

ارزیابی توابع تولید برای برآورد عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف آبیاری در 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 فیزک 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؛ fhkaveh@yahoo.com

چکیده

از آنجایی که برنامه ریزی توزیع آب در دشت قزوین به صورت ماهانه انجام می‌گیرد توابعی مورد نیاز است که در بازه‌های 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 ضریبی، حاصل ضرب اصلاح شده توسط ریس و حاصل ضریبی با توان ضریب واکنش عملکرد (K_p) در منطقه قزوین انجام شد. به منظور تخمین میزان عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط کم-آبیاری از داده‌های طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای آبیاری، T_1, T_2, T_3, T_4 به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر 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 گوجه‌فرنگی در دوره رشد برابر با ۱۰۷۳ میلی‌متر 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 ضریبی بر اساس توان (K_p) ماهانه می‌باشد، نسبت به روش‌های 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 ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با ۰/۷، 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 گوجه‌فرنگی برابر با ۰/۸۹ بدست آمد.

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

مقدمه

۵۲۵۶۱۱۰ تن گوجه‌فرنگی در سال به عنوان هفتمین تولیدکننده گوجه‌فرنگی در جهان شناخته می‌شود

گوجه‌فرنگی دومین محصول مهم صیفی بعد از سیب زمینی در سطح جهان است. ایران با تولید

^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

نیاز آبی بدست آمده است و با کاهش ۶۰ درصد نیاز آبی عملکرد محصول ۷۴ درصد کاهش داشت. نتایج آزمایش (Veit-Kohler et al. ۲۰۰۱) نشان داد که کاهش مصرف آب از ۷۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد میوه در هر بوته را کاهش می‌دهد ولی بر متوسط وزن میوه، عملکرد کل و بازار پسنندی میوه موثر نیست. Hartz et al. (۱۹۹۳) گزارش کردند که با کاهش میزان آب مصرفی گوجه‌فرنگی از ۷۰ درصد به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، تعداد میوه در هر بوته به طور معنی‌دار کاهش می‌یابد، لیکن در متوسط وزن میوه، عملکرد کل و بر بازار پسنندی تاثیر ندارد و همچنین غلظت گلوکز، فروکتوز و محتوی ویتامین C و ترکیبات موثر افزایش می‌یابد و به طور کلی کیفیت محصول بهبود پیدا می‌کند. علی‌زاده و باغانی (۱۹۹۹) در آزمایشی با تاثیر سه سطح آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب آبیاری و دو روش آبیاری قطره‌ای و شیاری را بر عملکرد گوجه‌فرنگی نشان دادند که با کاهش آب مصرفی عملکرد محصول کل در هر دو روش کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش زمردی و همکاران (۱۳۸۵) نشان داد که اعمال کم آبیاری بر روی عملکرد محصول گوجه‌فرنگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و حداکثر عملکرد محصول در ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بدست آمده، تنش آبی ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) و تنش شدید آبی (۵۰ درصد نیاز آبی) در مرحله گل‌دهی عملکرد محصول را به شدت کاهش داد لیکن در سایر مراحل رشد روی عملکرد محصول تاثیر نداشت. بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۵۰ درصد و کمترین آن در تیمار ۱۲۵ درصد آب آبیاری حاصل شد. نورمهند و همکاران (۱۳۸۶) به منظور بررسی تاثیر کم آبیاری سنتی و آبیاری بخشی بر روی گوجه‌فرنگی نشان دادند که بیشترین میزان عملکرد میوه و عملکرد کل و عملکرد بازار پسنند در تیمار شاهد (آبیاری کامل) و در تیمار آبیاری بخشی در سطح ۷۵ درصد حاصل شد و همچنین راندمان مصرف آب نسبت به تیمار شاهد در تیمار آبیاری

گوجه‌فرنگی یکی از گیاهان زراعی است که به آب نسبتاً زیادی احتیاج دارد و با افزایش نیاز آبی میزان عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (Pascual et al. ۲۰۰۰). واز طرفی دقت کافی برای انجام آبیاری ایجاب می‌کند، زیرا که آبیاری غیر یکنواخت و نامرتب باعث ترکیب میوه و کاهش ۲۰ درصد محصول می‌شود (صدیق، ۱۳۷۵). گوجه‌فرنگی به تنش آبی حساسیت زیادی دارد، زمانی که در مرحله گل‌دهی و یا رشد میوه آبیاری کامل انجام شود در مقایسه با تنش آبی، عملکرد محصول گوجه‌فرنگی به ترتیب ۵۹ تا ۷۸ درصد افزایش می‌یابد 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 گوجه‌فرنگی ۶۰۰ میلی‌متر بود و حداکثر و حداقل نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی را برابر با ۶ و ۲/۴۵ میلی‌متر در روز گزارش کردند و نشان دادند که اختلاف بین ET_c و ET_0 در طول فصل رشد گیاه گوجه‌فرنگی نشان از افزایش نیاز آبی گوجه‌فرنگی در طول دوره رشد گیاه بود. عابدی و همکاران (۱۳۹۰) تبخیر-تعرق گوجه‌فرنگی در اصفهان را ۵۲۴ میلی‌متر گزارش کردند و معادله رگرسیون غیر خطی را جهت اندازه‌گیری تبخیر-تعرق پیشنهاد دادند. پوزش شیرازی (۱۳۸۴) مقدار تبخیر-تعرق گوجه‌فرنگی را در بوشهر برابر با ۶۸۵ میلی‌متر گزارش کرد و نتایج آزمایش رزمی و قائمی (۱۳۹۰) نشان داد که نیاز آبی گوجه‌فرنگی در شیراز برابر با ۶۷۹ میلی‌متر بود.

میلی متر بود و نتیجه گرفتند که با اعمال ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد کم آبی، عملکرد محصول گوجه‌فرنگی به ترتیب ۲۴، ۵۷ و ۷۴ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج آزمایش (Farhmand et al. ۲۰۰۴) نشان داد که اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده است و حداکثر کارایی مصرف آب در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین آن در ۴۰ درصد

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 حداقل گیری کاهش محصول را برای مراحل رشد ارائه کرد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \text{Min} \left\{ \frac{Y_{a1}}{Y_{p1}}, \frac{Y_{a2}}{Y_{p2}}, \dots, \frac{Y_{ai}}{Y_{pi}} \right\} \quad (2)$$

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 (۱۹۶۸) 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 (۲۰۰۴) در جهت اصلاح و افزایش دقت معادله ۴ مدل شبیه سازی بیان 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:

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

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

بخشی ۴/۶ درصد افزایش و در تیمار کم آبیاری سستی ۷/۶ 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، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی، عملکرد گوجه فرنگی را به طور معنی داری تغییر دادند و بیشترین نیاز آبی را ۵۵۰ میلی متر بود و نشان دادن که با کاهش مصرف آب به میزان ۲۰ درصد، ۴۰ درصد، ۶۰ درصد و ۸۰ درصد عملکرد محصول به ترتیب ۱۳/۷، ۳۸/۵، ۵۹ و ۷۲ درصد کاهش یافت. نتایج آزمایش Smagstral et (۱۹۹۴) al. نشان داد که اعمال کم آبیاری به میزان ۱۵، ۳۷ و ۴۰ درصد نسبت به نیاز آبی کامل گیاه، عملکرد محصول را به طور متوسط ۳۰ درصد کاهش می دهد.

بدین منظور نیاز به تعیین رابطه بین عملکرد و مقدار آب آبیاری می باشد که این گونه روابط عمدتاً به صورت غیر خطی می باشند، این مسئله نشان دهنده آن است که با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد گیاه با همان نسبت کاهش نمی یابد. کم آبیاری یک روش بهینه سازی مصرف آب است که در آن با اعمال درجه ای از کم آبی گیاه و قبول مقداری کاهش محصول، در مصرف آب صرفه جویی می شود (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 ارائه شده و تجزیه و تحلیلی که شد، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارائه کردند.

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

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (1)$$

که در آن: y_a : عملکرد واقعی، y_m : حداکثر عملکرد، ET_a :

های آزمایشی به ابعاد $2/5 \times 5$ متر در ۴ ردیف با فاصله ۶۰ 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 گرفت. 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.

$$dn = \sum_{i=1}^n (F_{ci} - \theta_i) \cdot D_i \cdot \rho_{bi} \quad (5)$$

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

طول کل هر مرحله رشد که از یک روز تا کل دوره رشد را می توان در نظر گرفت (روز)، ET_{aj} : تبخیر- تعرق واقعی در بازه زمانی j ، ET_{mj} : 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 جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه با ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریا با خاک مزرعه لومی رسی اجرا شد. این آزمایش در قالب بلوک های کامل تصادفی درسطوح آبیاری شامل T_1 ، T_2 ، T_3 به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ 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 ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی متر برداشت و جهت تجزیه های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه های 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 قطر ۶ و ارتفاع ۴ 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 اروپاتا 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

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

جدول ۱- نتایج برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرا قبل از کاشت

وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	عمق (سانتی متر)	عمق (سانتی متر)	بافت خاک	درصد رس	درصد سلت	درصد شن	رطوبت در ظرفیت نگهداری (درصد)	رطوبت در نقطه پژمردگی (درصد)	pH خاک	$Ca+Mg$ (meq/L)	Na (meq/L)	P (PPM)	K (PPM)	N (%)	SO_4 ca (meq/L)
۱/۴۴	۰-۵۰	۳۳	لومی رسی	۳۹	۲۸	۲۰	۱۱	۸/۱	۰/۷۴	۴	۴	۸	۳۶	۰/۰۹	۰
۱/۵۳	۵۰-۱۰۰	۳۹	لومی رسی	۲۹	۳۲	۲۳	۱۳	۸	۰/۸۷	۵	۵	۲	۲۸	۰/۰۶	۰

در این پژوهش به منظور اصلاح بیشتر معادله ریس (Raes, ۲۰۰۴) و افزایش دقت تابع تولید، از معادله جدید (پیشنهادی) به صورت رابطه ۷ ارائه استفاده شد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left(1 - K_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right)^{\frac{k_{yi}}{\sum_{i=1}^n K_{yi}}} \quad (7)$$

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 (Najarchi et al. ۲۰۱۱) در جدول ۳ ارائه شد.

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (8)$$

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.

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 اندازه گیری شد. و نتایج حاصل از عملکرد محصول، میزان آب مصرف شده با استفاده از برنامه آماری SPSS, Mstac آنالیز شد.

به دلیل اینکه تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در فصل 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 حداقل گیری روش میانگین گیری 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:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Y_{a1}}{Y_{p1}}, \frac{Y_{a2}}{Y_{p2}}, \dots, \frac{Y_{ai}}{Y_{pi}} \right\} \quad (6)$$

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.

که در آن d : شاخص توافق، n : تعداد داده‌ها، X : داده اندازه‌گیری شده، Y : داده تخمین زده شده توسط مدل، \bar{X} : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و \bar{Y} : میانگین داده‌های تخمین زده شده توسط مدل می‌باشد. در نهایت به منظور ارزیابی کارایی مصرف آب معادله ۱۱ استفاده شد:

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}} \quad (9)$$

که در آن $NRMSE$: ریشه مربعات خطای نرمال n : تعداد داده‌ها، X : داده اندازه‌گیری شده، Y : داده تخمین زده شده توسط مدل و \bar{X} : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{X}| + |y_i - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (10)$$

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف آبی

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

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

$$WUE = \frac{Yeild}{W} \quad (11)$$

نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی

نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی در جدول ۴ ارائه شده است با توجه به جدول مشاهده می‌شود که بیشترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی در کل دوره رشد برابر با ۱۰۷۳ میلی‌متر شد. مقادیر نیاز آبی گیاه گوجه‌که از نتایج عابدی و همکاران (۱۳۹۰) در اصفهان، حسینی و همکاران (۱۳۹۰) در گرگان، پوزش شیرازی (۱۳۸۴) در بوشهر، گلکار و همکاران (۱۳۸۷) در کرکج و رزمی و قائمی (۱۳۹۰) در شیراز برآورد کردند نسبت به تبخیر-تعرق بدست آمده به ترتیب ۴۱، ۳۴، ۲۶، 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 همکاران (۱۳۸۷) با تراکم ۴ 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

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 می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس عملکرد گوجه‌فرنگی در جدول ۲ و مقایسه میانگین عملکرد محصول، دفعات آبیاری و کارایی مصرف آب در جدول ۴ ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که اثر دور آب آبیاری بر عملکرد گوجه‌فرنگی، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. که با نتایج عابدی و همکاران (۱۳۹۰)، حسینی و همکاران (۱۳۹۰)، پوزش شیرازی (۱۳۸۴)، گلکار و همکاران (۱۳۸۷) و ابرهیمی پاک (۱۳۹۱) مطابقت دارد.

برابر با ۸۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار با کارایی ۸/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب شد و حداقل آب مصرفی برابر با ۶۶۳ میلی متر مربوط به تیمار T_۴ با عملکرد برابر با ۵۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و کارایی ۸/۶ 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_۳ و تیمار T_۱ اختلاف معنی داری وجود داشت، از طرفی تیمار T_۲ از نظر عملکرد محصول تفاوت معنی داری با تیمار T_۱ نداشت و باعث افزایش کارایی مصرف آب شد در نتیجه تیمار T_۲ با ۹۵۷ میلی متر نیاز آبی در منطقه پیشنهاد می شود که به میزان برآورد نیاز آبی ۹۲۵ میلی متری که توسط گلکار و همکاران (۱۳۸۷) به عنوان بیشترین کارایی مصرف آب در کرج ارایه شد مطابقت دارد

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 (۱۳۸۴) 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 ۶۰ 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 ۴ مشاهده شد که حداکثر نیاز آبی گیاه گوجه فرنگی مربوط به تیمار T_۱ برابر با ۱۰۷۳ میلی متر با حداکثر عملکرد محصول

جدول ۳- ضرایب واکنش عملکرد گیاه و توان ماهانه

	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	Σ
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
$\frac{\sum_{i=1}^n K_{yi}}$	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۱۲	-
K_{yNaj}	۰/۹۱	۱/۲۱	۱/۲۱	۰/۷۱	۰/۶۱	۴/۶۵
$\frac{\sum_{i=1}^n K_{yi}}$	۰/۲	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۱۳	-

جدول ۴- میزان تبخیر و تعرق ماهانه گوجه فرنگی در منطقه فیض آباد قزوین

کارایی مصرف آب Kg/m ^۳	دفعات آبیاری	میزان محصول Kg/ha	جمع mm	مهر mm	شهریور mm	مرداد mm	تیر mm	خرداد mm	تیمار
۸/۲۵	۱۹	۸۸۵۰۰ ^a	۱۰۷۲/۸	۱۳۴/۸	۲۶۹/۵	۲۹۶/۸	۲۵۶/۸	۱۱۴/۹	T _۱
۸/۵۲	۱۳	۸۱۵۴۵ ^a	۹۵۷/۴	۱۰۴/۵	۲۶۴/۷	۲۱۰	۲۶۳/۳	۱۱۴/۹	T _۲
۸/۷۰	۱۱	۷۰۵۴۵ ^b	۸۱۱	۹۸/۳	۱۹۶/۵	۲۱۶/۴	۱۸۷/۲	۱۱۲/۷	T _۳
۸/۶۰	۸	۵۷۰۰۰ ^c	۶۶۳/۶	۵۲/۵	۱۲۶	۱۵۰/۲	۲۲۰	۱۱۴/۹	T _۴

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

پیشنهادی مقدار عملکرد محصول محاسبه شد. بر اساس ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و ضریب توافق

مقایسه میزان عملکرد توابع تولیدی با تابع پیشنهادی با استفاده از روش های ساده، حداقل گیری، میانگین گیری، حاصل ضربی، (۲۰۰۴) Raes و روش

ضرایب جدید بر اساس ضرایب واکنش عملکرد گیاه جهت اصلاح روش (Raes ۲۰۰۴) به منظور رسیدن به نتایج مطلوب ارایه شد، مقایسه میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری در این نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۴۳۴۸، ۰/۰۵۹ و ۰/۹۷ و مقدار خطای نرمال ۶ درصد بود و سپس عملکرد روش پیشنهادی با ضرایب اصلاحی که (Najarchi et al. ۲۰۱۱) در روش تخمین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی 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 ۴۰۰۷، ۰/۰۵۴ و ۰/۹۸ و مقدار خطای نرمال ۵ درصد بود. نتایج جدول ۵ نشان داد که ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) روش‌های پیشنهادی، (Raes ۲۰۰۴)، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش‌های پیشنهادی، (۲۰۰۴) 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، (Raes ۲۰۰۴)، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری، و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و ضریب تبیین (R^2) نشان داد که روش‌های پیشنهادی، (Raes ۲۰۰۴)، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و هرچه ضرایب تبیین و توافق 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 Taftteh et al. (۲۰۱۳) داشت. مقایسه کاربرد ضریب واکنش عملکرد محصول گوجه‌فرنگی روش پیشنهادی با ضرایب اصلاحی (Najarchi et al. ۲۰۱۱) نشان داد که

(d) و ضریب تبیین (R^2) با نتایج اندازه‌گیری عملکرد محصول گوجه‌فرنگی مورد مقایسه قرار گرفتند. عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی به روش (Doorenbos and Kassam ۱۹۷۹) به صورت ساده و برای کل دوره رشد محاسبه شد و با میزان عملکرد اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گرفت و در جدول ۵ ارائه شد، نتایج نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸۵ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۴۷۵۷، ۰/۰۶۴ و ۰/۹۶ و مقدار خطای نرمال ۶ درصد بود. تابع دوم مورد بررسی روش حداقل‌گیری بود، نتایج حاصل از میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گیرد مشاهده می‌شود که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۷۲ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۱۱۶۱۷، ۰/۱۶ و ۰/۸۴ و میزان خطای نرمال آن ۱۶ درصد بود. بنابراین این روش جهت تخمین عملکرد محصول گوجه‌فرنگی 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 اندازه‌گیری نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۶۸۴۶، ۰/۰۹۳ و ۰/۹۱ و میزان خطای نرمال ۹ درصد بود. تابع چهارم، روش حاصل ضربی است که نتایج حاصل از این روش در مقایسه با میزان عملکرد اندازه‌گیری نشان می‌دهد که مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۷۴ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۷۵۷۱، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۶ و مقدار خطای نرمال ۵۱ درصد بود لذا این روش برای تخمین عملکرد گوجه‌فرنگی قابل توصیه نیست. تابع پنجم مورد استفاده روش (Raes ۲۰۰۴) است که مقایسه نتایج حاصل از این روش با میزان عملکرد محصول اندازه‌گیری شده نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۵۶۹۱، ۰/۰۷۷ و ۰/۹۴ و مقدار خطای نرمال ۸ درصد بود. نهایت تابع ششم، روش پیشنهادی است که با اعمال

ضریب تبیین (R^2) را داشت در نتیجه روش پیشنهادی روش مناسب برای تعیین ضریب واکنش عملکرد محصول گوجه فرنگی توصیه می شود.

روش پیشنهادی با کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و

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

اندازه گیری شده	روش											
	ساده		حداقل گیری		میانگین گیری		حاصل ضریب		ریس		پیشنهادی	
	K_{yFAO}	K_{yNAJ}	K_{yFAO}	K_{yNAJ}	K_{yFAO}	K_{yNAJ}	K_{yFAO}	K_{yNAJ}	K_{yFAO}	K_{yNAJ}	K_{yFAO}	K_{yNAJ}
۸۸۶۶۰	۹۴۲۲۲	۹۴۰۳۶	۹۳۹۲۹	۹۳۷۲۲	۹۴۶۳۶	۹۴۴۶۹	۸۹۳۵۹	۸۸۵۶۸	۹۴۶۴۳	۹۴۴۷۸	۹۴۴۲۲	۹۴۲۶۶
۸۹۳۴۰	۹۴۲۲۲	۹۴۰۳۶	۹۳۹۲۹	۹۳۷۲۲	۹۴۶۳۶	۹۴۴۶۹	۸۹۳۵۹	۸۸۵۶۸	۹۴۶۴۳	۹۴۴۷۸	۹۴۴۲۲	۹۴۲۶۶
۸۷۵۰۰	۹۴۲۲۲	۹۴۰۳۶	۹۳۹۲۹	۹۳۷۲۲	۹۴۶۳۶	۹۴۴۶۹	۸۹۳۵۹	۸۸۵۶۸	۹۴۶۴۳	۹۴۴۷۸	۹۴۴۲۲	۹۴۲۶۶
۸۲۷۸۶	۸۵۱۷۷	۸۴۰۴۳	۸۳۵۷۶	۸۲۳۳۴	۸۷۶۷۶	۸۶۶۴۰	۶۰۶۴۷	۵۷۰۸۲	۸۷۶۱۷	۸۶۵۷۵	۸۶۳۸۰	۸۵۴۰۰
۸۰۳۰۴	۸۵۱۷۷	۸۴۰۴۳	۸۳۵۷۶	۸۲۳۳۴	۸۷۶۷۶	۸۶۶۴۰	۶۰۶۴۷	۵۷۰۸۲	۸۷۶۱۷	۸۶۵۷۵	۸۶۳۸۰	۸۵۴۰۰
۸۱۵۴۵	۸۵۱۷۷	۸۴۰۴۳	۸۳۵۷۶	۸۲۳۳۴	۸۷۶۷۶	۸۶۶۴۰	۶۰۶۴۷	۵۷۰۸۲	۸۷۶۱۷	۸۶۵۷۵	۸۶۳۸۰	۸۵۴۰۰
۶۹۳۴۸	۷۰۰۵۸	۶۷۳۴۰	۶۵۷۸۲	۶۲۸۶۰	۷۶۰۸۸	۷۳۶۳۶	۲۸۶۲۴	۲۴۰۰۵	۷۵۴۵۲	۷۲۸۷۵	۷۲۴۵۸	۷۰۰۳۴
۷۰۳۰۴	۷۰۰۵۸	۶۷۳۴۰	۶۵۷۸۲	۶۲۸۶۰	۷۶۰۸۸	۷۳۶۳۶	۲۸۶۲۴	۲۴۰۰۵	۷۵۴۵۲	۷۲۸۷۵	۷۲۴۵۸	۷۰۰۳۴
۷۱۹۸۳	۷۰۰۵۸	۶۷۳۴۰	۶۵۷۸۲	۶۲۸۶۰	۷۶۰۸۸	۷۳۶۳۶	۲۸۶۲۴	۲۴۰۰۵	۷۵۴۵۲	۷۲۸۷۵	۷۲۴۵۸	۷۰۰۳۴
۵۷۸۲۷	۶۳۶۱۲	۶۰۲۱۹	۵۸۳۳۵	۵۴۵۵۸	۷۱۱۴۸	۶۸۰۹۲	۱۹۷۰۳	۱۵۴۴۵	۷۰۰۳۳	۶۶۷۴۰	۶۶۳۴۸	۶۳۲۵۹
۵۶۴۴۲	۶۳۶۱۲	۶۰۲۱۹	۵۸۳۳۵	۵۴۵۵۸	۷۱۱۴۸	۶۸۰۹۲	۱۹۷۰۳	۱۵۴۴۵	۷۰۰۳۳	۶۶۷۴۰	۶۶۳۴۸	۶۳۲۵۹
۵۶۷۳۱	۶۳۶۱۲	۶۰۲۱۹	۵۸۳۳۵	۵۴۵۵۸	۷۱۱۴۸	۶۸۰۹۲	۱۹۷۰۳	۱۵۴۴۵	۷۰۰۳۳	۶۶۷۴۰	۶۶۳۴۸	۶۳۲۵۹
RMSE	۴۷۵۷	۵۲۸۵	۱۱۶۱۷	۱۴۵۹۹	۶۸۴۶	۵۱۹۸	۳۷۵۷۱	۴۱۳۳۶	۵۶۹۱	۴۰۹۷	۴۳۴۸	۴۰۰۷
NRMS E	۰/۰۶۴	۰/۰۷۲	۰/۱۵۷	۰/۱۹۸	۰/۰۹۳	۰/۰۷۰	۰/۵۰۹	۰/۵۶۰	۰/۰۷۷	۰/۰۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۵۴
d	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷
R^2	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۶۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸

Giardini and Doorenbos and kassam (۱۹۸۰) و Giovanardi ، و (۲۰۰۷) Gatta et al. (۲۰۰۵) و Perniola et al. (۲۰۰۴) و Kirida et al. که ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی را بین ۰/۴۸ تا ۱/۴ 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 ۶ 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 و عمدتاً 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.

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 ۶ 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، ۱/۱۴ و ۰/۴ شد. که در مقایسه با نتایج (۱۹۷۹)

جدول ۶- مقایسه میانگین ضرایب واکنش عملکرد گیاه حاصل از توابع

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

مقایسه بین مقادیر ضرایب واکنش عملکرد گوجه فرنگی (k_y)

با استفاده از روش‌های تجربی ساده، حداقل‌گیری، میانگین‌گیری، حاصل‌ضربی، (Raes ۲۰۰۴) و روش پیشنهادی مقدار ضرایب واکنش عملکرد (k_y) محاسبه شد و با مقدار اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گرفت (جدول شماره ۶) 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 اندازه‌گیری عملکرد محصول گوجه فرنگی مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج نشان داده که: ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی را به روش (Doorenbos and Kassam ۱۹۷۹) به صورت ساده محاسبه شده و برای کل دوره رشد با مقدار اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر با ۰/۸۶ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۴۳۵۲، ۰/۰۶ و ۰/۹۵ و مقدار خطای نرمال آن در حالت بهینه ۶ درصد بود. تابع دوم مورد بررسی در این روش حداقل‌گیری بود که این روش بر اساس حداقل‌تنش وارده بر گیاه در طول دوره کشت عمل می‌کند. 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، ۰/۱۴ و ۰/۸۶ و میزان خطای نرمال آن در حالت بهینه ۱۴ 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، ۰/۰۶۵ و ۰/۹۴ و میزان خطای نرمال در حالت بهینه ۷ درصد بود. تابع چهارم، روش حاصل‌ضربی است که با استفاده از حاصل‌ضرب مقادیر تنش میزان کاهش محصول نشان می‌دهد نتایج حاصل‌گویی آن است که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده با مقدار ضریب واکنش اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد مشاهده می‌شود که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۷۵ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۳۴۲۲، ۰/۴۸ و ۰/۰۸ و مقدار خطای نرمال در حالت بهینه ۴۸ درصد بود. این روش تخمین مناسبی از عملکرد گوجه فرنگی توصیه نمی‌دهد. تابع پنجم روش (Raes ۲۰۰۴) است که بر اساس ضرایب توانی وابسته به طول دوره رشد و بازه زمانی ماهانه است نتایج جدول ۶ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده اگر با مقدار اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد. مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن بترتیب برابر با ۳۹۲۲، ۰/۰۵ و ۰/۹۷ و 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 می‌شود نتایج جدول ۶ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده از روش پیشنهادی را با مقدار اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد مقدار ضریب تبیین (R^2) آن برابر با ۰/۹۸ و

تغرق 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-تغرق گیاه به سرعت نزول می‌یابد. با توجه به مقادیر ضریب واکنش پیشنهادی (K_p) ارائه شده در جدول ۶ مشاهده می‌شود که مقادیر ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱۴ و ۰/۴ 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 (Doorenbos and kassam ۱۹۷۹) بین ۰/۴ تا ۱/۱ و برای کل مرحله رویش گیاه برابر با ۱/۰۵ گزارش کردند که در مقایسه با روش پیشنهادی در حداقل‌ها با هم برابرند لیکن در حداکثر مقدار ضریب واکنش ۸ درصد بیشتر برآورد می‌شود. بنابراین در این منطقه در دوره رشد میانی گوجه فرنگی حساسیت بیشتری نشان می‌دهد و در مقایسه با نتایج Perniola et al. (۲۰۰۵) که حداکثر ضریب واکنش عملکرد گوجه فرنگی را ۱/۴ گزارش کردند ۱۸ درصد کمتر است. ضریب واکنش پیشنهادی در مقایسه با نتایج Gatta et al. (۲۰۰۷) و Kirida et al. (۲۰۰۴) و همکاران که متوسط ضریب واکنش عملکرد گیاه گوجه فرنگی را به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۶۸ اعلام کردند ۳۱ و ۲۳ درصد بیشتر برآورد می‌شود و در مقایسه با نتایج (Giardini and Giovanardi ۱۹۸۰) مقدار ضریب واکنش در حداقل ۲۰ درصد کمتر و در حداکثر ۱۲ درصد بیشتر برآورد می‌شود. 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 پایلوت‌های آزمایش دقیق خواهد بود زیرا کوچکترین تغییر در این ضرایب و نوع تابع تولید تاثیر زیادی بر دقت تخمین محصول خواهد داشت.

RMSE، NRMSE و d آن برترتیب برابر با ۰/۴۸، ۳۸۴۲ و ۰/۹۷ و مقدار خطای نرمال ۵ درصد بود.

ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش‌های پیشنهادی، (Raes ۲۰۰۴) ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل‌ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند لذا هر مقادیر خطا کمتر باشند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی و (Raes ۲۰۰۴) کمترین مقدار خطا را داشتند. همچنین ضریب توفیق و ضریب تبیین (R^2) نشان داد که روش‌های پیشنهادی، (Raes ۲۰۰۴) ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل‌ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. لذا هر چه قدر این مقادیر بیشتر باشند نشان دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی و (Raes ۲۰۰۴) 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 توفیق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشتند در نتیجه روش پیشنهادی روش مناسبی برای منطقه توصیه می‌شود. 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 (Kassam and Smith ۲۰۰۱); Doorenbos and kassam (۱۹۷۹) مرحله ابتدایی رشد گیاه ۲۵ روز بود که پوشش کامل و توسعه‌ی گیاه و اندام‌های 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-تغرق گیاه به سرعت افزایش یافت. مرحله میانی رشد گیاه برابر با ۶۰ روز بود در این مرحله از رشد گیاه سطح برگ به حداکثر خود رسید و تمام اندام‌های گیاهی سبز بود و دارای فتوسنتز کامل می‌باشند در این مرحله رشد گیاه تبخیر-

بحث و نتیجه‌گیری

بنابراین روش پیشنهادی جواب‌های قابل قبول را ارائه می‌کند. با توجه به نتایج حاصل، مشاهده شد که نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی در کل دوره رشد برابر با ۱۰۷۳ میلی‌متر شد و تیمار T₁ با حداکثر عملکرد محصول برابر ۸۸۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار T_۴ با حداقل عملکرد محصول برابر ۵۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های خرداد تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با ۰/۷، ۱/۱، ۱/۱، ۱/۱۴ و ۰/۴ شد. مقادیر ضریب واکنش عملکرد گوجه‌فرنگی برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۱/۱۴، ۰/۷، ۱/۱، ۰/۴ شد و متوسط آن برای دوره رشد گوجه‌فرنگی برابر با ۰/۸۹ بدست آمد. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری، نشان می‌دهد 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^۲) را داشتند. در نتیجه روش پیشنهادی با ضرایب فوق به عنوان روشی مناسب برای تخمین محصول گیاه گوجه‌فرنگی در دشت قزوین توصیه می‌شود.

در روش Doorenbos and Kassam (۱۹۷۹) با استفاده از ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱) میزان خطا از ۶ درصد به ۷ درصد افزایش یافت. در روش حداقل-گیری، میزان خطا از ۱۶ 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 ضریب خطای بالایی داشت و با استفاده از ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱) روش (Raes ۲۰۰۴) با ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱)، نشان داد که میزان خطا به ۶ درصد کاهش یافت. روش پیشنهادی که وزن دهی توانی به میزان ضریب واکنش عملکرد ارتباط دارد با ضرایب (Najarchi et al. ۲۰۱۱) خطا به ۵ 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^۲) را دارد. دلیل آن است که آنچه بر وزن دهی موثرتر است طول دوره رویش نیست بلکه میزان واکنش عملکرد گیاه در آن دوره‌ها است.

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 گل‌گاه گوجه‌فرنگی. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی ایران، شماره ۱۶۲۸، ناشر مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
۲. پوزش شیرازی، م. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر مقادیر مختلف پتاسیم بر کارایی مصرف آب و تحمل به خشکی گیاه گوجه‌فرنگی در استان بوشهر. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۶. شماره ۶. ص: ۱۵۴۸-۱۵۳۹.
۳. رزمی، ز. و قائمی، ع. ا. ۱۳۹۰. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه‌فرنگی در شرایط گلخانه شیشه‌ای. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. شماره ۷. ص: ۷۵-۸۶.
۴. زمردی، ش.، ا. نورجو. و امامی، ع. ۱۳۸۵. بررسی اثر کم آبیاری در کمیت، کیفیت و قابلیت نگهداری گوجه‌فرنگی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷ (۲۷): ۱۹-۳۰.
۵. صدیق، ه. ۱۳۷۵. بررسی نتایج آزمایشات اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی بر روی گوجه‌فرنگی 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 میکروولایسیمتر در گلخانه. مجله علوم و فنون کشت های گلخانه ای. شماره ۷. ص ۵۱-۶۳.
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 گوجه فرنگی 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 در کشت های گلخانه ای. اولین کنگره کشاورزی در شرایط محیطی دشوار. رامهرمز.
۱۲. نورمهند، 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.
۱۳. Allen, R.Pereira,L.S., Raes,D., Smith,m., ۱۹۹۸. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. ۵۶. Rome, Italy.
۱۴. Baghani, J. and Alizadeh, A. ۱۹۹۹. Crop yield and water use efficiency of drip irrigation and gully. Journal of Agricultural Engineering Research. Volume ۵. No. ۱۸: ۱۰-۱۹.
۱۵. Doorenbos, J. and A. H. Kassam. (۱۹۷۹). "Yield response to Water." irrigation and drainage. Paper No. ۳۳, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.
۱۶. English, M., ۱۹۹۰. Deficit irrigation, I. Analytical framework. J. Irrig. Drain. Eng. ۱۱۶, pp: ۳۹۹-۴۱۲.
۱۷. FAO (۱۹۹۲). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage paper No. ۲۶. Rome.
۱۸. Farhmand, A. R., Fardad, H., and Liyaghat, M. ۲۰۰۴. 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.
۱۹. Gatta G.; Giuliani M.M.; Monteleone M.; Nardella E.; De Caro A. ۲۰۰۷. Deficit irrigation scheduling in processing tomato. Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs. Vol. ۱. pp: ۲۷۷-۲۸۹.
۲۰. Giardini, L., Giovanardi, R. (۱۹۸۰). Aspetti biologici e produttivi ed evapotraspirazione del pomodoro da pelati (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in funzione del regime idrico del terreno. Riv. Agron., ۱۴ (۴): ۵۱۵-۵۲۷.
۲۱. Golkar, F., Farhmand, A. R., and Fardad, H. ۲۰۰۸. Effect of irrigation on yield and water use efficiency in tomato. Journal of Water Engineering. First year. Page ۱۳-۱۹.
۲۲. Hartz, T. K. (۱۹۹۳). Dirp Irrigation scheduling for fresh market tomato production. Hort. Science. ۲۸(۱): ۳۵-۳۷.
۲۳. Jensen, J.W. ۱۹۶۸. Water consumption by agricultural plants. In: Kozłowski, T. (Ed.), Water Deficit and Plant Growth. ۲: ۱-۲۲.
۲۴. Kassam, A. and M. Smith. ۲۰۰۱. AEO methodologies on crop water use and crop water productivity. [www.fao.org/AG/AGL/aglw/crop water/docs/mehod.pdf](http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/crop%20water/docs/mehod.pdf)

۲۵. Kipkorir, E.C. ۲۰۰۲. Optimal planning of deficit irrigation for multiple crop systems according to user specified strategy. Dissertationes de Agricultural. No. ۵۱۴. Fac. of Agr. Sciences. K.U.Leuven University, Belgium.
۲۶. Kirda, C., Cetin, M., Dasgan, Y., Topcu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R., Ozguven, A.I. (۲۰۰۴). Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agric. Wat. Manag.* ۶۹: ۱۹۱-۲۰۱.
۲۷. Najarchi, M. Kaveh, F., Babazadeh, H. and Manshour, M. ۲۰۱۱. Determination of the yield response factor for field crop deficit irrigation. *African Journal of Agricultural Research* Vol. ۶(۱۶), pp. ۳۷۰۰-۳۷۰۵.
۲۸. Pascual, B. J. V., Maroto, A. San Sbutista, S. G, Lopez, J. Alagarod (۲۰۰۰). In fluence of watering on the yield and cracking of cherry fresh market and processing tomatos. *J. Hort. Sci. Biotech.* ۷۵: ۱۷۱-۱۷۵.
۲۹. Perniola, M., Lovelli, S., Pizza, S., Caponio, T., Ferrara, A. (۲۰۰۵). Scelta del criterio di programmazione irrigua per ottimizzare l'uso della risorsa idrica. In *Atti XXXVI Convegno S.I.A., Foggia, ۲۰-۲۲ settembre ۲۰۰۵*, pp. ۲۱۲-۲۱۳.
۳۰. Premachandra, H., H. Saneok, K. Fujita, S. O., gata (۱۹۹۳): Water stress and potassium fertilization in field grown maize : Effects on leaf water relations and leaf rolling. *J. Agron. And Crop. Sci.* ۱۷۰: ۱۴۵-۲۰۱.
۳۱. Raes. D. (۲۰۰۴). Budget: a soil water and salt balance model. Reference Manual. Version ۶.۰ (<http://www.iupware.be> and select downloads and next software. last updated June ۲۰۰۴).
۳۲. Rudich, J., D. Kalmer, C. Geizenberg and S. Havel (۱۹۹۷). Low water tensions in defined growth stage of processing tomato plant and effect and yield and quality, *Hort. Sci.* ۵۲: ۳۴۱-۳۹۴.
۳۳. Smagstral, A. G., S. Y. Locasic (۱۹۹۴): Irrigation cut back affects on drip Irrigation tomato yields. *Proceeding of the Florida*, ۱۰۷: ۱۱۳-۱۱۸.
۳۴. Stewart, J., Cuenca, R.H., Pruitt, W.O., Hagan, R.M. Tosso, J., ۱۹۷۷. Determination and Utilization of water production functions for principal California Crops. In: *W-۶۷ Calif. Contrib. Proj. Rep., University of California, Davis.*
۳۵. Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N.A., and F. Kaveh. ۲۰۱۳. Evaluation and Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. *J. Agric. Sci.* ۵ (۳). ۱۱۱- ۱۲۲.
۳۶. Veit-Kohler, U., Krumbein, A. and Kosegarten, H. ۲۰۰۱. Different water supply influences growth and fruit quality in tomato. *Kluwer Academic publications.* Printed in the Netherlands, ۳۰۸-۳۰۹.
۳۷. Zotarelli L., Scholberg J.M., Dukes M.D., Carpena R. and J. Icerman. ۲۰۰۹. 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.* ۹۶: ۲۳-۳۴.