نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۴ / شماره ۳/ ۱۳۹۹

کاربرد شاخص‌های یکنواختی بارش و زمان – بارش مؤثر برای برآورد عملکرد گندم دیم و نوسانات آن در اقلیم نیمه‌خشک تبریز

محمد خالدی علمداری[1] و ابوالفضل مجنونی هریس

دانشجوی دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

m.khaledi.a@gmail.com

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و دانشگاه تبریز.

majnooni1979@yahoo.com

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۹ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۹

چکیده

میزان بارش سالانه و مهم‌تر از آن توزیع زمانی بارش، از اصلی‌ترین عوامل تعیین کننده عملکرد در شرایط دیم محسوب می‌شوند. بنابراین ارائه شاخص‌هایی از بارش که ارتباط مفهومی معنی‌داری با نوسانات عملکرد داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد. در این بررسی، ارتباط بین شاخص‌های یکنواختی بارش با عملکرد گندم دیم در تبریز در یک بازه زمانی ۱۹ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، به منظور بررسی دقیق‌تر اثر بارش‌ها، از شاخص زمان – بارش مؤثر (RTI) استفاده شد که قابلیت بررسی اثر تغییرات توأم دو عامل زمان و مقدار بارش را بر نوسانات عملکرد محصول دارد. نتایج به دست آمده نشان داد که همبستگی بین عملکرد گندم و شیب خط یکنواختی (نسبت بارش تجمعی بر طول دوره رشد) در سطح یک درصد معنی‌دار بود درحالی که بین شاخص ناهمواری توزیع و عملکرد همبستگی معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، بر اساس نتایج به‌دست آمده، اولین رویداد بارش مؤثر، به عنوان مؤثرترین رویداد بارش بر میزان عملکرد گندم دیم است. به‌نظر می‌رسد عدم کفایت بارش‌های مؤثر بهاره که به عنوان یکی از دلایل اصلی پایین بودن عملکرد اراضی دیم نیز مطرح است، مانع از تبیین اثر مثبت بارش‌های انتهای فصل رشد بر عملکرد شده است. لذا توصیه می‌شود به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر اثر بارش‌های نوبتی و شاخص زمان-بارش مؤثر بر عملکرد، یک نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه انجام شود و اثر آن بر شاخص‌های مورد مطالعه و در نهایت عملکرد بررسی شود.

واژه‌های کلیدی: شاخص ناهمواری توزیع باران، بارش تجمعی، نوسان عملکرد

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری تخصصی و آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

مقدمه

با توجه به روند افزایشی جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی روز به روز بیشتر می‌شود. همچنین با توجه به سطح گسترده اراضی دیم، بخش قابل‌توجهی از نیازهای غذایی باید از اراضی دیم حاصل شود. از مهم-ترین عوامل تأثیرگذار بر تولیدات کشاورزی، تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف جهان است. این تغییرات اقلیمی کشاورزی دیم را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، چرا که زراعت دیم متکی به بارشی است که اساساً یک پدیده احتمالی است و قطعیتی از نظر زمان و مقدار ندارد. شرایط متنوع اقلیمی از خشک تا مرطوب با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر از ویژگی‌های اقلیمی ایران است (بنایان و همکاران، ۲۰۱۰؛ اشرف و همکاران، ۲۰۱٤). بارندگی به عنوان تنها منبع تأمین رطوبت در زراعت دیم محسوب می‌شود و تغییرات مکانی و زمانی آن موجب تغییر در مقدار عملکرد محصول می‌شود (هی و همکاران، ۲۰۱۳). البته شدت تأثیر خشکی به مرحله رشد محصول در زمان وقوع خشکی بستگی دارد (لوپز و همکاران، ۲۰۰۳). توزیع بارش در قیاس با میزان بارش تجمعی به دلایلی از جمله در دسترس بودن آب در مراحل مختلف رشد (کار و همکاران ۲۰۰۷) و نیز ظرفیت ذخیره‌سازی خاک و یا هدر رفت از طریق نفوذ عمقی در مواقع رخداد سیلاب‌ها و بارش‌های رگباری می‌تواند مهم‌تر باشد (برزگر و همکاران ۲۰۰۳). لذا یکی از مشکلاتی که کشاورزی دیم در دنیا به ویژه در مناطق خشک با آن رو-به‌رو است، نوسان میزان بازده محصولات دیم طی سال-های مختلف است.

گندم یکی از مهم‌ترین غلاتی است که در تأمین انرژی و امنیت غذایی جهان نقش بسزایی دارد؛ بنابراین، بهبود شرایط کشت و کار و نیز بررسی عملکرد آن در شرایط مختلف اقلیمی مورد توجه پژوهشگران بوده است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۱) شاخص‌ها و متغیرهای آگروکلیمایی مؤثر مناسب در تولید گندم دیم و آبی را برای هفت منطقه استان همدان تعیین نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده شاخص‌های کمبود بارش مرجع و کمبود بارش گیاهی همبستگی قوی‌تری با عملکرد گندم در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارند.

نتایج مطالعه سهرابی ملایوسف و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد شاخص زمان- بارش، اثر و تفاوت بین بارش‌های نوبتی را بهتر نشان می‌دهد. ایشان همچنین گزارش کردند بر اساس حداقل تعداد بارش در منطقه همدان، بارش‌های صورت گرفته در دو فصل پاییز و زمستان قابل اعتمادتر بوده و اطلاع از وضعیت و تأثیر بارش‌های نوبتی در این فصول کاربردی‌تر است.

بنایان اول و همکاران (۱۳۹٦) نیز با ارزیابی رابطه بارش تجمعی و عملکرد گندم در اقلیم نیمه‌خشک مشهد گزارش کردند شاخص غیریکنواختی بارش و میزان بارندگی در دوره بحرانی رشد نسبت به کل دوره رشد نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد گیاه دارد. در پژوهشی دیگر شکوهی و ثنائی‌نژاد (۱۳۹۵) با بررسی تأثیر دوره-های بارندگی و شاخص SPI بر عملکرد جو دیم، گزارش کردند که تنها یک دوره خاص بارندگی در طی دوره رشد بر عملکرد محصول تأثیرگذار نبوده و برای توجیه تغییرات عملکرد نسبت به بارندگی، باید مقدار بارندگی در حد فاصل بین ششم اسفند تا شانزدهم اردیبهشت ماه و نیز شرایط تأمین رطوبتی اوایل کاشت را همزمان در نظر گرفت.

مونس‌خواه و مجنونی هریس (۱۳۹٦) به منظور بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی بر عملکرد گندم دیم از شاخص رضایتمندی نیاز آبی[2] به عنوان یک شاخص عملکرد بر اساس آب در دسترس محصول در گام‌های زمانی دهه‌ای در طول فصل رشد استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد علی‌رغم این‌که با توجه به متوسط مقدار این شاخص در طول فصل رشد، ریسک اقلیمی گندم دیم در دشت تبریز پایین است؛ اما به دلیل تغییرات عوامل اقلیمی از جمله بارش و تبخیر-تعرق در مراحل مختلف رشد، امکان بروز ریسک اقلیمی متوسط و بالا در برخی از

[2] Water Requirement Satisfaction Index

مراحل رشد وجود دارد. البته با توجه به حساسیت هر مرحله نسبت به تنش رطوبتی، این ریسک بر عملکرد محصول تأثیرگذار خواهد بود. ایشان همچنین گزارش کردند بیشترین ریسک اقلیمی در دهه‌های انتهایی فصل رشد حادث می‌شود که با توجه به مقارن بودن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها، از طریق کاهش وزن هزار دانه باعث افت قابل توجه عملکرد می‌شود. از طرفی آبیاری تکمیلی در مناطقی که این امکان وجود دارد، به منظور پایداری در عملکرد توصیه شده است (پالا و همکاران، ۲۰۱۱).

محسنی‌موحد و اکبری (۱۳۹۰) طی پژوهشی در کشت زمستانه گندم دیم دوره گل‌دهی را حساس‌ترین دوره به کمبود آب معرفی کرده و علت آن را این‌گونه توجیه کردند که تشکیل دانه‌های گرده و عمل لقاح ممکن است هم‌زمان با وقوع تنش زیاد آب به‌طور جدی مختل شده و در زمان توسعه خوشه و گل‌دهی نیز کمبود آب باعث کاهش تعداد خوشه در بوته، طول خوشه و تعداد دانه در خوشه شود.

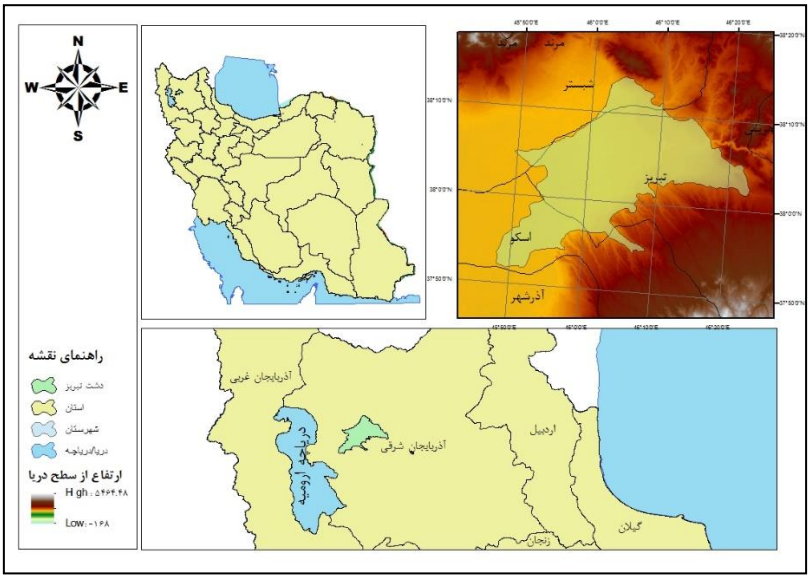
اغلب مطالعات صورت‌گرفته در مورد ارتباط بارش و عملکرد، فاکتور فواصل زمانی بین بارش‌ها مدنظر قرار نگرفته است، لذا با توجه به مطالعات پیشین، در پژوهش حاضر از شاخص‌های یکنواختی بارش و نیز شاخص زمان- بارش به‌منظور بررسی اثر بارش تجمعی، توزیع بارندگی و اثر دو فاکتور زمان و مقدار بارش بر نوسانات عملکرد گندم دیم منطقه تبریز استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

دشت تبریز واقع در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان‌شرقی، یکی از دشت‌های حوضه دریاچه اورمیه بوده که موقعیت مکانی آن در شکل (۱) ارائه شده است. در این بررسی، آمار بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۸ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. عملکرد گندم دیم نیز در مدت زمان مشابه از سازمان جهاد کشاورزی استان اخذ شد. مطابق با اقلیم نمای دومارتن، دشت تبریز با دمای متوسط سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر دارای اقلیم نیمه‌خشک است (هادی و همکاران ۱۳۹٤). زمان کاشت گندم دیم عمدتاً به زمان آغاز بارش‌های مؤثر پاییزه بستگی دارد. تاریخ برداشت نیز به درجه حرارت در اواخر بهار و اوایل تابستان بستگی دارد؛ بنابراین، تولید گندم دیم کاملاً به آب و هوای محلی بستگی دارد (بنایان و همکاران ۲۰۱۰). با توجه به داده‌های محلی، فصل رشد گندم دیم از هفته دوم مهر ماه تا هفته دوم تیر ماه در نظر گرفته شد و محاسبات شاخص‌های یکنواختی بارش در این بازه زمانی انجام شد. مقادیر بارش و عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه، در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- متوسط مقادیر بارندگی و عملکرد گندم دیم در تبریز

متغیرها	متوسط	کمینه	بیشینه
بارندگی سالانه (میلی‌متر)	۲۵۸/۷	۱۴۶/۳	۳۴۰/۸
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۱۰۴۹	۱۰۳	۱۴۲۰



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

شاخص‌های یکنواختی بارش

مونتی و ونچوری (۲۰۰۷) در پژوهشی به منظور بهبود برآورد روابط بین بارش و عملکرد یک مدل ساده را توسعه دادند که در پژوهش حاضر از آن مدل تحت عنوان شاخص یکنواختی به منظور ارزیابی روابط بارش و عملکرد استفاده شد. برای این منظور ابتدا نمودار بارش تجمعی در طول دوره رشد گندم در هر سال ترسیم شد. خط یکنواختی نیز از طریق وصل آخرین نقطه نمودار بارش تجمعی بر ابتدای آن حاصل شد. شیب خط یکنواختی (نسبت بارش تجمعی بر طول دوره رشد) معرف متوسط میزان بارندگی روزانه در طول دوره رشد است که با نماد E_R نشان داده می‌شود. به‌منظور بررسی اثر نحوه پراکندگی بارش از خط یکنواختی، تعداد نقاط داده بالای خط یکنواختی (R_+) و پایین خط یکنواختی (R_-) محاسبه شد. شاخص ناهمواری توزیع بارندگی U_R نیز تخمینی از پراکندگی میزان بارش واقعی حول خط یکنواختی را ارائه می‌دهد. این شاخص از طریق ریشه دوم نسبت مجموع مربعات فاصله هریک از نقاط داده‌های بارندگی تجمعی از نقاط منطبق بر خط یکنواختی به طول دوره رشد حاصل می‌شود:

$$U_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_e)^2}{n}} \qquad (۱)$$

که در آن: y_e معرف مقدار بارش تجمعی متناظر با نقاط روی خط یکنواختی (y_i) و n تعداد روزهای طول دوره رشد گندم دیم است. با توجه به رابطه (۱)، هرچه میزان شاخص ناهمواری توزیع بارندگی بیشتر باشد، یکنواختی بارش کمتر بوده و این امر اثر منفی بر میزان عملکرد خواهد داشت. به‌منظور بررسی میزان همبستگی عملکرد با هریک از شاخص‌های یکنواختی با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 20 از ضریب همبستگی ساده پیرسون استفاده شد.

شاخص زمان- بارش

بارشی در عملکرد محصولات دیم مؤثر بوده که در زمان مناسب و به مقدار کافی رخ دهد. لذا دو شاخص زمان رخداد بارش و نیز مقدار بارش تأثیر مستقیمی بر نوسانات عملکرد در شرایط دیم دارند. در این راستا سهرابی ملایوسف و همکاران (۱۳۹۱) شاخصی را تحت عنوان شاخص زمان–بارش (RTI) معرفی کردند که با استفاده از یک تابع، تأثیر توأم زمان و مقدار بارش را بررسی می‌کند. این شاخص از تقسیم مقدار بارش بر فاصله زمانی وقوع بارش حاصل می‌شود:

$$RTI_{ij} = \frac{R_{ij}}{TA_{ij}} \quad i = 1, 2, 3, \ldots, m$$
$$j = 1,2,3,\ldots,n \qquad (۲)$$

که در آن: RTI_{ij} شاخص زمان- بارش مربوط به i امین بارش در سال j ام، R_{ij} مقدار بارش i ام در سال j ام و TA_{ij} فاصله زمانی بارش i ام در سال j ام است. برای محاسبه شاخص زمان-بارش، لازم است در ابتدا تعداد رویدادهای بارش در هر سال تعیین شده و در بین سال-های دوره آماری مورد مطالعه، سالی که کمترین تعداد بارش در آن رخ داده مشخص شده و تعداد رخدادهای بارش در آن سال به‌عنوان حداقل بارش قابل اعتماد مشخص شود. این تعداد بارش در همه سال‌ها مشخص شده و محاسبات بر مبنای آن انجام می‌شود؛ بنابراین هر بارش در هر سال به‌صورت زوجی از مقدار و زمان رخداد بارش (R_{ij} و T_{ij}) نشان داده می‌شود. زمان مطلق بارش نیز به‌عنوان فاصله زمانی بین هر دو بارش متوالی تعریف می‌شود:

$$TA_{ij} = T_{ij} - T_{(i-1)j} \quad i=1,2,3,\ldots,m \quad j=1,2,3,\ldots,n \qquad (۳)$$

که در آن: TA_{ij} زمان بارش مطلق بارش i ام در سال j ام، T_{ij} زمان وقوع بارش i ام در سال j ام و $T_{(i-1)j}$ زمان وقوع بارش (i-1) ام در سال jام است.

برآورد اثر رویدادهای بارش بر عملکرد

برای هریک از رویدادهای بارش، شاخص زمان-بارش با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. بررسی تواتر شاخص زمان-بارش و نیز زمان مطلق هر رویداد بارش، می‌توان توابع احتمالاتی متأثر از زمان و مقدار بارش را به‌دست آورد. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار Easy fit بهترین تابع توزیع برای هر سری از مقادیر شاخص زمان-بارش محاسبه شده تعیین شد و به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال (معادل احتمال ۲۵، ۵۰، ۸۰، ۹۰، ۹۶ و ۹۸ درصد) مقادیر شاخص زمان-بارش و زمان مطلق محاسبه شد. لذا منحنی‌های شاخص-مرتبه-فرکانس و زمان-مرتبه-فرکانس ارائه می‌شود که با استفاده از آن به ازای یک احتمال معلوم، شاخص زمان-بارش و زمان مطلق برای هر رویداد بارش در طول سال محاسبه حاصل می‌شود؛ بنابراین، با استفاده از رابطه (٤)، مقادیر هرکدام از رویداد-های بارش به ازای احتمالات مختلف قابل محاسبه است:

$$R_{T_r} = RTI_{T_r}.TA_{T_r} \qquad (٤)$$

که در آن: R_{T_r} مقدار بارش با دوره بازگشت T_r، RTI_{T_r} شاخص زمان-بارش با دوره بازگشت T_r و TA_{T_r} زمان مطلق بارش با دوره بازگشت T_r می‌باشند. با داشتن مقادیر شاخص زمان-بارش و زمان مطلق استفاده از رابطه (٤) می‌توان مقادیر بارش را به‌ازای دوره‌های بازگشت یکسان به‌دست آورد. بین مقادیر رویدادهای بارش و عملکرد محصول گندم دیم، به ازای سطوح احتمالاتی مورد بررسی رابطه رگرسیونی برقرار می‌شود :

$$\begin{pmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \cdots & R_{1,i} & \cdots & R_{1,1} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{k,1} & R_{k,2} & \cdots & R_{k,i} & \cdots & R_{k,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{p,1} & R_{p,2} & \vdots & R_{p,i} & \cdots & R_{p,n} \end{pmatrix}_{p\times n} \times \begin{pmatrix} W_{1,1} \\ W_{2,1} \\ \vdots \\ \vdots \\ W_{n,1} \end{pmatrix}_{n\times 1} = \begin{pmatrix} Y_{1,1} \\ Y_{2,1} \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{p,1} \end{pmatrix}_{p\times 1} \qquad (٥)$$

$i= 1, 2, 3,\ldots,n$
$k=1, 2, 3,\ldots,p \quad p=6$

در رابطه ۵، ماتریس R مربوط به مقادیر هر یک از بارش‌ها به ازای شش احتمال مذکور است که در آن $R_{k,i}$ مقدار i امین بارش با k امین درصد احتمال است. ماتریس Y نیز مقادیر عملکرد سالانه محصول دیم به ازای شش احتمال متناظر است که با استفاده از نرم‌افزار Easy fit محاسبه شده و ماتریس W ماتریس ضرایب هر یک از بارش‌ها است. برای محاسبه رابطه رگرسیونی ۵، از محیط نرم‌افزاری MATLAB 2012b استفاده شد. در این رابطه، هر یک از بارش‌ها متغیر محسوب می‌شود و ضرایب هر یک از این متغیرها، میزان تاثیر بارش وابسته به آن متغیر را نشان می‌دهد؛ بدین ترتیب با به دست آوردن و حل رابطه مولتی رگرسیونی بارش‌های نوبتی- عملکرد سالانه گندم دیم، اثر هر یک از بارش‌های نوبتی و تغییرات آن بر اساس احتمالات مختلف بر روی عملکرد سالانه محصول گندم دیم محاسبه می‌شود.

در آمار ارائه شده توسط سازمان هواشناسی تعداد رویدادهای بارش زیاد است و حتی داده‌های کمتر از یک میلی‌متر نیز ثبت شده است؛ از سوی دیگر با توجه به تلفات بارش شامل گیرش، برگاب و تبخیر از سطح خاک، بخش عمده‌ای از رویدادهای بارش عملاً مورد استفاد گیاه زراعی قرار نمی‌گیرد. لذا در مطالعه حاضر به‌منظور بهبود کارآیی شاخص مورد مطالعه، از شاخص زمان–بارش مؤثر استفاده شد. برای این منظور فقط رویدادهای بارشی که به میزان پنج میلی‌متر یا بیشتر در دو روز متوالی ثبت شده باشد به‌عنوان رویدادهای بارش مؤثر مد نظر قرار گرفت (کمالی و همکاران، ۱۳۸۷).

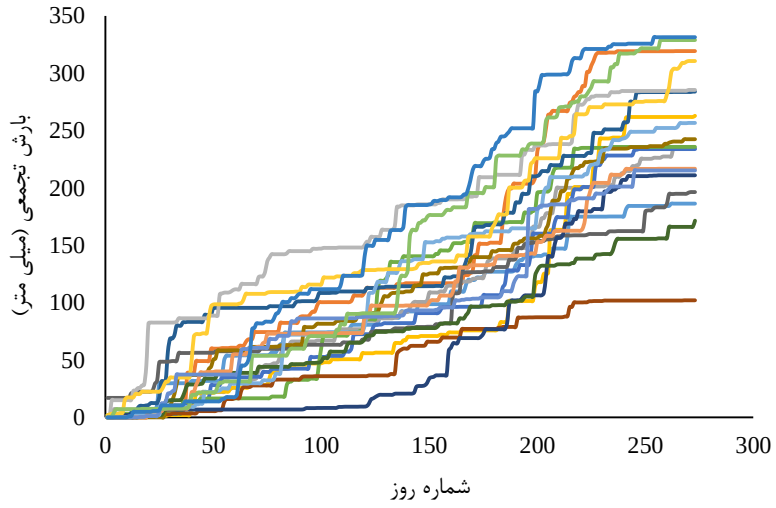
نتایج و بحث

گام اول در مطالعه آماری همبستگی شاخص‌های یکنواختی با عملکرد، بررسی نرمال بودن شاخص‌هاست که با محاسبه چولگی و کشیدگی بررسی شد. به‌طور کلی اگر چولگی و کشیدگی در بازه بین ۲- تا ۲+ باشند، داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. در جدول (۲) آمار توصیفی شاخص‌های یکنواختی ارائه شده است. بر این اساس پیش فرض نرمال بودن داده‌ها برقرار است.

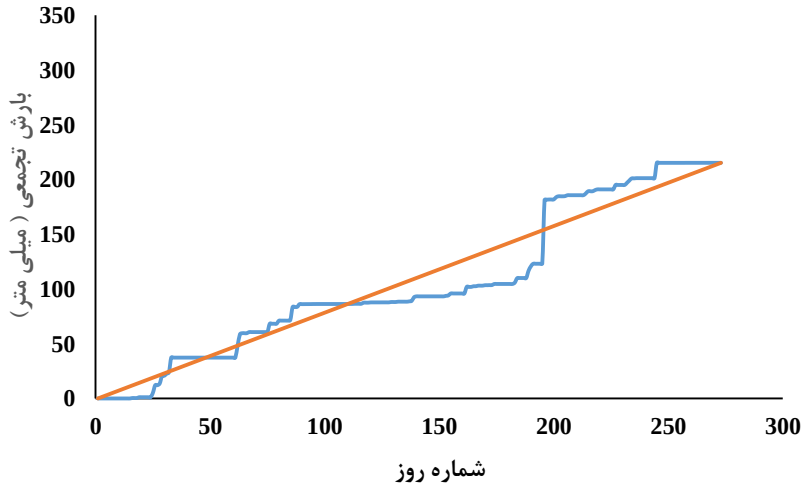
جدول ۲- آمار توصیفی شاخص‌های یکنواختی

	E_R (mm/day)	R_+	R_-	U_R/ E_R (day)
میانگین	۰/۸۹	۱۱۶	۱۵۷	۲۳/۶۱
دامنه	۰/۸۴	۲۲۴	۲۲۴	۴۱/۹۲
کشیدگی	۰/۳۷	۱/۷۶	۱/۷۶	۰/۵۱
چولگی	-۰/۴۱	۱/۱۳	-۱/۱۳	۰/۹۹
ضریب تغییرات	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۳۵	۰/۵۲

در شکل (۲) نمودار کلی بارش تجمعی در طول فصل رشد برای همه سال‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همچنین، در شکل (۳) نیز مقادیر شاخص‌های یکنواختی مورد مطالعه به عنوان نمونه برای سال ۹۶-۱۳۹۵ نشان داده شده است. در این سال شیب خط یکنواختی معادل ۰/۷۹ حاصل شد که نشان می دهد میزان متوسط بارش روزانه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ معادل ۰/۷۹ میلی‌متر است. تعداد نقاط بالای خط یکنواختی ۱۴۳ و تعداد نقاط پایین خط یکنواختی ۱۳۰ است که نشان می‌دهد در ۱۴۳ روز میزان متوسط بارش تجمعی بیشتر از مقدار متوسط و در ۱۳۰ روز کمتر از آن است. شاخص ناهمواری توزیع نیز در این سال معادل ۱۷/۴۱ محاسبه شد. هرچه میزان ناهمواری توزیع بیشتر باشد، یکنواختی پایین‌تر است. لذا انتظار می‌رود در دوره‌های با بارندگی منظم و یکنواخت بهره‌وری بارش و تأثیر آن بر عملکرد بیشتر باشد.



شکل ۲- نمودار بارش تجمعی در طول فصل رشد برای تمام سال ها



شکل ۳- محاسبه مقادیر شاخص‌های یکنواختی بارش در سال ۹۶-۱۳۹۵

ارتباط عملکرد با شاخص‌های یکنواختی

همبستگی عملکرد گندم دیم با شاخص‌های یکنواختی بارش به‌فرم ماتریسی در جدول (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد در بین شاخص‌های یکنواختی تنها میانگین بارش روزانه در طول دوره رشد (شیب خط یکنواختی) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد با عملکرد دارد (جدول ۳). نتایج مطالعه بنایان اول و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد میانگین بارش روزانه در طول دوره رشد برخلاف شاخص ناهمواری توزیع بارش، همبستگی معنی‌داری با میزان عملکرد گندم و جو داشت. مقایسه همبستگی بین شاخص‌های یکنواختی نیز حاکی از همبستگی معنی‌دار شیب خط یکنواختی با ناهمواری توزیع بارش در سطح پنج درصد است. در واقع با افزایش شیب خط یکنواختی، احتمال عدم یکنواختی بارش یا به‌عبارتی افزایش شاخص ناهمواری توزیع بیشتر می‌شود. با توجه به رابطه کاملاً معکوس تعداد نقاط بالا و پایین خط یکنواختی، همبستگی مطلق اما معکوس بین این دو شاخص نیز در سطح یک درصد ملموس است. البته باید توجه داشت رابطه بین شاخص‌های یکنواختی با عملکرد به‌شدت تحت تأثیر توزیع فصلی بارش قرار دارد. به‌طور کلی انتظار می‌رود در دو سال با میزان بارش مشابه، در سالی که شاخص ناهمواری توزیع بارش کمتر باشد، میزان

عملکرد بیشتری مشاهده شود؛ اما در عمل نوسان میزان عملکرد با شاخص ناهمواری توزیع ممکن است رفتار دوگانه‌ای داشته باشد. به‌طور مثال در دو سال ۸۳ و ۹۲ متوسط بارش روزانه در طول دوره رشد در حدود ۰/۹۵ میلی‌متر است. شاخص ناهمواری توزیع در سال ۸۳ تقریباً سه برابر مقدار این شاخص در سال ۹۲ محاسبه شد. میزان عملکرد گندم نیز در سال ۹۲ به میزان ۳۷۰ کیلوگرم در هکتار (حدود ٤٠ درصد) بیشتر از سال ۸۳ گزارش شده است. این در حالی است که مقایسه نتایج به‌دست آمده در سال‌های ٨٦ و ٩٤ با شیب خط یکنواختی ۱/۰٤ نشان داد که میزان عملکرد در سال ٩٤ که شاخص ناهمواری توزیع در آن حدود ٥٤ درصد بیشتر از سال ٨٦ است، به میزان ۲۰۸ کیلوگرم در هکتار (حدود ۱۷ درصد) بیشتر از سال ٨٦ است. این امر نشان می‌دهد که علاوه بر مقدار شاخص ناهمواری توزیع، زمان ایجاد این ناهمواری نیز در عملکرد تأثیر گذار است. در واقع مطلوب است که میزان بارش در مراحل حساس رشد نسبت به تنش آبی بیشتر باشد. آسنگ و همکاران (۲۰۰۱) اذعان داشتند صرف نظر از تمام روابط فیزیولوژیکی بین موجودیت آب در دسترس گیاه و عملکرد، نحوه توزیع بارش از مهمترین عوامل تعیین کننده عملکرد است.

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی عملکرد و شاخص‌های یکنواختی

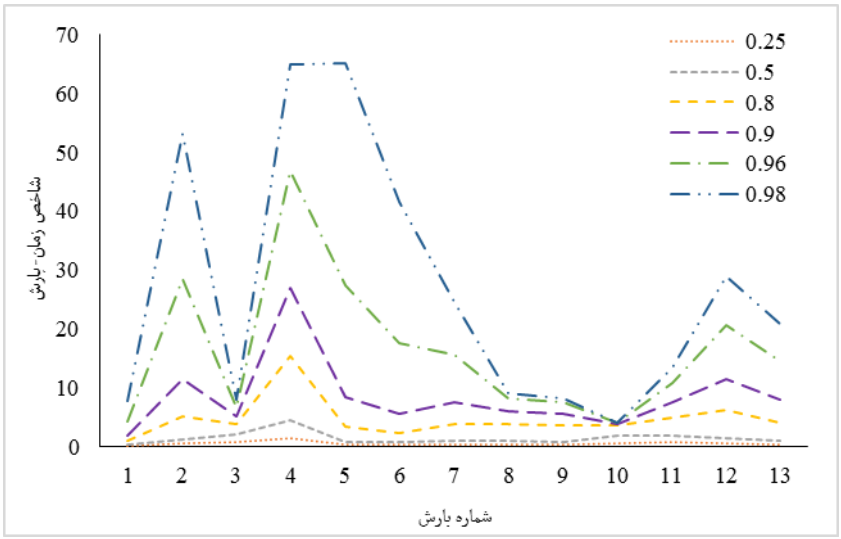
صفات	Yield	E_R	R_+	R_-	U_R
Yield	۱				
E_R	۰/۶۹۷ **	۱			
R_+	−۰/۰۷۷ n.s	−۰/۰۶۱ n.s	۱		
R_-	۰/۰۷۷ n.s	۰/۰۶۱ n.s	−۱/۰۰۰ **	۱	
U_R	۰/۱۴۷ n.s	۰/۴۷۱ *	−۰/۲۳۹ n.s	۰/۲۳۹ n.s	۱

**، * و ns به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن ضریب همبستگی در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار بودن ضریب همبستگی است

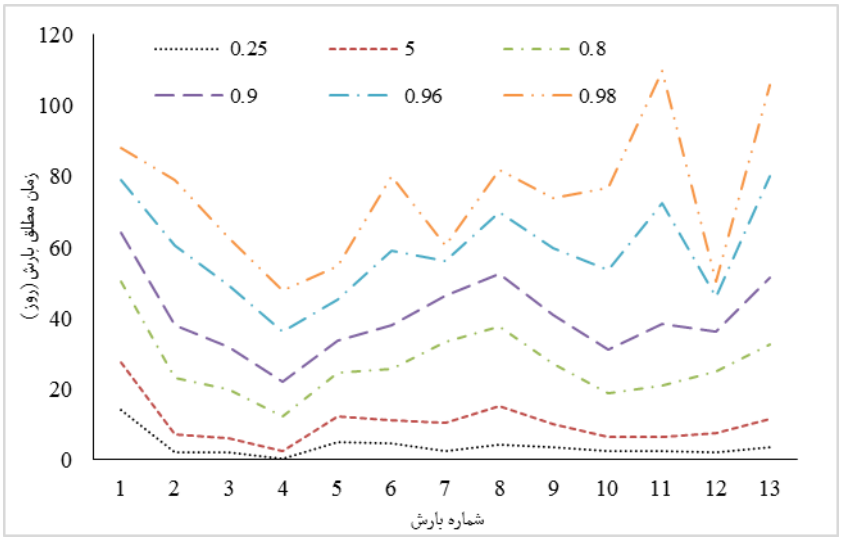
بنابراین به‌نظر می‌رسد علاوه بر شاخص‌های یکنواختی و ناهمواری توزیع، مطالعه شاخصی از بارش که علاوه بر مقدار بارش، شاخص زمان را نیز مورد ارزیابی قرار دهد، بتواند ارزیابی دقیق‌تری پیرامون نحوه نوسانات عملکرد با توزیع بارش ارائه دهد.

شاخص زمان-بارش موثر

آمار بارش‌های روزانه از آغاز تاریخ کشت مرتب شده و بر اساس داده‌های ۱۹ سال مورد مطالعه، حداقل تعداد ٩٤ رویداد بارش در هر سال وجود دارد. از این میان تعداد ۱۳ رویداد بارش مؤثر (رویدادهای بارشی که به میزان پنج میلی‌متر یا بیشتر در دو روز متوالی ثبت شده باشد) به‌عنوان حداقل تعداد رویداد بارش مؤثر قابل اعتماد تعیین شد. با در دست داشتن مقدار و زمان مطلق هریک از رویدادهای بارش در هر سال، شاخص زمان-بارش مؤثر محاسبه شد. در ادامه با استفاده از معیار کلموگروف اسمیرنوف، بهترین تابع توزیع احتمال شاخص زمان-بارش مؤثر برای هر رویداد بارش مؤثر تعیین و بر اساس آن، مقادیر شاخص زمان- بارش مؤثر هر رویداد به ازای شش دوره بازگشت مورد مطالعه محاسبه شد. همین فرآیند برای زمان مطلق هریک از رویدادهای بارش مؤثر نیز تکرار شد. منحنی‌های شاخص- مرتبه- فرکانس و زمان مطلق- مرتبه-فرکانس به ترتیب در شکل‌های ٤ و ٥ ارائه شده است. با استفاده از این منحنی‌ها، میزان هر رویداد بارش مؤثر به ازای شش دوره بازگشت مورد بررسی قابل محاسبه است (رابطه ٤). به عنوان مثال مقدار اولین رویداد بارش مؤثر به‌ازای دوره بازگشت پنج سال (معادل سطح احتمال ۸۰ درصد) به میزان ٤٧/٦ میلی‌متر برآورد شد.



شکل ۴- منحنی شاخص- مرتبه- فرکانس



شکل ۵- منحنی زمان مطلق- مرتبه- فرکانس

در جدول (۳)، مقادیر کمینه و بیشینه شاخص زمان-بارش مؤثر و زمان وقوع آن ارائه شده است. بر این اساس بیشترین مقدار این شاخص به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سال مربوط به رویداد بارش چهارم و به ازای دوره بازگشت ۵۰ سال مربوط به پنجمین رویداد بارش مؤثر است. در سوی مقابل مقدار کمینه این شاخص نیز به ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵ و ۱۰ سال مربوط به اولین رویداد بارش مؤثر و متناظر با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۵۰ سال مربوط به دهمین رویداد بارش مؤثر است (جدول ٤). نتایج نشان داد که بیشترین نوسان مربوط به مقادیر شاخص زمان-بارش مؤثر در فصل پاییز رخ می‌دهد. دو عامل بر روند تغییرات شاخص مؤثر است. یکی مقادیر رویدادهای بارش و دیگری فاصله زمانی بین رویدادها. لذا مقادیر بیشینه شاخص نشان‌دهنده عمق زیاد بارش و یا فاصله زمانی کمتر بین دو رویداد و یا ترکیبی از این دو عامل است. نتایج مطالعه هادی و همکاران (۱۳۹٦) در یک بازه زمانی ۳۰ ساله نشان داد فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب با متوسط ۱۰٤ و ٦۷ میلی‌متر (به ترتیب معادل حدود ٤۲ و ۲۷ درصد بارش سالانه) دارای بالاترین میزان بارش فصلی در دشت تبریز هستند. با این حال تعداد رویداد-های بارش در فصل بهار ۳۷/٦ رویداد است که بخش

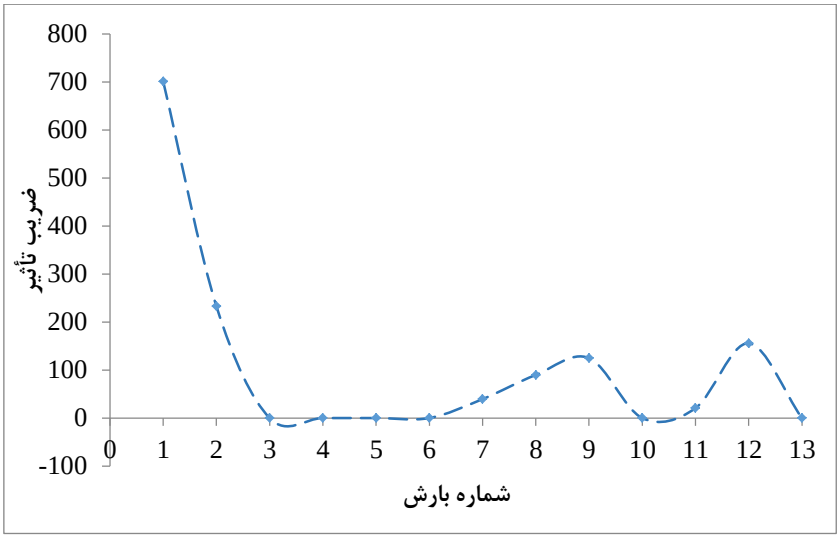
عمده‌ای از آن (۳۰/۵ رویداد) دارای مقادیر کمتر از پنج میلی‌متر هستند.

جدول ۴- مقادیر کمینه و بیشینه شاخص زمان-بارش مؤثر

	بیشینه			کمینه		
دوره بازگشت (سال)	شماره رویداد	RTI	زمان وقوع	شماره رویداد	RTI	زمان وقوع
۱/۳۳	چهارم	۱/۴۰	۲۱ آبان	اول	۰/۱۴	۲۴ مهر
۲	چهارم	۴/۴۲	۷ آذر	اول	۰/۳۰	۷ آبان
۵	چهارم	۱۵/۳۳	۴ دی	اول	۰/۹۵	۳۰ آبان
۱۰	چهارم	۲۷/۰۸	۲۳ دی	اول	۱/۸۷	۱۴ آذر
۲۵	چهارم	۴۶/۹۰	۲۳ بهمن	دهم	۳/۹۸	۱۵ اردیبهشت
۵۰	پنجم	۶۵/۱۲	۲۶ فروردین	دهم	۴/۰۰	۲۳ اردیبهشت

ارزیابی تأثیر رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد

با استفاده از نرم‌افزار Easy fit بهترین تابع توزیع احتمال مربوط به داده‌های عملکرد گندم دیم برازش داده شد و بر اساس آن به‌ازای دوره‌های بازگشت ۱/۳۳، ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال مقادیر عملکرد محاسبه شد. همچنین مقادیر هر رویداد بارش مؤثر نیز با استفاده از رابطه (٤) برآورد شد. لذا رابطه مولتی‌رگرسیونی بین عملکرد و رویدادهای بارش مؤثر در شش احتمال مطابق با ماتریس رابطه ۵ حاصل می‌شود. حل این معادله رگرسیونی نشان داد اولین رویداد بارش مؤثر، مؤثرترین بارش در نوسانات عملکرد گندم دیم است که به طور میانگین در ۱۲ آبان ماه رخ می‌دهد و ضریب تأثیر آن بر عملکرد معادل ۷۰۱/۲ حاصل شد. روند تغییرات ضریب تأثیر هریک از رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم در شکل (٦) ارائه شده است؛ با این توضیح که ضرایب منفی، صفر در نظر گرفته شده است. نتایج مطالعاتی که پیرامون ارتباط بارش و عملکرد در منطقه تبریز صورت گرفته حاکی از آن است که دو نوبت بارش بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم دارد؛ یکی بارش هنگام کاشت به عنوان خاک‌آب برای جوانه‌زنی و دیگری بارش خرداد ماه مقارن با مرحله پر شدن دانه‌ها (هادی ۱۳۹۵). به‌نظر می‌رسد کمبود بارش در مرحله پر شدن دانه‌ها که یکی از اصلی‌ترین دلایل عملکرد پایین اراضی دیم گزارش شده، عاملی است که سبب شده تأثیر بارش-های انتهای فصل رشد بر عملکرد هویدا نشود. نخجوانی-مقدم و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند با کاربرد تک آبیاری بهاره، متوسط بهره‌وری کل آب شامل بارش و آبیاری در تولید گندم در مقایسه با شرایط دیم ٧٤ درصد افزایش یافت. نتایج بسیاری از مطالعات نشان داده است تنش رطوبتی در انتهای فصل رشد از طریق کاهش وزن هزار دانه سبب کاهش عملکرد می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۰۱؛ فرمهینی‌فراهانی و همکاران؛ ۱۳۹۲ هادی و همکاران ۱۳۹٦) و انجام آبیاری تکمیلی از طریق افزایش رضایتمندی نیاز آبی محصول، موجب کاهش ریسک اقلیمی این محصول و در نتیجه افزایش عملکرد شده است (مونس‌خواه و مجنونی‌هریس ۱۳۹٦). این در حالی است که با مدیریت دقیق زمان کاشت می‌توان از بارش-های پاییزه به نحو مطلوب استفاده کرد. نتایج مطالعه حاضر نیز حاکی از این است که اولین رویداد بارش مؤثر پاییزه بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم داشت. لذا توصیه می‌شود با کاشت به موقع محصول از بارش‌های مؤثر پاییزه به نحو مطلوب استفاده کرده و اثر کمبود بارش‌های مؤثر بهاره به‌خصوص در انتهای فصل رشد مقارن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها با انجام یک نوبت آبیاری تکمیلی جبران شود. محاسبه و مطالعه شاخص‌های مورد بحث در مقاله حاضر پس از اعمال تأثیر آبیاری تکمیلی، کمک شایانی به افزایش بهره‌وری آب و افزایش عملکرد محصول خواهد کرد.



شکل ۶- ضریب تأثیر هریک از رویدادهای بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر به بررسی اثر شاخص‌های یکنواختی و شاخص زمان- بارش مؤثر بر عملکرد گندم دیم پرداخته شد. نتایج نشان داد رابطه بین شاخص‌های یکنواختی با عملکرد تحت تأثیر توزیع فصلی بارش قرار دارد و علاوه بر شاخص یکنواختی و ناهمواری توزیع، لازم است دو عامل زمان و مقدار بارش به‌صورت توأم مورد بررسی قرار گیرد. نتایج نشان داد در منطقه تبریز اولین رویداد بارش مؤثر در تاریخ ۱۲ آبان بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم دارد و به‌عنوان مؤثرترین رویداد بارش بر عملکرد تعیین شد. به نظر می رسد دلیل این امر اهمیت اولین رویداد بارش مؤثر در جوانه‌زنی به موقع گندم باشد. این امر سبب می‌شود که گیاه مرحله پنجه‌زنی را نیز قبل از فرا رسیدن سرمای زمستانه پشت سر گذاشته و مقاومت بیشتری در برابر سرمای زمستانه داشته باشد. همچنین به‌نظر می‌رسد تأثیر کمتر بارش‌های بهاره بر عملکرد گندم دیم ناشی از عدم کفایت بارش‌های مؤثر بهاره در پاسخ به نیاز آبی گندم در مراحل حساس به تنش گل‌دهی و پر شدن دانه باشد که مانع از آشکار شدن اثر مثبت بارش انتهای فصل رشد بر عملکرد شده است.

فهرست منابع

۱. بنایان اول، م.، اسدی، س.، صالحی، ح. و کوزه‌گران، س. ۱۳۹۶. ارزیابی رابطه بارش تجمعی و عملکرد گندم و جو با استفاده از شاخص یکنواختی در منطقه نیمه‌خشک مشهد. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ٤، صفحه‌های ٦٣٦ تا ٦٤٦.

۲. سبزی‌پرور، ع. ا.، ترکمان، م. و مریانچی، ز. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲٦، شماره ٦، صفحه‌های ١٥٥٤ تا ١٥٦٧.

۳. سهرابی ملایوسف، س.، فاخری‌فرد، ا. و بزرگ‌حداد، ا. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر نوبتی بارش‌های پاییز و زمستان بر عملکرد سالانه دیم با استفاده از شاخص زمان بارش (RTI). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲٦، شماره ۱، صفحه‌های ۷۵ تا ۸٤.

٤. شکوهی، م. و ثنائی‌نژاد، س. ح. ۱۳۹۵. تأثیر دوره‌های بارندگی و شاخص SPI به عنوان شاخص تأمین رطوبتی بر عملکرد جو دیم (مطالعه موردی شهرستان تبریز). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۰، شماره ۱، صفحه‌های ۲۱۰ تا ۲۲۱.

٥. فرمهینی فراهانی، م.، میرزاخانی، م. و ساجدی، ن. ع. ۱۳۹۲. اثر تنش کم‌آبی و کاربرد مواد جاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم پاییزه در اراک. نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، شماره ۳، صفحه‌های ۲٦۳ تا ۲۷٤.

٦. کمالی، غ. ع.، صدقیانی‌پور، ع. و صداقت‌کردار، ع. ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان‌شرقی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحه‌های ٤٦۷ تا ٤۸۳.

۷. محسنی‌موحد، س. ا. ا. و اکبری، م. ۱۳۹۰. اثر حذف آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد گندم رقم الوند (مطالعه موردی: همدان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ٦، صفحه‌های ۱۳۸٦ تا ۱۳۹٤.

۸. مونس‌خواه، و. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹٦. تأثیر آبیاری تکمیلی گندم دیم بر شاخص رضایت‌مندی نیاز آبی در اقلیم نیمه‌خشک دشت تبریز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ٦، صفحه‌های ۱۱٤۳ تا ۱۱٥۱.

۹. نخجوانی‌مقدم، م. م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، دهقانی سانیج، ح. و توکلی، ع. ر. ۱۳۹٥. افزایش بهره‌وری بارش برای گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی و آبیاری محدود در بالا دست حوضه کرخه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۳، صفحه‌های ۳۰۱ تا ۳۱٥.

۱۰. هادی، م.، ۱۳۹٥. مطالعه تأثیر آبیاری تکمیلی و کاربرد سطوح مختلف پلیمر استاکوزورب بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۱۱. هادی، م.، خالدی، م. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹٤. بررسی تغییرات و تحلیل حساسیت تبخیر–تعرق مرجع در منطقه شمال‌غرب ایران. سومین همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در علوم کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۱۲. هادی، م.، جلیلی، س. و مجنونی‌هریس، ا. ۱۳۹٦. ارزیابی عملکرد گندم در شرایط دیم و آبی و بررسی امکان آبیاری تکمیلی گندم دیم با استفاده از آب ذخیره شده در کم‌آبیاری گندم آبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه‌های ۱۰۳ تا ٤۱۱.

۱۳. هادی، م.، مجنونی‌هریس، ا. و دلیرحسن‌نیا، ر. ۱۳۹٦. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم دیم در دشت تبریز. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۲، صفحه‌های ۳۰۷ تا ۳۲۰.

14. Asseng, S., Turner N.C. and Keating, B.A. 2001. Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate. Plant Soil, 1: 127–143.
15. Ashraf, B., Yazdani R., Mousavi-Baygi, M. and Bannayan, M. 2014. Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. Theoretical and Applied Climatology, 118: 35-46.
16. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi Lotfabadi, S., Mohammadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Research, 118 (2), 105–114.
17. Barzegar, A.R., Asoodar, M.A., Khadish, A., Hashemi, A.M. and Herbert, S.J. 2003. Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments. Soil and Tillage Research, 71: 49–57.
18. He, Y., Wei, Y., Depauw, R., Qian, B., Lemke, R., Singh, A., Cuthbert, R., Mcconkey, B. and Wang, H. 2013. Spring wheat yield in the semiarid canadian prairies: Effects of

precipitation timing and soil texture over recent 30 years. Field Crops Research, 149: 329-337.

19. Kar, G., Kumar, A. and Martha, M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management, 87: 73–82.
20. Lopez, C., Banowetz, G., Peterson, J. and Kronstad, W. 2003. Dehydrin expression anddrought tolerance in seven wheat cultivars. Crop Science, 43: 577-582.
21. Monti, A., Venturi, G. 2007. A simple method to improve the estimation of the relationship between rainfall and crop yield. Agronomy for Sustainable Development, 27: 255 – 260.
22. Pala, M., Oweis, T., Benli, B., De Pauw, E., El Mourid, M., Karrou, M., Jamal, M. and Zencirci, N. 2011. Assessment of wheat yield gap in the Mediterranean: case studies from Morocco, Syria and Turkey. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. IV, 963-21.
23. Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Liu, L., 2001. Water deficit-induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. Agronomy Journal, 93: 196-206.

Application of Precipitation Evenness and Effective Time-Rain Indicators to Estimate Rainfed Wheat Yield and Its Fluctuations in Semi-Arid Climate of Tabriz

M. Khaledi Alamdari[1] and A. Majnooni Heris
PhD Student, Department of Water Science and Engineering, University of Tabriz.
m.khaledi.a@gmail.com
Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, University of Tabriz.
majnooni1979@yahoo.com

Received: May 2020, and Accepted: August 2020

Abstract

Annual and seasonal rainfall distributions are the main determinants of yield in rainfed conditions, of which seasonal rainfall is more important. Therefore, it is necessary to provide precipitation indicators that have a significant conceptual relation with crop performance fluctuations. In the present study, the relation between rainfall uniformity indices and rainfed wheat yield in Tabriz plain was evaluated in 19-years period. Also, in order to examine the effect of precipitation more accurately, the Rain-Time Index (RTI) was used, which could indicate the effect of simultaneous changes of the two factors of rainfall time and rainfall amount on crop yield fluctuations. The results showed that the correlation between rainfed wheat yield and slope of uniformity line (ratio of cumulative precipitation per length of growing period) was significant at 1% level. However, there was no significant correlation between the uneven distribution index and yield. Also, according to the obtained results, the first effective rainfall event is the most effective rainfall event on the yield of rainfed wheat. It seems that the inadequacy of effective spring rainfall, which is one of the main reasons for the low yield of rainfed lands, prevented the explanation of the positive effect of late season rainfall on yield. Therefore, in order to evaluate the effect of intermittent precipitation and Rain-Time Index on yield more accurately, a single supplementary irrigation should be applied at the stage of grain filling and its effect on the studied indicators and yield should be investigated.

Keywords: Precipitation Evenness index, RTI, Cumulative precipitation, Yield fluctuations

[1] -Corresponding author, PhD candidate, Water Engineering Department,, University of Tabriz, Iran