Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1254-1264

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص. ۱۲۶۴-۱۲۵۴

مدیریت آبیاری تکمیلی گندم دیم در زمان بروز خشکسالی با استفاده از شاخص رطوبت محصول (CMI)

(مطالعه موردی: بجنورد)

نجمه خلیلی[1*] - کامران داوری[2] - حسین انصاری[3] - امین علیزاده[4]

تاریخ دریافت:۸۹/۳/۲۵
تاریخ پذیرش:۸۹/۷/۱۱

چکیده

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین و از طرف دیگر ناشناخته‌ترین بلایای طبیعی است که اثرات سوء اقتصادی آن در کشاورزی دیم، سریع‌تر از سایر بخش‌ها آشکار می‌شود. در این تحقیق برای پایش خشکسالی هم از منظر هواشناسی و هم از دیدگاه کشاورزی، به بررسی موضوع پرداخته‌ایم. از شاخص‌های هواشناسی، شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در مقیاس زمانی یک ماهه برای ایستگاه سینوپتیک بجنورد انتخاب، تعیین و تحلیل گردید. نتایج شاخص SPI بدست آمده از داده‌های بارش ایستگاه مذکور و همچنین روند تغییرات خشکسالی در دوره (۱۳۷۵-۱۳۸۴)، نشان می‌دهد که به غیر از سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ که خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید با فصل رشد گندم دیم در منطقه بجنورد (بطور متوسط اوایل آبان تا اواخر خرداد)، همزمان بوده است، در سایر سال‌ها در فصل رشد محصول خشکسالی هواشناسی رخ نداده یا در حد نزدیک به نرمال بوده است. دوره ۱۳۷۷/۸ الی ۱۳۷۸/۲ به عنوان خشک‌ترین دوره و دوره ۱۳۸۳/۸ الی ۱۳۸۴/۸ به عنوان مرطوب‌ترین دوره بوده است. شاخص‌های هواشناسی از جمله شاخص SPI یا تنها تابعی از بارش بوده و یا مقیاس زمانی بلندمدت را درنظر می‌گیرند، در نتیجه برای پایش وضعیت تنش رطوبتی محصول در مقیاس-های زمانی کوتاه (روزانه یا هفتگی)، کارآیی لازم را ندارند. لذا، با هدف پایش خشکسالی کشاورزی، و دخالت دادن اثر دما در کنار بارش، شاخص رطوبتی محصول (CMI) در مقیاس زمانی هفتگی نیز انتخاب و تعیین گردید. برای این منظور داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بجنورد در طی ۱۰ سال (۱۳۷۵- ۱۳۸۴) استفاده شد. نتایج شاخص CMI ، نشان می‌دهد که در آخرین هفته پر شدن دانه (تقریباً هفته اول خرداد)، خشکسالی خیلی شدید (۲/۷- > CMI > ۳-) و در هنگام بلوغ و رسیدن محصول، خشکسالی غیر معمول (۳- > CMI) بوده است. درنهایت، مطابق با پایش خشکسالی و دوره‌های حساس رشد محصول، برنامه‌ای برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در این منطقه پیشنهاد گردیده است. از نظر تئوری، آبیاری تکمیلی بخصوص در مرحله دانه‌دهی و پرشدن دانه، به مقدار ۱۹۱ میلی‌متر در دوره مذکور لازم است.

واژه های کلیدی: بجنورد، پایش خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش، شاخص رطوبت محصول، گندم دیم

مقدمه

خشکسالی یکی از وقایع طبیعی است که به‌صورت مکرر یا متناوب اتفاق می‌افتد و تقریباً در هر نوع آب و هوایی وقوع آن محتمل است. اما نشانه‌های آن در مقایسه با دیگر وقایع طبیعی به آرامی ظاهر می‌شود و اثرات آن نیز به تدریج در منطقه وسعت پیدا می‌کند (۲۳). تعریف کلی خشکسالی عبارت از وضعیت کمبود بارش است بطوری که از نظر میزان به حدی باشد که یک ناحیه را تحت تأثیر منفی قرار دهد (۲۲). اما این تعریف بسیار کلی است و تفاوتی بین جنبه مهم خشکسالی یعنی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی قایل نشده است (۳). خشکسالی کشاورزی هنگامی اتفاق می‌افتد که در اثر کمبود بارش نسبت به بارش نرمال در دوره‌های زمانی خاصی، رطوبت خاک به حدی کاهش یابد که نواحی زراعی و مراتع به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار گیرند. بخش کشاورزی دیم اولین بخشی است که از نظر اقتصادی تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد (۲۴). بطوری‌که اگر یک خشکسالی کوتاه‌مدت در مراحل رشد حساس گیاه رخ دهد، اثرات آن بر محصول بسیار محسوس است (۷). لذا مدیریت خشکسالی کشاورزی برای کاهش اثرات حاصله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اولین گام در مدیریت خشکسالی، پایش و در واقع

۱، ۲، ۳ و ۴ – به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: najmehkhalili@gmail.com)

www.SID.ir

Archive of SID

کمی‌سازی شدت خشکسالی می‌باشد. این در حالی است که پایش خشکسالی کشاورزی در مقایسه با خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی مشکل‌تر و پیچیده‌تر می‌باشد، زیرا در این نوع خشکسالی کمبود آب نه بطور تنها، بلکه در رابطه با نیاز گیاه مطرح می‌باشد (۳).

یک ابزار رایج برای کمی‌کردن شدت خشکسالی‌ها، استفاده از شاخص‌های خشکسالی است. شاخص‌های مختلفی برای این منظور وجود دارد و توسط محققین بسیاری در مطالعات مربوط به خشکسالی از آنها استفاده شده است (۴،۹،۱۰،۱۲،۱۳و۱۴). این شاخص‌ها می‌توانند کاربرد کلی و عمومی داشته باشند یا به‌طور خاص برای اهداف مخصوص کشاورزی ارائه شده باشند (۲۰). از شاخص‌های پرکاربرد می‌توان به شاخص بارش استاندارد شده (SPI[1]) اشاره کردکه تابعی از بارش می‌باشد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف ماهانه مثلاً ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۲۸ ماهه حساب می‌شود (۹). شاخص معروف دیگر، شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI[2]) می‌باشد که پیچیده‌تر از SPI بوده و به داده‌های بارش، دما و داده‌های رطوبت خاک نیاز دارد (۱۲). اما شاخص‌های مذکور بطور ذاتی برای پایش خشکسالی هواشناسی توسعه داده شده‌اند و مقیاس ماهانه دارند. لذا، برای تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی چندان مناسب به نظر نمی‌رسند. لازم به ذکر است که طول مقیاس زمانی در پایش خشکسالی‌ها، اهمیت خاصی دارد (۲۳) و اگر تحلیل خشکسالی‌ها با اطلاعات مرحله رشد محصول ترکیب شود، ریسک آسیب خشکسالی روی محصولات به حداقل می‌رسد (۱۱). و چون مراحل رشد گیاه عموماً بر پایه روزانه یا هفتگی است، لذا مقیاس زمانی ماهانه برای تحلیل شدت خشکسالی کشاورزی بسیار طولانی است.

از طرفی، شاخص رطوبت محصول (CMI[3]) که توسط پالمر (۱۳) توسعه داده شده است، برای کمی‌کردن خشکسالی کشاورزی مناسب به نظر می‌رسد. این شاخص بر اساس کمبود رطوبت نسبت به نیاز رطوبتی محصول است و به خوبی در مقابل تغییرات کوتاه‌مدت وضعیت رطوبتی گیاه واکنش نشان می‌دهد. CMI، معمولاً در گام-های زمانی هفتگی حساب می‌شود و شدت خشکسالی را در بازه زمانی فصل رشد محصول کمّی می‌کند (۱۴). تمامی خصوصیات فوق سبب شده که این شاخص به عنوان یکی از مؤثرترین شاخص‌های خشکسالی کشاورزی در طی فصل رشد شناخته شود (۶). بطوری‌که امروزه در مرکز تخفیف اثرات خشکسالی نبراسکا از این شاخص برای پایش وضعیت رطوبتی هفتگی محصولات استفاده شده ونقشه‌های CMI هفتگی تهیه می‌گردد (۵).

به کمک شاخصی مثل SPI، می‌توان تاریخ شروع، خاتمه و شدت دوره‌های خشکسالی را در مقیاس یک ماهه پایش نمود. از طرفی وضعیت رطوبتی محصول را با استفاده از شاخص CMI در دوره زمانی کوتاه (هفتگی) تعیین کرده و مطابق با نتایج، عکس‌العمل دو شاخص را نسبت به کمبود آب تحلیل نمود.

آبیاری تکمیلی، عملیاتی رایج در مناطق خشک و نیمه‌خشک است و در زمانی که بارش پاسخگوی رطوبت برای رشد مناسب گیاه نیست، به منظور بهبود عملکرد از آبیاری محصولات دیم در طی چند نوبت استفاده می‌شود (۸). از طرفی، شاخص CMI مشخص می‌سازد که تا چه میزان آب ناشی از بارش کل هفته برای تأمین نیاز آبی گیاه کافی بوده است (۱۳). لذا، می‌توان از این شاخص برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری تکمیلی محصول نیز استفاده نمود. بطور کلی، با استفاده از آبیاری تکمیلی در شرایط دیم، می‌توان عملکرد محصول را بهبود بخشید. ایلبی و همکاران (۸)، در تحقیقی که در ترکیه انجام دادند، مشاهده نمودند که افزودن ۵۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی در هنگام کاشت محصول، موجب افزایش ۶۵ درصدی در عملکرد دانه گندم دیم شده است. در تحقیقی دیگر در ترکیه نیز عملکرد دانه گندم از ۰/۹ و ۳ تن در هکتار به ترتیب به ۲/۵ و ۴/۵ تن در هکتار افزایش یافته است (۱۷). در شیراز نیز آبیاری تکمیلی در مرحله ساقه‌رفتن، تأثیر بارزی بر عملکرد دانه گندم داشته است. چنانچه، عملکرد دانه بطور متوسط حدود ۲۱۰ درصد افزایش داشته است (۱).

با توجه به اهمیت محصول گندم و ضرورت تشخیص و تحلیل خشکسالی‌های ممکن در مرحله رشد آن، و با توجه به این موضوع که پایش خشکسالی کشاورزی با روش ذکر شده در این مقاله در منطقه بجنورد که یکی از مراکز کشت گندم دیم در استان خراسان شمالی می‌باشد، تا بحال صورت نگرفته است، این تحقیق با اهداف، الف) پایش خشکسالی با شاخص SPI، ب) پایش خشکسالی کشاورزی بر گندم دیم با شاخص رطوبت محصول و ب) برنامه زمان‌بندی آبیاری تکمیلی گندم دیم، در منطقه بجنورد، انجام گردیده است. برای این منظور داده‌های بارش ماهانه ۲۵ سال (۱۳۶۱-۱۳۸۶) و داده‌های هواشناسی روزانه ۱۰ سال (۱۳۷۵-۱۳۸۴) در ایستگاه سینوپتیک بجنورد مورد استفاده قرار گرفت. در بخش نخست مقاله، موقعیت، داده‌های برداشت‌شده و روش مربوطه شرح داده شده است. بحث لازم بر روی نتایج حاصله در بخش دوم انجام گردیده و در آخرین بخش، نتیجه‌گیری کلی تحقیق به‌همراه پیشنهادات لازم در جهت بهبود نتایج ارائه گردیده است.

مواد وروش ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

موقعیت مورد مطالعه در این تحقیق، ایستگاه سینوپتیک شهر

1 - Standardized Precipitation Index
2 - Palmer Drought Severity Index
3- Crop Moisture Index

www.SID.ir

Archive of SID

بجنورد در استان خراسان شمالی، واقع در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب E ۱۹′ ° ۵۷ و N ۲۸′ ° ۳۷ می‌باشد که در ارتفاع ۱۰۹۱ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل۱). طبق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، بجنورد دارای اقلیم نیمه خشک سرد و طبق طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک می‌باشد (۲۳).

مجموع بارندگی سالانه بطور متوسط ۲۷۲/۵ میلی‌متر و میانگین دما ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جدول (۱) مجموع بارندگی و میانگین دمای متوسط هر فصل را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (۲۵).

تغییرات بارش و درجه حرارت در ایستگاه بجنورد در طی ده سال (۱۳۷۵ الی ۱۳۸۴) نیز در شکل (۲) نشان داده شده است (۲۵). مطابق شکل مذکور بیشترین مقادیر بارش در طی دوره آماری مورد نظر، ۱۰۳ و ۹۹ میلی‌متر به ترتیب در فروردین ۱۳۸۱ و شهریور ۱۳۸۹ بوده است. همچنین نوسانات زیاد و پراکندگی نامناسب بارش در ایستگاه بجنورد به خوبی در شکل (۲) مشخص است. حداکثر و حداقل درجه حرارت نیز در طی ده سال مورد بررسی، به ترتیب ۲۶/۷ و ۲/۲- درجه سانتی‌گراد در مرداد ۱۳۷۶ و بهمن ۱۳۷۵ بوده است. نوسانات درجه حرارت تقریباً در سال‌های مختلف، مشابه هم بوده است.

به علت فقدان داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق توسط لایسیمتر، از روش تأییدشده پنمن مانتیث فائو (۲) برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع استفاده شد. برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع و همچنین سایر متغیرهای مورد نیاز در محاسبه شاخص رطوبت محصول (CMI)، از داده‌های هواشناسی روزانه ایستگاه مذکور در طی ۱۰ سال از ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۴ استفاده گردید. از آنجایی که محاسبه شاخص SPI به داده‌های بلندمدت بارش - ترجیحاً سی سال- نیاز دارد (۱۹)، داده‌های بارش ماهانه ایستگاه بجنورد در طی ۲۵ سال (۱۳۶۱-۱۳۸۶) برای تعیین شاخص SPI مورد استفاده قرار گرفت.

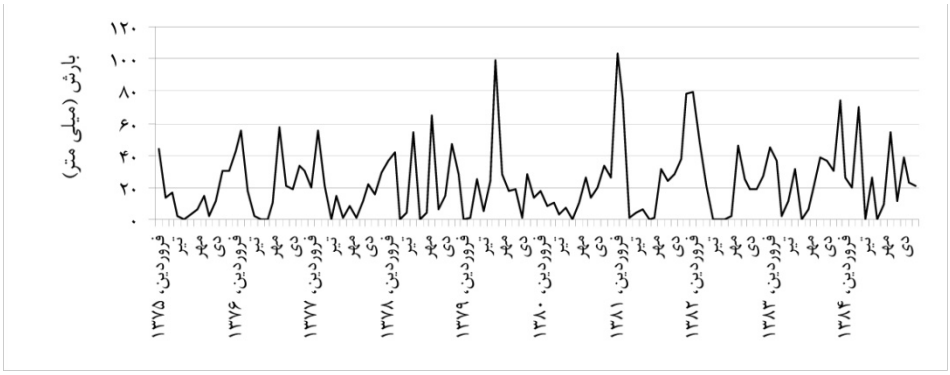
شکل ۱- موقعیت ایستگاه مورد مطالعه

جدول ۱- متوسط بارش و دمای متوسط فصول مختلف سال در بجنورد

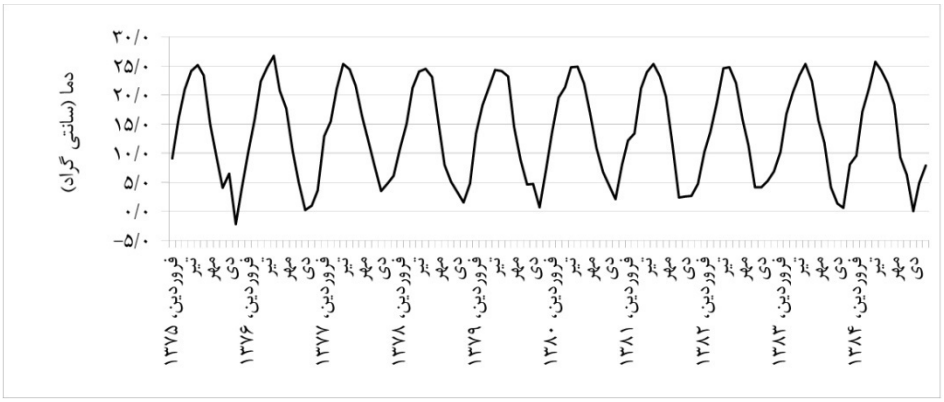
متغیر هواشناسی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بارش (میلی‌متر)	۹۶	۳۰	۵۹	۸۷
دمای متوسط (درجه سانتی‌گراد)	۱۶	۲۳	۱۰	۴

www.SID.ir

Archive of SID



(الف)



(ب)

شکل ۲- تغییرات دما و بارش ایستگاه بجنورد (۱۳۷۵-۱۳۸٤)، (الف) مجموع بارش ماهانه و (ب) میانگین دمای ماهانه

داده‌های مربوط به محصول گندم دیم در بجنورد نیز از سازمان جهاد کشاورزی خراسان شمالی اخذ گردید. گندم پاییزه، در پاییز جوانه می‌زند و سپس در فصل زمستان، محصول به صورت گیاه جوان کوچکی باقی می‌ماند و با آغاز فصل بهار، مجدداً رشد و نمو خود را آغاز می‌کند و معمولاً در اواخر بهار یا اوایل تابستان آماده برداشت می‌شود. با توجه به تاریخ بارش مؤثر پاییزه در سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۴، تاریخ کشت گندم دیم در منطقه بصورت جدول (۲) می‌باشد.

جدول ۲- مراحل رشد گندم دیم در بجنورد

سال	تاریخ کاشت	سال	تاریخ کاشت
۱۳۷۵	۲۹ مهر	۱۳۸۰	۲۸ مهر
۱۳۷۶	۲ آبان	۱۳۸۱	۸ آبان
۱۳۷۷	۴ آبان	۱۳۸۲	۵ آبان
۱۳۷۸	۳ آبان	۱۳۸۳	۲۳ مهر
۱۳۷۹	۲۶ مهر	۱۳۸۴	۱ آبان

فصل رشد گندم نیز بر اساس گفته زارعین منطقه، حدود ۳۴ هفته (هفته آخر مهر- هفته اول آبان الی نیمه تا هفته آخر خرداد) درنظر گرفته شد. دوره رشد محصول را بصورت جدول (۳) می‌توان بیان نمود.

جدول ۳- مراحل رشد گندم دیم در بجنورد

هفته	دوره
دوم	سبز شدن
بیست و دوم	رشد رویشی
بیست و چهارم	آغاز گلدهی
بیست و هفتم	پرشدن دانه
سی و دوم	بلوغ

در این تحقیق، نتایج خشکسالی کشاورزی پایش شده توسط شاخص رطوبت محصول و نتایج پایش خشکسالی هواشناسی بدست آمده از شاخص استاندارد شده بارش تحلیل گردید و در نهایت مطابق با پایش خشکسالی و دوره‌های حساس رشد محصول، برنامه‌ای برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در این منطقه پیشنهاد شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه شاخص SPI

برای محاسبه SPI، ابتدا سری‌های زمانی در مقیاس‌های مذکور تشکیل می‌شود و سپس تابع توزیع احتمال گاما بر سری‌های بارندگی حاصل از مرحله قبل برازش داده می‌شود. در مرحله بعد، احتمالات تجمعی توزیع گاما محاسبه می‌شود. احتمال تجمعی توزیع گاما به مقدار متغیر تصادفی نرمال استاندارد هم احتمال که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک است، تبدیل می‌گردد. این مقدار همان شاخص SPI می‌باشد. برای جزئیات بیشتر محاسبه شاخص استاندارد شده بارش می‌توان به مراجعی مانند مک‌کی و همکاران (۹)، تساکریس و وانگلیس (۲۱)، هایز (۱۲) و شهید و بهروان (۱۵) مراجعه کرد.

درجات مختلف SPI در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ٤- طبقات مختلف شاخص SPI، (٤)

طبقات شدت خشکسالی	شاخص SPI
مرطوب خیلی شدید	۲+ و بیشتر
مرطوب شدید	۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک نرمال	۰/۹۹ تا ۰/۹۹-
خشکسالی متوسط	۱- تا ۱/۴۹-
خشکسالی شدید	۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشکسالی خیلی شدید	۲- و کمتر

در واقع خشکسالی در مقیاس زمانی مشخص و در یک دوره معین، زمانی به وقوع می‌پیوندد که مقدار SPI به زیر صفر برسد و تا زمانی که بصورت پیوسته منفی باشد، خشکسالی تداوم یافته و زمانی که مقدار آن به بالای صفر افزایش یابد، به اتمام می‌رسد.

محاسبه شاخص CMI

اساس محاسبه شاخص خشکسالی CMI، اختلاف تجمعی بین تبخیر- تعرق واقعی محصول نسبت به حداکثر تبخیر- تعرق مورد نیاز آن طبق شرایط جوی می‌باشد. در محاسبه تبخیر-تعرق واقعی، روش توازن آب تورنت وایت و متر بکار می‌رود (۳ و ۱۸). مطابق این روش، هنگامی که بارش رخ می‌دهد، آب مطابق با نیاز تبخیر- تعرق گیاهان، مورد استفاده آنها قرار می‌گیرد. هنگامی که بارش بیشتر از حد نیاز آبی گیاهان باشد، مقدار اضافی آن به خاک وارد شده و خاک را تغذیه می‌کند و این تغذیه ادامه می‌یابد تا وقتی که رطوبت به حد ظرفیت زراعی برسد. مقداری از بارش نیز بصورت رواناب یا نفوذ عمقی خارج می‌شود. اما در دوره‌ای که بارش کمتر از حد نیاز آبی گیاه باشد، محصول رطوبت را از خاک جذب می‌کند تا به نیاز آبی خود پاسخ دهد. همچنان که جذب رطوبت از خاک ادامه می‌یابد، خاک بطور پیشرونده‌ای خشک شده و نرخ تبخیر- تعرق نیز کاهش می‌یابد. تورنت‌وایت و متر (۱۸) بیان کردند که جذب رطوبت از خاک مطابق رابطه نمایی (۱) محاسبه می‌شود.

$$S = AWC \ \exp \frac{\sum (p - PE)}{AWC} \qquad (۱)$$

که در آن، S جذب رطوبت از خاک، P بارش، PE تبخیر- تعرق پتانسیل و AWC آب قابل دسترس در خاک است. علامت Σ هفته‌های متوالی در فصل رشد را نشان می‌دهدکه مجموع بارش در آنها کمتر از تبخیر- تعرق پتانسیل است.

در محاسبات توازن آب، بارش هر هفته با تبخیر- تعرق پتانسیل آن مقایسه می‌شود. هنگامی‌که بارش بیشتر از تبخیر- تعرق پتانسیل باشد، تبخیر- تعرق واقعی معادل با تبخیر- تعرق پتانسیل فرض می‌شود. زمانی‌که بارش کمتر از تبخیر- تعرق پتانسیل باشد، یعنی زمانی که رطوبت از خاک جذب می‌گردد، تا بتواند کمبود را جواب دهد، تبخیر- تعرق واقعی در این حالت معادل با بارش به علاوه رطوبت جذب‌شده از خاک است (۱۸).

اختلاف بین تبخیر- تعرق واقعی (ET_a) و تبخیر- تعرق مورد نیاز گیاه ($E\hat{T}$)، برای تعیین تنش رطوبتی بکار می‌رود. که $E\hat{T}$ هر هفته با ضرب تبخیر-تعرق مرجع در ضریب گیاهی همان هفته حساب می‌شود. اگر $ET_a < E\hat{T}$، محصول تحت تنش قرار می‌گیرد (۱۳). بدین ترتیب کل مقادیر کمبود رطوبت (مقادیر منفی) برای ۳۴ هفته در ایستگاه مشخص می‌شود.

شاخص آنامولی تبخیر- تعرق (Z) مطابق با رابطه (۲) حساب می‌شود.

$$Z = \eta (ET_a - E\hat{T}) \qquad (۲)$$

که در آن، Z: شاخص آنامولی تبخیر- تعرق هر هفته و η: آنامولی تبخیر- تعرق هفتگی می‌باشد.

اگر D_1 و D_2 به ترتیب حداکثر آنومالی‌های منفی تجمعی مشاهده شده در n_1 و n_2 هفته متوالی در طی فصل رشد باشند و اگر $D_1 > D_2$ باشد، آنگاه η از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{(\frac{D_1}{n_2})}{(\frac{D_2}{n_2})} \qquad (۳)$$

مطابق رابطه (۳) و (۴)، با استفاده از مقدار η، مقادیر Z برای آن هفته‌هایی از فصل رشد که $ET_a < E\hat{T}$ برقرار است، حساب می‌شود. سپس برای هر فصل رشد، ΣZ برای یک هفته، دو هفته متوالی، سه هفته متوالی و غیره حساب می‌شود. لازم به ذکر است که

www.SID.ir

Archive of SID

ΣZ تنها برای هفته‌های متوالی حساب می‌شود که مقادیر Z منفی دارند. این روش برای هر سال تکرار می‌شود. سپس مقادیر ΣZ در مقابل زمان (هفته) رسم می‌شود. در نهایت مقادیر مذکور در طبقه-بندی شاخص CMI مقیاس‌بندی می‌شوند. بطوری که بیشترین مقدار ΣZ منطبق بر حد خشکسالی غیر معمول[1] قرار گرفته و سایر مقادیر در بازه‌های تعریف شده CMI جای می‌گیرند (۳). شدت خشکسالی در این روش بصورت جدول (۵) طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۵- طبقه‌بندی شاخص CMI برای دوره‌های خشک (۳)

شدت خشکسالی	شاخص خشکسالی
خشکسالی متوسط	$-۱/۸ < CMI < ۰$
خشکسالی شدید	$-۲/۷ < CMI < -۱/۸$
خشکسالی خیلی شدید	$-۳ < CMI < -۲/۷$
خشکسالی غیر معمول	$CMI < -۳$

برنامه زمان‌بندی آبیاری تکمیلی

نتایج حاصل از پایش شدت خشکسالی کشاورزی در تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌های کشاورزی دیم و به‌خصوص مسایل مربوط به تاریخ کشت یا استفاده از آبیاری تکمیلی در مراحل حساس رشد کاربرد فراوانی دارد. لذا، در این تحقیق برنامه‌ای برای زمان‌بندی و مقدار آبیاری تکمیلی ارائه شد. برای این منظور، انطباق زمانی مراحل حساس رشد با نتایج شاخص رطوبت محصول بدست آمده از مرحله قبل استخراج شد. که نتایج حاصل از توسعه مدل و برنامه پیشنهادی آبیاری تکمیلی در بخش نتایج و بحث شرح داده می‌شوند.

نتایج و بحث

در این تحقیق شاخص استاندارد شده بارش و شاخص رطوبت محصول به ترتیب برای پایش خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی بر روی محصول گندم دیم در بجنورد (مرکز استان خراسان شمالی) محاسبه شد. نتایج پایش خشکسالی با استفاده از شاخص SPI یک ماهه برای ۲۵ سال داده بارش ماهانه ایستگاه بجنورد در شکل (۳) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۳) و مقادیر شاخص استانداردشده بارش بدست آمده، ویژگی‌های خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه قابل تحلیل می‌باشد. نمودار شکل مذکور نشان می‌دهد که در مقیاس زمانی یک ماهه در سال‌های ۱۳۶۱ الی ۱۳۶۹ شدت خشکسالی‌ها کم بوده است. بطوری‌که تقریباً تمام ماه‌های خشک، خشکسالی نزدیک به نرمال داشته‌اند، به غیر از شش ماه که خشکسالی متوسط بوده و ماه نهم سال ۱۳۶۹ که خشکسالی در حد خشک خیلی شدید (۲/۱۶- = SPI) بوده است. در خلال سال‌های ۱۳۷۰ الی ۱۳۷۹، اگرچه ماه-های زیادی خشکسالی نزدیک به نرمال بوده است، اما تعداد خشکسالی‌های شدیدتر افزایش یافته است. بطوری‌که دوازده ماه خشکسالی متوسط و چهار ماه خشکسالی شدید وجود داشته و ماه دوم از سال ۱۳۷۸ نیز خشکسالی خیلی شدید (۲/۸۶- = SPI) بوده است. مجدداً در سال ۱۳۸۰ الی ۱۳۸۶، شدت خشکسالی‌ها و تعداد آنها کاهش یافته است. چنانچه، تنها شش خشکسالی متوسط وجود داشته و هیچ خشکسالی شدید یا خیلی شدیدی رخ نداده است.

در این تحقیق، بیشتر بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۴، که شاخص رطوبت محصول نیز در این دوره محاسبه گردید، برای بررسی SPI مد نظر قرار گرفت. برای این دوره بخصوص، مقادیر SPI های کوچکتر و بزرگتر ازصفر، تداوم خشکسالی و ترسالی و زمان شروع و خاتمه هر کدام در جدول (۶) آمده است.

جدول ٦- مقادیر SPI منفی و تداوم خشکسالی در طی سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸٤

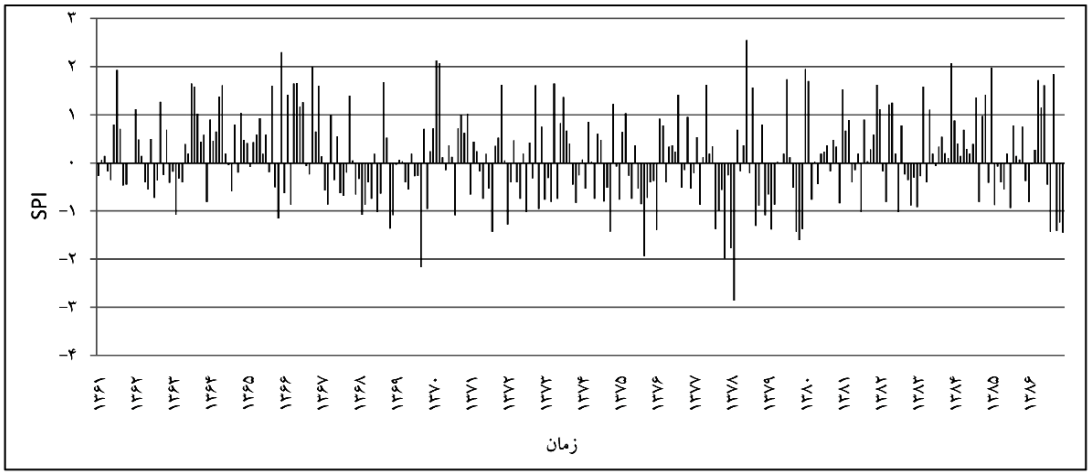
تعداد SPI<0	۶۸
بیشترین تداوم خشکسالی (ماه)	۷
تعداد خشکسالی‌های با بیشترین تداوم	۲
زمان وقوع خشکسالی با بیشترین تداوم	۱۳۷۶/۰۱ - ۱۳۷۵/۰۷ ۱۳۷۸/۰۲-۱۳۷۷/۰۸
تعداد SPI>0	۷۶
بیشترین تداوم ترسالی (ماه)	۱۳
تعداد ترسالی‌های با بیشترین تداوم	۱
زمان وقوع ترسالی با بیشترین تداوم	۱۳۸۴/۰۸-۱۳۸۳/۰۸

تحلیلی خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید نشان می‌دهد که دوره ۱۳۷۷/۸ (آبان ۷۷) الی ۱۳۷۸/۲ (اردیبهشت ۷۸) به عنوان خشک‌ترین دوره در طول ۱۰ سال (۱۳۷۵-۱۳۸۴) می‌باشد و در واقع بیشترین تداوم خشکسالی‌های شدید را دارا است که مقارن با ۸۷ درصد از فصل رشد گندم دیم (آبان- آذر تا اردیبهشت) در منطقه نیز می‌باشد. دوره ۱۳۸۳/۸ (آبان ۸۳) الی ۱۳۸۴/۸ (آبان ۸۴) بیشترین تداوم ترسالی‌ها را داشته که از طرفی بطور ۱۰۰ درصد با فصل رشد گندم پاییزه در سال ۱۳۸۳ همپوشانی داشته است (جدول ۶). بیشترین مقدار مثبت شاخص (۲/۵۴ = SPI)، در شهریور ۱۳۷۸ وقوع یافته که البته خارج از فصل رشد گندم بوده است. بطور کلی با توجه نتایج بدست آمده، ماه‌هایی که در آنها خشکسالی وقوع می‌یابد، در سال‌های مختلف، متفاوت هستند (شکل۳). اما در تحلیل انطباق زمانی ماه‌های خشکسالی با ماه‌های فصل رشد در طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۴، می‌توان گفت به غیر از سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ که خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید با فصل رشد گندم همزمان بوده است، در سایر سال‌ها در فصل رشد محصول(تقریباً اوایل آبان تا اواخر خرداد)، خشکسالی هواشناسی رخ نداده یا در حد نزدیک به نرمال بوده است.

1 - Exceptional

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- مقادیر شاخص استاندارد شده بارش در ایستگاه سینوپتیک بجنورد در مقیاس زمانی یک ماهه

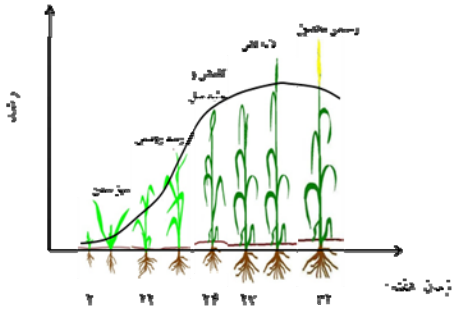
خشکسالی کشاورزی گندم دیم در بجنورد نیز با شاخص رطوبت محصول پایش گردید. برای تعیین شاخص رطوبت محصول، آنومالی تبخیر- تعرق هفتگی η و شاخص آنومالی تبخیر- تعرق تجمعی ΣZ برای ۳۴ هفته فصل رشد در سال‌های ۱۳۷۵ الی ۱۳۸۴ محاسبه شد. هنگامی که $ET_a < \hat{ET}$ بوده است، مقدار شاخص CMI برابر با صفر فرض شده است. نمودار مراحل رشد محصول مطابق جدول (۳)، در شکل (۴) آمده است. مقدار CMI برای هفته‌های متوالی از فصل رشد نیز در شکل (۵) آمده است.

مطابق شکل (۵) و مقادیر بدست آمده شاخص رطوبت محصول در ۱۰ سال مختلف مشخص می‌شود که بطور میانگین در بجنورد تنش خشکسالی از هفته بیست و هشتم و بیست و نهم (تقریباً دهه دوم اردیبهشت و منطبق با مرحله دانه‌دهی محصول) از حالت متوسط به حالت شدید می‌رسد و تا هفته سی‌ام و سی و یکم در حد شدید باقی مانده، در برخی سال‌ها در هفته سی و یکم (تقریباً اوایل خرداد، اواخر پرشدن دانه) خشکسالی در حد خیلی شدید می‌باشد. میانگین نتایج بدست آمده، حاکی از آن است که در هفته سی و دوم تا سی و چهارم (تقریباً نیمه دوم خرداد، مرحله بلوغ و رسیدن محصول)، خشکسالی در حد غیر معمول بر محصول وارد می‌شود. بطور کلی، خشکسالی‌های هفتگی در فصل پاییز، زمستان و اوایل بهار به علت بارندگی‌های هر چند نامتوالی و منقطع، جبران می‌شود. اما در اردیبهشت و خرداد که به تدریج میزان بارش به حداقل و صفر می‌رسد، از طرفی به علت تجمعی شدن اثرات تنش و خشک شدن پیشرونده خاک و از طرف دیگر به علت افزایش دما و نیاز آبی محصول در دوره‌های توسعه گیاه، تنش در هفته‌های متوالی بطور صعودی با شیبی تقریباً یکنواخت افزایش می‌یابد.

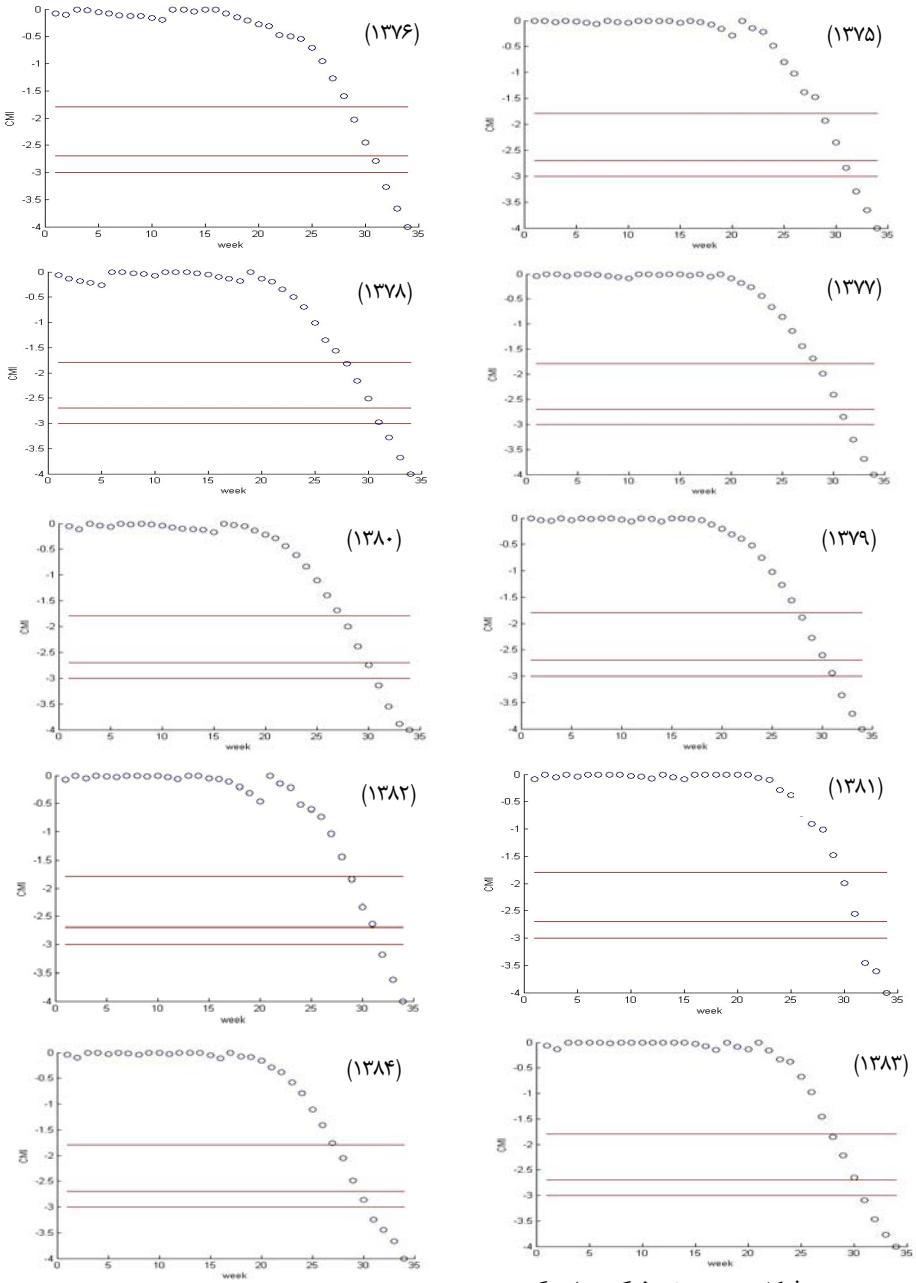
به نظر می‌رسد در مراحلی از رشد گندم دیم، می‌توان با آبیاری تکمیلی عملکرد را بهبود بخشید. آبیاری تکمیلی بهینه در مناطق دیم‌کاری بر سه اساس صورت می‌گیرد: الف) فقط برای بهبود عملکرد محصولی که به صورت دیم کشت شده است، و بدون آبیاری عملکرد معمولی دارد، ب) در زمانی که بارندگی که تنها منبع تأمین رطوبت است، نتواند رطوبت ضروری را برای بهبود عملکرد فراهم آورد، آبیاری تکمیلی انجام می‌شود و ج) مقدار و زمان آبیاری تکمیلی به صورتی برنامه‌ریزی می‌شود که بتوان با کمترین مقدار آب قابل دسترس، در طی مراحل حساس رشد محصول، به عملکرد بهینه (و نه عملکرد حداکثر) دست یافت. در این تحقیق، مورد دوم مد نظر قرار گرفته است و در واقع کمبود آبیاری تکمیلی بر اساس مقادیر کمبود رطوبت از نظر تئوری محاسبه گردیده است. پیشنهاد می‌شود که در رشد رویشی (هفته بیست و دوم و بیست و سوم) که شیب نزولی شاخص (افزایش تنش) نیز در همین زمان آغاز می‌شود، آبیاری تکمیلی به اندازه کمبود رطوبت انجام شود. همچنین در مراحل حساس گلدهی و پرشدن دانه (بیست و چهارم الی سی و یکم) به خصوص از هفته بیست و هشتم به بعد که خشکسالی از حد متوسط به شدید می‌رسد، آبیاری تکمیلی برای بهبود عملکرد محصول لازم است. در هفته‌های سی و دوم الی سی و چهارم با اینکه تنش در حالت غیر معمول درجه‌بندی می‌شود، اما به علت به بلوغ رسیدن محصول و گذر از مراحل حساس، نیازی به آبیاری تکمیلی نمی‌باشد. جدول (۷) مقادیر میانگین آب آبیاری در هفته‌هایی که آبیاری تکمیلی لازم است، را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- مراحل رشد محصول گندم



شکل ٥- CMI هفتگی برای گندم دیم در بجنورد در سال‌های مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- مقدار آب مورد نیاز متوسط برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در بجنورد

هفته	مقدار آب مورد نیاز (میلی‌متر در هفته)
۲۲	۱۴/۷
۲۳	۱۴
۲۴	۲۴/۶
۲۵	۲۷/۳
۲۶	۳۵/۶
۲۷	۳۴/۳
۲۸	۳۱/۲
۲۹	۵۱/۷
۳۰	۵۳
۳۱	۵۵/۱

در واقع، شاخص رطوبت محصول (CMI)، درجه‌ای که لازم است نیاز رطوبتی محصول برطرف شود را اندازه‌گیری می‌کند. لذا با تعیین مقدار کمبود رطوبت یعنی عدد منفی حاصل از اختلاف ET_a و $\hat{ET}$، می‌توان مقدار آب مورد نیاز آبیاری تکمیلی را محاسبه نمود. لذا مقادیر بدست آمده در جدول مذکور برای دستیابی به عملکرد حداکثر، می‌باشند. که می‌توان در اجرای آبیاری تکمیلی به نحوی مدیریت اعمال کرد که این مقدار را در یک نوبت آبیاری (بطور مثال در هفته ۲۹ به مقدار لازم آن هفته و هفته پس از آن) در اختیار گیاه قرار داد.

بطور کلی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که شاخص رطوبت محصول در مقیاس هفتگی در مقایسه با شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس یک ماهه سریعتر به کمبود رطوبت عکس‌العمل نشان می‌دهد و لذا برای پایش خشکسالی کشاورزی مناسب‌تر می‌باشد. مزیت دیگری که شاخص CMI نسبت به شاخص SPI دارد، همان دخالت دادن عامل دما در قالب تبخیر- تعرق در کنار بارش است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج بدست آمده نشان داد که که شاخص رطوبت محصول در مقیاس هفتگی در مقایسه با شاخص استاندارد شده بارش در مقیاس یک ماهه سریعتر به کمبود رطوبت عکس‌العمل نشان می‌دهد.

همچنین نتایج بدست آمده از شاخص CMI نشان می‌دهد که در این منطقه بطور میانگین، از اوایل رشد گندم تا قبل از مرحله دانه-دهی، خشکسالی - در صورت وجود - به صورت متوسط ($-۱/۸ < CMI < ۰$)، در اواسط تا اواخر پر شدن دانه، خشکسالی شدید ($-۲/۷ < CMI < -۱/۸$)، در آخرین هفته پر شدن دانه، خشکسالی خیلی شدید ($-۳ < CMI < -۲/۷$) و در هنگام بلوغ و رسیدن محصول، خشکسالی غیر معمول ($CMI < -۳$) بوده است.

با توجه به نتایج حاصل و مطابق با مراحل حساس رشد، برای دستیابی به عملکرد حداکثر محصول، آبیاری تکمیلی بالاخص در هفته بیست و هشتم تا سی و یکم رشد (دانه‌دهی و پرشدن دانه) بطور متوسط ۱۹۱ میلی‌متر در دوره مذکور لازم است. این مقدار آبیاری، عملکرد محصول را به سمت عملکرد گندم آبی سوق می‌دهد.

با توجه به خصوصیات شاخص رطوبت محصول، شامل مقیاس هفتگی و دخالت دادن عامل دما در تعیین تبخیر- تعرق در کنار بارش، می‌توان گفت در مقایسه با شاخص‌های دیگری چون SPI، شاخص مذکور یعنی CMI، برای پایش خشکسالی کشاورزی مناسب‌تر می‌باشد.

در این تحقیق برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی از روش توازن آب تورنت وایت و متر (۱۸) استفاده شد. پیشنهاد می‌شود برای بدست آوردن نتایج دقیق‌تر از وضعیت رطوبت محصول، تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش سنجش از دور محاسبه شده و سپس شاخص CMI تعیین گردد.

همچنین برای تعیین تبخیر- تعرق مرجع از روش تأیید شده فائو پنمن مانتیث (۲) استفاده شد. اما بدیهی است برای توسعه این روش در مناطق دیگرکه دارای لایسیمتر می‌باشند، استفاده از داده‌های واقعی تبخیر-تعرق مرجع بدست آمده از لایسیمتر در ارجحیت است.

پیشنهاد می‌گردد که خشکسالی کشاورزی گندم دیم در سایر ایستگاه‌ها که دارای آمار روزانه می‌باشند، نیز با استفاده از شاخص رطوبت محصول پایش شده و نقشه‌های پهنه‌بندی برای مناطق مختلف تهیه گردد تا بتوان از نتایج آن برای تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی، تدوین سیاست‌های کلان و مدیریت خشکسالی کشاورزی، بیمه محصولات و غیره استفاده نمود.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از اداره سازمان هواشناسی استان خراسان شمالی که اطلاعات هواشناسی مورد نیاز در این تحقیق را در اختیار آنها نهاده‌اند، سپاسگذاری نمایند.

منابع

www.SID.ir

Archive of SID

۱- تدین م.، و امام ی. ۱۳۸۶. اثر آبیاری تکمیلی و مقدار فراهمی آب بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دیم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۱، شماره ۴۲، ۱۵۶-۱۴۵.

2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.

3- Chowdhury A., and Gore P.G. 1989. An index to assess agricultural drought in India. Theor. Applied Climatol, 40: 103-109.

4- Gibbs W.J., and Maher J.V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.

5- Hayes M.J. 2010. What is drought? National Drought Mitigation Center (NDMC), Home page: http://www.drought.unl.edu/.

6- Heim Jr., R.R., 2002. A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83: 1149-1165.

7- Kulshreshtha S.N., and Klein K.K. 1989, Agricultural drought impact evaluation model: A systems approach. Agricultural System, 30: 81–96.

8- Ilbeyi A., Ustun H., Oweis T., Pala M., and Benli B. 2006. Wheat water productivity and yield in a cool highland environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. Agricultural Water Management, 82: 399–410.

9- McKee T.B., Doesken N.J., and Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology. Jaunuary 17- 22, Anaheim, California. pp. 179-184.

10- Meyer S.J., Hubbard K.G., and Wilhite D.A. 1993. A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation, Agronomy Journal. 86: 388–395.

11- Nullet D., and Giambelluca T.W. 1988, Risk analysis of seasonal agricultural drought on Low Pacific Islands, Agricultural and Forest Meteorology. 42(2–3): 229–239.

12- Palmer W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.

13- Palmer W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. Weatherwise. 21: 156-161.

14- Shafer B.A., and Dezman L.E. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. pp. 164–175.

15- Shahid S., and Behrawan H. 2008. Drought risk assessment in the western part of Bangladesh, , Nat Hazards Journal, 46: 391- 413.

16- Smakhtin V.U., and Hughes D.A. 2004. Review, automated estimation and analysis of drought indices in South Asia. Working paper 83. Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute.

17- Tenkinel O., Kanber R., Yazar A., and Ozekici B. 1992. Drought conditions and supplemental irrigation in Turkey. In: International Conference on Supplementary Irrigation and Drought Water Management. Vol. 7. Sep.27-Oct. 2, Bari, Italy.

18- Thornthwaite C.W., and Mather J.R. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. Puble. In Lab. Of clime. Centerton, X: 3.

19- Tsakiris G., and Pangalou D. 2009. Drought characterization in the Mediterranean. Chapter 6 in Iglesias, A. et al (Eds), Coping with drought risk in agriculture and water supply systems. Springer. pp. 69-80.

20- Tsakiris G., and Tigkas D. 2007. Drought risk in agriculture in mediterranean regions, Case study: Eastern Crete. Chapter 19 in Rossi, G. et al (Eds), Methods and tools for drought analysis and management. Springer. pp. 399-414.

21- Tsakiris G., and Vangelis H. 2004. Towrds a drought watch system based on spatial SPI. Water Resour. Manage. 18: 1-12.

22- Webster N. 1978. Webster's New Twentieth Century Dictionary. World Publ. Co. Inc, USA.

23- Wilhite D. 2005, Drought and water crises, science, technology, and management issues, CRC Press Taylor & Francis Group, USA.

24- Wu H., and Wilhite D. 2004. An operational agricultural drought risk assessment model for nebaraska, USA. Natural Hazards. 33: 1-21.

25- http://www.irimet.net

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1254-1264

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۶، بهمن - اسفند ۱۳۸۹، ص. ۱۲۶۴-۱۲۵۴

The Management of Supplementary Irrigation for Rainfed Wheat During the Drought Periods Using Crop Moisture Index

(The Case Study: Bojnurd)

N. Khalili[1*] - K. davari[2] - H. Ansari[3] – A. Alizadeh[4]

Received: 15-6-2010
Accepted: 3-10-2010

Abstract

Drought is one the most complicated and unknown natural disasters and rainfed agriculture is often the first sector to be affected by drought. In this research, we consider the drought monitoring from both meteorological and agricultural points of view. We have selected Standardized Precipitation Index (SPI) among the meteorological indices, with a one month time scale for the synoptic station of Bojnurd. Although there are few exceptions in during (1996-2005) in 1996, 1998, 1999, and 2000, in which the severely and extremely dry category have been matched to the growth season of the rainfed, the results of SPI index from precipitation data of this station and the trend of drought variations from 1996 to 2005 show that in Bojnord synoptic station, the meteorological drought has not happened in the growth season of the rainfed wheat (23 Oct. To 17 June) or at least it has been near normal category. The periods from June 1998 to May 1999 and from June 2004 to June 2005 have been the driest and wettest periods, respectively. The meteorological indices such as SPI, either are only the function of precipitation, or consider a long term time scale. In the first case they do not give a comprehensive analysis on the drought phenomena and cannot give be used for the monitoring of the crop moisture situation and in the later case, they are not applicable for short term time scales such as daily or weekly monitoring. Therefore, to monitor the agricultural drought and influence the other factors such as the temperature along with precipitation, the crop moisture index (CMI) has been introduced for weekly monitoring. To achieve this goal, we have used the climatic data of Bojnord synoptic station over ten years from 1996 to 2005. The results from CMI index show that in the last week of grain filling, around the last week of May, extremely drought (-2.7>CMI>-3) has happened. Also, during the crop maturity, a exceptional drought has been monitored with CMI<-3. Finally, we have given a schedule for supplementary irrigation of rainfed wheat in Bojnord based on the critical periods of crop growth and according with drought monitoring. Based on theory, is required to plan for 191 mm of supplementary irrigation around the grain filling.

Keywords: Bojnurd, Crop Moisture Index, Drought monitoring, Rainfed wheat, Standardized Precipitation Index

1,2,3,4 - PhD Student, Associate Professor, Assistant Professor, Professor, Water Engineering Department , Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(* - Corresponding Author Email: najmehkhalili@gmail.com)

www.SID.ir