مطالعات جغرافیایی مناطق خشک
سال سوم، شماره نهم و دهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۱
صص ۱۶۹- ۱۵۳

برآورد مناسب ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک

جواد خوشحال دستجردی *، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان*
علیرضا جوشنی، دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان

چکیده

حوضه‌ی آبریز دریاچه نمک یکی از مناطق گندم خیز کشور است. در این منطقه مقدار نزولات جوی پایین بوده و به شدت متغیر است. لذا برنامه ریزی برای کشت این محصول و برداشت حداکثر آن در واحد سطح نیازمند برآورد درست نیاز آبی گیاه از طریق بارش خواهد بود. بهمن دلیل تحقیق حاضر انجام گرفته است. در این تحقیق برآورد بارش موثر بر اساس ۵ روش USDA, SCS، درصدی، رنفرو، و بارش قابل اطمینان محاسبه شده است.

بر پایه محاسبات حاصل از روش‌های مذکور، نقشه‌های همبارش مؤثر در سه فاصله اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ درصد و هم‌چنین نقشه‌های همبارش مؤثر مربوط به دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله ترسیم گردید. نتایج حاصل از تحلیل روش‌های مورد مطالعه و شیوه‌های محاسبات بارش موثر نشان داد که روش SCS به دلیل این‌که از یک سو تنها به داده‌های تبخیر و تعرق بالقوه، ضریب گیاهی بارش و عمق آبیاری وابسته می‌باشد و از سویی دیگر فاقد محدودیت های مکانی و ... است، مناسب‌ترین روش محاسبه بارش موثر در این حوضه شناخته شد.

واژگان کلیدی

بارش مؤثر، فاصله اطمینان، دوره بازگشت، گندم، حوضه دریاچه نمک، روش SCS.

* نویسنده مسئول: *Email: javadkhoshhal@yahoo.com*

مقدمه:

منابع عظیم آب قابل دسترس برای مصارف کشاورزی و انسانی به واسطه‌ی بارشی که بر سطح زمین فرو می‌ریزد حاصل می‌گردد. به همین دلیل برای استفاده‌ی هر چه بهتر از آب در کشاورزی آبی، شناخت باران مؤثر امری حیاتی است. عبارت باران مؤثر نه تنها به وسیله‌ی متخصصان رشته‌های مختلف، بلکه به‌وسیله افرادی که در یک رشته‌ی واحد تخصص یافته‌اند به‌صورت‌های گوناگون تعبیر و تفسیر گردیده است. مثلاً یک مهندس شهرساز آن قسمت از کل باران را که وارد مخزن می‌شود، قسمت مؤثر باران می داند. در حالی‌که به نظر یک مهندس هیدروالکتریک، بارانی که برای به حرکت در آوردن توربین‌ها جهت تولید برق مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، قسمت مؤثر باران به حساب می آید. متخصصان کشاورزی آن قسمتی از کل باران را که مستقیماً جوابگوی نیازهای آبی گیاهان است و یا به رواناب سطحی تبدیل می شود و می توان برای تولید محصول از برکه یا چاه به مزرعه پمپاژ کرد به عنوان باران مؤثر در نظر می‌گیرند. از نظر یک زارع باران مؤثر آن مقدار از باران است که برای به ثمر رساندن گیاهانی که با مدیریت خود در مزرعه‌اش کاشته است، مفید واقع می‌گردد، بارش موثر است. اما آبی که بر اثر رواناب از مزرعه‌اش خارج و یا بر اثر فرونشت از دسترس گیاهانش دور می‌شود بارش مؤثر نخواهد بود.

به علت وجود تفسیرهای متعددی که برای باران مؤثر در نظر گرفته می‌شود مشکل به نظر می‌رسد که بتوان تعریفی ابداع کرد تا برای تمامی رشته‌های ذی‌ربط مناسب باشد. بارانی که بر اساس بعضی از معیارها غیرمؤثر است بر اساس معیارهای دیگر مؤثر به شمار می‌آید. سرویس حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده (USDA) بیان می‌دارد که 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،ص ۱۰].

حال با توجه به اهمیت و تاثیر مقدار بارش موثر در دوره رشد گیاه و میزان محصول، در این مطالعه درصدد برآمدیم تا میزان بارش موثر در یکی از حوضه های آبریز کشور را که میزان بارش برای آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است به‌دست آوریم.

پیشینه تحقیق:

به‌دلیل اهمیت اطلاعات بارش موثر و کارایی آن در طرح و اجرای پروژه‌های آبیاری، طرح و عملیات سیستم‌های زهکشی، شستشوی نمک‌ها، کشت برنج، برنامه‌ریزی سیستم‌های آبیاری با استفاده از آب زیرزمینی، و برای کشت دیم محققانی پیرامون این موضوع به تحقیق پرداخته‌اند که در این مختصر به ذکر آن‌ها اشاره می شود. هیزو بوئل[1] (۱۹۵۵) بیان می‌دارند که باران مؤثر آن مقدار از بارانی می‌باشد که برای رشد گیاه قابل دسترس است و این مقدار برابر است با مقداری از بارش که از اختلاف کل بارش رسیده به زمین و مجموع رواناب و تبخیر حاصل می‌گردد. امّا این تعریف صددرصد قانع کننده نیست زیرا در این گفته جنبه‌های پیش از بذر پاشی لحاظ نگردیده است و اصطلاح تبخیر در این‌جا یک مفهوم گنگ و گمراه‌کننده خواهد بود [مالک،۱۳۶۲، ص ۵۷].

[1]. Hayes, G.I. Buell, J.H.

خوشلانی[۱] (۱۹۵۶) مقدار باران در طی چرخه‌ی حیاتی گیاه در یک سال کم باران را باران مؤثر محسوب کرد و کونگ[۲](۱۹۷۱) در تایلند ۸۰٪ باران نوامبر و ۹۰٪ باران از دسامبر تا مارس را به عنوان بارش مؤثر در نظر گرفت [۱، ص ۵۱]. داستین[۳] درکتابش که در زبان فارسی عنوان باران مؤثر در زراعت آبی را به خود گرفته دو روش محاسبه بارش موثر برای گیاه برنج را بیان می کند که در یک از آنها درصدی از کل باران که از ۵۰ تا ۸۰ درصد متغیر است به‌عنوان بارش مؤثر فرض می‌شود و در روش دیگر باران کمتر از ۶/۲۵ میلی‌متر یا مازاد بر ۷۶/۲ میلی‌متر در روز را بارش غیرمؤثر در نظر گرفته است.

این در حالی است که ایشان در کشور ژاپن، برای برنج مستغرق، سالی که کمترین مقدار بارندگی سالانه را در طی ۱۰ تا ۱۵ سال گذشته داراست انتخاب می‌کند. بسته به شرایط محلّی، مقدار ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر غیر مؤثر و مابقی تماماً مؤثر در نظر گرفته می‌شود. برای برنج غیر مستغرق نیز از روش قرائت روزانه استفاده کرد وکارایی باران روزانه ۸۰ درصد فرض کرده و بارندگی روزانه کمتر از ۰/۵×ET را مؤثر ندانسته است.

دو محقق دیگر به نام‌های اگروسکی و موکوس[۴] (۱۹۶۴) باران مؤثر را برابر کل بارانی که در طی فصل رشد باریده، منهای آن‌چه که پس از اشباع خاک یا آبیاری و به‌صورت آب مازاد در اثر فرونشت یا به‌صورت رواناب از دسترس خارج می‌شود، می‌دانند. امّا حتی پس از بذرپاشی و برای آماده‌سازی زمین نیز آب موردنیاز است که در این تعریف در نظر گرفته نشده است[۱۹۶۴، صص ۲۷-۱]. بنا به نظر هرشفیلد[۵] (۱۹۶۴) باران مؤثر آن بخشی از کل بارانی است که در طی فصل رشد جوابگوی نیازهای آبی گیاهان می‌باشد. میلر و تامسون[۶] (۱۹۷۰) باران مؤثر را نسبت باران به تبخیر در یک محل معین تعریف کرده‌اند. این تعریف گمراه کننده است زیرا در واقع به تأثیر باران اشاره می‌کند نه به باران مؤثر[مالک،۱۳۶۲، ص ۱۰].

میزوتانی[۷] و همکاران (۱۹۹۱) از یک مدل تعدیل یافته موازنه آب در تخمین بارش مؤثر برای مزارع برنج نواحی پست تایلند استفاده کردند. این مدل شامل یک مؤلفه تأثیر و برخورد بارش بر برگ درختان بود [محمدی،۱۳۸۸،ص ۸۹]. شرکت دارمودار ولی[۸]، در هند برای گیاهان غیر از برنج فصل خریپ (از ژوئن تا نوامبر) را به دوره‌ای ۱۰ روزه تقسیم کرد. در طی این دوره‌ها، باران مازاد بر نیاز آبی گیاه غالب را به عنوان باران غیر مؤثر و مابقی را باران مؤثر در نظر گرفت[مالک،۱۳۶۲، ص ۴۸].

اسنایدر[۹] (۲۰۰۱) بیان می‌دارد که بارش مؤثر طی دوره رشد گیاه رخ می‌دهد. وی معتقد است که مقداری مقداری از بارش که به وسیله گیاهان در منطقه ریشه جذب و مصرف می‌شود قسمت مؤثر بارش است. و بارشی که به‌صورت رواناب سطحی و یا نفوذ در عمق خاک از دسترس گیاه خارج می‌گردد بارش مؤثر به حساب نمی آید. اما نفوذ آب در عمق خاک به دو عامل بافت خاک و مقدار رطوبت خاک قبل و بعد از بارش بستگی دارد. [مجرد،۱۳۸۵،ص۲].

---

1. Khushlani , K.B.
2. Kung , P.
3. Dastane , N.G.
4. Ogrosky , H.O.& Mockus. V.
5. Hershfield ,D.M
6. Miller ,A. & Thompson , J.C.
7. Mizutani , M.
8. Darmodar Valley Corporation.
9. Synder ,R.L.

رحمان، اسلام و حسن نوزمان[۱] (۲۰۰۸) با پنج روش محاسبه بارش مؤثر، معادله رنفرو[۲]، اداره‌ی احیای اراضی ایالات متحده، نسبت تبخیر و تعرق پتانسیل به بارش و روش SCS[۳] و USDA[۴] به بررسی بارش مؤثر برای زراعت آبی در جنوب شرق بنگلادش اقدام نمودند. در این پژوهش آن‌ها با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های کلیماتولوژی به برآورد بارش مؤثر برای دو فصل رویشی بهار و پاییز پرداختند. طی این بررسی مشاهده کردند که درصد بارش مؤثر برای فصل پاییز توسط معادله‌ی رنفرو از ۱۳/۹۴٪ در تکناف تا ۴۷/۲۷٪ در ایستگاه چاندپور[۵] تغییر می‌کند و در استفاده از روش U.S.B.R[۶] (اداره‌ی احیای اراضی ایالات متحده) از $\frac{ETO}{R}$ ۱۸/۷۹٪ در ایستگاه تکناف[۷] تا ۴۹/۳۳٪ در ایستگاه چاندپور[۸] تغییر می‌کند و با بهره‌گیری از نسبت ، این این مقادیر از ۵۲/۹۴٪ در سندویپ تا ۱۰۰٪ در چندین ایستگاه تغییر می‌کند هم‌چنین طبق روش‌های SCS و USDA مقادیر بارش مؤثر در فصل پاییز از ۲۲/۵۸٪ در تکناف تا ۶۴/۱۴٪ در ایستگاه چاندپور تغییر می‌کند. این در حالی بود که درصد بارش مؤثر در فصل بهار از ۶۳/۳۰٪ در چیتاگونگ[۹] تا ۷۶/۷۹٪ در مای‌زدی‌کورت[۱۰] به‌وسیله روش‌های SCS و USDA قابل تشخیص بود و از دیگر یافته‌های این تحقیق این بود که دریافتند هرچه فاصله از دریا بیشتر گردد، مقدار درصد بارش مؤثر نیز بیشتر می‌شود.

شاهزاده عرفان و آزمات حیات خان[۱۱] (۲۰۰۸) در بررسی بارش مؤثر دشت‌های کشاورزی آبی پاکستان با بکارگیری چهار روش معادله رنفرو، نسبت $\frac{PET}{P}$ ، USBR، USDA و SCS دریافتند که معادله رنفرو برای دوره‌های کوتاه مدت مناسب نیست و روش USBR را برای مناطقی که دارای بارش سنگین بودند، پیشنهاد کردند. این در حالی بود که نسبت $\frac{PET}{P}$ را مؤثرترین روش برای طرح‌های (اولیه) ابتدایی نسبت به بقیه‌ی روش‌ها دانستند و روش های USDA و SCS را برای مناطقی که دارای بارش‌هایی با شدت کم بودند (مانند مناطق جنوبی پاکستان)، مناسب تشخیص دادند، علاوه بر این در طی مشاهدات خود پی بردند که با افزایش فاصله‌ی دریا از مقدار بارش مؤثر کاسته می‌شود مگر در مناطق شمالی که این روند معکوس می‌باشد.

عزیزی (۱۳۷۹) با استفاده از روش SCS به بررسی بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم در دشت خرم‌آباد پرداخت و پس از بررسی دریافت که در میان ماه‌های مورد بررسی (اکتبر تا مه)، حداکثر باران مؤثر در ماه مارس دریافت شده که برابر با ۱۱/۴٪ کل باران مؤثر سالانه بوده است.

در ایران موقر و گلمکانی (۱۳۸۱) در مقاله‌ای تحت عنوان محاسبه و پایش باران مؤثر در سیستم‌های آبیاری به محاسبه بارش مؤثربارش‌های سال زارعی ۸۱ ـ ۸۰ به چهار روش، در استان خراسان پرداختند و در نهایت با تجزیه و تحلیل آماری روش مناسبی انتخاب نمودند. آنان در این بررسی دریافتند که اثرات بارش‌های جوی در زمستان بر منابع آبی بیشتر از سایر فصول است و این اثرات در نواحی شمالی استان بیشتر از سایر نواحی مشهود است. به همین دلیل با توجه به اهمیت بارش و بارش موثر در کشاورزی مناطق خشک،

---

۱. Rahman , M.M. Islam , M.O. & Hasanuzzman ,M.
[2] Renfro.
۳. Soil Conversation Service
[4] -United States Department of Agriculture.
۵. Chandpur.
[6] - United States Bureau of Reclamation Method.
[7] - Teknaf..
۸. Chandpur.
۹. Chittagong.
[10] Maizdi Court.
[11] - Shahzada ,A.& Hayatkhan ,A. .

به بررسی این مهم در خصوص کشت گندم در حوزه‌ی آبریز دریاچه نمک پرداخته شد، زیراحوضه‌ی دریاچه نمک از مناطقی است که در آن مقدار بارش کمی رخ می دهد و نسبت تبخیر و تعرق به بارش در آن زیاد می‌باشد، ولی از مناطقی است که در آن کشاورزان به کشت گندم آبی مشغولند. لذا محاسبه باران مؤثر در این گونه مناطق که دارای بارندگی کمی هستند، از اهمیت خاصی برخوردار است. زیرا اگر باران عمدتاً در طول فصل رشد گیاه نازل شود دقیقاً مقدار آب مورد استفاده گیاه مشخص می‌شود و اگر بارندگی‌ها در طول فصل رشد نباشد مقدار آبی که باید برای گیاه ذخیره شود و به فصل رشد انتقال داد معلوم می‌شود [علیزاده،۴، ص ۱۱۹].

موقعیت جغرافیایی حوضه دریاچه نمک

این حوضه بین مختصات جغرافیایی ۴۸ تا ۵۲ درجه طول شرقی و ۳۳ تا ۳۷ درجه عرض شمالی واقع شده است. در تقسیم بندی طرح جاماب کشور تحت عنوان حوضه‌ی هفتم مطرح گردیده است، از شمال به دامنه‌های البرز، از جنوب و غرب به زاگرس و از سمت شرق به کویر کاشان و دریاچه نمک محدود می شود. در شکل (۱) موقعیت حوضه و ایستگاه های منتخب نشان داده شده است. جدول (۱) چگونگی توزیع سالانه و فصلی بارش حوضه‌ی دریاچه نمک و هر یک از ایستگاه منتخب را نشان می دهد، به‌طوری‌که در این جدول مشاهده می شود میانگین سالانه بارش در این حوضه برابر ۲۴۶.۶ است و بیشترین بارش فصلی به فصل زمستان و کمترین آن به فصل تابستان اختصاص دارد.

▼جدول ۱) درصد بارندگی فصلی و سالانه در ایستگاه های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی نمک (۱۳۸۷ - ۱۳۶۶)

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
قم	45.8	25.3	1.2	۲۷۰۷	۱۴۱.۵
اراک	39.0	27.0	1.9	32.1	۲۹۰.۶
قزوین	39.6	26.7	1.7	32.0	۳۰۵.۱
ساوه	39.6	33.0	1.1	26.2	۱۹۷.۴
همدان	40.5	27.3	3.5	28.7	۳۱۴.۲
کاشان	44.4	21.1	1.5	33.0	۱۲۵.۶
کرج	27.0	29.8	1.5	41.7	۲۳۹.۱
خرمدره	39.5	28.5	2.5	29.5	۲۹۱.۳
نوژه	35.8	28.9	3.3	32	۳۱۴.۲
کل حوضه	40.5	27.3	3.5	28.7	۲۴۶.۶

روش شناسی تحقیق

در این پژوهش برای محاسبه‌ی بارش مؤثر، از داده‌های روزانه‌ی ۹ ایستگاه هواشناسی مستقر در حوضه‌ی دریاچه نمک که مقادیر ضریب گیاهی گندم برای آنها مشخص شده بود، در طی ۲۲ سال(۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶) استفاده شده است. داده های مورد استفاده در این مطالعه عبارت بودند از میانگین ماهانه پارامترهای دمای

حداقل و حداکثر ، رطوبت نسبی ، سرعت باد ، ساعات آفتابی و میزان تابش خورشیدی. داده‌ها پس از اخـذ از سازمان هواشناسی کشور به روش‌های مختلف آماری رفع نقص شدند و مورد آزمون همگنی قرار گرفتند.

در این حوضه دوره‌ی رشد گندم برای ایستگاه‌های قم، اراک، ساوه، قزوین، کرج، کاشان ۲۴۰ روزه (۱ آبـان تا ۳۱ خرداد) و برای ایستگاه‌های همدان و نوژه، ۲۸۰ روزه (۱۱ مهر تا ۲۰ تیر) و برای ایسـتگاه خرمـدره ۲۹۰ روزه (۲۱ مهر تا ۱۰ مرداد) تعیین شده است.

برای برآورد بارش مؤثر از ۵ روش استفاده شد کـه ایـن روش هـا عبارتنـد از روش رنفـرو، روش درصـدی، روش SCS (سرویس حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا)، روش USDA (سـازمان کشـاورزی ایـالات متحـده آمریکا)، روش بارش قابل اطمینان. با توجه به روابطی که در جدول(۲) آمده است برای محاسبه‌ی بـارش مـوثر مورد نیاز گیاه در دوره رشد و یا آب مصرفی گیاه، ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق هم نیاز است. تبخیر و تعـرق به شیوه فائو ـ پنمن ـ مانتیث[۱] توسط برنامـه‌ی کـراپ وات (Cropwat) محاسـبه شـد و بـرای ضـرایب F و E جداول (۴ و ۳) مورد استفاده قرار گرفت[مالک، ۱۳۶۲،صص ۴۳ و ۴۹].

▼جدول ۲) روش‌های به کار گرفته شده جهت محاسبه بارش موثر در منطقه مطالعاتی حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک

ردیف	روش	رابطه
۱	معادله رنفرو [۱، ص ۴۲]	$ER=ERG+A$ ER= بارش مؤثر، E= تابعی از نسبت آب مصرفی گیاهان (ET_C) به باران در طی فصل رشد RG= باران دوره رشد A= متوسط عمق آبیاری
۲	روش SCS [۲، ص ۱۱۷]	$ER=F(1.253*R0.824-2.935)*10(0/001*ET_C)$ ET_C= نیاز آب مصرفی گیاه (mm) R= بارش هر ماه (mm)
۳	USDA [۵، ص ۲۱]	$ER= R(125-0.2R)/125$ (R<250 mm) $ER= 125+0.1*R$ (R>250 mm) ER= بارش مؤثر هر ماه (mm) R= بارش هر ماه (mm)
۴	روش درصدی [۴، ص ۸۳]	$ER= \%80 * R$
۵	روش بارش قابل اطمینان [۸، ص ۱۶۵]	$ER= 0.6*R-10$ (R<70 mm) $ER= 0.8*R-24$ (R>70 mm) ER= بارش مؤثر هر ماه (mm) R= بارش هر ماه (mm)

۱. FAO - Penman - Monteith

▼جدول ۳) مقادیر عمق آبیاری برحسب میلی‌متر و ضریب وابسته به عمق آبیاری

عمق آبیاری (D)	۱۰.۰	۱۲.۵	۱۵.۰	۱۷.۵	۱۸.۷	۲۰.۰	۲۲.۵	۲۵.۰	۲۷.۵	۳۰.۰	۳۱.۲	۳۲.۵	۳۵.۰	۳۷.۵	۴۰.۰
ضریب وابسته به عمق آبیاری (F)	۰.۶	۰.۷	۰.۷	۰.۷	۰.۷	۰.۷	۰.۷	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۹	۰.۹
عمق آبیاری (D)	۴۵.۰	۵۰.۰	۵۵.۰	۶۰.۰	۶۵.۰	۷۰.۰	۷۵.۰	۸۰.۰	۸۵.۰	۹۰.۰	۹۵.۰	۱۰۰.۰	۱۲۵.۰	۱۵۰.۰	۱۷۵.۰
ضریب وابسته به عمق آبیاری (F)	۰.۹	۰.۹	۰.۹	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۱	۱.۱

▼

جدول۴) نسبت E برای برآورد بارش موثر در معادله رنفرو

E	0	0.1	0.19	0.27	0.35	0.41	0.47	0.52	0.57	0.62	0.65	0.69
CU/RG	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2
E	0.72	0.75	0.77	0.8	0.84	0.88	0.91	0.93	0.96	0.98	0.99	***
CU/RG	2.4	2.6	2.8	3	3.5	4	4.5	5	6	7	9	***

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

یافته های تحقیق

بررسی روش های محاسبه بارش مؤثردر حوضه

در ابتدا به بررسی معادله‌ی تجربی رنفرو می‌پردازیم. در این معادله مقدار E میزان بارانی را می‌رساند که احتمالاً برای رفع نیازهای گیاه در رابطه با مصرف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چه مقدار E بیشتر باشد مقدار باران مؤثر نیز بیشتر خواهد بود. همان‌طور که از مشاهده‌ی جدول (۵) مشخص می‌شود می‌توان دریافت که مقادیر بارش مؤثر محاسبه شده بر اساس فرمول رنفرو، بیشتر از مقادیر بارش است که این امر خود دلیل محکمی بر رد ناتوانی این فرمول در برآورد بارش مؤثر است. زیرا بر خلاف قانون بقای ماده نتیجه می‌دهد، پس نمی‌توان از این فرمول در این حوضه بهره جست.

▼جدول ۵) مقادیر محاسبه شده بارش مؤثر دوره رشد توسط روش رنفرو در ایستگاه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک (۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶)

ایستگاه	نیاز آب مصرفی ETp	بارش دوره رشد	CU/RG	E	متوسط عمق آبیاری (mm)	بارش موثر (رنفرو)
قم	762.7	141.5	5.4	0.93	75	206.6
اراک	593.1	290.7	2	0.65	75	264
همدان	745.1	314.1	2.4	0.72	75	301.2
کرج	706.9	238.7	3	0.8	75	266
ساوه	931.5	197.6	4.7	0.93	75	258.8
کاشان	806.5	126.4	6.5	0.97	75	197.6
خرمدره	558.7	126	4.4	0.9	75	189.7
قزوین	668.9	291.4	2.3	0.71	75	281.9
نوژه	623	305.1	2	0.65	75	273.3

▼جدول ۶)مقادیربارش و برآورد بارش موثرطی دوره رشد گندم پاییزه به روش‌های مختلف در ایستگاه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک (۱۳۸۷ – ۱۳۶۶)

ایستگاه	مقدار بارش و برآورد بارش موثر با روش ...	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
قم	SCS	——	——	3.0	14.3	17.3	16.2	13.5	12.4	11.8	7.7	——
	USDA	——	——	3.7	14.5	20.0	22.3	21.5	20.1	19.0	12.5	——
	80%	——	——	3.0	12.2	17.2	19.1	18.1	17.0	16.2	10.4	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	0.0	2.8	6.2	7.3	5.8	4.9	5.2	2.2	——
اراک	SCS	——	——	5.8	34.3	36.2	29.9	21.8	20.5	24.2	18.3	——
	USDA	——	——	7.3	36.5	43.1	42.1	34.0	32.6	37.7	28.3	——
	80%	——	——	6.4	33.2	38.9	37.7	29.4	28.4	34.0	24.6	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	2.0	16.5	19.6	19.2	12.4	12.4	16.7	10.4	——
قزوین	SCS	——	——	9.3	32.0	39.7	30.0	24.0	24.3	23.8	20.3	——
	USDA	——	——	11.1	35.4	45.6	40.0	36.6	37.6	37.2	31.4	——
	%80	——	——	9.4	31.2	41.3	36.2	31.8	33.1	33.1	28.0	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	2.3	14.5	21.2	18.5	14.3	15.2	16.4	13.1	——
ساوه	SCS	——	——	3.1	21.2	26.0	19.6	19.4	15.9	22.8	13.0	——
	USDA	——	——	4.4	19.9	26.7	25.1	26.5	24.7	35.0	20.2	——
	%80	——	——	3.7	16.8	23.0	22.1	22.7	21.4	30.9	17.3	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	0.8	5.0	9.5	9.6	9.1	8.6	14.2	6.9	——
همدان	SCS	——	1.7	7.9	28.7	37.0	29.8	25.3	23.7	23.9	22.4	4.6
	USDA	——	2.9	8.5	31.5	44.1	43.1	39.0	36.6	36.8	34.1	7.6
	%80	——	2.3	7.2	27.6	39.5	38.6	34.0	32.0	32.9	30.9	6.4

ایستگاه	مقدار بارش و برآورد بارش موثر با روش ...	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
	بارش قابل اطمینان	——	0.0	1.5	12.2	19.7	19.6	16.0	14.2	16.0	15.3	1.4
کاشان	SCS	——	——	2.1	15.3	15.7	13.3	11.8	10.1	9.1	5.3	——
	USDA	——	——	3.0	17.5	19.5	19.3	18.8	16.3	14.9	9.1	——
	%80	——	——	2.5	14.9	17.1	16.7	15.7	13.6	12.5	7.5	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	0.2	4.5	6.3	5.8	4.0	3.3	2.7	0.9	——
کرج	SCS	——	——	5.2	25.7	30.6	26.4	20.9	16.1	22.7	15.0	——
	USDA	——	——	6.9	27.0	34.2	35.2	31.9	25.2	35.0	23.6	——
	%80	——	——	5.6	23.5	30.5	31.4	27.6	21.4	30.8	20.4	——
	بارش قابل اطمینان	——	——	0.1	9.7	14.6	14.5	11.6	7.4	14.4	8.0	——
خرمدره	SCS	0.6	3.1	10.9	29.7	29.2	24.6	20.0	19.2	21.8	21.9	3.3
	USDA	1.3	4.3	12.2	34.8	40.4	37.8	31.2	30.2	34.3	34.2	6.0
	%80	1.1	3.5	10.4	30.4	36.0	33.4	26.8	25.8	30.5	30.2	5.0
	بارش قابل اطمینان	0.0	0.5	3.1	13.8	17.6	15.7	10.8	9.7	14.7	14.0	0.4
نوژه	SCS	——	1.4	7.5	28.0	36.7	29.8	25.4	23.5	24.2	22.7	4.4
	USDA	——	2.9	8.5	31.5	44.1	43.1	39.0	36.6	36.8	34.0	7.6
	%80	——	2.3	7.2	27.6	39.5	38.6	34.0	32.0	32.9	30.9	6.4
	بارش قابل اطمینان	——	0.0	1.5	12.6	20.8	20.6	16.2	14.7	16.7	16.6	1.4

با ملاحظه‌ی جدول (۶) مشخص می‌گردد که بیشترین مقادیر محاسبه شده بارش مؤثر متعلق به روش USDA و کمترین آن مربوط به روش بارش قابل اطمینان است. به نحوی که نتایج حاصل از روش درصدی بعد از روشSCS در مراتب بعدی قرار می‌گیرند. امّا از آنجایی که در این حوضه مقدار تبخیر و تعرق بیشتر از مقدار بارش است، پس نمی‌توان بر روی ارقام حاصل از روش USDA برنامه‌ریزی و مدیریت انجام داد.

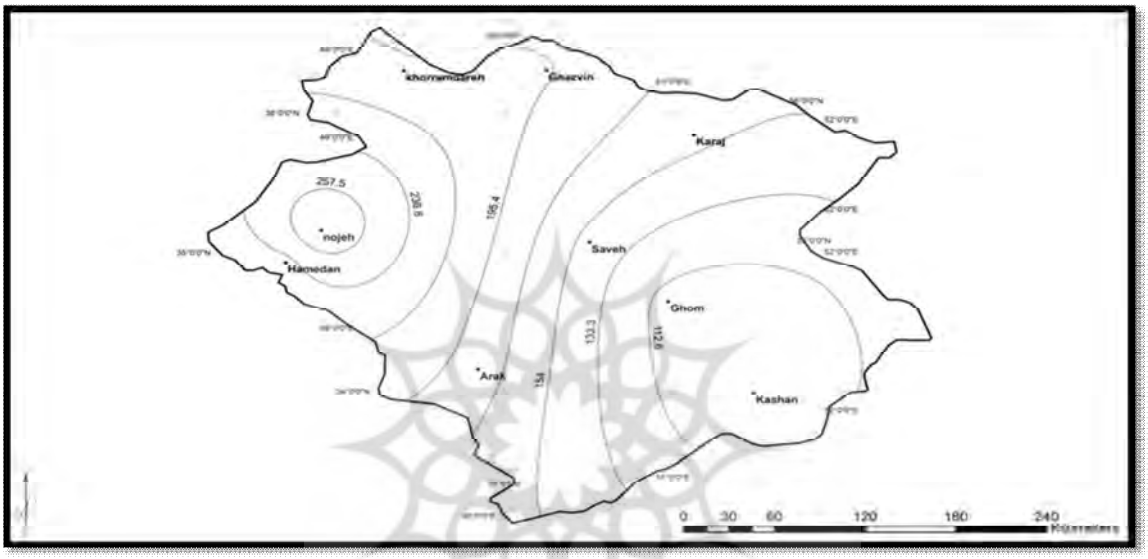
از طرفی طبق فرمول روش بارش قابل اطمینان بطور کلی هر مقدار از بارش که کمتر از ۱۶/۸ میلی‌متر باشد، باران مؤثر آن صفر است. لذا با توجه به ارزش بارش‌های جوی و تأثیرگذاری آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک این حوضه، نمی‌توان از بارش به مقدار ۱۶/۷ میلی‌متر چشم‌پوشی کرد. بنابراین استفاده از این روش در مناطق خشک جهت محاسبه بارش مناسب نمی‌باشد که در این خصوص موقر و گلمکانی نیز به این نتیجه اشاره داشته‌اند.

از آن‌جایی که مقادیر حاصل از روش SCS کم‌تر از مقادیر حاصل از روش درصدی است و از طرفی نیز در محاسبه‌ی آن مقادیر بارش ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همین‌طور عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری دخیل می‌باشد و از سوی دیگر چون بارش مؤثر بخشی از نیاز آبی گیاه می‌باشد لذا شایسته است که در مقایسه با روش درصدی، مقدار کم‌تر را اساس کار قرار دهیم تا این‌که برنامه‌ریزی‌ها روی باقیمانده نیاز آبی گیاه، بر

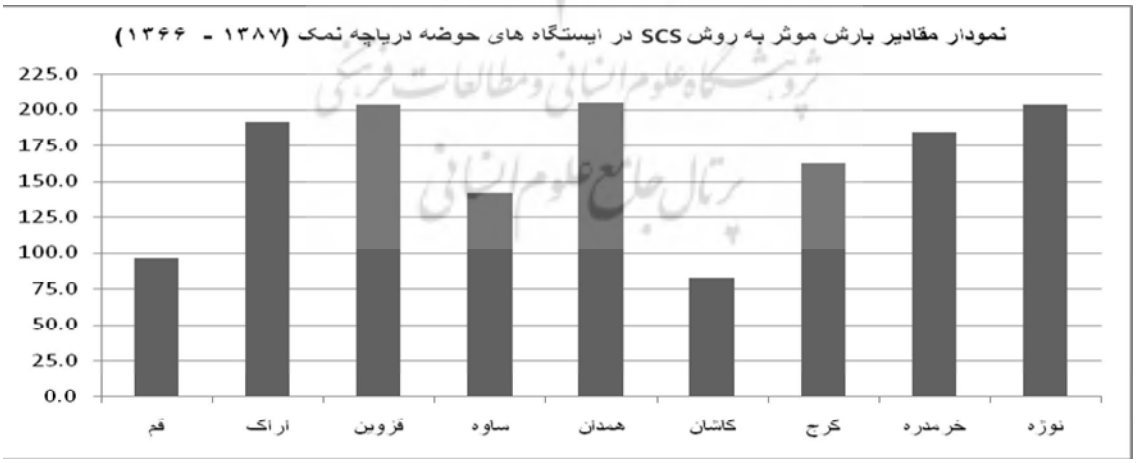
مبنای مقادیری که به واقعیت نزدیک‌تر است، صورت گیرد. لذا پس از بررسی و مقایسه مقـادیر حاصـل از هـر یک از این روش‌ها، روش SCS گزینه‌ی مناسب برای برآورد بارش مؤثر در این حوضه تشخیص داده شد.

سپس با استفاده از روش SCS به بررسی تغییرات ماهانه باران مؤثر در اعماق مختلف آبیاری پرداخته شـد. که مقادیر حاکی از تطابق روند کلی تغییرات بارش مؤثر در اعمال مختلف با تغییـرات ماهانـه بـارش مـؤثر در عمق ۷۵ میلی‌متری بودند. به همین دلیل در محاسبه به روش SCS مقدار F برای عمق ۷۵ میلـی‌متـری کـه مقداری برابر با یک دارد در محاسبات دخالت داده شد.

پس از انتخاب روش مناسب، نسبت به رسم نمـودار و نقشـه‌ی هـم بـارش مـؤثر دوره رشـد گنـدم پـاییزه ایستگاه های منتخب اقدام گردید (شکل۲و۱).



▲ شکل ۱) موقعیت جغرافیایی و نقشه همبارش مؤثر سالانه حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک (۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶)



▲ شکل۲) نمودار بارش موثر سالانه ایستگاه‌های حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک بر اساس روش SCS (۱۳۸۷ – ۱۳۶۶)

شکل (۱) نشان می‌دهد هر چه از سمت شرق حوضه به سمت غرب حوضه نزدیک‌تر می‌شویم، بـر مقـدار بارش مؤثر حوضه افزوده می‌گردد که این با روند افزایش بارش از سمت شرق به غرب حوضـه تطـابق نشـان می‌دهد. این موضوع این مطلب را به ارمغان می‌آورد که همزمان با روند افزایش بارش، با رونـد کاهشـی نیـاز

آب گیاهی روبرو می‌شویم و از طرفی نیز دو هسته‌ی بارش مؤثر در قسمت شرق و غرب حوضه رویت می‌گردد. هسته کم بارش مؤثر نشان دهنده کم‌ترین مقدار بارش مؤثر (۸۲/۷ میلی‌متر) برای حوالی کاشان و یک هسته پر پارش مؤثر نشان دهنده بیشترین مقدار بارش مؤثر در نوژه (۲۸۴/۱ میلی‌متر) می‌باشد.

پس از اینکه رسم نقشه همبارش مؤثر منطقه موردنظر صورت گرفت. این سؤال پیش آمد که با چه اطمینانی می‌توان نسبت به مقدار بارش مؤثر صحبت به میان آورد. به همین دلیل با استفاده از نرم‌افزار SPSS و انجام آزمون توزیع t استیودنت مقادیر بارش مؤثر در ۳ فاصله اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد محاسبه گردید. جدول (۷) مقادیر بدست آمده را نشان می دهد.

▼جدول ۷)مقادیر بارش موثر دوره رشد گندم پاییزه به روش SCS در فواصل اطمینان مختلف برای ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی نمک بر حسب میلیمتر(۱۳۸۷- ۱۳۶۶)

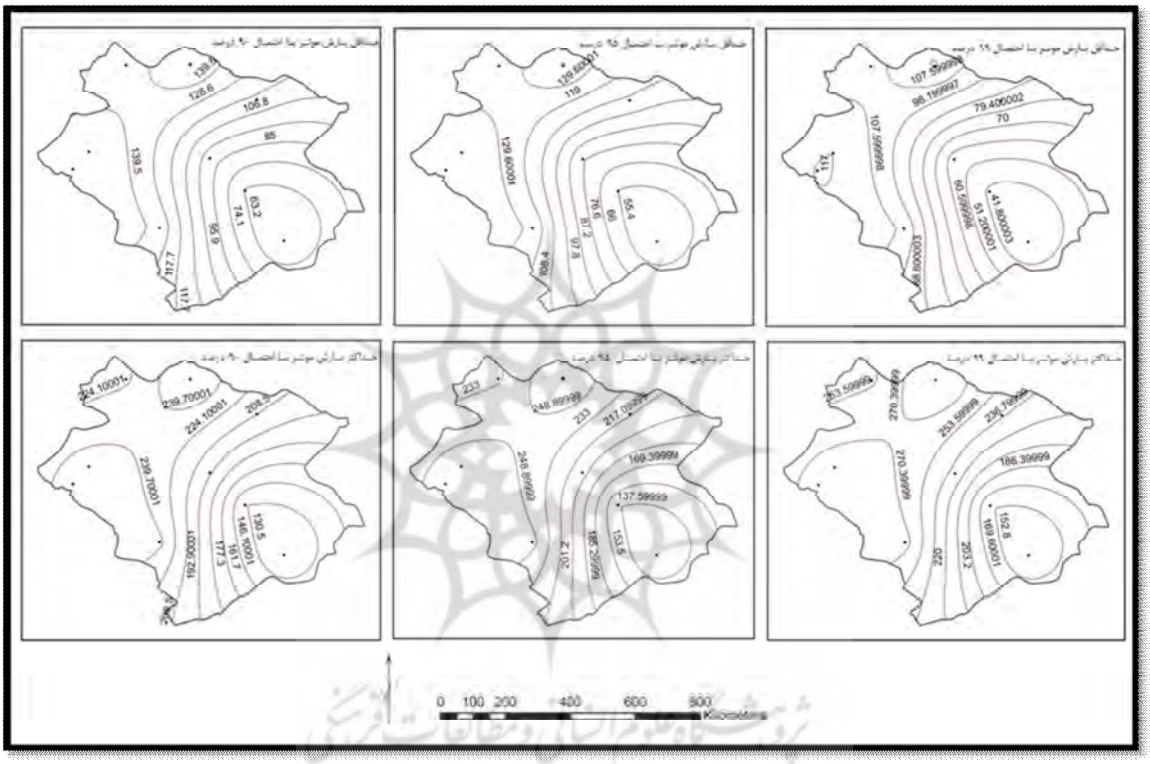
ایستگاه	بارش موثر ماه ...	90%فاصله اطمینان		95%فاصله اطمینان		99%فاصله اطمینان	
		پایین تر	بالاتر	پایین تر	بالاتر	پایین تر	بالاتر
اراک	آبان	13.0	23.6	11.8	24.7	9.5	27.0
	آذر	17.3	31.1	15.8	32.5	12.8	35.6
	دی	15.6	25.4	14.6	26.4	12.5	28.6
	بهمن	17.9	25.6	17.1	26.4	15.4	28.1
	اسفند	23.0	36.8	21.5	38.2	18.5	41.2
	فروردین	27.6	44.9	25.8	46.7	22.0	50.4
	اردیبهشت	23.3	45.3	21.1	47.6	16.3	52.4
	خرداد	0.4	11.2	0.0	12.4	0.0	14.7
قزوین	آبان	13.7	26.8	12.3	28.2	9.4	31.1
	آذر	17.5	30.1	16.2	31.4	13.4	34.2
	دی	19.2	29.4	18.2	30.4	16.0	32.6
	بهمن	19.7	28.2	18.8	29.1	17.0	31.0
	اسفند	21.6	38.4	19.9	40.1	16.2	43.8
	فروردین	31.0	48.4	29.2	50.3	25.3	54.1
	اردیبهشت	24.0	40.1	22.3	41.8	18.7	45.3
	خرداد	4.8	13.8	3.9	14.7	1.9	16.6
همدان	آبان	14.7	30.1	13.1	31.7	9.8	35.0
	آذر	17.5	30.3	16.2	31.6	13.4	34.4
	دی	19.0	28.3	18.0	29.3	16.0	31.4
	بهمن	21.2	29.3	20.4	30.2	18.6	32.0
	اسفند	23.2	36.4	21.8	37.7	19.0	40.6
	فروردین	29.6	44.3	28.1	45.9	24.8	49.1
	اردیبهشت	20.8	36.6	19.1	38.3	15.7	41.8
	خرداد	3.2	12.5	2.3	13.5	0.2	15.5
	تیر	0.4	3.0	0.1	3.2	0.0	3.8
	مهر	1.7	7.5	1.1	8.1	0.0	9.3
کرج	آبان	9.8	20.1	8.7	21.2	6.5	23.4

	آذر	17.0	28.3	15.8	29.5	13.3	32.0
	دی	12.5	19.6	11.7	20.4	10.2	21.9
	بهمن	16.3	25.5	15.4	26.5	13.4	28.5
	اسفند	18.9	33.9	17.3	35.4	14.0	38.7
	فروردین	21.2	40.0	19.2	42.0	15.1	46.1
	اردیبهشت	17.5	33.9	15.8	35.6	12.2	39.2
	خرداد	3.0	7.5	2.5	8.0	1.5	9.0

ایستگاه	بارش موثر ماه ...	90 %فاصله اطمینان		95%فاصله اطمینان		99%فاصله اطمینان	
		پایین تر	بالاتر	پایین تر	بالاتر	پایین تر	بالاتر
کاشان	آبان	3.0	7.6	2.6	8.0	1.6	9.0
	آذر	6.0	12.2	5.3	12.8	4.0	14.2
	دی	7.3	12.9	6.7	13.4	5.5	14.7
	بهمن	8.9	14.8	8.3	15.4	7.0	16.7
	اسفند	7.8	18.7	6.7	19.9	4.3	22.3
	فروردین	8.5	22.9	6.9	24.4	3.8	27.6
	اردیبهشت	9.3	21.3	8.0	22.6	5.4	25.2
	خرداد	0.3	3.9	0.0	4.3	0.0	5.1
قم	آبان	4.4	11.0	3.8	11.6	2.3	13.1
	آذر	7.6	16.1	6.7	16.9	4.8	18.8
	دی	9.1	16.1	8.3	16.8	6.8	18.4
	بهمن	10.0	17.0	9.3	17.7	7.8	19.2
	اسفند	10.8	21.5	9.7	22.6	7.4	24.9
	فروردین	10.6	24.1	9.2	25.5	6.2	28.4
	اردیبهشت	8.5	20.2	7.2	21.4	4.7	24.0
	خرداد	1.3	4.7	0.9	5.0	0.2	5.8
خرمدره	آبان	15.9	27.9	14.7	29.1	12.1	31.8
	آذر	15.4	28.2	14.1	29.5	11.3	32.3
	دی	15.8	22.6	15.1	23.3	13.6	24.8
	بهمن	16.2	23.7	15.4	24.5	13.8	26.2
	اسفند	19.1	30.2	18.0	31.3	15.5	33.7
	فروردین	22.6	35.9	21.2	37.3	18.3	40.2
	اردیبهشت	22.8	36.6	21.4	38.0	18.4	41.0
	خرداد	5.3	16.5	4.1	17.7	1.6	20.1
	تیر	0.6	5.5	0.1	6.0	0.0	7.1
	مرداد	0.0	1.5	0.0	1.6	0.0	2.0
	مهر	1.6	5.1	1.2	5.4	0.5	6.2
نوژه	آبان	14.9	30.4	13.3	32.0	9.9	35.4
	آذر	17.7	30.6	16.4	32.0	13.6	34.8
	دی	18.8	28.1	17.9	29.1	15.8	31.1

	بهمن	21.3	29.5	20.5	30.3	18.7	32.1
	اسفند	23.2	36.4	21.9	37.8	19.0	40.7
	فروردین	29.4	44.0	27.9	45.5	24.7	48.7
	اردیبهشت	20.3	35.7	18.7	37.3	15.3	40.7
	خرداد	3.1	11.9	2.2	12.9	0.2	14.8
	تیر	0.3	2.5	0.1	2.7	0.0	3.2
	مهر	1.6	7.1	1.0	7.7	0.0	8.9

با آگاهی از مقادیر حداکثر و حداقل بارش مؤثر با فواصل اطمینان مشخص، برنامه‌ریزان کشاورزی خواهند توانست تا تخمینی از حداقل و حداکثر محصول در شرایط بارش مختلف به‌دست آورند. نتیجه حاصل از این



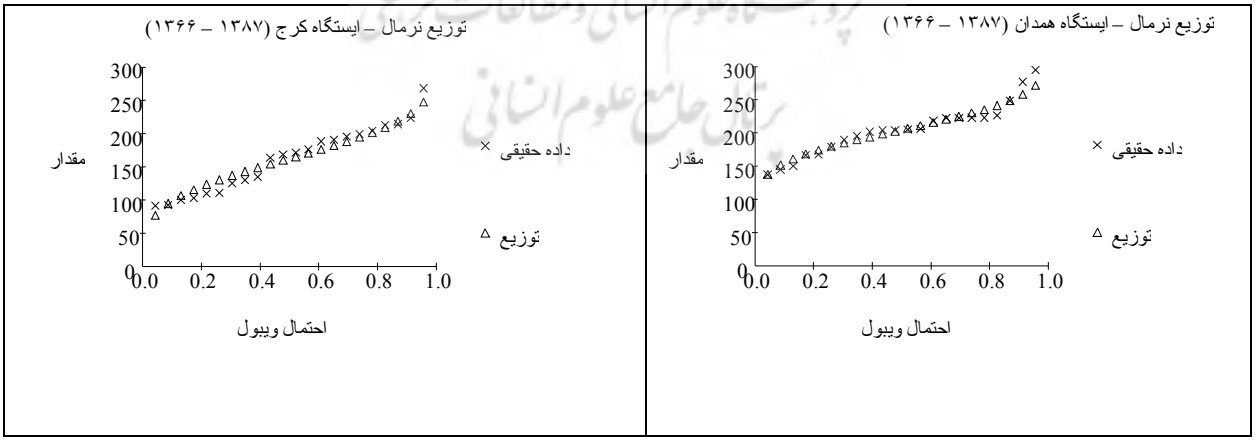
▲ شکل ۳) نقشه‌های همبارش مؤثر برای گندم پاییزه در فواصل اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ درصد در حوزه دریاچه نمک (۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶)

محاسبات در محیط آرک مپ Arc Map به صورت نقشه تهیه گردید (شکل۳). نقشه‌های ترسیمی گویای این موضوع هستند که در سه سطح اطمینان به کار گرفته شده، قسمت غرب حوضه از مقادیر بارش مؤثر بیشتری نسبت به قسمت شرق حوضه برخوردار است. سپس در ادامه کار، باران مؤثر هر ماه در طی ۲۲ سال، جهت برآورد احتمال وقوع و دوره برگشت‌های مشخص ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با توزیع‌های مختلف آماری در نرم‌افزار اسمادا (Smada) برازش داده شد. سپس جهت انتخاب توزیع مناسب‌تر، آزمون نکوئی برازش بر روی داده‌ها صورت پذیرفت. همان‌طورکه جدول (۸) نشان می‌دهد در مقابل هر ایستگاه نام توزیع مناسب تر درج گردیده است.

▼جدول ۸)مقادیر بارش موثر برآورد شده در دوره های بازگشت واحتمال مختلف براساس توزیع منطبق‌تر با توابع چگالی احتمالات در ایستگاه های حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک (mm)

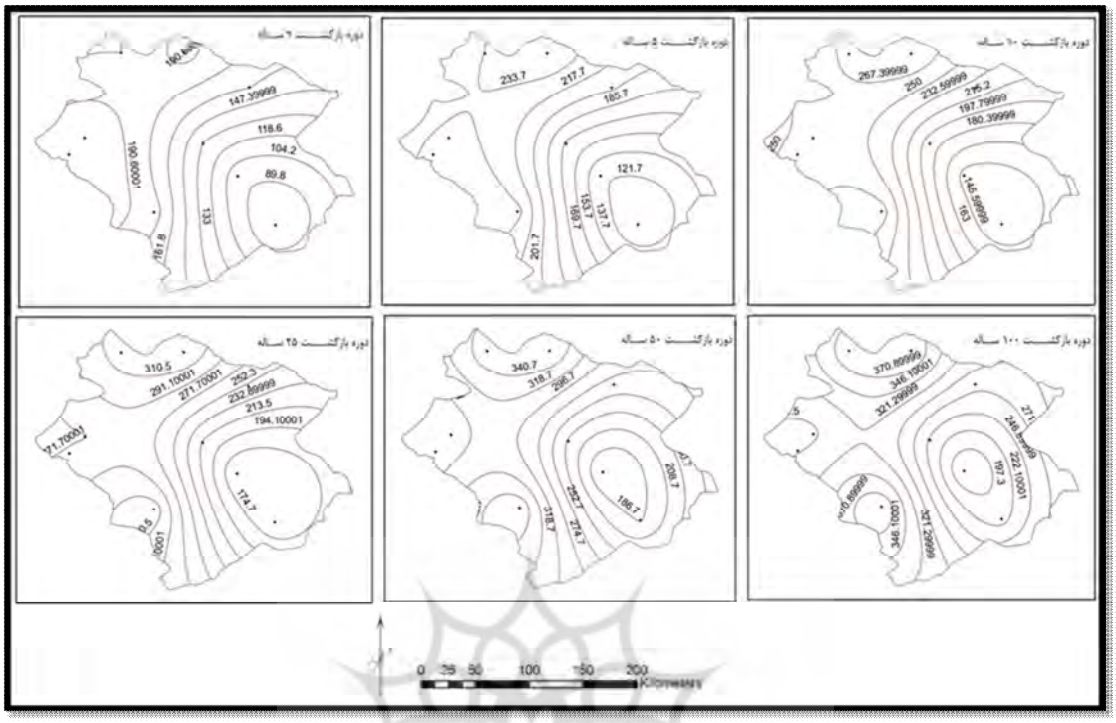
	احتمال وقوع بیش از ... (درصد)	5	33.3	20	10	4	2	1	0.05	انطباق بهتر با تابع چگالی احتمال
	دوره بازگشت (سال)	2	3	5	10	25	50	100	200	
ایستگاه	اراک	183.0	209.5	238.9	275.9	322.6	357.3	391.7	426.0	گامبل
	قزوین	195.8	221.2	249.3	284.7	329.5	362.7	395.7	428.5	گامبل
	قم	95.3	110.5	124.9	140.1	155.3	164.5	172.1	178.6	لوگ پیرسون ۳
	همدان	204.8	221.6	237.7	254.8	273.2	285.0	295.6	305.4	نرمال
	کرج	162.5	184.0	204.4	226.3	249.6	264.7	278.2	290.6	نرمال
	کاشان	75.3	89.1	105.6	128.1	159.5	185.1	212.6	242.3	لوگ پیرسون ۳
	نوژه	176.2	203.6	233.9	272.1	320.4	356.2	391.8	427.2	نرمال
	ساوه	203.5	220.1	236.0	253.0	271.1	282.8	293.4	303.0	پیرسون تیپ ۳
	خرمدره	132.4	149.6	167.3	187.8	211.4	227.7	243.1	257.8	گامبل

در ادامه، بارش موثر هر ایستگاه با توزیع آماری مناسب برازش یافت که به‌عنوان نمونه دو ایستگاه همدان وکرج نشان داده شده است. (شکل۴)



▲ شکل ۴)برازش داده‌های مقادیر بارش مؤثر ماهانه دو ایستگاه حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک با توابع توزیع احتمالات مختلف (۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶)

سپس با توجه به مقادیر مربوط بـه بـارش مـؤثر در دوره‌هـای بازگشـت، نقشـه هـا در محـیط آرک مـپ (ArcMap) رسم گردید(شکل ۵).



▲ شکل ۵) نقشه‌های همبارش گندم پاییزه در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ساله در حوضه‌ی دریاچه-ی نمک (۱۳۸۷ ـ ۱۳۶۶)

نقشه‌های حاصل نیز بیانگر این مطلبند که مقادیر بارش مؤثر در بخش‌های غربی حوضه، بیشـتر از مقـادیر این پارامتر نسبت به شرق حوضه هستند.

نتیجه‌گیری

برای استفاده هر چه بهتر از آب در کشاورزی آبی، شناخت باران مؤثر امری حیـاتی اسـت. زیـرا بـا کـاربرد اطلاعات مربوط به باران مؤثر می‌توان به طرح‌ها و اجرای پـروژه‌هـای آبیـاری، طـرح و عملیـات سیسـتم‌هـای زهکشی، شستشوی نمک‌ها، کشت برنج و گنـدم، برنامـه‌ریـزی سیسـتم‌هـای آبیـاری بـا اسـتفاده از آب‌هـای زیرزمینی و کشت دیم یاری رساند. لذا به بررسی مقادیر بارش مؤثر در حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک که کشـاورزان آن به کشت گندم مشغولند توسط پنج روش، معادله رنفرو، روش SCS، روش USDA، روش درصـدی و روش بارش قابل اطمینان پرداخته شد. بر اساس فرمول رنفرو، مقدار بارش موثر بیشتر از مقادیر بارش است که ایـن امر خود دلیل محکمی بر رد ناتوانی این فرمول در برآورد بارش مؤثر است و بیشـترین مقـادیر محاسـبه شـده بارش مؤثر متعلق به روش USDA و کم‌ترین آن مربوط به روش بارش قابـل اطمینـان اسـت و از آنجـایی کـه مقادیر حاصل از روش SCS کم‌تر از مقادیر حاصل از روش درصدی است و از طرفی نیز در محاسبه آن مقادیر بارش ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همین‌طور عمق ذخیره‌ی آب یـا عمـق آبیـاری دخیـل مـی‌باشـد نتـایج

حاصل از این روش مناسب‌تر بودن آن را مشخص نمود لذا بر مبنای آن، مقادیر حداقل و حداکثر بارش مؤثر در فواصل اطمینان مختلف و دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه و جدول‌های حاصله و نقشه‌های ترسیمی نیز ارائه گردید.

نقشه‌های برآورد بارش مؤثرحداقل و حداکثر نشان داد که مقادیر بارش مؤثر در بخش شرقی کمتر از بخش غربی حوضه می‌باشد، به عبارتی هر چه از سمت شرق به سمت غرب حرکت کنیم بر مقدار بارش افزوده می‌گردد. از طرفی نیز نقشه‌های دوره‌ی بازگشت بارش مؤثر نشان می‌دهد که مقادیر بارش موثر برای گیاه گندم در قسمت غربی حوضه بیشتر از قسمت شرق است. این موضوع با توپوگرافی منطقه و نقشه‌ی همبارش منطقه همخوانی خوبی را نشان می دهد و از طرفی بیانگر این مطلب است که در سمت شرق حوضه، گیاه گندم نیاز آبی بیشتری نسبت به غرب حوضه داراست، زیرا مقدار بارش موثر در این قسمت حوضه کمتر از قسمت غربی حوضه است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فهرست منابع

۱) داستین، ان. جی، (۱۳۶۲)، **باران مؤثر در زراعت آبی**، ترجمه‌ی اسماعیل مالک، مشهد، مرکز نشر دانشگاهی.

۲) عزیزی، قاسم، (۱۳۷۹)، **برآورد بارش مؤثر در رابطه با کشت گندم دیم (مورد دشت خرم آباد)**، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹، صص۱۲۳ ـ ۱۱۵.

۳) علیزاده، امین، (۱۳۶۸)، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ یازدهم، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی .

۴) علیزاده، امین و غلامعلی کمالی، (۱۳۸۶)، **نیاز آبی گیاهان در ایران**، مشهد، دانشگاه امام رضا(ع).

۵) فرشی، علی‌اصغر، محمدرضا شریعتی و رقیه جارالله‌ی ، (۱۳۷۴)، **برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور**، تهران، انتشارات سازمان کشاورزی.

۶) کوچکی، عوض و مهدی نصیری محلاتی، (۱۳۷۵)، **اکولوژی گیاهان زراعی**، مشهد، جهاد دانشگاهی

۷) کوچکی، عوض و مهدی نصیری محلاتی، (۱۳۷۶)، **رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی**، مشهد، جهاد دانشگاهی

۸) محمدی، حسین، (۱۳۸۸)، **آب و هواشناسی کشاورزی**، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

۹) مجرد، فیروز و شیدا نصیری ، (۱۳۸۵) ، **برآورد دوره‌های بازگشت و فواصل اطمینان بارش مؤثر برای کشت برنج در جلگه مازندران**، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۲،صص۱۸۱ ـ ۱۵۹.

۱۰) مجرد، فیروز و شیدا نصیری، (۱۳۸۳)، **برآورد بارش موثر و نیاز آبی برای کشت برنج در جلگه مازندران**،پژوهش ها ی جغرافیایی،۵۴، صص ۷۶ ـ ۵۹.

۱۱) موقر مقدم، حسین و تکتم گلمکانی، (۱۳۸۱)، **محاسبه و پایش باران مؤثر در سیستم‌های آبیاری**، موسسه علمی پژوهشکده اقلیم‌شناسی، ۴، صص۲۱ ـ ۱۳.

۱۲) مهدوی، مهدی، (۱۳۷۱)، **هیدرولوژی کاربردی**، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

*13) Hershfield, D.M.,(1964),**Effective rainfall and irrigation water requirements**, J. Irrigation. and Dr. Div. Asce 90: Ir 2:3920: 33-47.*

*14) Ogrosky H. O., Mackus V.,(1964), **Hydrology of agricultural lands**, Sec. 21 In Handbook Hydrology by V. T. Chow, McGraw Hill, New york.*

*15) Rahman, M.M., M.O. Islam and M. Hasanuzzman., (2008), **Study of effective Rainfall for irrigated Agriculture in South – Eastern Part of bangladesh**, World journal of Agricultural Science 4 (4): 453 – 457.*

*16) SCS,(1972),U.S. Soil Con. Service, **National Engineering handbook, Hydrology**. Section 4.*

*17) Shahzada,A.,A.Hayatkhan.,(2008).**Effective Rainfall for Irrigated Agriculture Plains of Pakistan**, Pakistan Journal of Meteorology. Vol 6. Issue 11: 61 – 72.*

*18) Snyder, R.L, Davis U.C.,(2001), **Drought Tips**, www.edis.ifas.ufl.edu/aeo, 78 - 19k.*

*19) U.S. Dept. of Agri.,(1967), Soil Conservation Service ,**Irrigation water requirements**.*

*20) WWW.**FAO**.org.*