ارزیابی توابع تولید برای برآورد عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف آبیاری‌در دشت قزوین

آرش تافته، نیازعلی ابراهیمی پاک[۱]*، حسین بابازاده ، فریدون کاوه

دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب ، تهران، ایران؛ **Arash_Tafteh@yahoo.com**

استادیار پژوهشی، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، ایران؛ **nebrahimipak@yahoo.com**

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران ، گروه مهندسی آب، تهران ، ایران؛ **h_babazadeh@srbiau.ac.ir**

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی آب، تهران، ایران؛ **fhnkaveh@yahoo.com**

چکیده

از آنجایی که برنامه ریزی توزیع آب در دشت قزوین به صورت ماهانه انجام می گیرد توابعی مورد نیاز است که در بازه های زمانی ماهانه با دقت مناسب میزان کاهش محصول را در شرایط کم آبیاری ارزیابی نماید. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی توابع تولید حداقل، میانگین، حاصل ضربی، حاصل ضرب اصلاح شده توسط ریس و حاصل ضربی با توان ضریب واکنش عملکرد (K_y) در منطقه قزوین انجام شد. به منظور تخمین میزان عملکرد گوجه فرنگی در شرایط کم-آبیاری از داده های طرح بلوک های کامل تصادفی با تیمار های آبیاری، T_4, T_3, T_2, T_1 به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی فیض آباد اجراء شده بود، استفاده گردید. نتایج نشان داد که بیشترین نیاز آبی گیاه گوجه فرنگی در دوره رشد برابر با ۱۰۷۳ میلی متر بود و تیمار T_1 با محصول برابر ۸۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر و تیمار T_4 با محصول برابر ۵۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار حداقل عملکرد را داشتند. با توجه به مطابقت آماری، روش پیشنهادی که روشی حاصل ضربی بر اساس توان (K_y) ماهانه می باشد، نسبت به روش های دیگر کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشت. در نتیجه روش پیشنهادی، روش مناسبی برای منطقه است . با استفاده از روش پیشنهادی مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱، ۱/۱۴ و ۰/۴ و برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱۴ و ۰/۴ و متوسط آن برای کل دوره رشد گوجه فرنگی برابر با ۰/۸۹ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: ضریب واکنش عملکرد (K_y)، نیاز آبی گیاه، تشت تبخیر

مقدمه

گوجه‌فرنگی دومین محصول مهم صیفی بعد از سیب زمینی در سطح جهان است. ایران با تولید ۵۲۵۶۱۱۰ تن گوجه‌فرنگی در سال به عنوان هفتمین تولید کننده گوجه‌فرنگی در جهان شناخته می‌شود

---

[۱] آدرس نویسنده مسئول: کرج، میدان استاندارد، جاده مشکین دشت، بلوار امام خمینی (ره)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب

* دریافت: بهمن، ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

گوجه فرنگی یکی از گیاهان زراعی است که به آب نسبتاً زیادی احتیاج دارد و با افزایش نیاز آبی میزان عملکرد محصول نیز افزایش می یابد (Pascual et al. ۲۰۰۰) واز طرفی دقت کافی برای انجام آبیاری ایجاب می کند، زیرا که آبیاری غیر یکنواخت و نامرتب باعث ترکیدکی میوه و کاهش ۲۰ درصد محصول می شود (صدیق، ۱۳۷۵). گوجه فرنگی به تنش آبی حساسیت زیادی دارد، زمانی که در مرحله گل دهی و یا رشد میوه آبیاری کامل انجام شود در مقایسه با تنش آبی، عملکرد محصول گوجه فرنگی به ترتیب ۵۹ تا ۷۸ درصد افزایش می یابد و هنگامی که در هر دو مرحله آبیاری کامل انجام شود عملکرد ۱۲۵ درصد افزایش را پیدا می‌کند (Rudich et al.۱۹۹۷). حسینی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی که در مرکز تحقیقاتی دانشگاه گرگان انجام دادند نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار تبخیر-تعرق گیاه گوجه فرنگی ٦۰۰ میلی متر بود و حداکثر و حداقل نیار آبی گیاه گوجه‌فرنگی را برابر با ٦ و۲/٤٥ میلی متر در روز گزارش کردند و نشان دادند که اختلاف بین ET_c و ET_o در طول فصل رشد گیاه گوجه‌فرنگی نشان از افزایش نیاز آبی گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد گیاه بود. عابدی و همکاران (۱۳۹۰) تبخیر- تعرق گوجه فرنگی در اصفهان را ٥۲٤ میلی متر گزراش کردند و معادله رگرسیون غیر خطی را جهت اندازه گیری تبخیر - تعرق پیشنهاد دادند. پوزش شیرازی(۱۳۸٤) مقدار تبخیر- تعرق گوجه فرنگی را در بوشهر برابر با ٦۸٥ میلی متر گزارش کرد و نتایج آزمایش رزمی و قائمی (۱۳۹۰) نشان داد که نیاز آبی گوجه فرنگی در شیراز برابر با ٦۷۹ میلی متر بود.

میلی متربود و ونتیجه گرفتند که با اعمال ۲۰، ٤۰ و ٦۰ درصد کم آبی، عملکرد محصول گوجه فرنگی به ترتیب ۲٤، ٥۷ و ۷٤ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج آزمایش (۲۰۰٤) .Farhmand et al نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد میوه در سطح احتمال ٥ درصد معنی‌دار بوده است و حداکثر کارایی مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن در ٤۰ درصد نیاز آبی بدست آمده است و با کاهش ٦۰ درصد نیاز آبی عملکرد محصول ۷٤ درصد کاهش داشت. نتایج آزمایش(Veit-Kohler et al.۲۰۰۱) نشان داد که کاهش مصرف آب از ۷۰ درصد به ٥۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد میوه در هر بوته را کاهش می‌دهد ولی بر متوسط وزن میوه، عملکرد کل و بازار پسندی میوه موثر نیست. Hartz et al.(۱۹۹۳) گزارش کردند که با کاهش میزان آب مصرفی گوجه فرنگی از ۷۰ درصد به ٥۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، تعداد میوه در هر بوته به طور معنی‌دار کاهش می یابد، لیکن در متوسط وزن میوه، عملکرد کل و بر بازار پسندی تاثیر ندارد و همچنین غلظت گلوکز، فروکتوز و محتوی ویتامین C و ترکیبات موثر افزایش می‌یابد و به طور کلی کیفیت محصول بهبود پیدا می کند. علی زاده و باغانی (۱۹۹۹) درآزمایشی با تاثیر سه سطح آبیاری ٥۰، ۷٥ و ۱۰۰ درصد آب آبیاری و دو روش آبیاری قطره‌ای و شیاری را بر عملکرد گوجه فرنگی نشان دادند که با کاهش آب مصرفی عملکرد محصول کل در هر دو روش کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش زمردی و همکاران (۱۳۸٥) نشان داد که اعمال کم آبیاری بر روی عملکرد محصول گوجه فرنکی در سطح ٥ درصد معنی دار بود و حداکثر عملکرد محصول در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بدست آمد، تنش آبی ملایم (۷٥ درصد نیاز آبی) و تنش شدید آبی (٥۰ درصد نیاز آبی) در مرحله گل دهی عملکرد محصول را به شدت کاهش داد لیکن در سایر مراحل رشد روی عملکرد محصول تاثیر نداشت. بیشترین کارائی مصرف آب در تیمار ٥۰ درصد و کمترین آن در تیمار ۱۲٥ درصد آب آبیاری حاصل شد. نورمهناد و همکاران (۱۳۸٦) به منظور بررسی تاثیر کم آبیاری سنتی و آبیاری بخشی بر روی گوجه فرنگی نشان دادند که بیشترین میزان عملکرد میوه و عملکرد کل و عملکرد بازار پسند در تیمار شاهد (آبیاری کامل) و در تیمار آبیاری بخشی در سطح ۷٥ درصد حاصل شد و همچنین راندمان مصرف آب نسبت به تیمار شاهد در تیمار آبیاری

بخشی ٤/٦ درصد افزایش و در تیمار کم آبیاری سنتی ۷/٦ درصد کاهش داشت.

نودهی و چراتی (۱۳۹۱) به منظور بررسی اثرات کم آبیاری بر عملکرد گوجه فرنگی، تعیین تابع تولید و راندمان مصرف آب، آزمایشی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، در ۳ تکرار بر روی گوجه فرنگی در شرق مازندران گزارش کردند که تیمارهای آبیاری بر اساس ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی، عملکرد گوجه فرنگی را به طورمعنی‌داری تغییر دادند و بیشترین نیاز آبی را ۵۵۰ میلی متر بود و نشان دادن که با کاهش مصرف آب به میزان ۲۰ درصد، ٤۰ درصد، ٦۰ درصد و ۸۰ درصد عملکرد محصول به ترتیب ۱۳/۷، ۳۸/۵، ۵۹ و ۷۲ درصد کاهش یافت. نتایج آزمایش Smagstral et al. (۱۹۹٤) نشان داد که اعمال کم آبیاری به میزان ۱۵، ۳۷ و ٤۰ درصد نسبت به نیاز آبی کامل گیاه، عملکرد محصول را به طور متوسط ۳۰ درصد کاهش می دهد.

بدین منظورنیاز به تعیین رابطه بین عملکرد و مقدار آب آبیاری می باشد که این گونه روابط عمدتا به صورت غیر خطی می باشند، این مسئله نشان دهنده آن است که با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد گیاه با همان نسبت کاهش نمی‌یابد. کم آبیاری یک روش بهینه سازی مصرف آب است که در آن با اعمال درجه ای از کم آبی به گیاه و قبول مقداری کاهش محصول، در مصرف آب صرفه جویی می‌شود (English,۱۹۹۰).

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 تحلیلی که شد، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارایه کردند.

Doorenbos and Kassam (۱۹۷۹) رابطه بین کاهش نسبی محصول، کمبود تبخیر _ تعرق نسبی را به صورت زیر ارائه نمودند:

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

که در آن: y_a: عملکرد واقعی ، y_m:حداکثر عملکرد ، ET_a: تبخیر – تعرق واقعی (میلی متر)، ET_m: حداکثر تبخیر – تعرق گیاه (میلی متر) و k_y: ضریب واکنش عملکرد محصول می باشد.

Allen (۱۹۹۸) روش حداقل‌گیری کاهش محصول را برای مراحل رشد ارائه کرد:

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

که در آن: Y_a: عملکرد واقعی، Y_p: حداکثر عملکرد، $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$: میزان نسبی عملکرد در هر مرحله از کشت که بر اساس رابطه ۱ محاسبه می شود. حداقل عملکرد محصول به عنوان تولید نهایی در نظر گرفته می شود.

به دلیل اینکه روش جمع پذیری (Stewart و همکاران ۱۹۷۷) جوابگو نبوده و برای بیان ترکیب اثرهای تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه از روش ضرب پذیری II استفاده می شود (Kipkorir، ۲۰۰۲). Jensen (۱۹٦۸) روش حاصل ضربی تابع تولید را برای تنش در مراحل مختلف رشد به صورت زیر ارائه نمود:

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

که در آن: y: عملکرد واقعی ، y_m:حداکثر عملکرد ، ET_a: تبخیر – تعرق واقعی (میلی متر)، ET_m:حداکثر تبخیر – تعرق گیاه (میلی متر)، k_{yi}: ضریب واکنش عملکرد، i:مرحله رشد و توسعه، n: تعداد مراحل دوره رشد می باشد.

Raes (۲۰۰٤) در جهت اصلاح و افزایش دقت معادله ٤ مدل شبیه سازی بیلان آب و املاح (BUDGET) رابطه زیر را بکار برد که در آن هر یک از مراحل مختلف رشد به چند بازه زمانی کوچک تر تقسیم می شوند:

(٤)

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

که در آن: m: تعداد بازه های زمانی به مدت Δt_j (روز) در مرحله رشد i ، n : تعداد مراحل دوره رشد، L_i:

طول کل هر مرحله رشد که از یک روز تا کل دوره رشد را می توان در نظر گرفت (روز)، $ET_{a,j}$: تبخیر- تعرق واقعی در بازه زمانی j، $ET_{m,j}$ تبخیر - تعرق پتانسیل در بازه زمانی j می باشد.

هدف از این آزمایش ارزیابی و انتخاب توابع تولید محصول جهت تخمین میزان عملکرد گوجه فرنگی در شرایط کم‌آبیاری های مختلف در دشت قزوین می باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش قسمتی از نتایج طرح تحقیقاتی بود که در ایستگاه تحقیقات کشاورزی فیض آباد قزوین به عرض جغرافیایی۳٦ درجه و ۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه با ارتفاع ۱۲٤۰متر از سطح دریا با خاک مزرعه لومی رسی اجرا شد. این آزمایش در قالب بلوک های کامل تصادفی درسطوح آبیاری شامل T_4, T_3, T_2, T_1 به ترتیب ٦۰ ،۹۰ ،۱۲۰ و۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، درسه تکرار اجرا شد. در اوایل بهار، ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و پیش از کاشت گوجه فرنگی ، نمونه ای مرکب از خاک مزرعه از دو عمق ۰تا ۳۰ و ۳۰ تا ٦۰ سانتی متر برداشت و جهت تجزیه های فیزیکی وشیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه ها ی منتقل شده به آزمایشگاه بعد از خشک کردن و خرد کردن از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و سپس توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری، جرم مخصوص ظاهری با استفاده از رینگ های فلزی به قطر٦ و ارتفاع ٤ سانتی متر، جرم مخصوص حقیقی با استفاده از پیکنومتر انجام شد. برای تعیین مقدار آب قابل استفاده، رطوبت ظرفیت مزرعه ای و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب در مکش ۰/۳ و ۱۵ بار توسط دستگاه صفحه فشاری اندازه گیری گردید و نتایج تجزیه فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شد. در اسفند ماه خزانه کشت بذرها انجام گرفت و از رقم اروباتا ارلی بی – اف که از ارقام پر محصول و دو منظوره بود استفاده شد. نشاء ها در اواخر فروردین ماه به زمین مورد نظر که قبلاً آماده شده بود منتقل شدند کرت های آزمایشی به ابعاد ۲/۵ × ۵ متر در ٤ ردیف با فاصله ٦۰ سانتی متر و فاصله بوته های ۵۰ سانتی متر در هر ردیف کشت گردید. فواصل بین کرت های فرعی ۱/۲ متر و کرت های اصلی ۲ متر در نظر گرفته شده است. در هر گودال ۳ نشاء کشت شد و بلافاصله آبیاری اولیه انجام گرفت. پس از استقرار گیاهان عملیات تنک کردن و خاک دهی پای بوته ها صورت گرفت. میزان آب ورودی توسط کنتور آب اندازه گیری شده و به داخل هر کرت انتقال داده شد. براساس آزمون خاک ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن، ۲۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم فسفر و ۲۰ کیلوگرم کلسیم در هکتار مورد استفاده قرار گرفت. تمام مقادیر کود پتاسیم و فسفر و یک، سوم کود اوره قبل از کاشت به صورت نواری مصرف گردید و یک سوم کود اوره قبل از تشکیل گل و یک سوم اوره بعد از چین اول به زمین داده شد. مقدار آب آبیاری براساس کسر رطوبت خاک از رطوبت مزرعه از رابطه تعیین عمق آب آبیاری محاسبه و توسط کنتور اندازه‌گیری و از طریق لوله وارد جوی و پشته‌ها می‌شد. در این آزمایش ظرفیت زراعی مزرعه، وزن مخصوص ظاهری و عمق نفوذ ریشه در طول آزمایش ثابت فرض شد. در طول فصل رشد مراقبت های لازم از قبیل وجین علف های هرز، سمپاشی علیه آفات و بیماریهای گیاهی و خاک دهی پای بوته ها انجام شد و برداشت هم بصورت هفتگی از آغاز مهرماه در سه چین انجام کرفت. به منظور اندازه گیری دقیق مقدار رطوبت خاک قبل از آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشت تبخیر میلی متر تجمعی، نمونه گیری از اعماق مختلف(۲۵، ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ سانتی متر) به روش وزنی انجام شد و روز بعد مقدار رطوبت قابل استفاده هر لایه خاک در ناحیه ریشه گیاه محاسبه و مقدار آب آبیاری با استفاده از رابطه ۵ اعمال گردید.

$$dn = \sum_{i=1}^{n} (F_{ci} - \theta_i).D_i.\rho_{bi} \qquad (۵)$$

که در آن dn مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه برحسب میلی متر، F_{ci}: ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصد وزنی در عمق i ، θ_i: رطوبت خاک قبل از آبیاری

در عمق i ، D_i: عمق هر لایه خاک برحسب میلی متر که تا عمق ریشه تعریف می شوند، ρ_{bi} :جرم مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی متر مکعب در عمق i، n: تعداد لایه های خاک می باشد.

جدول ۱- نتایج برخی از خصوصیاتی فیزیکی و شیمیائی خاک محل اجرا قبل از کاشت

عمق (سانتی متر)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	رطوبت ظرفیت نگه‌داری (درصد)	رطوبت در نقطه پژمردگی(در صد)	pHخاک	۱۰۳ × Ec	Ca+Mg (meqL	Na (meq/L)	P (PPM)	K (PPM)	N (%)	So4 ca (meq/ L)
۰-۵۰	۱/۴۴	لومی رسی	۳۳	۳۹	۲۸	۲۰	۱۱	۸/۱	۰/۷۴	۴	۴	۸	۳۶	۰/۰۹	۰
۵۰-۱۰۰	۱/۵۳	لومی رسی	۳۹	۲۹	۳۲	۲۳	۱۳	۸	۰/۸۷	۵	۵	۲	۲۸	۰/۰۶	۰

مقدار آب آبیاری توسط کنتور آب اندازه گیری شد و به وسیله لوله در ابتدای هر کرت بین ردیف های کاشت تقسیم تا به صورت یکنواخت در اختیار گیاه قرار گرفت. پس از برداشت نمونه ها در مهر ماه و قبل از انتقال به آزمایشگاه عملکرد میوه اندازه‌گیری شد. و نتایج حاصل از عملکرد محصول، میزان آب مصرف شده با استفاده از برنامه آماری SPSS, Mstatc آنالیز شد.

به دلیل اینکه تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رویش اثرات پیچیده و متقابل دارد، برای بیان ترکیب اثرات تنش آبی در مراحل رشد گیاه از روش های متعدد استفاده می شود. یکی از آن روش ها حداقل-گیری بود که در رابطه ۲ ارائه شد. جهت اصلاح روش حداقل‌گیری روش میانگین‌گیری ارائه شد که برای اصلاح روش حداقل تولید ماهانه در این پژوهش به جای حداقل گرفتن میانگین کاهش محصولات در نظر گرفته شد که معادله آن به صورت زیر است:

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{Y_{a1}}{Y_{p1}},\frac{Y_{a2}}{Y_{p2}},\ldots,\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}\right\} \qquad (٦)$$

که در آن Y_a: عملکرد واقعی، Y_p: حداکثر عملکرد، $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$: عملکرد نسبی محصول که از رابطه ۱ بدست می آید.

در این پژوهش به منظور اصلاح بیشتر معادله ریس (Raes، ۲۰۰٤) و افزایش دقت تابع تولید، از معادله جدید (پیشنهادی) به صورت رابطه ۷ ارائه استفاده شد:

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\prod_{i=1}^{n}\left(1-K_{yi}\left(1-\frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right)^{\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n}K_{yi}}} \qquad (٧)$$

که در آن Y_a: عملکرد واقعی، Y_p: حداکثر عملکرد در حالتی که هیچ گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد، $ET_{a,j}$: تبخیر – تعرق واقعی (میلی متر) ، $ET_{m,j}$: حداکثر تبخیر – تعرق گیاه (میلی متر)، k_{yi}: ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی نسبت به آب، i: مرحله رشد و توسعه، n: تعداد مراحل دوره رشد.

مقادیر محاسبه شده وزن توانی در بازه ماهیانه محاسبه شده برای روش FAO و مقادیر وزن توانی برای روش(۲۰۱۱) Najarchi et al. در جدول ۳ ارائه شد.

برای مقایسه آماری بین نتایج توابع تولید، از توابع آماری استفاده شد:

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Xi-Yi)_2} \qquad (٨)$$

که در آن RMSE : ریشه مربعات خطا، n : تعداد داده ها، X : داده اندازه گیری شده و Y: داده تخمین زده شده توسط مدل می باشد.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Xi - Yi)^2}}{\overline{X}} \quad (۹)$$

که در آن NRMSE : ریشه مربعات خطای نرمال n: تعداد داده ها، X : داده اندازه گیری شده، Y : داده تخمین زده شده توسط مدل و $\overline{X}$: میانگین داده های اندازه گیری شده می باشد.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\left|x_i - \overline{X} + \left|y_i - \overline{Y}\right|\right)^2}\right] \quad (۱۰)$$

که در آن d : شاخص توافق، n : تعداد داده ها، X: داده اندازه گیری شده، Y : داده تخمین زده شده توسط مدل، $\overline{X}$: میانگین داده های اندازه گیری شده و $\overline{Y}$: میانگین داده های تخمین زده شده توسط مدل می باشد .

در نهایت به منظور ارزیابی کارایی مصرف آب معادله ۱۱ استفاده شد:

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد گوجه فرنگی در تیمارهای مختلف آبی

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
تکرار	۲	۱۱۰۶۹۲۳۲۰	۵۵۳۴۶۱۶۰	۰/۲۹۲	۰/۷۵۴^{ns}
تیمار آبی	۳	۱۷۰۲۴۴۶۰۷۵	۵۶۷۴۸۲۰۲۵	۳۹/۹۸	۰/۰۰۰**
خطای آزمایشی	۶	۱۱۳۵۲۹۵۶۶	۱۴۱۹۱۱۹۵	-	-
کل	۱۱	۱۸۱۵۹۷۵۶۴۱	-	-	-

** در سطح ۱ درصد معنی دار است. ns معنی دار نیست.

$$WUE = \frac{Yeild}{W} \quad (۱۱)$$

که در آن: WEU: کارایی مصرف آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، Yeild : مقدار محصول برداشت شده بر حسب کیلوگرم بر هکتار، W: آب مصرفی بر حسب متر مکعب در هکتار می باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس عملکرد گوجه فرنگی در جدول۲ و مقایسه میانگین عملکرد محصول، دفعات آبیاری و کارایی مصرف آب در جدول ٤ ارائه شد. نتایج نشان می دهد که اثر دور آب آبیاری بر عملکرد گوجه فرنگی، در سطح ۱ درصد معنی‌داراست. که با نتایج عابدی و همکاران(۱۳۹۰)، حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، پوزش شیرازی(۱۳۸٤) ، گلکار و همکارن (۱۳۸۷) و ابرهیمی پاک (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی

نیاز آبی گیاه گوجه فرنگی در جدول٤ ارائه شده است با توجه به جدول مشاهده می شود که بیشترین نیاز آبی گوجه فرنگی در کل دوره رشد برابر با ۱۰۷۳میلی متر شد. مقادیر نیاز آبی گیاه گوجه که از نتایج عابدی و همکاران(۱۳۹۰) دراصفهان، حسینی و همکاران (۱۳۹۰) در گرگان، پوزش شیرازی(۱۳۸٤) در بوشهر، گلکار و همکارن (۱۳۸۷) درکرج و رزمی و قائمی (۱۳۹۰) در شیراز برآورد کردند نسبت به تبخیر-تعرق بدست آمده به ترتیب ٤۱، ۳٤، ۲٦، ۱، ۲۳ درصد اختلاف وجود دارد که این اختلاف ناشی از شرایط اقلیمی ، نوع خاک و روش کاشت و روش تحقیق بود.بطور مثال نتایج گلکار و همکارن (۱۳۸۷) با تراکم ٤ بوته در هر متر مربع که به تراکم این پژوهش نزدیک بود نتایج مشابه داشت ولی نتایج کشت در شرایط گلخانه ای عابدی و همکاران(۱۳۹۰)، رزمی و قائمی (۱۳۹۰) و حسینی و

همکاران (۱۳۹۰) در داخل گلدان ۲۵ سانتی متری، عمق ریشه گیاه محدود و شرایط گلخانه ای دلیل تفاوت زیاد نیاز آبی با این آزمایش ها است. در آزمایش پوزش شیرازی(۱۳۸٤) به دلیل اینکه استفاده از خاک لومی شنی کاهش تخمین در نیاز آبی بدست آمد. این در حالیست که Zotarelli et al. (۲۰۰۹) عمق ریشه گوجه فرنگی را ٦۰ سانتیمتر گزارش کردند که این ۵۰ درصد تفاوت عمق ریشه برابر با ۳۰ درصد نیاز آبی در کل شد. روش وزنی اندازه گیری رطوبت وابسته به تغییرات چگالی ظاهری خاک در هر آبیاری است و خطاهای اندازه گیری هم به آن افزوده می شود که این امر هم بر مقدار نیاز آبی موثر است و بر خطای آن می افزاید. با توجه جدول ٤ مشاهد شد که حداکثر نیاز آبی گیاه گوچه فرنگی مربوط به تیمار T_1 برابر با ۱۰۷۳ میلی متر با حداکثر عملکرد محصول برابر با ۸۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار با کارایی ۸/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب شد و حداقل آب مصرفی برابر با ٦٦۳ میلی متر مربوط به تیمار T_4 با عملکرد برابر با ۵۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار وکارایی ۸/٦ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

بیشترین مقدار آب مصرفی گوجه فرنگی در مرداد ماه برابر با ۲۹۷ میلی متر و کمترین مقدار آن برابر با ۵۲ میلی متر در مهرماه شد و بین تیمار T_3 وتیمار T_1 اختلاف معنی داری وجود داشت، از طرفی تیمار T_2 از نظر عملکرد محصول تفاوت معنی داری با تیمار T_1 نداشت و باعث افزایش کارایی مصرف آب شد در نتیجه تیمار T_2 با ۹۵۷ میلی متر نیاز آبی در منطقه پیشنهاد می شود که با نیزان برآورد نیازآبی ۹۲۵ میلی متری که توسط گلکار و همکارن (۱۳۸۷) به عنوان بیشترین کارایی مصرف آب در کرج ارایه شد مطابقت دارد

.

جدول ۳- ضرایب واکنش عملکرد گیاه و توان ماهانه

	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	$\sum$
Δt_i	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۲۱	۱۴۵
$\Delta t_i / L_i$	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۱۴	-
K_{yFAO}	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۰/۶	۰/۵	۴/۱
$\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi}}$	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۱۲	-
K_{yNaj}	۰/۹۱	۱/۲۱	۱/۲۱	۰/۷۱	۰/۶۱	۴/۶۵
$\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n} K_{yi}}$	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۱۳	-

جدول ٤- میزان تبخیر و تعرق ماهانه گوجه فرنگی در منطقه فیض آباد قزوین

تیمار	خرداد mm	تیر mm	مرداد mm	شهریور mm	مهر mm	جمع mm	میزان محصول Kg/ha	دفعات آبیاری	کارایی مصرف آب Kg/m^3
T_1	۱۱۴/۹	۲۵۶/۸	۲۹۶/۸	۲۶۹/۵	۱۳۴/۸	۱۰۷۲/۸	۸۸۵۰۰^{a}	۱۹	۸/۲۵
T_2	۱۱۴/۹	۲۶۳/۳	۲۱۰	۲۶۴/۷	۱۰۴/۵	۹۵۷/۴	۸۱۵۴۵^{a}	۱۳	۸/۵۲
T_3	۱۱۲/۷	۱۸۷/۲	۲۱۶/۴	۱۹۶/۵	۹۸/۳	۸۱۱	۷۰۵۴۵^{b}	۱۱	۸/۷۰
T_4	۱۱۴/۹	۲۲۰	۱۵۰/۲	۱۲۶	۵۲/۵	۶۶۳/۶	۵۷۰۰۰^{c}	۸	۸/۶۰

*تیمار های با حروف یکسان تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد ندارند.

مقایسه میزان عملکرد توابع تولیدی با تابع پیشنهادی

با استفاده از روش های ساده، حداقل‌گیری، میانگین‌گیری، حاصل ضربی، Raes (۲۰۰٤) و روش پیشنهادی مقدار عملکرد محصول محاسبه شد. بر اساس ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) با نتایج اندازه گیری عملکرد محصول گوجه فرنگی مورد مقایسه قرار گرفتند.

عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی به روش(۱۹۷۹) Doorenbos and Kassam به صورت ساده و برای کل دوره رشد محاسبه شد و با میزان عملکرد اندازگیری مورد مقایسه قرار گرفت ودر جدول ۵ ارائه شد، نتایج نشان داد که مقدارضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸۵ و RMSE ، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٤٧٥٧، ۰/۰٦٤و ۰/۹٦و مقدار خطای نرمال ٦ درصد بود. تابع دوم مورد بررسی روش حداقل‌گیری بود، نتایج حاصل از میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازگیری شده مورد مقایسه قرار گیرد مشاهده می شود که مقدارR^2 آن برابر با ۰/۷۲ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۱۱٦۱۷، ۰/۱٦و ۰/۸٤ و میزان خطا ی نرمال آن ۱٦درصد بود. بنابراین این روش جهت تخمین عملکردمحصول گوجه فرنگی قابل توصیه نیست. تابع سوم مورد استفاده، روش میانگین‌گیری برای بهبود و اصلاح روش حداقل بود که نتایج حاصل از این روش در مقایسه با میزان عملکرد اندازگیری نشان داد که مقدارضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٦٨٤٦، ۰/۰۹۳و ۰/۹۱و میزان خطای نرمال ۹ درصد بود. تابع چهارم، روش حاصل ضربی است که نتایج حاصل از این روش در مقایسه با میزان عملکرد اندازگیری نشان می دهد که مقدارضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۷٤ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۷۵۷۱، ۰/۵۱و ۰/۰٦و مقدار خطای نرمال ۵۱ درصد بود لذا این روش برای تخمین عملکرد گوجه فرنگی قابل توصیه نیست. تابع پنجم مورد استفاده روش (۲۰۰٤) Raes است که مقایسه نتایج حاصل از این روش با میزان عملکرد محصول اندازگیری شده نشان داد که مقدارضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٥٦۹۱، ۰/۰۷۷و ۰/۹٤و مقدار خطای نرمال ۸ درصد بود. نهایت تابع ششم، روش پیشنهادی است که با اعمال ضرایب جدید بر اساس ضرایب واکنش عملکرد گیاه جهت اصلاح روش(۲۰۰٤) Raes به منظور رسیدن به نتایج مطلوب ارایه شد ،مقایسه میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازگیری در این نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٤۳٤۸، ۰/۰۵۹و ۰/۹۷و مقدار خطای نرمال ٦ درصد بود و سپس عملکرد روش پیشنهادی با ضرایب اصلاحی که (۲۰۱۱) .Najarchi et al در روش تخمین عملکرد محصول گوجه فرنگی انجام داده بودند مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که در روش پیشنهادی مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٤۰۰۷، ۰/۰۵٤ و ۰/۹۸و مقدار خطای نرمال ۵ درصد بود. نتایج جدول ۵ نشان داد که ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) روش‌های پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش های پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes ، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند،کوچک بودن مقادیر خطای استاندارد ها نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند. در نتیجه روش پیشنهادی کمترین مقدار خطا را داشت . ضریب توافق نشان داد که روش پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes ، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری، و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و ضریب تبیین (R^2) نشان داد که روش های پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes، ساده، میانگین‌گیری،حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و هرچه ضرایب تبیین وتوافق بیشتر باشند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی بیشترین مقدار را داشت. که این نتایج مطابق با نتایج گزارش شده توسط(۲۰۱۳).Tafteh et al داشت. مقایسه کاربرد ضریب واکنش عملکرد محصول گوجه فرنکی روش پیشنهادی با ضرایب اصلاحی (۲۰۱۱) .Najarchi et al نشان داد که روش پیشنهادی با کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال

شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشت در نتیجه روش پیشنهادی روش مناسب برای تعیین ضریب واکنش عملکرد محصول گوجه فرنگی توصیه می شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد محصول حاصل از توابع تولید بر حسب کیلوگرم بر هکتار

روش												
پیشنهادی		ریس		حاصل ضربی		میانگین گیری		حداقل‌گیری		ساده		اندازه گیری شده
K_{yNAJ}	k_{yFAO}	K_{yNAJ}	k_{yFAO}	K_{yNAJ}	k_{yFAO}	K_{yNAJ}	k_{yFAO}	K_{yNAJ}	k_{yFAO}	K_{yNAJ}	k_{yFAO}	
۹۴۲۶۶	۹۴۴۲۲	۹۴۴۷۸	۹۴۶۴۳	۸۸۵۶۸	۸۹۳۵۹	۹۴۴۶۹	۹۴۶۳۶	۹۳۷۲۲	۹۳۹۲۹	۹۴۰۳۶	۹۴۲۲۲	۸۸۶۶۰
۹۴۲۶۶	۹۴۴۲۲	۹۴۴۷۸	۹۴۶۴۳	۸۸۵۶۸	۸۹۳۵۹	۹۴۴۶۹	۹۴۶۳۶	۹۳۷۲۲	۹۳۹۲۹	۹۴۰۳۶	۹۴۲۲۲	۸۹۳۴۰
۹۴۲۶۶	۹۴۴۲۲	۹۴۴۷۸	۹۴۶۴۳	۸۸۵۶۸	۸۹۳۵۹	۹۴۴۶۹	۹۴۶۳۶	۹۳۷۲۲	۹۳۹۲۹	۹۴۰۳۶	۹۴۲۲۲	۸۷۵۰۰
۸۵۴۰۰	۸۶۳۸۰	۸۶۵۷۵	۸۷۶۱۷	۵۷۰۸۲	۶۰۶۴۷	۸۶۶۴۰	۸۷۶۷۶	۸۲۳۳۴	۸۳۵۷۶	۸۴۰۴۳	۸۵۱۷۷	۸۲۷۸۶
۸۵۴۰۰	۸۶۳۸۰	۸۶۵۷۵	۸۷۶۱۷	۵۷۰۸۲	۶۰۶۴۷	۸۶۶۴۰	۸۷۶۷۶	۸۲۳۳۴	۸۳۵۷۶	۸۴۰۴۳	۸۵۱۷۷	۸۰۳۰۴
۸۵۴۰۰	۸۶۳۸۰	۸۶۵۷۵	۸۷۶۱۷	۵۷۰۸۲	۶۰۶۴۷	۸۶۶۴۰	۸۷۶۷۶	۸۲۳۳۴	۸۳۵۷۶	۸۴۰۴۳	۸۵۱۷۷	۸۱۵۴۵
۷۰۰۳۴	۷۲۴۵۸	۷۲۸۷۵	۷۵۴۵۲	۲۴۰۰۵	۲۸۶۲۴	۷۳۶۳۶	۷۶۰۸۸	۶۲۸۶۰	۶۵۷۸۲	۶۷۳۴۰	۷۰۰۵۸	۶۹۳۴۸
۷۰۰۳۴	۷۲۴۵۸	۷۲۸۷۵	۷۵۴۵۲	۲۴۰۰۵	۲۸۶۲۴	۷۳۶۳۶	۷۶۰۸۸	۶۲۸۶۰	۶۵۷۸۲	۶۷۳۴۰	۷۰۰۵۸	۷۰۳۰۴
۷۰۰۳۴	۷۲۴۵۸	۷۲۸۷۵	۷۵۴۵۲	۲۴۰۰۵	۲۸۶۲۴	۷۳۶۳۶	۷۶۰۸۸	۶۲۸۶۰	۶۵۷۸۲	۶۷۳۴۰	۷۰۰۵۸	۷۱۹۸۳
۶۳۲۵۹	۶۶۳۴۸	۶۶۷۴۰	۷۰۰۳۳	۱۵۴۴۵	۱۹۷۰۳	۶۸۰۹۲	۷۱۱۴۸	۵۴۵۵۸	۵۸۳۲۵	۶۰۲۱۹	۶۳۶۱۲	۵۷۸۲۷
۶۳۲۵۹	۶۶۳۴۸	۶۶۷۴۰	۷۰۰۳۳	۱۵۴۴۵	۱۹۷۰۳	۶۸۰۹۲	۷۱۱۴۸	۵۴۵۵۸	۵۸۳۲۵	۶۰۲۱۹	۶۳۶۱۲	۵۶۴۴۲
۶۳۲۵۹	۶۶۳۴۸	۶۶۷۴۰	۷۰۰۳۳	۱۵۴۴۵	۱۹۷۰۳	۶۸۰۹۲	۷۱۱۴۸	۵۴۵۵۸	۵۸۳۲۵	۶۰۲۱۹	۶۳۶۱۲	۵۶۷۳۱
۴۰۰۷	۴۳۴۸	۴۰۹۷	۵۶۹۱	۴۱۳۳۶	۳۷۵۷۱	۵۱۹۸	۶۸۴۶	۱۴۵۹۹	۱۱۶۱۷	۵۲۸۵	۴۷۵۷	RMSE
۰/۰۵۴	۰/۰۵۹	۰/۰۵۶	۰/۰۷۷	۰/۵۶۰	۰/۵۰۹	۰/۰۷۰	۰/۰۹۳	۰/۱۹۸	۰/۱۵۷	۰/۰۷۲	۰/۰۶۴	NRMSE
۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۹۶	۰/۹۶	d
۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۶۸	۰/۷۲	۰/۸۶	۰/۸۵	R^2

برآورد مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی (ky)بر اساس توان ماهانه (روش پیشنهادی)

ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی (k_y) توسط رابطه بین عملکرد گیاه ،تنش آبی (که ناشی از کم آبیاری در مرحله خاص یا کل مرحله رویش گیاه اتفاق می افتد) توصیف می گردد(Doorenbos ۱۹۷۷ and Kassam,). به منظور دست یابی دقیق تر به ضرایب مناسب توابع تولید در منطقه واسنجی و ارزیابی روش ها از داده های مزرعه ای استفاده شد و ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی به صورت هفتگی برآورد گردید لیکن مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول بر اساس توان ماهانه روش جدید در جدول شماره ٦ ارائه شد. با توجه به جدول مشاهده شد که مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه های خرداد تیر، مرداد، شهریور و مهر با استفاده از تابع پیشنهادی به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱، ۱/۱٤ و ۰/٤ شد. که در مقایسه با نتایج (۱۹۷۹) Doorenbos and kassam، و(۱۹۸۰) Giardini and Giovanardi ، و(۲۰۰۷) Gatta et al. (۲۰۰۵)، Perniola et al. و(۲۰۰٤) Kirda et al. که ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی را بین ۰/٤۸ تا ۱/٤ گزارش کردند، مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول این آزمایش، با نتایج اختلاف جزئی وجود دارد که ناشی از بذر، اقلیم، نوع خاک و نوع تابع تولید محصول می باشد لیکن نوع تابع تولید تاثیر بیشتری داشت و این یافته، نتایج بدست آمده در جدول ٦ تأیید می کند. با داده های ثابت و تغییر تابع تولید مقادیر متفاوتی برای ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی بدست آمد نتایج نشان داد که تابع پیشنهادی قابلیت تطابق پذیری بیشتری دارد وعمدتا وابسته به ضریب واکنش عملکرد بود. نتایج نشان دهنده آن است که برای هر منطقه توابع تولید و ضریب واکنش عملکرد محصول بایستی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

جدول ٦- مقایسه میانگین ضرایب واکنش عملکرد گیاه حاصل از توابع

		خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	متوسط	RMSE	NRMSE	d	R^2
روش ساده	k_y	–	–	–	–	–	۱/۱۶	۴۳۵۲	۰/۰۶۰	۰/۹۵	۰/۸۶
حداقل‌گیری	k_y	۰/۸	۱/۱	۱/۱	۰/۶	۰/۵	۰/۸۲	۱۰۷۱۱	۰/۱۴۳	۰/۸۶	۰/۷۵
میانگین‌گیری	k_y	۰/۶۱	۰/۷۱	۱/۲۱	۱/۲۱	۰/۹۱	۰/۹۳	۵۰۱۹	۰/۰۶۵	۰/۹۴	۰/۹۷
حاصل ضربی	k_y	۰/۸۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۸۳	۳۳۴۲۲	۰/۴۸۳	۰/۰۸	۰/۷۵
ریوز	k_y	۰/۶۵	۰/۷۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۰/۹۵	۰/۹۷	۳۹۲۲	۰/۰۵۱	۰/۹۷	۰/۹۸
پیشنهادی	k_y	۰/۷	۱/۱	۱/۱	۱/۱۴	۰/۴	۰/۸۹	۳۸۴۲	۰/۰۴۸	۰/۹۷	۰/۹۸

مقایسه بین مقادیر ضرایب واکنش عملکرد گوجه فرنگی(ky)

با استفاده از روش های تجربی ساده، حداقل-گیری، میانگین‌گیری، حاصل ضربی، (۲۰۰٤) Raes و روش پیشنهادی مقدار ضریب واکنش عملکرد(ky) محاسبه شد و با مقدار اندازه گیری مورد مقایسه قرار گرفت(جدول شماره ٦) و بر اساس ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) با نتایج اندازه گیری عملکرد محصول گوجه فرنگی مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج نشان داده که: ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی را به روش(۱۹۷۹) Doorenbos and Kassam به صورت ساده محاسبه شده و برای کل دوره رشد با مقدار اندازه گیری مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که که مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸٦ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ٤۳۵۲، ۰/۰٦و ۰/۹۵ و مقدار خطای نرمال آن در حالت بهینه ٦ درصد بود. تابع دوم مورد بررسی در این روش حداقل گیری بود که این روش بر اساس حداقل تنش وارده بر گیاه در طول دوره کشت عمل می کند. نتایج حاصل از این روش در مقایسه با مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده نشان داد که مقدار ضریب تبیین(R^2) آن برابر با ۰/۷۵ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۱۰۷۱۱، ۰/۱٤و ۰/۸٦ و میزان خطا ی نرمال آن در حالت بهینه ۱٤ درصد بود. تابع سوم روش میانگین‌گیری برای بهبود و اصلاح روش حداقل‌گیری بود که نتایج حاصل از این روش در مقایسه با مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده نشان داد که ضریب تبیین(R^2) آن برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۵۰۱۹، ۰/۰٦۵و ۰/۹٤و میزان خطای نرمال در حالت بهینه ۷ درصد بود. تابع چهارم، روش حاصل ضربی است که با استفاده از حاصلضرب مقادیر تنش میزان کاهش محصول نشان می دهد نتایج حاصل گویای آن است که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده با مقدار ضریب واکنش اندازه گیری مورد مقایسه قرار گیرد مشاهده می شود که مقدارR^2 آن برابر با ۰/۷۵ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۳٤۲۲، ۰/٤۸و ۰/۰۸و مقدار خطای نرمال در حالت بهینه ٤۸ درصد بود. این روش تخمین مناسبی از عملکرد گوجه فرنگی توصیه نمی دهد. تابع پنجم روش(۲۰۰٤) Raes است که بر اساس ضرایب توانی وابسته به طول دوره رشد و بازه زمانی ماهانه است نتایج جدول ٦ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده اگر با مقدار اندازه گیری مورد مقایسه قرار گیرد. مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۹۲۲، ۰/۰۵و ۰/۹۷و مقدار خطای نرمال ۵ درصد بود. تابع ششم روش پیشنهادی است که مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول را بر اساس توان ماهانه و بازه زمانی ماهانه محاسبه می شود نتایج جدول ٦ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده از روش پیشنهادی را با مقدار اندازه گیری مورد مقایسه قرار گیرد مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و

RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۸٤۲، ۰/۰٤۸و ۰/۹۷و مقدار خطای نرمال ۵ درصد بود.

ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش های پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند لذا هر مقادیر خطا کمتر باشند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی و (۲۰۰٤) Raes کمترین مقدار خطا را داشتند. همچنین ضریب توافق و ضریب تبیین (R^2) نشان داد که روش های پیشنهادی، (۲۰۰٤) Raes ، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. لذا هر چقدر این مقادیر بیشتر باشند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی و (۲۰۰٤) Raes بیشترین مقدار را داشتند. مطابقت آماری حاصل شده نشان داد که روش پیشنهادی کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشتند در نتیجه روش پیشنهادی روش مناسبی برای منطقه توصیه می شود. لذا با توجه به این روش مقدار ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی در قزوین برآورد شد.

دوره رشد گیاه گوجه فرنگی به روش مورفولوژیکی به چهار مرحله ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی رشد تقسیم شد (۲۰۰۱) Kassam and Smith (۱۹۷۹) ;Doorenbos and kassam. مرحله ابتدایی رشد گیاه ۲۵ روز بود که پوشش کامل و توسعه‌ی گیاه و اندام-های هوایی انجام نشده است. مرحله توسعه گیاه حدود ۳۵ روز بود که به علت افزایش سرعت رشد اندام‌های هوایی، به آب بیشتری نیاز داشت لذا تبخیر-تعرق گیاه به سرعت افزایش یافت. مرحله میانی رشد گیاه برابر با ٦۰ روز بود در این مرحله از رشد گیاه سطح برگ به حداکثر خود رسید و تمام اندام‌های گیاهی سبز بود و دارای فتوسنتز کامل می باشند در این مرحله رشد گیاه تبخیر-تعرق در سطح بالایی است و مرحله انتهایی حدود ۳۰ روز است که این مرحله از رشد گیاه اندام‌های گیاهی زرد شد و سطح برگ کاهش یافت در نتیجه مقدار تبخیر-تعرق گیاه به سرعت نزول می یابد. با توجه به مقادیر ضریب واکنش پیشنهادی (K_y) ارائه شده در جدول٦ مشاهده می شود که مقادیر ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱٤ و ۰/٤ شد و متوسط آن برای دوره رشد گوجه فرنگی برابر با ۰/۸۹ بدست آمد. ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی برای مراحل رشد گیاه را (۱۹۷۹) Doorenbos and kassam بین ۰/٤ تا ۱/۱ و برای کل مرحله رویش گیاه برابر با ۱/۰۵ گزارش کردند که در مقایسه با روش پیشنهادی در حداقل ها با هم برابرند لیکن در حداکثر مقدار ضریب واکنش ۸ درصد بیشتر برآورد می شود. بنابراین در این منطقه در دوره رشد میانی گوجه فرنگی حساسیت بیشتری نشان می دهد و در مقایسه با نتایج (۲۰۰۵) .Perniola et alکه حداکثر ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی را ۱/٤ گزارش کردند ۱۸ درصد کمتر است. ضریب واکنش پیشنهادی در مقایسه با نتایج (۲۰۰۷) .Gatta et al و (۲۰۰٤) .Kirda et al و همکاران که متوسط ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی را به ترتیب ۰/٦۱ و ۰/٦۸ اعلام کردند ۳۱ و ۲۳ درصد بیشتر برآورد می شود و در مقایسه با نتایج (۱۹۸۰) Giardini and Giovanardi مقدار ضریب واکنش در حداقل ۲۰ درصد کمتر و در حداکثر ۱۲ درصد بیشتر برآورد می شود. با توجه به ارقام بذر، تغییر اقلیم و نوع تابع تولید محصول محققان مقادیر متفاوتی را برای ضریب واکنش عملکرد محصول ارائه نمودند. بنابراین جهت تعیین دقیق ضریب واکنش عملکرد در هر منطقه قبل از هر کاری نیاز به پایلوت های آزمایش دقیق خواهد بود زیرا کوچکترین تغییر در این ضرایب و نوع تابع تولید تاثیر زیادی بر دقت تخمین محصول خواهد داشت.

بحث و نتیجه‌گیری

در روش Doorenbos and Kassam (۱۹۷۹) با استفاده از ضرایب Najarchi et al. (۲۰۱۱) میزان خطا از ٦ درصد به ۷ درصد افزایش یافت. در روش حداقل-گیری، میزان خطا از ١٦ به ۲۰ درصد افزایش یافت، ولی در روش میانگین‌گیری ضرایب Najarchi et al. (۲۰۱۱) خطا را از ۹ به ۷ درصد کاهش داد. روش حاصل ضربی خطای بالایی داشت و با استفاده از ضرایب (۲۰۱۱ Najarchi et al.) خطا به ٥٦ درصد رسید. مقایسه روش(۲۰۰٤) Raes با ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱) ، نشان داد که میزان خطا به ٦ درصد کاهش یافت. روش پیشنهادی که وزن دهی توانی به میزان ضریب واکنش عملکرد ارتباط دارد با ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱) خطا به ٥ درصد کاهش پیدا کرد. مطابقت آماری نشان دهنده آن است که روش پیشنهادی کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را دارد. دلیل آن است که آنچه بر وزن دهی موثرتر است طول دوره رویش نیست بلکه میزان واکنش عملکرد گیاه در آن دوره ها است.

بنابراین روش پیشنهادی جواب های قابل قبول را ارائه می کند. با توجه به نتایج حاصل، مشاهده شد که نیاز آبی گیاه گوجه فرنگی در کل دوره رشد برابر با ۱۰۷۳ میلی متر شد و تیمارT_1 با حداکثر عملکرد محصول برابر ۸۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار T_4 با حداقل عملکرد محصول برابر ٥۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه های خرداد تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱، ۱/۱٤ و ۰/٤ شد. مقادیر ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۱/۱،۰/۷، ۱/۱٤ و ۰/٤ شد و متوسط آن برای دوره رشد گوجه فرنگی برابر با ۰/۸۹ بدست آمد. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری، نشان می دهد که روش پیشنهادی کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشتند. در نتیجه روش پیشنهادی با ضرایب فوق به عنوان روشی مناسب برای تخمین محصول گیاه گوجه فرنگی در دشت قزوین توصیه می شود.

فهرست منابع:

۱. ابراهیمی پاک ، ن. ع، مشیری، ف. ۱۳۹۱. اثر دور آبیاری و سطوح کودی پتاسیم و کلسیم بر کمیت و کیفیت ظهور پوسیدگی گل گاه گوجه فرنکی. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ایران، شماره ١٦۲۸، ناشر مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۲. پوزش شیرازی، م. ۱۳۸٤. بررسی تاثیر مقادیر مختلف پتاسیم بر کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی گیاه گوجه فرنگی در استان بوشهر. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳٦. شماره ٦. ص : ۱٥٤۸-۱٥۳۹.

۳. رزمی، ز. و قائمی، ع. ا. ۱۳۹۰. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه فرنگی در شرایط گلخانه شیشه ای. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. شماره ۷. ص ۸٦-۷٥.

۴. زمردی، ش.، ا، نورجو. و امامی ع. ۱۳۸٥. بررسی اثر کم آبیاری در کمیت، کیفیت و قابلیت نگهداری گوجه فرنگی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷ (۲۷): ۱۹-۳۰.

٥. صدیق، ه. ۱۳۷٥. بررسی نتایج آزمایشات اثر متقابل آبیاری و کود شیمیائی بر روی گوجه فرنگی در ایستگاه گلمگان استان خراسان، مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۶. عابدی کوپایی ج.، اسلامیان. س. س. و زارعیان. م. ج. ۱۳۹۰. اندازه گیری و مدل سازی نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار، گوجه فرنگی و فلفل با استفاده از میکرولایسیمتر در گلخانه. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. شماره ۷. ص ۶۳-۵۱.

۷. نودهی. د. ا. و چراتی. ع. ۱۳۹۱. تاثیر کم آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب گوجه فرنگی در مازندران. اولین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه. ص ۵۹.

۸. حسینی، س. ر.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا.، مشایخی، ک. و صدوقی، م. ۱۳۹۰. آبیاری گیاه گوجه فرنگی با آب شور و ارائه معادله تبخیر- تعرق واقعی.یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

۹. حسینی، س. ر.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا.، مشایخی، ک. و صدوقی، م. ۱۳۹۰. آبیاری گیاه گوجه فرنگی با آب شور و ارائه معادله تبخیر-تعرق واقعی. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

۱۰. حسینی، س. ر.، شریفان، ح.، هزارجریبی، ا.، مشایخی، ک. و صدوقی، م. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر- تعرق گیاه گوجه‌فرنگی و محاسبه ضریب گیاهی در شرایط آبیاری با آب شور. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

۱۱. مظفریان،م. و م. حقیقی.۱۳۹۱. بررسی اثر هیومیک اسید بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی درکشت های گلخانه ای. اولین کنگره کشاورزی در شرایط محیطی دشوار. رامهرمز.

۱۲. نورمهناد، ن.، م، نوری.، و ع. محمدخانی. ۱۳۸۶. بررسی تاثیر کم آبیاری سنتی و آبیاری بخشی بر عملکرد و راندمان مصرف آب گوجه فرنگی. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

13. Allen, R.Pereira,L.S., Raes,D., Smith,m., 1998.Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements.FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, Italy.
14. Baghani, J. and Alizadeh, A.1999 . Crop yield and water use efficiency of drip irrigation and gully. Journal of Agricultural Engineering Research. Volume 5. No. 18:10-19.
15. Doorenbos, J. and A. H. Kassam. (1979)."Yield response to Water." irrigation and drainage. Paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.
16. English, M., 1990. Deficit irrigation, I. Analytical framework. J. Irrig. Drain. Eng. 116, pp:399-412.
17. FAO (1992). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage paper No. 26. Rome.
18. Farhmand, A. R., Fardad, H., and Liyaghat, M.2004 . Effect of diets with different levels of irrigation and nitrogen on yield and water use efficiency in tomato. National Student Conference soil and water resources. Shiraz University.
19. Gatta G.; Giuliani M.M.; Monteleone M.; Nardella E.; De Caro A. 2007. Deficit irrigation scheduling in processing tomato. Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs. Vol. 1 . pp: 277-289.
20. Giardini, L., Giovanardi, R. (1980). Aspetti biologici e produttivi ed evapotraspirazione del pomodoro da pelati (Lycopersicon esculentum Mill.) in funzione del regime idrico del terreno. Riv. Agron., 14 (4): 515-527.
21. Golkar, F., Farhmand, A. R., and Fardad, H. 2008. Effect of irrigation on yield and water use efficiency in tomato. Journal of Water Engineering. First year. Page 13-19.
22. Hartz, T. K. (1993). Dirp Irrigation scheduling for fresh market tomato production. Hort. Science. 2811: 35-37.
23. Jensen, J.W. 1968. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. (Ed.), Water Deficit and Plant Growth. 2 :1–22.
24. Kassam, A. and M. Smith .2001. AEO methodologies on crop water use and crop water productivity. ww.fao.org/AG/AGL/aglw/crop water/docs/mehod.pdf

25. Kipkorir, E.C. 2002. Optimal planning of deficit irrigation for multiple crop systems according t o user specified strategy. Dissertationes de Agricultural. No. 514. Fac. of Agr. Sciences. K.U.Leuven University, Belgium.
26. Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R., Ozguven, A.I. (2004). Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. Agric. Wat. Manag. 69: 191-201.
27. 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 Vol. 6(16), pp. 3700-3705.
28. Pascual, B. J. V., Maroto, A. San Sbutista, S. G, Lopez, J. Alagarod (2000). In fluence of watering on the yield and cracking of cherry fresh market and processing tomatos. J. Hort. Sci. Biotech. 75: 171-175.
29. Perniola, M., Lovelli, S., Pizza, S., Caponio, T., Ferrara, A. (2005). Scelta del criterio di programmazione irrigua per ottimizzare l'uso della risorsa idrica. In Atti XXXVI Convegno S.I.A., Foggia, 20-22 settembre 2005, pp. 212-213.
30. Premachandra, H., H. Saneok, K. Fujita, S. O., gata (1993): Water stress and potassium fertilization in field grown maize : Effects on leaf water relations and leaf rolling. J. Agron. And Crop. Sci. 170: 145-201.
31. Raes. D. (2004). Budjet: a soil water and salt balance model. Refrence Manual. Version 6.0 (http://www.iupware.be and select downloads and next software. last updated June 2004).
32. Rudich, J., D. Kalmer, C. Geizenberg and S. Havel (1997). Low water tensions in defined growth stage of processing tomato plant and effect and yield and quality, Hort. Sci. 52: 341-394.
33. Smagstral, A. G., S. Y. Locasic (1994): Irrigation cut back affects on drip Irrigation tomato yields. Proceeding of the Florida, 107: 113-118.
34. Stewart, J.,Cuenca, R.H., Pruitt, W.O., Hagan, R.M. Tosso, J., 1977. Determination and Utilization of water production functions for principal California Crops. In: W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep., University of California, Davis.
35. Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A., and F. Kaveh. 2013. Evaluation and Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. J. Agric. Sci.5 (3). 111- 122.
36. Veit-Kohler, U., Krumbein, A. and Kosegarten, H. 2001. Different water supply influences growth and fruit quality in tomato. Kluwer Academic publications. Printed in the Netherlands, 308-309.
37. Zotarelli L., Scholberg J.M., Dukes M.D., Carpena R. and J. Icerman.2009.Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. Agricultural water management.96: 23-34.