



دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
سال دوازدهم، شماره چهل و سوم، ۱۳۹۹

تحلیل روند بلند مدت تغییرات کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) در مناطق جنوبی، جنوب غربی و مرکزی ایران

لیلا جعفری^۱، فرزین عبدالهی^۲، سارا اسدی^۳

دریافت: ۹۸/۶/۱۷ پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۵

چکیده

گسترش کمبود آب و افزایش تقاضا برای محصولات باغی بحث‌های زیادی را در مورد بهبود بهره‌وری و کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی ایجاد کرده است. بدین منظور، کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) در برخی از مناطق جنوبی، جنوب غربی و مرکزی کشور از جمله بندرعباس، اهواز، دزفول، شهرکرد، فسا، شیراز، اصفهان، کرمان و یزد در یک دوره بلند مدت ۲۳ ساله (۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲) مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، تبخیر و تعرق روزانه و ضریب گیاهی، روند تغییرات نیاز آبی، عملکرد، سطح زیرکشت و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و پتیت ارزیابی شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی (۱۱۳۷ و ۶۴۲ میلی‌متر) به ترتیب در یزد و شهرکرد به دست آمد. نیاز آبی گوجه‌فرنگی در فسا برخلاف دزفول و شیراز روندی افزایشی و معنی‌دار با شیب ۵/۶ میلی‌متر به ازای هر سال داشت. همچنین، بیشترین کارایی مصرف آب (۵/۶ کیلوگرم در مترمکعب) و افزایش کارایی مصرف آب به ازای هر سال (۰/۰۷ کیلوگرم در مترمکعب) در فسا به دست آمد. علاوه بر این، کارایی مصرف آب به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم محصول گوجه‌فرنگی در واحد سطح، ۰/۱ کیلوگرم در مترمکعب افزایش یافت. در حالی که بین کارایی مصرف آب و نیاز آبی رابطه منطقی مشاهده نشد. علاوه بر این، نوسانات عملکرد نسبت به نیاز آبی با استفاده از رسم خط مرزی مورد بررسی قرار گرفت. در نیاز آبی یکسان، نوسان بالایی از عملکرد مشاهده شده است که نشان‌دهنده خلاء عملکرد گوجه‌فرنگی است. در مجموع عدم مشاهده رابطه بین کارایی مصرف آب و نیاز آبی در دامنه ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر، احتمالاً به دلیل خلاء عملکرد ناشی از سو مدیریت در مزارع بود. یکی از روش‌هایی که باعث بهبود بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی و در نهایت افزایش راندمان مصرف آب می‌شود، تخمین میزان آب مصرفی گیاهان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون پتیت، خط مرزی، عملکرد، من-کندال، نیاز آبی

جعفری، ل.، ف. عبدالهی و س. اسدی. ۱۳۹۹. تحلیل روند بلند مدت تغییرات کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum*) در مناطق جنوبی، جنوب غربی و مرکزی ایران. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۳: ۱۲۲-۱۰۷.

۱- استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران - مسئول مکاتبات. jafari.leila@hormozgan.ac.ir

۲- استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳- دکتری بوم‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مقدمه

آب مهمترین عامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. تغییرات مکانی و زمانی بارش در ایران به‌گونه‌ای است که نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را تأمین نمی‌کند، بنابراین نیاز آبی اکثر محصولات زراعی و باغی از طریق آبیاری تأمین می‌شود (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷). با این حال سطح آب سفره آب به دلیل برداشت آب برای آبیاری بیش از متوسط شارژ سالانه، کاهش یافته است (وزارت نیرو، ۱۳۹۶). کاهش سطح آب زیرزمینی باعث شده است که بسیاری از چاه‌ها نتوانند آب مورد نیاز محصولات را برآورده کنند و کشاورزان اقدام به حفر چاه‌های جدید کرده‌اند. برای مثال ۳۴ دشت از ۸۴ دشت موجود در استان هرمزگان، استانی که از نظر تولید محصولات جالیزی و صیفی خارج از فصل در رتبه نخست کشور قرار دارد، در وضعیت ممنوعه قرار دارند (بذرافشان و گرکانی‌نژاد مشیزی، ۱۳۹۷). از جمله مهمترین این محصولات گوجه‌فرنگی است که در طی ۱۵ سال گذشته، به‌طور متوسط ۲۰ درصد سطح زیر کشت اراضی صیفی استان (۱۴ هزار هکتار) را به خود اختصاص داده است. محصول گوجه‌فرنگی هرمزگان علاوه بر تأمین نیاز داخل کشور به کشورهای آسیای میانه، عراق، کشورهای حاشیه خلیج فارس و روسیه صادر می‌گردد. کشور ایران با تولید سالانه ۶/۲ میلیون تن محصول گوجه‌فرنگی جزو ۱۰ تولیدکننده اصلی جهان قرار دارد (فائو، ۲۰۱۷). رشد گوجه‌فرنگی به دلیل تنوع وسیع محیطها و سیستم‌هایی که در آن رشد می‌کند، حساسیت بالا به آفات، بیماری‌ها و تنش خشکی (در طول دوره رشد) و تقاضای بالای نهاده‌های ورودی که منجر به سرمایه‌گذاری فیزیکی بالا در واحد می‌شود، به‌عنوان یک فعالیت پرخطر شناخته می‌شود (لوپز و همکاران، ۲۰۰۵). محدودیت‌های تولید، وابستگی به منابع طبیعی مانند بارندگی، آب ناکافی برای اهداف آبیاری، زیرساخت‌های نامناسب یا محدودیت‌های تکنولوژی و فقدان منابع مالی برخی از چالش‌هایی است که بسیاری از کشورهای در حال توسعه در تولید محصولات یا کاهش تولید در واحد سطح با آن مواجه هستند (سازمان هواشناسی جهانی، ۲۰۱۲). در مورد آینده آبیاری در ایران نیز این عدم اطمینان وجود دارد، مگر این‌که شیوه‌های حفاظت و تغییر سیاست‌ها برای افزایش عمر قابل استفاده سفره آبی اتخاذ شود.

یکی از شایع‌ترین چالش‌های موجود در زمینه دسترسی به آب برای کشاورزی، تولید محصول با حداکثر استفاده از هر قطره آب

است. که نیازمند تجزیه و تحلیل کارایی آب و روند آن به‌منظور ارزیابی مزایای استفاده از استراتژی‌های آبیاری است (فریزس و سوریانوز، ۲۰۰۷؛ آریا و همکاران، ۲۰۱۱). فریزس و سوریانوز (۲۰۰۷) اظهار داشتند که یک روش عملی برای ارزیابی مزایای آبیاری از طریق ایجاد رابطه بین عملکرد و آب مصرفی گیاه شده است. به‌طور کلی، توابع ارتباط عملکرد محصول با آب مصرفی به دو دسته تقسیم می‌شوند. توابع تولید آب^۱ (WPF) که بیانگر رابطه بین عملکرد و آب مصرفی در طول فصل رشد و توابع تولید آب مصرفی گیاه^۲ (CWPF) که بیانگر رابطه عملکرد با تبخیر و تعرق در طول فصل رشد است (ایغبادان و همکاران، ۲۰۰۷). در شرایط کمبود آب، از آن‌جایی که تمام آب مصرفی به‌صورت تبخیر و تعرق استفاده می‌شود، WPF خطی است. در حالی که در شرایط عدم کمبود آب غیرخطی است. از سوی دیگر، CWPF اغلب به‌عنوان یک تابع غیرخطی توصیف می‌شود. رابطه منحنی به‌طور کلی نشان‌دهنده تلف شدن آب و یا آبیاری بیش از حد است، به این معنی که محصول تمام آب مصرفی را استفاده نمی‌کند. زیرا بخشی از این آب با نفوذ به اعماق خاک از دست می‌رود و منجر به افزایش تولید محصول نمی‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۰۲). هر دو معادله در برنامه‌های مدیریت آب و ارزیابی مزایای مالی و کارکرد استراتژی‌های آبیاری مفید هستند. همچنین، CWPF بیانگر عملکرد محصول به ازای آب مصرفی است، به این ترتیب می‌تواند مقدار کارایی مصرف آب را تعیین کند، در نتیجه یک ابزار ساده برای ارزیابی مزایای بالقوه استراتژی‌های آبیاری در طول دوره‌های متفاوت هست (فریزس و سوریانوز، ۲۰۰۷).

آنالیز روند که بر پایه پیش‌بینی و تحلیل سری داده‌های زمانی است، روشی تحلیلی بوده که مبنای اغلب تصمیمات در فرآیندهای هیدرولوژیک و استفاده از منابع آب می‌باشد. امروزه این روش تحلیلی به‌عنوان وسیله‌ای مناسب برای ارزیابی و پیش‌بینی وقایع اقلیمی از جمله خشکسالی و سیل استفاده می‌شود (لوادا و همکاران، ۲۰۱۹). مطالعات نشان داده است که تغییرات بلند مدت تبخیر و تعرق که خود تابعی از نوسانات همزمان عوامل اقلیمی از جمله رطوبت، ساعات آفتابی، دما، می‌باشد نقش کلیدی در ایجاد تغییرات در آنالیز روند نیاز آبی گیاهان ایفا می‌کند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ هیو و همکاران، ۲۰۱۳). سنجش دقیق میزان تبخیر و تعرق یا

1 Water production function

2 Crop water production functions

تشخیص یک شیفت ناگهانی در آنالیز روند، آزمون پتیت است. این آزمون به‌طور وسیع در ارزیابی زمان تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (مو و همکاران، ۲۰۰۷؛ لائو و همکاران ۲۰۱۰).

با توجه به سطح زیر کشت قابل توجه گوجه‌فرنگی نسبت به سایر محصولات جالیزی در کشور (۴۶/۱۳ درصد کل محصولات جالیزی کشور در دهه اخیر) و حساسیت بالای این محصول به آب در طول دوره رشد، امکان‌سنجی کشت این محصول در مناطق مختلف با توجه به مسئله بحران آب در کشور ضروری است. به‌دین منظور برآورد دقیق میزان نیاز آبی گوجه‌فرنگی با استفاده از روش پنمن مانیتث و کارایی مصرف آب در راستای تعیین میزان دقیق آبیاری و برنامه زمان‌بندی آبیاری صورت گرفت. همچنین، اطلاع از روند نیاز آبی گیاه و کارایی مصرف آب در مقیاس‌های زمانی طولانی مدت می‌تواند به‌تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی منابع آب و روش‌های مدیریتی مناسب برای آینده کمک کند.

به‌عبارتی دیگر تخمین میزان آب مصرفی گیاهان، از جمله روش‌هایی است که باعث افزایش بهره‌وری آب و در نتیجه بهبود کارایی مصرف آب می‌شود. تبخیر و تعرق یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده توازن آبی هر منطقه و در نتیجه یکی از عوامل کلیدی برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری می‌باشد (لی، ۲۰۰۳). رایس و همکاران (۲۰۱۷) به‌منظور بررسی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش پنمن مانیتث استفاده نمودند.

آنالیز روند علاوه بر تعیین تغییرات بلندمدت فرآیندهای هیدرولوژیکی، دوره تناوب و دیگر ویژگی‌های آن‌ها را تعیین می‌کند (فانگ شانگ و همکاران، ۲۰۱۴). بدین منظور در طی سال‌های گذشته پژوهشگران روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری از جمله من-کندال (MK) را جهت بررسی آنالیز روند ارائه دادند (حامد، ۲۰۰۷). از بین آزمون‌های روند، آنالیز غیرپارامتری برای تشخیص روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی روش من-کندال مناسب‌تر است. علاوه بر این، یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری در

جدول ۱- میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت و مجموع بارش در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی مناطق مورد مطالعه با توجه به تاریخ کاشت و برداشت

رایج در مناطق مورد مطالعه (دوره بلند مدت ۲۳ ساله از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

نام ایستگاه	تاریخ کاشت گوجه‌فرنگی	تاریخ برداشت گوجه‌فرنگی	میانگین عملکرد گوجه‌فرنگی (تن در هکتار)	میانگین حداکثر درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین حداقل درجه حرارت (سانتی‌گراد)	میانگین مجموع بارش (میلی‌متر)
اهواز	نیمه دوم بهمن	نیمه اول تیر	۲۸/۴	۴۱/۲	۲۴/۸	۲۶/۹
بندرعباس	نیمه اول مهر	نیمه دوم اردیبهشت	۲۳/۹	۳۰/۱	۱۹/۰	۸۴/۸
دزفول	نیمه دوم آبان	نیمه دوم تیر	۲۹/۴	۳۹/۲	۲۱/۷	۵۲/۹
فسا	نیمه اول مهر	نیمه دوم اردیبهشت	۴۹/۵	۳۷/۸	۱۸/۰	۴/۸
اصفهان	نیمه دوم مهر	نیمه اول خرداد	۳۵/۲	۲۴/۱	۱۴/۴	۵/۵
کرمان	نیمه اول مهر	نیمه دوم اردیبهشت	۱۹/۴	۳۴/۱	۱۵/۲	۹/۳
شهرکرد	نیمه اول آبان	نیمه دوم خرداد	۲۵/۵	۳۰/۰	۹/۰	۶/۰
شیراز	نیمه اول مهر	نیمه دوم اردیبهشت	۳۹/۰	۳۶/۰	۱۸/۸	۴/۷
یزد	نیمه اول مهر	نیمه دوم اردیبهشت	۲۹/۳	۳۷/۱	۲۲/۲	۱۳/۴

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی کارآبودن کشت گوجه‌فرنگی از نظر میزان آب مصرفی در استان هرمزگان در مقایسه با استان‌های هم‌جوار، با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، استان‌های کرمان، یزد، شیراز، چهارمحال بختیاری، اصفهان و خوزستان انتخاب شدند (جدول ۱). میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت و مجموع بارش (اداره هواشناسی کل کشور) در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی (جهاد کشاورزی کشور) برای دوره بلند مدت ۲۳ ساله از ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲ در بندرعباس، کرمان، یزد، شیراز، فسا، شهرکرد، اصفهان، اهواز و دزفول در جدول ۱ ارائه شده است.

روش پژوهش

راندمان مصرف آب با توجه به نوع محصول از طریق تقسیم محصول تازه میوه (Y) (تن در هکتار) بر میزان نیاز آبی گیاه^۱ (CWR) (میلی‌متر) محاسبه شد (قوش و همکاران، ۲۰۰۶).

$$WUE = \frac{Y}{CWR}$$

معادله ۱:

نیاز آبی گیاه، مقدار آب مورد نیاز برای پاسخگویی به نیاز تبخیر و تعرق گیاه در طول دوره رشد خود است که تبخیر و تعرق گیاه (ETc) نیز نامیده می‌شود. رایج‌ترین روش تخمین CWR شامل حاصلضرب ضریب گیاهی منفرد^۲ (K_c) در مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع^۳ (ET_o) (معادله ۲)، می‌باشد (آلن، ۲۰۰۳).

$$CWR = K_c \times ET_o$$

معادله ۲:

ضریب گیاهی منفرد (K_c) (جدول ۲) از ترکیب تأثیر تعرق گیاه و تبخیر از خاک برای هر محصول است (راهنمای فائو^۴). مقدار ضریب گیاهی به طور معمول در طول فصل رشد متفاوت است، به گونه‌ای که مقدار آن از اوایل فصل رشد تا اواسط فصل رشد از حدود صفر به ۱ می‌رسد. این مقدار در مرحله رسیدگی گیاه شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه، تغییرات ضریب گیاهی به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش بستگی دارد. سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، با توجه به معیارهای یاد شده، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رشد برای اکثر گیاهان زراعی ارائه داده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). اگرچه تبخیر و تعرق هر گیاه

زراعی در هر منطقه تغییر می‌کند، اما به دلیل لحاظ کردن خصوصیات اقلیمی هر منطقه در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی مستقل از مکان می‌باشد. بر همین اساس فائو ضرایب گیاهی و روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق (فائو-پنمن-مانتیت) را برای استفاده در تمامی مناطق کره زمین ارائه داده است.

تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع (ET_o) در طول دوره رشد گیاه زراعی برای یک دوره بلند مدت ۲۳ ساله (۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲) با استفاده از اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۱) به روش پنمن-مانتیت (معادله ۳)، محاسبه شد (فائو، ۵۶، آلن و همکاران، ۱۹۹۸). اطلاعات اقلیمی ایستگاه شامل حداکثر، حداقل درجه حرارت و دمای نقطه شبنم (سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (درصد) و تعداد ساعات آفتابی به صورت روزانه می‌باشد.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T_a + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

معادله ۳: که در آن: ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)؛

R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر متر مربع بر روز)؛ T: میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد)؛ U₂: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)؛ e_s: فشار بخار اشباع در ارتفاع ۲ متری (مگا پاسکال)؛ e_a: کمبود فشار واقعی در ارتفاع ۲ متری (مگا پاسکال)؛ e_s - e_a: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (مگا پاسکال)؛ Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر سانتی‌گراد)؛ γ: ضریب رطوبتی (کیلو پاسکال بر سانتی‌گراد)؛ G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز) می‌باشد.

محاسبه تبخیر و تعرق گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد بر اساس تاریخ کاشت و برداشت ارائه شده توسط گزارشات جهاد کشاورزی استان‌ها انجام شد (جدول ۱). با توجه به عدم اطلاعات کافی در مورد ارقام کشت شده گوجه‌فرنگی در بازه طولانی مدت در مناطق مورد مطالعه و عدم کشت و دسترسی به ارقام قدیمی، امکان مطالعه و اصلاح ضریب گیاهی آن ارقام وجود نداشت. از این رو برای محاسبه نیاز آبی گیاهان زراعی همانند سایر محققین از ضریب گیاهی ارائه شده فائو استفاده شد (جدول ۲) (یائو و همکاران، ۲۰۱۵).

¹ Crop water requirement

² Single crop coefficient

³ Reference evapotranspiration

⁴ FAO

جدول ۲- ضریب گیاهی منفرد (K_F) مراحل مختلف رشد گوجه فرنگی

حد اکثر ارتفاع بوته (متر)	ضریب گیاهی		
	مرحله انتهایی رشد	مرحله میانی رشد	مرحله اولیه رشد
۰/۶	۰/۷۰-۰/۹۰	۱/۱۵	۰/۶۰

تست پتیت، آزمونی ناپارامتری برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی، به شرح زیر است (پتی، ۱۹۷۹):

سری زمانی U_{T,T} بر اساس معادله ۸ محاسبه شد.

$$U_{T,T} = U_{T-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_j - x_{j-1}) \quad \text{معادله ۸}$$

for t = 1, ..., T

که در آن، T تعداد داده ها و t شماره ترتیبی داده های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن می باشد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹). تابع sgn(.) نیز به صورت معادله ۵ محاسبه شد. آماره p نیز با استفاده از جایگزینی مقدار k (معادله ۹) در معادله ۱۰ به دست آمد.

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad \text{معادله ۹}$$

$$p \approx 2 \exp[-6(K_T)^2 / (T^3 + T^2)] \quad \text{معادله ۱۰}$$

در این آزمون فرض H₀، بیانگر همگنی داده ها و فرض H₁ نشان دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می باشد. در صورتی که مقدار p محاسبه شده کوچک تر از α یا مقدار سطح احتمال معنی داری پنج درصد باشد می توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی دار دانست. در واقع مقدار p مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض H₀ است که اگر این خطا از پنج درصد کمتر باشد می توان این تغییر را معنی دار دانست.

محاسبه ETo و CWR به ترتیب با استفاده از نرم افزار Ref ET و CROPWAT 8، تست من-کندال و پتیت با نرم افزار r رسم نمودار با استفاده از نرم افزار SigmaPlot انجام شد.

نتایج و بحث

روند نیاز آبی گوجه فرنگی در طی زمان

نتایج آنالیز روند حاکی از عدم وجود روند معنی دار نیاز آبی گوجه فرنگی در اهواز، بندرعباس، اصفهان، کرمان، شهرکرد و یزد بود (شکل ۱ الف، ب، ه، و، ر، ط). این در حالی است که نیاز آبی گوجه فرنگی در دزفول، فسا و شیراز دارای روند معنی داری است (شکل ۱ ج، د، ح). دزفول با شیبی در حدود ۰/۲- میلی متر در سال و شیراز با شیبی در حدود ۷/۶- میلی متر در سال به ترتیب کمترین و

آنالیز روند

آزمون من کندال^۱ (MK)

تجزیه و تحلیل روند که نشان دهنده تغییرات پارامتر در طول زمان است با استفاده از آزمون غیر پارامتری من-کندال انجام شد.

فرض صفر (H₀) آزمون من-کندال (MK) (من، ۱۹۴۵؛ کندال، ۱۹۶۲) بر تصادفی بودن و عدم وجود روند و فرض یک (H₁) مبنی بر وجود روند در سری داده ها می باشد. در ابتدا برای استخراج آماره S، اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر با استفاده از معادله ۴ محاسبه شد:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad \text{معادله ۴}$$

که در آن X_j مقدار داده آژم، n طول دوره آماری و sgn تابع علامت می باشد که به صورت معادله ۵ تعریف می گردد:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad \text{معادله ۵}$$

تحت فرضیه توزیع متغیرهای مستقل و تصادفی، وقتی n ≥ 8 آمار S دارای توزیع نرمال با میانگین صفر بوده و واریانس آن به شرح زیر می باشد (معادله ۶):

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(n+1)}{4n} \quad \text{معادله ۶}$$

در نهایت آماره آزمون من-کندال یا آماره Z استاندارد با استفاده از معادله ۷ محاسبه شد:

$$Z = f(x) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & S < 0 \end{cases} \quad \text{معادله ۷}$$

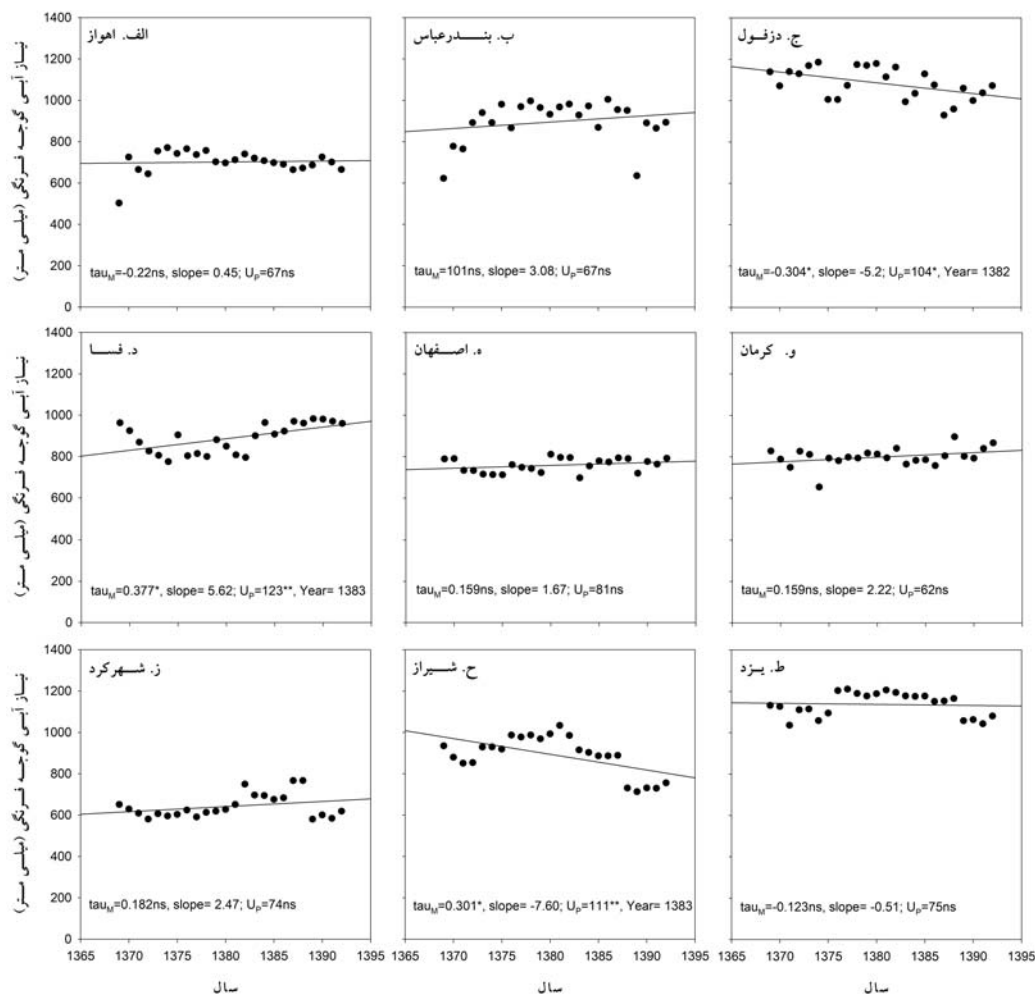
فرض صفر به شرط $-Z_{1-\theta/2} \leq Z \leq Z_{1-\theta/2}$ پذیرفته می شود و در غیر این صورت H₀ رد و فرض H₁ (وجود روند در سری داده ها) پذیرفته می شود.

آزمون پتیت^۲ (P)

1 Mann-Kendall test
2 Pettitt test

به افزایش بود (شکل ۱د).

بیشترین روند کاهش را دارا بودند (شکل ۱ج، ح). اما نیاز آبی گوجه‌فرنگی تنها در فسا با شیبی در حدود ۵/۶۲ میلی‌متر در سال رو



شکل ۱- روند نیاز آبی گوجه‌فرنگی مناطق مورد مطالعه در دوره بلند مدت ۲۳ ساله (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

روندی منفی و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد (به ترتیب با شیب ۵/۴، ۱/۵۶، ۳/۱۹-) داشت. این تضاد در روند نیاز آبی در این دو مطالعه را می‌توان به تفاوت در دوره آماری نسبت داد (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۸). ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) نیز تغییر روند تبخیر و تعرق و به طبع آن نیاز آبی گیاه زراعی در نیمی از ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ میلادی) را به کوتاه بودن دوره مطالعاتی در مقایسه با سری زمانی‌های طولانی‌تر (۶۰ سال)

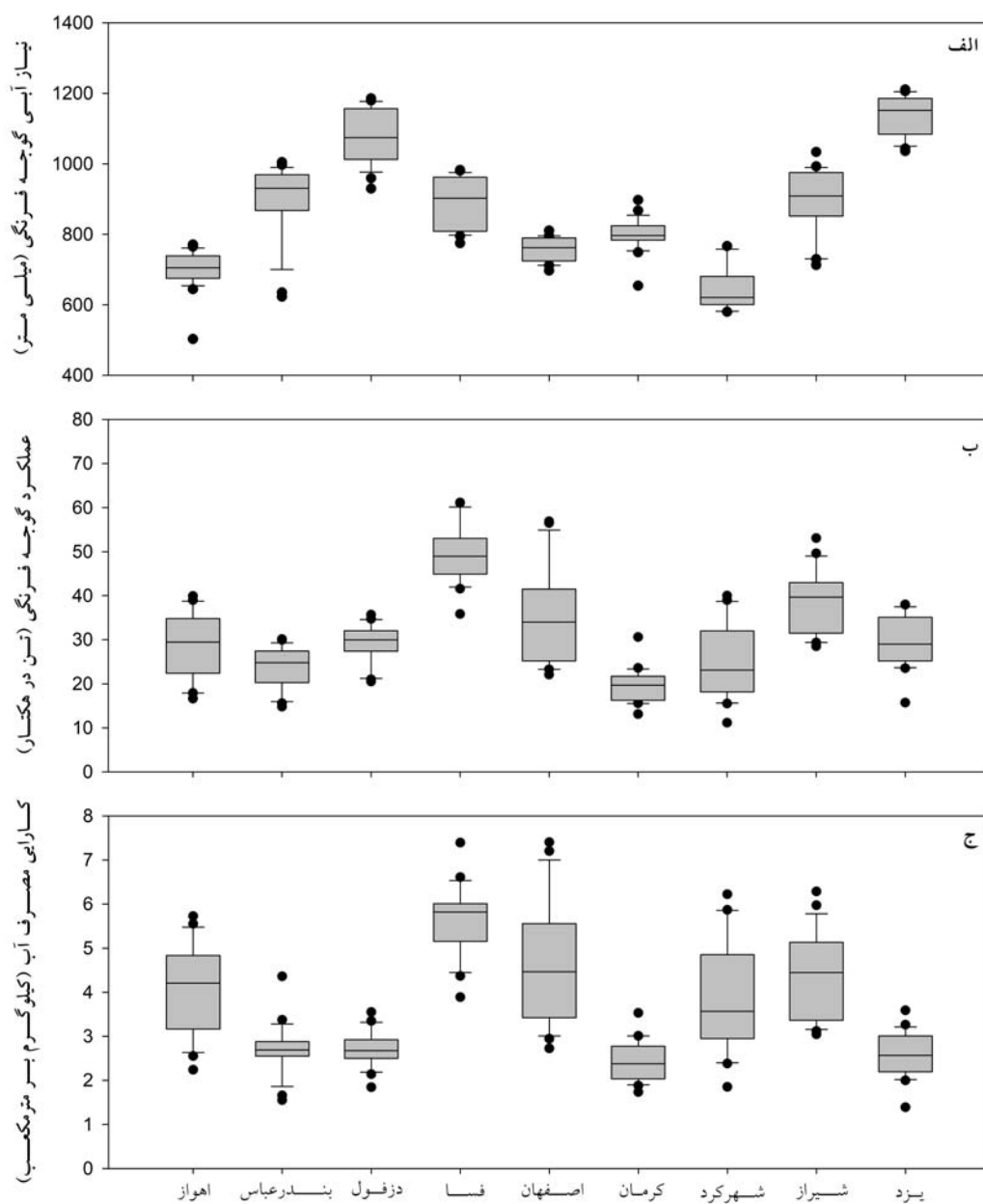
در مطالعه‌ای که توسط سبزی پرور و شادمانی (۱۳۹۰) انجام شد با استفاده از آزمون من-کندل تغییرات زمانی پارامتر تبخیر و تعرق مرجع در مناطق مختلف ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی ۱۱ ایستگاه هواشناسی کشور با دوره آماری ۴۱ ساله ارزیابی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق برای برخی شهرها افزایشی و برای برخی کاهش بوده است. این در حالی است که در مطالعه‌ای دیگر عبدالهی و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که نیاز آبی دزفول، اصفهان و شیراز در یک دوره ۴۷ ساله (۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲)

نسبت دادند. که می‌توانند تأییدی بر اهمیت طول دوره در آنالیزهای سری زمانی باشد.

نتایج حاصل از آزمون پتیت حاکی از وجود نقطه شکست در روندهای معنی‌دار نیاز آبی گوجه‌فرنگی بود. مثلاً در فسا شکست روند در سال ۱۳۸۳ مشاهده شد. نیاز آبی گوجه‌فرنگی تا ۱۳۸۳ روندی کاهشی با شیب $-۷/۱۸$ میلی‌متر داشته و از آن به بعد تا ۱۳۹۲ دارای روندی افزایشی با شیب $۶/۷۷$ میلی‌متر در سال بود (شکل ۱د). همین روند با شیب متفاوت ($۱۰/۸۴$ میلی‌متر، $۲۴/۸۴ -$ میلی‌متر) برای شیراز نیز مشاهده شد (شکل ۱ح). تغییرات در روند نیاز آبی گیاه تابعی از روند تبخیر و تعرق است و روند تبخیر و تعرق نیز تابعی از تغییرات همزمان پارامترهای مختلف اقلیمی از جمله رطوبت و تعداد ساعات آفتابی و درجه حرارت و غیره است. در شرایط تغییر اقلیم، روندهای متفاوتی در تبخیر و تعرق مناطق مختلفی از جهان مشاهده شد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ هبو و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این یزد و دزفول دارای بیشترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی (به ترتیب $۱۱۳۶/۸$ و $۱۰۸۳/۹$ میلی‌متر) و شهرکرد و اهواز دارای کمترین نیاز آبی (۶۴۲ و $۷۰۱/۹$ میلی‌متر) بودند (شکل ۱ط، ج، ر، الف و ۲الف). همچنین پراکندگی نیاز آبی در طول دوره در اهواز، اصفهان و کرمان نسبت به میانگین آن‌ها کمتر از سایر شهرها بود (شکل ۱الف، ه، و و ۲الف). شاهرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای در استان فارس، نیاز آبی گوجه‌فرنگی در سیستم آبیاری سطحی با مدیریت سنتی را حدود ۶۵۰۰ مترمکعب در هکتار برآورد کرد. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که برخی از کشاورزان منطقه تقریباً ۸۵ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب ۵۵۰۰ و ۷۸۰۰ مترمکعب در هکتار) را مصرف می‌کنند. البته مصرف آب کمتر در تیمار تحت مدیریت زارع به دلیل مدیریت بهینه آب آبیاری نبوده، بلکه به دلیل کاهش میزان آب چاه بوده است. به عبارتی زارع در برخی موارد در طول دوره رشد گیاه مجبور به مصرف کمتر آب شده است. در برخی موارد میزان آب مصرفی تحت مدیریت زارع با توجه به تجربه زارع بیشتر بوده است. بنابراین، در برخی مواقع آب مصرفی بیشتر و در برخی مواقع آب مصرفی کمتر از نیاز گیاه بود. لازم به ذکر است که عملکرد تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تیمارهای تحت مدیریت زارع با یکدیگر معنی‌دار نبوده است. بهره‌وری مصرف آب تیمار ۱۲۰ درصد از سایر تیمارها کمتر می‌باشد.

روند عملکرد گوجه‌فرنگی در طی زمان

عملکرد گوجه‌فرنگی در اهواز، بندرعباس، شهرکرد و یزد روندی افزایشی و معنی‌دار داشت (شکل ۳الف، ب، ر، ط). بیشترین و کمترین افزایش عملکرد به ترتیب در اهواز و بندرعباس با $۰/۷۱$ و $۰/۳۱$ تن در هکتار به ازای هر سال مشاهده شد (شکل ۳الف، ب). اما روند عملکرد گوجه‌فرنگی در دزفول و کرمان برخلاف فسا، اصفهان و شیراز ثابت بود (شکل ۳ج، و، د، ه، ح). اگرچه روند افزایشی عملکرد اصفهان در کل دوره مورد مطالعه معنی‌دار نیست، اما با توجه آزمون پتیت این روند در سال ۱۳۸۰ دارای یک نقطه شکست است. با توجه به بررسی مجدد، عملکرد گوجه‌فرنگی تا سال ۱۳۸۰ با شیب $-۱/۲۷$ دارای روند نزولی و بعد از آن تا سال ۱۳۹۲ با شیب $۲/۱۹$ رو به افزایش است (شکل ۳ه). روند افزایشی عملکرد در اصفهان تا تولید حدوداً ۵۰ تا ۵۶ تن در هکتار در سال‌های نهایی دوره مورد مطالعه مشاهده شد. اما به‌طور کلی، اصفهان با عملکرد گوجه‌فرنگی $۳۵/۲$ تن در هکتار بعد از فسا و شیراز ($۴۹/۵$ و ۳۹ تن در هکتار) رتبه سوم را به خود اختصاص داد (شکل ۳ه، د، ح و ۲ب). علاوه بر این، پراکندگی عملکرد نسبت به میانگین عملکرد در اصفهان نسبت به سایر استان‌ها بیشتر بود (شکل ۲). آزمون پتیت برای عملکرد گوجه‌فرنگی دو شهر اهواز و شهرکرد نیز یک نقطه شکست به ترتیب در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۷۸ گزارش داد. به گونه‌ای که برای هر دو شهر تا نقطه شکست، روند عملکرد گوجه‌فرنگی رو به افزایش (به ترتیب $۰/۶۲$ و $۰/۴۳$) و پس از آن روند کاهشی (به ترتیب $-۰/۰۶$ و $-۰/۳۳$) داشت (شکل ۳الف، ر). در نتیجه، شهرکرد با $۲۵/۲$ تن گوجه‌فرنگی در هکتار کمترین میزان عملکرد در واحد را بعد از کرمان با $۱۹/۴$ تن در هکتار دارا می‌باشد (شکل ۳ر، و و ۲ب). به دلیل حساسیت بالای این گیاه هم از نظر اقتصادی و هم نیاز کشور مطالعات بی‌شماری به منظور اصلاح به‌زارعی و به‌نژادی این گیاه انجام شده است که با اصلاح ارقام، افزایش کارایی مصرف فسفر، پتاسیم و نیتروژن، افزایش ریشه‌دهی، کودپذیری، تاریخ مناسب انتقال نشاء، سیستم آبیاری و غیره منجر به افزایش عملکرد گوجه‌فرنگی در واحد سطح شده است (عوادیا و همکاران، ۲۰۱۹).



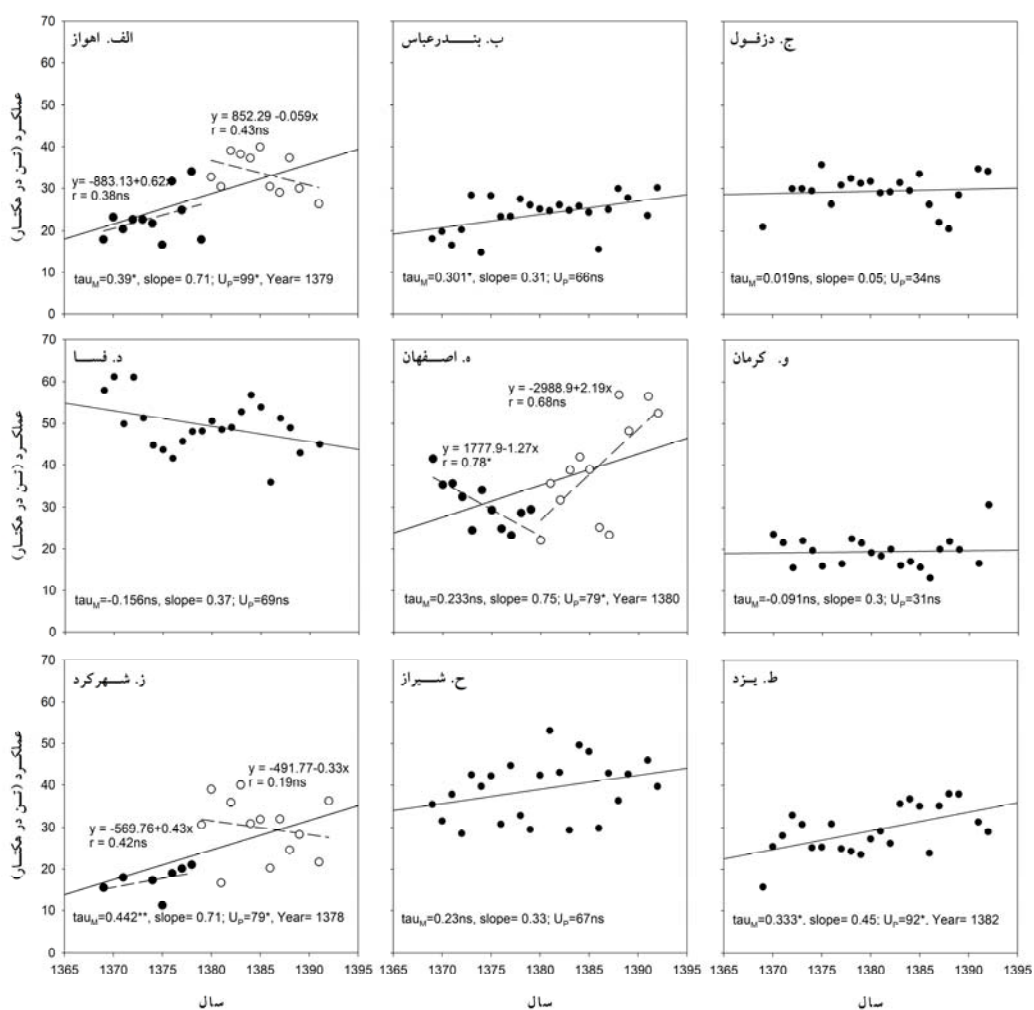
شکل ۲- نمودار جعبه‌ای نیاز آبی (CWR) گوجه فرنگی در طول دوره رشد (الف)، عملکرد (ب) و کارایی مصرف آب (WUE) (ج) گوجه فرنگی در مناطق مورد مطالعه در دوره بلند مدت ۲۳ ساله (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

کیلوگرم بر مترمکعب بود (شکل ۲ و ۴). بیشترین میانگین کارایی مصرف آب در شهر فسا (۵/۶ کیلوگرم در متر مکعب) و کمترین در شهرهای کرمان (۲/۴ کیلوگرم در متر مکعب) مشاهده شد (شکل

روند کارایی مصرف گوجه‌فرنگی در طی زمان دامنه تغییرات میانگین بلند مدت کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد وزن‌تر گوجه‌فرنگی در مناطق مورد مطالعه تقریباً ۳/۲

شده است (شکل ۲ و ۴). به طور کلی، با توجه به شکل ۲ می توان اظهار داشت که الگوی تغییرات کارایی مصرف آب گوجه فرنگی در اکثر شهرها (به جز بندرعباس و دزفول) بیشتر تحت تأثیر عملکرد بوده و نیاز آبی گیاه تأثیر زیادی بر مقدار کارایی مصرف آب نداشته است. همچنین، پراکندگی بالای کارایی مصرف آب در دوره بلند مدت در اصفهان، شهرکرد، شیراز و اهواز نسبت به میانگین آن شهر به دلیل پراکندگی عملکرد در منطقه است نه پراکندگی نیاز آبی گوجه فرنگی.

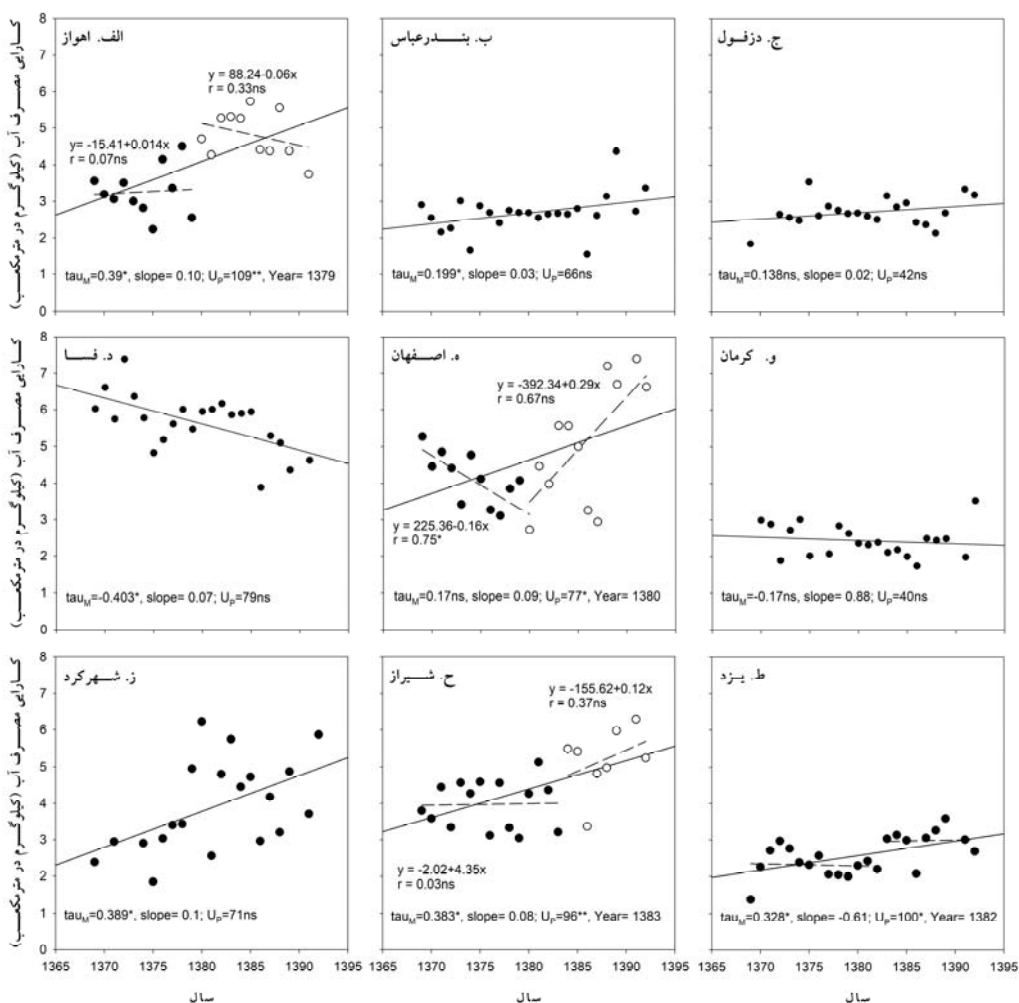
د، ه، و، ط). میانگین بالای کارایی مصرف آب گوجه فرنگی در فسا و اصفهان بیشتر به دلیل بالابودن عملکرد در واحد سطح بوده است نه نیاز آبی گوجه فرنگی (شکل ۴، ه). در حالی که در شهرهای بندرعباس و دزفول نیاز آبی بالا تأثیر چشمگیری در کاهش کارایی مصرف آب گوجه فرنگی داشته است (شکل ۴، ج). اگرچه عملکرد دزفول از بندرعباس در حدود ۶ تن در هکتار بیشتر بوده است اما نیاز آبی بالاتر آن نسبت به بندرعباس منجر به برابری کارایی مصرف آب (۲/۷ کیلوگرم در مترمکعب) در دو شهر



شکل ۳- تغییرات عملکرد گوجه فرنگی مناطق مورد مطالعه در دوره بلند مدت ۲۳ ساله (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

شکست است. کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی تا سال ۱۳۸۰ با شیب $-۰/۱۵$ دارای روند نزولی و بعد از آن روند افزایشی با شیب $۰/۲۹$ بود. کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در اهواز و شیراز نیز بر اساس آزمون پتیت یک نقطه شکست یا نقطه تغییر روند به ترتیب در سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۳ داشتند (شکل ۴الف، ح). برای هر دو شهر تا نقطه شکست، روندی رو به افزایش ($۰/۱۴$ و $۴/۳۵$ کیلوگرم در مترمکعب به ازای هر سال) مشاهده شد. ولی پس از آن، روند کارایی مصرف آب اهواز رو به کاهش ($۰/۰۶$ کیلوگرم در هکتار به ازای هر سال) و روند کارایی مصرف آب شیراز رو به افزایش ($۰/۱۲$ کیلوگرم در هکتار به ازای هر سال) بود (شکل ۴الف، ح).

کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در اهواز، بندرعباس، فسا، شهرکرد، شیراز و یزد روند افزایشی و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد داشت (شکل ۴الف، ب، د، ر، ح، ط). بیشترین افزایش کارایی مصرف آب به ازای هر سال در اهواز، شهرکرد ($۰/۱$ کیلوگرم در مترمکعب) و شیراز ($۰/۰۸$ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴الف، ر). اما کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی تنها در فسا روندی کاهشی و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد داشت (شکل ۴د) که روندی مشابه با روند عملکرد گوجه‌فرنگی (شکل ۳د) دارد. اگرچه روند افزایشی کارایی مصرف آب اصفهان در کل دوره مورد مطالعه معنی‌دار نیست (شکل ۴ه)، اما با توجه آزمون پتیت این روند مشابه روند عملکرد در سال ۱۳۸۰ دارای یک نقطه



شکل ۴- روند کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی مناطق مورد مطالعه در دوره بلند مدت ۲۳ ساله (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

داشت که بهبود کارایی مصرف آب در طی زمان بیشتر از این که تحت تأثیر مدیریت آب باشد تحت تأثیر افزایش عملکرد با استفاده از مدیریت زراعی یا به‌زراعی است.

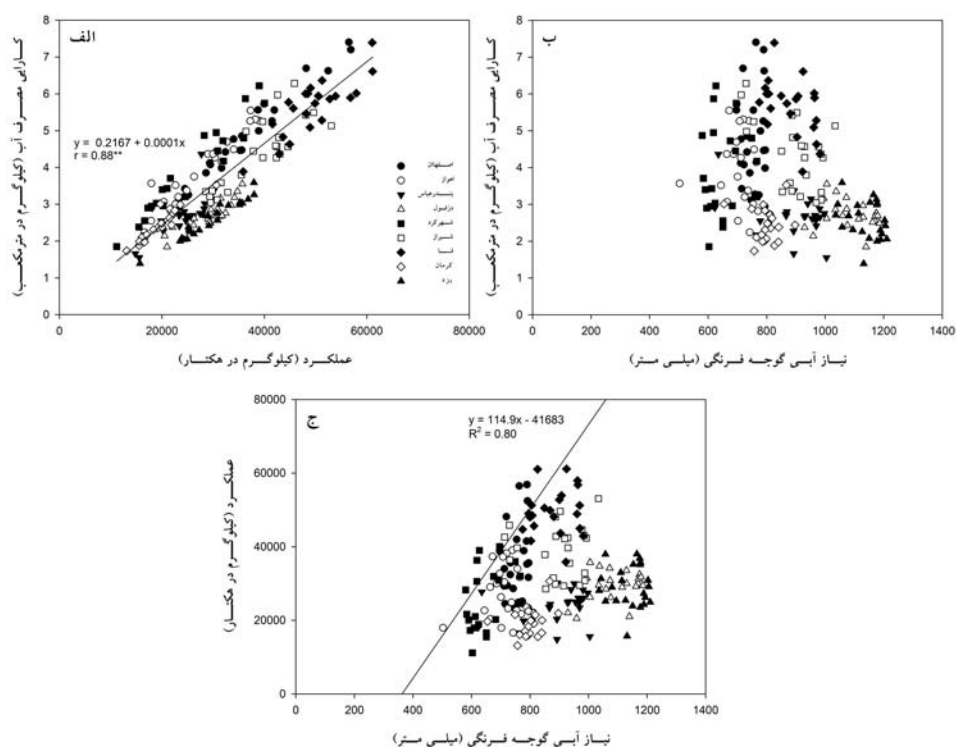
به‌منظور بررسی بهتر این موضوع، پراکنش عملکرد گوجه‌فرنگی در مقابل نیاز آبی عملکرد نیز رسم شد (شکل ۶ج) تا مشخص شود که لزوماً با افزایش میزان آب مصرفی تا حد بهینه، به بالاترین میزان عملکرد نیز دست یافته‌ایم یا نه. با توجه به شکل، الگوی عملکرد گوجه‌فرنگی تا حدودی مشابه کارایی مصرف آب است. بیشترین عملکرد گوجه‌فرنگی در نیاز آبی در حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر به‌دست آمده است نه نیاز آبی بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر. کمترین عملکرد در نیاز آبی متفاوت ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر به‌دست آمد. اهمیت موضوع در این است که پایین‌بودن عملکرد در نیاز آبی ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر کاملاً منطقی است ولی در شرایط نیاز آبی بیشتر از ۶۰۰ میلی‌متر، عملکردی مشابه به بازه قبل‌تر منطقی نیست. در نتیجه برای یافتن روندی منطقی یک مرزی رسم می‌شود (میلان و همکاران، ۲۰۰۶الف). این خط مرزی نشان می‌دهد که در شرایط بهینه، عملکرد گوجه‌فرنگی به حداکثر مقدار خود به ازای نیاز آبی مشخصی می‌رسد. حال اگر شرایط محیطی برای رشد گیاه مناسب نباشد حتی اگر محدودیت آب نداشته باشد، گیاه به حداکثر توان تولیدی خود نمی‌رسد. در نتیجه در نیاز آبی یکسان (در این شکل ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر)، نوسان بالایی از عملکرد مشاهده شده است که نشان‌دهنده خلاء عملکرد گوجه‌فرنگی است. اگر شرایط محیطی و کشت گوجه‌فرنگی در همه مناطق در حد بهینه خود باشد، می‌توان انتظار عملکرد بیشتری داشت. مقدار عرض از مبدا و شیب خط مرزی به ترتیب -۴۱۶۸۳ و $۱۴۴/۹$ برآورد شد. شیب این خط نشان‌دهنده عملکرد قابل دستیابی در واحد تعرق است (سادراس، ۲۰۱۵). خلاء عملکرد نتیجه محدودیت تولید عملکرد توسط یک یا تعداد بیشتری فاکتور (برای مثال آب و نیتروژن قابل‌دسترس) است. تأثیر این محدودیت بر سیستم بیولوژیک گاهی اوقات می‌تواند به‌وسیله خط مرزی که اولین بار توسط وب در سال ۱۹۷۲ پیشنهاد شد (وب، ۱۹۷۲)، برآورد شود (سادراس، ۲۰۱۵). سادراس و آنگس (۲۰۰۶) خط مرزی را برای عملکرد واقعی گندم و تبخیر و تعرق برآورد شده در چین، شمال آمریکا، استرالیا و مناطق مدیترانه‌ای اروپا رسم کردند. مقدار عرض از مبدا و شیب خط مرزی به ترتیب $۰/۰۲۵$ و $-۲/۴۵۸$ برآورد شد. منبع اصلی تغییرات عرض از مبدا، ویژگی‌های خاک، فصلی‌بودن و ساختار

کوچکی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در مطالعه‌ای اظهار داشتند که روند کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در قوچان، مشهد و تربت‌جام و تربت‌حیدریه به ترتیب با شیبی در حدود $۰/۲$ ، $۰/۱$ و $۰/۱$ در سال افزایش یافت، به‌طوری‌که کارایی مصرف آب در قوچان از $۱/۹۴$ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۶۳ به $۴/۸۳$ کیلوگرم در مترمکعب در سال ۱۳۸۸ و در مشهد از $۳/۲۹$ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۶۳ به $۴/۴۹$ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۸ افزایش یافت. کوچکی و همکاران (۲۰۱۶) دامنه تغییرات کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در خراسان رضوی را از ۱ تا ۵ کیلوگرم در مترمکعب برآورد کردند. خرمیان و همکاران (۱۳۹۴) نیز کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در صفی‌آباد دزفول را در شرایط عدم کمبود آب $۸/۷$ کیلوگرم در مترمکعب برآورد کردند، میزان کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شرایط استفاده از آبیاری جویچه‌ای کاهش معنی‌داری ($۴/۴$ کیلوگرم در مترمکعب) یافت. شاهرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای در استان فارس دریافته‌اند که اگرچه با افزایش آب آبیاری میزان عملکرد گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد. اما با افزایش میزان آب مصرفی از ۶۰ درصد به ۱۲۰ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب روند کاهشی معنی‌داری داشت.

بررسی ارتباطات کارایی مصرف، عملکرد و نیاز آبی گوجه‌فرنگی با هم بدون در نظر گرفتن منطقه مورد مطالعه، حاکی از آن است که به ازای افزایش ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی $۰/۱$ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت است (شکل ۶الف). همان‌طور که مشخص است بیشترین کارایی مصرف آب در عملکردهای بالا حاصل شده است و یک رابطه خطی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین این دو پارامتر مشاهده شده است. این مطلب دقیقاً با اصول ریاضی معادله کارایی مصرف آب (افزایش جواب کسر در نتیجه افزایش صورت کسر) هم‌خوانی دارد. اما این حالت برای افزایش کارایی مصرف آب با نیاز آبی گیاه هم‌خوانی ندارد (شکل ۶ب). به عبارتی هرچه نیاز آبی گیاه (مخرج کسر) کمتر باشد، کارایی مصرف آب بیشتر نیست. نمی‌توان به معادله خطی یا غیرخطی بین این دو پارامتر برازش داد. در نیاز آبی بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر، کمترین کارایی مصرف آب مشاهده شده است. اما در بازه آبی ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر، پراکندگی بالایی از کارایی مصرف آب به‌دست آمده است. در واقع در شهرهای و سال‌های متفاوت با نیاز آبی مشابه مثلاً ۸۰۰ میلی‌متر، کارایی مصرف آب از ۲ تا ۷ کیلوگرم در مترمکعب نوسان داشت. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار

برگ کمتر از ۱ یا ۲ شده است. که این دو عامل علاوه بر کاهش عملکرد به نوبه خود باعث افزایش تبخیر خاک نیز شده است. برای افزایش کارایی مصرف آب، تنها تمرکز بر کاهش میزان آب مصرفی گیاه با استفاده از مدیریت آب، سیستم‌های آبیاری و ... منجر به بهبود کارایی نمی‌شود. معادلات درون گیاهی بسیار پیچیده‌تر از یک معادله ساده ریاضی است. در این مورد توجه به کارایی مصرف عناصر غذایی، تاریخ کاشت، نشاء گوجه‌فرنگی و ... در کنار مدیریت آب مصرفی و سیستم‌های آبیاری برای افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد الزامی است. اویز و هاچوم (۲۰۰۹) و کوچکی و همکاران (۱۳۹۸) نیز اظهار داشتند که تفاوت عملکرد در یک مقدار نیاز آبی، نشان‌دهنده مدیریت‌های متفاوت در هر مزرعه می‌باشد. تاریخ کاشت، کوددهی، مقدار آبیاری (اویز و هاچوم؛ ۲۰۰۹) و رقم (کویاگو کروزف، ۲۰۱۹)، مهم‌ترین منابع تغییرات عملکرد می‌باشند.

بارش می‌باشد. برای مثال، عرض از مبدا برای محصولات زراعی با ذخیره یا نسبت بالای آب فصلی و یا با غالبیت بارش‌های بزرگ در طول فصل رشد کوچک‌تر است (سادراس و رودریگز، ۲۰۰۷ الف). سایر عوامل که بر تبخیر فصلی خاک تأثیر می‌گذارند، عمدتاً شامل خاک‌ورزی و مدیریت ریشه، فاصله ردیف و تراکم کشت، سرعت رشد در اوایل فصل بر رقم و مدیریت است (ریچارد، ۲۰۰۶). علاوه بر این سادراس و همکاران (۲۰۱۲) خطی مرزی با شیب ۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار میلی‌متر برای حد بالایی از بهره‌وری آب برای تولید دانه ارزن (*Panicum miliaceum*) به‌دست آورد. این خط برای شرایط پراسترس ساحل و محیط مطلوب در مصر و آمریکای شمالی اعمال شد. بیشترین عملکرد در ساحل، پایین‌تر از خط مرزی بود. عوامل محیطی، مدیریتی و گیاهی به بهره‌وری پایین آب ارزن در ساحل مرتبط است. در این منطقه باروری پایین خاک و تراکم کاشت پایین منجر به شاخص سطح



شکل ۶- ارتباط کارایی مصرف آب گوجه فرنگی با عملکرد (الف) و نیاز آبی (ب) و ارتباط عملکرد گوجه فرنگی با نیاز آبی آن (ج) در مناطق مورد مطالعه برای یک دوره بلند مدت ۲۳ ساله (سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲)

نتیجه‌گیری

هر ۱۰۰ کیلوگرم افزایش عملکرد، کارایی مصرف آب در حدود ۰/۱ کیلوگرم در مترمکعب افزایش یافت. اما رابطه معنی‌داری بین کارایی مصرف آب و دیگر مولفه تأثیرگذار در این معادله یعنی نیاز آب گیاه مشاهده نشد. بر اساس سایر مطالعات، کارایی مصرف آب با نیاز آبی گیاه برخلاف عملکرد، دارای رابطه‌ای با حد بحرانی است. با رسم خط مرزی بین عملکرد و نیاز آبی گیاه دریافتیم که عدم رابطه بین کارایی مصرف آب و نیاز آبی گیاه به دلیل عدم دستیابی به پتانسیل عملکرد (دامنه تغییرات بالای عملکرد) در نیاز آبی ثابت است. این خلاء عملکرد در میزان نیازهای آبی بالاتر به دلیل مدیریت پایین مزارع و شرایط محیطی منطقه است. باید یادآور شد که برای بهبود کارایی مصرف آب، تنها با در نظر گرفتن مدیریت آب و عدم توجه به بهبود سایر شرایط مطلوب رشد گیاه و سایر کارایی‌ها از جمله کارایی مصرف نیتروژن، کارایی مصرف نور و غیره نمی‌توان به این مهم دست یافت.

سیاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه هرمزگان و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۹۶/۶۹۷۶ مورخ ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ تأمین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

در این مطالعه روند تغییرات نیاز آبی گوجه‌فرنگی، عملکرد، سطح زیر کشت و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی در یک دوره بلند مدت ۲۳ ساله برای برخی مناطق جنوبی، جنوب غربی و مرکزی کشور با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پتیت بررسی شد. نیاز آبی گوجه‌فرنگی در دزفول و شیراز بر خلاف فسا دارای روندی کاهشی بودند. بیشترین و کمترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی نیز در شهرهای یزد و شهرکرد در حدود ۱۱۳۷ و ۶۴۲ میلی‌متر مشاهده شد. علاوه بر این، عملکرد گوجه‌فرنگی در اهواز، بندرعباس، شهرکرد و یزد روندی افزایشی معنی‌دار داشت. این در حالی است که سطح زیر کشت این شهرها بر خلاف عملکرد در واحد سطح روندی کاهشی معنی‌دار داشته است. به طور کلی، افزایش تولید گوجه‌فرنگی در این مناطق به دلیل افزایش عملکرد در واحد سطح صورت گرفته است نه افزایش سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی. این افزایش از طریق سیستم‌های نوین کشت گوجه‌فرنگی و همچنین استفاده کارآمدتر از مواد غذایی مورد نیاز گیاه و آب مصرفی صورت گرفته است.

بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب در فسا و کرمان (۵/۶ و ۲/۴ کیلوگرم در مترمکعب) به دست آمد. کارایی مصرف آب نیز در اهواز، بندرعباس، فسا، شهرکرد، شیراز و یزد روندی افزایشی و معنی‌دار داشته است. بدون در نظر گرفتن مناطق مورد مطالعه، رابطه خطی و معنی‌داری در سطح یک درصد بین عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهده شد. در این رابطه، به ازای

منابع

- بذرافشان، الف. ز. گرکانی نژاد مشیزی. ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی آب مجازی در محصول گوجه فرنگی در استان هرمزگان تحت تغییرات اقلیم. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۲، شماره ۱، ۲۹-۴۳.
- خرمیان، م. ۱۳۹۴. اثر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای تیپ بر عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی در شمال استان خوزستان. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۸، شماره ۲: ۱۶۱-۱۷۰.
- سبزی پرور، ع. ا. م. شادمانی. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۴: ۸۲۳-۸۳۴.
- شاهرخ‌نیا، م. ع. ل. جوکار، م. رخشنده رو. ۱۳۹۵. بررسی تنش آبی با استفاده از شاخص‌های دمای برگ و رطوبت خاک بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گوجه‌فرنگی نشایی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. جلد ۶، شماره ۲۶: ۹۷-۱۱۱.
- شیرغلامی، ه. ب. قهرمان. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۹، شماره ۱: ۹-۲۳.
- عبداللهی، ف. ل. جعفری، س. اسدی. ۱۳۹۸. مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی. بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۱۲. doi: 10.22067/jag.v12i4.77267
- کوچکی، ع. م. نصیری محلاتی، س. اسدی و ح. زارع. ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنه‌بندی کارایی مصرف آب در استان خراسان رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی. doi: 10.22067/jag.v1i1.61172

- Allen, R. G. 2003. Crop Coefficients. Stewart, B.A., and T.A Howell (eds.), Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker Publishers, New York. P. 87-90.
- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97): e156.
- Araya, A., L. Stroosnijder, G. Girmay and S. D. Keesstra. 2011. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.). *Agric Water Manag.* 98:775-783.
- Awadia, A. A. and A. M. Abdalla. 2019. Effect of Salinity and NPK Fertilizer on the Total Soluble Solids (TSS) and N, P and K in Tomato Plants (*lycoperisicone sculentum* L). *Parameters.* 3(2):38-42.
- Coyago-Cruz, E., A.J. Meléndez-Martínez, A. Moriana, I.F. Girón, M.J. Martín-Palomo, A. Galindo, D. López-Pérez, A. Torrecillas, E. Beltrán-Sinchiguano and M. Corell. 2019. Yield response to regulated deficit irrigation of greenhouse cherry tomatoes. *Agri. Water manage.* 213: 212–221.
- Fang Sang, Y., Z. Wang and C. H. Liu. 2014. Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time Series. *J Hydrol.* 510:293-298.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fereres, E., and M. A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J Exp Bot.* 58:147-159.
- Ghosh, P. K., M. C. Manna, K. K. Bandyopadhyay, A. K. Tripathi, R. H. Wanjari, K. M. Hati, A. K. Misra, C. L. Acharya and A. Subba Rao. 2006. Interspecific Interaction and Nutrient Use in Soybean/Sorghum Intercropping System. *Agron J.* 98:1097-1108.
- Hamed, K. 2007. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *J Hydrol.* 349:350-363.
- Huo, Z., X. Dai, S. Feng, S. Kang and G. Huang. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *J. Hydrol.* 492: 24–34.
- Igbadun, H. E., A. K. P. R. Tarimo, B. A. Salim and H. F. Mahoo. 2007. Evaluation of selected crop water production functions for an irrigated maize crop. *Agric Water Manag.* 94:1–10.
- Kendall, M. G. 1962. Rank Correlation Methods. Hafner Publishing Company: New York.
- Koocheki, A. M. Nassiri Mahallati, H. Zare and S. Asadi. 2016. Effect of Temperature on Crop Water Use Efficiency: Case Study in the Northeast of Iran. *Tropentag*, September, Vienna, Austria. 18-21.
- Li, Y.L., J.Y. Cui, T. H. Zhang and H. L. Zhao. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of North China. *Agric Water Manag.* 61:1-12.
- Liu, W. Z., D. J. Hunsaker, Y. S. Li, X. Q. Xie and G. W. Wall. 2002. Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. *Agric Water Manag.* 56:143-151.
- Livada, I., A. Synnefa, S. Haddad, R. Paolini, S. Garshasbi, G. Ulpiani, F. Fiorito, K. Vassilakopoulou, P. Osmond and M. Santamouris. 2019. Time series analysis of ambient air-temperature during the period 1970–2016 over Sydney, Australia. *Sci. Total Environ.* 648:1627–1638.
- Lopes, C. A., A. C. Ávila, A. Reis, A. Inouenagata, A. M. QuezadoDuval, G. P. Henz, J. M. Charchar, L. S. Boiteux, L. B. Giordano and P. C.T. Melo. 2005. *Doenças do tomateiro*. 2.ed, Brasília: Embrapa Hortaliças. 151p.
- Love, D., S. Uhlenbrook, S. Twomlow and P. V. D. Zaag. 2010. Changing hydroclimatic and discharge patterns in the northern Limpopo Basin, Zimbabwe. *Water SA.*, 36(3):335-350.
- Mann, H. B. 1945. Non parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245–259.
- Milne, A. E., R. B. Ferguson and R. M. Lark. 2006a. Estimating a boundary line model for a biological response by maximum likelihood. *Ann. Appl. Biol.* 149:223-234.
- Mu, X., L. Zhang, T. R. McVicar, B. Chille and P. Gau. 2007. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. *Hydrol Processes.* 21(16):2124-2134.
- Oweis, T. and A. Hachum. 2009. Supplemental irrigation for improved rainfed agriculture in WANA region. In: Wani, S.P., Rockstrom, J., Oweis, T. (eds.). *Rainfed agriculture: Unlocking the potential. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 7*, CABI, London, UK, pp.182-196.
- Pettitt, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *App. Stat.* 28(2):126–135.
- Richards, R. A. 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water scarce environments. *Agric Water Manag.* 80:197-211.
- Sadras, V. 2015. Yield gap analysis of field crops: Methods and case studies. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Sadras, V. O. and D. Rodriguez. 2007. The limit to wheat water use efficiency in eastern Australia. II. Influence of rainfall patterns. *Aust. J. Agric. Res.* 58:657-669.
- Sadras, V. O. and J. F. Angus. 2006. Benchmarking water use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Aust. J. Agric. Res.* 57:847-856.
- Sadras, V. O., P. Grassini and P. Steduto. 2012. Status of water use efficiency of main crops. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) Background Thematic Rep (F.A.O.). Thematic Report No. 7, 41 pp.
- Webb, R.A. 1972. Use of boundary line in the analysis of biological data. *J. Hort. Sci.* 47:309-319.
- WMO. 2012. Agrometeorology of some selected crops. In Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP) (2010 ed., pp. 1-128). Geneva: Chair Publications Board.
- Yang, J., L. Qin, X. Mei, C. Yan, J. U. Hui and J. Xu. 2013. Spatiotemporal Characteristics of Reference Evapotranspiration and Its Sensitivity Coefficients to Climate Factors in Huang-Huai-Hai Plain, China. *J. Integr. Agric.* 12(2):2280-2291.
- Yea, Q., X. Yang, S. Dai, G. Chen, Y. Lie and C. Zhang. 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agric. Water Manag.* 159:35-44.
- Zhang, W., Y. Yan, J. Zheng, L. Li, X. Dong and H. Cai. 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Glob. Planet. Change.* 69:35-47.
- Zhang, X., Y. Ren, Z. Y. Yin, Z. Lin and D. Zheng. 2009. Spatial and temporal variation patterns of reference evapotranspiration across the Qinghai-Tibetan Plateau during 1971-2004. *J. Geophys. Res. Atmos.* 114: D15105.

Long term trend analysis of changes in tomato (*Lycopersicon esculentum*) water use efficiency in the southern regions of Iran

L. Jafari¹, F. Abdollahi², S. Asadi³

Received: 2019-9-8 Accepted: 2020-1-5

Abstract

In order to improve water utilization management with using Mann-Kendall and Pettitt tests, the trends of changes in crop water requirement (CWR), yield, cultivation area and water use efficiency (WUE) of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in some southern regions of Iran evaluated in a 23-year long term (during 1990-2013) by measuring evapotranspiration (ET) and crop coefficient (Kc). According to results of this study, highest (1137 mm) and lowest (642 mm) CWR of tomato was observed in Yazd and Shahrekord cities respectively. Unlike Dezful and Shiraz, this characteristic has a significant increasing trend with a slope of 5.6 mm per year in Fasa. Furthermore, unlike Fasa, tomato yield in Ahvaz, Bandar Abbas, Shahrekord and Yazd has a significant increasing trend. The maximum (49.5 ton/ha) and minimum (19.4 ton/ha) tomato yield and also the maximum (5.6 Kg/m³) and minimum (2.4 Kg/m³) WUE was observed in Fasa and Kerman, respectively. However, the highest reduction (0.1 kg/m³) and highest increase (0.07 kg/m³) in WUE per year was obtained in Ahvaz and Fasa respectively. The results of this study showed that the WUE has a linear relationship with tomato yield. So that the water consumption per 100 kilograms of tomatoes yields per unit of area increased 0.1 kg/m³. While there was no logical relationship between WUE and CWR. By drawing the boundary-line, which represents potential yield against the CWR, high fluctuation of tomato yield in a steady interval of water requirement was estimated. Overall, the lack of a relationship between the WUE and CWR in the range of 600 to 1000 mm was due to yield gap caused by malpractice in the farms.

Key words: Boundary-line, mann-kendall test, pettitt test, water requirement, yield

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3- PhD at Agro-ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran