نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۷۳۲-۱۷۲۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1721-1732

ارزیابی توابع تولید محصول به منظور برآورد عملکرد سیب‌زمینی در تیمارهای مختلف آبیاری

نیاز علی ابراهیمی پاک[1*]، آرش تافته[2]، صفورا اسدی کپورچال[3]، اصلان اگدرنژاد[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۲۳

چکیده

مصرف آب در مزرعه به صورت تبخیر-تعرق (ET) بیان می شود. چنانچه نیاز آبی گیاه تامین نشود میزان تبخیر - تعرق گیاه کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل بوده و تنش آبی رخ داده و عملکرد گیاه کاهش می یابد. به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه باید از منابع آب محدود بر مبنای نیازهای اجتناب ناپذیر گیاه استفاده بهینه شود. یکی از روش های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، افزایش کارآیی و مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی نظیر سیب‌زمینی از طریق توابع تولید و رابطه نسبی عملکرد و آب مصرفی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی توابع تولید حاصلضرب اصلاح شده ریس (۲۰۰۴) و حاصلضربی اصلاح شده تافته و همکاران (۲۰۱۳) در برآورد عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط کم‌آبیاری انجام شد. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار و به مدت دو سال زراعی و جمعاً ۳۰ تیمار در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد انجام شد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح شامل آبیاری کامل (E0)، ۸۵ درصد (E1)، ۷۰ درصد (E2)، ۵۵ درصد (E3) و ۳۰ درصد (E4) تبخیر–تعرق واقعی گیاه سیب‌زمینی از لایسیمتر زهکش‌دار، در مراحل مختلف رشد گیاه شامل مرحله استقرار بذر و رشد رویشی (T1)، مرحله رشد کامل (T2) و مرحله رسیدن غده‌ها (T3) بود. نتایج نشان داد که بیشترین نیاز آبی برابر با ۸۱۴ میلی‌متر و مربوط به تیمار T16 با حداکثر محصول ۴۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده و حداقل آب مصرفی برابر با ۵۱۲ میلی‌متر و مربوط به تیمار T15 با عملکرد ۲۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. پس از محاسبه عملکرد محصول با استفاده از روش‌های ریس (۲۰۰۴) و تافته و همکاران (۲۰۱۳)، عملکرد این دو تابع با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. در روش اول مقدار RMSE، NRMSE به ترتیب ۷۱۱۳، ۰/۱۹، و در روش دوم مقدار این آماره ها به ترتیب ۶۸۳۰، ۰/۱۸ بود. هر دو روش بر اساس شاخص MBE داری بیش برآوردی بوده و روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با ضرایب FAO کمترین مقدار MBE را دارا بود. لذا با استفاده از این روش مقادیر ضریب حساسیت واسنجی شده و در نهایت ضرایب واکنش عملکرد گیاه بر اساس تابع تافته و همکاران برای ۴ دوره گیاهی استاندارد FAO (اولیه، توسعه، میانی و پایانی) به‌ترتیب ۰/۲۹، ۱/۱۲، ۰/۹۵ و ۰/۴۶ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تابع تولید محصول، تبخیر و تعرق، ضریب واکنش عملکرد

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum. tuberosum* L) با سطح زیر کشت حدود ۱۴۶۵۰۰ هکتار، ۶/۰۲ درصد تولید محصولات زراعی را به خود اختصاص داده و بعد از گندم، جو، برنج و ذرت، از محصولات زراعی مهم در کشور محسوب می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۵). این محصول در ۱۴۵ کشور جهان کشت می‌شود و نقش مهمی در تغذیه مردم دارد (ابراهیمی پاک و پذیرا، ۱۳۸۷). از آنجا که ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان است کمبود آب در بیشتر مناطق کشور، کاهش سطح زیر کشت و عملکرد محصولات کشاورزی را به دنبال داشته و در این مناطق آب لازم برای تولید محصولات کشاورزی به طور کلی از طریق آب آبیاری تأمین می‌شود. از سوی دیگر یکی از مشکل‌های اصلی تولید سیب‌زمینی در ایران کمبود آب آبیاری بوده و بیانگر ضرورت استفاده بهینه از آب می‌باشد. بسته به اینکه کم‌آبیاری در چه دوره‌ای از رشد گیاه اتفاق بیافتد واکنش عملکرد گیاه با توجه به حساسیت آن دوره از رشد گیاه متفاوت بوده و بر کمیّت، کیفیت، توسعه ریشه و عملکرد آن تاثیر می‌گذارد. در گیاه سیب‌زمینی نیز کم‌آبیاری

۱- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۲- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
(*-نویسنده مسئول: (Email: nebrahimipak@yahoo.com

در مراحل مختلف رشد تأثیری متفاوت دارد. چنانچه در دوره استقرار و رشد رویشی، آبیاری به‌صورت کامل انجام شود و در دوره رشد کامل گیاه تنش آبی وارد شود، وزن مخصوص غده‌ها کاهش می‌یابد. مصرف آب در مزرعه به صورت تبخیر-تعرق (ET) بیان می‌شود. تبخیر-تعرق گیاه سیب‌زمینی بسته به محل، اقلیم، واریته، روش آبیاری، مدیریت و مرحله کشت آن متفاوت بوده و مقدار آن از ۲۵۰ میلی‌متر تا ۱۱۲۰ میلی‌متر متغیر است. چنانچه نیاز آبی گیاه تامین نشود میزان تبخیر-تعرق گیاه کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل شده و در نتیجه تنش آبی رخ داده و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین در صورت محدود بودن منابع آب، به‌منظور مصرف بهینه آب لازم است نوع خاک محل کشت، نوع گیاه و نیز مرحله رشد آن مد نظر قرار گیرد و برای اعمال آبیاری بهینه تخمین‌های قابل اعتمادی از میزان رطوبت خاک، تنش رطوبتی گیاه و تابع تولید به دست آورد. در چنین شرایطی به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد گیاه باید از منابع آب محدود بر مبنای نیازهای اجتناب ناپذیر گیاه استفاده بهینه شود (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳).

یکی از روش‌های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، افزایش کارآیی و مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی نظیر سیب‌زمینی از طریق توابع تولید و رابطه نسبی عملکرد و آب مصرفی است (مأمن پوش و همکاران، ۱۳۹۴). سیب‌زمینی به دلیل داشتن ریشه‌های نازک و توسعه کم ریشه در خاک‌های فشرده، نسبت به سایر گیاهان حساسیت بیشتری در برابر تنش آبی دارد. اگرچه کم‌آبیاری برای برخی گیاهان زراعی موفقیت آمیز است لیکن در مورد سیب‌زمینی به دلیل اینکه اعمال کم‌آبیاری سبب کاهش عملکرد و کوچک شدن غده‌ها شده و در نتیجه بر سود حاصل تاثیرگذار است موضوع متفاوت است (Wright and Stark, 1990; Shock and Filbert, 2002).

نتایج پژوهش رئیسی (۱۳۷۰) بیانگر آن بود که سیب‌زمینی در دوره ابتدای رشد حساسیت کمتری به آب داشته و در فاصله میان سبز شدن تا تمایز غده‌ها، آبیاری زیاد سبب توسعه ریشه‌های سطحی می‌شود. میزان تولید محصول و اندازه قطر غده‌ها نیز تحت تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری متفاوت بود. نتایج پژوهش شوک و همکاران در ارتباط با تأثیر کم آبیاری بر عملکرد سیب‌زمینی نشان داد که اندازه غده‌ها و عملکرد با اعمال کم آبیاری کاهش می‌یابد. این محققین بهترین رژیم آبیاری سیب‌زمینی از مرحله کاشت تا سبز شدن را آبیاری به صورت مداوم و سبک و از مرحله سبز شدن تا تشکیل غده را رژیم آبیاری با دور طولانی (به منظور جلوگیری از سطحی شدن ریشه‌ها) و برای مرحله بزرگ شدن غده‌ها رژیم آبیاری با دور آبیاری نصف مرحله قبل را توصیه کردند (Shock et al., 1998).

یکی از روش‌های استفاده بهینه از آب مصرفی تعیین تابع واکنش گیاه نسبت به آب مصرفی به صورت تابع "آب مصرفی- عملکرد محصول" یا تابع "عملکرد – تبخیر- تعرق" است (ابراهیمی پاک و تافته، ۱۳۹۶). با کاهش آبیاری عملکرد محصول به همان نسبت کاهش نیافته و در نتیجه رابطه بین آب آبیاری و عملکرد محصول غیر خطی است. کم‌آبیاری با اعمال میزانی از کم آبی به گیاه و پذیرفتن مقداری کاهش در محصول در حقیقت منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود. بدین منظور توابع تولید محصول و واسنجی آن در مناطق مختلف مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از برآورد ضریب واکنش عملکرد محصول توابع تولید محصول تعیین می‌شوند. ضریب واکنش عملکرد محصول، رابطه بین میزان تولید (عملکرد گیاه) و تنش آبی در مرحله خاص و یا کل دوره رویشی گیاه است. مراحل حساس رشد گیاه سیب‌زمینی به ترتیب شامل شروع تشکیل غده‌ها، دوره رشد رویشی و رسیدن محصول است (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳). بر پایه نتایج پژوهش اسکندری و همکاران (۱۳۹۰) کاهش حجم آبیاری در سیب‌زمینی سبب افت عملکرد غده در زمان آغازش غده و غده‌بندی گردید. دلیل این امر سیستم ریشه‌ای سطحی و محدود سیب‌زمینی و نیز حساس بودن این گیاه به کمبود رطوبت خاک می‌باشد. در پژوهش دیگری نیز کمبود رطوبت خاک طی اواسط و اواخر غده‌بندی سیب‌زمینی سبب کاهش عملکرد کل غده شد (King et al., 2003).

تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر- تعرق نسبی گیاه است که محققان پس از جمع بندی روابط ارایه شده و تجزیه و تحلیل آنها، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارایه کردند (ابراهیمی پاک و تافته، ۱۳۹۶). دورنبوس و کاسام رابطه بین کاهش نسبی محصول و کمبود تبخیر ـ تعرق نسبی را به صورت زیر ارائه کردند (Doorenbos and Kassam 1979):

$$1-\frac{y_a}{y_m}=k_y(1-\frac{ET_a}{ET_m}) \qquad (۱)$$

که در آن، y_a و y_m به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد و ET_a و ET_m نیز به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی و حداکثر تبخیر-تعرق بر حسب میلی‌متر و k_y ضریب واکنش عملکرد محصول است.

در سال ۱۹۹۴، آلن روش حداقل کاهش محصول را برای مراحل رشد گیاه به شرح زیر ارائه کرد (Allen, 1994):

$$\frac{Y_a}{Y_p}=Min\left\{\frac{Y_{a1}}{Y_{p1}},\frac{Y_{a2}}{Y_{p2}},\dots\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}\right\} \qquad (۲)$$

که در آن، Y_a و Y_p به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد و $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$ میزان نسبی عملکرد در هر مرحله از رشد که بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در این رابطه، حداقل عملکرد محصول به عنوان تولید نهایی در نظر گرفته می‌شود.

تافته و همکاران به منظور اصلاح روش حداقل تولید ماهانه (۳۰ روزه)، کاهش محصولات را به‌جای حداقل گرفتن میانگین در نظر گرفتند که معادله آن به شرح زیر است (Tafteh et al., 2013):

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{Y_{a1}}{Y_{p1}},\frac{Y_{a2}}{Y_{p2}},\dots\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}\right\} \quad (۳)$$

که در آن، Y_a و Y_p به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد و $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$ عملکرد نسبی محصول بوده و بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

جنسن برای تنش در مراحل مختلف رشد، روش حاصل‌ضربی تابع محصول را به صورت زیر ادائه کرد (Jensen, 1968):

$$\frac{y}{y_m}=\prod_{i=1}^{n}(1-k_{yi}(1-\frac{ET_a}{ET_m})_i) \quad (۴)$$

که در آن، y و y_m به ترتیب عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد، ET_a و ET_m نیز به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی و حداکثر تبخیر-تعرق بر حسب میلی‌متر و k_{yi} ضریب واکنش عملکرد، i مرحله رشد و توسعه و n تعداد مرحله‌های رشد می‌باشد.

ریس (۲۰۰۴) مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح (BUDGET) را برای اصلاح و افزایش دقت معادله ۴ به کار برد که در آن هر کدام از مراحل مختلف رشد به چند بازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند و فرم آن به صورت زیر است (Raes, 2004):

$$1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a,i}}{ET_{m,i}}\right)=\prod_{j=1}^{n}(1-k_{yi}(1-\frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}))^{\Delta t_j/Li} \quad (۵)$$

که در آن، k_{yi} ضریب واکنش عملکرد، m تعداد بازه‌های زمانی به مدت Δt_j (روز) در مرحله رشد i، n تعداد مراحل دوره رشد، L_i طول کل هر مرحله رشد که می‌تواند از یک روز تا کل دوره رشد در نظر گرفته شود (روز) و $ET_{a,j}$ و $ET_{m,j}$ نیز به ترتیب تبخیر- تعرق واقعی و حداکثر تبخیر-تعرق در بازه زمانی j هستند.

ابراهیمی پاک و تافته (۱۳۹۶) بر اساس رابطه ۵ مقادیر ضریب گیاهی را برای گیاه چغندر فند در قزوین را تعیین و تابع تولید آب مصرفی چغندرقند را ارائه نمودند و نشان دادند که این روش با ۱۶ درصد خطا نسبت به سایر روش های موجود عملکرد مناسب تری داشته است. در این راستا تافته و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی توابع تولید آب مصرفی مختلف گیاه گوجه فرنگی نشان دادند که رابطه ۵ با ۵ درصد خطا و با دقت بسیار مناسبی عملکرد گیاه گوجه فرنگی را تعیین می نماید. همچنین نادریان فر(۱۳۹۵) با بررسی تابع تولید گیاه ریحان ضرایب گیاهی را با استفاده از این روش در بازه ماهانه تعیین نمودند و نشان دادند که با استفاده از توابع تولید می توان مدیریت آبیاری با بیشترین کاریی مصرف آب را ارائه نمود. ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی توابع تولید در تعیین عملکرد گیاه یونجه نشان دادند که رابطه ۵ با ۷ درصد خطا تخمین مناسبی از عمبکرد گیاهان در شرایط تنش را دارد. همچنین تافته و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی بازه های زمانی مختلف در توابع تولییدد نشان دادند که بهترین بازه زمانی بررسی دور ای در کل دوره رشد بوده و دقت توابع تولید با درنظر گرفتن کل دوره رشد نسبت به دور های کوتاه مدت از دقت بیشتری برخوردار است. همچنین این توابع در دوره رشد گیاه کلزا با ۲۱ درصد خطا مقدار محصول کلزا را می توانند بر آورد نمایند.

با توجه به اینکه تنش آبی بر تعداد غده و عملکرد محصول سیب‌زمینی در ارقام مختلف آن تأثیرگذار بوده و سبب کاهش عملکرد محصول می‌شود و نیز تبخیر-تعرق گیاه سیب‌زمینی بسته به محل، اقلیم، واریته، روش آبیاری، مدیریت و مرحله کشت آن متفاوت بوده، هدف از انجام این پژوهش بررسی دو تابع تولید ریس (۲۰۰۴) و تافته و همکاران (۲۰۱۳) به منظور تخمین عملکرد محصول سیب‌زمینی و تعیین مناسب‌ترین تابع در شرایط کم‌آبیاری‌های مختلف برای کشت گیاه سیب‌زمینی در شهرستان شهرکرد بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از اطلاعات دو ساله کشت سیب‌زمینی رقم آکریا در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد به عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا استفاده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد استفاده در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری، جرم ویژه ظاهری خاک با استفاده از رینگ‌های فلزی به قطر شش و ارتفاع چهار سانتی‌متر، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی خاک به ترتیب توسط دستگاه pH متر و EC سنج و رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم خاک هم به ترتیب در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی سیب‌زمینی پیش از اجرای آزمایش

پارامتر	عمق نمونه‌برداری (cm)			
	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۰۰
رطوبت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	۲۱/۴	۱۹/۲	۱۶/۸	۱۰/۹
رطوبت نقطه پژمردگی (درصد وزنی)	۱۲/۶	۱۱/۶	۸/۳	۴/۵
جرم ویژه ظاهری (gr/cm^3)	۱/۳۴	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۷
بافت خاک	سیلتی رسی	سیلتی لومی	لومی شنی	شنی سیلتی

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی سیب‌زمینی پیش از اجرای آزمایش

نمونه	عمق نمونه‌برداری (m)	درصد اشباع	قابلیت هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته	درصد مواد خنثی شونده	کربن آلی (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
۱	۰-۲۵	۴۰	۰/۳۶	۸/۴۵	۳۸/۴	۰/۶۵	۰/۱۰	۹/۱۵	۲۵۴
۲	۲۵-۵۰	۴۹	۰/۳۱	۸/۳۵	۳۶	۰/۵۲	۰/۷۰	۸/۷	۲۲۵

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار و به مدت دو سال زراعی و جمعاً ۳۰ تیمار در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد انجام شد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح شامل آبیاری کامل (E0)، ۸۵ درصد (E1)، ۷۰ درصد (E2)، ۵۵ درصد (E3) و ۳۰ درصد (E4) تبخیر-تعرق واقعی گیاه سیب‌زمینی از لایسیمتر زهکش‌دار، در مراحل مختلف رشد گیاه شامل مرحله استقرار بذر و رشد رویشی (T1)، مرحله رشد کامل (T2) و مرحله رسیدن غده‌ها (T3) بود. نظر به تغییرات آب مصرفی و عملکرد محصول در کرت‌های آزمایشی و معنی‌دار بودن اثر تیمارها و سال، از نتایج هر کرت به عنوان مشاهده در مدل‌سازی استفاده شد و بنابراین به منظور شبیه‌سازی واقعی عملکرد و مقایسه ضریب واکنش عملکرد محصول بر اساس توان ماهانه، کرت‌ها از T1 تا T30 نام‌گذاری شدند. با توجه به اینکه در توابع تولید لازم است یک حد نهایی به عنوان تبخیر-تعرق پتانسیل سیب‌زمینی و بیشترین عملکرد لحاظ شود لذا تیمار T16 به عنوان شاهد از سایر تیمارها جدا و در محاسبات توابع تولید به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. بدین صورت تیمارهای T نسبت به تیمار شاهد دارای تنش آبی بوده که این تنش‌ها با هم فرق داشته و در جدول آنالیز عملکرد این تفاوت‌ها قابل ملاحظه است.

نظر به اینکه مزرعه مورد استفاده در این پژوهش در تناوب با زراعت گندم بود عملیات تهیه زمین با شخم آغاز و با دیسک و ماله و ایجاد کرت‌هایی به اندازه‌های ۳ در ۵ متر پایان یافت. برای اطمینان از عدم نشت افقی آب، فاصله بین دو کرت مجاور ۲/۵ متر در نظر گرفته شد و برای جلوگیری از تلفات سطحی آب انتهای کرت نیز بسته شد. در هر کرت آزمایشی شش خط کشت به طول پنج متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر انتخاب شد و بذر رقم آکریا کشت شد. در زمان کاشت بر اساس آزمون خاک، کود مورد نیاز شامل فسفر و پتاسیم و ۲۵ درصد از کل کود اوره به‌صورت پایه اضافه شد و در سه مرحلهٔ بعدی کود اوره سرک داده شد.

به منظور اندازه‌گیری دقیق تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه از یک لایسیمتر زهکش‌دار در شرایط مشابه مزرعه از نظر بافت، ساختمان خاک و کشت گیاه استفاده شد. با اندازه‌گیری دقیق مقدار رطوبت خاک درون لایسیمتر توسط نوترون متر و مقدار تبخیر-تعرق بالقوه گیاه، مقادیر آب آبیاری هر کرت محاسبه و با استفاده از لوله تا ابتدای کرت منتقل و سپس آب از طریق کنتور حجمی با دقت بالا اندازه‌گیری و در اختیار هر کرت قرار داده شد. مقدار تبخیر-تعرق بالقوه گیاه نیز با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار از رابطه ۶ محاسبه و با توجه به تیمارهای کم‌آبیاری اعمال شد.

$$ET_c = I + R - D - (Sw_2 - Sw_1) \qquad (۶)$$

که در آن، ET_c تبخیر-تعرق بالقوه گیاه با استفاده از لایسیمتر (mm)، I میزان آب آبیاری مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی (mm)، R مقدار بارندگی (mm)، D عمق آب زهکش شده (mm)، Sw_2 و Sw_1 به ترتیب رطوبت لایهٔ خاک در ابتدا و انتهای دورهٔ اندازه‌گیری (mm) که از طریق نوترون‌متر تعیین شد.

به منظور ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری بر محصول سیب‌زمینی رقم آکریا در هر یک از مراحل رشد برای ۴ دوره گیاهی استاندارد FAO (اولیه، توسعه، میانی و پایانی)، کم‌آبیاری صرفا در همان مرحله اعمال و در سایر مراحل آبیاری به طور کامل انجام شد. بدین صورت که در تیمار T_1 فقط در مرحله استقرار بذر و رشد رویشی (تقریبا ۵۰ روز اول دوره رشد) کم‌آبیاری اعمال و بقیه مراحل رشد گیاه آبیاری کامل انجام شد و به همین صورت برای تیمارهای T2 و T3 نیز به ترتیب در دوره رشد کامل (۵۰ روز دوم دوره رشد) و مرحله رسیدن غده‌ها (۴۵ روز آخر دوره رشد) کم‌آبیاری اعمال و بقیه مراحل رشد گیاه آبیاری کامل انجام شد (ابراهیمی پاک، ۱۳۹۳).

متوسط بارندگی سه ساله در طول دوره آزمایش ایستگاه تحقیقاتی مذکور ۳۹۶/۸ میلی‌متر بوده که به صورت مستقیم در رابطه ۶ منظور شده است. کمینه، بیشینه و متوسط درجه حرارت در دوره آزمایش به ترتیب ۳/۵، ۳۰ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد بود. در هنگام برداشت از دو ردیف میانی با حذف حاشیه از کرت‌های آزمایشی در سطحی حدود ۴/۵ متر مربع عمل برداشت انجام شد. پس از توزین محصول هر کرت، عملکرد غده و اجزاء عملکرد تعیین و نمونه از کل اندام گیاهی تهیه شده و به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک و بدین ترتیب کل ماده خشک تولیدی (عملکرد بیولوژیک) در هکتار محاسبه گردید.

از آنجایی‌که تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رویشی اثرات پیچیده و متقابلی دارد، لذا روش جمع‌پذیری جوابگو نبوده و برای بیان ترکیب اثرهای تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه از روش ضرب‌پذیری $\prod$ استفاده شد (ابراهیمی پاک و تافته، ۱۳۹۶).

از پیشرفته‌ترین معادلات فعلی که در این مطالعه از آن استفاده شده است، تابع ریس (۲۰۰۴) در مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح (*BUDGET*) می‌باشد که در آن هر یک از مراحل مختلف رشد به چند بازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. رابطه ۷ بیان دیگر رابطه ۵ می‌باشد و پارامترهای آن پیش‌تر تعریف شده است.

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\Delta t_j / L_i} \quad (۷)$$

از دیگر توابع مطرح در این زمینه که در پژوهش حاضر نیز استفاده شده است تابع تافته و همکاران (۲۰۱۳) بوده که بر اساس تعریف جدید برای توان رابطه ریس (۲۰۰۴) به صورت رابطه (۸) ارائه شده است.

$$\frac{y_a}{y_m} = \prod_{j=1}^{n}\left[1 - k_{yi}\left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right]^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} k_{yi}}} \quad (۸)$$

در این رابطه؛

n تعداد مراحل دورهٔ رشد می‌باشد. سایر پارامترها پیش‌تر تعریف شده‌اند.

هر دو روش ریس (۲۰۰۴) و تافته و همکاران (۲۰۱۳) در بازه‌های زمانی مختلف (ماهانه، مراحل چهارگانه استاندارد FAO (اولیه، توسعه، میانی و پایانی و کل دوره رشد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

مقادیر محاسبه شده وزن توانی در بازه ماهیانه محاسبه شده برای روش FAO و مقادیر وزن توانی برای روش نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- ضرایب واکنش عملکرد گیاه و توان ماهانه

	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	∑
Δt_i	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰	۱۳۰
$\Delta t_j / L_i$	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	–
K_{yFAO}	۰/۳	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۴۵	۳
$K_{yi}/\sum_{i=1}^{n} K_{yi}$	۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	–
K_{yNaj}	۰/۱۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۳۴	۳
$K_{yi}/\sum_{i=1}^{n} K_{yi}$	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱	–

کلیه تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه نتایج به‌دست آمده از آماره‌های ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) به شرح زیر استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2} \quad (۹)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}} \quad (۱۰)$$

در روابط فوق؛

n تعداد داده‌ها، X و Y به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده شده، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ به ترتیب میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و میانگین مقادیر تخمین زده شده توسط مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

نیاز آبی سیب‌زمینی

نیاز آبی گیاه سیب‌زمینی در جدول ۴ نشان داده شده است. بر پایه نتایج این جدول نیاز آبی پتانسیل سیب‌زمینی در کل دوره رشد ۸۱۴ میلی‌متر بود. حداکثر نیاز آبی برابر با ۸۱۴ میلی‌متر و مربوط به تیمار T16 بدون اعمال تنش با حداکثر محصول ۴۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بوده و حداقل آب مصرفی برابر با ۵۱۲ میلی‌متر و مربوط به تیمار T15 با اعمال تنش در مرحله ۳ و ۴ رشد استاندارد FAO و با عملکرد ۲۴۶۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین مقدار آب مصرفی سیب‌زمینی در تیر و مرداد ماه بین ۷۵ تا ۱۹۷ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به مهر ماه با مقدار بین ۱۰ تا ۹۸ میلی‌متر بود.

بر اساس مطالعه لیوا و همکاران (۲۰۰۶) وقوع تنش رطوبتی در دو مرحله آغازش غده و غده بندی کاهش معنی دار عملکرد در سیب‌زمینی را سبب شد. همچنین نتایج پژوهش اقبال و همکاران (۱۹۹۹) در پاکستان نشان داد که با اعمال تنش رطوبتی (آبیاری در حد ۵۰ درصد تبخیر و تعرق) در مراحل استقرار بوته‌ها، گلدهی، تشکیل ژوخه‌ها و رسیدگی، در مرحله گلدهی و تشکیل ژوخه‌ها بیشترین حساسیت به تنش رطوبتی رخ داده و اعمال تنش در زمان رسیدگی سبب کمترین کاهش عملکرد و بیشترین بازده مصرف آب شد.

مقایسه میزان عملکرد در توابع تولید استفاده شده در پژوهش

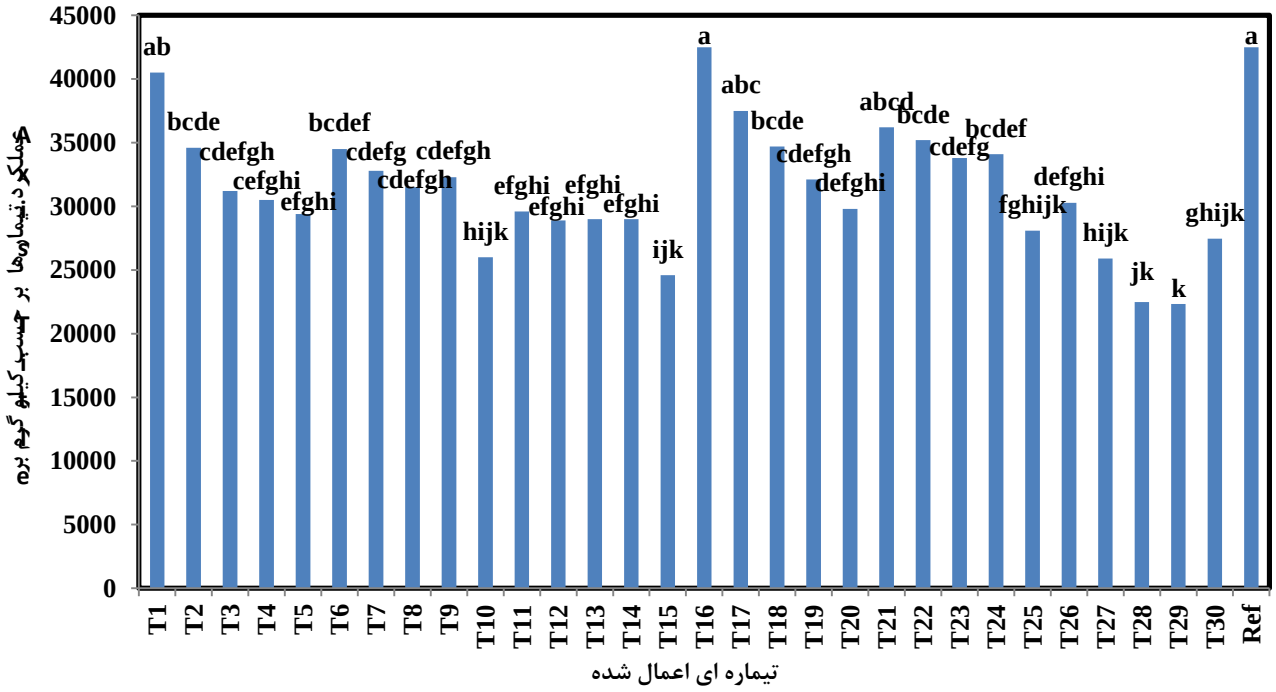
پس از محاسبه عملکرد محصول به روش‌های ریس (۲۰۰۴) و تافته و همکاران (۲۰۱۳)، عملکرد این دو تابع بر اساس آماره‌های ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) مقایسه گردید.

جدول ٤- مقدار تبخیر- تعرق ماهانه و عملکرد محصول در تیمار های مختلف آبیاری در گیاه سیب‌زمینی

تیمار	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	جمع	عملکرد	کارایی مصرف آب
	میلی‌متر						کیلوگرم در هکتار	کیلوگرم بر متر مکعب
T1	۱۶۰	۱۷۸	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۷۳۸	۴۰۵۰۰ab	۵/۴۹a
T2	۱۲۵	۱۶۵	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۶۹۰	۳۴۶۰۰bcde	۵/۰۱abcd
T3	۹۲	۱۵۰	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۶۴۲	۳۱۲۰۰cdefgh	۴/۸۶abcde
T4	۵۸	۱۴۲	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۶۰۰	۳۰۵۰۰defghi	۵/۰۸abcd
T5	۴۲	۱۲۷	۱۶۴	۱۲۰	۸۸	۵۴۱	۲۹۴۰۰efghi	۵/۴۳ab
T6	۱۶۱	۱۷۸	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۷۳۹	۳۴۵۰۰bcdef	۴/۶۷abcde
T7	۱۶۱	۱۶۰	۱۵۵	۱۳۵	۸۸	۶۹۹	۳۲۸۰۰cdefg	۴/۶۹abcde
T8	۱۶۱	۱۴۲	۱۳۵	۱۳۵	۸۸	۶۶۱	۳۱۵۰۰cdefgh	۴/۷۷abcde
T9	۱۶۱	۱۲۴	۱۱۳	۱۳۵	۸۸	۶۲۱	۳۲۳۰۰cdefgh	۵/۲۰abc
T10	۱۶۱	۹۴	۷۸	۱۳۵	۸۸	۵۵۶	۲۶۰۰۰hijk	۴/۶۸abcde
T11	۱۶۱	۱۷۸	۱۷۷	۱۳۵	۸۸	۷۳۹	۲۹۶۰۰efghi	۴/۰۱efgh
T12	۱۶۱	۱۷۸	۱۷۱	۱۰۸	۷۰	۶۸۸	۲۸۹۰۰efghi	۴/۲۰defg
T13	۱۶۱	۱۷۸	۱۶۵	۸۴	۵۴	۶۴۲	۲۹۰۰۰efghi	۴/۵۲bcdef
T14	۱۶۱	۱۷۸	۱۵۸	۵۷	۳۷	۵۹۱	۲۹۰۰۰efghi	۴/۹۱abcde
T15	۱۶۱	۱۷۸	۱۴۸	۱۵	۱۰	۵۱۲	۲۴۶۰۰ijk	۴/۸۰abcde
T16	۱۵۲	۱۹۷	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۸۱۴	۴۲۵۰۰a	۵/۲۲abc
T17	۱۲۹	۱۹۳	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۷۸۷	۳۷۵۰۰abc	۴/۷۶abcde
T18	۱۰۶	۱۹۰	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۷۶۱	۳۴۷۰۰bcde	۴/۵۶bcdef
T19	۸۳	۱۸۷	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۷۳۵	۳۲۱۰۰defghi	۴/۳۷cdef
T20	۴۵	۱۸۱	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۶۹۱	۲۹۸۰۰defghi	۴/۳۱cdef
T21	۱۵۲	۱۹۷	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۸۱۴	۳۶۲۰۰abcd	۴/۴۵cdef
T22	۱۵۲	۱۷۳	۱۸۲	۱۷۱	۹۸	۷۷۶	۳۵۲۰۰bcde	۴/۵۴bcdef
T23	۱۵۲	۱۴۶	۱۶۹	۱۷۱	۹۸	۷۳۶	۳۳۸۰۰cdefg	۴/۵۹abcdef
T24	۱۵۲	۱۱۸	۱۵۵	۱۷۱	۹۸	۶۹۴	۳۴۱۰۰bcdef	۴/۹۱abcde
T25	۱۵۲	۷۵	۱۳۷	۱۷۱	۹۸	۶۳۳	۲۸۱۰۰fghijk	۴/۴۴cdef
T26	۱۵۲	۱۹۷	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۸۱۴	۳۰۲۷۰defghi	۳/۷۲fgh
T27	۱۵۲	۱۹۷	۱۸۰	۱۴۵	۸۳	۷۵۷	۲۵۹۰۰hijk	۳/۴۲gh
T28	۱۵۲	۱۹۷	۱۶۵	۱۱۹	۶۹	۷۰۲	۲۲۴۹۰jk	۳/۲۰h
T29	۱۵۲	۱۹۷	۱۶۳	۹۴	۵۴	۶۶۰	۲۲۳۲۰k	۳/۳۸gh
T30	۱۵۲	۱۹۷	۱۲۱	۵۱	۲۹	۵۵۰	۲۷۴۵۰ghijk	۴/۹۹abcd
Ref	۱۵۲	۱۹۷	۱۹۶	۱۷۱	۹۸	۸۱۴	۴۲۵۰۰a	۵/۲۲abc

عملکرد محاسبه شده به روش ریس (۲۰۰۴) و تافته و همکاران (۲۰۱۳) با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. در روش اول مقدار RMSE، NRMSE به ترتیب ۷۱۱۳، ۰/۱۹، و در روش دوم مقدار این آماره ها به ترتیب ۶۸۳۰، ۰/۱۸ بود. نتایج آنالیز آماری مقایسه میانگین عملکرد محصول تیمارهای مختلف در سطح احتمال پنج درصد در شکل (۱) نشان داده شده است. این نمودار بیانگر این است که تیمارهای T_1 و T_{16} دارای بیشترین عملکرد بوده و تیمارها در سطوح مختلف دارای تفاوت معنی داری از نظر عملکرد با یکدیگر طبق آزمون آنوا (ANOVA) در سطح احتمال پنج درصد بوده‌اند.

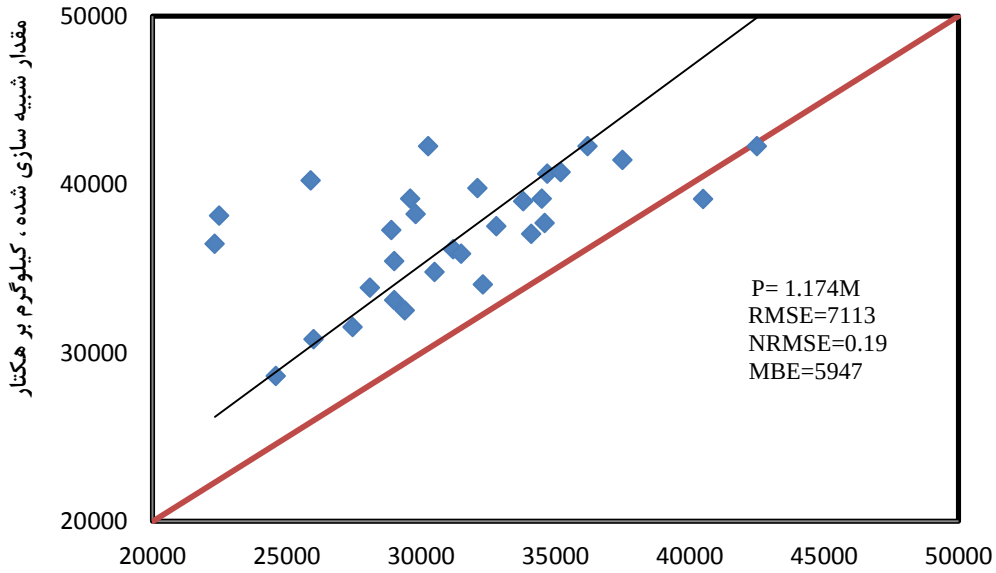
با توجه به معنی‌دار بودن تیمارهای تنش آبی اعمال شده بر گیاه سیب‌زمینی از این اطلاعات جهت بررسی مدل‌های شبیه‌سازی تنش های چند مرحله‌ای استفاده شد. جهت استفاده از این اطلاعات با استفاده از دو روش بیان شده و ضرایب حساسیت پیشنهادی FAO و نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) استفاده شد که در جدول ۵ ارائه شده است.



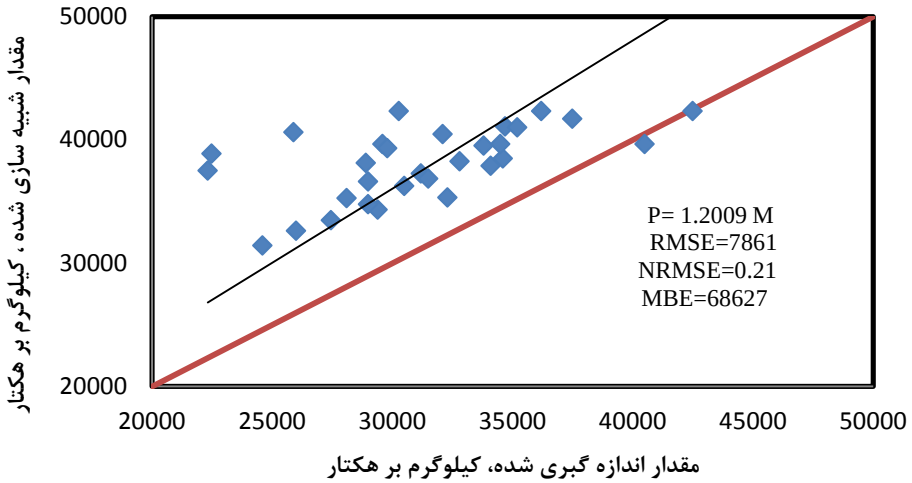
شکل ۱- مقایسه آماری سطوح عملکرد سیب‌زمینی در تیمارهای مختلف

نتایج به‌دست آمده بر اساس ضرائب FAO با استفاده از روش ریس (۲۰۰۴) در شکل ۲ آورده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که این روش با استفاده از ضرایب FAO حدود ۱۹ درصد خطا دارد. نتایج به‌دست آمده بر اساس ضرائب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش ریس (۲۰۰۴) در شکل ۳ آورده شده است.



شکل۲- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد غده توسط روش ریس و ضرایب FAO نسبت به خط یک به یک



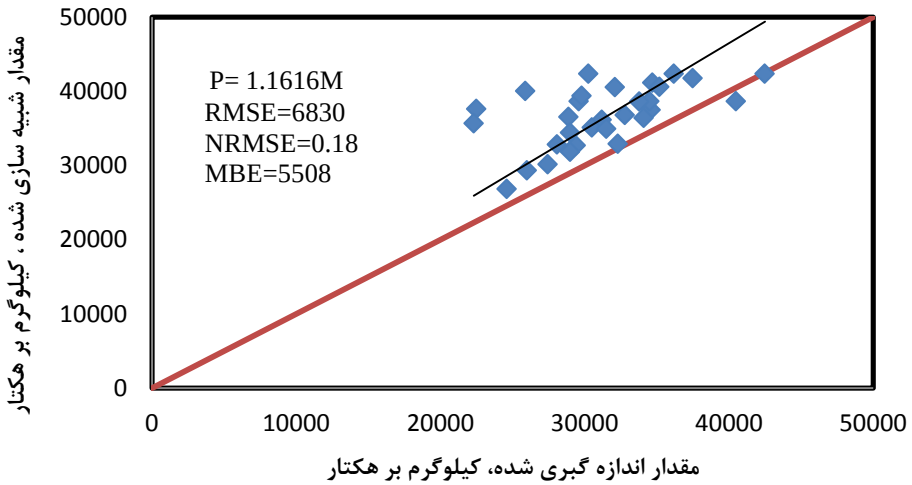
شکل۳- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده عملکرد غده توسط روش ریس و ضرایب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) نسبت به خط یک به یک

جدول ۵- ضرایب واکنش عملکرد سیب‌زمینی پیشنهاد شده توسط FAO و نجارچی و همکاران (۲۰۱۱)

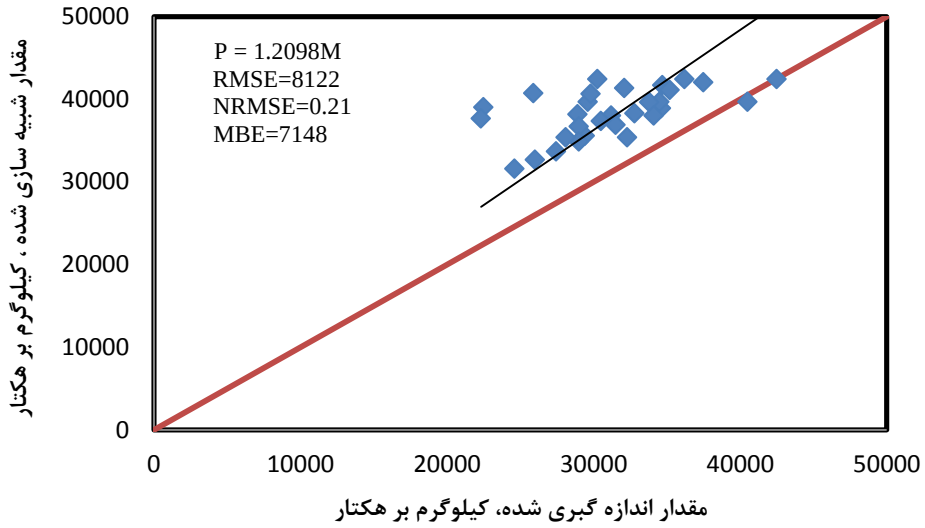
	مرحله رشد			
	اولیه	توسعه	میانی	نهایی
FAO	۰/۴۵	۰/۸	۰/۸	۰/۳۰
Naj	۰/۳۴	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۱۹

با استفاده از ضرایب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) خطای این مدل به ۲۱ درصد افزایش یافت. لذا در استفاده از این روش ضرایب FAO پیشنهاد می‌گردد.

نتایج به‌دست آمده از روش تافته و همکاران بر اساس ضرایب FAO و نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج بیانگر آن است که روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از ضرایب FAO حدود ۱۸ درصد خطا دارد که با نتایج گزارش ابراهیمی پاک و تافته (۱۳۹۶) مطابقت دارد. با استفاده از ضرایب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) خطای این مدل به ۲۱ درصد افزایش یافت که با نتایج گزارش شده توسط ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۳) ارائه شده است منطبق می باشد. لذا در استفاده از این روش ضرایب FAO پیشنهاد می‌شود.



شکل٤- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد غده توسط روش تافته و همکاران و ضرایب FAO نسبت به خط یک به یک



شکل۵- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده عملکرد غده توسط روش تافته و همکاران و ضرایب نجارچی و همکاران نسبت به خط یک به یک

شاخص‌های آماری توابع استفاده شده در پژوهش در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان داد که روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با ضرایب FAO دارای ۱۸ درصد خطای نرمال و روش ریس (۲۰۰۴) حدود ۱۹ درصد خطا داشته است. خطای هر دو روش با استفاده از ضرایب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) به ۲۱ درصد افزایش یافت. هر چند هر دو روش بر اساس شاخص MBE داری مقداری بیش‌برآوردی بوده‌اند و مدل تافته و همکاران (۲۰۱۳) و ریس (۲۰۰۴) به ترتیب مقدار محصول را ۵۵۰۸ و ۵۹۴۷ کیلوگرم در هکتار بیشتر از مقدار اندازه گیری شده برآورد نموده‌اند لیکن، روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با ضرایب FAO کمترین مقدار MBE و NRMSE را دارا بوده است. لذا با استفاده از این روش مقادیر ضریب واکنش عملکرد واسنجی و ارزیابی شد.

جدول ٦ - شاخص های آماری در روش های مورد استفاده

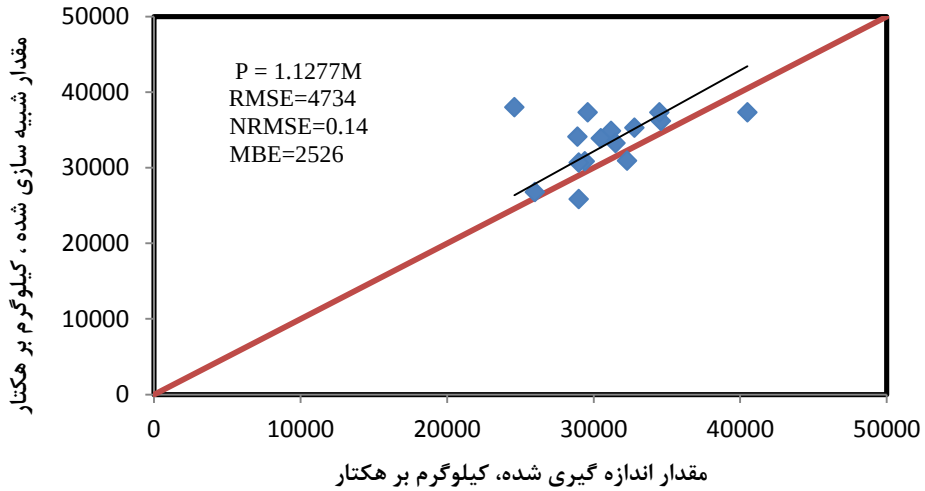
روش	نوع ضریب حساسیت	شاخص آماری		
		NRMSE	RMSE	MBE
Tafteh et al. (2013)	FAO	0.18	6830	5508
	Naj	0.21	8122	7148
Raes (2004)	FAO	0.19	7113	5947
	Naj	0.21	7861	6862

بدین منظور با استفاده از ۱۵ تیمار ضرایب با استفاده از مدل تافته و همکاران (۲۰۱۳) واسنجی شد و سپس با ۱۵ تیمار باقی مانده نتایج مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است. همان‌گونه که مشخص است مقدار ضریب واکنش عملکرد سیب‌زمینی در مراحل رشد به ترتیب ۰/۲۹، ۱/۱۲، ۰/۹۵ و ۰/۴۶ به‌دست آمد. نتایج بیانگر آن است که بیشترین حساسیت مربوط به مرحله رشد میانی بوده که با نتایج ابراهیمی پاک (۱۳۹۳) بر پایه روش دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) انطباق دارد. این مقادیر با مقادیر پیشنهاد شده توسط FAO مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقادیر به‌دست آمده در مرحله اول رشد با مقادیر اصلاح شده نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) انطباق بیشتری دارد. در مرحله میانی رشد و مرحله توسعه مقادیر ارائه شده توسط FAO به مقادیر به‌دست آمده نزدیک‌تر بوده و توصیه می‌شود در این مراحل رشد از توصیه FAO استفاده شود که این نتیجه با پژوهش اسمیت و همکاران (۲۰۰۲) که با استفاده از مدل CROPWAT، مقدار ضریب واکنش سیب زمینی را در مراحل رشد به ترتیب برابر با ۰/۴۵، ۰/۸۰، ۰/۷ و ۰/۳ تعیین کردند، همخوانی دارد. مقدار ضریب واکنش عملکرد سیب‌زمینی در ترکیه برای فصل رویش برابر با ۱/۱۲ شد که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق همخوانی دارد.

با استفاده از این ضرایب برای ۱۵ تیمار باقی مانده شبیه سازی عملکرد سیب‌زمینی انجام شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول ۷- ضرایب واکنش عملکرد سیب‌زمینی واسنجی شده بر اساس تابع تافته و همکاران (۲۰۱۳)

مرحله رشد	اولیه	توسعه	میانی	نهایی
ضرایب پیشنهاد شده	۰/۲۹	۱/۱۲	۰/۹۵	۰/۴۶



شکل٦- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده عملکرد سیب‌زمینی توسط روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) و ضرایب واسنجی شده نسبت به خط یک به یک

بر اساس نتایج حاصل، استفاده از ضرایب به‌دست آمده می‌تواند تا ۱۴ درصد خطای مدل را کاهش دهد و نتایج مطلوب‌تری را در اختیار محققین و مدیران مزارع قرار دهد. لذا این ضرایب به عنوان ضرایب مورد تأیید در تعیین نتایج عملکرد سیب‌زمینی رقم آکریا در شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه در شهرستان شهرکرد پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از کاربرد توابع تولید حاصلضرب اصلاح شده ریس (۲۰۰۴) و حاصلضربی اصلاح شده تافته و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که درصد خطای نرمال روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با ضرایب FAO نسبت به روش ریس (۲۰۰۴) کمتر بوده لیکن خطای هر دو روش با استفاده از ضرایب نجارچی و همکاران (۲۰۱۱) افزایش یافته است. هر چند هر دو مدل استفاده شده در این پژوهش بر اساس شاخص MBE داری مقداری بیش‌برآوردی بوده‌اند لیکن، روش تافته و همکاران (۲۰۱۳) با ضرایب FAO کمترین مقدار MBE و NRMSE را دارا بوده و با استفاده از این روش مقادیر ضریب واکنش عملکرد واسنجی و برای ۴ دوره گیاهی به‌ترتیب مقادیر ۰/۲۹، ۱/۱۲، ۰/۹۵ و ۰/۴۶ به دست آمد. لازم به ذکر است که این ضرایب بومی محلی بوده و به عنوان ضرایب مورد تایید در تعیین عملکرد سیب‌زمینی رقم آکریا در شرایط مختلف مدیریت آب در مزرعه در شهرستان شهرکرد پیشنهاد می‌شود و برای استفاده در مکان‌های دیگر نیاز به واسنجی و صحت سنجی دارند.

منابع

ابراهیمی پاک، ن.ع. و پذیرا، ا. ۱۳۸۷. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد، و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۹. ۴: ۱۷-۳۰.

ابراهیمی پاک، ن.ع. ۱۳۹۳. تعیین ضریب واکنش عملکرد سیب زمینی نسبت به کم آبیاری در مراحل مختلف رشد در شهرکرد. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۴. ۱۵: ۳۹-۵۰

ابراهیمی پاک، ن.ع. و تافته، آ. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید محصول-آب مصرفی چغندرقند در قزوین. چغندرقند. ۳۳. ۱: ۴۷-۶۳.

احمدی،ک.، عبادزاده، ح ر.، عبدشاه، ه.، کاظمیان، آ. و رفیعی، م. ۱۳۹۶. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۵، جلد اول: محصولات زراعی. وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی کشور، دفتر آمار و فناوری اطلاعات. ایران.

اسکندری، ع.، خزاعی، ح. ر.، نظامی، ا. و کافی، م. ۱۳۹۰. مطالعه تاثیر

رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی از خصوصیات کیفی سه رقم سیب‌زمینی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵. ۲: ۲۴۰-۲۴۷.

تافته، آ.، ابراهیمی پاک، ن.ع.، بابازاده، ح. کاوه، ف. ۱۳۹۲. ارزیابی توابع تولید برای برآورد عملکرد گوجه فرنگی در تیمار های مختلف آبیاری در دشت قزوین. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۷(۳): ۳۱۵-۳۲۸.

تافته، آ.، اگدرنژاد، ا.، براهیمی پاک، ن.ع. ۱۳۹۶. بررسی توابع تولید محصول برای برآورد عملکرد گیاه کلزا در بازه های زمانی مختلف. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷(۳): ۱۰۳-۱۱۳.

رئیسی، ف.1370. تعیین آب مورد استفاده سیب‌زمینی. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب اصفهان، مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان، وزارت کشاورزی

مأمن پوش، ع. ر.، حیدری سلطان آبادی، م. و دهقانی، م. ۱۳۹۴. تأثیر میزان آب مصرفی و روش های کاشت بر عملکرد و کارآیی مصرف آب در ارقام تجاری سیب زمینی (مطالعه موردی :ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد اصفهان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹. ۶: ۹۲۷-۹۳۶.

نادریان فر، م. ۱۳۹۵. تعیین توابع تولید گیاه ریحان تحت شرایط کم آبیاری و استفاده از نانو کود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰(۳):۳۶۵-۳۷۶.

ابراهیمی پاک، ن.ع. و تافته، آ، بابازاده، ح. ۱۳۹۳. بررسی توابع تولید محصول-آب مصرفی یونجه بمنظور برآورد عملکرد در سطوح مختلف ابیاری در منطقه قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۵ (۲): ۱۳۵-۱۴۵.

Allen, R. G. 1994. Memorandum on application of FAO-33 yield functions. Department of Biological and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

Doorenbos, J., and Kassam, A. H. 1979. Yield response to Water. Irrigation and Drainage. paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.

FAO. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage paper No. 26. Rome.

Iqbal, M.M., Shah, S.M., Mohammad, W. and Nawaz, H.1999. Field response of potato subjected to water stress at different growth stages. In: Crop Yield Response to Deficit Irrigation, C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera, D.R. Nielsen (eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

King B., Stark, J. and Love, S. 2003. Potato production with limited water supplies. Paper presented at the Idaho Potato Conference. January 22.

Jensen, J.W. 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. (Ed.), Water Deficit and Plant Growth. 2: 1-22.

Liua, F., Jensena, C., Shahanzaria, A., Andersenb, M. and Jacobsen, N. 2005. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (Solanum tuberosum L.) during progressive soil drying. Plant Science. 168: 831–836.

Najarchi, M., Kaveh, F., Babazadeh, H., and Manshouri, M. 2011. Determination of the yield response factor for field crop deficit irrigation. African Journal of Agricultural Research. 6.16: 3700-3705.

Raes D. Budjet. 2004. A soil water and salt balance model. Reference Manual. Version 6.0 (http://www.iupware.be and select downloads and next software. last updated June.

Shock,C. C., Feibert, E. B. G and Saunders, L. D. 1998. Potato yield and quality response to deficit irrigation. HortScience. 33. 4:655–659.

Shock, C. C. and Filbert, E. B. G. 2002. Deficit irrigation of potato. Irrigation and Drainage Paper No. 22. FAO. Rome. Italy.

Smith, M., Kivumbi, D. and Heng, L.K. 2002. Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies F.A.O, irrigation and drainage paper 22"deficit Irrigation practices "Rome Italy.

Tafteh A, Babazadeh H, EbrahimiPak NA, Kaveh F. 2013. Evaluation and Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. Journal of Agricultural Science. 5. 3: 111- 122.

Wright, J. L. and Stark, J. C. 1990. Potato. In: Stewart, B. A. and Neilsen, D. R. (Eds.) Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy, Monograph. No. 30. Madison Wisconsin. USA.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 13, Feb.-Mar. 2020, p. 1721-1732

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۳، بهمن - اسفند ۱۳۹۸، ص. ۱۷۳۲-۱۷۲۱

Evaluation of Production Functions to Estimate Potato Yield in Different Irrigation Treatments

N. A. Ebrahimipak[1], A. Tafteh[2], S. Asadi Kapourchal[3], A. Egdernezhad[4]

Recived: May.11, 2019 Accepted: Jul.14, 2019

Abstract

Water use in field is expressed as evapotranspiration (ET). If the water requirement of the plant is not provided, the rate of plant evapotranspiration is less than potential evapotranspiration and water stress occurs and plant yield decreases. In order to prevent the loss of plant yield, limited water resources should be optimized based on the inevitable needs of the plant. One of the methods for optimal use of water in the agricultural sector is to increase the efficiency and use of water in the production of agricultural products such as potatoes through the production functions and the relative relation of yield and water consumption. The objective of this study was to evaluate the production functions has been modified by Rase (2004) and Tafteh et al. (2013) for estimating potato yield under deficit irrigation conditions. For this purpose, an experiment was conducted in a randomized complete block design with five treatments and three replications for two years of cultivation and total of 30 treatments at Shahrekord Agricultural Research Center. Irrigation treatments were in five levels of full irrigation (E0), 85% (E1), 70% (E2), 55% (E3) and 30% (E4) of actual evapotranspiration of potato from drainage lysymeter, at different stages of plant growth Includes seed stage and vegetative growth (T1), full growth stage (T2), and stage of ripening of the tubers (T3). The results showed that the highest water requirement was 814 mm and was related to T16 treatment with a maximum yield of 42500 kg/ha and the minimum water consumption was 512 mm and was related to T15 treatment with a yield of 24600 kg/ha. After estimating the product yield using Reese (2004) and tafteh et al (2013) methods, the performance of these two functions was compared with the measured yield on the field. In the first method, the RMSE, NRMSE values were 7113 and 0.19, and in the second method, the values of these statistics were 6830 and 0.18, respectively. Both methods were overestimated based on MBE index and Tafteh et al. (2013) method with FAO coefficients had the lowest MBE. Therefore, using this method, the values of the sensitivity coefficient were calibrated and finally the yield response factor were obtained based on Tafteh et al function for 4 phases of the FAO standard (initial, development, middle and final) 0.29, 1.12, 0.95 and 0.46 respectively.

Keywords: Evapotranspiration, Production function, Yield response factor

1- Associate Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.
2- Assistant professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj. Iran.
3- Assistant professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran..
4- Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding Author Email: nebrahimipak@yahoo.com)