نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۵۴۳-۵۳۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 531-543

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی و آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر بهره‌وری نسبی اقتصادی آب

حسین جعفری[۱]*، فریبرز عباسی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳

چکیده

لازمه تصمیم‌گیری و مدیریت در کشاورزی داشتن آگاهی از شاخص‌های بهره‌وری آب است. مشخص بودن حساسیت شاخص بهره‌وری آب به اجزای آن، نزدیک‌ترین و سریع‌ترین راه ارتقا آن است. این موضوع که به عنوان آنالیز حساسیت شناخته می‌شود، در شاخص بهره‌وری آب باعث تمرکز و دقت بیشتر در اندازه‌گیری یا برآورد پارامترهای موثر و چشم‌پوشی از خطای پارامتر/پارامترهایی که تاثیر اندکی بر شاخص بهره‌وری آب دارند، می‌شود. در بین شاخص‌های مرسوم، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (KWP_e) بیشترین عوامل موثر بر تولید را در نظر گرفته و از دقت بیشتری برخوردار است. لذا، در گام اول آنالیز حساسیت شاخص KWP_e نسبت به اجزای آن و در گام دوم به‌منظور بررسی تفاوت حساسیت بین شاخص‌های بهره‌وری آب، آنالیز حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب (GWP_e) که از نظر اجزای تشکیل‌دهنده مشابه شاخص KWP_e است، برای سه گیاه چغندرقند، گندم و زیتون انجام شد. نتایج نشان داد شاخص KWP_e در هر سه محصول گندم، چغندرقند و زیتون بیشترین حساسیت را به پتانسیل عملکرد داشت به‌طوری‌که با ۳۰٪ خطای کم‌برآورد در پتانسیل عملکرد در این سه محصول به‌ترتیب ۵۵٪، ۶۹٪ و ۵۴٪ و با همین مقدار خطا در حجم آب آبیاری در هر سه محصول، ۴۳٪ تغییر در شاخص KWP_e ایجاد شد. همچنین نتایج حاکی از تفاوت در حساسیت شاخص KWP_e و GWP_e نسبت به اجزای مشابه به‌جز پتانسیل تولید بود بر خلاف شاخص KWP_e، حساسیت شاخص GWP_e نسبت به همه اجزای شاخص، وابسته به گیاه بود و حساسیت به عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری حتی کمتر از قیمت محصول بود.

واژه‌های کلیدی: چغندرقند، حجم آب آبیاری، زیتون، عملکرد پتانسیل و گندم

مقدمه

مدیریت در کشاورزی، ارزیابی و تصمیم به کاشت گیاهان زراعی و باغی مستلزم آگاهی از شاخص بهره‌وری آب در گیاهان است. شاخص بهره‌وری آب برای هر گیاه زراعی و باغی نشان‌دهنده جایگاه و حد مطلوبیت آن گیاه می‌باشد. لذا، برآورد شاخص بهره‌وری آب در گیاهان مختلف برای ارزیابی و مدیریت کشاورزی ضروری است. شاخص‌های مختلف بهره‌وری اجزای مختلفی دارند. برخی شاخص‌ها فقط عملکرد و حجم آب آبیاری برای محاسبه بهره‌وری در نظر می‌گیرند و برخی قیمت محصول و هزینه تمام شده را هم لحاظ می‌کنند. در بین روابط مختلف بهره‌وری، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (KWP_e) هم بیشترین عوامل موثر بر تولید محصولات کشاورزی از جمله آب، خاک، گیاه، اقلیم، اقتصاد و مدیریت را در بر می‌گیرد و هم از دقت بیشتری برخوردار است (جعفری و عباسی، ۱۴۰۲). از طرف دیگر مقدار اثرگذاری هر یک از اجزای شاخص بهره‌وری آب برای تعیین اولویت در دقت برآورد هر یک از اجزای یا چشم‌پوشی از خطای برخی از اجزای مدل ضروری است. از این موضوع به‌عنوان آنالیز حساسیت یاد می‌شود. در آنالیز حساسیت تغییرات پارامترهای ورودی مدل روی نتایج خروجی آن بررسی می‌شود و از این طریق مشخص می‌شود که کدام پارامتر ورودی بیشترین اثر را بر نتایج خروجی مدل (شاخص بهره‌وری آب) می‌گذارد (عباسی، ۱۳۹۶).

ژانگ و همکاران ویژگی‌های توزیع مکانی-زمانی و عوامل موثر بر بهره‌وری آب غلات اصلی در حوضه رودخانه زرد در چین را مورد بررسی قرار دادند. آنها برای آشکار کردن رابطه بین مصرف منابع آب کشاورزی و تولید غلات در حوضه رودخانه زرد، بهره‌وری آب آبیاری (WPI)، بهره وری آب محصول (WPC)، بهره وری کل آب ورودی (WPT) و یازده عامل تأثیرگذار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که

۱- استادیار و عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استاد و عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: jafari52_h@yahoo.com)

حداقل میانگین WPI، WPC و WPT در چینگ‌های به‌ترتیب ۰/۲۲، ۰/۳۵ و ۰/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب، حداکثر میانگین WPI در هنان ۲/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در شاندونگ حداکثر میانگین مقادیر WPC و WPT به‌ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب بودند. در حوضه رودخانه زرد عوامل تاثیرگذار اصلی و مقدار تاثیر آنها بر WPI عبارت بودند از سطوح آبیاری (۸/۹۸٪)، آب کشاورزی (۱۵/۵۵٪)، مدیریت تغذیه (۱۲/۰۶٪) و مصرف سموم شیمیایی (۹/۷۷). همچنین در این منطقه، مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار و میزان تاثیر آنها بر شاخص WPC، مدیریت تغذیه (۱۳/۲۵٪)، متوسط تبخیر سالانه (۱۲/۹۴٪)، سطح آبیاری (۱۰/۴۹٪) و نیروی انسانی (۱۰/۱۹٪) بود و در شاخص WPT، مساحت آبیاری موثر[1] یا اراضی که در آن گیاهان به اندازه کافی آب دریافت کردند[2] (۱۴/۲۶٪)، متوسط بارش سالیانه (۱۲/۳۰٪)، مدیریت تغذیه شیمیایی (۱۰/۴۹٪) و مالچ پلاستیکی (۹/۶۹٪) در WPT بودند (Zhang et al., 2023). نتایج آنالیز حساسیت بهره‌وری آب گندم نشان داد که حساسیت بهره‌وری آب گندم به پارامترهای اقلیمی نظیر رطوبت نسبی و سرعت باد در مقیاس مزرعه و منطقه ای، زیاد اما حساسیت به مدت زمان تابش آفتاب نسبتاً کمتر است. علاوه بر این، مشخص شد که حساسیت بهره وری آب محصول به راندمان آبیاری بیشتر از مدیریت تغذیه گیاهی می‌باشد (Cao et al., 2020). سینگ و همکاران در بررسی واکنش عملکرد و بهره وری آب سبزیجات به کم‌آبیاری، دریافتند که بافت خاک تنها در آبیاری‌های کم (کمتر از ۳۵ درصد آبیاری کامل) بر عملکرد تأثیر معنی‌داری ایجاد می‌کند. به‌طوری‌که در خاک‌های رس‌شنی و لوم به‌ترتیب بیشترین (۸۲/۱ درصد) و کمترین (۲۶/۹ درصد) کاهش عملکرد ثبت شد. در اقلیم معتدل در تمام سطوح کم‌آبیاری کمترین کاهش عملکرد (۲۱/۹٪) و بالاترین افزایش بهره‌وری (۲۱/۷۸٪) اتفاق افتاد. کاهش عملکرد کم تا متوسط در شرایط کمبود آب (< ۶۵٪ FI[3]) همراه با افزایش WP ممکن است قابل توجیه باشد (Singh et al., 2021). سینگ در آزمایش دیگر بهره‌وری آب را در مقیاس مزرعه تجزیه و تحلیل کرد. در این تحقیق بهره‌وری آب برای مقیاس‌های مختلف و به اشکال مختلف، یعنی عملکرد محصول در واحد حجم آب مورد استفاده به‌صورت تعرق T، تبخیر و تعرق ET، یا ET به علاوه نفوذ از آبیاری مزرعه و تلفات نشت از سیستم انتقال، محاسبه شد. نتایج نشان داد که اولا تنوع مکانی تاثیر قابل توجهی بر مقادیر WP برای محصولات مختلف و یک محصول مشابه در مناطق مختلف داشت. به عنوان مثال، WPET که بر حسب عملکرد دانه در واحد مقدار ET بیان شد، در سال زراعی ۰۲-۲۰۰۱ برای گندم از ۱/۲۲ تا ۱/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب در میان مزارع مختلف کشاورز که در ولسوالی سیرسا پایش شده بودند، متغیر بود. در مقیاس مزرعه، میانگین WPET (کیلوگرم بر مترمکعب) برای شرایط اقلیمی و رشد در شمال غربی هند برای گندم ۱/۳۹، برای برنج ۰/۹۴ و برای پنبه ۰/۲۳ بود. در این تحقیق عوامل اصلی مقادیر پایین بودن WP شامل نیاز خالص آب آبیاری (۲۰ تا ۴۰٪) و مقدار آب مصرفی (۳۴ تا ۴۳٪) معرفی شد (Singh, 2005). نظری و لیاقت (۱۳۹۷) در گزارشی برای اتاق بازرگانی، استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر اساس روش FAHP را ارزیابی کردند. در آن گزارش حساسیت بهره‌وری آب به قیمت‌گذاری آب با امتیاز ۰/۸۰۲ دارای بیشترین حساسیت و بعد از آن استراتژی‌های نصب کنتور و تحویل حجمی آب و ایجاد بازار آب به‌ترتیب با امتیاز-های ۰/۷۹ و ۰/۷۷ در رتبه‌های دوم و سوم دانستند. همچنین استراتژی مبارزه با آفات و بیماری گیاهی نیز با امتیاز ۰/۰۷۶ پایین-ترین حساسیت را در بین ۳۳ استراتژی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی اعلام کردند (نظری و لیاقت، ۱۳۹۷).

قدمی‌فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۷) در بررسی بهره‌وری آب آبیاری و تحلیل اقتصادی تولید محصول یونجه در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی دریافتند که کاهش ۳۱ درصدی در آب آبیاری باعث افزایش ۱۶ درصدی در بهره‌وری آب می‌شود (قدمی‌فیروزآبادی و سیدان، ۱۳۹۷) و در تحقیقی دیگر اقلیم و قیمت آب به عنوان مهم-ترین عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری آب معرفی شدند (امیدی و همکاران، ۱۳۹۲). در بررسی اثر مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب در مزرعه گوجه‌فرنگی، مدیریت آبیاری منجر به افزایش ۲۹/۵ درصدی بهره‌وری فیزیکی شد (اوجاقلو و همکاران ب، ۱۴۰۲). مشابه این پژوهش روی محصول یونجه، کاهش ۴۹/۵ درصدی در حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب را ۷۲ درصد افزایش داد (اوجاقلو و همکاران الف، ۱۴۰۲). ایزدی و داوری در ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در شرکت‌های تحت نظارت آستان قدس‌رضوی برای محصولات مختلف زراعی، پتانسیل تولید هر محصول را عامل اول در میزان بهره‌وری آب هر محصول معرفی کردند و پرداختن به سایر فعالیت‌های مدیریتی را در گام‌های بعدی اعلام نمودند (ایزدی و داوری، ۱۳۹۴). در مطالعه دیگر وانگ و همکاران نشان دادند که عملکرد پنبه با افزایش مقدار آبیاری افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش مقدار آبیاری، بهره‌وری آب کاهش می‌یابد (Wang et al., 2016). در مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره‌وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین، اقلیم عامل مهمی بر میزان شکاف بهره‌وری و بهره-وری نسبی فیزیکی آب معرفی و بیان شد که در بین نواحی اقلیمی مختلف، شکاف عملکرد و بهره‌وری آب متفاوت بوده و بهره‌وری آب در سال‌های مختلف، تغییراتی داشته است (جناب و نظری، ۱۳۹۷).

در آنالیز حساسیت، برآورد مقدار منفی مدل، نشان‌دهنده

1- Effective Irrigated Area (EIA)
2- Crops with a sufficient water supply
3- Full Irrigation

تاثیرپذیری معکوس مدل از پارامترهای تشکیل‌دهنده آن است. کریمی اورگانی و همکاران (۱۳۹۷) در تحلیل حساسیت بهره‌وری آب در گیاه جو با مدل اکوکراپ نتیجه گرفتند که مدل در برآورد بهره‌وری آب، نسبت به تبخیر و تعرق گیاه مرجع بیشترین حساسیت را دارد و مقدار ضریب حساسیت این پارامتر برای تیمارهای آبیاری کامل، ۸۰ و ۶۰ درصد آبیاری کامل به‌ترتیب برابر ۱/۱-، ۱/۲- و ۲/۳- به‌دست آمد که علامت منفی نشان می‌دهد، درصورتی که مقدار تبخیر و تعرق مرجع بیش از مقدار واقعی وارد مدل شود، عملکرد محصول کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی می‌شود و در این میان هر قدر درجه کم‌آبیاری بیشتر شود، حساسیت مدل بیشتر می‌شود (کریمی اورگانی و همکاران، ۱۳۹۸). در بررسی مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop، بهره‌وری آب تحت تاثیر مقدار آب آبیاری قرار گرفت و با ۱۵۰ میلی‌متر مقدار آب آبیاری، بهره‌وری آب تا ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت و با افزایش مقدار آب آبیاری تا ۶۰۰ میلی‌متر، عملکرد و زیست‌توده روند صعودی داشتند (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). در تحقیقی مشابه، حاجی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی حساسیت مدل آکوکراپ برای گیاه تربچه دریافتند که مدل آکواکراپ بیشترین حساسیت را به پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده برای شرایط آبیاری کامل دارد که در آن ضریب حساسیت ۰/۸۸ برآورد گردید. در شرایط کم‌آبیاری بیشترین حساسیت مدل به پارامتر تبخیر و تعرق مرجع گزارش شد و هر چه کم‌آبیاری شدیدتر باشد، ضریب حساسیت افزایش می‌یابد.

با عنایت به تحقیقات صورت گرفته، آنالیز حساسیت جامعی در مورد شاخص‌های بهره‌وری آب به ویژه شاخص جدید KWP_e انجام نشده است. از سوی دیگر در بین شاخص‌های مورد استفاده، شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب ضمن برآورد دقیق‌تر بهره‌وری آب، بیشتر عوامل موثر بر تولید محصولات را در محاسبات دخالت می‌دهد. لذا، آنالیز حساسیت این شاخص نسبت به پارامترهای آن در گیاهان چغندرقند، گندم و زیتون انجام شد. از طرفی این سوال مطرح است که آیا شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب نسبت به یک پارامتر مشخص مثل عملکرد واقعی یا حجم آب آبیاری حساسیت یکسان دارند یا هر شاخص نسبت به پارامترهای مختلف حساسیت متفاوتی دارند؟ برای پاسخ به این سوال آنالیز حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب (GWP_e) که پارامترهای مشابه شاخص KWP_e دارند، برای سه محصول مورد مطالعه انجام گردید و به این سوال پاسخ و تحلیل‌های لازم انجام شد.

مواد و روش

شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب و برآورد اجزای آن

ابتدا اجزای شاخص KWP_e شامل: income، Cost و price به‌ترتیب درآمد، هزینه و قیمت محصول بر حسب ریال، WCI[1] و NWI[2] به‌ترتیب حجم آب آبیاری و نیاز خالص آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار، $Y_{a\ or\ p}$ عملکرد در شرایط واقعی یا پتانسیل بر حسب کیلوگرم در هکتار برای گیاهان چغندرقند، گندم و زیتون به‌ترتیب در مناطق پیرانشهر، اهواز و طارم زنجان برآورد و محاسبه گردید (جدول ۱). سپس شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب برای این گیاهان بر اساس رابطه (۱) محاسبه و آنالیز حساسیت این شاخص نسبت به این پارامترها محاسبه شد. برای مقایسه حساسیت شاخص بهره‌وری آب نسبت به این پارامترها، اولا شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب که دارای اجزای مشابه شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب بود، انتخاب شد. ثانیا بر اساس مقادیر این پارامترها بر اساس رابطه (۲) شاخص GWP_e محاسبه و آنالیز حساسیت آن نیز انجام شد و حساسیت دو شاخص KWP_e و GWP_e نسبت به هر یک از اجزا مقایسه، ارزیابی و توصیه لازم بعمل آمد.

$$KWP_e = \frac{\frac{(Income - Cost)_a}{WCI}}{\frac{(Income - Cost)_p}{NWI}} \quad (۱)$$

$$WPG_e = WPE_p - WPE_a \quad (۲)$$

که در آن،

$$income_{a\ or\ p} = Y_{a\ or\ p} \times price \quad (۳)$$

و

$$WPE_P = \frac{(Income - Cost)_p}{NWI} \quad (۴)$$

و a و p به‌ترتیب نشان دهنده شرایط واقعی و پتانسیل می‌باشند.

عملکرد در شرایط استاندارد یعنی حداکثر عملکردی که در شرایط بدون محدودیت از مزرعه با ویژگی منحصر به فرد، قابل دستیابی است. برای این منظور برای دستیابی به عملکرد پتانسیل، از داده‌های سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) که پتانسیل تولید اراضی (LPP) برای گیاهان گندم، چغندرقند و زیتون برآورد شده بود، استفاده گردید. همچنین نیاز خالص آب آبیاری (NWI) گیاهان مورد مطالعه برای برآورد بهره‌وری در شرایط استاندارد که وابسته به اقلیم منطقه و خاک مزرعه است، از سامانه نیازآب محاسبه گردید (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۴۰۱). هزینه در شرایط استاندارد، هزینه‌کرد اضافه‌تر نسبت به شرایط واقعی برای رساندن شرایط مزرعه به حد استاندارد است که عمدتا مرتبط به کودهای میکرو و ماکرو است. مبنای

1 -Water Content Irrigation
2 -Net Water Irrigation

محاسبه هزینه در شرایط استاندارد، آزمون خاک و توصیه کودی موسسه تحقیقات خاک و آب بود (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۷). هزینه واقعی از طریق پرسشنامه از بهره‌بردار دریافت شد. محاسبه درآمد و سود خالص بر مبنای قیمت هر یک از محصولات، در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بود. برای برآورد مقادیر عملکرد و حجم آب آبیاری گیاهان گندم، چغندرقند و زیتون به‌ترتیب از داده‌های میدانی باغانی و همکاران (۱۳۹۷الف و ب) و عباسی و همکاران (۱۳۹۹) استفاده شد.

آنالیز حساسیت

همواره این سوال‌ها مطرح می‌شود که آیا هر یک از عوامل موثر بر این شاخص‌ها نظیر عملکرد پتانسیل و واقعی، درآمد، هزینه، قیمت، نیاز خالص و حجم آب آبیاری که متاثر از زنجیره به هم پیوسته آب، خاک، گیاه، اقلیم و مدیریت هستند، نقش متفاوتی در مقدار شاخص بهره‌وری آب ایجاد می‌کنند یا نقش آنها یکسان است؟ حساسیت شاخص بهره‌وری آب نسبت به هر یک از این عوامل خطی است یا غیرخطی؟ مقدار این حساسیت چقدر است؟ آیا خطای کم‌برآورد و بیش برآورد در هر یک از پارامترها اثر یکسانی بر شاخص بهره‌وری آب دارند؟ برای پاسخ به این سوال راهی جز آنالیز حساسیت نیست. آنالیز حساسیت، روش تاثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌دهد. گاهی از روش آنالیز حساسیت برای تخمین پارامترهای ورودی مدل‌های ریاضی نیز استفاده می‌شود. به طور کلی، آنالیز حساسیت به دو روش کیفی و کمی انجام می‌شود (عباسی، ۱۳۹۶). روش کمی آنالیز حساسیت قدری پیچیده‌تر از روش کیفی است و در آنالیزهای دقیق از آن استفاده می‌شود. در روش کمی، ضریب‌های حساسیت با استفاده از یک رابطه ریاضی تعیین می‌شوند. به این ترتیب که مدل با مقادیر واقعی و یک درصد تغییر در مقدار پارامترهای ورودی اجرا می‌شود، سپس ضریب‌های حساسیت برای هر یک از پارامترهای ورودی مدل تعیین می‌شوند (رابطه ۴).

$$S(s, w, c , m, \ ...) = \frac{|Y(b + \Delta b) - Y(b)|}{Y(b)} \qquad (۴)$$

در این رابطه؛ S(s , w , c, m) ضریب حساسیت یا تغییر در شاخص بهره‌وری آب بازای درصد مشخصی تغییر در پارامتر b، و s، w، c و m به‌ترتیب عوامل عملکرد، آب، قیمت و هزینه و ... می‌باشد.

به‌طور خلاصه، پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز و محاسبه شاخص KWP_e و GWP_e مبنا، آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب برای سه محصول گندم، چغندرقند و زیتون انجام شد. مقادیر پارامترها و شاخص KWP_e و GWP_e محاسبه شده بر اساس آنها (جدول ۱)، سطح مبنای (شاهد) آنالیز حساسیت هر دو شاخص یا بعبارتی مبنای قضاوت قرار گرفتند. به‌عبارت دیگر درصد تغییرات ایجاد شده در این پارامترها و شاخص KWP_e و GWP_e متناظر، برای هر یک از گیاهان، با مقدار پارامترها و شاخص‌های برآورد شده در جدول (۱) سنجیده شد. برای مثال، برای ارزیابی و مقایسه حساسیت شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب به یک پارامتر مشخص مثل عملکرد، ابتدا با اعمال تغییرات در عملکرد (مثلا ۳۰+٪) و ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، شاخص KWP_e متناظر محاسبه سپس با همین مقدار تغییر در عملکرد و ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها شاخص GWP_e متناظر هم محاسبه و تغییرات حاصل شده در دو شاخص KWP_e و GWP_e با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شدند. برای هر پارامتر تغییرات از ۳۰-٪ تا ۳۰+٪ (با فاصلهٔ ۵ درصد) اعمال و به طور مشابه آنالیز حساسیت شاخص KWP_e و مقایسه ضرایب حساسیت دو شاخص KWP_e و GWP_e صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج برآورد پارامترهای عملکرد، قیمت، هزینه تمام شده، حجم آب آبیاری (WCI) و بهره‌وری اقتصادی آب (WPE_a) در شرایط واقعی و عملکرد، نیاز خالص آب آبیاری (NWI)، هزینه، بهره‌وری اقتصادی آب (WPE_p) در شرایط پتانسیل و شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب (KWP_e) و شکاف بهره‌وری اقتصادی آب (GWP_e) برای گندم، چغندرقند و زیتون به‌ترتیب در اهواز، پیرانشهر و طارم زنجان در جدول (۱) ارائه گردیده است. در این جدول، مقادیر هر یک از پارامترها در واحد سطح (هکتار) می‌باشد. پارامترهای برآورد شده و دو شاخص محاسبه شده KWP_e و GWP_e مبنای آنالیز حساسیت بودند. یعنی درصد تغییرات اعمال شده در هر پارامتر و مقدار شاخص بهره‌وری متناظر با آن، با شاخص درج شده در این جدول مقایسه گردیدند.

نتایج آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب برای سه محصول چغندرقند، گندم و زیتون در تغییرات پارامترها، از ۳۰٪- تا ۳۰+٪ (با تغییرات ۵٪)، در شکل‌های (۱) تا (۳) ارائه شده است.

در یک نگاه کلی، روند حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی برای هر سه محصول یکسان بود و علاوه بر اینکه نشان از صحت و دقت این شاخص داشت، نشان داد که این شاخص به جز عملکرد که از ویژگی بارز گیاهان است، در سایر پارامترها وابسته به نوع محصول نبود. به عنوان مثال، در هر سه محصول شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب کمترین حساسیت را به قیمت محصول داشت.

جدول ۱- داده‌های پایه برای آنالیز حساسیت شاخص KWP_e و GWP_e درگندم، چغندرقند و زیتون

پارامتر / محصول	شرایط واقعی					شرایط استاندارد				
	عملکرد (kg)	قیمت (ریال)	هزینه ×۱۰۰۰ (ریال)	WCI (m^3)	WPE_a (Rial/m^3)	عملکرد (kg)	NWI (m^3)	هزینه ×۱۰۰۰ (ریال)	WPE_p (Rial/m^3)	KWP_e (بی‌بعد)	GWP_e (Rial/m^3)
گندم	۳۰۹۶	۱۵۵۰۰۰	۱۴۰۰۰۰	۴۵۸۰	۷۴۲۱۰	۷۰۲۸	۳۵۶۰	۱۷۰۰۰۰	۲۵۸۲۴۰	۰/۲۹	۱۸۴۰۳۰
چغندرقند	۵۶۰۱۷	۲۸۰۰۰	۵۶۵۰۰۰	۹۵۲۶	۱۰۵۳۴۰	۹۸۹۲۶	۷۴۳۸	۷۳۰۰۰۰	۲۷۴۲۵۰	۰/۳۸	۱۶۸۹۲۰
زیتون	۵۴۳۴	۷۰۰۰۰۰	۱۱۳۴۰۰۰	۱۷۶۰۴	۱۵۱۶۶۰	۱۱۶۰۰	۷۱۷۰	۱۳۰۰۰۰۰	۹۵۱۱۸۰	۰/۱۶	۸۰۳۸۲۰

این از ویژگی مثبت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب است. اگر شاخصی به قیمت محصول حساس باشد، بدان معنی است که مطابق نرخ تورم که معمولا هر ساله و با نرخ‌های متفاوت تغییر می‌کند، حساسیت شاخص بهره‌وری هم تغییر نماید. به عبارت دیگر، در این شرایط نتایج آنالیز حساسیت فقط برای یک سال زراعی معتبر است و باید هر ساله تکرار شود. همچنین نتایج نشان داد حساسیت شاخص KWP_e نسبت به خطای بیش برآورد و کم‌برآورد قیمت محصولات یکسان نبود و برآورد کمتر از مقدار واقعی (۳۰-٪)، تاثیر بیشتری بر بهره‌وری آب داشت و این رابطه به‌صورت خطی بود. با کمتر برآورد کردن قیمت محصول مقدار شاخص کاهش و با بیش‌برآورد کردن قیمت محصول، مقدار آن افزایش یافت. میانگین تغییرات شاخص KWP_e از ۳۰ درصد کم‌برآورد تا ۳۰ درصد بیش‌برآورد در هر سه محصول کمتر از ۳ درصد بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). بر خلاف نتیجه دریافت شده در این تحقیق، نظری و لیاقت (۱۳۹۷) در تحقیقات خود حساسیت بهره‌وری آب به قیمت‌گذاری آب با امتیاز ۰/۸۰۲ دارای بیشترین حساسیت همچنین استراتژی مبارزه با آفات و بیماری گیاهی نیز با امتیاز ۰/۰۷۶ پایین‌ترین حساسیت را در بین 33 استراتژی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی اعلام کردند.

هزینه تمام شده از کاشت تا برداشت در شرایط واقعی و استاندارد نسبت به قیمت محصول، تاثیر بیشتری روی شاخص KWP_e داشتند. این حساسیت در شرایط پتانسیل در هر سه گیاه کمتر از مقدار واقعی بود. نتایج نشان داد که حساسیت شاخص KWP_e نسبت به مقدار کم‌برآورد و بیش برآورد (مثلا ۱۰+٪ و ۱۰-٪) یکسان و مقدار حساسیت از مقدار خطا بسیار کمتر بود. به عنوان مثال ۳۰±٪ خطا در برآورد هزینه تمام شده در زیتون، ۸±٪ در مقدار شاخص بهره‌وری آب تغییر ایجاد کرد. در شرایط واقعی، در هر سه محصول رابطه ضریب حساسیت شاخص بهره‌وری آب و هزینه معکوس و خطی بود. ولی در شرایط پتانسیل مستقیم و غیرخطی بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

یافتهٔ قابل توجه دیگر در آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، مستقل بودن شاخص از گیاه نسبت به سود خالص کشاورز بود و در هر سه محصول حساسیت شاخص KWP_e یکسان بود. رابطه ضریب حساسیت شاخص KWP_e و سود خالص کشاورز در خطای بیش‌برآورد و کم‌برآورد خطی، مستقیم و یکسان[1] بود، یعنی هر میزان خطا به همان میزان تغییر در شاخص KWP_e ایجاد می‌نمود. مثلا ۳۰-٪ خطا ۳۰-٪ و ۳۰+٪ خطا ۳۰+٪ تغییر در شاخص KWP_e به وجود آورد. شرایط پتانسیل عکس این حالت بود (شکل ۱، ۲ و ۳). نیاز خالص آب آبیاری که اختلاف تبخیر و تعرق هر گیاه منهای بارش موثر است، پایه و مبنای برآورد حجم آب آبیاری است. نتایج نشان داد که حساسیت شاخص KWP_e نسبت به نیاز خالص آب آبیاری، مستقل از محصول و خطی بود و سایر ویژگی‌های ضریب حساسیت شاخص KWP_e نسبت به نیاز خالص آب آبیاری، مشابه سود خالص کشاورز بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). سینگ (۲۰۰۵) عوامل اصلیِ مقادیر کمِ بهره‌وری آب را نیاز خالص آب آبیاری (۲۰ تا ۴۰٪) و حجم آب آبیاری (۳۴ تا ۴۳٪) معرفی کرد.

حجم آب آبیاری یا آبی که با هدف آبیاری وارد مزرعه می‌شود از پارامترهایی است که به دلیل کمبود آب در کشور از اهمیت بیشتری برخوردار است. بر این اساس حساسیت شاخص بهره‌وری آب نسبت به حجم آب آبیاری بسیار مهم است. نتایج نشان داد حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب نسبت به حجم آب آبیاری مستقل از محصول و برای گیاهان مورد بررسی مقدار حساسیت مشابه بوده است. رابطه ضریب حساسیت شاخص KWP_e و خطای حجم آب آبیاری غیرخطی، معکوس و نابرابر[2] بود. به عبارتی، ضریب حساسیت شاخص KWP_e نسبت به خطای بیش‌برآورد وکم‌برآورد یکسان نبود. به عنوان مثال، ۳۰-٪ خطا ۴۳٪ و ۳۰+٪ خطا ۲۳٪- تغییر در شاخص KWP_e به وجود آورد. به عبارت دیگر حساسیت شاخص KWP_e به میانگین ۳۰ درصد خطای کم‌برآورد حجم آب آبیاری، حدود دو برابر بیشتر از ۳۰ درصد خطای بیش‌برآورد آن بود. شیب رابطه بین ضریب حساسیت شاخص KWP_e و خطای برآورد حجم آب آبیاری، در خطاهای بالاتر بیشتر بود و نشان داد که در برآورد حجم آب آبیاری مخصوصا کم برآورد کردن آن، نهایت دقت

۱- یعنی خطای منفی و مثبت به یک اندازه شاخص KWP_e را تحت تاثیر قرار می‌دهد

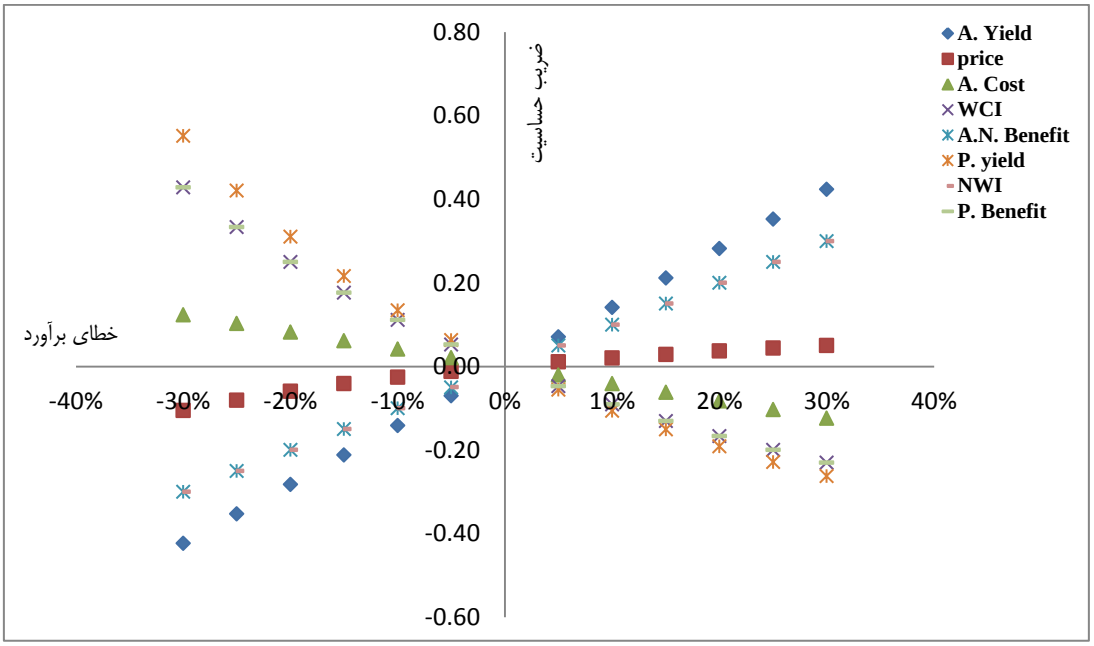
۲- یعنی تاثیر خطای منفی و مثبت در شاخص KWP_e متفاوت است

در اندازه‌گیری صورت گیرد چراکه هر چه خطا بیشتر اثرگذاری بر شاخص بهره‌وری آب بیشتر می‌شود. بنابراین، باید برآورد حجم آب آبیاری، نسبت به قیمت محصول و هزینه تمام شده (سود خالص) از دقت بیشتری برخوردار باشد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). حساسیت بالای شاخص KWP_e به حجم آب آبیاری بیانگر حساسیت آن به راندمان کاربرد آب آبیاری مخصوصا در سامانه‌های آبیاری ثقلی که نقش بیشتری از تبخیر و تعرق گیاهان در برآورد حجم آب آبیاری دارد، می‌باشد. کاهش برآورد راندمان آب آبیاری (مثلا ۳۰٪ به جای ۵۰٪ واقعی) باعث افزایش بیشتر حجم آب آبیاری از مقدار واقعی یا خطای بیش‌برآورد حجم آب آبیاری می‌شود. افزایش برآورد راندمان آب آبیاری (مثلا ۸۰٪ به جای ۵۰٪ واقعی) باعث کاهش بیشتر حجم آب آبیاری از مقدار واقعی یا خطای کم‌برآورد حجم آب آبیاری می‌شود. با عنایت به نتایج، چون خطای کم‌برآورد حجم آب آبیاری تغییر بیشتری در شاخص KWP_e ایجاد می‌کند، باید دقت شود که راندمان کاربرد آب آبیاری کمتر از مقدار واقعی برآورد نشود. بیشتر برآورد کردن راندمان کاربرد آب آبیاری از مقدار واقعی، حجم آب آبیاری را کاهش می‌دهد. کاهش حجم آب آبیاری از مقدار واقعی، مطابق نتایج تحقیقات کم‌آبیاری (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲) خود باعث افزایش راندمان کاربرد آب آبیاری می‌شود. لذا، در این شرایط رابطه کاهش عملکرد با کاهش حجم آب آبیاری یک به یک نیست اما کم برآورد کردن راندمان کاربرد آب آبیاری باعث افزایش حجم آب آبیاری نسبت به شرایط واقعی می‌شود. مطابق نتایج افزایش حجم آب آبیاری از مقدار واقعی ناشی از کاهش برآورد راندمان کاربرد آب، چندین برابر کاهش حجم آب آبیاری از مقدار واقعی ناشی از بیشتر برآورد شدن راندمان آبیاری، است. حجم آب اضافی برآورد شده از مقدار واقعی هیچ نقشی در تولید محصول نداشته بلکه به‌صورت هدررفت (رواناب یا نفوذ عمقی) از محدوده توسعه ریشه خارج می‌شود. بنابراین اثر بیشتری بر شاخص KWP_e می‌گذارد.

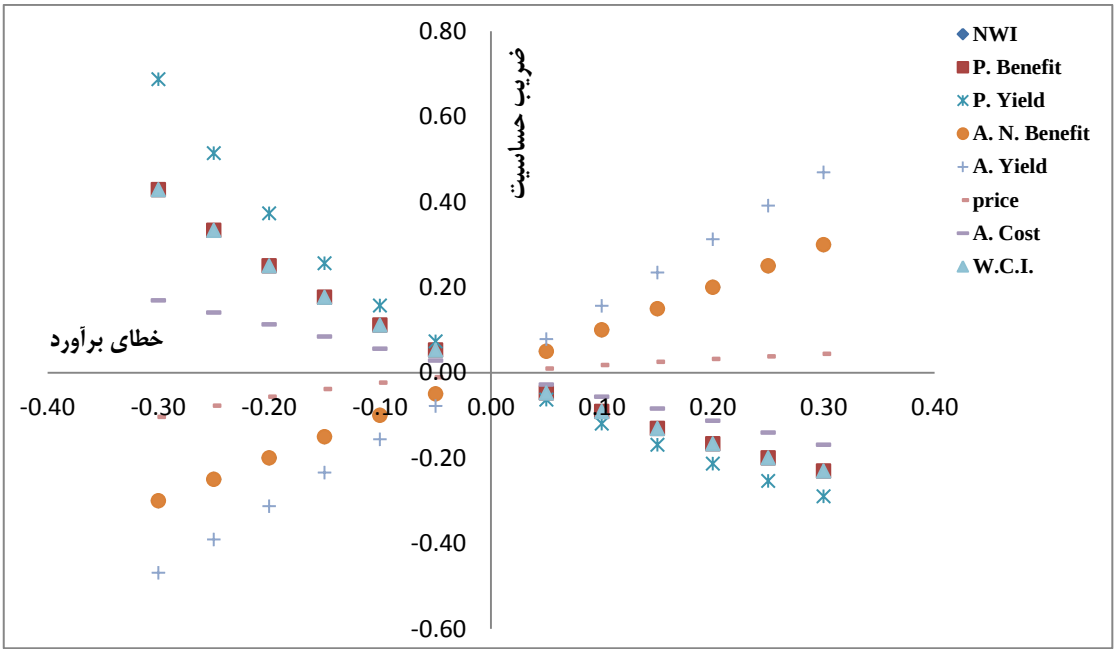
ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) بیشترین حساسیت را نسبت به آب آبیاری اعلام کردند. همچنین سائو و همکاران (۲۰۲۰) حساسیت بهره‌وری آب محصول به راندمان آبیاری را بیشتر از مدیریت تغذیه گیاهی اعلام نمودند. قدمی‌فیروزآبادی و سیدان (۱۳۹۷) دریافتند که کاهش ۳۱ درصدی در حجم آب آبیاری باعث افزایش ۱۶ درصدی در بهره‌وری آب می‌شود. همچنین اوجاقلو و همکاران (الف ۱۴۰۲) اعلام کردند کاهش ۴۹/۵ درصدی در حجم آب آبیاری، بهره‌وری آب را ۷۲ درصد افزایش می‌دهد.

در بین پارامترهای موثر بر شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، بیشترین حساسیت نسبت به خطای عملکرد واقعی و عملکرد در شرایط پتانسیل (استاندارد) وجود داشت. هر چند تاثیر خطای بیش-برآورد و کم‌برآورد عملکرد واقعی بر ضریب حساسیت شاخص KWP_e برابر بود. ولی این رابطه یک به یک (یک واحد خطا یک واحد تغییر در شاخص KWP_e) نبود. عملکرد واقعی از ویژگی هر گیاه زراعی و باغی است. بنابراین، بدیهی است که حساسیت شاخص KWP_e به عملکرد واقعی، در گیاهان مختلف متفاوت باشد. در زیتون خطای ۳۰ درصدی در برآورد عملکرد واقعی، ۳۸ درصد شاخص KWP_e را تحت تاثیر قرار داد و در گندم و چغندرقند ضریب حساسیت شاخص KWP_e به ۵۰ درصد نزدیک شد. حساسیت بیشتر شاخص بهره‌وری آب به عملکرد، باعث می‌شود که هر عاملی که در افزایش عملکرد موثر باشد باید در اولویت برنامه مدیریتی قرار گیرد. بر اساس حساسیت شاخص KWP_e، حتی میزان توجه به افزایش عملکرد مهمتر از کاهش حجم آب آبیاری است. از جمله این مدیریت‌ها می‌توان به مدیریت تغذیه، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف هرز، رعایت تاریخ کاشت و برداشت و غیره نام برد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) در آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری آب، بعد از حجم آب آبیاری بیشترین حساسیت را به تغذیه گیاهی نسبت دادند. ایزدی و داوری (۱۳۹۴) پتانسیل تولید هر محصول را عامل اول در میزان بهره‌وری آب هر محصول معرفی کردند و پرداختن به سایر فعالیت‌های مدیریتی را در گام‌های بعدی اعلام نمودند.

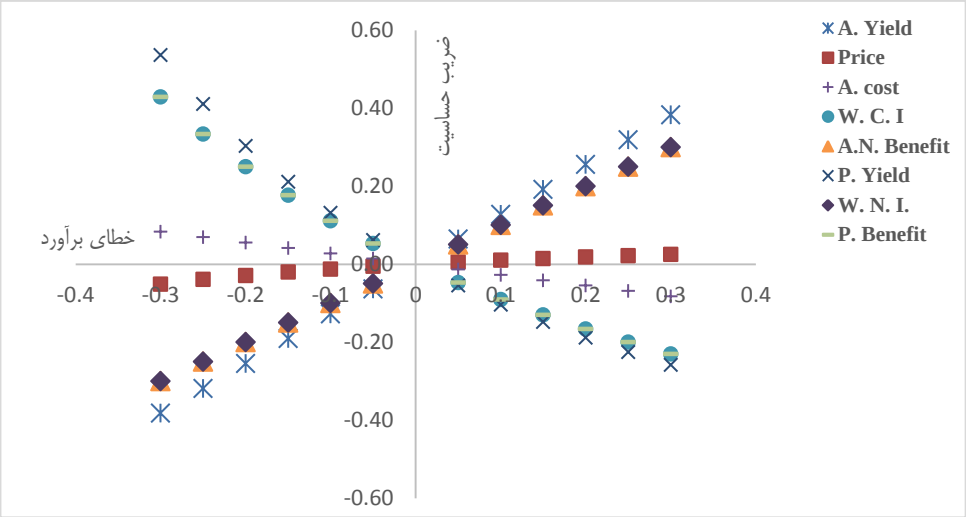
حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب نسبت به عملکرد پتانسیل بیشتر از عملکرد واقعی بود و هر چه مقدار خطای عملکرد پتانسیل افزایش یافت، ضریب حساسیت افزایش و میزان تغییر در شاخص KWP_e بیشتر شد. بنابراین، رابطه خطای عملکرد پتانسیل و شاخص بهره‌وری آب غیرخطی بود و شیب تغییرات در بهره‌وری آب در خطاهای بالاتر بیشتر بود. حساسیت شاخص KWP_e نسبت به خطای کم‌برآورد عملکرد پتانسیل، بیشتر از خطای بیش برآورد بود. خطای ۳۰-٪ در برآورد عملکرد پتانسیل در گیاه چغندرقند ۷۰ درصد تغییر در شاخص KWP_e ایجاد نمود و نشان داد که لحاظ نشدن عملکرد پتانسیل در برخی شاخص‌های بهره‌وری آب مثل شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، باعث عدم دقت آنها در برآورد بهره‌وری آب و قابل اتکا نبودن آن در ارزیابی گیاهان زراعی و باغی می‌باشد. از طرفی پتانسیل عملکرد، در واقع ورود نقش اقلیم و خاک مزرعه در شاخص KWP_e است. بنابراین، توجه به آن ضرورتی غیرقابل اجتناب است (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). امیدی و همکاران (۱۳۹۲) اقلیم را به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر بهره‌وری آب معرفی کردند.



شکل ۱- ضرایب حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب گندم نسبت به اجزای آن



شکل ۲- ضرایب حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب چغندرقند نسبت به اجزای آن

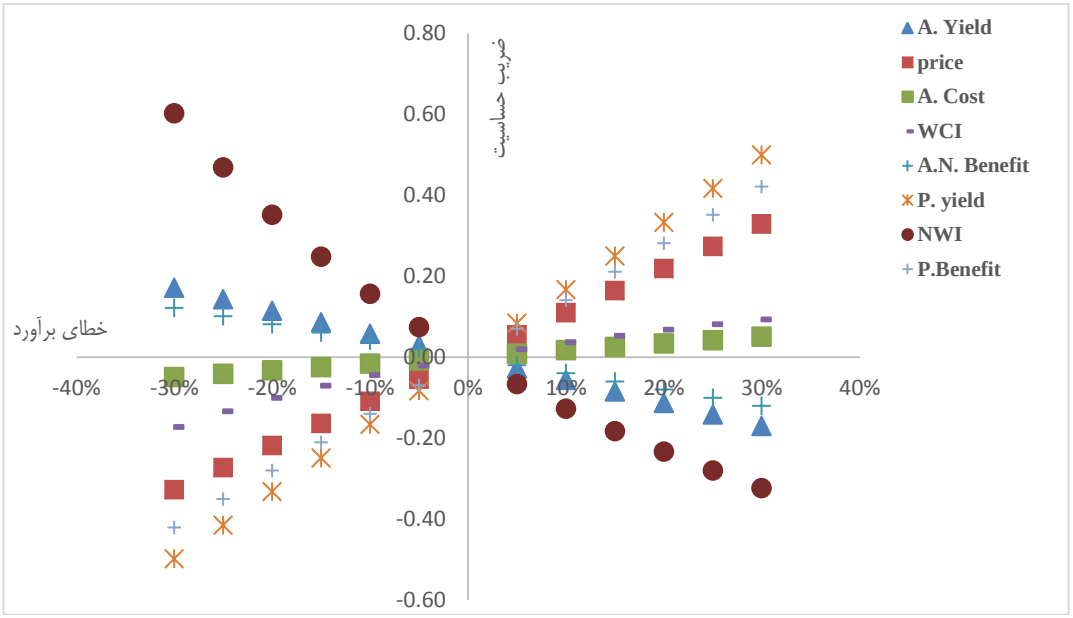


شکل ۳- ضرایب حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب زیتون نسبت به اجزای آن

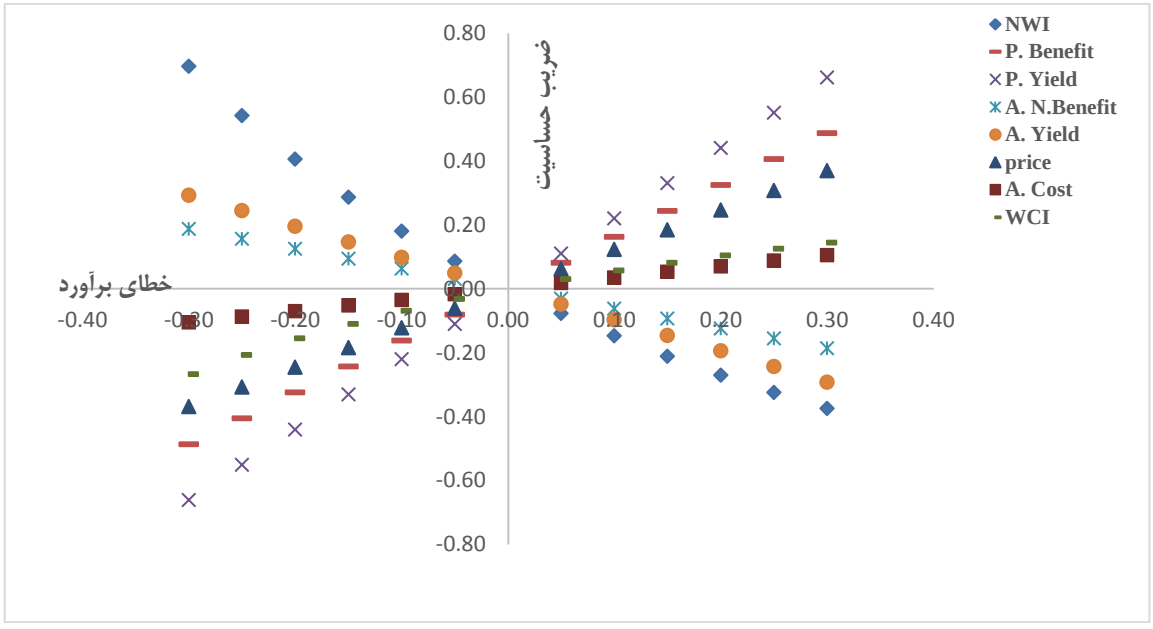
برای پاسخ به سوال چگونگی ضریب حساسیت شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب نسبت به پارامترهای مختلف موثر بر شاخص بهره‌وری آب (اجزای شاخص بهره‌وری آب)، مشابه آنالیز حساسیت در شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب، آنالیز حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری (GWP_e) آب که دارای اجزا مشابه بودند، انجام و حساسیت دو شاخص نسبت به اجزای مشابه مقایسه و ارزیابی شدند.

نتایج آنالیز حساسیت شاخص GWP_e برای گیاه گندم، چغندرقند و زیتون در شکل‌های (۴) تا (۶) ارائه شده است. نتایج نشان داد که از لحاظ روند حساسیت، هیچ شباهتی بین آنالیز حساسیت دو شاخص KWP_e و GWP_e وجود نداشت. در شاخص KWP_e بالاترین ضریب حساسیت متعلق به پتانسیل عملکرد و به صورت غیرخطی بود. اما در شاخص GWP_e بالاترین ضریب حساسیت در نیاز خالص آب آبیاری به‌دست آمد و مقدار اثرگذاری ۳۰-٪ خطای برآورد نیاز خالص آب آبیاری در گیاه چغندرقند، گندم و زیتون به‌ترتیب ۷۰+٪ ، ۶۰+٪ و ۲۵+٪ در شاخص GWP_e بود. حساسیت شاخص GWP_e بعد از نیاز خالص آب آبیاری به پتانسیل عملکرد بود. بنابراین، پتانسیل عملکرد در هر دو شاخص بهره‌وری از جایگاه و اهمیت بالایی برخوردار بودند. همچنین در مقایسه حساسیت دو شاخص KWP_e و GWP_e، بر خلاف شاخص KWP_e، حساسیت شاخص GWP_e به نیاز خالص آب آبیاری، مستقل از گیاه نبود و نسبت به هر گیاه حساسیت متفاوت بود. بنابراین، برای این پارامتر در هر گیاه باید آنالیز حساسیت جداگانه انجام شود و این از معایب این شاخص بهره‌وری می‌باشد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶).

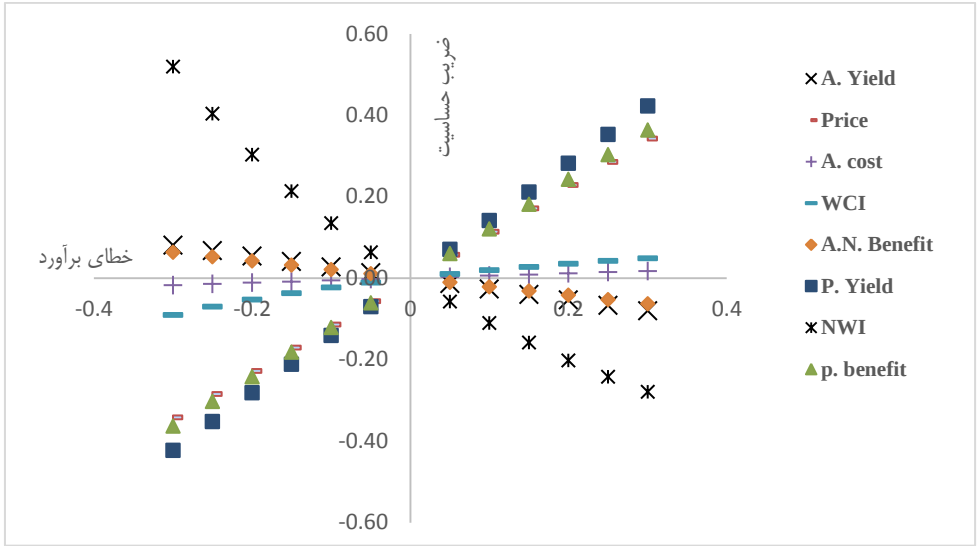
یافتهٔ مهم دیگر از مقایسه حساسیت دو شاخص بهره‌وری آب، این بود که بر خلاف شاخص KWP_e در شاخص GWP_e حساسیت به عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری حتی کمتر از قیمت محصول بود. این در حالی است که عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری دو رکن اصلی تولید محصول کشاورزی هستند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). بر خلاف اینکه عملکرد پتانسیل و واقعی و حجم آب آبیاری و نیاز خالص آب آبیاری هر دو از یک جنس و یک نقش در شاخص GWP_e دارند (رابطه ۲) ولی شاخص GWP_e به عملکرد پتانسیل و نیاز خالص آب آبیاری حساسیت زیاد و به عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری حساسیت کمتری داشت و نشان داد که شاخص GWP_e ارزیابی دقیقی از بهره‌وری آب ارائه نمی‌دهد. این در حالی است که شاخص KWP_e نسبت به عملکرد پتانسیل و واقعی و حجم آب آبیاری و نیاز خالص آب آبیاری حساسیت یکسانی داشت. از نتایج دیگر آنالیز حساسیت شاخص GWP_e حساسیت زیاد این شاخص نسبت به قیمت محصول بود. حساسیت زیاد به قیمت محصول باعث می‌شود که اولا برای یک گیاه مشخص، با تغییر قیمت و وقوع تورم در سال‌های متوالی حساسیت تغییر نماید. لذا، هر ساله باید بر اساس قیمت جدید آنالیز حساسیت صورت گیرد که این از معایب این شاخص است. اما در شاخص KWP_e حساسیت به قیمت محصول نزدیک به صفر بود. ثانیا نمی‌توان با شاخص GWP_e بهره‌وری آب در چند گیاه را مقایسه کرد. مگر اینکه دارای قیمت مساوی باشند. ثالثا حساسیت بالای شاخص GWP_e به قیمت هر محصول سبب می‌شود که شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف از مقدار واقعی فاصله داشته باشند. در صورتی‌که در شاخص KWP_e اگر در یک مدت کوتاه قیمت محصول ۵ برابر شود شاخص بهره‌وری تغییر پیدا نخواهد کرد (جعفری و عباسی، ۱۴۰۲). حساسیت شاخص GWP_e نسبت به پارامترهای هزینه در شرایط پتانسیل و واقعی و سود خالص بسیار اندک و نزدیک به صفر بود (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). با این وجود، نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش‌های نظری و لیاقت (۱۳۹۷) همخوانی داشت.



شکل ٤- ضرایب حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب گندم نسبت به اجزای آن



شکل ٥- ضرایب حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب چغندرقند نسبت به اجزای آن



شکل ٦- ضرایب حساسیت شاخص شکاف بهره‌وری اقتصادی آب زیتون نسبت به اجزای آن

نتیجه‌گیری

پس از آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب نسبت به اجزای آن و مقایسه با آنالیز حساسیت شاخص شکاف بهره-وری اقتصادی آب که دارای اجزای مشابهی بودند، نتایج کلی زیر حاصل شد.

- شاخص KWP_e نسبت به عملکرد پتانسیل و واقعی و نیاز خالص آب آبیاری و حجم آب آبیاری بیشترین و به قیمت محصول کمترین حساسیت را داشت. بنابراین، در استفاده از این شاخص دقت بیشتر در اندازه‌گیری یا برآورد این چهار پارامتر نسبت به پارامترهای دیگر توصیه می‌گردد.
- حساسیت شاخص KWP_e جز در عملکرد که از ویژگی ذاتی هر گیاه است، نسبت به سود خالص و حجم آب آبیاری و نیاز خالص آب آبیاری مستقل از گیاه بود و ضرایب به‌دست آمده در این پژوهش می‌تواند در تحقیقات آتی استفاده شود. اما شاخص GWP_e نسبت به همه اجزای شاخص وابسته به گیاه بودند. لذا قبل از استفاده از شاخص، برای گیاهان مختلف، ارزیابی و آنالیز حساسیت شاخص بهره‌وری آب ضروری است.
- حساسیت شاخص KWP_e نسبت به قیمت محصول و هزینه تمام شده، حداقل بود. لذا، افزایش بهره‌وری آب با استفاده از محصولات با ارزش اقتصادی بالا موجب افزایش بهره‌وری قابل توجه نمی‌شود، بلکه راه‌های افزایش بهره‌وری را در حجم آب آبیاری و عملکرد جستجو نمود.
- حساسیت شاخص KWP_e به خطای منفی یا برآورد کمتر از مقدار واقعی پارامتر، نسبت به خطای مثبت یا بیش‌برآورد کردن پارامتر بیشتر بود و گاها در برخی پارامترها در خطای بالا (۳۰-٪)، بیش از دو برابر بود. بنابراین توصیه می‌شود که پارامترها از مقدار واقعی کمتر برآورد نشوند.
- حساسیت زیاد شاخص GWP_e به قیمت محصول و حساسیت کم به عملکرد واقعی و حجم آب آبیاری نشان از ضعیف بودن و مطمئن نبودن این شاخص در ارزیابی بهره‌وری آب در گیاهان می‌باشد.

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته آ.، حسینی، س.ن. و کیخا، ف. ۱۴۰۱. سامانه نیازآب. موسسه تحقیقات خاک و آب. http://niwr.ir.

احمدی، م.، قنبرپوری، م. ع. و اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۷): ۷۵-۳۰.

امیدی، ف.، بابازاده، ح. و سرایی تبریزی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی بهره‌وری آب با رویکرد استفاده از روش‌های AHP، ANP، AHP و FANP. اولین همایش ملی بهینه سازی مصرف آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۵ صفحه.

اوجاقلو، ح.، اوجاقلو، ف.، جعفری، م. م.، میثاقی، ف.، نظری، ب. و کرمی دهکردی، م. ۱۴۰۲ الف. اثر مدیریت آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب محصول یونجه. نشریه آب و خاک. ۳۷(۲): ۱۸۵-۱۶۵.

اوجاقلو، ح.، جعفری، م. م.، اوجاقلو، ف.، میثاقی، ف.، نظری، ب. و کرمی دهکردی، م. ۱۴۰۲ب. اثر مدیریت آبیاری بر بهره‌وری آب

در مزرعه گوجه فرنگی. نشریه دانش آب و خاک. ۳۳(۴):۲۳۰-۲۱۷.

ایزدی، ع. و داوری، ک. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در شرکت‌های تحت نظارت آستان قدس‌رضوی. نشریه آب و توسعه پایدار. ۵ (۲): ۱۴-۹.

باغانی، ج.، احمدآلی، ج.، اسلامی، ا.، بهراملو، ر.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، اخوان، ک.، معیری، م.، کریمی، م.، دهقانیان، س.ا.، اسلامی، ع.ر.، عباسی، ف.، اکبری، م.، عباسی، ن.، خسروی، ح.، غفاری، ز.، حسین‌زاده، ص.، نعمتی، ش.، سپهری، س.، آقایی، م.ج. و نخجوانی‌مقدم، م.م. ۱۳۹۷الف. تعیین آب مصرفی چغندرقند در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۴۶۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

باغانی، ج.، معیری، م.، ورجاوند، پ.، سلامتی، ن.، اسلامی، ا.، شاهرخ‌نیا، م.ع.، کیانی، ع.ر.، قدمی فیروزآبادی، ع.، حقایقی‌مقدم، ا.، خسروی، ح.، اخوان، ک.، بهراملو، ر.، ناصری، ا.، عباسی، ف.، اکبری، م.، عباسی، ن.، موسوی‌فضل، س.ح.، طایفه‌رضایی، ح.، حسین‌زاده اجیرلو، ص.، غفاری، ز.، آقایی، م.ج.، دهقانیان، س.ا.، یوسف‌گمرکچی، ا.، مقبلی‌دامنه، ا.، اسلامی، ع.ر.، نخجوانی‌مقدم م.م. و نعمتی، ش. ۱۳۹۷ ب. تعیین آب مصرفی گندم در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۳۶۳۶، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

جعفری، ح. و عباسی، ف. ۱۴۰۲. معرفی و ارزیابی شاخص بهره‌وری نسبی اقتصادی آب. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۶ (۵۴): ۱۱۱۴-۱۰۹۵.

جناب، م. و نظری، ب. ۱۳۹۷. مطالعه شکاف عملکرد و شکاف بهره-وری آب گندم، جو و ذرت در استان قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹ (۶) :۱۴۱۷-۱۴۰۵.

حاجی‌زاده، م.، رحیمی خوب، ع.، علی‌نیافر، س. و وراوی‌پور، م. ۱۳۹۸. تعیین بهره‌وری آب نرمال شده و بررسی حساسیت مدل آکوکراپ برای گیاه تربچه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (5): ۱۵۳۷-۱۵۲۷.

سلطانی، ا.، نه بندانی، ع.ر.، زینلی، ا.، ترابی، ب.، زند، ا.، قاسمی، ث.، الستی، ا.، دادرسی، ا.، حسینی، ر. س.، عالیمقام، س. م.، زاهد، م.، فیاضی، ح.، کمری، ک.، عرب عامری، ر.، محمدزاده، ز.، رهبان، س.، پورشیرازی، ش.، محمدی، س. و کرامت، ص. ۱۳۹۸. تهیه اطلس خلأ عملکرد و توان تولید گیاهان زراعی مهم در کشور در شرایط اقلیمی فعلی و آینده. انتشارات واژگان سیرنگ. ۲۶۸ صفحه.

طباطبائی، س. ح.، نجفی، پ. و گلستانی س. ۱۳۹۲. آبیاری سطحی؛ طراحی به روش تجربی و نیمه‌تجربی. معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان). چاپ اول. ۳۱۴ صفحه.

عباسی، ف. ۱۴۰۰. فیزیک خاک پیشرفته. موسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم. ۳۵۲ صفحه.

عباسی، ن.، طاهری، م.، کیانی، ع.ر.، یوسف‌گمرکچی، ا.، دهقانیان، س.ا.، شاهین‌رخسار، پ.، موسوی‌فضل، س.ح.، ناصری، ا.، عباسی، ف.، باغانی، ج.، اکبری، م.، نخجوانی، م.م.، سپهری، س.، غفاری، ز.، یوسفی، ز.، غیاثی، ع.ا.، فریدونی، ح.، بهارلو، ا.، عباسی، م.، گلمحمدی، م.، مرادی، پ.، واحدی س.، و طبرسا، ر. ۱۳۹۹. تعیین آب مصرفی زیتون در کشور. گزارش پژوهشی نهایی شماره ۵۷۷۲۴، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

قدمی فیروزآبادی،ع. و سیدان، س. م. ۱۳۹۸. بررسی بهره‌وری آب آبیاری و تحلیل اقتصادی تولید محصول یونجه در سامانه‌های آبیاری بارانی و سطحی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۱): ۱۵۰-۱۳۶.

کریمی اورگانی، ح.، رحیمی خوب، ع. و نظریفر، م. ه. ۱۳۹۸. تحلیل حساسیت مدل آکواکراپ برای محصول جو در منطقه پاکدشت. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). ۲۳(۳): ۶۳-۵۲.

ملکوتی، م. ج. و غیبی، م. ن. ۱۳۷۷. تعیین حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور. آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزشی و ترویج کشاورزی. ۶۴ صفحه.

نظری، ب. و لیاقت، ع.م. ۱۳۹۷. گزارش نهایی اولویت‌بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی، اتاق بازرگانی و معادن ایران. ۱۷۶ صفحه.

Cao, Y.Q., Li, L.H., Lu, J., Zhang, R.N. and Ning, Y. 2020. Spatiotemporal Variation in Water Productivity of Corn and its Influencing Factors in Liaoning Province. South–North Water Transf. Water Sci. Technol. 18(6): 201–208.

Singh, R. 2005. Water productivity analysis from field to regional scale: integration of crop and soil modelling, remote sensing and geographical information Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. Pp.160.

Singh, M., Singh, P., Singh, S., Saini, R. K. and Angadi,S. V. 2021. A global meta-analysis of yield and water productivity responses of vegetables to deficit irrigation. Scientific report. 13P.

Zhang, Y., Wang F., Du Z., Dou M., Liang Z., Gao Y. and Li P. 2023. Spatio-Temporal Distribution Characteristics and Driving Factors of Main Grain Crop Water Productivity in the Yellow River Basin. *Plants*. 12(3): 21P. https://doi.org/10.3390/plants12030580.

https://doi.org/10.1038/s41598-021-01433.

Wang, J.; Li, J.S.; Guan, H.J. 2016. Modeling Response of Cotton Yield andWater Productivity to Irrigation Amount under Mulched Drip Irrigation in North Xinjiang. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 32(3): 62–68.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 531-543

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۵۴۳-۵۳۱

Evaluation and Sensitivity Analysis of the Effective Parameters on the Relative Economic Water Productivity Index

H. jafari*[1] and F. Abbasi[2]
Recived: Apr.23, 2024 Accepted: Aug.03, 2024

Abstract

It is necessary to be aware of water productivity indicators for decision-making and management in agriculture. A fast way to increase water productivity is to be known its sensitivity to its components. This issue, which is known as sensitivity analysis, can be in the water productivity index causes more focus and accuracy in measuring or estimating the effective parameters and ignoring the error of the parameter/parameters that have a small effect on the water productivity index. Among the conventional indicators, the Relative Water Economic Productivity Index (KWPe) considers many factors affecting on production and is more accurate. Therefore, in the first step, sensitivity analysis of the KWPe index to its components was made and in the second step to investigate the difference in sensitivity between the water productivity indicators, sensitivity analysis of the economic water productivity gap index (GWPe) whose components are similar to the KWPe index, was carried out for three crops: sugar beet, wheat and olive. The results showed that the KWPe index was the most sensitive to yield potential in studied crops. So that with a 30% underestimation error in the yield potential in wheat, sugarbeet and olive crops, 55%, 69% and 54%, respectively, and with the same amount of error in the applied irrigation water, 43% change in the KWPe index was occurred. Also, the results showed a difference in the sensitivity of KWPe and GWPe index to similar components, except production potential. Unlike the KWPe index, the sensitivity of the GWPe index to all index components was dependent on the plant, and the sensitivity to the actual yield and irrigation water volume was even lower than the product price..

Keywords: Applied irrigation water, Olive, Sugar beet, Yield potential and wheat

1 - Assistant professor and faculty member of Soil and Water Research Institute, Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, Iran
2 - Professor and faculty member of Technical and Engineering Research Institute. Agricultural Education and Extension Research Organization, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: Jafari52_h@yahoo.com)