

تعیین توابع تولید عملکرد گندم و جو دیم در سطح استان گلستان با استفاده از شاخص مرجع کشاورزی برای خشک‌سالی (ARID)

محمد قبائی سوق¹، حمید زارع ایبانه²، ابوالفضل مساعدی^{3*}

تاریخ دریافت: 1394/12/19 تاریخ پذیرش: 1395/9/29

چکیده

خشک‌سالی به عنوان پیامد اجتناب‌ناپذیر نوسانات آب و هوایی، یکی از عوامل مهم در کاهش تولید محصولات کشاورزی به ویژه در شرایط دیم می‌باشد. در این پژوهش از شاخص مرجع کشاورزی برای خشک‌سالی (ARID) در دو رهیافت شامل مدل‌های تک لایه و دولایه‌ی توازن آب خاک جهت مدل‌سازی توابع تولید گندم و جو دیم در سطح استان گلستان استفاده شده است. بدین منظور داده‌های هواشناسی روزانه برای 12 ایستگاه تبخیرسنجی و سینوپتیک موجود در سطح استان گلستان اخذ و مقدار شاخص ARID بر اساس دو رهیافت مورد نظر در دوره‌ی رشد محصولات گندم و جو محاسبه گردید. هم‌چنین آمار عملکرد گندم و جو در زراعت‌های دیم و آبی در سطح 8 شهرستان استان گلستان طی دوره‌ی متناظر جمع‌آوری و با آنالیز نقطه‌ی جهش مقادیر سری نسبت عملکرد (R) در هر شهرستان برآورد گردید. با انتخاب 6 دوره‌ی فنولوژیک رشد برای محصولات مورد بررسی، مقدار متوسط شاخص ARID در هر مرحله طی سال‌های مختلف محاسبه و با حل غیرخطی رابطه‌ی بین نسبت عملکرد و شاخص ARID، ضرایب حساسیت هر مرحله تعیین و مدل برآورد عملکرد مشخص گردید. در پایان با مقایسه‌ی مقادیر عملکردهای محاسبه شده و مشاهده شده بر اساس معیارهای آماری، توانایی شاخص ARID در دو رهیافت مورد بررسی ارزیابی گردید. بر اساس این مقایسه نتایج شاخص ARID در رهیافت مبتنی بر مدل دولایه‌ی توازن آب و خاک در شبیه‌سازی مقادیر عملکرد محصولات گندم و جو دیم از دقت بالاتری برخوردار بود. علاوه بر این دقت توابع تولید استخراج شده برای محصول جو نیز به مراتب بیش‌تر از گندم بوده است. بررسی ضرایب حساسیت تنش نسبی محصولات مورد ارزیابی نشان می‌دهد که به ازای محصولات گندم و جو دوره ساقه‌رفتن حساس‌ترین مرحله نسبت به تنش آبی در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های واقع در شهرستان رامیان می‌باشد. اهمیت نسبی حساسیت مراحل رشد اولیه، خوشه رفتن و گلدهی نسبت به تنش آبی با توجه به نوع محصول در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت بدست آمد. با این وجود کم‌ترین میزان حساسیت به ازای دوره‌های رویشی اولیه و رسیدگی بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، تنش آبی، خشک‌سالی، عملکرد نسبی، نقطه جهش

مقدمه

اجتماعی تقسیم‌بندی نمودند. به طور کلی خشک‌سالی وضعیت موقتی است که در آن مقدار آب در دسترس به علت کاهش ریزش‌های جوی به پایین‌تر از سطح آستانه می‌رسد. از دیدگاه کشاورزی این آب، آب در دسترس گیاه در خاک و سطح آستانه، نیاز اتمسفری برای تبخیر - تعرق می‌باشد. بنابراین خشک‌سالی کشاورزی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار آب در دسترس گیاه در خاک به علت ناکافی بودن مقدار بارش پاسخگوی نیاز اتمسفری برای تبخیر - تعرق نباشد (Woli et al., 2012 a,b).

خشک‌سالی کشاورزی در اثر کمبود کوتاه‌مدت بارش، ناهنجاری‌های دما و کمبود رطوبت خاک حاصل می‌شود. بنابراین پایش خشک‌سالی کشاورزی نیازمند داده‌های منابع مختلف نظیر آب و هوا (بارش و تبخیر - تعرق)، خاک (رطوبت و ظرفیت نگهداری)، محصول (نوع، عمق ریشه و داده‌های فنولوژیک) و مدیریت محصول می‌باشد

خشک‌سالی با کمبود بارندگی آغاز و بسته به طول مدت و شدت آن می‌تواند پارامترهایی نظیر رطوبت خاک، حجم آب‌های سطحی و زیرسطحی را تحت تاثیر قرار دهد از این رو با توجه به پارامترهای به کار رفته در توصیف خشک‌سالی، آن را در دسته‌های مختلفی نظیر خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی -

1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

3- استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: mosaedi@um.ac.ir)

که لازم است به منظور ایجاد یک شاخص واحد با هم تجمیع شوند. هنگامی که خشک‌سالی کشاورزی تنها بر مبنای شاخص‌های مبتنی بر داده‌های بارش توصیف می‌شود با وجود برخی از مزایا نظیر سادگی در دریافت مفاهیم، کاربرد و محاسبات، ارتباط بین خشک‌سالی و کاهش عملکرد محصولات به روشنی بیان نمی‌شود زیرا برخی از جنبه‌ها مانند تبخیر- تعرق گیاهی و محتوای آب خاک در نظر گرفته نشده‌اند (Sivakumar et al., 2011).

کشاورزی در بیش‌تر مناطق دنیا به عنوان یک فعالیت اقتصادی، به طور مستقیم تحت تاثیر خشک‌سالی قرار دارد به طوری که این پدیده یکی از عوامل مهم کاهش تولید محصولات کشاورزی می‌باشد (Hlavinka et al., 2009). خشک‌سالی در اواسط فصل رشد می‌تواند بر تشکیل غلاف و دانه و در انتهای فصل رشد بر پرشدن دانه تاثیر زیادی باقی گذارد که در این میان تنش‌های ناشی از خشک‌سالی‌های اواسط دوره‌ی رشد تاثیر بیش‌تری بر کاهش عملکرد محصول دارند (Jongrungklang et al., 2013). علی‌رغم پیشرفت فناوری و بهبود واریته‌های گیاهی در دهه‌های اخیر، نوسانات متغیرهای آب و هوایی همچنان از عوامل مهم غیرقابل کنترل در مقدار و کیفیت عملکرد محصولات کشاورزی به ویژه در شرایط دیم می‌باشند (Potopová et al., 2015).

در دهه‌های گذشته شاخص‌های مختلفی برای پایش خشک‌سالی کشاورزی ارائه شده‌اند که شاخص‌های شدت خشک‌سالی پالمر (PDSI)، رطوبت محصول (CMI)، تنش آبی محصول (CWSI)، شاخص خشک‌سالی محصول ویژه (CSDI)، کمبود رطوبت خاک (SMDI) و کمبود تبخیر- تعرق (ETDI) از آن جمله‌اند. یک شاخص مطلوب پایش خشک‌سالی کشاورزی باید توانایی اندازه‌گیری تنش- های آبی محصول در دوره‌های زمانی مشخص و مجموع تنش‌ها در طول زمان یا دوره‌ای خاص را داشته باشد. هم‌چنین باید قادر به برآورد کاهش محصول در اثر خشک‌سالی باشد. ولی و همکاران شاخص مرجع کشاورزی برای خشک‌سالی (ARID)¹ را بر اساس مدل بیان آب خاک و اصول فیزیولوژیکی به کار رفته در مدل‌های گیاهی توسعه و ضمن بررسی شاخص‌های مختلف خشک‌سالی کشاورزی، سادگی، جامعیت، مبتنی بر روابط خاک، گیاه و اتمسفر (SPA)، قابلیت محاسبه در مقیاس روزانه را مهم‌ترین ویژگی‌های شاخص ARID بیان نمودند. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده شاخص خشک‌سالی ARID علاوه بر تعیین کمبود آب محصول برای تعیین مقدار خشک‌سالی قادر به پیش‌بینی اثر این کمبود روی عملکرد محصول نیز می‌باشد (Woli et al., 2012a).

تعیین مقدار عملکرد محصولات مختلف با استفاده از متغیرهای هواشناسی نظیر بارش، دما و رطوبت خاک در پژوهش‌های متعددی

انجام شده است. علاوه بر این ارتباط بین عملکرد محصولات زراعی و شاخص‌های خشک‌سالی از طریق شاخص‌های خشک‌سالی نظیر بارش استاندارد شده (SPI)، شدت خشک‌سالی پالمر، شاخص Z، شاخص رطوبت محصول (CMI)، شناسایی خشک‌سالی (RDI) و شاخص‌های نوسانات اقلیمی نیز در برخی از پژوهش‌ها بررسی شده‌اند که نتایج آن‌ها بیانگر توانایی شاخص‌های خشک‌سالی در برآورد بهتر تغییرات عملکرد محصولات مختلف می‌باشد (مساعدی و همکاران، 1394). هم‌چنین پژوهش‌های مختلفی نیز در ارتباط با تحلیل توابع تولید عملکرد گندم تحت تاثیر منفرد و توامان هریک از محدودیت‌های تنش رطوبتی و شوری انجام شده است که شرح نسبتاً کاملی از این روابط در پژوهش کیانی و همکاران (1384) آورده شده‌اند. کیانی و همکاران (1384) در پژوهشی با بررسی فرم‌های مختلف ارتباط توابع تولید گندم در استان گلستان (منطقه‌ی آق‌قلا) تحت تاثیر توامان تنش‌های آبی و شوری نشان دادند تابع متعالی² در مدل‌سازی توابع تولید از دقت بالاتری برخوردار است و عملکرد گندم تحت تنش آبی نسبت به شوری خاک حساس‌تر می‌باشد.

میشرا و چرکار به پایش خشک‌سالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی بر اساس داده‌های بارش، رطوبت خاک و رواناب (بدست آمده از اجرای مدل VIC) در ایالت‌های الینوین و ایندیانا طی سال‌های 1916 تا 2007 پرداختند. آن‌ها نتایج خشک‌سالی‌های استخراج شده را در ارتباط با دوره‌های مختلف رشد برای محصولات ذرت و سویا در کشت بهاره تحلیل و بررسی نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها خشک‌سالی‌های شدید و گسترده‌ی بدست آمده برای دهه‌ی 1930 بر کل دوره‌ی رشد محصولات مورد بررسی موثر بوده است و بین عملکرد محصولات طی دوره‌ی 1980 تا 2007 با خشک‌سالی- های هواشناسی و دمای حداکثر در دوره‌های اول و دوم ارتباط معنی- دار قوی وجود داشت (Mishra and Cherkauer., 2010). راسی و نیمار با بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشک‌سالی SPI سه‌ماهه و FAPAR³ (متغیری بیوفیزیکی مبتنی بر فعالیت‌های فتوسنتزی تاج گیاه) با ناهنجاری‌های عملکرد ذرت در مناطق مختلف اسپانیا دریافتند که در سال‌های وقوع خشک‌سالی بر اساس شاخص‌های مورد بررسی عملکرد ذرت به طور معنی‌داری کاهش یافته است (Rossi and Niemeyer., 2010). ولی و همکاران از شاخص ARID برای پیش‌بینی عملکرد محصولات پنبه، ذرت، بادام زمینی و سویا در مناطق جنوب شرق آمریکا استفاده نمودند. آن‌ها با محاسبه‌ی شاخص مذکور در طول دوره‌ی رشد محصولات، مدل پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف را بدست آوردند که نتایج بین عملکردهای محاسبه شده و واقعی بیانگر دقت مناسب مدل‌های استخراج شده بود.

2- Transcedental

3- Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation

1- Agricultural Reference Index for Drought (ARID)

ارتباط با شاخص ARID برای پایش خشک‌سالی و پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی در کشور انجام نشده است، از طرفی با توجه به اهمیت امنیت غذایی و نقش استان گلستان به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی، در این پژوهش تلاش شده است تا با تکیه بر رهیافت‌های جدید توازن آب خاک از طریق شاخص نسبتاً جدید ARID عملکرد محصولات زراعی گندم و جو دیم در سطح استان گلستان مدل‌سازی گردد.

مواد و روش‌ها

موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی و داده‌های مورد استفاده

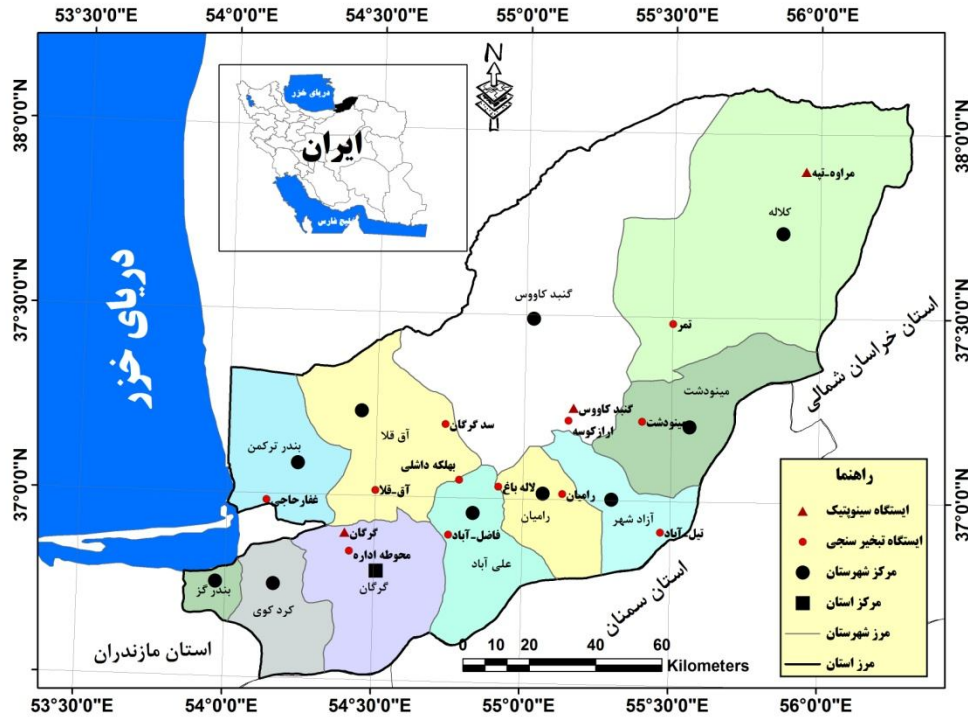
استان گلستان با وسعتی بالغ بر 20387 کیلومتر مربع در جنوب-شرقی دریای خزر واقع شده و در حدود 1/3 درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود. این استان با متوسط بارندگی سالانه 458 میلی‌متر در محدوده‌ی جغرافیائی 36 درجه و 25 دقیقه تا 38 درجه و 8 دقیقه عرض شمالی و 53 درجه و 50 دقیقه تا 56 درجه و 18 دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. استان گلستان دارای 11 شهرستان شامل آق‌قلا، آزادشهر، بندرتکمن، بندرگز، رامیان، علی‌آباد، کردکوی، کلاله، گرگان، گنبد و مینودشت می‌باشد. گندم و جو از مهم‌ترین محصولات کشت شده در سطح استان می‌باشند. بر پایه‌ی آمارنامه‌ی وزارت جهاد کشاورزی طی سال‌های زارعی 85-1384 تا 92-1391، سطح زیر کشت گندم (جو) در زراعت آبی و دیم در سطح استان گلستان به ترتیب برابر با 150 (10/3) و 205 (56) هزار هکتار برآورد شده‌اند که در حدود 5/7 و 4/3 درصد از کل سطح کشت گندم و جو در کشور را شامل می‌شوند. با بررسی ایستگاه‌های تبخیرسنجی و سینوپتیک موجود در استان گلستان، ایستگاه‌هایی با طول دوره‌ی آماری مناسب در سطح هر شهرستان انتخاب شدند. در شهرستان‌های کردکوی و بندرگز ایستگاه‌های تبخیرسنجی با طول دوره‌ی آماری مناسب وجود نداشت از این‌رو شهرستان‌های مذکور مورد بررسی قرار نگرفتند. برای ایستگاه‌های تبخیرسنجی مقادیر روزانه‌ی متغیرهای هواشناسی بارش، دمای حداقل و حداکثر و رطوبت نسبی و برای ایستگاه‌های سینوپتیک علاوه بر متغیرهای مذکور تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد نیز تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت جغرافیائی ایستگاه‌های تبخیرسنجی و سینوپتیک مورد بررسی در شکل 1 نشان داده شده‌اند. به منظور تعیین مدل‌های آماری پیش‌بینی عملکرد محصولات گندم و جو دیم، از آمار عملکرد محصولات در زراعت‌های دیم و آبی مربوط به 8 شهرستان استان گلستان طی سال‌های زراعی 62-1361 تا 92-1391 (مجموعاً 31 سال) که از مراکز خدمات سازمان‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌های استان گلستان و همچنین آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردیدند استفاده شد. لازم به ذکر است در بیش‌تر ایستگاه‌ها نظیر آق‌قلا،

آن‌ها بیان کردند مدل‌های عملکرد مبتنی بر شاخص ARID قادر به پیش‌بینی کاهش عملکرد محصول در اثر خشک‌سالی می‌باشند (Woli et al., 2014). گنست و همکاران از شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI در مقیاس‌های زمانی 1، 2، 3 و 6 ماهه برای یافتن ارتباط بین خشک‌سالی و عملکرد محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی، چغندر قند و ذرت استفاده نمودند (Gunst et al., 2015). بر پایه‌ی نتایج آن‌ها شاخص‌های SPEI و SPI ضمن داشتن همبستگی بالا با یکدیگر، با مقادیر روندزدایی شده‌ی عملکرد محصولات گندم و جو نیز همبستگی بالایی داشتند به طوری که این مقادیر برای روابط مبتنی بر شاخص SPI بیش‌تر از شاخص SPEI گزارش شدند. علاوه بر این برای محصولات گندم و جو بیش‌ترین همبستگی بین ناهنجاری‌های عملکرد با شاخص SPI سه ماهه و برای محصولات دیگر مورد بررسی با SPI یک و دو ماهه مشاهده گردید. پوتوپوا و همکاران مقدار کاهش محصول در اثر خشک‌سالی و حساسیت عملکرد محصولات گندم، چغندر قند، ذرت و آفتابگردان را دوره رشد برای جمهوری مولداوی واقع در جنوب شرق اروپا ارزیابی نمودند. آن‌ها مقدار خشک‌سالی را براساس شاخص SPEI در مقیاس‌های مختلف زمانی 1 تا 12 ماهه در یک دوره‌ی 62 ساله (1951-2012) در 15 ایستگاه محاسبه و پایش نمودند و ارتباط بین سری‌های باقیمانده عملکرد استاندارد شده¹ (SYRS) و شاخص SPEI در مقیاس‌های مختلف را برای محصولات مختلف طی سال‌های 1962-2012 بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که شاخص SPEI در برجسته‌سازی دوره‌های مهم خشک و مرطوب و بیان ویژگی‌های خشک‌سالی در مناطق جنوبی که بیش‌تر مستعد به وقوع خشک‌سالی‌های شدید می‌باشند توانایی زیادی دارد. بررسی روابط بین SPEI و SYRS نشان داد که شاخص SPEI می‌تواند تا 62 درصد تغییرات عملکرد محصولات را برآورد نماید (Potopová et al., 2015). مورهد و همکاران در پژوهشی به پایش خشک‌سالی کشاورزی محصولات عمده شامل ذرت، سورگوم، بادام زمینی، سویا، پنبه و گندم زمستانه در دشت‌های ایالت تگزاس پرداختند. بر پایه‌ی بررسی آن‌ها شاخص SPEI برای پایش خشک‌سالی کشاورزی دارای نتایج رضایت‌بخشی بوده است. آن‌ها با تاکید بر نقش مولفه‌ی ET_0 در خشک‌سالی کشاورزی، مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را به جای تبخیر-تعرق پتانسیل در شاخص SPEI به منظور نمایش بهتر نیاز آبی جایگزین و شاخص SPEI را برای محصولات کشت شده محاسبه نمودند. آن‌ها نتایج شاخص SPEI اصلاح شده را برای پایش خشک‌سالی کشاورزی محصولات تابستانه را مناسب ارزیابی نمودند (Moorhead et al., 2015).

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد تاکنون پژوهشی در

مینودشت و رامیان (63-1362 تا 92-1391) برابر 30 سال، لاله‌باغ (73-1372 تا 92-1365) برابر 23 سال، مراوه‌تپه (73-1372 تا 92-1391) برابر 19 سال و گنبد کاووس (75-1374 تا 92-1391) برابر 17 سال می‌باشند.

بهلکه-داشلی، سد گرگان، غفارحاجی، اراز کوسه، گرگان و تمر طول دوره‌ی مورد استفاده برابر 31 سال بوده است در حالی که در سایر ایستگاه‌ها با توجه به موجودیت آمار داده‌های هواشناسی نسبت به دوره‌ی ذکر شده متفاوت می‌باشد به طوری که در ایستگاه‌های



شکل 1- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های تخریرسنجی و سینوپتیک مورد بررسی در سطح استان گلستان

$$T_i = \min(\alpha \zeta \theta_{a,i-1}^{ad}, ET_{o,i}) \quad (2)$$

که در آن α ضریب جذب آب، ζ عمق ناحیه‌ی ریشه (mm) و $\theta_{a,i-1}^{ad}$ محتوای آب قابل دسترس گیاه بعد از زهکشی کامل در انتهای روز قبل (mm mm^{-1}) می‌باشد. محتوای آب قابل دسترس گیاه در روز i ($\theta_{a,i}^{bd}$) از نسبت مقدار آب قابل دسترس در ناحیه ریشه (W_i) بر عمق ناحیه‌ی ریشه (ζ) برآورد می‌گردد. مقدار W_i برپایه‌ی مدل توازن آب در خاک از رابطه‌ی 3 محاسبه می‌شود.

$$W_i = W_{i-1} + P_i + I_i - T_i - D_i - R_i \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق نمایه‌های i و $i-1$ به ترتیب بیانگر روز جاری و روز قبل و پارامترهای P_i ، I_i ، D_i و R_i نیز به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مقادیر بارش، آبیاری، تعرق، نفوذ عمقی و رواناب در روز جاری می‌باشند. مقدار نفوذ عمقی برای روز i (D_i) از رابطه‌ی 4 برآورد می‌گردد.

$$D_i = \beta \zeta (\theta_{a,i}^{bd} - \theta_m) \quad (4)$$

در این رابطه، β ضریب زهکشی، $\theta_{a,i}^{bd}$ محتوای آب قابل دسترس در روز i قبل از زهکشی (mm mm^{-1}) و θ_m برابر با

شاخص مرجع کشاورزی برای خشک‌سالی (ARID)

شاخص ARID توسط (Woli et al., 2012a) برای پایش کمبود آب گیاهان با استفاده از مدلی مبتنی بر سامانه گیاه-خاک-اتمسفر توسعه داده شد. این شاخص بر پایه‌ی فعالیت‌های رویشی گیاه مرجع در یک خاک با زهکشی مناسب و پوشش کامل سطح خاک می‌باشد. برای محاسبه‌ی شاخص ARID از یک سامانه بیلان آب-خاک برای گیاه مرجع با عمق ریشه‌ی یکنواخت در خاک یک لایه با ضخامت 40 سانتی‌متر استفاده شده است. روش اصلی محاسبه‌ی شاخص ARID در مقیاس روزانه در رابطه 1 آورده شده است.

$$ARID_i = 1 - \frac{T_i}{ET_{o,i}} \quad (1)$$

در این رابطه، T_i تعرق روزانه (میلی‌متر بر روز) و ET_o تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشد. مقدار شاخص ARID بین 0 و 1 تغییر می‌کند به طوری که عدد صفر نشانگر عدم کمبود و عدد 1 بیانگر کمبود کامل آب می‌باشد. با برآورد مقدار ET_o ، مقدار تعرق (T_i) از رابطه‌ی 2 برآورد می‌گردد.

است. بنابراین از این روش برای برآورد مقادیر ET_0 در ایستگاه‌های تبخیرسنجی استفاده گردید. در ایستگاه‌های سینوپتیک نیز با توجه به موجود بودن تمامی اطلاعات هواشناسی از روش فائو پنمن - مونتیت استفاده شد.

محاسبه‌ی شاخص ARID بر پایه‌ی مدل دولایه‌ی توازن آب و خاک

همان‌طور که پیش‌تر بیان گردید شاخص ARID در یک خاک یک لایه با ضخامت 40 سانتی‌متر و عمق ریشه‌ی یکنواخت توسعه یافته است. در ادامه‌ی این پژوهش از مدل دو لایه‌ی توازن آب خاک برای محاسبه‌ی شاخص ARID استفاده گردید (Ebrahimpour et al., 2014). در این مدل مقادیر تبخیر - تعرق واقعی گیاه در مقیاس روزانه بر اساس محتوای رطوبتی لایه‌ی فعال و مقادیر بارندگی روزانه محاسبه می‌گردد. در مدل ارایه شده، لایه‌ی اول منطقه‌ی رشد فعلی ریشه است و با گذشت زمان عمق آن افزایش می‌یابد. لایه‌ی دوم، بین انتهای لایه‌ی اول و حداکثر عمق توسعه‌ی ریشه می‌باشد که ضخامت آن با افزایش رشد ریشه کاهش می‌یابد و در زمان حداکثر رشد ریشه، ضخامت این لایه به صفر می‌رسد. این مدل علاوه بر داده‌های هواشناسی، به داده‌های فنولوژیک مراحل رشد، ضرایب گیاهی، مقادیر رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی و نقطه‌ی پژمردگی داریم، حداکثر عمق ریشه و رطوبت اولیه‌ی خاک نیاز دارد. در این مدل تا زمانی که ریشه‌ی گیاه به عمق پایین‌تر منتقل می‌شود، از رطوبت ذخیره شده در لایه‌ی دوم بهره‌مند می‌گردد. یکی از فرض‌های اصلی در مدل مذکور این است که اگر مقدار بارندگی بیش از مقدار ظرفیت زراعی خاک در لایه‌ی اول باشد، توسط نفوذ عمقی به لایه‌ی دوم منتقل می‌شود، این در حالی است که اگر میزان بارندگی نفوذ یافته از لایه‌ی اول به لایه‌ی دوم از ظرفیت نگهداری آب در لایه‌ی دوم هم بیش‌تر باشد نفوذ عمقی از لایه‌ی دوم رخ خواهد داد. روابط و معادلات محاسبه‌ی اجزای مختلف مدل مذکور در پژوهش ابراهیم پور و همکاران (Ebrahimpour et al., 2014) ارایه شده‌اند که به دلیل طولانی بودن از ذکر آن‌ها اجتناب و مفاهیم کلی آن آورده شده است. مقادیر تبخیر - تعرق واقعی گیاه در شرایط وجود رطوبت در لایه‌ی اول معادل تبخیر - تعرق پتانسیل در نظر گرفته شدند. اما در شرایط فقدان رطوبت در لایه‌ی اول با توجه به رخداد بارندگی مقدار متفاوتی از تبخیر - تعرق واقعی بدست می‌آید. به عبارت دیگر اگر بارندگی رخ دهد برابر مقدار افزایش رطوبت خاک به دلیل رشد روزانه ریشه و در صورتی که بارندگی رخ ندهد معادل اختلاف مجموع بارندگی و مقدار افزایش رطوبت خاک به دلیل رشد روزانه ریشه با مجموع رواناب و نفوذ عمقی در نظر گرفته می‌شود.

ظرفیت آب قابل دسترس گیاه ($mm\ mm^{-1}$) تعریف شده‌اند. در شاخص ARID برای برآورد مقدار رواناب سطحی در روز i از رابطه‌ی انجمن حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شده است (رابطه‌ی 5).

$$R_i = \frac{(P_i - I_a)^2}{P_i - I_a + S} \quad (5)$$

در این رابطه، I_a نگهداشت اولیه ($mm\ day^{-1}$) و S حداکثر نگه‌داشت سطحی ($mm\ day^{-1}$) می‌باشد و مقدار S از رابطه‌ی $S = 25400/CN - 254$ که در آن CN شماره منحنی تعریف شده است محاسبه می‌گردد.

در توسعه‌ی شاخص ARID مقدار ثابتی برای برخی از پارامترهای برآورد مولفه‌های مدل بیلان آب منظور شده است. این پارامترهای ثابت عبارتند از ضریب جذب آب ($\beta = 0.55\ mm/mm$)، ضریب زهکشی ($\alpha = 0.096\ mm/mm$)، شماره منحنی برای برآورد مقدار رواناب ($CN = 65$)، عمق ناحیه‌ی ریشه ($\zeta = 400\ mm$) و ظرفیت آب قابل دسترس ($\theta_m = 0.13\ mm/mm$)، ولی و همکاران در پژوهشی مقدار حساسیت و عدم قطعیت شاخص ARID به مقادیر هریک از پارامترهای ثابت ذکر شده را از طریق داده‌های 5 ناحیه در جنوب شرق آمریکا طی دوره‌ی 1971 تا 2000 با استفاده از آزمون حساسیت دامنه‌ی فوریه ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها پارامتر θ_m و ζ به ترتیب با توضیح 60 و 30 درصد واریانس کل، موثرترین پارامترها در محاسبه‌ی شاخص ARID بوده‌اند و پارامترهای α و CN کم‌ترین ضریب تاثیر را داشتند به طوری که پارامتر α در بسیاری موارد تاثیری نداشت و در بیش‌ترین مورد 15 درصد از کل واریانس را به خود اختصاص داده بود. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد که به جز در خاک‌های با محتوای زیاد آب عدم قطعیت در نتایج شاخص ARID با پارامترهای ثابت کم می‌باشد. آن‌ها بیان داشتند که شاخص ARID با پارامترهای ثابت قابلیت کاربرد در گستره‌ی وسیعی از محصولات، خاک، توپوگرافی و مدیریتی دارای عدم قطعیت ناچیزی می‌باشد (Woli et al., 2012b).

محاسبه‌ی شاخص ARID نیازمند برآورد مقدار تبخیر - تعرق پتانسیل (ET_0) می‌باشد در این پژوهش جهت برآورد ET_0 در ایستگاه‌های مورد بررسی، ابتدا مقادیر آن از روش فائو پنمن - مونتیت (FPM) و 5 روش تجربی هارگریوز - سامانی، پرستولی - تیلور، مک - کینک، تورک و فائو پنمن - مونتیت مبتنی بر داده‌های محدود (برآورد داده‌های تابش خورشیدی و سرعت باد) در سه ایستگاه سینوپتیک گرگان، گنبد کاووس و مراوه‌تپه محاسبه و با مرجع قرار دادن روش FPM به عنوان یک روش استاندارد مقادیر آماره‌های خطا برای هریک از روش‌های تجربی برآورد گردید که بر اساس نتایج آن در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی روش FPM مبتنی بر داده‌های محدود (Vangelis et al., 2013) دارای کم‌ترین مقدار خطا بوده

تعیین عملکرد پتانسیل و عملکرد نسبی (R)

ولی و همکاران جهت برآورد عملکرد پتانسیل با مرتب‌سازی داده‌های عملکرد در مزارع آبیاری شده، میانگین دو عملکرد حداکثر را به عنوان مقدار عملکرد پتانسیل برای هر محصول در هر منطقه در نظر گرفتند (Woli et al., 2014). با توجه به آن که با گذشت زمان ارقام اصلاح شده با تنوع‌های ژنتیکی و عملکرد بیش‌تر برای کشت استفاده شده‌اند در این تحقیق ابتدا داده‌های عملکرد محصولات مختلف هر منطقه در مزارع آبیاری شده با استفاده از آنالیز نقاط جهش (Taylor., 2000) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و با تعیین نقطه یا نقاط جهش در سری‌های عملکرد هر محصول، بازه‌های مختلف تغییرات عملکرد تعیین و از میانگین دو و یا سه مقدار عملکرد بیشینه در هر بازه به عنوان عملکرد پتانسیل آن بازه استفاده شد. در ادامه با تقسیم داده‌های عملکرد دیم واقع در هر بازه به عملکرد پتانسیل آن عملکرد نسبی (R) برای هر سال زراعی که عملکرد دیم در آن موجود بود محاسبه گردید. در روش ارایه شده توسط (Taylor., 2000) برای انجام آنالیز نقطه‌ی جهش از ترکیب نمودارهای مجموع جمعی¹ (CUSUM) و روش بوت‌استرپ به شیوه‌ی تکرار استفاده شده است.

تعیین توابع تولید محصولات

مدل رایج توابع تولید برای پیش‌بینی عملکرد محصولات با استفاده از حساسیت گیاه به تنش‌های آبی طی دوره‌های رشد به صورت رابطه‌ی 6 می‌باشد که در آن R نسبت عملکرد دیم به عملکرد پتانسیل، نماد \prod نشان دهنده ضرب، m مرحله‌ی رشد، M تعداد مراحل رشد، λ_m ضریب حساسیت نسبی گیاه به تنش رطوبتی خاک در مرحله m ام رشد، ET تبخیر - تعرق واقعی، ET_p تبخیر - تعرق پتانسیل می‌باشند (Jensen., 1968). این مدل برای تجزیه و تحلیل روابط بین عملکرد گیاه و مصرف آب و پیش‌بینی عملکرد تحت شرایط کمبود آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل هم‌چنین پایه و اساس مدیریت منطقی آب را در ارتباط با تولید محصول آبی تشکیل می‌دهد. لازمه‌ی استفاده از مدل به دست آوردن ضرایب λ_m در مراحل مختلف رشد یک گیاه می‌باشد.

$$R = \prod_{m=1}^M \left(\frac{ET}{ET_p} \right)^{\lambda_m} \quad (6)$$

(Woli et al., 2014) با توجه به روش محاسبه‌ی شاخص ARID از نسبت 1-ARID به جای نسبت ET/ET_p در معادله‌ی فوق استفاده و رابطه‌ی 7 را برای پیش‌بینی عملکرد محصول ارایه نمودند.

$$R = \prod_{m=1}^M (1 - ARID)_m^{\lambda_m} \quad (7)$$

آماره‌های ارزیابی مدل‌های برآورد عملکرد

در این تحقیق دقت و صحت مدل‌های ایجاد شده از طریق آماره‌های ضریب همبستگی (R)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش-ساتکلیف (NSE) مقایسه شده‌اند. ضریب NSE یک آماره‌ی نرمال شده می‌باشد که مقدار نسبی واریانس باقی-مانده‌ها (خطاها) را نسبت به واریانس داده‌ها (مشاهدات) مقایسه می‌کند (رابطه‌ی 8). مقدار NSE نشان‌دهنده‌ی چگونگی قرارگیری مقادیر مشاهداتی در برابر مقادیر برآورد شده روی خط 1:1 می‌باشد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{Sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

در این رابطه Y_i^{obs} مقادیر عملکرد مشاهداتی، Y_i^{Sim} مقادیر عملکرد برآورد شده، \bar{Y} متوسط مقادیر عملکرد مشاهده شده و n تعداد مشاهدات می‌باشند. مقدار NSE بین $-\infty$ تا یک تغییر می‌کند که بهترین عملکرد بر اساس آن برابر یک می‌باشد. مقادیر بین صفر تا یک در محدوده‌ی قابل قبولی از کارایی قرار دارند در حالی که مقادیر کوچک‌تر از صفر نشان می‌دهد میانگین داده‌های مشاهداتی برآوردگر بهتری نسبت به مقادیر برآوردی می‌باشند و دارای کارایی قابل قبولی نمی‌باشند. ضریب NSE توسط مراجع مختلفی نظیر ASCE توصیه شده و در مقایسه با شاخص‌های دیگر اطلاعات کاربردی‌تر از وضعیت مدل برآورد کننده ارایه می‌نماید (Moriasi et al., 2007). از این‌رو از آن برای ارزیابی مدل‌های مختلف استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده

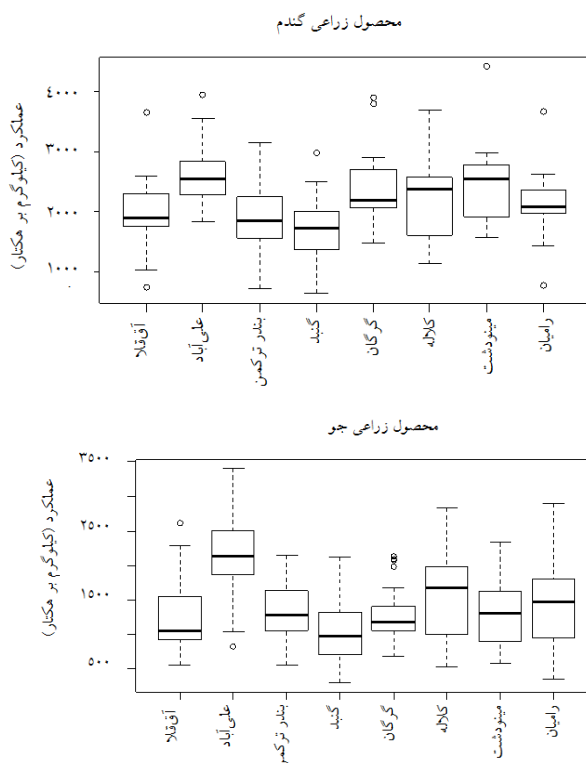
به منظور بررسی کیفیت داده‌های روزانه دماهای حداقل و حداکثر و رطوبت‌نسبی از آزمون‌های ارایه شده در بسته‌ی iki.dataclim و نرم‌افزار R استفاده گردید پس از تعیین داده‌های اشتباه و گمشده در سری‌های زمانی دما و رطوبت‌نسبی با استفاده از مقدار میانگین درازمدت هر روز مقادیر آن‌ها جایگزین شدند. برای بررسی همگنی داده‌های بارش آزمون‌های نرمال استاندارد شده، دامنه‌ی بیشاند، پیت و نسبت ون - نیومن به صورت ترکیبی در بسته‌ی مذکور استفاده گردید (Doerffer and Schiller., 2008) که بر پایه‌ی نتایج بدست آمده در تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه مینودشت داده‌های بارش در کلاس مناسب قرار گرفتند که بیانگر همگنی داده‌های بارش و قابلیت استفاده در تحلیل‌های بعدی می‌باشند.

متوسط عملکرد گندم (جو) در زراعت‌های آبی و دیم به ترتیب برابر با 2686 (2888) و 1766 (1560) کیلوگرم بر هکتار برآورد شده

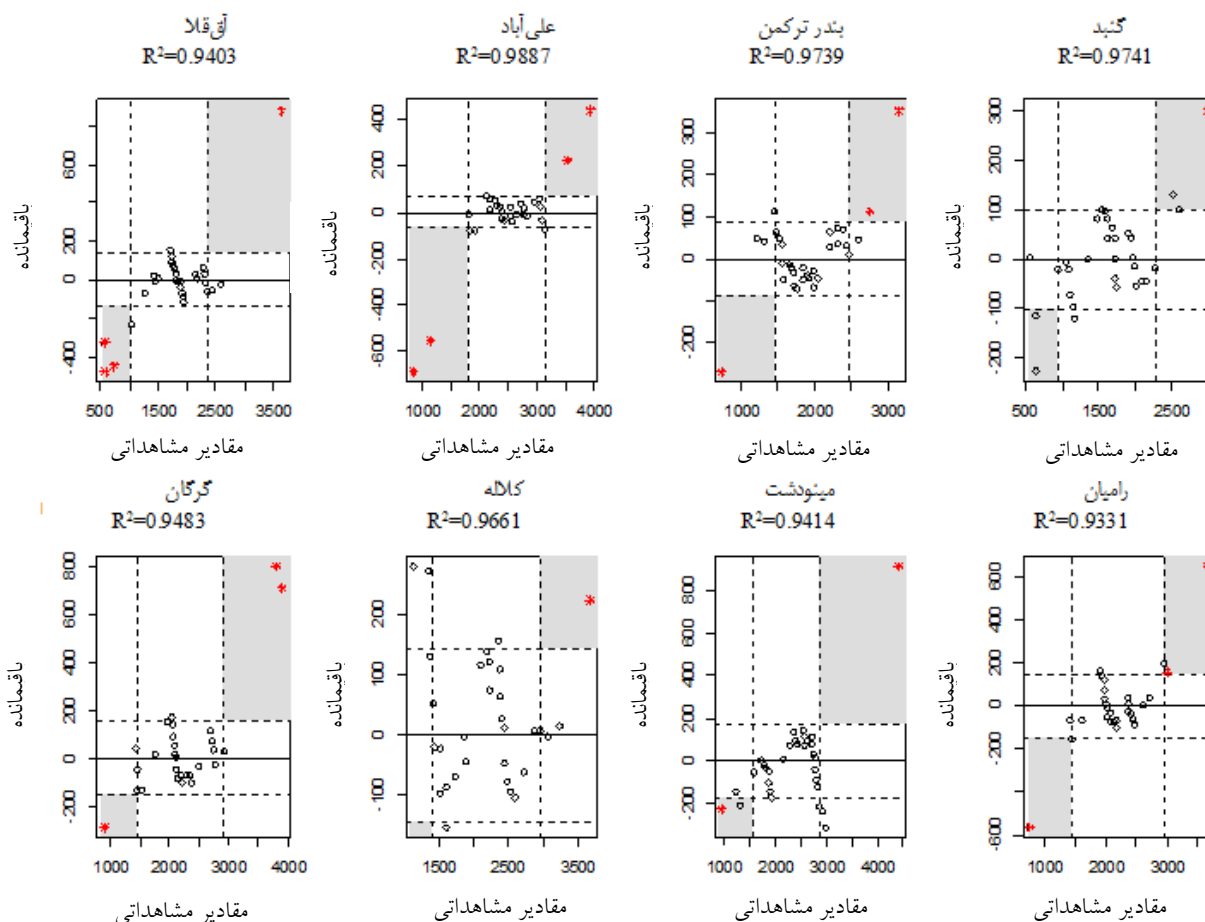
مقدار ET_0 در هر روز مقادیر روزانه‌ی شاخص ARID بر اساس معادلات ارایه شده (1 تا 5) طی سال‌های مورد بررسی برآورد گردیدند. برای محاسبه‌ی شاخص ARID در رهیافت دوم مبتنی بر مدل دولایه‌ی توازن آب خاک، مقدار عمق توسعه ریشه محصولات مورد بررسی برابر 1 متر و زمان رسیدن به حداکثر رشد نهایی رشد ریشه، پایان مرحله‌ی میانی در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). ضرایب مراحل مختلف رشد برای دوره‌های رشد ابتدایی، توسعه و پایانی به ترتیب برابر با 0/2، 1/1 و 0/25 در نظر گرفته شدند (علیزاده و کمالی، 1385). لازم به ذکر است در محاسبه‌ی شاخص ARID براساس رهیافت دوم، برآورد مقدار رواناب سطحی در روز i از رابطه‌ی SCS با در نظر گرفتن اثر وضعیت‌های خاک خشک و مرطوب در روز قبل بر شماره‌ی منحنی در نظر گرفته شده (CN=65) انجام شده است (علیزاده، 1386). گندم در مناطق مختلف دنیا به صورت دیم و آبی کشت می‌شود و رشد و نمو آن شامل مراحل مختلفی است که با جوانه‌زنی شروع و با پشت سر گذاشتن مراحل رشد رویشی، انتقال از رشد رویشی به زایشی، تولید گل، میوه و دانه ادامه می‌یابد تا چرخه‌ی حیاتی گیاه تکمیل شود.

است. نمودار جعبه‌ای مقادیر عملکرد گندم و جو دیم طی سال‌های زراعی در سطح هریک از شهرستان‌های استان گلستان در شکل 2 آورده شده‌اند. برپایه‌ی نتایج شکل مذکور در بسیاری از ایستگاه‌ها داده‌های پرت در مقادیر عملکرد محصولات انتخاب شده وجود دارد که لازم است قبل از استفاده مورد بررسی واقع شوند. در این پژوهش برای تعیین داده‌های پرت با انتخاب توزیع نرمال برای مقادیر عملکرد گندم و جو از روش ارایه شده در بسته‌ی extreme values در نرم-افزار R استفاده شده است (Van der Loo., 2010) که نتایج آن برای داده‌های عملکرد گندم دیم در شکل 3 آورده شده‌اند. در شکل مذکور با برازش توزیع نرمال مقادیر باقی‌مانده‌ها در مقابل مقادیر واقعی رسم شده‌اند و داده‌های قرار گرفته در ناحیه‌های خاکستری می‌توانند به عنوان داده‌های پرت بررسی شوند و با نماد ستاره نشان داده شده‌اند.

نتایج ارزیابی توابع تولید گندم و جو بر اساس شاخص ARID
 برای محاسبه‌ی شاخص ARID در رهیافت اول (مدل تک لایه-ی توازن آب خاک) مقدار رطوبت متوسط اولیه برابر 0/18 درصد حجمی و رطوبت در نقاط ظرفیت زارعی و پژمردگی به ترتیب برابر با 0/25 و 0/12 درصد حجمی در نظر گرفته شدند. هم‌چنین با برآورد



شکل 2- نمودار جعبه‌ای مقادیر عملکرد گندم و جو دیم طی سال‌های مختلف زراعی (کل دوره آماری) در سطح شهرستان‌های استان گلستان



شکل 3- نتایج تعیین داده‌های پرت با انتخاب توزیع نرمال برای داده‌های عملکرد گندم در سطح شهرستان‌های استان گلستان

هریک از مراحل 6 گانه محاسبه گردید. سپس با انتخاب معیار آماری خطای NSE، با استفاده از بخش بهینه‌سازی نرم‌افزار اکسل (Solver) مقادیر ضرایب حساسیت مراحل مختلف رشد برآورد و بر مبنای ضرایب بدست آمده، مقادیر آماره‌های خطاسنجی در هریک از ایستگاه‌های تبخیرسنجی و سینوپتیک مورد بررسی واقع در شهرستان‌های مختلف استان گلستان به تفکیک محصولات مورد بررسی محاسبه گردید. نتایج مقادیر آماره‌های خطاسنجی برای مدل‌های برآورد عملکرد گندم و جو در سطح استان گلستان بر پایه‌ی شاخص ARID در دو رهیافت مورد بررسی به ترتیب در جداول 1 و 2 آورده شده‌اند. بر پایه‌ی نتایج جدول 1، مقدار بدست آمده برای ضریب NSE در ایستگاه‌های آق‌قلا، رامیان، لاله باغ و گرگان مقادیر منفی می‌باشند که نشانگر کارایی ضعیف و غیر قابل قبول شاخص ARID مبتنی بر مدل تک لایه در برآورد عملکرد گندم در ایستگاه‌های مذکور می‌باشد. در سایر ایستگاه‌های مورد بررسی مقدار ضریب NSE از 0/056 در ایستگاه غفارحاجی واقع در شهرستان بندر ترکمن تا 0/544 در ایستگاه مراوه‌تپه واقع در شهرستان کلاله متغیر

طول فصل رشد گندم زمستانه حدوداً از 180 تا 250 روز گزارش شده است. تاریخ کاشت گندم و جو در استان گلستان از 15 آبان تا 10 آذر و تاریخ برداشت نیز از 10 تا 20 خرداد متغیر می‌باشد بنابراین طول دوره‌ی رشد از 191 روز در علی‌آباد تا 222 روز در گنبد متغیر می‌باشد (مساعدی، 1384). گندم و به‌طور کلی غلات دارای 10 مرحله‌ی رشد اصلی از جوانه زدن تا رسیدن می‌باشند. در این پژوهش دوره‌ی رشد محصولات گندم و جو به 6 دوره‌ی فنولوژیکی: 1- رشد اولیه (ظاهرشدن گیاهچه و رشد آن)، 2- رشد رویشی اولیه (شروع پنجه‌زنی و توسعه‌ی آن)، 3- رشد رویشی ثانویه (ساقه‌دهی و مشاهده‌ی برگ پرچم)، 4- آبستنی (غلاف بستن)، 5- ظهور سنبله و گرده افشانی و 6- مرحله‌ی پرشدن دانه و رسیدگی فیزیولوژیک تقسیم گردید. برای تعیین طول هر یک از مراحل ذکر شده از مجموع واحد حرارتی لازم برای رسیدن به هر مرحله‌ی رشد استفاده گردید به‌طوری‌که مثلاً گیاه گندم با عمق کاشت 10 سانتی‌متر به 180 واحد حرارتی (درجه-روز) در دوره‌ی رشد اولیه نیاز دارد. با محاسبه‌ی شاخص ARID در هر روز از دوره‌ی رشد، مقدار متوسط آن برای

برای سایر ایستگاه‌ها دارای مقادیر مثبت و بزرگ‌تر از صفر می‌باشند که نسبت مدل‌های بدست آمده برای گندم دارای ضریب کارایی بالاتری هستند. در شهرستان‌های آق‌قلا، بندر ترکمن، رامیان، کلاله و گنبد حداقل یک ایستگاه وجود دارد که دارای ضریب NSE بالاتر از 0/3 باشد از طرفی در شهرستان‌های مورد بررسی تعداد 5 ایستگاه دارای ضریب NSE مثبت اما کم‌تر از 0/3 می‌باشند که این امر بیانگر دقت متوسط مدل‌های برآورد عملکرد جو دیم در رهیافت اول می‌باشد. نتایج ارزیابی توابع تولید بدست آمده در رهیافت دوم مبتنی بر مدل دولایه‌ی توازن آب خاک در سطح شهرستان‌های استان گلستان نشان می‌دهد که دقت مدل‌های برآورد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافتند به طوری که این افزایش دقت در مورد ایستگاه‌هایی که مقدار ضریب NSE در رهیافت اول کم‌تر از 0/3 بوده است به طرز چشم‌گیری بهبود یافته‌اند به طور مثال مقدار ضریب NSE در ایستگاه‌های آق‌قلا و بهلکه داشلی در شهرستان آق‌قلا که در رهیافت اول محاسبه‌ی شاخص ARID کم‌تر از 0/1 بودند به ترتیب به 0/52 و 0/55 ارتقا یافتند. علاوه بر این مقدار ضریب NSE در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی دارای مقدار مثبتی بوده است به طوری که در تمامی ایستگاه‌های واقع در شهرستان‌های مورد بررسی به جز شهرستان گرگان مقدار آن‌ها بیش‌تر از 0/5 بوده است که این امر نشان‌دهنده‌ی دقت خوب مدل‌های برآورد عملکرد جو دیم می‌باشد. بررسی سایر آماره‌های خطاستجی نیز موید دقت بالای مدل‌های برآورد عملکرد جو در رهیافت دوم می‌باشد به طوری که مقدار ضریب همبستگی بدست آمده برای ایستگاه‌های مختلف به جز شهرستان گرگان مقادیری بیش از 0/7 را دارا هستند.

می‌باشد. نتایج ارزیابی مدل ARID تک لایه در مدل‌سازی عملکرد گندم دیم نشان می‌دهد حداقل یک ایستگاه از ایستگاه‌های واقع در شهرستان‌های آق‌قلا، علی‌آباد، کلاله، گنبد و مینودشت دارای ضریب NSE بالاتر از 0/3 می‌باشد که نشانگر کارایی قابل قبول توابع تولید بدست آمده برای برآورد عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های مذکور می‌باشد. نتایج شاخص ARID در مدل دولایه‌ی توازن آب خاک برای مقادیر عملکرد گندم (جدول 1) نشان می‌دهد استفاده از مدل دولایه سبب افزایش دقت توابع تولید در تمامی ایستگاه‌های متناظر به جز ایستگاه تبخیرسنجی فاضل‌آباد شده است. از طرفی در ایستگاه‌های آق‌قلا و گرگان مقدار ضریب NSE مدل‌های برآورد عملکرد گندم مشابه مدل تک‌لایه منفی و کم‌تر از صفر می‌باشد که بیانگر کارایی ضعیف آن‌ها می‌باشد با این وجود در ایستگاه‌های ذکر شده استفاده از مدل دولایه نسبت به مدل تک‌لایه تا حدود زیادی سبب افزایش دقت آن‌ها شده است. در سایر ایستگاه‌های تبخیرسنجی و سینوپتیک مورد بررسی مقدار ضریب NSE از 0/303 در فاضل‌آباد تا 0/743 در مروه‌تپه متغیر است که برای بیش‌تر ایستگاه‌ها این ضریب بالاتر از 0/5 بدست آمده است که نشانگر کارایی خوب و بالای آن می‌باشد. به طور کلی بر اساس نتایج توابع تولید بدست آمده در رهیافت دولایه، مقدار ضریب NSE برای حداقل یک ایستگاه در شهرستان‌های آق‌قلا، بندر ترکمن، رامیان، علی‌آباد، کلاله، گنبد و مینودشت بیش‌تر از 0/3 می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی کارایی توابع تولید استخراج شده می‌باشند. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده از جدول 2، مقادیر ضریب NSE برای مدل‌های برآورد عملکرد جو دیم در شاخص ARID مبتنی بر مدل تک‌لایه به جز در ایستگاه گرگان

جدول 1- مقادیر آماره‌های خطاستجی برای مدل‌های برآورد عملکرد گندم دیم در سطح استان گلستان بر پایه‌ی شاخص‌های ARID

| شهرستان | ایستگاه | شاخص ARID (مدل تک لایه) | | | شاخص ARID (مدل دولایه توازن آب و خاک) | | |
|------------|-------------|-------------------------|-------|--------|---------------------------------------|------|--------|
| | | R | RMSE | NSE | R | RMSE | NSE |
| | آق‌قلا | 0/39 | 559/9 | -0/175 | 526/9 | 0/27 | -0/041 |
| آق‌قلا | سد گرگان | 0/71 | 403/6 | 0/390 | 391/8 | 0/66 | 0/425 |
| | بهلکه-داشلی | 0/71 | 432/5 | 0/299 | 427/6 | 0/60 | 0/315 |
| بندر ترکمن | غفارحاجی | 0/62 | 429/7 | 0/056 | 322/2 | 0/69 | 0/436 |
| | رامیان | 0/31 | 565/5 | -1/21 | 313/1 | 0/64 | 0/322 |
| رامیان | لاله باغ | 0/53 | 478/1 | -0/612 | 295/9 | 0/69 | 0/382 |
| | علی‌آباد | 0/66 | 452/5 | 0/307 | 453/6 | 0/57 | 0/303 |
| | کلاله | 0/83 | 399/3 | 0/524 | 360/7 | 0/79 | 0/611 |
| | کلاله | 0/77 | 422/3 | 0/544 | 316/7 | 0/87 | 0/743 |
| گرگان | مراوه‌تپه | 0/45 | 540/8 | -0/314 | 485/5 | 0/39 | -0/059 |
| | گرگان | 0/74 | 402/3 | 0/403 | 397/5 | 0/69 | 0/417 |
| | گنبد | 0/75 | 415/9 | 0/439 | 389/5 | 0/72 | 0/508 |
| مینودشت | گنبد کاووس | 0/72 | 436/2 | 0/353 | 275/5 | 0/86 | 0/742 |
| | مینودشت | | | | | | |

جدول 2- مقادیر آماره‌های خطاسنجی برای مدل‌های برآورد عملکرد جو در سطح استان گلستان بر پایه‌ی شاخص‌های ARID

| شاخص ARID (مدل دولابه توازن آب و خاک) | | | شاخص ARID (مدل تک لایه) | | | ایستگاه | شهرستان |
|---------------------------------------|-------|------|-------------------------|-------|------|-------------|------------|
| NSE | RMSE | R | NSE | RMSE | R | | |
| 0/520 | 196/5 | 0/72 | 0/109 | 268/1 | 0/69 | آق قلا | |
| 0/668 | 163/5 | 0/82 | 0/547 | 190/8 | 0/86 | سد گرگان | آق قلا |
| 0/553 | 189/6 | 0/74 | 0/100 | 269/0 | 0/75 | بهلکه-داشلی | |
| 0/616 | 261/7 | 0/79 | 0/498 | 299/3 | 0/77 | غفارحاجی | بندر ترکمن |
| 0/524 | 363/9 | 0/72 | 0/355 | 423/4 | 0/64 | رامیان | رامیان |
| 0/677 | 294/2 | 0/82 | 0/591 | 330/4 | 0/78 | لاله باغ | |
| 0/477 | 374/3 | 0/70 | 0/059 | 510/1 | 0/53 | فاضل آباد | علی آباد |
| 0/664 | 383/9 | 0/82 | 0/454 | 489/5 | 0/74 | تمر | کلاله |
| 0/626 | 407/2 | 0/80 | 0/754 | 330/1 | 0/87 | مراوه تپه | |
| 0/424 | 310/2 | 0/65 | -0/201 | 447/9 | 0/39 | گرگان | گرگان |
| 0/559 | 264/7 | 0/76 | 0/037 | 391/1 | 0/69 | ارازکوسه | |
| 0/530 | 303/6 | 0/73 | 0/342 | 359/0 | 0/73 | گنبد کاووس | گنبد |
| 0/500 | 380/3 | 0/72 | 0/282 | 456/1 | 0/59 | مینودشت | مینودشت |

نتایج آنالیز ضرایب حساسیت نسبی دوره‌های رشد نسبت به تنش آبی

گندم و جو در مراحل مختلف رشد و نمو خود حساسیت یکسانی به کمبود آب ندارد. درجه حساسیت یا عکس‌العمل به کمبود آب در مراحل مختلف رشد بسته به وضعیت خاک، عوامل اقلیمی، رقم و طول فصل رویش متغیر می‌باشد. هم‌چنین تحت شرایطی کمبود آب ممکن است مطلوب باشند. ضرایب حساسیت به دست آمده برای مراحل 6 گانه‌ی رشد در بهترین مدل برآورد مقادیر عملکرد گندم بر اساس شاخص NSE در جدول 3 ارائه شده‌اند. در این جدول مقادیر ضرایب حساسیت برای ایستگاه‌هایی آورده شده‌اند که مقادیر قابل قبولی از ضریب NSE (بزرگ‌تر از صفر) را دارا بودند. هرچه مقدار ضریب λ_m بیش‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی حساسیت بیش‌تر آن نسبت به تنش آبی می‌باشد و برعکس.

بر پایه‌ی نتایج بدست آمده بیش‌ترین ضرایب حساسیت بدست آمده در ایستگاه‌های مورد بررسی به ازای دوره‌های سوم، اول و چهارم می‌باشند به طوری که در تمامی ایستگاه‌ها دوره‌ی سوم که معادل ساقه رفتن و مشاهده برگ پرچم (مرحله‌ی دوم رویشی) می‌باشد دارای بیش‌ترین ضریب حساسیت می‌باشد. در مرتبه‌ی بعدی اهمیت، بیش‌ترین ضرایب حساسیت به دوره‌های خوشه رفتن (مرحله چهارم)، رشد اولیه (مرحله اول) و گلدهی (مرحله پنجم) اختصاص دارند که ترتیب اهمیت آن‌ها در شهرستان‌های مورد بررسی متفاوت می‌باشد. این در حالی است که دوره‌های رشد رویشی مرحله‌ی اول (دوره‌ی شروع پنجه‌زنی و توسعه‌ی آن) و دوره‌ی رسیدگی دارای کم‌ترین مقدار ضریب حساسیت بوده‌اند و دوره‌ی رشد رویشی مرحله اول دارای کم‌ترین ضریب حساسیت بوده است. دلیل این موضوع می‌تواند

مقارن بودن دوره‌ی رشد مرحله‌ی اول با وقوع بارش‌های نسبتاً مناسب در استان گلستان دانست که بخش زیادی از نیاز آبی گیاه را طی ماه‌های آذر تا بهمن می‌تواند تامین نمایند. از طرف دیگر ضرایب حساسیت کم دوره‌ی رشد پایانی که معادل مرحله‌ی رسیدگی گندم می‌باشد می‌تواند ناشی از حساسیت کم تنش آبی آن دوره باشد این نتیجه تا حدی با یافته‌های (Mishra et al., 1995) که مشاهده کردند انجام آبیاری در مرحله‌ی خمیری شدن دانه‌ها کم‌ترین اثر را بر عملکرد دانه دارد مطابقت دارد. علاوه بر این سینگ (Singh., 1981) نشان داد کمبود آب در دوره‌ی رشد رویشی منجر به کاهش تعداد پنجه‌ها می‌شود در حالی که آبیاری در مرحله‌ی خمیری منجر به افزایش عملکرد محصول نمی‌شود. هم‌چنین آگ مشاهده کرد که آبیاری در مراحل پنجه‌زنی و تشکیل گره در مقایسه با آبیاری در مراحل خوشه رفتن و گرده افشانی منجر به عملکرد بالاتر گندم می‌شود (Eck, 1988). در ایستگاه‌های در شهرستان‌های آق قلا بیش‌ترین ضرایب حساسیت مربوط به مرحله‌ی سوم می‌باشد، در ایستگاه لاله باغ و رامیان بیش‌ترین ضرایب حساسیت مربوط به دوره‌های سوم، اول و پنجم می‌باشند. در شهرستان‌های علی آباد، کلاله و مینودشت بیش‌ترین ضرایب حساسیت به دوره‌های سوم (ساقه رفتن و مشاهده برگ پرچم) و اول رشد تعلق دارند. در ایستگاه‌های ارازکوسه و گنبد کاووس واقع در شهرستان گنبد بیش‌ترین ضرایب حساسیت به دوره‌های سوم و چهارم شامل دوره‌های ساقه رفتن و خوشه رفتن اختصاص دارند. بر پایه‌ی نتایج جدول 3، در گیاه زراعی گندم بیش‌ترین ضریب حساسیت نسبی تنش آب به دوره‌ی ساقه رفتن اختصاص دارد که با نتایج برخی از پژوهش‌هایی که در ادامه آورده شده‌اند هم‌خوانی دارد. سالتر و گوته بعد از بررسی گسترده منابع واکنش گندم به

تشکیل سنبله و دو هفته قبل از گرده‌افشانی را به عنوان مرحله‌های حساس رشد گندم معرفی نمودند (Doorenbos and Pruiitt., 1977). نیکس و فیت پاتریک بیان کردند بیشترین کاهش عملکرد دانه‌ی گندم و سورگوم هنگامی بروز کرد که تنش آبی طی مراحل ظهور خوشه تا گرده‌افشانی و اوایل تشکیل دانه اعمال شد. بررسی نتایج ضرایب حساسیت بدست آمده نسبت به تنش آبی برای گندم در مقایسه با نتایج سایر پژوهشگران نشان می‌دهد دوره‌های حساس مختلفی به عنوان حساس‌ترین دوره‌های رشد معرفی شده‌اند که وجه مشترک بیش‌تر آن‌ها در مورد حساس‌ترین دوره‌ی رشد دوره‌های ساقه رفتن و خوشه رفتن می‌باشد که نتایج این پژوهش در مورد حساسیت دوره‌ی ساقه‌رفتن با آن‌ها در تطابق کامل می‌باشد ولی در ارتباط با دوره‌ی خوشه‌رفتن برخی عدم تطابق‌ها دیده می‌شود و در برخی از ایستگاه‌ها اهمیت این دوره با دوره‌ی اولیه رشد و سبز شدن برابر و گاه کم‌تر به دست آمده است (Nix and Fitzpatrick., 1969).

کمبود آب در دوره‌های رشد نتیجه گرفتند که گندم در طول دوره‌های ساقه رفتن و خوشه‌رفتن بیش‌ترین حساسیت به تنش آبی را دارد (Salter and Goode., 1967). سینگ ترتیب حساسیت سه مرحله از رشد گندم را به ترتیب شامل خوشه رفتن، گلدهی تا تشکیل دانه و مرحله‌ی رویشی بر شمرد (Singh., 1988). اسدی و همکاران (1382) با تفکیک مراحل رشد گندم به سه دوره‌ی رشد رویشی (مراحل پنجه‌زنی و ساقه رفتن)، رشد زایشی (خوشه رفتن، گلدهی و گرده افشانی) و دوره تکامل دانه (خمیری شدن و رسیدن) بیان داشتند که حساسیت این دوره‌ها نسبت به تنش آبی به ترتیب شامل دوره‌های زایشی، رویشی و تکامل دانه در منطقه‌ی کرج می‌باشند. نتایج برخی از پژوهش‌ها نیز بیانگر حساسیت بیش‌تر دوره‌های رشد زایشی نسبت به دوره‌های رشد رویشی می‌باشند به طوری که حساس‌ترین دوره از رشد گندم را نسبت به تنش آبی در طول مرحله‌ی خوشه‌رفتن می‌دانند. دورنباس و پرویت با بررسی مراحل بحرانی و دوره‌های فعال گیاهان علوفه‌ای و زراعی، مرحله‌های ساقه‌رفتن،

جدول 3- مقادیر ضرایب حساسیت بدست آمده برای بهترین مدل برآورد مقادیر عملکرد گندم دیم

| مقادیر ضرایب حساسیت مراحل مختلف رشد | | | | | | ایستگاه | شهرستان |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| λ_6 | λ_5 | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | | |
| 0/01 | 0/07 | 0/05 | 0/56 | 0/02 | 0/08 | سد گرگان | آق‌قلا |
| 0/01 | 0/03 | 0/04 | 0/89 | 0/04 | 0/04 | بهلکه-داشلی | بندر ترکمن |
| 0/01 | 0/04 | 0/08 | 0/71 | 0/02 | 0/01 | غفارحاجی | رامیان |
| 0/01 | 0/06 | 0/11 | 0/45 | 0/02 | 0/15 | رامیان | لاله باغ |
| 0/04 | 0/02 | 0/11 | 0/06 | 0/03 | 0/22 | لاله باغ | علی‌آباد |
| 0/06 | 0/08 | 0/09 | 0/30 | 0/01 | 0/06 | فاضل‌آباد | کلاله |
| 0/06 | 0/03 | 0/04 | 0/08 | 0/01 | 0/02 | تمر | مرآه‌تپه |
| 0/02 | 0/06 | 0/05 | 0/22 | 0/02 | 0/13 | مرآه‌تپه | گنبد |
| 0/01 | 0/02 | 0/08 | 0/40 | 0/01 | 0/03 | ارازکوسه | گنبد |
| 0/01 | 0/04 | 0/09 | 0/48 | 0/01 | 0/02 | گنبد کاووس | مینودشت |
| 0/02 | 0/01 | 0/06 | 0/40 | 0/01 | 0/12 | مینودشت | |

رفتن و خوشه رفتن به عنوان مهم‌ترین مراحل رشد می‌توان در نظر گرفت که دارای حساسیت زیادی نسبت به تنش آبی می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نوسانات متغیرهای آب و هوایی و تنش‌های حاصل از خشک‌سالی نقش مهمی در کاهش مقدار تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه در شرایط دیم دارند. در این تحقیق با بهره‌گیری از شاخص ARID در دو رهیافت مبتنی بر مدل‌های توازن آب خاک اقدام به مدل‌سازی عملکرد گندم و جو در زارعت‌های دیم در سطح شهرستان‌های استان گلستان شده است.

مقادیر ضرایب حساسیت بدست آمده برای بهترین مدل برآورد مقادیر عملکرد جو دیم به تفکیک برای ایستگاه‌های مختلف واقع در شهرستان‌های مورد بررسی در جدول 4 آورده شدند. بر پایه‌ی نتایج بدست آمده در شهرستان آق‌قلا، بندر ترکمن و علی‌آباد دوره‌های رشد رویشی ثانویه و رشد اولیه حساس‌ترین دوره‌ها نسبت به تنش آبی می‌باشند. در ایستگاه رامیان دوره‌های رویشی اولیه و رشد اولیه، در ایستگاه‌های واقع در شهرستان‌های کلاله، مینودشت و گرگان دوره‌های رشد رویشی ثانویه و خوشه‌رفتن (غلاف بستن و یا ظهور سنبله و گرده‌افشانی) حساس‌ترین دوره‌ها نسبت به تنش آبی بدست آمدند. بررسی دوره‌های رشد حساس به تنش آبی برای محصول جو در سطح شهرستان‌های استان گلستان نشان می‌دهد که مراحل ساقه

جدول 4- مقادیر ضرایب حساسیت بدست آمده برای بهترین مدل برآورد مقادیر عملکرد جو دیم

| مقادیر ضرایب حساسیت مراحل مختلف رشد | | | | | | ایستگاه | شهرستان |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| λ_6 | λ_5 | λ_4 | λ_3 | λ_2 | λ_1 | | |
| 0/01 | 0/04 | 0/05 | 0/88 | 0/02 | 0/22 | آق قلا | |
| 0/02 | 0/07 | 0/02 | 0/79 | 0/03 | 0/31 | سد گرگان | آق قلا |
| 0/04 | 0/03 | 0/12 | 0/99 | 0/05 | 0/23 | بهلکه-داشلی | |
| 0/01 | 0/05 | 0/03 | 0/99 | 0/04 | 0/14 | غفارحاجی | بندر ترکمن |
| 0/05 | 0/03 | 0/17 | 0/04 | 0/03 | 0/34 | رامیان | رامیان |
| 0/03 | 0/17 | 0/10 | 0/07 | 0/02 | 0/28 | لاله باغ | |
| 0/06 | 0/08 | 0/05 | 0/92 | 0/01 | 0/15 | فاضل آباد | علی آباد |
| 0/03 | 0/09 | 0/13 | 0/18 | 0/01 | 0/01 | تمر | کلاله |
| 0/01 | 0/06 | 0/07 | 0/27 | 0/01 | 0/02 | مراوه تپه | |
| 0/03 | 0/11 | 0/01 | 0/85 | 0/01 | 0/01 | گرگان | گرگان |
| 0/01 | 0/06 | 0/13 | 0/33 | 0/18 | 0/15 | ارازکوسه | |
| 0/01 | 0/04 | 0/11 | 0/51 | 0/02 | 0/01 | گنبد کاووس | گنبد |
| 0/01 | 0/07 | 0/21 | 0/90 | 0/01 | 0/06 | مینودشت | مینودشت |

منابع

اسدی، ح، نیشابوری، م. ر. و سیادت، ح. 1382. تعیین ضریب حساسیت گندم به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رویش در منطقه کرج. مجله علوم کشاورزی ایران. 24، 3: 579-586

علیزاده، ا و کمالی، غ. 1386. نیاز آبی گیاهان در ایران. نشر دانشگاه امام رضا (ع). مشهد

علیزاده، ا. 1386. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ بیست و یکم، انتشارات آستان قدس رضوی، 807 ص

کیانی، ع، میرلطیفی، م، همایی، م و چراغی، ع. 1384. تعیین بهترین تابع تولید آب-شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، 6، 1: 14-25

مساعدی، ا. 1384. بررسی تاثیر خشک سالی و ترسالی بر عملکرد محصولات کشاورزی در استان گلستان. معاونت امور اقتصادی و برنامه ریزی سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گلستان. 177 ص

مساعدی، ا محمدی مقدم، س، و قیایی سوق، م. 1394. مدل سازی عملکرد گندم و جو دیم بر اساس شاخص های خشک سالی و متغیرهای هواشناسی. نشریه آب و خاک. 29، 3: 749-730

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 no. 56. FAO, Rome

Doerffer, R and Schiller, H. 2008. Algorithm Theoretical

بررسی داده های عملکرد محصولات زراعی مورد استفاده نشان داد که این داده ها همواره می توانند دارای داده های پرتی باشند که لازم است قبل از استفاده از طریق آزمون های لازم پایش شوند. شاخص ARID به عنوان یک شاخص نسبتا جدید با در نظر گرفتن حساسیت های مختلف مراحل رشد نسبت به تنش رطوبتی می تواند مراحل بحرانی رشد را تشخیص داده و عملکرد محصولات زراعی را تا حد مطلوبی پیش بینی نماید. نتایج شاخص ARID در رهیافت دوم بیلان آب خاک در مدل سازی توابع تولید برای گیاهان زراعی گندم و جو دیم دارای دقت بالاتری نسبت به نتایج شاخص ARID در رهیافت اول بودند به طوری که به ازای محصول گندم در تمامی ایستگاه های مورد بررسی به جز ایستگاه های آق قلا و گرگان دارای مقادیر ضریب همبستگی بیش تر از 0/55 و ضریب NSE بیش تر از 0/3 بوده است و به ازای محصول جو در تمامی ایستگاه ها دقت توابع تولید ایجاد شده دارای ضریب همبستگی بیش تر از 0/6 و ضریب NSE بیش تر از 0/4 بوده اند.

بررسی دوره های رشد حساس به تنش آبی برای محصولات گندم و جو در سطح شهرستان های استان گلستان نشان داد در تمامی شهرستان ها به جز شهرستان رامیان در هر دو محصول مرحله ی ساقه رفتن به عنوان مهم ترین مرحله ی رشد می باشد که دارای حساسیت زیادی نسبت به تنش آبی می باشند و دوره های رشد اولیه، خوشه رفتن و گلدهی در مرتبه های بعدی اهمیت از نظر حساسیت به تنش آبی قرار دارند. این در حالی است که دوره ی رشد رویشی اولیه شامل شروع پنجه زنی و توسعه آن دارای کمترین ضریب حساسیت بوده اند.

- of the American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50.3: 885-900.
- Nix, H.A and Fitzpatrick, E.A. 1969. An index of crop water stress related to wheat and grain sorghum yields. *Agricultural Meteorology*. 6.5: 321-337
- Potopová, V., Boroneant, C., Boincean, B and Soukup, J. 2015. Impact of agricultural drought on main crop yields in the Republic of Moldova. *International Journal of Climatology*. 36.4: 2063-2082
- Rossi, S and Niemeyer, S. 2010. Monitoring droughts and impacts on the agricultural production: Examples from Spain. In: *Economics of drought and drought preparedness in a climate change context*. Zaragoza: 35-40
- Salter, P.J and Goode, J.E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. *Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Buckinghamshire*.
- Singh, S.D. 1981. Moisture-sensitive growth stages of dwarf wheat and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. *Agronomy Journal*. 73.3: 387-391.
- Sivakumar, M.V.K., Motha, R.P., Wilhite, D.A and Wood, D.A. 2011. Agricultural drought indices. *Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, 2-4 June, Murcia, Spain*. 197 pp.
- Taylor, W. 2000. Change-Point Analyzer 2.0 shareware program, Taylor Enterprises, Libertyville, Illinois. Web: <http://www.variation.com/cpa>
- Van der Loo, M.P. 2010. Distribution based outlier detection for univariate data. *Statistics Netherlands*, 10003
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*. 88: 130-140
- Woli, P., Jones, J.W., Ingram, K.T and Fraise, C.W. 2012(a). Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*. 104 .2: 287-300
- Woli, P., Jones, J.W and Ingram, K.T. 2012(b). Assessing the Agricultural Reference Index for Drought (ARID) using uncertainty and sensitivity analyses. *Agronomy Journal*, 105.1: 150-160
- Woli, P., Jones, J.W., Ingram, K.T and Paz, J.O. 2013. Forecasting drought using the Agricultural Reference Index for Drought (ARID): a case study. *Weather Forecasting*. 28.2: 427-443.
- Basis Document (ATBD). Available in PDF at <https://earth.esa.int/documents/10174/1591138/ENV130a.pdf>
- Doorenbos, J and Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. *Irrigation and drainage paper*, 24, 144p
- Ebrahimpour, M., Rahimi, J., Armin Nikkha, A and Bazrafshan, J. 2014. Monitoring agricultural drought using the Standardized Effective Precipitation Index. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 141.1: 04014044
- Eck, H.V. 1988. Winter wheat responses to nitrogen and irrigation. *Agronomy Journal*. 80: 902-908.
- Gunst, L., Rego, F.M.C.C., Dias, S.M.A., Bifulco, C., Stage, J.H., Rocha, M.S and Van Lanen, A.J. 2015. Links between meteorological drought indices and yields (1979-2009) of the main European crops. *DROUGHT-R&SPI (Fostering European Drought Research and Science-Policy Interfacing)*, Technical Report No. 36
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semer adova, D., Dubrovsky, M., Zalud, Z., Mozny, M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 431-442
- Jensen, M.E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In: T. T. Kozlowski, ed. *Water deficits and plant growth*, Vol. II, pp. 1-22. Academic Press, New York, NY, USA
- Jongrunklang, N., Toomsana, B., Vorasoota, N., Jogloya, S., Booteb, K.J., Hoogenboom, G and Patanothaia, A. 2013. Drought tolerance mechanisms for yield responses to pre-flowering drought stress of peanut genotypes with different drought tolerant levels. *Field Crops Research*. 144: 34-42
- Mishra, V and Cherkauer, K.A. 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 1030-1045
- Moorhead, J.E., Gowda, P.H., Singh, V.P., Porter, D.O., Marek, T.H., Howell, T.A and Stewart, B.A. 2015. Identifying and evaluating a suitable index for agricultural drought monitoring in the Texas High Plains. *Journal of the American Water Resources Association*. 1-14
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Binger, R.L., Harmel, R.D and Veith, T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions*

Determination of rainfed Wheat and Barley Yield Functions With the Agricultural Reference Index for Drought (ARID) in Golestan Province

M. Ghabaei Sough¹, H. Zare Abyaneh², A. Mosaedi^{3*}

Received: Mar.09, 2016

Accepted: Des.19, 2016

Abstract

Drought as an inevitable consequence of weather variables is one of the main causes in decline of agricultural yields spatially in rainfed condition. In this study the Agricultural Reference Index for Drought (ARID) including one layer and two layers of soil water balance approaches were used to estimate the yield functions of rainfed wheat and barley in Golestan province. For this purpose the daily metrological variables from 12 weather stations during hydrological years were obtained and then the values of ARID according two mentioned approaches in the growth period of wheat and barley were calculated. In addition to the values of wheat and barley yield production in irrigated (Y_p) and rainfed (y) condition for eight city of Golestan province in corresponding time were gathered and by using change point analysis the time series of relative yield for each crop were estimated. By considering six phenological growth period for investigated crops, the average values of ARID during different years were calculated and by nonlinear solving of relation between relative yield and ARID the sensitivity coefficients to water stresses for each periods and the function of crop yields were determined. Finally evaluated the ability of ARID in two approaches by compared the predicted and observed crop yields according to statist criteria. According to these the results of ARID based on two layer of water soil balance model have a better efficiency in estimating of wheat and barley yields. In addition the accuracy of barley yield function is more than wheat yield function. Investigation the sensitivity coefficients of given crops indicated that the most sensitive period for rainfed wheat and barley in all given stations expect of Ramian Town stations was stem elongation (stage 3) period and the order of sensitivity coefficients for period of initiation stage, booting stage and flowering to water stresses were different according to kind of crops and stations but the two less sensitive periods to water stress were obtained for initiation vegetative and ripping periods.

Key words: Change points, Golestan province, Relative yield, Water stresses

1- Ph.D. Candidate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Associated Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*-Corresponding Author Email: mosaedi@um.ac.ir)