاه اهواز (1388-1394) استفاده شد. برای تعیین مقدار بارش مؤثر از ضرایب بارش مؤثر آن در ستون سوم استفاده شد. اعداد این ستون از جدول 2 با توجه به متوسط بارش به دست آمد. با ضرب ستون سوم در ستون دوم مقدار بارش مؤثر در هرماه به دست خواهد آمد. در ایستگاه ایزه نیز همین محاسبات در جدول 4 ارائه شده است.

3-2-3- روش نسبت تبخیر - تعرق پتانسیل به بارش

در این روش دوره مناسب برای تعیین بارش مؤثر با توجه به خصوصیات خاک، تبخیر- تعرق گیاه مرجع و نوع گیاه طبق جدول 5 گروه بندی می شود (داستین، 1974). در این جدول برای گیاهانی به غیر از برنج در هر گروه بیشترین تعداد روزها در هوای گرم 15 روز و برای هوای سرد 30 روز است. هرچه گنجایش ذخیره آب در خاک کمتر و یا شدت تبخیر- تعرق کمتر باشد، دوره های زمانی در هر گروه کوتاه تر خواهد بود (علی و مبارک، 2017). این روش ممکن است برای اهداف طراحی عمومی خوب باشد اما برای استفاده آبی در گیاهان مختلف و در شرایط متفاوت از خاک و اقلیم مناسب نیست.

با استفاده از جدول 5 دوره مناسب بارش تعیین و بر اساس آن مقادیر تجمعی تبخیر- تعرق مرجع و بارش محاسبه و نسبت تبخیر- تعرق مرجع به بارش در هر دوره تعیین شد. اگر در هر دوره زمانی مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع بیشتر از مقدار بارش باشد، نسبت تبخیر- تعرق گیاه مرجع به بارش 1 در نظر گرفته می‌شود. میانگین این نسبت‌ها به عنوان نسبت کل بارش مؤثر در نظر گرفته شده و سپس مقدار آن در بارش کل ضرب می‌شود.

جدول 5- دوره مناسب بارش در شرایط مختلف خاک، تبخیر- تعرق گیاه مرجع و نوع گیاه

گیاه	تبخیر- تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)	میانگین بافت خاک و گنجایش آن برای ذخیره آب (میلی‌متر)			
		خیلی سنگین بیش از 120	سنگین 80-120	متوسط 40-80	سبک کمتر از 40
برنج	3-12	7	4	3	2
سایر	کمتر از 6	15	10	7	4
	بیشتر از 6	30	15	10	7

جدول 6- نسبت تبخیر- تعرق مرجع به بارش در دوره زمانی 30 روز در ایستگاه اهواز

دوره زمانی 30 روز	بارش (میلی‌متر)	تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر)	نسبت تبخیر- تعرق مرجع به بارش (میلی‌متر)
اول	38	50	1
دوم	44	54	1
سوم	10	47	1
چهارم	64	82	1
پنجم	3	84	1
ششم	68	126	1
هفتم	68	126	1
جمع کل	295	569	1

جدول 7- نسبت تبخیر - تعرق مرجع به بارش در دوره زمانی 15 روز در ایستگاه ایزه

دوره زمانی 15 روز	بارش (میلی‌متر)	تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر)	نسبت تبخیر - تعرق مرجع به بارش
اول	20	25	1
دوم	37	25	0/67
سوم	15	15	0/23
چهارم	67	16	0/23
پنجم	38	17	0/44
ششم	102	18	0/18
هفتم	4	25	1
هشتم	25	29	1
نهم	21	34	1
دهم	139	46	1
یازدهم	50	38	1
دوازدهم	0	18	1
سیزدهم	37	25	1
چهاردهم	0	26	1
جمع کل	555	357	-

این روش برای دوره‌های استاندارد طبق جدول 5 بکار می‌رود و محاسبات آن قابل مدل کردن نیست. از طرفی هرماه خصوصیات بارش متفاوتی دارد و میانگین‌گیری از ماه‌های مختلف خطای محاسبات را افزایش می‌دهد. با توجه به جدول 5 و بافت سنگین خاک در خوزستان به دلیل تفاوت تبخیر- تعرق روزانه در طول کشت گندم دوره مناسب در اهواز 30 روز و در ایزه 15 روز تعیین شد. مقادیر بارش و تبخیر- تعرق مرجع 30 روزه در اهواز در جدول 6 ارائه شده است. برای منطقه اهواز از نسبت گیری تبخیر- تعرق مرجع به بارش (نسبت ستون سوم به ستون دوم) مقدار نسبت هر 30 روز در ستون 4 وارد شد. سپس از نسبت‌های به‌دست آمده در ستون 4 میانگین‌گیری نموده و نسبت نهایی تعیین شد. این

نسبت در بارش کل ضرب شد و بارش مؤثر برای منطقه اهواز به دست آمد. با توجه به نتایج جدول 6 میانگین این نسبت برابر با 1 بود که اگر در باران کل اهواز ضرب شود بارش مؤثر برابر با 295 میلی‌متر به دست خواهد آمد، بنابراین این روش تنها یک برآورد کلی را ارائه می‌کند. محاسبات بارش مؤثر با این روش برای ایزده در جدول 7 نشان داده شده است. در ایزده مقدار بازه مناسب طبق جدول 5، برابر با 15 روز بود. با توجه به اینکه در ایزده به دلیل کثرت بارش در برخی از دوره‌های 15 روزه، مقدار بارش بیشتر از تبخیر-تعرق مرجع بوده است و در نتیجه این نسبت بیشتر از یک نمی‌تواند باشد، لذا در این بازه‌ها نسبت 1 منظور شده است.

با توجه به نتایج جدول 7 میانگین نسبت تبخیر-تعرق مرجع به بارش برابر با 0/77 خواهد بود که در باران کل ایزده (515 میلی‌متر) ضرب شد و مقدار بارش مؤثر برابر با 396 میلی‌متر به دست آمد.

3-2-4- روش سرویس حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (SCS)¹

با استفاده از اطلاعات 50 ساله 22 ایستگاه هواشناسی در ایالات متحده آمریکا رابطه 5 برای محاسبه بارش مؤثر ارائه شد (USDA, 1967). برای ایجاد این مدل از داده‌های روزانه بیلان آب - خاک شامل تبخیر-تعرق گیاه، بارش و آب آبیاری استفاده شد. معادله به دست آمده برای برآورد بارش مؤثر به شرح ذیل است:

$$Pe = f(IR) \times (1/25R^{0/824} - 2/03) \times 10^{0/000955ET} \quad (5)$$

که در آن P_e بارش مؤثر ماهانه، ET تبخیر-تعرق مرجع ماهانه و R مقدار بارش ماهانه (همه برحسب میلی‌متر) و $f(IR)$ ضریبی است که از رابطه 6 محاسبه می‌شود:

$$f(IR) = 0/133 + 0/201 \times \ln(IR) \quad \text{if } IR < 75 \text{ mm} \quad (6)$$

$$f(IR) = 0/946 + 7/3 \times 10^{-(IR)^4} \quad \text{if } IR \geq 75 \text{ mm}$$

1 - Soil Conservation Service United States of America (SCS)

که در آن IR عمق خالص آبیاری برحسب میلی‌متر است. مشکل کاربرد این روش آن است که به پارامترهای مختلفی وابسته بوده و جواب نهایی آن به صورت فصلی و ماهانه است و عامل شیب اراضی، شدت و توزیع بارش در آن در نظر گرفته نشده است. روش SCS عموماً قابل استفاده برای نواحی با شدت بارش کم و خاک‌هایی است که شدت نفوذ آب زیادی دارند (داستین، 1974). همچنین در این روش تیپ خاک و عمق خالص آبیاری در نظر گرفته نشده و در نتیجه در مقایسه با روش‌های مستقیم بیلان آب در خاک برآورد کمتری می‌دهد (موهان، 1996) و در نتیجه صحت زیادی ندارد.

جدول 8 – نتایج محاسبه بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش SCS در اهواز

دوره زمانی 30 روز	بارش (میلی‌متر)	تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	38	50	23/6
دوم	44	54	27/2
سوم	10	47	6/4
چهارم	64	82	40/2
پنجم	3	84	1/2
ششم	68	126	46/6
هفتم	68	126	46/6
جمع کل	295	569	192

با فرض 50 میلی‌متر عمق خالص آبیاری برای گیاه گندم مقدار $F(IR)$ به شرح زیر محاسبه خواهد شد:

$$f(50) = 0/133 + 0/201 \times \ln(50) = 0/92$$

مقدار بدست آمده برای این ضریب در معادله 5 وارد شد و با توجه به معادلات یاد شده مقدار بارش مؤثر در اهواز به شرح جدول 8 محاسبه می‌شود. در این جدول با توجه به مقدار تبخیر - تعرق مرجع و بارش هر سطر مقدار بارش مؤثر برای هر دوره زمانی با

استفاده از رابطه 5 محاسبه و در ستون 4 وارد شد. برای نمونه محاسبه سطر اول به شرح زیر است:

$$Pe = 0.92 \times (1/25 \times 38^{0.824} - 2/03) \times 10^{0.000955 (50)} = 23/6 \text{ mm}$$

نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از این روش مقدار بارش مؤثر در اهواز 192 میلی‌متر برآورد شده است. این محاسبات برای ایزده نیز انجام و نتایج آن در جدول 9 ارائه شد.

جدول 9 - نتایج محاسبه بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش SCS در ایستگاه ایزده

دوره زمانی 30 روز	بارش (میلی‌متر)	تبخیر - تعرق مرجع (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	57	50	33/8
دوم	82	31	44/5
سوم	140	35	70/9
چهارم	29	54	18/6
پنجم	140	80	78/2
ششم	50	56	30/5
هفتم	37	51	23/1
جمع کل	535	357	299/6

نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از این روش مقدار بارش مؤثر در ایزده 299 میلی‌متر برآورد شده است.

3-2-5- روش‌های FAO

سازمان فائو در نرم‌افزار CROPWAT برای برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع با بررسی روش‌های مختلف و تصحیح آن‌ها روش‌هایی را برای برآورد بارش مؤثر ارائه نموده است (ماری، 2015).

3-2-5-1-روش ضریب ثابت

در این روش مقدار بارش مؤثر به صورت پیش‌فرض در مدل CROPWAT، 80% کل بارش در نظر گرفته می‌شود که دارای خطای بالقوه زیادی است و در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر خطا بیشتر می‌شود. بنا به توصیه FAO بهتر است که این ضریب در هر منطقه‌ای با توجه به شرایط آب‌وهوا، خاک، گیاه و سیستم آبیاری واسنجی شود تا با دقت بهتری به توان از آن استفاده نمود. در این روش مقادیر بارش کمتر از 0/5 اینچ (معادل 1/27 سانتی‌متر) غیر مؤثر در نظر گرفته می‌شود. در مقادیر بیشتر از 0/5 اینچ، معادل 80 درصد آن، بارش مؤثر در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{if } P \leq 12/7 \text{ mm, } P_{eff} &= 0 \\ \text{if } P > 12/7 \text{ mm, } P_{eff} &= 0/8(P - 12/7) \end{aligned} \quad (7)$$

با استفاده از روش 80 درصد مقدار بارش مؤثر برای اهواز 236 میلی‌متر و در ایزه 428 میلی‌متر به دست می‌آید که قابل اطمینان نبوده و تنها یک برآورد کلی است و نیاز به واسنجی مناسب دارد.

3-2-5-2-روش بارش قابل اطمینان

این روش برای تخمین کمینه بارش محتمل و به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری با اطمینان بیشتر، ارائه شده است. برای محاسبه بارش مؤثر در دوره زمانی 30 روزه از رابطه‌های 8 و 9 استفاده می‌شود:

$$\text{if } P \leq 70 \text{ mm, } P_{eff} = 0/6P - 10 \quad (8)$$

$$\text{if } P > 70 \text{ mm, } P_{eff} = 0/8P - 24 \quad (9)$$

که در آن P بارش ماهانه و P_{eff} بارش مؤثر ماهانه با احتمال وقوع 80 درصد می‌باشد. بر اساس دوره زمانی ماهانه مقدار باران مؤثر محاسبه با این روش در اهواز در جدول 10 نشان داده شد. نکته مهم در روابط 8 و 9 قابلیت استفاده هر معادله متناسب با شرط متناظر خود است، بنابراین برای بارش‌های کمتر از 70 میلی‌متر از رابطه 8 و برای بارش‌های بالای 70 میلی‌متر از رابطه 9 استفاده می‌شود.

جدول 10 – نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش بارش قابل اطمینان در ایستگاه اهواز

دوره زمانی 30 روز	مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	38	12/8
دوم	44	16/4
سوم	10	0
چهارم	64	28/4
پنجم	3	0
ششم	68	30/8
هفتم	68	30/8
جمع کل	295	119

به عنوان مثال در گیاه گندم که در 15 آبان کشت و در دهه اول اردیبهشت برداشت می‌شود، در 30 روز دوم در جدول 10 به دلیل کمتر بودن مقدار بارش از 70 میلی‌متر، مقدار بارش مؤثر از رابطه 8 به شرح زیر محاسبه شد:

$$P_{eff} = 0/6 \times 44 - 10 = 16/4 \approx 16 \text{ mm}$$

با توجه به نتایج مقدار بارش مؤثر در اهواز در دوره رشد گندم 107 میلی‌متر برآورد شد. این محاسبات برای ایستگاه ایذه نیز انجام و نتایج آن در جدول 11 ارائه شد و نتایج نشان داد که با این روش مقدار بارش مؤثر 281 میلی‌متر به دست می‌آید.

جدول 11 - نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم با استفاده از روش قابل اطمینان در ایستگاه ایزه

مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)	مقدار بارش (میلی‌متر)	30 روز
24/2	57	اول
41/6	82	دوم
88	140	سوم
7/4	29	چهارم
88	140	پنجم
20	50	ششم
12/2	37	هفتم
281/4	535	جمع کل

با توجه به نیاز مدل‌ها در برآورد روزانه و دوره‌های دهروزه نیاز آبی سازمان فائو در نرم‌افزار CROPWAT (نسخه 8) برای محاسبه بارش مؤثر در دوره زمانی 10 روزه رابطه‌های زیر را پیشنهاد نموده است:

$$\text{if } P \leq 23 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = 0/6P - 3/3 \quad (10)$$

$$\text{if } P > 23 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = 0/8P - 8 \quad (11)$$

که در آن P بارش 10 روزه و P_{eff} بارش مؤثر 10 روزه با احتمال وقوع 80 درصد هست. از این روش برای تخمین بارش مؤثر در برنامه‌ریزی‌های آبیاری برای گیاهان مختلف و شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه در پاسخ به تنش خشکی می‌توان استفاده کرد. نتایج بارش مؤثر به این روش برای گیاه گندم در ایستگاه اهواز در جدول 12 نشان داده شد. در این روش نیز در هر دهه برای بارش‌های بالای 23 میلی‌متر از رابطه 10 و برای بارش‌های کمتر از 23 میلی‌متر از رابطه 11 استفاده شد.

جدول 12 – نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم برای دوره زمانی 10 روزه با روش قابل اطمینان در ایستگاه اهواز

دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)	دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
1	11	3	10	3	0
2	33	18	11	0	0
3	0	0	12	0	0
4	3	0	13	36	21
5	0	0	14	0	0
6	7	1	15	33	18
7	47	30	16	0	0
8	34	19	17	0	0
9	2	0			
جمع	137	71	جمع	72	39
جمع کل				209	110

به عنوان مثال در دهه 7 با مقدار بارش 47 میلی‌متر باید از رابطه دوم به شرح زیر استفاده نمود:

$$P_{eff} = 0/8 \times 47 - 8 = 29/6 \approx 30 \text{ mm}$$

با توجه به حاصل جمع مقادیر ستون بارش مؤثر، مقدار بارش مؤثر کل 110 میلی‌متر برآورد شد (جدول 12). این محاسبات برای ایستگاه ایزه نیز در سال 1393 انجام و نتایج آن در جدول 13 ارائه شد.

جدول 13 - نتایج بارش مؤثر برای گیاه گندم در دوره زمانی 10 روزه با روش قابل اطمینان در ایستگاه ایزده

دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)	دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
1	25	12	10	13	5
2	22	10	11	12	4
3	5	0	12	0	0
4	64	42	13	129	95
5	4	0	14	11	3
6	38	22	15	50	31
7	78	55	16	0	0
8	24	11	17	0	0
9	4	0			
جمع	264	152	جمع	215	138
جمع کل				479	290

با توجه به نتایج در دوره زمانی 10 روزه مقدار بارش مؤثر 290 میلی‌متر برآورد می‌شود. از این روش قابل اطمینان نسبت به روش‌های قبل یکی از مناسب‌ترین روش‌ها در تعیین باران مؤثر است و به دلیل احتمال بالای وقوع در نظر گرفته شده و معادلات صریح آن در مدل نویسی و تعیین نیاز آبی در اسناد آبیاری بسیار پرکاربرد می‌باشد.

3-5-2-3- رابطه تجربی بارش مؤثر

این روابط تجربی توسط سازمان فائو معرفی و مشابه با روش بارش قابل اطمینان است، اما ضرایب آن برای هر منطقه قابل تعدیل است. سازمان فائو این ضرایب را در CROPWAT نسخه 8 به صورت قابل تغییر در نظر گرفته است تا برای هر شرایطی قابل واسنجی و تعمیم باشد (ماری، 2015):

$$\text{if } P \leq 50 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = 0.5P - 5 \quad (12)$$

$$\text{if } P > 50 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = 0.7P + 20 \quad (13)$$

که در آن P بارش ماهانه و P_{eff} بارش مؤثر ماهانه است. با استفاده از این روش در بازه ماهانه مقدار بارش مؤثر در ایستگاه اهواز محاسبه و در جدول 14 نشان داده شد. در این روش برای بارش‌های کمتر از 50 میلی‌متر از رابطه 12 و برای بارش‌های بیشتر از 50 میلی‌متر از رابطه 13 استفاده می‌شود.

جدول 14- نتایج بارش مؤثر ماهانه برای گیاه گندم با استفاده از رابطه تجربی در ایستگاه اهواز

دوره زمانی 30 روز	مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	38	14
دوم	44	17
سوم	10	0
چهارم	64	64
پنجم	3	0
ششم	68	67
هفتم	68	67
جمع کل	295	229

جدول 15- نتایج بارش مؤثر ماهانه برای گیاه گندم با استفاده از رابطه تجربی در ایستگاه اهواز

دوره زمانی 30 روز	مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	57	55
دوم	82	72
سوم	140	113
چهارم	29	20
پنجم	140	113
ششم	50	30
هفتم	37	24
جمع کل	535	426

به عنوان مثال در دوره زمانی 30 روزه چهارم به دلیل بارش بیش از 50 میلی‌متر مقدار بارش با استفاده از رابطه زیر برابر است با:

$$P_{eff} = 0/7 \times 64 + 20 = 64 \text{ mm}$$

از حاصل جمع ستون سوم مقدار بارش مؤثر در ایستگاه اهواز 257 میلی‌متر تعیین شد (جدول 14). این محاسبات برای ایستگاه ایذه نیز انجام و نتایج آن در جدول 15 نشان داده شد.

جدول 16 - نتایج بارش مؤثر در بازه زمانی 10 روزه برای گیاه گندم با روش تجربی در ایستگاه اهواز

دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)	دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
1	11	4	10	3	0
2	33	30	11	0	0
3	0	0	12	0	0
4	3	0	13	36	32
5	0	0	14	0	0
6	7	2	15	33	29
7	47	39	16	0	0
8	34	30	17	0	0
9	2	0			
جمع	137	105	جمع	72	61
جمع کل				209	166

از حاصل جمع ستون سوم مقدار بارش مؤثر در ایستگاه ایذه 426 میلی‌متر برآورد گردید (جدول 15)؛ بنابراین این روش عملکرد مناسبی ندارد و ضرایب آن نیاز به واسنجی مناسب در هر منطقه دارد. در ادامه برای محاسبه بارش مؤثر در دوره زمانی 10 روزه از رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$\text{if } : P \leq 17 \text{ mm}, P_{eff} = 0/5P - 1/6 \quad (14)$$

$$\text{if } : P > 17 \text{ mm}, P_{eff} = 0/7P + 6/6 \quad (15)$$

که در آن P بارش ماهانه و P_{eff} بارش مؤثر ماهانه با احتمال وقوع 80 درصد می‌باشد. در بازه زمانی 10 روزه با استفاده از این روش مقدار بارش مؤثر در ایستگاه اهواز محاسبه و نتایج آن در جدول 16 ارائه شد. در این روش نیز برای دهه‌های با بارش بیشتر از 17 و کمتر از 17 میلی‌متر دو رابطه مجزا ارائه شده است. به‌عنوان مثال در دهه اول مقدار بارش مؤثر برابر است با:

$$P_{eff} = 0/5 \times 11 - 1/6 = 3/9 \approx 4 \text{ mm}$$

همچنین برای دهه دوم مقدار بارش مؤثر برابر است با:

$$P_{eff} = 0/7 \times 33 + 6/6 = 29/7 \approx 30 \text{ mm}$$

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مقدار بارش مؤثر برای گیاه گندم در ایستگاه اهواز 166 میلی‌متر برآورد شد. این محاسبات برای ایستگاه ایزده نیز انجام و نتایج آن در جدول 17 نشان داده شد.

جدول 17 - نتایج محاسبه دهه‌ای بارش مؤثر در بازه زمانی 10 روزه گیاه گندم با روش تجربی در ایستگاه ایزده

دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)	دهه	بارش (میلی‌متر)	بارش مؤثر (میلی‌متر)
1	25	24	10	13	0
2	22	21	11	12	0
3	5	1	12	0	0
4	64	51	13	129	32
5	4	0	14	11	0
6	38	33	15	50	29
7	78	61	16	0	0
8	24	23	17	0	0
9	4	0			
جمع	264	214	جمع	215	61
جمع کل				479	275

با توجه به نتایج فوق مقدار بارش مؤثر در ایذه 275 میلی‌متر برآورد شد.

3-2-5-4- روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA¹)

در این روش مقادیر بارش مؤثر در دوره زمانی ماهانه با احتمال وقوع 65 درصد از رابطه‌های زیر قابل محاسبه است (ماری، 2015):

$$\text{if } P \leq 250 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = (125 - 0/2P) \frac{P}{125} \quad (16)$$

$$\text{if } P > 250 \text{ mm}, P_{\text{eff}} = 0/1P + 125 \quad (17)$$

با استفاده از این روش در بازه زمانی ماهانه مقادیر بارش مؤثر برای گیاه گندم در ایستگاه اهواز محاسبه و نتایج آن در جدول 18 ارائه شد. در این روش نیز دو رابطه برای بارش‌های بالای 250 میلی‌متر و کمتر از آن داده شده است که در مناطق مورد مطالعه در یک ماه بیش از 250 میلی‌متر بارندگی وجود نداشت لذا محاسبات با رابطه 16 انجام شد. به‌عنوان مثال در 30 روز دوم محاسبات به‌صورت زیر انجام شد:

$$P_{\text{eff}} = (125 - 0/2 \times 44) \times \frac{44}{125} = 40/9 \approx 41$$

جدول 18 - نتایج بارش مؤثر ماهانه با استفاده از روش USDA در ایستگاه اهواز

دوره زمانی 30 روز	مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	38	36
دوم	44	41
سوم	10	10
چهارم	64	57
پنجم	3	3
ششم	68	61
هفتم	68	61
جمع کل	295	268

1 - United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (USDA)

با توجه نتایج مقدار بارش مؤثر در اهواز 268 میلی‌متر تعیین شد. این محاسبات برای ایستگاه ایزه نیز انجام و نتایج آن در جدول 19 نشان داده شد.

جدول 19 - نتایج بارش مؤثر ماهانه با استفاده از روش USDA در ایستگاه ایزه

دوره زمانی 30 روز	مقدار بارش (میلی‌متر)	مقدار بارش مؤثر (میلی‌متر)
اول	57	52
دوم	82	71
سوم	140	109
چهارم	29	28
پنجم	140	109
ششم	50	46
هفتم	37	35
جمع کل	535	449

با توجه به نتایج مقدار بارش مؤثر در ایزه 449 میلی‌متر برآورد شد.

3-2-6- روابط تجربی منطقه‌ای

این رابطه‌ها برای مناطق خاص و تحت شرایط واسنجی شده از نظر آب‌وهوا، خاک، گیاه، روش آبیاری و غیره به دست می‌آیند؛ بنابراین دارای تنوع بسیار زیادی هستند، اما استفاده از آن‌ها در مناطق دیگر مجاز نیست مگر این‌که این روابط در منطقه جدید واسنجی و اصلاح شوند. از این روش‌ها می‌توان به روش هندی، روش ژاپنی و روش ویتنامی اشاره نمود که با ضرایب ثابت و شروط متعدد بارش مؤثر را برای هر منطقه طبقه‌بندی نموده‌اند (موهان و همکاران، 1996). بیشتر این روش‌ها برای اراضی شالیزاری استفاده می‌شوند.

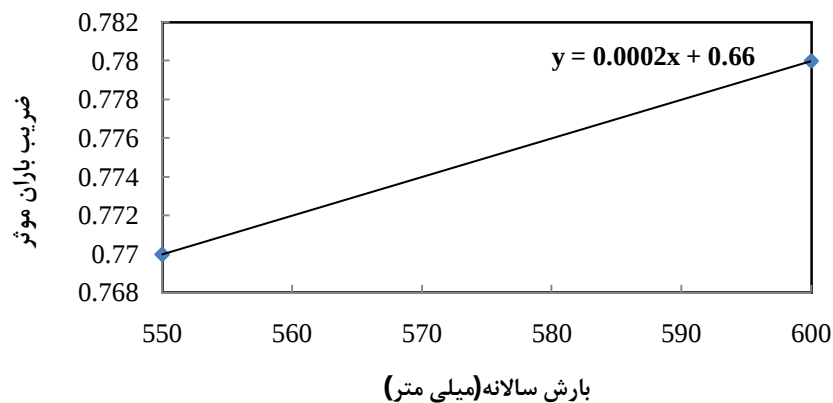
3-3- برآورد بارش مؤثر با احتمال وقوع مختلف

بروور و هیللم (1986) بر اساس بارش‌های سالیانه در آمریکا ضرایبی را برای برآورد بارش مؤثر با احتمال وقوع مختلف ارائه نمودند که مبنای محاسبات و معادلات بیان‌شده می‌باشد. با توجه به میزان بارش سالانه در منطقه و سطح احتمال موردنظر می‌توان ضرایب بارش مؤثر را از جدول 20 استخراج نمود.

جدول 20- ضریب بارش مؤثر در سطوح احتمال وقوع مختلف بر اساس نشریه فنی مدیریت آب آبیاری FAO (بروور و هیللم، 1986)

درصد احتمال وقوع					متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	درصد احتمال وقوع					متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)
90	80	70	60	50		90	80	70	60	50	
0/70	0/78	0/84	0/91	0/97	600	0/33	0/45	0/56	0/68	0/80	75
0/71	0/79	0/85	0/92	0/97	650	0/38	0/50	0/61	0/72	0/84	100
0/72	0/80	0/86	0/92	0/97	700	0/42	0/54	0/65	0/76	0/87	125
0/73	0/81	0/87	0/93	0/97	750	0/45	0/57	0/68	0/78	0/88	150
0/75	0/82	0/88	0/93	0/98	875	0/48	0/60	0/69	0/79	0/89	175
0/77	0/83	0/89	0/94	0/98	1000	0/51	0/62	0/71	0/81	0/90	200
0/78	0/84	0/90	0/94	0/98	1125	0/53	0/63	0/73	0/82	0/91	225
0/79	0/85	0/91	0/95	0/98	1250	0/55	0/65	0/75	0/83	0/92	250
0/80	0/86	0/91	0/95	0/99	1375	0/58	0/69	0/78	0/85	0/93	300
0/81	0/87	0/91	0/92	0/99	1500	0/61	0/71	0/79	0/86	0/94	350
0/83	0/88	0/92	0/95	0/99	1750	0/63	0/73	0/81	0/88	0/95	400
0/85	0/89	0/92	0/95	0/99	2000	0/65	0/74	0/82	0/89	0/95	450
0/86	0/90	0/93	0/96	0/99	2250	0/67	0/75	0/83	0/90	0/96	500
0/87	0/91	0/93	0/96	0/99	2500	0/69	0/77	0/84	0/90	0/96	550

با استفاده از این روش نیز می‌توان با توجه به نیاز پروژه در سطوح احتمال وقوع موردنظر بارش مؤثر را تعیین نمود. به عنوان مثال مقدار کل بارش در ایستگاه ایزده در یک سال نزدیک به 535 میلی‌متر است که اگر با احتمال 80 درصد بخواهیم ضریب بارش مؤثر تعیین شود به روش زیر قابل میان یابی خواهد بود. در ابتدا نمودار بین دو حد متوسط بارندگی سالیانه (از جدول 20) که مقدار بارندگی سالانه ایستگاه موردنظر در حدفاصل آن‌ها قرار دارد را ترسیم می‌کنیم (شکل 3).



شکل 3- رابطه ضریب بارش مؤثر در بازه بارش 550 الی 600 میلی‌متر

رابطه ضریب بارش مؤثر در بازه بارش 550 الی 600 میلی‌متر که بارش ایستگاه ایزده (535 ملی متر) در دامنه آن قرار دارد از شکل 3 استخراج و با توجه به معادله حاصل شده مقدار ضریب بارش مؤثر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{ضریب بارش مؤثر} = 0/0002 \times 585 + 0/66 = 0/777$$

$$\text{مقدار بارش مؤثر} = 0/777 \times 535 = 415 \text{ mm}$$

با توجه به بارش 535 میلی‌متر در دوره رشد گندم در ایستگاه ایزده مقدار بارش مؤثر در آن 415 میلی‌متر خواهد بود. همین روش در مورد ایستگاه اهواز اعمال شد و ضریب

آن 0/623 به دست آمد و با توجه به بارش 295 میلی‌متری در دوره رشد گندم مقدار بارش مؤثر 184 میلی‌متر به دست آمد؛ بنابراین با سطوح احتمال مختلف می‌توان مقدار بارش مؤثر را در هر منطقه تعیین نمود و پس از واسنجی ضرایب مشخص کرد که کدام سطح احتمال برای منطقه مورد مطالعه قابل قبول است.

4- نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به بررسی‌های انجام شده و جمع‌بندی نتایج، روش‌های اندازه‌گیری مستقیم در اولویت کاربرد هستند و روش بیلان آبی در جایگاه بعدی قرار می‌گیرد. روابط تجربی در هنگام استفاده در هر منطقه لازم است واسنجی شود، در غیر این صورت نمی‌توان تخمین مناسبی از بارش مؤثر داشت. در پروژه‌های آبیاری روش بارش قابل اطمینان به دلیل ریسک پایین آن پیشنهاد می‌شود و می‌توان از آن به‌خوبی در بررسی‌های اولیه با احتمال وقوع مناسب بهره برد. از همه مهم‌تر قابلیت تغییر این مدل به بازه ده‌روزه است که بسیار در برنامه‌ریزی تخصیص و برنامه‌ریزی‌های کلان شبکه آبیاری و زهکشی مفید و کاربردی خواهد بود. در هر صورت آنچه در استفاده از این روش‌ها بسیار مهم بوده این است که دانسته شود هر معادله تا چه درصد احتمالی، قابل اعتماد بوده و تا چه حد برنامه‌ریزی آبیاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

5- منابع

- خوشحال دستجردی، ج؛ و جوشنی، ع. 1391. برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک سال سوم، جلد 9 و 10: 153-169.
- لاریجانی، ش.، سالاریان، م.، علیزاده، ا.، و سهرابی، ت. 1396. صحت سنجی روابط تعیین بارش مؤثر در مناطق پر باران و کم باران ایران. مجله اکو هیدرولوژی. جلد 2 شماره 3: 836-825.
- مجرد، ف.، قمر نیا، ه؛ و نصیری، ش. 1384. برآورد بارش مؤثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 54: 59-76.
- عزیزی، ق. (1379). برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد دشت خرم‌آباد)، فصلنامه پژوهش جغرافیایی، سال سی و دوم، شماره 39: 115-123.
- Allen, R.G. S.P. Luis, and D. Raes. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirement – FAO Irrigation and Drainage. Paper. No. 56.
- Ali, M.H., and S. Mubarak. 2017. Effective rainfall calculation methods field crops : An over view, analysis and new formulation. Asian Research journal of Agriculture. 7(1):1-12.
- Adnan Sh., and Hayat Khan A. 2008. Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology. 6: 61-72.
- Avinash, S. Patwardhan, J. Nieber, L. Eldon, L.J. 1990, Effective Rainfall Estimation Methods, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116(2):182-193.
- Bos, M.G. Kselik, R.A.L. Allen, R.G. 2009, Water Requirements for Irrigation and the Environment, Dordrecht, Springer. ISBN: 978-1-4020-8947-3.
- Brouwer, C., and M. Heibloem. 1986. IRRIGATION WATER MANAGEMENT. Training manual no. 3. Natural Resources Management and Environment Department.
- Chahon, j., Yonts, D., and Melvin, S. 2001. Estimating Effective Rainfall, www.iavroubs.unl.edu/irrigation/g1099.htm.
- Dastane, N.G. 1974. Effective rain falls in irrigated agriculture. Irrigation and drainage paper No. 25, FAO.

- Hayes, G. I. and Buell, J. H. 1995. Water and forest trees also need water at the right time and place. In water year book, USDA. 219-228.
- Lashari, B. K. Laghari, K. Q. and Phul, A. M. 2010. Development of an Irrigation Scheduling Model, Journal of Engineering & Technology, Mehran University Research, Vol. 29, No. 4. PP. 681-688.
- Littlewood, L. G. 2003. Sequential Conceptual Simplification of the Effective Rainfall Component of a Rainfall Streamflow Model for a Small Kenyan Catchment, United Kingdom; www.iemss.org/iems2003/iemssprogram-phhtml-509k
- 18- Miller. A. Thompson J. C. 1970; Elements of Meteorology.
- Marie, T. A. S. 2015. Calculation of crop water requirements uses CROPWAT. FAO. CROPWAT.8. Training course on Agronomic and engineering aspects of adaptation to climate change in Mediterranean agriculture. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases.html
- Miller, A., and J.C.thompson.1970. Elements of methodology. Qhio. Merrill pub.
- Mohan, S. Simhadrirao B. and Arumugam N. 2001. Comprative study of Effective rainfall estimation methods for lowland rice. Water Resources Management. 10: 35 - 44.
- Oweis, T., H. Zhang and M.pala.2000. Water Use Efficency of rainfed and irrigated bread Wheat in a Mediterranean environment. Agron.J. 92:231-238.
- Rahimi, J. 2012. Comparison of Effective Rainfall Estimation Methods for Rainfed Wheat Crop in Several Climatic Samples of Iran, M.Sc. Dissertation, University College of Agriculture and Natural Recourses University of Tehran, Iran.
- Rahimi, J. and Bazrafshan, J. 2011. Estimation of Effective Rainfall for Rainfed Wheat Crop with the SCS Method in Karaj, First National Conference on Agrometeorology and Agricultural Water Management, 22-23 November, Karaj, Iran.
- 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.
- Ramdas, L. A. 1960. Crops and weather in India. New Delhi, Indian Council of Agricultural Resources Publication.

- Smajstrla, A. G. and F. S. Zazueta. 2001. Estimating Crop Irrigation Requirements for Irrigation System Design and Consumptive Use Permitting. www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ogl/public.
- Snyder, R. L. and Davis U. C. 2001. Drought Tips. www.edis.ifas.ufl.edu/aeo78-19k.
- Stamm, G.G. 1967. Problems and Procedures in Determining Water Supply Requirements for Irrigation Projects, Chap. 40 in Irrigation of Agricultural Lands by Hagan et al. Wisconsin, American Society of Agronomy, Agronomy II.
- Stan hill, G. 1958. An irrigation Gage for commercial use in field and glass house practice. Journal of Agricultural Engineering Resources. 3:292-298.
- Tsao I.S. 1971. Study on the calculation and estimation of effective rain on paddy field by using electronic compute. Taiwan water conservancy.
- USDA. 1967. irrigation water requirements. Tech. Release. No. 21. United States Dept of Agr., Soil manage. 59:67-75.