فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای
سال یازدهم، شماره ۳، تابستان ۱۴۰۰
صص: ۱۱۰-۹۵

بررسی نیاز آبی زرشک در ایستگاه‌های منتخب ایران با استفاده از مدل Aqua Crop

حسن رضائی

دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

غلامعباس فلاح قالهری[۱]

دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

محمد باعقیده

دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

چکیده

ایران کشوری است که متوسط بارندگی آن حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی است و از نظر منابع آب به شدت در تنگنا قرار دارد. لذا بهبود کارآیی مصرف آب مبتنی بر تولید بیشتر در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و در نتیجه پیش‌بینی نیاز آبی و عملکرد محصول، منجر به برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کارآتر در روند تولید محصول خواهد شد. امروزه ابزارهای لازم برای کمک به طراحان سیستم‌های آبیاری، مشاوران، کشاورزان و مدیران بخش کشاورزی جهت مدیریت بهینه آب آبیاری در کشاورزی لازم و ضروری است؛ لذا سازمان فائو با توسعه مدل اکوا کراپ این ابزارهای ضروری مدیریتی بخش‌های مختلف کشاورزی را فراهم ساخته است. در این تحقیق، برای برآورد نیاز آبی گیاه زرشک از مدل گیاهی اکوا کراپ در ۱۰ ایستگاه همدید در نقاط مختلف کشور استفاده شد. ورودی‌های مورد نیاز مدل شامل داده‌های هواشناسی، گیاهی، مدیریت آبیاری، مدیریت مزرعه، ویژگی‌های خاک، دوره زمانی شبیه سازی مورد نظر و همچنین شرایط اولیه در مزرعه می باشند. نتایج نشان داد نیاز آبی زرشک در ایستگاه شیراز بیشترین مقدار و در سبزوار کمترین مقدار است. نتایج همچنین نشان داد شیراز دارای کمترین بهره‌وری آب و تبریز و کرمان دارای بیشترین بهره‌وری آب هستند. عملکرد شبیه‌سازی شده با مدل نیز نشان داد شیراز کمترین عملکرد و بیرجند دارای بیشترین عملکرد در واحد سطح هستند.

کلمات کلیدی: نیاز آبی، زرشک، مدل Aqua Crop، ایران.

۱- (نویسنده مسئول) g.fallah@hsu.ac.ir

مقدمه

زرشک معمولی در بین انواع زرشک از نظر اقتصادی دارای اهمیت بیشتری است و انواع زرشک‌های بی دانه از آن به دست می آید. زرشک معمولی درختچه ای است به ارتفاع ۳ و گاهی تا ٦ متر، شاخه‌ها شکننده و در جوانی به رنگ زرد ارغوانی و یا قرمز مایل به قهوه ای و از یک سال به بالا قهوه ای و به تدریج خاکستری و سپس سیاه و متورق می‌شود. برگ‌های آن چرمی، متناوب، تخم مرغی، پهن و دارای کناره‌هایی صاف یا با دندانه‌های تیز و خارمانند است. گل آذین مجتمع دارای ۲۰ تا ۲۵ و گاهی تا ٤٠ گل است. میوه‌ها مجتمع و به صورت خوشه‌های آویخته است(اداره جهاد کشاورزی بیرجند، ۱۳۹۷).

زرشک گیاه بومی ایران است و نوع بی دانه ی آن برای نواحی جنوب خراسان، به خصوص قاین و بیرجند دارای شهرت است. نخستین محلّ پرورش زرشک بی دانه، روستای افین در قائن می باشد که دارای قدمتی تاریخی است. یکی دیگر از با سابقه‌ترین مناطق در زمینه‌ی کشت و پرورش زرشک بی دانه، بخش «درمیان» از توابع شهرستان بیرجند است. کشت زرشک بی دانه طی پنجاه سال گذشته و به ویژه در بیست سال اخیر به بیشتر روستاها و مناطق اطراف، گسترش یافته و در منطقه‌ی جنوب خراسان زرشک بی دانه به عنوان یک محصول اصلی، از شهرت و اهمیت اقتصادی خاصی برخوردار گردیده است(فلاح قالهری و رضایی، ۱۳۹٤).

همچنین با تخصص بیش از ۷۰ درصد از منابع آب به بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا، کشاورزی فاریاب اصل ترین مصرف کننده آب است(Fereres and Soriano, 2007). تاکید بر کشاورزی فاریاب به این علت است که آبیاری نقش بسیار مهمی در افزایش تولید مواد غذایی دارد. این امر برای تامین غذایی جمعیت جهان که به سرعت رو به گسترش است، بسیار حیاتی است. در نواحی نیمه خشک که بارش نامنظم و محدود است، انجام آبیاری برای تولید محصول و دستیابی به بیشترین پتانسیل آن ضروری است (Lopez et al, 2009). از راهکارهای موجود که امروزه در دنیا برای کاهش مصرف آب با کیفیت خوب در کشاورزی استفاده می‌شود، کم آبیاری و استفاده از آب شور می‌باشد. در شرایط کمبود آب با کیفیت خوب، بهبود کارایی مصارف آب که مبتنی بر تولید بیشتر به ازای هر واحد آب مصرفی است، بسیار با اهمیت می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، آگاهی دقیق از رابطه بین مصرف آب و عملکرد محصول ضروری است. گزینه‌های مدیریتی که به وسیله مطالعات صحرایی بررسی می‌شوند، به دلیل زمان‌بر بودن و نبود منابع مالی و انسانی کافی محدود می‌گردند(Bastiaanssen et al, 2007). استفاده از مدل‌های شبیه سازی، محدودیت‌های موجود در تحقیقات صحرایی را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و آنها را تبدیل به ابزاری توانا در بررسی و تحلیل سناریوهای مختلف و انتخاب مدیریت مناسب آب کرده است(Van et al, 2007).

دقت نتایج حاصل از مدلهای شبیه‌سازی به دقت داده‌های مورد نیاز بستگی داشته و در صورت دسترسی به این داده‌ها و واسنجی صحیح، این مدلها می‌توانند بدون محدودیت‌های مکانی و زمانی موجود در تحقیقات صحرایی و صرف هزینه و زمان کمتر جهت ارزیابی مدیریت‌های مختلف آبیاری و اثرات بلندمدت این مدیریت‌ها به کار گرفته شوند (Singh, 2004). بنابراین این مدل‌ها توصیه‌های عملی را برای کشاورزان و افرادی که به صورت گسترده روی برنامه-

ریزی کم آبیاری و تحت شرایط مختلف تأمین آب و شرایط مختلف مدیریت محصول کار می کنند، فراهم می نمایند (Kuo, 2004). هـدف از تحقیـق حاضر، واسنجی مدل اکوا کراپ برای برآورد نیاز آبی زرشک با استفاده از داده‌های هواشناسـی برای ایستگاه‌های منتخب ایران می‌باشد. نتـایج ایـن تحقیـق می‌تواند در برنامه ریزی کشت زرشک و اتخاذ راهکارهای مـدیریتی مناسب برای افزایش عملکرد محصول در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

مبانی نظری

ایران کشوری است کـه متوسـط بارنـدگی آن حـدود یـک سـوم متوسط بارش جهانی است و از نظر منابع آب به شدت در تنگنا مـی‌باشد. لذا بهبود کارآیی مصرف آب مبتنی بـر تولیـد بیشـتر در بخـش کشاورزی از اهمیت ویژه-ای برخوردار است. در این راستا شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و در نتیجه پیش‌بینی عملکـرد محصـول، منجـر بـه برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کارآتر در روند تولید محصول خواهـد شـد(Hoogenboom et al, 2004). لذا آنچه برای ما به عنوان کشوری خشک و نیمه خشک که در منطقه اقلیمی و جغرافیایی خاصی از کره زمین واقع بوده و مسأله آب در رأس مشکلات توسعه قرار دارد، حائز اهمیت می‌باشد، پیامدهای ناشی از گرم شدن هوا و توأم شدن آن با وقوع سیلاب‌ها، خشکسالی‌ها و نقش آن بر مصرف آب است. بررسی نقش پارامترهای اقلیمی در چرخه هیدرولوژی و تولید محصولات زراعی به ویژه در تعیین میزان تبخیر – تعرق پتانسیل در کلیه بررسی‌های هیدروکلیماتولوژی، بیلان آب و نیاز آبی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است(شعبانی و همکاران، ۱۳۹۲).

کمبود آب یکی از عوامل اصلی تهدید کننده ی بقاء بشر و اکوسیستم‌های طبیعی است. به طوری که امنیت غذایی، بهداشت انسان‌ها و اقتصاد کلان تحت تاثیر کمبود آب به شدت صدمه می بینند (رحیمیان، 1396). همچنین کمبود آب بر امنیت غذایی از طریق تغییر در بازده کشاورزی، تغییر ترکیب کالاهای تولید شده و صادر شده و از طریق افزایش قیمت مواد غذایی بر روی بازار و مصرف کنندگان در کشورهای در حال توسعه اثرگذار خواهد بود (قریشی و همکاران، ۱۳۹٦). در همین رابطه تاجری مقدم و همکارن(۱۳۹٦) بیان می کنند به دلیل کمبود آب بسیاری از مناطق ایران قابلیت کشاورزی خود را از دست داده یا در آینده نزدیک از دست خواهند داد(رحمانی و همکاران، ۱۳۹۷). از این رو تعداد فزاینده‌ای از مردم نواحی روستایی منابع درآمد خود را در حال کاهش یا ناپدید شدن می بینند(فروزانی و همکاران، ۲۰۱۲).

تولید و سود بخش کشاورزی وابستگی بالایی به الگوهای هوایی و شرایط اقلیمی دارد. در ۵۰ سال اخیر دانشمندان و متخصصان جهان روش‌های کم و بیش تجربی بسیاری برای برآورد تبخیر – تعرق با استفاده از متغیرهای اقلیمی مختلف معرفی کرده‌اند. این روش‌ها اغلب به واسنجی‌های محلی بسیار دقیق نیازمند هستند و در شرایط مختلف اعتبار محدودی دارند. ارزیابی دقت روش‌های تحت شرایط جدید مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). گیاهان در طی فرآیند تعرق، آب را مصرف می‌کنند، همچنین مصرف آب به صورت تبخیر از سطح خاک نیز صورت می‌گیرد. ترکیب دو فرآیند مجزا، یعنی تبخیر آب از سطح خاک و تعرق از گیاه را تبخیر – تعرق می‌نامند. برای برآورد فرآیند تبخیر، عوامل اقلیمی نظیر تابش خورشیدی، دمای هوا (بیشینه و کمینه)، درصد رطوبت

هوا (بیشینه و کمینه، دمای نقطه شبنم و سرعت باد در نظر گرفته می‌شوند. در این فرآیند میزان سایه‌اندازی تاج پوشش گیاهی و مقدار آب موجود در سطح تبخیر، از عوامل مؤثر بر فرآیند تبخیر محسوب می‌شوند (Allen et al, 1998). فرآیند تعرق، مانند تبخیر به طور مستقیم به عواملی مانند ذخیره انرژی، شیب فشار بخار و باد بستگی دارد. در ابتدای رشد گیاه، آب عمدتاً از طریق تبخیر از سطح خاک از دست می‌رود. به عبارتی در مرحله اول رویش، تقریباً ٪۱۰۰ تبخیر – تعرق به صورت تبخیر صورت می‌گیرد. در مرحله رشد و توسعه گیاه و کامل شدن تاج پوشش گیاهی که گیاه تمامی سطح خاک را می پوشاند، بیش از ٪۹۰ آن به صورت تعرق می‌باشد (احسانی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین تبخیر – تعرق یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیش‌تر است. همچنین در طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، برآورد تبخیر– تعرق نقش مهمی دارد. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر – تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر تخمین زده می‌شود و سپس از روی تبخیر – تعرق گیاه مرجع، تبخیر – تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر – تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف می نماید، به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (شریفان و همکاران، ۱۳۸٤). روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر – تعرق گیاه مرجع وجود دارد که هر کدام با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آنها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های محلی به دست آمده‌اند و معلوم شده است که اعتبار جهانی محدود دارند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳). در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب خاک ارائه شده است و محققین در تحقیقات مختلف از این مدل‌ها استفاده می کنند. چون در کشت محصول، مهمترین عامل محدودکننده عملکرد، خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، میزان آب قابل دسترس گیاه است، لذا برای دستیابی به مقادیر عملکرد با دقت مناسب، می‌بایست مدل‌هایی انتخاب شوند که در آنها عملکرد بر اساس تابعی از آب در دسترس گیاه محاسبه شود. اخیراً در سال 2009، فائو مدل شبیه سازی Aqua Crop[1] را بر اساس معادله دورنباس و کاسام Doorenbos and (Kassam, 1979) و به همراه تصحیحاتی بر آن ارائه داد که مقیاس محاسبات در آن بر اساس گام روزانه می‌باشد (Steduto et al, 2009). کاربرد نرم افزار اکوا کراپ در تحلیل نتایج مزرعه‌ای آزمایش‌های آبیاری، حاکی از قابلیت-های این نرم افزار در برآورد عملکرد، موازنهٔ آب خاک و درصد پوشش گیاهی است(شیر شاهی و همکاران، ۱۳۹۷). در طراحی این مدل جدید سعی شده است که دقت بالا در نتایج، سادگی و نیاز به تعداد کمتر متغیرها در مقایسه با سایر مدل‌های موجود، در کنار هم مورد ملاحظه قرار گیرد(Geerts et al, 2009). این مدل می تواند

1 -Aqua Crop - FAO Crop Water Productivity Model

برای حداقل نمودن ریسک‌های کشاورزی بکار رود، زیرا می‌تواند جایگزین‌های لازم برای بهبود عملکرد و نیز بهره –وری آب را محاسبه کند (Bessembider et al, 2005).

چندین تحقیق در مورد کاربرد مدل اکوا کراپ و شبیه سازی تولید محصول در مقابل آب مصرفی برای محصولات مختلف انجام شده است. در پژوهشی در مرکز موراکو به منظور ارزیابی توانایی مدل اکوا کراپ در شبیه سازی تبخیر–تعرق واقعی، رطوبت خاک در آبیاری غرقابی و عملکرد گندم در مناطق نیمه خشک دریافتند عملکرد مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی، تبخیر–تعرق، رطوبت خاک و عملکرد گندم زمستانه در محدوده قابل قبول قرار دارد (Toumi et al, 2016). شیر شاهی و همکاران(۱۳۹۷) در پژوهشی به واسنجی و ارزیابی عملکرد مدل اکوا کراپ در مدیریت مقدار و زمان اعمال کم آبیاری در گندم پرداختند. نتایج حاکی از رضایت بخش بودن عملکرد مدل در هر شش مرحله فنولوژی گندم شامل جوانه زنی، پنجه زنی، ساقه دهی، گلدهی، شیری شدن، خمیری شدن و رسیدن است. علیزاده و همکاران (2014) با انجام پژوهشی در استان لرستان میانگین انحراف نرمال شده مقادیر شبیه سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای درصد پوشش گیاهی، مقدار آب خاک و عملکرد دانه را به ترتیب برابر 8/35، 10/53و 8/53 درصد به دست آورده‌اند که مطلوب به نظر می رسد. ضریب کارایی مدل در تخمین عملکرد، موازنهٔ آب خاک و درصد پوشش سبز به ترتیب 1/35، 1/88و 1/39 گزارش شده است. هسیائو و همکاران (Hsiao et al, 2009) برای آزمون مدل از گیاه ذرت در مزارع دیویس ایالت کالیفرنیا استفاده نمودند. بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده 22 درصد برای توده گیاهی و 24 درصد برای دانه تولیدی بود.

گارسیا ویلا و همکاران (۲۰۰۹)، مدل اکوا کراپ را برای بهینه کردن مقدار آبیاری در پنبه در جنوب اسپانیا بکار بردند نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور عملکرد، توده گیاهی و کارآیی مصرف آب را برای پنبه به خوبی شبیه سازی کرده است(Garcia et al, 2009). فراهانی و همکاران (۲۰۰۹)، ارزیابی مدل اکوا کراپ را برای پنبه تحت شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری در منطقه گرم و خشک سوریه انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل مذکور تبخیر–تعرق را با خطای 13 درصد و مقدار محصول در شرایط کم آبیاری 60 و 80 درصد را با خطای32 درصد برآورد کرده است(Farahani et al, 2009). اندرزیان و همکاران (۲۰۰۹)، مدل اکوا کراپ را برای شبیه‌سازی مراحل رشد و میزان آب مصرفی بر عملکرد گندم تحت سناریوهای مختلف آبیاری در اقلیم گرم و خشک اهواز بکار بردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور قادر بوده است به خوبی میزان رطوبت منطقه ریشه، توده گیاهی و عملکرد دانه را شبیه سازی کند(Andarzian et al, 2009). علیزاده و همکاران (1389) نیز برای مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج از مدل اکوا کراپ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل در پیش بینی مقدار عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب قابلیت خوبی داشته است(علیزاده و همکاران، ۱۳۸۹). حیدری نیا و همکاران (1391) از این مدل برای برنامه ریزی کم آبیاری پنبه در ایستگاه‌هاشم آباد گرگان استفاده کردند. در تحقیق ایشان، برنامه اکوا کراپ با استفاده از داده‌های زراعی دو

سال متناوب واسنجی گردید. ضریب تعیین در شبیه سازی محصول در دو سال، به ترتیب برابر با 0/74 و 0/76 بدست آمد (حیدری نیا و همکاران، ۱۳۹۱). محمدی و همکاران (۱۳۹٤) در تحقیقی به بررسی نیاز آبی گندم با مدل اکوا کراپ پرداختند. آنالیز حساسیت نشان داد که مدل نسبت به ضریب گیاهی مربوط به تعرق، بهره وری آب نرمال شده، شاخص برداشت، رطوبت در ظرفیت زراعی، رطوبت اشباع و دمای هوا حساستر از سایر پارامترهاست. مدیری و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی و برآورد میزان تبخیر تعرق گیاه برنج در استان‌های شمالی کشور پرداخته‌اند. نتایج نشان داد میزان تبخیر تعرق از شرق به سمت غرب کاهش و میزان بارش افزایش می‌یابد. همچنین در مرحله میانی رشد برنج، تبخیر- تعرق ٦٥ تا ۷۰ درصد کل تبخیر -تعرق محصول را در بر می‌گیرد. فلاح قالهری و همکاران (۱۳۹٤) نیاز آبی کنجد در اقلیم سبزوار را برآورد کرده‌اند. نتایج نشان داد نیاز آبی کنجد از شمال به جنوب دشت سبزوار افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار آن در مرحله میانی رشد گیاه رخ می‌دهد.

واضح است که برای کاربرد مدل، نیاز به واسنجی و اعتبارسنجی آن برای هر محصول و منطقه مورد نظر می باشد. استدوتو و همکاران (2009)، مدل اکوا کراپ را برای گندم بطور مقدماتی واسنجی کرده‌اند، اما برای واسنجی کامل آن به داده‌های مراحل رشد و شرایط خاک منطقه مورد نظر نیاز است(Steduto et al, 2009). یکی از مهمترین توابع عکس العمل بازده به آب در نشریه 33 آبیاری و زهکشی سازمان خوار و بار جهانی (فائو) توسط دورنباس و کاسام (۱۹۹۷) مطرح شد. مدل اکوا کراپ، بین تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه، تفاوت قایل شده و برای این جداسازی، از تئوری ریچی (1972) استفاده می‌کند.

به جای استفاده از شاخص سطح برگ، از پوشش کانوپی گیاه استفاده می‌شود. توده گیاهی[1] (B) با توجه به تعرق تجمعی گیاه (∑Tr) و بهره‌وری آب (WP) طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$B = WP.(\sum T_r) \qquad (۱)$$

عملکرد نهایی محصول(Y)، بر اساس معادله ۲ پس از ضرب شاخص برداشت (HI) در توده گیاهی (B) تعیین می-شود:

$$Y = B.HI \qquad (۲)$$

تعرق گیاه (Tr) با توجه به مقدار تبخیر – تعرق مرجع (ET_O) نرمال می‌گردد. به طور کلی، مدل اکوا کراپ، بر اساس معادله ۳ بهره‌وری آب محصول را برآورد می‌کند (انصاری و همکاران، ۱۳۹۳).

$$(۳) WP^*_{adj} = \frac{B}{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{T_r}{ETO}\right)_i} \rightarrow B = WP^*_{adj}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{T_r}{ETO}\right)_i$$

که در آن، WP_{adj}، بهره‌وری آب یا کارایی مصرف آب است (کیلوگرم ماده خشک تولید شده به ازای هر متر مکعب آب تبخیر-تعرق یافته در طول زمانی که ماده خشک تولید شده است). سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند(خرسند و همکاران، ۱۳۹۳).

1 - Biomass

در این تحقیق، برای محاسبه نیاز آبی زرشک از مدل گیاهی اکوا کراپ استفاده شد. ورودی‌های مورد نیاز مدل شامل داده‌های هواشناسی، گیاهی، مدیریت آبیاری، مدیریت مزرعه، ویژگی‌های خاک، دوره زمانی شبیه سازی مورد نظر و همچنین شرایط اولیه در مزرعه می باشند که در ادامه شرح داده شده‌اند.

داده‌های هواشناسی: داده‌های هواشناسی مورد نیاز در مدل اکوا کراپ، شامل بارش، کمینه و بیشینه دما، تبخیر–تعرق مرجع و غلظت دی اکسید کربن موجود در جو می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های بارش و دمای ۱۰ ایستگاه همدید ایران استفاده شد. برای محاسبه تبخیر–تعرق مرجع، از روش پنمن– مانتیث استفاده شد. میزان دی اکسید کربن موجود در جو در مدل به صورت پیش فرض از سال۱۹۰۲ تا ۲۰۹۹ موجود است.

داده‌های گیاهی: داده‌های گیاهی و ویژگیهای محصول شامل پارامترهای ثابت و داده‌های ویژه کاربر می‌باشند. مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت، با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند و برای گیاهان مهم از جمله زرشک به عنوان پیش فرض در مدل وجود دارند. این پارامترهای ثابت، با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده و کاربرد آنها در شرایط وجود تنش آبی، از طریق ضریب پاسخ به تنش صورت می‌گیرد. علاوه بر پارامترهای ثابت، برخی دیگر از اطلاعات مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی، بستگی به گونه و محصول زراعی دارند و یا طبق شرایط مدیریتی و محیطی مختلف، مقادیر متفاوتی را دارا می باشند که پارامترهای مخصوص کاربر نامیده می‌شوند. از جمله این پارامترها می‌توان تاریخ و تراکم کشت، زمان رسیدن مراحل فنولوژیکی گیاه و حداکثر عمق ریشه را نام برد که برای هر ناحیه و محصول با توجه به شرایط خاص خود متغیر بوده و توسط کاربر تعیین می شود(Raes et al, 2012).

مدیریت آبیاری و مزرعه: بدیهی است که در این تحقیق برای شبیه سازی عملکرد محصول، حالت آبیاری بارانی اعمال گردید. در قسمت مدیریت مزرعه، وضعیت حاصلخیزی خاک و همچنین مالچ روی خاک مشخص می شود. در این تحقیق، میزان رواناب و مالچ سطح خاک صفر در نظر گرفته شده است و محدودیتی از لحاظ حاصل-خیزی خاک در نظر گرفته نشد.

ویژگی‌های خاک: داده‌های مورد نیاز در این بخش شامل بافت و تعداد لایه‌های خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت حجمی در حد اشباع، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم می‌باشد. مدل، قابلیت تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع را با استفاده از اطلاعات رطوبت خاک دارا می‌باشد.

دوره زمانی شبیه سازی و شرایط اولیه مزرعه: در این تحقیق، طول دوره شبیه سازی معادل با طول دوره رشد گیاه یعنی از نیمه اسفند تا تقریباً اواخر آبان در نظر گرفته شد. زمان انتهایی شبیه‌سازی بسته به درجه–روز رشد مورد نیاز تا رسیدن و مراحل فنولوژیکی گیاه برای هر سال متفاوت بوده است.

واسنجی مدل اکوا کراپ: واسنجی یک مدل عبارت است از تغییر دادن برخی ازپارامترهای مدل (مقادیر ثابت) به طوری که با تغییر این پارامترها، داده‌های شبیه سازی شده توسط مدل با داده‌های واقعی انطباق قابل قبول بیابند. در این تحقیق، مدل اکوا کراپ برای گیاه زرشک در ٤٥ ایستگاه کشور واسنجی شد. در

ابتدا داده‌های هواشناسی، خاک، مدیریت مزرعه و همچنین پارامترهای گیاهی مدل که اندازه‌گیری یا تخمین زده شده بودند، وارد مدل گردیدند. در مرحله بعدی، سایر پارامترهای مدل به صورت دستی، اطراف مقادیر پیش فرض تغییر داده شد تا بهترین برازش بین مقادیر عملکرد محصول مشاهده شده و شبیه سازی شده بدست آید.

یکی از اصلی ترین گام‌ها در واسنجی مدل اکوا کراپ، واسنجی نمودن پوشش کانوپی *(CC)* می باشد. در این تحقیق از گزینه‌های موجود در مدل برای تخمین پوشش کانوپی اولیه (CC۰) استفاده شد. مدل با استفاده از تراکم کشت گیاهی، وزن هزاردانه و نرخ جوانه زنی، پوشش کانوپی اولیه را تخمین می‌زند. نرخ رشد کانوپی به طور خودکار توسط مدل و پس از وارد کردن تاریخ‌های فنولوژیکی گیاه مانند زمان سبز شدن، زمان رسیدن به بیشینه پوشش کانوپی(CCx) ، زمان آغاز پیری و نیز بلوغ و رسیدن محصول محاسبه می‌شود. پارامترهای اصلی برای تخمین پوشش کانوپی (CC)، شامل ضریب رشد کانوپی (CGC)، ضریب کاهش کانوپی(CDC) و نمایه‌های تنش آبی می‌باشند. پارامترهای تنش آبی و شکل منحنی‌های تنش به طور دستی اطراف مقادیر پیش فرض تغییر داده شد تا بهترین برازش بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مشاهده شود. همچنین تاریخ گلدهی، طول دوره گلدهی و شاخص برداشت مرجع (HI۰) و دوره رسیدن به شاخص برداشت نهایی (HI)، برای محاسبه عملکرد نهایی دانه، به مدل وارد شد. در این تحقیق، مدل اکوا کراپ با درجه–روز رشد (GDD) اجرا شد. برای برآورد مقادیر مورد نیازGDD از داده‌های دما استفاده شد.

هرگیاه به تعداد واحد گرمایی معینی جهت جوانه زنی، رشد، به ساقه رفتن، بلوغ و رسیدن احتیاج دارد. این تعداد واحد گرمایی را ثابت حرارتی می نامند که از گیاهی به گیاه دیگر فرق می‌کند. یکی از مباحث مهم در آب و هواشناسی، بررسی درجه روزها می‌باشد. اکثر تحولات فیزیولوژیکی مانند رشد گیاهان و برخی پدیده‌های هیدرولوژیکی مانند ذوب برف تابع توان حرارتی محیط می‌باشند. برای این منظور از نمایه درجه -روز به عنوان شاخص گرما استفاده می شود. هر فرآیند در آستانه دمایی معینی فعال می شود، مثلا آستانه فعالیت برای ذوب برف صفر درجه سانتیگراد می‌باشد. بنابراین برآورد درجه -روز برای تعیین دوره‌های مختلف کشت، یکی از کارهای بسیار ضروری است. یک درجه - روز عبارتست از متوسط دمای روزانه بالاتر از دمای پایه (کمالی و بازیگر، ۱۳۷۸). فرمول محاسبه GDD به شرح زیر است:

$$GDD = \sum_{a}^{b}\left(\frac{T_{max}+T_{min}}{2} - T_b\right) \quad (٤)$$

در معادله فوق، GDD درجه– روز رشد (حرارت تجمعی)، T_{max} وT_{min} بیشینه و کمینه دمای روزانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد)، T_b دمای مبنا (دراینجا ۱۰ درجه سانتی گراد)، a و b تاریخ شروع و پایان مرحله فنولوژی است (کمالی و بازیگر۱۳۸۷).، مراحل فنولوژی زرشک در مقیاس BBCH شامل جوانه‌زنی، نمو برگ، ظهور گل‌آذین، گل‌دهی و تشکیل میوه تا رسیدن میوه است. تاریخ وقوع مراحل فنولوژی زرشک به صورت میدانی در سال زراعی

۹۷-۱۳۹۶ در ایستگاه قائن محاسبه شد. جدول ۱ تاریخ رخداد مراحل فنولوژی زرشک و میانگین پارامترهای اقلیمی در طول این مراحل را نشان می‌دهد.

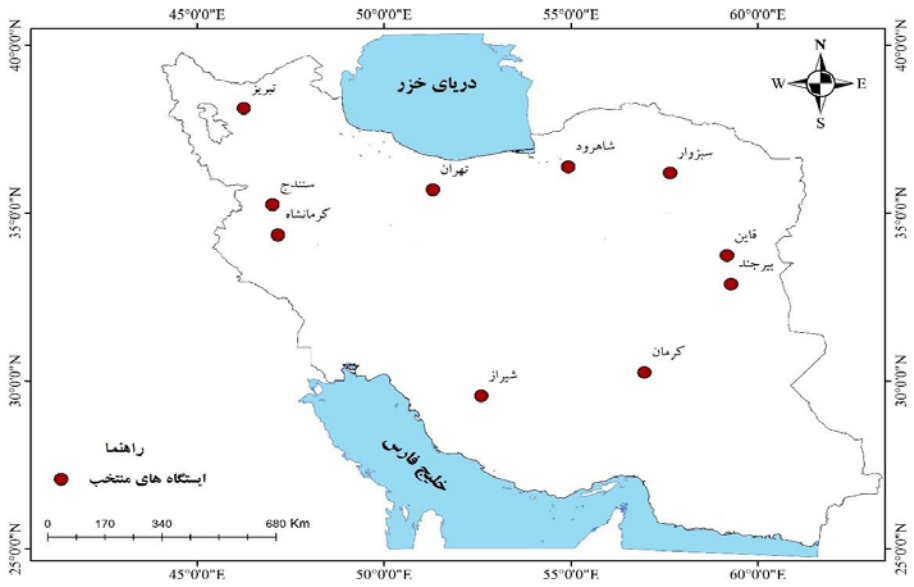
جدول ۱- مراحل فنولوژی زرشک (منبع: نگارندگان)

مراحل رشد زرشک	تاریخ آغاز	تاریخ خاتمه	نیاز حرارتی (GDD)	میانگین دمای روزانه (°C)	میانگین دمای کمینه (°C)	میانگین دمای بیشینه (°C)
مرحله جوانه زنی	96/12/14	96/12/20	٤٩	٤/٩	١/٢	8/6
مرحله نمو برگ	96/12/21	97/1/15	١١١	٧/٧	١/٦	١٣/٧
مرحله ظهور گل آذین	97/1/16	97/1/29	١٠٥	١٣/٣	٥/١	٢١/٥
مرحله گل دهی	97/1/30	97/2/17	١٢٢	١٩/٣	١١/٣	27/6
مرحله تشکیل تا رسیدن میوه	97/2/18	97/7/1	١٢٥٣	٢١/٣	١٢/٣	٣٠
جمع			١٦٤٠	١٣/٣	٦/٣	٢٠/٣

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه این تحقیق، کل ایران می‌باشد. محدودهٔ فعلی ایران بخش بزرگتری از فلات ایران است که از شمال غربی به جلگهٔ ارمنستان و از جنوب شرقی به جلگه سند، از جنوب غربی تا حوزهٔ دجله و فرات و از شمال شرقی تا فرارود امتداد دارد. برای انجام این تحقیق از داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی همدید در نقاط مختلف ایران در بازه زمانی ۲۰۱٤-۱۹۸۵ استفاده شده است. شکل ۱ ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در کشور را نشان می‌دهد.

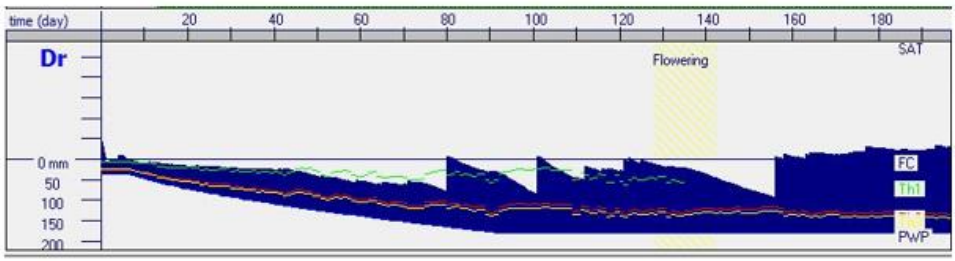


شکل ۱ ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

یافته‌های تحقیق

برای محاسبه نیاز آبی توسط این نرم افزار چهار دسته اطلاعات شامل اطلاعات اقلیم، گیاه، خاک و آب مورد نیاز است که در این تحقیق این پارامترها برای تمامی ایستگاه‌های مورد استفاده آماده و وارد نرم افزار شد. مدل اکوا کراپ تغییرات رطوبت خاک را نیز در خلال دوره رشد در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال، شکل ۲ تخلیه منطقه ریشه

(Dr) در ایستگاه قائن را در سرتاسر چرخه رشد محصول با نمایه آستانه‌های آب خاک که متاثر کننده توسعه تاج-پوشش (Th1)، مجبور کردن گیاه به بستن روزنه‌ها (Th2) و تحریک پیری زودرس تاج پوشش (Th3) است، نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ذخیره رطوبت خاک در ماه‌های ابتدایی رشد گیاه اندکی از ظرفیت مزرعه (FC) مخصوصاً در ۵۰ تا ۸۰ روز اوائل فصل رشد کمتر است که می‌تواند توسعه تاج‌پوشش گیاه را تحت تاثیر قرار دهد و از آن بکاهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در مرحله گل‌دهی، توسعه تاج پوشش با محدودیت کمی مواجه است. در اواخر فصل رشد، رطوبت بالاتر از آستانه بحرانی و نزدیک به ظرفیت زراعی است و گیاه با تنش آبی مواجه نیست. با توجه به شکل، در هیچ دوره‌ای از فصل رشد، مقدار ذخیره رطوبت خاک پایین‌تر از Th2 و Th3 نیست، بنابراین گیاه با محدودیتی مواجه نبوده است که مجبور شود روزنه‌های خود را ببندد یا تاج‌پوشش با پیری زودرس مواجه شود.

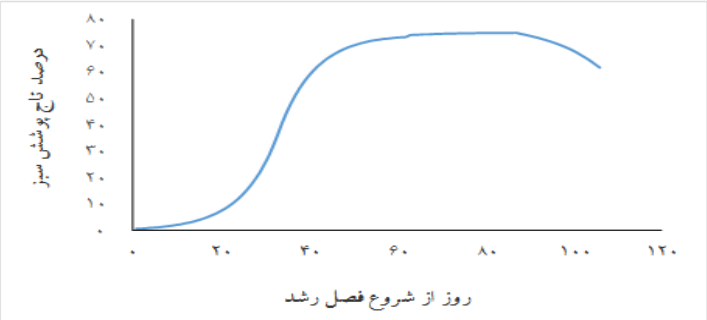


شکل ۲ .تغییرات رطوبت خاک طی دوره رشد در ایستگاه قائن

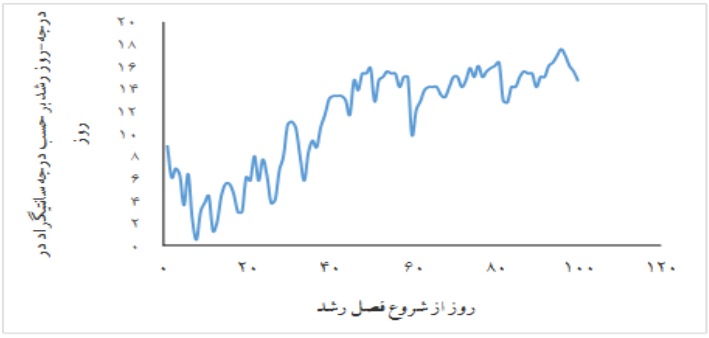
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

شکل ۳ تغییرات درصد تاج پوشش سبز گیاه را در ایستگاه قائن نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در ماه دوم تا سوم شروع رشد گیاه (مصادف با اردیبهشت ماه) در ایستگاه قائن، بیشینه رشد تاج پوشش سبز رخ می‌دهد. دلیل این موضوع افزایش نرخ تامین درجه –روز رشد گیاه در این بازه زمانی است (شکل ٤). بنابراین با توجه به افزایش شاخساره سبز گیاهی، تامین آب مورد نیاز برای جبران تبخیر–تعرق در این بازه زمانی ضروری است. شکل ۵ مقادیر نیاز آبی گیاه زرشک را در خلال دوره رشد در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، بیشترین مقدار نیاز آبی در ایستگاه شیراز و کمترین مقدار نیاز آبی در سبزوار رخ می‌دهد. به طور کلی نیاز آبی هر گیاه به عوامل اقلیمی و محلی بستگی دارد. از عوامل اقلیمی می‌توان به تابش خورشید، سرعت باد، رطوبت نسبی و دما اشاره کرد. از عوامل محلی نیز می‌توان از عرض جغرافیایی و ارتفاع نام برد. تبخیر–تعرق مرجع یک نمایه اقلیمی است، به عبارت دیگر تنها به عوامل اقلیمی بستگی دارد (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). هر چه سرعت باد، دما و تابش خورشید بیشتر باشد، مقدار این کمیت افزایش می‌یابد. بر عکس هر چه عرض جغرافیایی و ارتفاع بیشتر باشد، به دلیل کاهش دما مقدار این نمایه اقلیمی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۵، ایستگاه شیراز به دلیل عرض جغرافیایی کمتر، تابش بیشتر و دمای بالاتر، بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص داده است. شکل ٦ مقادیر بهره‌وری آب (بر حسب کیلوگرم ماده خشک به ازای هر متر مکعب آب تبخیر–تعرق یافته) برای تولید عملکرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ایستگاه شیرار در بین ایستگاه‌های مورد

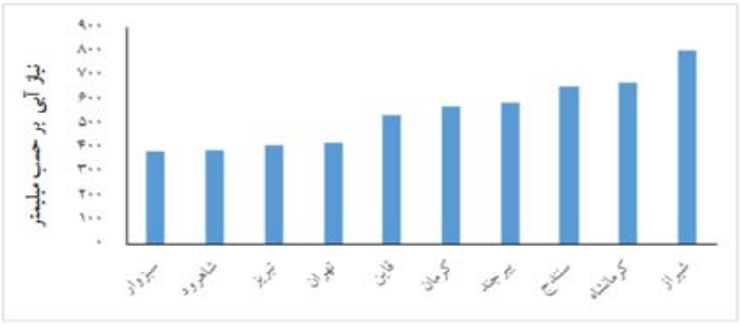
مطالعه، دارای کمترین بهره‌وری آب است و ایستگاه‌های تبریز، کرمان و بیرجند به ترتیب دارای بهره‌وری آب بالاتری هستند. شکل ۷ عملکرد گیاه را بر حسب تن در هکتار نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ایستگاه بیرجند دارای بیشترین عملکرد و ایستگاه شیراز دارای کمترین عملکرد در واحد سطح می‌باشد.



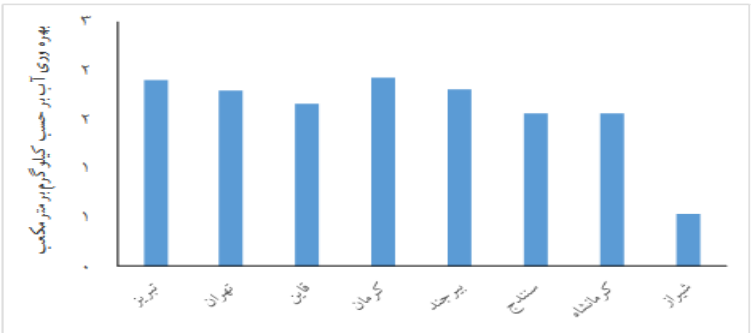
شکل ۳ روند تغییرات درصد تاج پوشش سبز گیاه در طول فصل رشد در ایستگاه قائن منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



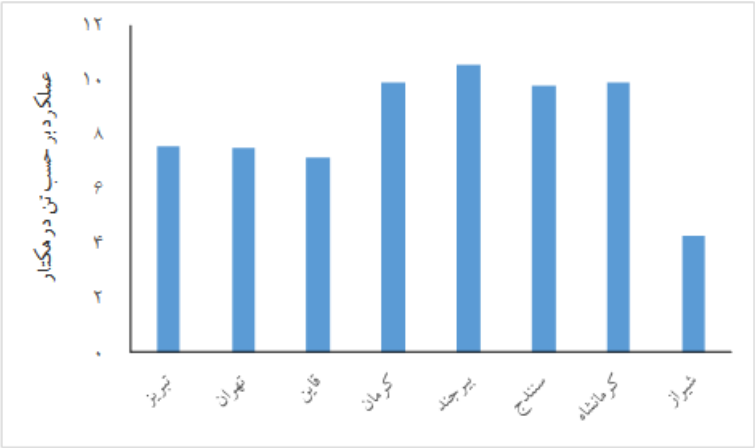
شکل ٤ روند تامین درجه-روز رشد گیاه در طول فصل رشد در ایستگاه قائن منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ۵ برآورد نیاز آبی گیاه زرشک طی دوره رشد در ایستگاه‌های مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹



شکل ٦ مقادیر بهره‌وری آب (بر حسب کیلوگرم ماده خشک تولید شده به ازای هر متر مکعب آب تبخیر-تعرق یافته) برای تولید عملکرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۷ عملکرد گیاه زرشک در ایستگاه‌های مورد مطالعه منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

زرشک دارای بیش از ٦٦٠ گونه است که فقط نوع بی‌دانه‌ی آن به عنوان محصول باغی پرورش می‌یابد. زرشک بی‌دانه در هیچ جای جهان کاشت نمی‌شود و مخصوص ایران است. این درختچه در جنوب خراسان بیش از دویست سال قدمت دارد (فلاح قالهری و رضایی، ١٣٩٤) و یکی از محصولات عمده کشاورزی منطقه است که درآمد هزاران خانوار به طور مستقیم و غیرمستقیم به آن وابسته است. در خشکسالی‌های اخیر خراسان این درختچه نشان داد که در برابر کم‌آبی مقاوم و زنده می‌ماند، بنابراین این محصول از منابع پایدار کشور به حساب می‌آید و توجّه به گسترش و توسعه‌ی کشت آن نوعی اطمینان‌خاطر برای کشاورزان و ثبات اقتصادی شاغلین بخش کشاورزی خواهد بود.

اصطلاح نیاز آبی گیاه به معنی مقدار آب مورد نیاز برای رشد و تولید محصول است که شامل آب مصرفی گیاه و نیازهای آبی ویژه مثل آماده کردن زمین، غرقاب کردن مزرعه جهت شستشوی نمک‌های خاک و غیره می باشد. تأمین آب آبیاری جهت رفع کمبود بارش در یک سال معین باید با برنامه‌ریزی انجام گیرد. از آنجا که بارش سالانه از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند، بنابراین برنامه آبیاری نمی‌تواند تنها بر اساس اطلاعات یک سال طرح شود. بنابراین برای محاسبه بارش مؤثر بر اساس احتمال وقوع به سوابق بلند مدت بارندگی نیاز است. کشت زرشک به لحاظ آبیاری برای مناطق خشک و نیمه خشک که کشاورزان با کمبود آب مواجه می‌باشند، بسیار مطلوب است. با توجه به اینکه آب نیاز اصلی و ضروری هر محصولی است، بنابراین برآورد نیاز آبی مورد نیاز هر گیاه امری ضروری است. یکی از راه‌های افزایش راندمان مصرف آب و مدیریت آب در تامین نیاز آبی گیاهان زراعی، توجه ویژه به پارامترهای تاثیرگذار بر آن از جمله نیاز آبی و میزان تبخیر – تعرق می‌باشد. در این مورد تبخیر– تعرق در واقع شاخص تعیین کننده‌ای در فرایند رشد گیاه می‌باشد و میزان آن برابر با نیاز آبی گیاه قلمداد می‌شود. بنابراین باید دنبال راه‌کاری بود که با در نظر گرفتن عوامل موثر در مدیریت آب بهترین برآورد را از نیاز آبی گیاه داشت.

نتایج این تحقیق نشان داد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه شیراز به دلیل عرض جغرافیایی پایین، تابش خورشیدی بیشتر و دمای بالاتر، با ۸۰۸ میلیمتر بیشترین نیاز آبی را به خود اختصاص می‌دهد. ایستگاه‌های سبزوار و

شاهرود هم با ۳۸٤ و ۳۸۸ میلیمتر در بین ایستگاه‌های منتخب دارای کمترین نیاز آبی هستند. از نظر بهره‌وری آب نیز ایستگاه شیراز کمترین و ایستگاه‌های تبریز و کرمان بالاترین بهره‌وری آب را به خود اختصاص می‌دهند. از نظر عملکرد، شیراز دارای کمترین عملکرد و بیرجند دارای بیشترین عملکرد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه است. با توجه به نتایج این تحقیق، کشت زرشک در مناطق جنوبی کشور به دلیل نیاز آبی بالا، عملکرد و بهره‌وری آب پایین توصیه نمی‌شود و مناطق واقع در نیمه شمالی کشور برای کشت این محصول مناسب‌تر هستند.

محدود بودن منابع آب در کشور از یک طرف و نیاز رو به افزایش مصرف آن به دلیل افزایش جمعیت و گرم شدن کره زمین از طرف دیگر ایجاب می کند که این منبع حیاتی در کلیه زمینه‌های مصرف به صورت بهینه انجام گیرد (علایی و همکاران، ۱۳۹۸). در فن آبیاری، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان زراعی و محصولات باغی از پایه‌ای‌ترین رکن طراحی و محاسبات مهندسی به شمار می‌روند. از این رو، روش‌های محاسباتی تبخیر–تعرق گیاهان، جزء اولویت‌های تحقیقاتی بسیاری از کشورهای جهان است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). برنامه‌ریزی آبیاری نوعی گزینه مدیریتی آب برای جلوگیری از کاربرد آب اضافی و جلوگیری از کاهش عملکرد به واسطه تامین نشدن آب مورد نیاز گیاه است. در یک برنامه‌ریزی آبیاری، می‌بایست به سه سوال پاسخ داده شود. اولا آیا رطوبت خاک به قدری کاهش یافته است که نیاز به آبیاری داشته باشد؟ برای پاسخ به این سوال تعیین زمان آبیاری، شناسایی رفتار گیاه و واکنش مراحل رشدی گیاه به آب مورد نیاز است. سوال دوم آن است که برای کفایت آبیاری به چه مقدار آب نیاز است؟ بنابراین تعیین مقدار آب آبیاری ضروری است. سوال سوم آن است که آب را با کدام روش در اختیار گیاه قرار دهیم؟ برای پاسخ به این سوال می‌بایست نوع سیستم آبیاری برای منطقه طراحی و اجرا شود (کیانی، ۱۳۹۸).

در زمینه الگوی کشت، برنامه‌ریزی چند هدفی وجه مشترک تمامی تحقیقات انجام شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارائه الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوهای مختلف برنامه‌ریزی، افزون بر بهبود شرایط موجود، باعث می‌شود از نهاده‌ها به نحو مطلوب و موثرتری استفاده شود. در بیشتر این بررسی‌ها، از هدف‌های بازده برنامه‌ای و مصرف آب در کنار محدودیت‌های منطقه مطالعاتی استفاده شده است (رستگاری پور و همکاران، ۱۳۹٤). با توجه به گستردگی کشور و تنوع اقلیمی گوناگون، رسیدن به الگوی کشت بهینه که از نهاده‌ها و عموامل تولید مخصوصاً آب بتوان حداکثر بهره‌وری را به دست آورد، از اهمین زیادی برخوردار است. طراحی الگوی کشت فرایندی پیچیده و متاثر از عوامل مختلف است که بررسی آن طراح الگوی کشت را ملزم به جمع آوری حجم انبوهی از اطلاعات می‌کند. بنابراین انتخاب روش پردازش، تحلیل و تلفیق اطلاعات گردآوری شده با توجه به معیارهای مورد نیاز مدیران، بسیار مهم و تعیین کننده است (سالیانی، ۱۳۷۵). تخصیص بهینه منابع آب به خصوص در بخش کشاورزی که مصرف‌کننده اصلی آب در کشور است، از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا آبیاری با آب بیش از اندازه گیاه، علاوه بر هدر دادن آب موجب شوری خاک نیز می‌شود و از طرف دیگر آبیاری با آب کمتر از آب مورد نیاز گیاهان، باعث افت شدید عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (اسماعیل‌پور اسطرخی و همکاران، ۱۳۹٦). دستیابی به توسعه پایدار در بخش کشاورزی، نیازمند برنامه‌ریزی اصولی و کارامد و اجرای دقیق آن برنامه است. این مهم در

گرو آشنایی کامل با امکانات، فرصت‌ها، توان‌ها و محدودیت‌هایی است که در راه رسیدن به وضع مطلوب با آنها مواجهیم. در دهه‌های اخیر، روند بهره‌گیری از توان‌ها و پتانسیل‌های محیطی به دلیل الگوی مدیریتی نامناسب به طور صحیح طی نشده است و این مساله تخریب نابع آب و خاک، کاهش ظرفیت محیطی و به تبع آن، بحران‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی شدیدی را به دنبال داشته است (نوروزی آورگانی و همکاران، ۱۳۸۹، زارع شاه‌آبادی و همکاران، ۱۳۸۹). کمک کشاورزی به توسعه منطقه‌ای و تامین مواد غذایی، همچنین کمک به حفظ سلامت محیط از دیگر وظایف این بخش است. همچنین بر اهمیت بخش کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های مهم در زمینه اشتغال و نیروی کار تاکید شده است (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۸). در مجموع برای افزایش عملکرد گیاه زرشک، تعیین مقدار نیاز آبی گیاه در منطقه ضروری است. در این تحقیق نیاز آبی زرشک در طول فصل رشد در ایستگاه‌های منتخب ایران محاسبه شد. کاربرد نتایج این تحقیق می‌تواند مدیران و کشاورزان را در برنامه‌ریزی دقیق برای گسترش کشت این محصول در کشور یاری رساند.

سپاسگزاری

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی ۱۰ ایستگاه همدید کشور استفاده شده است که بدینوسیله از مسئولین محترم سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن این داده‌ها تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

احسانی علی، ارزانی حسین، فرح پور مهدی، احمدی حسن، جعفری محمد و اکبرزاده مرتضی، (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم افزار cropwatt، (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور)» ، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۱): ۱۶-۱.

اسماعیل پور اسطرخی،هادی، کریمی، محمد، علیمحمدی سراب، عباس، داوری، کامران، (۱۳۹۶). برنامه‌ریزی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مکانی. نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، (۲)۵: ۳۳-۱۹.

انصاری، حسین، سالاریان، محمد، تکرلی، عاطفه و بایرام، منصوره(۱۳۹۳). تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول گندم و گوجه فرنگی به کمک مدل Aquacrop(مطالعه موردی مشهد)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۸):۹۵-۸۶.

تاجری مقدم، مریم، راحلی، حسین، ظریفیان؛ شاپور و یزدان پناه، مسعود (۱۳۹۷). کاربرد تئوری فرهنگی در تحلیل رفتار حفاظت آب کشاورزان دشت نیشابور، علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱٤(۱):۱۲۹-۱۱۳.

حیدری نیا، مولود، ناصری، عبدعلی و برومندنسب، سعید (1391). بررسی امکان کاربرد شبیه Aqua Crop در برنامه ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز، مجلـه مهندسی منابع آب، 5(12): 39- 49.

خرسند، افشین، وردی نژاد، وحیدرضا، شهیدی، علی (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد مدل Aqua Crop در پیش بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم آبی، مدیریت آب و آبیاری، ٤ (۱):۱۰٤-۸۹.

رحیمیان، مهدی(۱۳۹٦). عوامل اثر گذار بر مدیریت پایدار منابع آب در بین گندم کاران آبی شهرستان کوهدشت. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، ۱۲(۲):۲۳۱- ۲٤۷.

رحمانی، صادق، یزدان پناه، مسعود، فروزانی، معصومه و عبدشاهی، عباس (۱۳۹۷). بررسی باورها و راهبردهای سازگاری کشاورزان با شرایط کمبود آب و عوامل موثر بر آنها در شهرستان ممسنی، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۳(۳):۳٤۰-۳۲۲.

رستگاری پور، فاطمه، علوی، مریم، کرباسی، علیرضا، (۱۳۹٤). کاربردبرنامه‌ریزی چند هدفی در تعیین الگوی بهینه کشت در بخش مرکزی شهرستان تربت حیدریه. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی، (۳) ۲: ۲۷۹-۲۵۹.

رکن الدین افتخاری، عبدالرضا، پورطاهری، مهدی، فرج زاده، منوچهر و وکیل حیدری، ساربان، (۱۳۸۸). نقش توانمندسازی در توسعه کشاورزی مطالعه موردی استان اردبیل، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، (٦۹): ۱۰۳-۸۷.

زارع شاه آبادی، علیرضا، زارع شاه آبادی، اکبر، صمیمی، سمانه، خراسانی، محمد امین، (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی راهبردی توسعه بخش کشاورزی در شهرستان ابرکوه، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، (۱۸)۱۵: ٤۹-۲۹.

سالیانی ط، (۱۳۷۵). طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعه منابع آب، اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۱۵: ۱۱۲-۹۱.

شیرشاهی، فهیمه، بابازاده، حسین، ابراهیمی پاک، نیازعلی و زراعت کیش، یعقوب (۱۳۹۷). واسنجی و ارزیابی عملکرد مدل آکواکراپ در مدیریت مقدار و زمان اعمال کمآبیاری در گندم، علوم و مهندسی آبیاری، ٤۱(۱):٤٤-۱۱.

علایی، جواد، کوچک زاده، مهدی، شریفی، فرود، (۱۳۹۸). برآورد نیاز آبی وبرنامه‌ریزی آبیاری درخت سنجد به عنوان فضای سبز شهری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. (۱۳) ٦: ۱۸۷۸-۱۸٦۹.

علیزاده، حمزه علی، نظری، بیژن، پارسی نژاد، مسعود، رمضانی اعتدالی،هادی و جانباز حمیدرضا، (1389). ارزیابی مدل Aqua Crop در مدیریت کم آبیاری گندم درمنطقه کرج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 2(4): 273-283.

علیزاده، امین، کمالی، غلامعلی، خانجانی، محمد جواد و رهنورد، محمد رضا (۱۳۸۳). ارزیابی روشهای برآورد تبخیر – تعرق در مناطق خشک ایران»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹ (۲):۹۷-۱۰۵.

فلاح قالهری، غلامعباس، باعقیده، محمد و رضایی، حسن (۱۳۹۵). برآورد نیاز آبی محصول سیب زمینی در اقلیم تربت حیدریه و تخمین تبخیر و تعرق واقعی بر اساس تبخیر و تعرق مرجع، انسان و محیط زیست، ۲(۱٤):٦۰-٤۹.

فلاح قالهری، غلام عباس، راه‌چمنی، مهدی، بیرانوند، فرشته، (۱۳۹٤). برآورد نیاز آبی کنجد در اقلیم سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، (٦)۲۱: ۱٤-۱.

فلاح قالهری، غلام عباس و رضایی، حسن (۱۳۹٤). نقش پارامترهای اقلیمی بر مراحل فنولوژی زرشک در شهرستان گناباد، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۲(٤۷):۱۵-۱.

کیانی، علیرضا، (۱۳۹۸). برنامه‌ریزی آبیاری کلزا، نشر آموزش کشاورزی. چاپ اول. ۳٦ صص.

محمدی، مسعود، قهرمان، بیژن، داوری، کامران، انصاری، حسین و شهیدی، علی(۱۳۹٤). اعتبار سنجی مدل Aqua Crop به منظور شبیه سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم زمستانه تحت شرایط همزمان تنش شوری و خشکی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۱): ٦۷-۸٤.

مدیری، الهام، براری تاری، داوود، امیری، ابراهیم، نیک نژاد، یوسف، فلاح، هرمز، خزایی، مهدی، (۱۳۹۷). ارزیابی و برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه برنج در استان‌های شمالی کشور. فصلنامه جغرافیا (رنامه‌ریزی منطقه‌ای)، (۱)۹: ۵۷۲-۵٦۱.

نوروزی آورگانی، اصغر، نوری، سیدهدایت اله وکیانی سلمی، صدیقه (۱۳۸۹). ارزیابی توان‌های محیطی برای توسعه کشاورزی (مطالعه موردی: ناحیه چغاخور شهرستان بروجن). فصلنامه پژوهش‌های روستایی، (۲)۱: ۱۱۵-۹۱.

وزیری ژاله، انتصاری، محمد رضا و حیدری، نادر(۱۳۸۷). تبخیر- تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب موردنیاز گیاهان). کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول. تهران.

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati M.E. & Rahnama, A. (2011). Validation and Testing of the Aqua Crop Model under Full and Deficit Irrigated Wheat Production in Iran. Agricultural Water Management. 100: 1-8.

Allen R ،G, Pereira L.S, Rae's D and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56: 300.

Bessembider J.J.E., Leffelaar P.A., Dhindwal A.S. & Ponsioen T.C. (2005). Which Crop and Which Drop, and the Scope for Improvement of Water Productivity. Agricultural Water Management. 73, 113–130. 6

Doorenbos J. and Kassam A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, FAO.

Bastiaanssen, W.G.M., Allen, R.G., Droogers, P., D'Urso, G., & Steduto, P. (2007). Twenty-five years modeling irrigated and drained soils: State of the art. Agricultural Water Management, 92(3), 111–125.

Fereres, E., & Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, 58, 147–159.

Farahani, H.J., Izzy, G., & Owes, T.Y. (2009). Parameterization and Evaluation of the Aqua Crop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. Agron. J. 101, 469–476.

Forouzani, M., Karami, E., Zibaei, M., & Zamani, G. H. (2012). Agricultural water poverty index for a sustainable world. In Farming for Food and Water Security (pp. 127155). Springer Netherlands

Garcia-Vila, M., Fereres, E., Mateos, L., Orgaz, F., & Steduto, P. (2009). Deficit Irrigation Optimization of Cotton with Aqua crop. Agron. J. 101, 477–487.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanaca, R., Mamani, A., Condor, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V., & Steduto, P. (2009). Simulating Yield Response to Water of Quinoa (Chenopodium Quinoa Wild.) With FAO-Aqua crop. J. Agron. 101, 499–508.

Hogeboom, G.J., White, J.W., & Messina, C.D. (2004). From genome to crop: integration through simulation modelling. Field Crop Res. 90, 145 -163.

Hsiao, T.C., Hneg, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. & Fereres, E. (2009). Aqua crop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maiz. Agron. J. 101:448-459.

Kafi, M. & Balandari, A. (2002). barberry, producing and technology, first print, ferdowsi university of Mashhad publication. (In Persian).

Kamali, Q., and Bazgir, S. (2008). predicting dry farming rice operation by using weather forecasting indicators in some western areas of the country, scientific and investigating magazine of agricultural science and natural resources, agricultural science and natural resources university of Gorgan 15(2): 113-122. (In Persian).

Kuo, S.F., Lin, B.J., & Shieh, H.J. (2006). Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural Water Management, 82:433-451.

Lopez-Urea, R., Montoro A., Gonza lez-Piqueras, J., Lopez-Foster, P., & Freres, E. (2009). Water use of spring wheat to raise water productivity. Agricultural Water Management, 96:1305-1310.

Ritchie J.T. 1972. Model for Predicting Evaporation from a Row Crop with Incomplete Cover. Water Resour. Res. 8, 1204±1213.

Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E (2012). Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.

Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E (2009). AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. Agronomy, 101:438–447.

Steduto, P., Hsiao T.C., Raes, D., & Freres, E. (2009). Aqua crop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Argon. J. 101:426–437.

Singh, R. (2004). Simulation on direct and cyclic use of saline waters for sustaining Cotton-Wheat in a semi-arid area of north-west India. Agricultural Water Management, 66: 153-162.

Toumi, J., Er-Raki, S., Ezzahar, J., Khabba, S., Jarlan, L. and Chehbouni, A., 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agricultural Water Management, 163:219-235.

Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., & Kroes, J.G. (2008). Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. Vadose Zone Journal, 7:640-653.