

تحلیل نقش بارش بر تأمین نیاز آبی، میزان عملکرد و تنش رطوبتی گندم و عدس در دشت زنجان

پرستو امیرذهنی^۱، ابوالفضل مجنونی هریس^{۲*}، احمد فاخری فرد^۳ و اسماعیل اسدی^۴

چکیده

غلات اساسی‌ترین و حبوبات اصلی‌ترین محصول موجود در سبد غذایی جهانیان است. عدس در بین حبوبات، علاوه بر دارا بودن مقدار زیاد پروتئین باکیفیت و باارزش، مناسب و مکمل برای پروتئین غلات در الگوی تغذیه‌ای، تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در خاک نیز است، که این خاصیت عدس، باعث شده است در تناوب با غلات کشت شود. بدین ترتیب کشت متناوب گندم و عدس در دشت زنجان، عامل مهمی در ثبات تولید در دیمزارهای کشورهای در حال توسعه است؛ لذا در این مطالعه به دلیل اهمیت گندم و عدس، به عنوان دو محصول عمده در تناوب زراعی اراضی دشت زنجان، به بررسی ارتباط بین عملکرد با تبخیر- تعرق، بارش و ضریب تنش آبی پرداخته شده است. نتایج مطالعه نشان داد، میانگین مقدار تبخیر- تعرق واقعی گندم و عدس برای دشت زنجان در دوره مورد مطالعه، به ترتیب برابر ۳۹۸ و ۲۶۲ میلی‌متر بود. دو محصول دیم غالب تناوب زراعی دشت زنجان در یازده سال مورد مطالعه همواره با تنش آبی مواجه و طی همه سال‌ها گیاه گندم حدوداً ۲۵ تا ۵۰ درصد دوره و گیاه عدس ۲۰ تا ۴۵ درصد دوره رشد، دارای ضریب تنش آبی کمتر از یک بوده است. بر اساس نتایج حاصل از برازش‌ها، بیشترین ضریب تبیین به ترتیب بین تبخیر و تعرق- عملکرد، بارش- عملکرد و ضریب تنش آبی- عملکرد با مقادیر ۰/۷، ۰/۵۲ و ۰/۱۵ است. در مورد عدس این روند متفاوت و همبستگی بین عملکرد- میزان تنش آبی بیشتر از همبستگی بین بارش- عملکرد و تبخیر و تعرق- عملکرد می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد که در دوره رشد این دو محصول، تنش آبی و عدم تأمین نیاز آبی گیاه باعث افت شدید عملکرد می‌شود؛ بنابراین برای رسیدن به تولید بالا، استفاده از روش‌های جدید خاک‌ورزی، کشاورزی حفاظتی و انجام آبیاری تکمیلی، همچنین استفاده از روش کشت انتظاری برای عدس قابل توصیه است.

واژگان کلیدی: بارندگی، تأمین نیاز آبی، تناوب زراعی، فصل رشد، محصولات غالب دیم.

ارجاع: امیرذهنی پ.، مجنونی هریس ا.، فاخری فرد ا. و اسدی ا. ۱۳۹۹. تحلیل نقش بارش بر تأمین نیاز آبی، میزان عملکرد و تنش رطوبتی گندم و عدس در دشت زنجان. مجله پژوهش آب ایران. ۳۸: ۱۲۳-۱۳۲.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

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

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: majnooni@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۷

مقدمه

کشت دیم، یکی از روش‌های مهم برای دستیابی به توسعه پایدار، با استفاده بهینه از آب سبز است. حدود ۷۵ درصد مساحت زیرکشت در دنیا به صورت دیم است که بخش مهمی از اقتصاد ملتها را تشکیل می‌دهد (عدنان و همکاران، ۲۰۰۹). در کشور ایران نیز این روش، همچنان از راه‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی است. مهم‌ترین عامل در کشت دیم بارش است و محدودیت‌ها و عدم تطابق زمانی و مکانی بارش‌ها با فصل کاشت محصولات، ممکن است بازده کشت دیم را کاهش دهد. میزان بارش در سه فصل بهار، پاییز و زمستان در میزان عملکرد دیم مؤثر است. بررسی بارش بر افزایش میزان عملکرد سالانه محصول دیم، از نظر مدیریت منابع آب و افزایش امنیت غذایی، اهمیت ویژه و قابلیت اعتماد بیشتری دارد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

گندم از نظر سطح زیرکشت و تولید، مهم‌ترین محصول زراعی ایران و یک محصول استراتژیک است که به صورت کشت دیم و آبی با سطح زیرکشت بیش از ۶/۶ میلیون هکتار حدود نیمی از مساحت زمین‌های زراعی را به خود اختصاص داده است و این امر، اهمیت تحقیق در مورد بهره‌وری گندم را نشان می‌دهد (نخجوانی مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه گندم با تولید سالانه بیش از ۶۰۰ میلیون تن به‌عنوان یک منبع ارزشمند کربوهیدرات برای میلیون‌ها انسان، بعد از ذرت و برنج، بیشترین تولید در دنیا را به خود اختصاص داده است (آسنگ و همکاران، ۲۰۱۱). کوکیک و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی آثار طولانی مدت تغییرات آب و هوایی روی محصولات اساسی در استرالیا پرداختند. آنان در این زمینه دو سناریوی مختلف تغییر اقلیمی را مطالعه کردند و دامنه توانایی‌های محیط را برای محصولات کشاورزی مختلف که ممکن است در این وضعیت کشت شوند، مشخص کردند. آنان انجام آبیاری تکمیلی و استفاده از محصولات با گونه‌های مقاوم به خشکی را به‌عنوان استراتژی‌هایی که برای کاهش آسیب پذیری در مقابل کاهش مقادیر بارش پیشنهاد کردند. الکساندروف و هونگبوم (۲۰۰۱) نیز تغییرات اقلیمی در طی قرن بیستم و رابطه آن با نوسانات عملکرد محصولات مهمی مانند گندم و ذرت را در ایالت جورجیای آمریکا مورد مطالعه قرار دادند. آنان کاهش بارندگی به‌ویژه در دوران گل

دهی را در تنزیل عملکرد گندم دیم آن منطقه مؤثر گزارش کردند. رس و همکاران (۱۹۹۰) تأثیر رژیم بارندگی و دما را بر عملکرد گندم دیم در منطقه بلوچستان پاکستان بررسی کردند. ایشان احتمال وقوع بارندگی مورد نیاز در فصل‌های مختلف برای رشد و نمو گندم را محاسبه کردند و دریافتند که کاشت ارقام مقاوم به سرما و خشکی و محصولات زمستانه برای نواحی شرقی منطقه مورد مطالعه مناسب هستند. گارسیا لئون و همکاران (۲۰۱۹) روابط عملکرد غلات مناطق مختلف اسپانیا را با شاخص‌های اقلیمی و خشکسالی مورد بررسی قرار دادند و تأثیر مستقیم این شاخص‌ها در عملکرد غلات از جمله گندم را گزارش کردند. ژانگ (۱۹۹۴) آزمایش‌های متعددی برای تعیین آثار تغییرات دما و بارندگی روی رشد و نمو گندم زمستانه در کشور چین انجام داد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات درجه حرارت نسبت به بارندگی از اهمیت بیشتری روی عملکرد دانه در آن منطقه برخوردار است.

بعد از غلات، حبوبات به‌عنوان اصلی‌ترین منبع غذایی انسان مطرح بوده است که اهمیت غذایی و زراعی قابل توجهی دارند (باقری و همکاران، ۱۳۸۵). عدس در بین حبوبات، علاوه بر دارا بودن مقدار زیاد پروتئین باکیفیت و با ارزش، مناسب و مکمل برای پروتئین غلات در الگوی تغذیه‌ای و همچنین تثبیت‌کننده نیتروژن هوا در خاک است (انجم و همکاران، ۲۰۰۵) که این خاصیت عدس، باعث شده است در تناوب با غلات کشت شود؛ به عبارتی کشت متناوب گندم دیم با عدس دیم عامل مهمی در ثبات تولید در دیمزارهای کشورهای درحال توسعه است. سطح زیرکشت عدس در ایران ۲۲۵ هزار هکتار و عملکرد آن حدود ۵۱۰ کیلوگرم بر هکتار است (نظامی و همکاران، ۱۳۸۹ و کمالی و همکاران، ۱۳۹۵).

استان زنجان با اختصاص ۶/۹ درصد تولید کل حبوبات کشور رتبه پنجم کشوری را دارد. عملکرد عدس در این استان از ظرفیت تولید آن به دلایل مختلف فاصله دارد. البته به طور کلی عملکرد عدس در کشور پایین است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۰). امروزه یکی از سیاست‌های وزارت جهاد و کشاورزی برای افزایش میزان تولید محصولاتی مانند عدس دیم، استفاده از سیستم کشاورزی از شیوه سنتی به حفاظتی است. شیوه حفاظتی، کشت بدون شخم و استفاده از آبیاری تکمیلی برای کاشت و

شده است که این امر نشان از تنوع آب و هوایی این خطه از کشور دارد. در سطح کاربردی سه ناحیه آب و هوایی سردسیری، معتدل و نیمه گرمسیری قابل شناسایی است، که میانگین بارندگی دهه گذشته معادل ۳۰۱ میلی متر گزارش شده است. برای انجام این مطالعه، داده های آماری شامل اطلاعات هواشناسی از سال ۲۰۰۴-۲۰۱۴ از سازمان هواشناسی و داده های عملکرد محصولات، از آمارنامه های جهاد کشاورزی تهیه شده اند. ایستگاه سینوپتیک زنجان با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی، به ارتفاع ۱۶۶۳ متر از سطح دریای آزاد است. در شکل ۱ محدوده منطقه مورد مطالعه در کشور و استان و در جدول ۱ مشخصات اقلیمی ایستگاه زنجان ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت دشت زنجان

بهبود عملکرد محصولات دیم در مناطق خشک و نیمه خشک، از راهکارهای مهم افزایش بهره‌وری آب است (هادی و همکاران، ۱۳۹۶). از عوامل مهم در مدیریت تولید دو محصول دیم گندم و عدس، بالا بردن کارایی استفاده از بارندگی های مؤثر است؛ لذا در این مطالعه به دلیل اهمیت گندم و عدس به عنوان دو محصول عمده دیم و اهمیت آن‌ها در قرار گرفتن تناوب زراعی، در دیم‌زارهای دشت زنجان، ارتباط عملکرد با بارش دوره رشد، تبخیر- تعرق، ضریب تنش آبی بررسی شده است. سپس تأثیر میزان بارش در تأمین نیاز آبی این دو محصول مهم و تنش وارده به آن‌ها در وضعیت اقلیمی دشت زنجان مورد بررسی قرار شد.

مواد و روش‌ها

استان زنجان در ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی، و ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی، با مساحتی نزدیک به ۳۹۳۶۹ کیلومترمربع، قرار گرفته است. این استان به دلیل داشتن موقعیت جغرافیایی و کشاورزی ممتاز، وضعیت آب و هوایی متنوع و ظرفیت‌های بالا در بخش‌های مختلف به ویژه بخش کشاورزی از جمله استان‌هایی است که چشم انداز خوبی برای توسعه دارد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش دو مارتن، یازده نوع اقلیم در استان تشخیص داده

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه هواشناسی زنجان

| ماه | پارامتر | میانگین بلندمدت | ۲۰۱۴-۲۰۰۴ | پارامتر | میانگین بلندمدت | ۲۰۱۴-۲۰۰۴ |
|---------|---------|-----------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|-----------|
| ژانویه | | -۲/۲۸ | -۲/۲۸ | | ۲۴/۵۹ | ۲۴/۵۹ |
| فوریه | | -۰/۱۵ | ۰/۷۶ | | ۲۹/۶۵ | ۲۹/۶۵ |
| مارس | | ۵/۱۵ | ۶/۳۱ | میانگین دمای ماهانه (درجه سلسیوس) | ۲۹/۲۵ | ۴۵/۰۷ |
| آوریل | | ۱۱/۰۴ | ۱۰/۹۹ | | ۵۸/۹۴ | ۵۶/۴۸ |
| مه | | ۱۶/۰۲ | ۱۵/۵۵ | | ۴۵/۳۰ | ۴۰/۹۹ |
| ژوئن | | ۲۱/۲۲ | ۲۰/۹۱ | | ۱۳/۳۴ | ۱۰/۹۶ |
| ژولای | | ۲۴/۵۸ | ۲۳/۹۱ | | ۹/۸۸ | ۵/۹۹ |
| آگوست | | ۲۴/۱۱ | ۲۳/۵۵ | | ۴/۶۸ | ۳/۸۰ |
| سپتامبر | | ۱۹/۱۱ | ۱۹/۱۱ | | ۴/۷۱ | ۴/۳۸ |
| اکتبر | | ۱۲/۸۳ | ۱۲/۸۳ | | ۲۱/۹۹ | ۲۲/۵۹ |
| نوامبر | | ۵/۲۹ | ۵/۲۹ | | ۳۸/۶۲ | ۳۱/۴۲ |
| دسامبر | | ۰/۲۶ | ۰/۲۶ | | ۲۶/۹۷ | ۲۸/۱۳ |

فاو، دوره رشد گندم دیم پاییزه از یک نوامبر تا ۳۱ ژولای ۲۷۳ روز در نظر گرفته شد. این دوره برای عدس از اول مارس تا ۳۰ ژوئن حدود ۱۲۲ روز لحاظ شده است. برای

محصولات مورد استفاده در این مطالعه دو گیاه غالب موجود در تناوب زراعی دیم منطقه، یعنی گندم و عدس است. بر اساس تجربیات منطقه‌ای و توصیه‌های سازمان

کاسام (۱۹۷۹) به صورت زیر ارائه شده است:

$$K_y = \left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] \times \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right]^{-1} \quad (3)$$

که در آن Y_m و ET_m به ترتیب مقادیر عملکرد و تبخیر-تعرق فصلی در وضعیت بدون تنش آب (استاندارد) و Y_a و ET_a به ترتیب مقادیر مشابه در وضعیت وجود تنش آب در گیاه است. بر اساس مباحث نشریه فائو ۳۳ چنانچه مقادیر این ضریب کمتر از یک باشد، گیاه متحمل به کم آبی است و در صورتی که بیشتر از یک باشد، گیاه حساس به تنش آب می‌باشد. در این رابطه، مقادیر ET_m از حاصلضرب ضریب گیاهی (K_s) در تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) و ET_a نیز از حاصلضرب ET_m در ضریب تنش K_s محاسبه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). البته تبخیر-تعرق استاندارد و واقعی گیاهان ابتدا به صورت روزانه محاسبه و در نهایت مجموع فصلی آن‌ها تعیین شده است.

نتایج و بحث

تغییرات بلندمدت بارش و دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک زنجان در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در ۵۰ سال اخیر روند بارش سالانه کاهشی و این روند بر دسترسی آب گیاهان دیم در منطقه تأثیرگذار بوده است که این امر می‌تواند باعث کاهش عملکرد محصولات شود. در شکل ۲ متوسط ۱۲ ماه سال با عنوان میانگین دمای سالانه در نظر گرفته شده است. اگرچه در بلندمدت، روند متوسط دما تا حدودی ثابت، با کاهش بارندگی، عملکرد نیز کاهش یافته است. در شکل ۳ روند بارش، عملکرد و نیاز آبی واقعی گندم و عدس دیم همراه میانگین آن‌ها در سال‌های مورد مطالعه برای دشت زنجان نشان داده شده است.

بررسی مقادیر بارش در شکل ۳ نشان می‌دهد که امکان تأمین نیاز کامل گیاه در وضعیت دیم مقدور نیست و در صورت امکان از آبیاری تکمیلی برای افزایش عملکرد می‌توان بهره برد. همچنین تغییرات عملکرد-تبخیر-تعرق و بارش از همدیگر تبعیت می‌کنند؛ به گونه‌ای که با کاهش بارش، تبخیر-تعرق و عملکرد نیز کاهش می‌یابند. برای نمونه در سال ۲۰۰۸ با کاهش وقوع بارش به ۱۵۸ میلی‌متر در فصل رشد گندم عملکرد به کمترین میزان خود در یازده سال مورد مطالعه، یعنی ۱۷۰ کیلوگرم بر هکتار رسیده و از نظر اقتصادی عایدی برای کشاورزان

تفکیک چهار دوره رشد ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد برای هر دو گیاه طبق توصیه نشریه فائو ۵۶ عمل شد.

محاسبه ضریب تنش آبی

برای محاسبه ضریب تنش آبی (K_s) روزانه از معادله زیر استفاده شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} \quad (1)$$

که در آن TAW کل آب قابل دسترس، RAW آب سهل‌الوصول و D_r میزان تخلیه از منطقه ریشه است. عوامل مهم برای محاسبه ضریب تنش آب شامل TAW، RAW، چگالی ظاهری خاک، رطوبت حد ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت در حد نقطه پژمردگی دائم برای منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. قابل ذکر است که تخلیه از منطقه ریشه با در نظر گرفتن بارش و مصرف محصولات تخلیه مجاز رطوبتی و عمق طبق پیشنهاد فائو، برای گندم ۵۵ درصد در ۱ متر و برای عدس ۵۰ درصد در عمق ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول ۲- مشخصات خاک محل مورد مطالعه

| بافت | RAW (mm) | TAW (mm) | ρ_b (gr/cm ³) | θ_{PWP} (%) | θ_{FC} (%) |
|------|----------|----------|--------------------------------|--------------------|-------------------|
| لوم | ۶۴/۲ | ۱۲۸/۴ | ۱/۳۸ | ۸ | ۲۶/۶۱ |

درصد زمانی وقوع تنش آبی

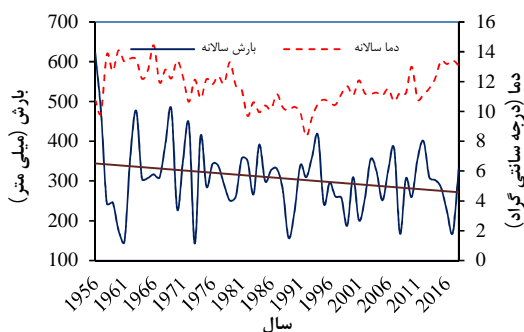
در این مطالعه برای محاسبه درصد زمانی وقوع تنش آبی (K_{St}) معادله زیر تعریف شد:

$$K_{St} = \frac{\sum d_i (K_s < 1)}{\sum_{i=1}^j d_i} \quad (2)$$

که در آن d_i روزهای دوره رشد با هر مقدار K_s و $d_i (K_s < 1)$ روزهایی که دارای مقادیر K_s کمتر از یک هستند؛ یعنی این‌که در آن روزها تنش آبی به وقوع پیوسته است. i شماره روز و j شماره روز برداشت است. بدین منظور روزانه K_s از روی معادله (۱) برای روزهای دوره رشد تمام سال‌های مورد مطالعه محاسبه و درصد زمانی وقوع تنش آبی هر سال تعیین شده است.

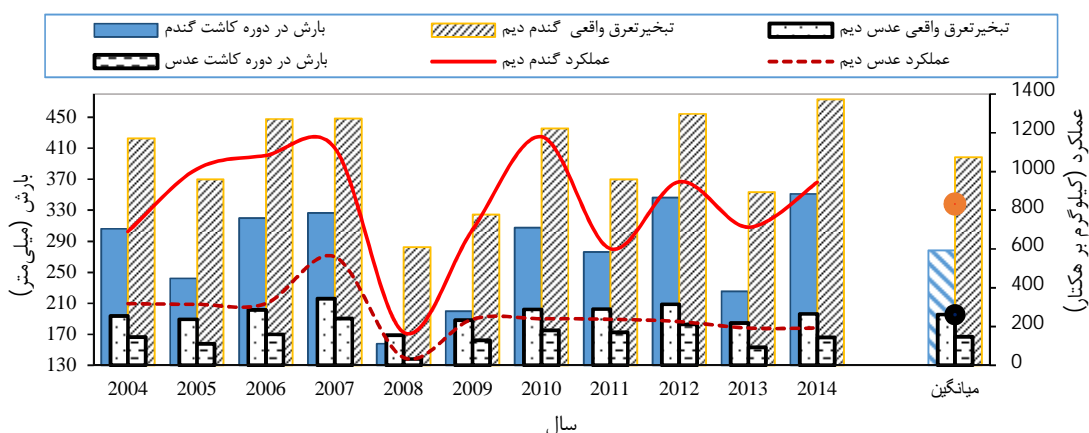
ضریب حساسیت محصول به تنش آب

ضریب حساسیت محصول به تنش آب (K_p) نسبت کاهش نسبی عملکرد به کاهش نسبی تبخیر-تعرق با دورنباس و



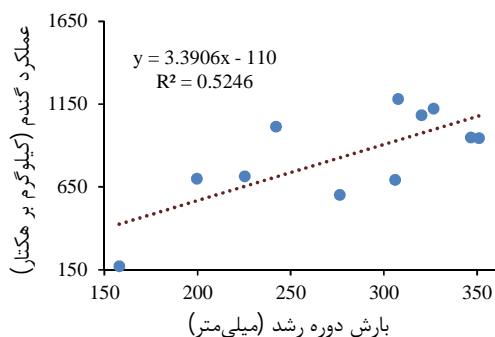
شکل ۲- وضعیت بلندمدت بارش و دمای سالانه ایستگاه

زنجان



شکل ۳- روند بارش، عملکرد و نیاز آبی واقعی گندم و عدس همراه میانگین آن‌ها در سال‌های مورد مطالعه

عملکرد (اختلاف مقادیر عملکرد واقعی با مقادیر عملکرد حاصل از رابطه رگرسیونی خطی) با بارش همبستگی معنی‌داری نشان نمی‌دهد؛ به عبارتی دیگر باقیمانده‌ها به طور کامل تصادفی و نویز هستند. صالح‌نیا و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت عملکرد گندم را با بارش و شاخص‌های خشکی در منطقه شمال غرب کشور تأیید کردند.



شکل ۴- رابطه بین بارش دوره رشد و عملکرد گندم

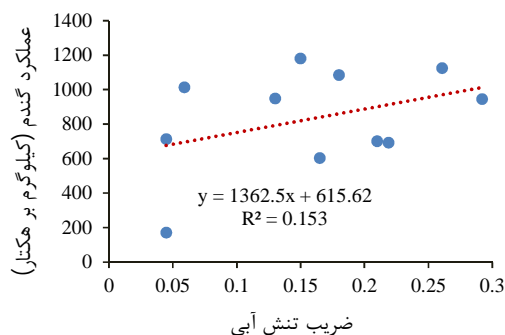
نداشته است. در آن سال عملکرد عدس هم کمترین مقدار را داشته و ۴۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش شده که خسارات مالی زیادی را بر کشاورزان تحمیل نموده است. البته بیشترین عملکرد برای گندم در سال ۲۰۱۰ برابر ۱۱۸۰ و برای عدس در سال ۲۰۰۷ برابر ۵۶۱ کیلوگرم بر هکتار بوده است. بیشترین عملکرد گزارش شده در این دوره هم با وضعیت ایده‌آل اختلاف دارد.

گندم دیم

رابطه بارش دوره رشد و عملکرد گندم دیم در مدت مورد مطالعه برای دشت زنجان در شکل ۴ نشان داده است. بررسی اطلاعات شکل فوق نشان می‌دهد که با افزایش مقدار بارش دوره رشد، عملکرد گندم افزایش یافته است؛ چراکه بارش، تنها تأمین‌کننده آب قابل دسترس گیاه در کشت دیم است. بهنیا (۱۳۷۶) رسیدن به مرحله دانه‌دهی و تولید اقتصادی گندم را وقوع بارش بالای ۳۰۰ میلی‌متری گزارش کرده است. معادله رگرسیونی این مطالعه هم نشان می‌دهد در صورت وقوع بارش ۳۰۰ میلی‌متری عملکرد دانه در منطقه نزدیک یک تن خواهد بود.

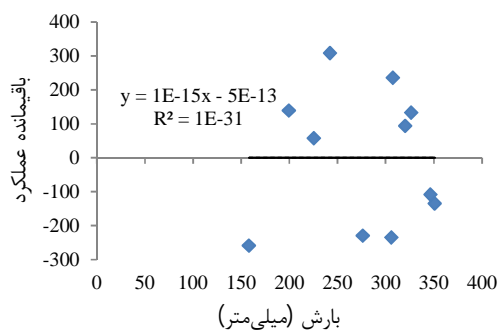
در ادامه برای بررسی چگونگی عملکرد رابطه بین باقیمانده‌های عملکرد نسبت به بارش در شکل ۵ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که مدل برازش یافته بین بارش دوره رشد و عملکرد معنی‌دار و از نظر جبری مناسب عمل کرده است؛ چراکه باقیمانده‌های

تأثیر زیادی روی عملکرد دارد. هادی و همکاران (۱۳۹۶) مرحله گلهی یا خرداد ماه را حساس‌ترین دوره فنولوژیکی برای تنش آب گندم دیم معرفی کردند که باعث افت چشمگیر عملکرد می‌شود.



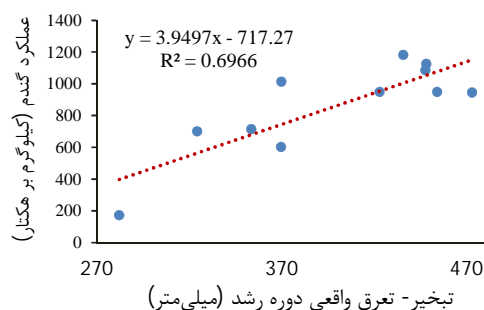
شکل ۷- رابطه میانگین ضریب تنش و عملکرد گندم دیم

برای تفسیر مناسب تأثیر تنش بر عملکرد شاخص جدید ضریب درصد زمانی وقوع تنش (K_{st}) معرفی شد و به جای رابطه ضریب تنش آبی (K_s) و عملکرد گندم از رابطه K_{st} و عملکرد با ضریب تبیین بالاتر استفاده شد. رابطه رگرسیونی بین درصد زمانی وقوع تنش با عملکرد گندم دیم منطقه زنجان در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق شکل با افزایش درصد زمانی تنش، میزان عملکرد کاهش می‌یابد؛ یعنی هر چه گندم روزهای بیشتری در معرض تنش آبی باشد، عملکرد آن کاهش می‌یابد. میزان درصد زمانی وقوع تنش متوسط در بازه زمانی یازده ساله، برابر ۳۶ درصد و بیشترین مقدار آن برابر ۵۰/۵ درصد در دوره رشد گندم دیم است که این زمان تنش در سال ۲۰۰۹ با کاهش ۲۸ درصدی بارش نسبت به میانگین یازده ساله بوده، این در حالیست که کمترین بارش یک سال قبل از آن، یعنی سال ۲۰۰۸ رخ داده بود. به نظر می‌رسد. کمبود بارش و رطوبت سال ۲۰۰۸ بر میزان زمان وقوع تنش سال ۲۰۰۹ مؤثر بوده است. کمترین زمان تنش مربوط به سال ۲۰۱۲ به میزان ۲۹ درصد تعیین شد. وجود درصد زمانی وقوع تنش بالای ۲۵ درصد در همه سال‌های مورد مطالعه نشان داد که ظرفیت منطقه، امکان تأمین نیاز استاندارد گیاه گندم را ندارد و رسیدن به عملکرد حداکثر ممکن نیست؛ لذا برای افزایش عملکرد استفاده از روش‌های کشاورزی حفاظتی و آیش برای ذخیره بیشتر رطوبت قابل توصیه است.



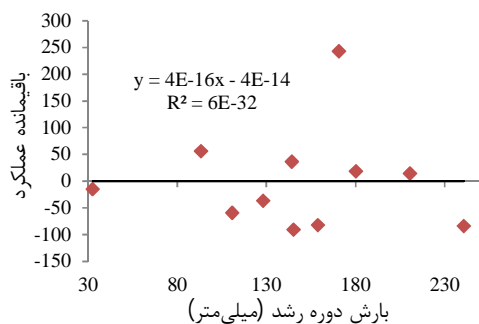
شکل ۵- نمودار خطا نسبت به مدل برازش بارش و عملکرد گندم دیم

در شکل ۶ رابطه تبخیر- تعرق واقعی در دوره رشد و عملکرد گندم دیم آورده شده است. ضریب تبیین این رابطه نزدیک ۰/۷، نشان از تأثیر مستقیم تبخیر- تعرق بر عملکرد گندم دیم دارد. بر اساس شکل فوق با افزایش مقادیر تبخیر- تعرق دوره رشد، عملکرد نیز افزایش می‌یابد.



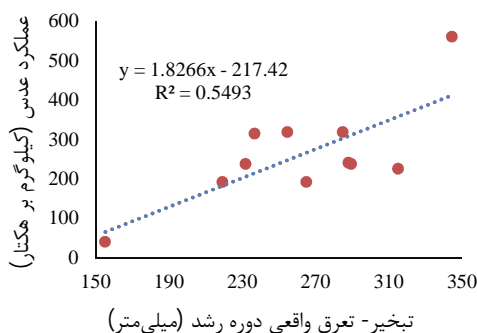
شکل ۶- رابطه تبخیر- تعرق واقعی و عملکرد گندم دیم

رابطه بین میانگین ضریب تنش آبی (K_s) در دو ماه آخر دوره رشد گندم (ژوئن و ژوئیه) و عملکرد در شکل ۷ آورده شده است. مطابق شکل، ضریب تبیین پایینی بین ضریب تنش آبی و عملکرد گندم دیم وجود دارد. با این حال رابطه مستقیم بین ضریب تنش و عملکرد وجود دارد؛ چنان‌که با افزایش مقدار ضریب تنش آبی (به عبارتی کاهش کمبود آب) مقادیر عملکرد افزایش یافته است. دلیل همبستگی پایین بین این دو پارامتر گسترش دوره رشد گندم در ماه‌های مختلف است. چنانچه عدم وجود کمبود آب به دلیل نیاز آبی پایین گندم در آن ماه‌ها عملاً تأثیری در افزایش عملکرد ندارد. در مقابل دوره فنولوژیکی حساس گندم به کمبود آب زمانی است که مقادیر ضریب تنش آبی کم و گیاه با حداکثر تنش مواجه می‌شود و

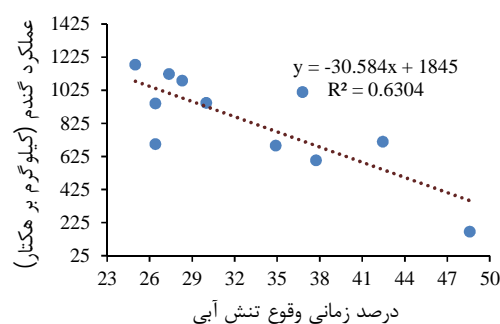


شکل ۱۰- نمودار خطا نسبت به مدل در برازش بارش و عملکرد

رابطه بین تبخیر- تعرق واقعی در دوره رشد و عملکرد عدس دیم زنجان با ضریب تبیین ۰/۵۵ در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با افزایش مقادیر تبخیر- تعرق، عملکرد افزایش می‌یابد. مقادیر عملکرد عدس در سال‌های مورد مطالعه مسأله عدم تأمین نیاز آبی و عملکرد پایین آن را کاملاً تأیید می‌کند. در این مطالعه تبخیر- تعرق استاندارد عدس در دشت زنجان برابر ۴۶۳ میلی‌متر برآورد شد. به‌مقدار متوسط تبخیر- تعرق واقعی در سال‌های مورد مطالعه نیز برابر ۲۶۲ میلی‌متر در فصل رشد عدس دیم تعیین شد. در نرم‌افزار NETWAT مقادیر تبخیر- تعرق واقعی عدس برای دشت زنجان- سلطانیه برابر ۵۲۵ میلی‌متر گزارش شده است. بررسی مقادیر سالانه تبخیر- تعرق واقعی عدم وقوع تبخیر- تعرق استاندارد را در منطقه نمایان می‌کند؛ چنان‌که فقط در یک مورد استثنایی تبخیر- تعرق واقعی عدس به عدد ۳۴۵ میلی‌متر در سال پرباران ۲۰۰۷ رسیده و درصد تأمین نیاز آبی به ۰/۶۶ درصد افزایش یافته است. کمالی و همکاران (۱۳۹۵) مقدار عملکرد عدس را در دشت قزوین در کشت بهاره برابر ۳۲۲ کیلوگرم بر هکتار گزارش کردند و با تغییر تاریخ کاشت از کشت بهاره به کشت انتظاری به عملکرد بالاتر از یک تن دست یافتند.



شکل ۱۱- رابطه تبخیر- تعرق واقعی و عملکرد عدس دیم

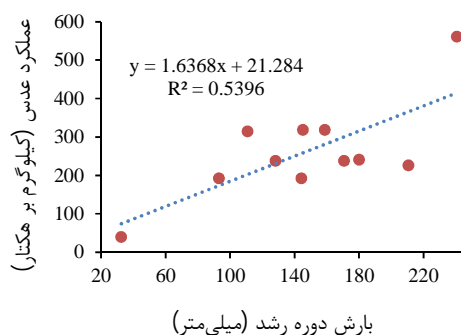


شکل ۸- رابطه درصد زمانی وقوع تنش و عملکرد گندم دیم

بر اساس نتایج حاصل از برازش‌ها، بیشترین ضریب تبیین به‌ترتیب بین تبخیر- تعرق- عملکرد، ضریب درصد زمانی وقوع تنش- عملکرد، بارش- عملکرد و ضریب تنش آبی- عملکرد با مقادیر ۰/۷، ۰/۶۳، ۰/۵۲ و ۰/۱۵ است.

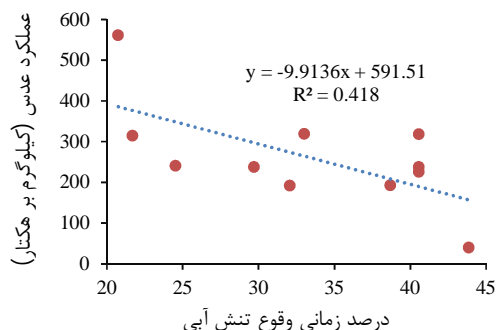
عدس دیم

رابطه بارش دوره رشد و عملکرد عدس دیم در سال‌های مورد مطالعه در دشت زنجان در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار بارش دوره رشد به‌عنوان تنها تأمین‌کننده آب مورد نیاز گیاه، عملکرد عدس نیز افزایش می‌یابد. قابل ذکر است متوسط بارش دوره رشد عدس در مدت سال‌های مورد مطالعه ۱۴۷، حداکثر بارش ۲۴۱ در سال ۲۰۰۷ و کمترین بارش برابر ۳۳ میلی‌متر در سال ۲۰۰۸ بوده است. علاوه بر این، بارش‌های مستقیم گیاه دیم می‌تواند از ذخیره رطوبتی در زمان‌های قبل نیز استفاده کند. برای بررسی چگونگی برازش، رابطه بین باقیمانده‌های عملکرد عدس نسبت به بارش در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، مدل برازش یافته بین بارش دوره رشد و عملکرد معنی‌دار بوده و مناسب عمل کرده است؛ چراکه باقی‌مانده‌های عملکرد با بارش همبستگی معنی‌داری نشان نمی‌دهد.



شکل ۹- رابطه بین بارش دوره رشد و عملکرد عدس دیم

به استفاده از ارقام جدید متحمل به خشکی و سازگار با وضعیت منطقه هم ضروری است.



شکل ۱۳- رابطه بین درصد زمانی وقوع تنش آبی و عملکرد عدس دیم در دشت زنجان

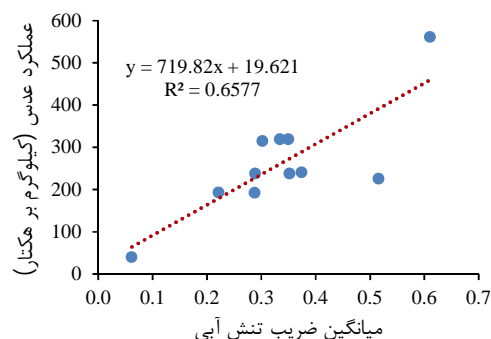
تعیین ضریب واکنش محصول به تنش آب

با در نظر گرفتن مقادیر بارش حداکثر و متوسط در دوره رشد سال‌های مورد مطالعه و عملکرد حداکثر و متوسط، مقادیر ضریب واکنش محصول به تنش آبی یا K_y برای گندم ۱/۱۴ و عدس ۱/۳۳ تعیین شد. در نشریه فائو ۳۳، برای گندم پاییزه، مقدار K_y برابر ۱/۰۵ گزارش شده است (دورنباس و کاسم، ۱۹۷۹ و آلن و همکاران، ۱۹۹۸). برای K_y عدس گزارشی وجود ندارد؛ ولی مقدار K_y لوبیا از خانواده حبوبات برابر ۱/۱۵ گزارش شده است. در گام دوم برای محاسبه K_y به جای مقادیر بارش، متوسط تبخیر-تعرق استاندارد (ET_c) و تبخیر-تعرق واقعی یا اصلاح شده (ET_a) استفاده و مقدار ضریب K_y برای گندم و عدس در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۱/۲ تعیین شد. با توجه به تغییر ارقام گندم در سال‌های اخیر و استفاده کشاورزان از ارقام جدید متحمل به خشکی مانند رقم دیم سرداری میزان K_y روش دوم، یعنی ۰/۹۲ به واقعیت نزدیک‌تر است. با وجود نبود اطلاعات کافی درباره عدس عدد ۱/۲ نزدیک به خانواده حبوبات است.

نتیجه‌گیری

بدون شک بارش به‌عنوان تنها تأمین‌کننده نیاز آبی گیاهان دیم نقش مهمی در عملکرد گیاهان و معیشت کشاورزان دارد. این مطالعه نشان داد که علاوه بر بارش فصل رشد بارش در سال قبل از آن هم روی تولید محصول و میزان تنش گیاهان دیم اثرگذار است؛ لذا برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل منطقه مورد مطالعه، استفاده از آیش و ذخیره رطوبت برای تولید بیشتر

در شکل ۱۲ رابطه بین میانگین ضریب تنش آبی در دو ماه آخر دوره رشد (می و ژوئن) و عملکرد عدس با ضریب تبیین ۰/۶۶ آورده شده است. هرچه ضریب تنش بیشتر و نزدیک به یک می‌شود؛ یعنی مقدار تنش آبی کمتر بوده و عملکرد عدس نیز افزایش یافته است.



شکل ۱۲- رابطه میانگین ضریب تنش آبی و عملکرد عدس دیم

رابطه رگرسیونی بین درصد زمانی وقوع تنش با عملکرد عدس دیم در شکل ۱۳ برای منطقه زنجان نشان داده شده است. مطابق شکل فوق با افزایش درصد زمانی وقوع تنش، میزان عملکرد عدس دیم کاهش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد روزهایی که تنش آبی رخ داده است، میزان عملکرد کاهش می‌یابد؛ زیرا فعالیت و رشد گیاه به دلیل کمبود آب محدود شده است. میزان درصد زمانی تنش متوسط در بازه مطالعه یازده ساله، برابر ۳۳ درصد و بیشترین مقدار زمان وقوع تنش برابر ۴۴ درصد در دوره رشد عدس دیم است که این مقدار تنش در سال ۲۰۰۸ با کاهش ۷۸ درصدی بارش نسبت به میانگین یازده ساله رخ داده است. کمترین زمان وقوع تنش مربوط به سال ۲۰۰۷ به میزان ۲۱ درصد تعیین شد. وجود درصد زمانی تنش بالای ۲۰ درصد در همه سال‌های مورد مطالعه عدس این موضوع را تأیید می‌کند که ظرفیت اقلیمی منطقه، وضعیت تأمین نیاز استاندارد گیاه عدس را نیز ندارد و امکان رسیدن به عملکرد بهینه ممکن نیست، پس برای افزایش عملکرد، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی مدرن و کشاورزی حفاظتی برای حفظ رطوبت خاک و آیش برای ذخیره بیشتر رطوبت توصیه می‌شود. امروزه استفاده از کشت بدون شخم در برای افزایش حاصلخیزی خاک و حفظ رطوبت و روش کشت انتظاری عدس یا انجام آبیاری تکمیلی برای افزایش عملکرد توصیه می‌شود. البته توجه

۶. نخجوانی مقدم م. م. صدرقاین س. ح. و اکبری م. ۱۳۸۹. اثرات تنش آبی بر عملکرد و کارایی مصرف آب گندم. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اسفند ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۸ ص.
۷. نظامی ا. باقری ع. پرسا ح. زعفرانیه م. و خمندی ن. ۱۳۸۹. ارزیابی امکان کاشت پاییزه ژنوتیپ‌های عدس متحمل به سرما در شرایط آبیاری تکمیلی. پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱(۲): ۴۹-۵۸.
۸. هادی م. مجنوننی هریس ا. و دلیرحسن‌نیا ر. ۱۳۹۶. بررسی ریسک کاشت و تعیین زمان مناسب آبیاری تکمیلی گندم در دشت تبریز. دانش آب و خاک. ۲(۲۷): ۳۰۷-۳۲۰.

9. Adnan Sh. Mahmood R. and Hayat Khan A. 2009. Water Balance Conditions in Rainfed Areas of Potohar and Balochistan Plateau During 1931-08. World Applied Sciences Journal. 7(2): 162-169.
10. Alexandrov V. and Hoogenboom A. G. 2001. Climate variation and crop production in Georgia, USA. during the twentieth century. Climate Research. 17: 33-43.
11. Allen R. Pereira L and Smith M. 1998. Crop ET-Guidelines for computing crop water requirements (FAO) Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 300 p.
12. Anjam M. S. Ali A. Iqbal S. H. M. and Haqqani A. M. 2005. Evaluation and correlation of economically important tristin exotic germplasm of lentil. International Journal of Agriculture and Biology. 7(6): 959-961.
13. Asseng S. Foster I and Turner N. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. Global Change Biology. 17: 997-1012.
14. Doorenbos J. and Kassam A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Bulletins 33. Food and Agriculture Organization united of the nations. Rome, Italy. 193 p.
15. Garcia-Leon D. Contreras S. and Hunink J. 2019. Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors Spanish cereals. Agricultural Water Management. 213: 388-396.
16. Kokik P. Heaney A. Pechey L. Crimp S and Fisher Brian S. 2005. Predicting the impacts on agriculture. a case study. Australian commodities. Climate Change. 12: 1-14.
17. Ress DJ. Samuillah A. Rehman F. Kidd

می‌تواند از راهکارهای مدنظر برای بهبود عملکرد دیم به ویژه عملکرد عدس شود. این مطالعه نشان داد که دو محصول دیم غالب تناوب زراعی دشت زنجان در یازده سال مورد مطالعه همواره با تنش آبی مواجه بوده‌اند و میانگین درصد زمانی وقوع تنش در دوره رشد، برای گندم برابر ۳۶ و عدس معادل ۳۳ درصد تعیین شد. نتایج حاصل از بررسی تبخیر- تعرق از عدم وقوع تبخیر- تعرق استاندارد برای گیاهان گندم و عدس دیم در منطقه حکایت دارد و امکان رسیدن به محصول بهینه و یا حداکثر وجود ندارد؛ پس برای بهبود وضعیت تولید، استفاده از کشاورزی حفاظتی، بی‌خاک‌ورزی یا کم خاک‌ورزی برای کاشت، به طوری که کشت با دادن کود درون شیار باشد که این امر موجب ذخیره آب سطحی و در نتیجه حفظ رطوبت خاک می‌شود، همچنین آبیاری تکمیلی قابل توصیه است.

منابع

۱. باقری ع. نظامی ا. و پرسا ح. ۱۳۸۵. تحلیلی بر راهبردهای تحقیقات حبوبات در ایران: رهیافت‌هایی از اولین همایش ملی حبوبات. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۴(۱): ۱-۱۳.
۲. بهنیا م. ر. ۱۳۷۶. غلات سردسیری. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۱۰ ص.
۳. حسینی ف. س و نظامی ا. پارسا م و حاج محمدنیا قالی‌باف ک. ۱۳۹۰. اثرات آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس (Lens Medik. culinaris) در شرایط آب و هوایی مشهد. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵(۳): ۶۲۵-۶۳۳.
۴. کمالی ب. رضانی اعتدالی ه. و ستوده‌نیا ع. ۱۳۹۵. تعیین زمان مناسب کاشت و آبیاری تکمیلی عدس دیم در دشت قزوین با استفاده از مدل AquaCrop. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰(۵): ۶۱۳-۶۲۱.
۵. محمدی پ. فاخری‌فرد ا. دین‌پژوه ی و اسدی ا. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی تأثیر بارش‌های فصلی بر عملکرد دیم در شرق دریاچه ارومیه با روش وارد و K-Means. مجله اکو هیدرولوژی. ۲: ۴۸۹-۴۹۸.

- CHR. Keating JDH and Reza SH. 1990. Precipitation and temperature regimes in upland Blochistan: their influence on rain-fed crop production. *Agricultural and Forest meteorology*. 52: 381-396.
18. Salehnia N. Salehnia N. A. Torshizi A. S. and Kolsoumi S. 2020. Rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) yield prediction using economical, meteorological, and drought indicators through pooled panel data and statistical downscaling. *Ecological Indicators*. 111: 105991.
19. zhang Y. 1994. numerical experiments for the impacts of temperature and precipitation on the growth and development of winter wheat. *Journal of Environment science*. 5: 194-200.