تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ (ص ۱۴۵-۱۳۵)

بررسی توابع تولید محصول یونجه به منظور برآورد عملکرد در سطوح مختلف آبیاری در منطقهٔ قزوین

نیازعلی ابراهیمی پاک*[۱]، آرش تافته[۲]، حسین بابازاده[۳]

۱. دانشیار پژوهشی بخش آبیاری و فیزیک خاک مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب

۲. دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و مهندسی آب

۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و مهندسی آب

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۴/۱)

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی توابع تولید مختلف یونجه و انتخاب بهترین تابع تولید و تعیین ضرایب حساسیت گیاه به تنش آبی و به منظور تخمین میزان عملکرد یونجه در سطوح مختلف کم‌آبیاری و تعیین تابع تولید یونجه انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار زمان آبیاری شامل E_1، E_2، E_3، E_4 (به‌ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسماعیل‌آباد قزوین و به مدت سه سال اجرا شد. از آنجا که آب آبیاری اعمال‌شده در سال‌های مختلف متفاوت بود، تیمارها از T_1 تا T_{12} تفکیک شدند تا توابع تولید بر اساس داده‌های تبخیر- تعرق هر تیمار بررسی شود. نتایج نشان داد نیاز آبی گیاه یونجه در کل دورهٔ رشد برابر ۱۶۸۷ میلی‌متر است و تیمار T_1 با ۱۶۸۳۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر عملکرد خشک و تیمار T_{12} با ۱۰۰۲۰ کیلوگرم در هکتار حداقل عملکرد خشک را دارد. با توجه به مطابقت آماری، روش Tafteh *et al* (2013)، که مقدار عملکرد محصول را بر مبنای ضریب توانی تعریف‌شده بر اساس نسبت ضرایب واکنش در بازهٔ ماهیانه برآورد می‌کند، کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را داشت. با استفاده از روش Tafteh *et al* (2013) مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، و مهر به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹، ۰/۹۹، ۱/۱، ۱/۱، و ۱ و برای مراحل رشد ابتدایی، توسعهٔ گیاه، میانی، و نهایی به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹۵، ۱/۱، و ۱ و متوسط آن برای کل دورهٔ رشد یونجه برابر ۰/۹۹ به‌دست آمد. در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) با داده‌های ورودی کمتر می‌تواند روشی مناسب به‌خصوص برای استفاده در مدل‌های بهینه‌سازی باشد.

کلیدواژگان: تشت تبخیر، ضریب واکنش عملکرد (K_y)، قزوین، مراحل رشد، نیاز آبی گیاه

مقدمه

یونجه یا طلای سبز مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای دنیا و اولین گیاه علوفه‌ای اهلی‌شده است که بشر اولیه آن را برای تغذیهٔ دام تشخیص داده است. یونجه گیاه بومی ایران و از گذشتهٔ دور گیاهی باارزش در تغذیهٔ دام و تناوب زراعی بوده است. این گیاه با بیشتر نقاط دنیا سازگاری بالا دارد و در ایران و مناطق گرم و معتدل و سردسیر می‌روید و در هر منطقه اکوتیپی مرغوب ایجاد می‌کند. سطح زیر کشت یونجه در دنیا حدود سی‌ودو میلیون هکتار است. ایران، از نظر تولید یونجه، در ردهٔ هشتم جهانی قرار دارد و متوسط سطح زیر کشت آن در ده سال گذشته بیش از ششصد هزار هکتار بوده و معادل ۴/۳ میلیون تن یونجه خشک تولید کرده است (Jahad Keshavarzi, 1998).

مدیریت صحیح مصرف آب در مزرعه نیازمند تعیین رابطهٔ عملکرد و مقدار آب آبیاری است که شکل غیر خطی دارد؛ به طوری که با افزایش تنش آبی عملکرد گیاه با نسبت خطی کاهش نمی‌یابد. بنابراین کم‌آبیاری یکی از روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب است که در آن با اعمال درجه‌ای از کم‌آبی به گیاه و قبول مقداری کاهش محصول در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. کم‌آبیاری روشی برنامه‌ریزی‌شده برای آبیاری گیاه است. این عمل ممکن است بر آبیاری کامل در مواقعی که منابع آب محدود یا هزینهٔ آبیاری بالاست ارجحیت داشته باشد (English, 1990). نتایج تحقیقات بر گیاهان زراعی نشان می‌دهد با توجه به سال‌های متفاوت و اقلیم‌های مختلف به ازای هر ۴۵۴ تا ۹۵۰ لیتر آب آبیاری ۱ کیلوگرم مادهٔ خشک به‌دست می‌آید (Rechel *et al*, 1991). نیاز آبی گیاه یونجه بین ۵۶۰ تا ۷۳۰ لیتر آب به ازای تولید یک کیلوگرم مادهٔ خشک به منظور

* نویسندهٔ مسئول: nebrahimipak@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

تأمین نیاز تعرقی در طی فصل رشد گزارش شده است (Kipis *et al*, 1989). نتایج یک آزمایش در منطقهٔ نیومکزیک امریکا نشان داد به ازای هر ۶۲۵ تا ۹۰۰ لیتر آب ۱ کیلوگرم مادهٔ خشک یونجه (Abdul Jabbar *et al*, 1983) و در منطقهٔ تکزاس به ازای هر ۵۴۶ تا ۹۱۲ لیتر آب ۱ کیلوگرم مادهٔ خشک یونجه (Bolger and Matches, 1990) و در منطقهٔ یوتای امریکا به ازای هر ۳۸۶ تا ۶۳۶ لیتر آب ۱ کیلوگرم مادهٔ خشک یونجه تولید می‌شود (Reha and Hanks, 1980). ارزیابی ارقام مقاوم یونجه به خشکی و واکنش آن نشان داد با یک نوبت آبیاری در خاک لومی رسی و اقلیم نیمه‌خشک به منظور سبزشدن کامل مزرعه، بدون آنکه نیازی به آبیاری مجدد باشد، می‌توان ۹۵۶/۷ کیلوگرم مادهٔ خشک علوفه در هر هکتار به‌دست آورد. با دور آبیاری سی‌روزه مقدار علوفه به ۲۰۹۴/۷ کیلوگرم در هر هکتار و با دور آبیاری بیست‌روزه به ۲۹۳۰/۲ کیلوگرم در هر هکتار و با دور آبیاری دَه‌روزه به ۳۸۶۶/۷ کیلوگرم در هر هکتار می‌رسد (Rostami,1989). نتایج آزمایشی در سودان با خاک رسی سنگین و اقلیم نیمه‌خشک نشان داد با انتخاب دوره‌های آبیاری هفت‌روز با ۶۵ میلی‌متر و دَه‌روزه با ۸۰ میلی‌متر و سیزده‌روزه با ۱۰۴ میلی‌متر، تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک، می‌توان نتیجه گرفت که با دورهٔ هفت روز و آب خالص ۱۲۷۰ میلی‌متر میزان عملکرد محصول به ۱۵/۳ تن و با دورهٔ دَه روز و آب خالص ۱۳۰۰ میلی‌متر میزان عملکرد محصول به ۱۲/۹ تن در هکتار و با دورهٔ سیزده روز و آب خالص ۱۴۰۰ میلی‌متر میزان عملکرد محصول به ۱۱/۲ تن در هکتار می‌رسد (Saeed, 1997). بررسی اقتصادی کشت گیاه یونجه در شهرکرد نشان داد اگرچه آبیاری کامل بالاترین میزان عملکرد را دارد، سود خالص نهایی کاهش می‌یابد. در کم‌آبیاری ۲۰ درصد عملکرد محصول ۵ درصد کاهش می‌یابد. اما سود خالص نهایی در این تیمار تغییر نمی‌کند و بالاترین نسبت B/C حاصل می‌شود. بنابراین، با صرفه‌جویی ۶۱ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل بالاترین میزان درآمد خالص به ازای واحد آب مصرفی به‌دست می‌آید. با توجه به صرفه‌جویی انجام‌گرفته برای تحصیل حداکثر سود در مقایسه با آبیاری کامل، عمق خالص مناسب اقتصادی برای منطقهٔ شهرکرد ۱۲۴۰ میلی‌متر یا ۱۲۴۰۰ متر مکعب گزارش شد (Ebrahimipak, 2000). برای اینکه بتوان این کم‌آبیاری‌ها را با منبع آب موجود به‌درستی مدیریت کرد، به توابع تولید محصول و واسنجی آن‌ها در مناطق مختلف نیاز است؛ که پارامترهای آن به بافت خاک، اقلیم، مدیریت اراضی، نوع سیستم آبیاری، و سایر مسائل وابسته است. برای همین در صورتی که منابع آب محدود باشد برای مصرف بهینهٔ آب باید نوع گیاه، مرحلهٔ رشد آن، و نوع خاک را مد نظر داشت. برای اعمال کم‌آبیاری و تخمین مناسب آن باید میزان رطوبت خاک، تنش رطوبتی گیاه، و تابع تولید محصول را به‌دست آورد. تنش آبی در اواخر مرحلهٔ رشد ممکن است مفید باشد؛ لیکن زمان قطع آب آبیاری به اقلیم منطقه، بافت خاک، عمق خاک، و میزان آب ذخیره‌شده در عمق توسعهٔ ریشه بستگی دارد (Hills and Kafka, 2000). واکنش گیاه به آب به صورت تابع «آب مصرفی- عملکرد محصول» یا تابع «عملکرد- تبخیر و تعرق» بیان می‌شود. روابط زیادی برای برآورد تابع تولید و تعیین ضرایب واکنش عملکرد محصول ارائه شده است (Kipkorir and Raes, 2002). زمانی که کم‌آبیاری در مرحله‌ای خاص از دورهٔ رشد گیاه اتفاق بیفتد، کاهش عملکرد گیاه به حساسیت گیاه در آن مرحله بستگی دارد (Moutonnet, 2002; Shurong and Limei, 1999). در دشت قزوین این کار با استفاده از اطلاعات دَه‌ساله از منطقهٔ سد طالقان انجام شد و میزان ضریب حساسیت گیاه در مراحل مختلف رشد ذرت و گندم و جو تعیین شد. با این ضرایب حساسیت، میزان عملکرد این محصولات در حدی پذیرفتنی تخمین زده شد. همچنین این مقادیر با ضرایب FAO مقایسه و معادله‌ای برای تبدیل آن‌ها به هم ارائه شد (Najarchi *et al*, 2011).

هدف این آزمایش تعیین تابع تولید «محصول- آب مصرفی» یونجه در قزوین و مقایسهٔ آن با روش‌های تجربی و تخمین مقدار ضرایب واکنش عملکرد محصول یونجه در دشت قزوین (k_y) به منظور تولید بهینه از طریق برنامه‌ریزی آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش قسمتی از طرح تحقیقاتی است که در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اسماعیل‌آباد 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 مزرعهٔ لومی رسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تیمار زمانی آبیاری شامل E_1، E_2، E_3، E_4 (به‌ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A) با سه تکرار و به مدت سه سال زراعی اجرا شد. از آنجا که مقادیر آبیاری اجراشده در هر سال متفاوت و نتایج آبیاری در سال از نظر آماری معنادار بود، تیمارها به صورت T_1 تا T_{12} جهت مقایسهٔ بهتر تفکیک شدند. در اوایل بهار ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و پیش از کاشت

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر برداشت و برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ می‌آید. پس از عملیات آماده‌سازی، زمین به ابعاد ۲۰ متر مربع (۵×۴) قطعه‌بندی شد. از رقم یونجهٔ همدانی به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. آبیاری به شیوهٔ کرتی و میزان آب ورودی به وسیلهٔ کنتور آب اندازه‌گیری و به داخل هر کرت منتقل شد. بر اساس آزمون خاک ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم، و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌کار رفت. زمان آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشت تبخیر تعیین شد و از آنجا که معادل تبخیر- تعرق گیاه نیست ، مقدار آب آبیاری بر اساس کسر رطوبت خاک از رطوبت مزرعه که توسط نوترون متر اندازه گیری می‌شد، از رابطهٔ تعیین عمق آب آبیاری (رابطهٔ ۱) محاسبه و به وسیلهٔ کنتور اندازه‌گیری و از طریق لوله وارد کرت شد. پروب‌ها در دو تکرار از هر تیمار نصب بودند و میانگین نتایج در محاسبات منظور شد. در مواردی که برای پروب‌ها مشکلی ایجاد می‌شد و دستگاه عمل نمی‌کرد به جای آن از روش وزنی جهت تعیین رطوبت خاک استفاده شد. تا تغییرات رطوبتی خاک به صورت هفتگی اندازه‌گیری شود. در این آزمایش ظرفیت زراعی مزرعه و وزن مخصوص ظاهری و عمق نفوذ ریشه در طول آزمایش ثابت فرض شد. مقادیر به دلیل عبور ماشین‌آلات کشاورزی و دست‌نخورده بودن نمونه‌ها بالاتر از رنج نرمال بافت خاک است.

$$dn = \sum_{i-1}^{n} (Fc - \theta i) D \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

dn: مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه بر حسب میلی‌متر، F_c: ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصد وزنی، θ_i: رطوبت خاک قبل از آبیاری، D: عمق خاک (عمق لایه) بر حسب میلی‌متر، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، n: تعداد لایه‌های پروفیل خاک است.

پس از محاسبهٔ مقدار dn، میزان آب آبیاری به وسیلهٔ کنتور آب اندازه‌گیری شد. با توجه به مسدودبودن انتهای هر کرت، آب مورد نیاز کرت آزمایشی به وسیلهٔ لولهٔ پلی‌اتیلن در ابتدای هر کرت بین ردیف‌های کاشت تقسیم شد تا به طور یکنواخت در اختیار گیاه قرار گیرد.

جدول ۱. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

عمق خاک (سانتی‌متر)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	بافت خاک	درصد رس	درصد سلیت	درصد شن	ظرفیت نگه‌داری (درصد وزنی)	نقطهٔ پژمردگی (درصد وزنی)	اسیدیتهٔ خاک (PH)	هدایت الکتریک (10^{-3}×ds/m)	Ca+Mg (meq/L)	Na (meq/L)	P (PPM)	K (PPM)	N (%)	OC (meq/L)
۰-۳۰	۱/۵۶	لومی رسی	۳۳	۳۹	۲۸	۲۲/۵	۱۳/۹	۸/۱	۰/۷۴	۴	۴	۸	۳۶	۰/۰۹	۰/۸۶
۳۰-۶۰	۱/۷۲	لومی رسی	۳۹	۲۹	۳۲	۲۴/۵	۱۴/۲	۸	۰/۸۷	۵	۵	۲	۲۸	۰/۰۶	۰/۶

در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم از قبیل وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی آفات و بیماری‌های گیاهی، به‌خصوص سرخرطومی یونجه، انجام شد. به منظور اندازه‌گیری دقیق و کنترل تبخیر- تعرق گیاه یونجه لایسیمتر زهکش‌دار به مساحت ۲/۵ متر مربع و عمق ۲/۲ متر استفاده شد. لایسیمتر وسط قطعهٔ زمینی به ابعاد ۴۰×۴۰ متر نصب شد؛ طوری که چهار جهت آن پوشش گیاهی یونجه بود. در طول فصل زراعی با استفاده از رابطهٔ ۲ بیلان رطوبتی خاک و میزان تبخیر- تعرق گیاه یونجه برای تیمارهای مختلف محاسبه شد (Jensen, 1968):

$$ET_c = I + P - D \pm \sum_{i=1}^{n} (Pw_1 - Pw_2) \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

ET_c: تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، I: مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)، P: میزان بارش (میلی‌متر)، D: عمق زه‌آب (میلی‌متر)، Pw_1: رطوبت خاک قبل از آبیاری (میلی‌متر)، Pw_2: رطوبت خاک بعد از آبیاری (میلی‌متر) است.

تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر- تعرق نسبی گیاه است که محققان، پس از جمع‌بندی روابط ارائه‌شده و تجزیه و تحلیل، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارائه کردند. اولین رابطهٔ استفاده‌شده در این تحقیق رابطهٔ کاهش نسبی محصول و کمبود تبخیر- تعرق نسبی است که به صورت رابطهٔ ۳ ارائه می‌شود (Doorenbos and Kassam,1979):

Archive of SID

www.SID.ir

$$1-\frac{ya}{ym}=ky(1-\frac{ETa}{ETm}) \quad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

y_a: عملکرد واقعی، y_m: حداکثر عملکرد، ET_a: تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_m: حداکثر تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_y: ضریب واکنش عملکرد محصول است.

دومین تابع استفاده‌شده روش حداقل کاهش محصول است که به صورت رابطهٔ ۴ ارائه می‌شود (Allen, 1994):

$$\frac{ya}{yp}=Min\left[\frac{ya1}{yp2},\frac{ya1}{yp2},...,\frac{yai}{ypi}\right] \quad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

Ya: عملکرد واقعی،yp: حداکثر عملکرد، $\frac{yai}{ypi}$: میزان نسبی عملکرد در هر مرحله از کشت که بر اساس رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود. حداقل عملکرد محصول تولید نهایی در نظر گرفته می‌شود.

روش دیگر تابع حاصل ضربی است که به صورت رابطهٔ ۵ ارائه می‌شود (Rao *et al*, 1988):

$$\frac{y}{y_m}=\prod_{i=1}^{n}\left(1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right)_i\right) \quad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

y: عملکرد واقعی، y_m: حداکثر عملکرد، ET_a: تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر)،ET_m: حداکثر تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_{yi}: ضریب واکنش عملکرد، i: مرحلهٔ رشد و توسعه، n: تعداد مراحل دورهٔ رشد است.

جهت اصلاح و افزایش دقت معادلهٔ ۵ در مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح (BUDGET) رابطهٔ ۶ به‌کار رفت که در آن هر یک از مراحل مختلف رشد به چند بازهٔ زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند (Raes, 2004):

$$\frac{y}{y_m}=\prod_{j=1}^{n}\left(1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}}\right)\right)^{\Delta t_j/Li} \quad \text{(رابطهٔ ۶)}$$

y: عملکرد واقعی، y_m: حداکثر عملکرد، Δt_j: بازهٔ زمانی مورد نظر (روز) در مرحلهٔ رشد i، n: تعداد مراحل دورهٔ رشد، L_i: طول کل هر مرحلهٔ رشد که از یک روز تا کل دورهٔ رشد را می‌توان در نظر گرفت (روز)، $ET_{a,j}$: تبخیر- تعرق واقعی در بازهٔ زمانی j، $ET_{m,j}$: تبخیر- تعرق پتانسیل در بازهٔ زمانی j است.

جهت اصلاح روش Allen (1994) روش Averaging جایگزین شد. در این روش میانگین کاهش نسبی تولید، که متوسطی از رفتار گیاه است، در نظر گرفته شد که به صورت رابطهٔ ۷ دیده می‌شود (Tafteh *et al*, 2013):

$$\frac{ya}{yp}=\frac{1}{n}\sum\left(\frac{ya1}{yp1},\frac{ya2}{yp2},\frac{yai}{ypi}\right) \quad \text{(رابطهٔ ۷)}$$

ya: عملکرد واقعی،yp: حداکثر عملکرد، $\frac{yai}{ypi}$: عملکرد نسبی محصول که از رابطهٔ ۳ به‌دست می‌آید.

معادلهٔ جدید نیز به صورت رابطهٔ ۸ ارائه شد (Tafteh *et al*, 2013):

$$\frac{y}{y_m}=\prod_{i=1}^{n}\left(1-k_{yi}\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right)^{\frac{Kyi}{\sum_{i=1}^{n}kyi}_i}\right) \quad \text{(رابطهٔ ۸)}$$

Y_a : عملکرد واقعی، Y_p: حداکثر عملکرد در حالتی که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد، $ET_{a,j}$: تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر)، $ET_{m,j}$: حداکثر تبخیر- تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_{yi}: ضریب واکنش عملکرد یونجه به آب، i: مرحلهٔ رشد و توسعه، n: تعداد مراحل دورهٔ رشد است.

مقادیر محاسبه‌شدهٔ وزن توانی در بازهٔ ماهیانهٔ محاسبه‌شده برای روش FAO و مقادیر وزن توانی برای روش نجارچی (Najarchi *et al*, 2011) در جدول ۲ می‌آید. در طول هر سال بین ۴ تا ۵ چین برداشت انجام گرفت و سپس محصول برداشت‌شده خشک و توزین و مقدار عملکرد کل محاسبه شد. نتایج عملکرد محصول و میزان آب مصرف‌شده با استفاده از برنامهٔ آماری Mstatc و SPSS آنالیز شد.

جدول ۲. ضرایب واکنش عملکرد گیاه و توان ماهیانه

پارامتر	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	مجموع
Δt_j	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۱	۳۰	۱۸۵
$\Delta t_j/Li$	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۷	۰/۱۶۲	-
K_{yFAO}	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۶
$\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n}K_{yi}}$	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	
K_{yNaj}	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۱	۶/۶۶
$\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^{n}K_{yi}}$	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	-

Archive of SID

www.SID.ir

برای مقایسهٔ آماری بین نتایج توابع تولید مختلف از نمایه‌های آماری RMSE، NRMSE، d (Scott Armstrong and Fred Collopy, 1992; Tafteh and Sepaskhah, 2012) استفاده شد:

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

RMSE: ریشهٔ مربعات خطا، n: تعداد داده‌ها، X: دادهٔ اندازه‌گیری‌شده، Y: دادهٔ تخمین‌زده‌شده به وسیلهٔ مدل است.

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

NRMSE: ریشهٔ مربعات خطای نرمال، n: تعداد داده‌ها، X: دادهٔ اندازه‌گیری‌شده، Y: دادهٔ تخمین‌زده‌شده به وسیلهٔ مدل، $\bar{X}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده است.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|x_i - \bar{X}| + |y_i - \bar{Y}|)^2}\right] \quad \text{(رابطهٔ ۱۱)}$$

d: شاخص توافق، n: تعداد داده‌ها، X: دادهٔ اندازه‌گیری‌شده، Y: ددهٔ تخمین‌زده‌شده به وسیلهٔ مدل، $\bar{X}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری‌شده، $\bar{Y}$: میانگین داده‌های تخمین‌زده‌شده به وسیلهٔ مدل است.

یافته‌ها و بحث

تجزیهٔ واریانس مرکب عملکرد در سال در جدول ۳ می‌آید. نتایج نشان داد اثر آبیاری در سطح ۱ درصد و آبیاری در سال در سطح ۵ درصد بر عملکرد یونجه معنادار است که با سایر گزارش‌ها (Ebrahimipak, 2000; Rostami, 1989; Frate and Roberts, 2006; Kuslu *et al*, 2010; Orloff *et al*, 2004؛ Saeed, 1997) مطابقت دارد.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس مرکب عملکرد یونجه در تیمارهای مختلف آبی

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات	P
تکرار	۳	۹/۴۵	۰/۰۵۳ ns
سال	۲	۲/۲۳	۰/۱۹۰۶ ns
آبیاری	۳	۹۰/۵۵	۰/۰۰۰ **
آبیاری در سال	۶	۳/۲۷	۰/۰۳۸۲ *
خطا	۳۳	۴۲/۳۵	۱/۲۸

** در سطح ۱ درصد معنادار است. * در سطح ۵ درصد معنادار ست. ns معنادار نیست.

نیاز آبی گیاه یونجه

نیاز آبی گیاه یونجه در جدول ۴ می‌آید. بیشترین نیاز آبی یونجه در کل دورهٔ رشد برابر با ۱۶۸۷ میلی‌متر در تیمار T_1 است که با نتایج لایسیمتر کارگذاشته‌شده، به منزلهٔ شاهد، مطابقت دارد و معادل ۹۹۷ لیتر آب مصرفی به ازای یک کیلوگرم مادهٔ خشک است. مقدار نیاز آبی به ازای تولید یک کیلوگرم مادهٔ خشک گیاه یونجه در سایر گزارش‌ها ۹۵۰ لیتر (Rechel *et al*, 1991)، ۷۳۰ لیتر (Kipis *et al*, 1989)، ۹۰۰ لیتر (Abdul Jabbar *et al*, 1983)، و ۶۳۶ لیتر (Reha and Hanks, 1980) برآورد شده است که نسبت به آب مصرفی به‌دست‌آمده به‌ترتیب ۵، ۲۶، ۱۰، ۳۶ درصد اختلاف وجود دارد. این اختلاف ناشی از اقلیم، تراکم کشت، نوع خاک، و زمان کاشت و داشت و برداشت است. این موضوع را بسیاری از تحقیقات به‌عمل‌آمده تأیید می‌کنند. با توجه به جدول، تیمار T_1 دارای حداکثر عملکرد محصول برابر ۱۶۸۳۰ کیلوگرم در هکتار است و حداقل آب مصرفی یونجه برابر ۱۲۴۷ میلی‌متر مربوط به تیمار T_{12} با حداقل عملکرد محصول ۱۰۰۲۰ کیلوگرم در هکتار است و بیشترین مقدار آب مصرفی یونجه در تیرماه ۴۰۴ میلی‌متر و کمترین مقدار آن ۷۴ میلی‌متر در اردیبهشت‌ماه است.

مقایسهٔ میزان عملکرد توابع تولیدی با تابع تولید Tafteh *et al* (2013)

هم‌زمان با اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول، با استفاده از روش‌های Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Averaging، Rao *et al* (1988)، Raes (2004)، و روش Tafteh *et al*(2013) مقدار عملکرد محصول محاسبه شد.و بر اساس ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) ، شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) مقادیر عملکرد مقایسه شدند. نتایج این روش‌ها با ضرایب پیشنهادی FAO در جدول ۵ می‌آید. با توجه به جدول مذکور عملکرد محصول نسبت به آب با روش Doorenbos and

Archive of SID

www.SID.ir

Kassam (1979) به صورت ساده و برای کل دورهٔ رشد محاسبه و با میزان عملکرد اندازه‌گیری مقایسه و مشاهده شد مقدار ضریب تعیین (R^2) آن برابر ۰٫۵۷ و RMSE و NRMSE و d آن به‌ترتیب برابر ۲۶۹۱ و ۰٫۲۱ و ۰٫۵۵ است. مقدار خطای نرمال ۲۱ درصد بود. تابع دوم بررسی‌شده در این مقاله روش Allen (1994) است. مقایسهٔ میزان عملکرد محاسبه‌شده با میزان عملکرد اندازگیری‌شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۴۹ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۵۷۴۴ و ۰٫۴۴ و ۰٫۰۴ و میزان خطای نرمال ۴۴ درصد است. بنابراین، این روش جهت تخمین محصول یونجه توصیه نمی‌شود. تابع سوم روش Averaging برای بهبود و اصلاح روش Allen (1994) است که نتایج این روش در ماه‌های مختلف نشان داد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۸۹ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۹۹۵ و ۰٫۰۷۶ و ۰٫۹۲ و میزان خطای نرمال ۸ درصد است. تابع چهارم روش Rao *et al* (1988) است. مقایسهٔ میزان عملکرد تخمینی با میزان عملکرد اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۴۵ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۱۰۹۹۸ و ۰٫۸۴۴ و ۰٫۰۲ و مقدار خطای نرمال ۸۴ درصد است. بنابراین این روش نیز برای تخمین عملکرد یونجه توصیه نمی‌شود. تابع پنجم روش Raes (2004) است که میزان عملکرد محاسباتی با میزان عملکرد اندازه‌گیری مقایسه شد. نتیجه نشان داد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۲ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۱۰۲۸ و ۰٫۰۷۹ و ۰٫۹۲ و مقدار خطای نرمال ۸ درصد است. تابع ششم روش Tafteh *et al* (2013) است که با اعمال ضرایب جدید بر اساس ضرایب واکنش عملکرد گیاه جهت اصلاح روش Raes (2004) به منظور رسیدن به نتایج مطلوب ارائه شد. مقایسهٔ میزان عملکرد محاسبه‌شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۳ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۹۴۰ و ۰٫۰۷۲ و ۰٫۹۳ و مقدار خطای نرمال ۷ درصد است. این روش‌ها در تخمین عملکرد یونجه با ضرایب اصلاحی نجارچی (Najarchi *et al*, 2011) مقایسه شد. نتایج نشان داد در روش Tafteh *et al* (2013) مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۱ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۱۳۹۰ و ۰٫۱۰۷ و ۰٫۸۷ و مقدار خطای نرمال ۱۱ درصد است. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE) روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، و Rao *et al* (1988) به‌ترتیب کمترین مقدار را داشتند و ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Rao *et al* (1988) به‌ترتیب کمترین مقدار را داشتند. هر اندازه این مقادیر کمتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) کمترین مقدار خطا را داشت که مطابق سایر گزارش‌هاست (Raes *et al*, 2006; Tafteh *et al*, 2013). همچنین شاخص توافق نشان می‌دهد روش Tafteh *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Rao *et al* (1988) به‌ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و ضریب تعیین (R^2) نشان داد روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Raes (2004)، Averaging، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Rao *et al* (1988) به‌ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. بنابراین هر قدر این مقادیر بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) بیشترین مقدار را داشت. مطابقت آماری حاصل‌شده نشان می‌دهد روش Tafteh *et al* (2013) با کاربرد ضریب واکنش FAO کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) توصیه می‌شود. باید توجه داشت که این تابع علاوه بر دقت مناسب آن تعداد داده‌های ورودی را کاهش می‌دهد که در مدل‌نویسی آن را کاربردی‌تر می‌کند. اساساً تعیین این تابع به همین دلیل انجام شد. مشکل رابطهٔ Raes (2004) عدم تطبیق توان آن در بازهٔ ماهیانه است و همین مشکل در بازهٔ ماهیانه دقت آن را کاهش می‌دهد (Raes *et al*, 2006). به همین دلیل در بازهٔ ماهیانه اصلاح ضریب توانی نیاز بود که تابع جدید در افزایش دقت تفاوتی معنادار با روش Raes (2004) ندارد؛ ولی واسنجی تابع را به‌شدت آسان می‌کند. چون در معادلهٔ جدید تعیین دقیق دورهٔ رشد و فواصل آن حذف می‌شود. ولی متأسفانه در افزایش معنادار دقت موفق نیست و دست‌آورد مهم این تحقیق آسان‌کردن تابع تولید با حفظ دقت تخمین است.

برآورد مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه یونجه (ky) بر اساس توان ماهیانه (Tafteh *et al*, 2013)

ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی (k_y) به وسیلهٔ رابطهٔ بین عملکرد گیاه و تنش آبی، که ناشی از کم‌آبیاری در

Archive of SID

www.SID.ir

مرحلهٔ خاص یا کل مرحلهٔ رویش گیاه است، توصیف می‌شود (Doorenbos and Kassam, 1979). به منظور تعیین ضریب واکنش عملکرد یونجه از داده‌های داخل مزرعه استفاده شد. مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول بر اساس روش Tafteh *et al* (2013)، که عملکردی مناسب‌تر از سایر روش‌ها داشت، برآورد شد که در جدول ۶ می‌آید. مشاهده می‌شود که مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، و مهر با استفاده از تابع Tafteh *et al* (2013) به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹، ۰/۹۹، ۱/۱، ۱/۱، و ۱ است.

جدول ۴. میزان تبخیر- تعرق ماهیانهٔ یونجه در منطقهٔ اسماعیل‌آباد قزوین

تیمار	اردیبهشت Mm	خرداد mm	تیر mm	مرداد mm	شهریور mm	مهر mm	جمع mm	میزان محصول Kg/ha
T_1	۱۵۸	۳۲۰	۳۷۸	۳۴۴	۲۷۵	۲۱۲	۱۶۸۷	۱۶۸۳۰[a]
T_2	۲۷۹	۲۳۲	۲۷۳	۳۵۳	۳۰۸	۲۰۷	۱۶۵۲	۱۶۷۰۰[a]
T_3	۱۰۱	۱۷۴	۲۶۸	۲۷۵	۲۵۵	۲۲۷	۱۳۰۰	۱۴۳۰۰[b]
T_4	۷۴	۲۸۵	۴۰۴	۳۳۸	۱۸۴	۲۱۸	۱۵۰۲	۱۳۷۰۰[c]
T_5	۲۳۴	۲۲۰	۲۰۴	۲۳۶	۲۱۶	۲۳۱	۱۳۴۱	۱۳۴۰۰[d]
T_6	۱۱۵	۱۴۱	۲۹۶	۳۳۸	۳۰۰	۱۸۵	۱۳۷۵	۱۳۳۰۰[d]
T_7	۲۶۱	۲۰۰	۳۵۵	۲۵۳	۸۱	۲۰۶	۱۳۵۶	۱۲۷۶۰[e]
T_8	۸۸	۳۴۰	۳۳۰	۲۴۵	۲۱۱	۱۶۴	۱۳۷۸	۱۲۲۸۰[f]
T_9	۸۷	۲۵۹	۲۴۷	۴۰۱	۱۳۴	۱۷۸	۱۳۰۵	۱۱۱۰۰[g]
T_{10}	۲۳۳	۲۰۳	۲۳۳	۲۵۳	۲۱۵	۱۴۵	۱۲۸۲	۱۱۰۷۰[g]
T_{11}	۸۵	۱۶۹	۲۷۷	۳۲۳	۲۸۷	۹۷	۱۲۳۸	۱۰۹۰۰[g]
T_{12}	۹۰	۱۰۵	۳۴۷	۲۴۵	۲۰۸	۲۵۲	۱۲۴۷	۱۰۰۲۰[h]

* تیمارهای با حروف یکسان تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد ندارند.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین عملکرد اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده با توابع و ضرایب واکنش‌های مختلف

اندازه گیری شده	روش											
	Doorenbos & Kassam		Allen		Averaging		Rao		Raes		Tafteh	
	Ky_{fao}	Ky_{naj}	Ky_{fao}	Ky_{naj}	Ky_{fao}	Ky_{naj}	Ky_{fao}	Ky_{naj}	Ky_{fao}	Ky_{naj}	Ky_{fao}	Ky_{naj}
۱۶۸۳۰	۱۶۹۷۳	۱۸۹۷۰	۱۰۸۰۱	۹۸۹۹	۱۵۹۵۱	۱۵۶۱۶	۶۱۲۹	۵۲۵۲	۱۵۷۰۲	۱۵۲۹۹	۱۵۸۵۴	۱۵۴۶۷
۱۳۷۰۰	۱۶۸۹۵	۱۶۶۶۴	۵۰۲۶	۳۴۸۹	۱۳۹۵۹	۱۳۴۰۵	۱۸۳۵	۱۱۱۱	۱۲۷۸۸	۱۱۷۴۵	۱۳۰۷۲	۱۲۰۶۴
۱۲۲۸۰	۱۵۴۹۳	۱۵۱۰۸	۵۹۶۶	۴۵۳۲	۱۲۹۱۶	۱۲۲۴۷	۱۳۳۰	۸۱۹	۱۲۱۴۲	۱۱۱۸۸	۱۲۴۱۶	۱۱۴۸۹
۱۱۱۰۰	۱۴۶۷۸	۱۴۲۰۳	۵۹۶۶	۴۵۳۲	۱۲۱۱۵	۱۱۳۵۸	۸۵۰	۴۷۴	۱۱۲۴۴	۱۰۱۸۶	۱۱۵۵۸	۱۰۵۲۷
۱۴۳۰۰	۱۴۶۱۵	۱۴۱۳۳	۶۸۷۸	۵۵۴۵	۱۲۵۱۴	۱۱۸۰۰	۱۱۹۴	۷۴۶	۱۱۸۸۳	۱۰۹۷۰	۱۲۲۰۴	۱۱۳۱۸
۱۳۳۰۰	۱۵۴۵۹	۱۵۰۶۹	۷۸۳۲	۶۶۰۳	۱۳۰۱۷	۱۲۳۵۹	۱۴۳۴	۹۱۹	۱۲۲۸۴	۱۱۳۹۴	۱۲۵۶۶	۱۱۷۰۴
۱۰۹۰۰	۱۳۹۱۸	۱۳۳۵۹	۵۷۸۹	۴۳۳۵	۱۱۴۳۰	۱۰۵۹۸	۵۷۰	۲۸۷	۱۰۵۶۸	۹۴۲۱	۱۰۸۴۱	۹۷۱۳
۱۰۰۲۰	۱۴۰۲۰	۱۳۴۷۲	۵۸۶۸	۴۴۲۳	۱۱۹۵۹	۱۱۱۸۵	۶۷۱	۳۳۶	۱۰۷۶۲	۹۵۷۰	۱۱۱۲۸	۹۹۶۴
۱۶۷۰۰	۱۸۵۷۳	۱۸۵۲۶	۱۲۸۳۹	۱۲۱۶۱	۱۶۰۲۳	۱۵۶۹۵	۶۳۳۵	۵۴۷۴	۱۵۷۹۵	۱۵۴۱۱	۱۵۹۳۸	۱۵۵۷۰
۱۱۰۷۰	۱۴۰۹۱	۱۳۶۳۵	۵۷۲۷	۴۳۵۱	۱۱۶۳۰	۱۰۹۰۴	۸۱۶	۴۵۵	۱۰۷۹۴	۹۷۷۹	۱۱۰۹۶	۱۰۱۰۶
۱۲۷۶۰	۱۵۲۴۵	۱۴۸۳۲	۴۹۹۷	۳۴۵۶	۱۳۰۲۷	۱۲۳۷۰	۱۲۴۶	۷۱۰	۱۱۹۸۱	۱۰۸۹۰	۱۲۲۸۷	۱۱۲۲۹
۱۳۴۰۰	۱۵۰۷۶	۱۴۶۴۵	۹۵۹۴	۸۵۵۹	۱۳۲۹۱	۱۲۶۶۳	۱۹۷۰	۱۴۰۹	۱۲۹۳۶	۱۲۲۲۰	۱۳۲۲۱	۱۲۵۳۰
RMSE	۲۶۹۱	۲۴۰۴	۵۷۴۴	۶۹۷۰	۹۹۵	۱۰۱۱	۱۰۹۹۸	۱۱۵۳۹	۱۰۲۸	۱۶۳۳	۹۴۰	۱۳۹۰
NRMSE	۰/۲۰۷	۰/۱۸۴	۰/۴۴۱	۰/۵۳۵	۰/۰۷۶	۰/۰۷۸	۰/۸۴۴	۰/۸۸۶	۰/۰۷۹	۰/۱۲۵	۰/۰۷۲	۰/۱۰۷
d	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۸۷
R^2	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۴۹	۰/۳۸	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۹۱

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین ضرایب واکنش عملکرد گیاه حاصل از توابع مختلف

روش	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	متوسط	RMSE	NRMSE	d	R^2
Doorenbos and Kassam	–	–	–	–	–	–	۱٫۱	۲۰۰۴	۰٫۱۸	۰٫۶۵	۰٫۵۷
Allen	۰٫۹۹	۱	۱	۱	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۵۲۲۴	۰٫۴۲	۰٫۰۵	۰٫۵۰
Averaging	۰٫۹	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۱٫۰۱	۹۹۰	۰٫۰۷۳	۰٫۹۲	۰٫۹۲
Rao	۰٫۹۹	۱	۱	۱	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱۰۸۷۰	۰٫۸۲	۰٫۰۸	۰٫۵۱
Raes	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۰٫۹۹	۱۰۰۸	۰٫۰۷۵	۰٫۹۲	۰٫۹۲
Tafteh	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۰٫۹۹	۹۴۰	۰٫۰۷۰	۰٫۹۲	۰٫۹۳

مقایسهٔ مقادیر ضرایب واکنش عملکرد یونجه

پس از اندازه‌گیری میزان ضریب واکنش عملکرد محصول با استفاده از روش‌های مختلف، مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه و مقادیر برآوردشده با مقدار اندازه‌گیری‌شده مقایسه شد. به منظور مطابقت آماری نتایج از ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. جدول ۶ ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی را به روش Doorenbos and Kassam (1979) به صورت ساده و برای کل دورهٔ رشد نشان می‌دهد؛ که با استفاده از این روش مقدار ضریب واکنش محاسبه شد. مقایسهٔ ضریب واکنش با مقدار اندازه‌گیری نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۵۷ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۲۰۰۴ و ۰٫۱۸ و ۰٫۶۵ و مقدار خطای نرمال آن در حالت بهینه ۱۸ درصد است. تابع دوم بررسی‌شده در این روش Allen (1994) است که این روش بر اساس حداقل تنش وارده بر گیاه در طول دورهٔ کشت عمل می‌کند. برای این روش، دوره‌های ماهیانه در نظر گرفته شد. نتایج این روش در ماه‌های مختلف نشان داد اگر از مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه‌شده جهت تخمین استفاده شود، مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۵ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۵۲۲۴ و ۰٫۴۲ و ۰٫۰۵ و میزان خطای نرمال در حالت بهینه ۴۲ درصد است. بنابراین این روش نیز برای تخمین ضریب واکنش عملکرد محصول یونجه قابل استفاده نیست. در تابع سوم روش Averaging برای بهبود و اصلاح روش Allen (1994) ارائه شد. نتایج این روش در ماه‌های مختلف نشان داد با مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه‌شده با این روش مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۲ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۹۹۰ و ۰٫۰۷۳ و ۰٫۹۲ و میزان خطای نرمال در حالت بهینه ۷ درصد است. تابع چهارم روش Rao *et al* (1988) است که با استفاده از حاصل ضرب مقادیر تنش میزان کاهش محصول در دوره‌های یک‌ماهه تعیین می‌شود. نتایج این روش در ماه‌های مختلف نشان داد مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه‌شده اگر با مقدار ضریب واکنش اندازه‌گیری مقایسه شود مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۵۱ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۱۰۸۷۰ و ۰٫۸۲ و ۰٫۰۸ و مقدار خطای نرمال در حالت بهینه ۸۲ درصد است. بنابراین، این روش روشی مناسب برای تخمین عملکرد یونجه نیست. تابع پنجم روش Raes (2004) است بر اساس ضرایب توانی وابسته به طول دورهٔ رشد که با توجه به بازهٔ زمانی ماهیانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه‌شده اگر با مقدار اندازه‌گیری مقایسه شود مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۲ و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۱۰۰۸ و ۰٫۰۷۵ و ۰٫۹۲ و مقدار خطای نرمال ۸ درصد خواهد بود. تابع ششم روش Tafteh *et al* (2013) است که مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول را بر اساس توان ماهیانه برآورد می‌کند که با توجه به بازهٔ زمانی ماهیانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان داد مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه‌شده با روش Tafteh *et al* (2013) دارای ضریب تعیین (R^2) برابر ۰٫۹۳ است و RMSE و NRMSE و d به‌ترتیب برابر ۹۴۰ و ۰٫۰۷ و ۰٫۹۲ و مقدار خطای نرمال ۷ درصد است. با توجه به جدول ۶ ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Rao *et al* (1988) به‌ترتیب کمترین مقدار را داشتند. بنابراین هر اندازه این مقادیر کمتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Tafteh

Archive of SID

www.SID.ir

et al (2013) کمترین مقدار خطا را دارد. همچنین شاخص توافق و ضریب تعیین (R^2) نشان می‌دهد روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Raes (2004)، Averaging، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، و Rao *et al* (1988) به‌ترتیب بیشترین مقدار توافق را داشتند. بنابراین هر قدر این مقادیر بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) بیشترین مقدار توافق را داشت.

مطابقت آماری حاصل‌شده نشان می‌دهد روش Tafteh *et al* (2013) کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را داشت. در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) توصیه می‌شود. با توجه به این روش مقدار ضریب واکنش عملکرد یونجه در قزوین به شرح ذیل برآورد شد:

دورهٔ رشد گیاه یونجه به روش مورفولوژیکی به چهار مرحلهٔ ابتدایی، توسعهٔ گیاه، میانی، و نهایی رشد تقسیم شد (Doorenbos and Kassam, 1979; Kassam and Smith, 2001). مرحلهٔ ابتدایی رشد گیاه سی روز بود که پوشش کامل و توسعهٔ گیاه و اندام‌های هوایی انجام نشده است. مرحلهٔ توسعهٔ گیاه حدود شصت روز بود که به علت افزایش سرعت رشد اندام‌های هوایی گیاه به آب بیشتری نیاز داشت. بنابراین تبخیر- تعرق گیاه به‌سرعت افزایش یافت. مرحلهٔ میانی رشد گیاه برابر هفتاد و پنج روز بود. در این مرحله سطح برگ یونجه به حداکثر اندازهٔ خود می‌رسد و همهٔ اندام‌های گیاهی سبز است و فتوسنتز کامل دارد. در این مرحله تبخیر- تعرق در سطحی بالاست. مرحلهٔ انتهایی حدود بیست و پنج روز است. در این مرحله سطح برگ کاهش می‌یابد. در نتیجه مقدار تبخیر- تعرق گیاه به‌سرعت پایین می‌آید.

با توجه به مقادیر ضریب واکنش پیشنهادی (K_y) ارائه‌شده در جدول ۶، مقادیر ضریب واکنش عملکرد یونجه برای مراحل رشد ابتدایی، توسعهٔ گیاه، میانی، و نهایی به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹۵، ۱/۱، و ۱ است و متوسط آن برای دورهٔ رشد یونجه برابر ۰/۹۹ به‌دست آمد. Doorenbos and Kassam (1979) برای کل مرحلهٔ رویش گیاه ضریب واکنش گیاه را برابر ۱/۱ گزارش کردند که در مقایسه با روش Tafteh *et al* (2013) در حداقل‌ها ۱۵ درصد با هم اختلاف دارند. در حداکثر هم مقدار ضریب واکنش ۱۰ درصد بیشتر برآورد می‌شود و در مقدار متوسط ۱۰ درصد تفاوت وجود دارد. در مقایسه با دیگر تحقیقات (Kuslu *et al*, 2010)، که حداکثر ضریب واکنش عملکرد یونجه را ۱/۲۴ تا ۱/۴۷ و به طور متوسط ۱/۳۳ گزارش کردند، ۲۵ درصد کمتر است که نشان می‌دهد یونجهٔ همدانی نسبت به رقم M. Sativa L. cv. Prosementi مقاومت بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

در روش Doorenbos and Kassam (1979) با استفاده از ضرایب Najarchi *et al* (2011) میزان خطا از ۲۱ درصد به ۱۸ درصد کاهش یافت. ولی در روش Allen (1994) میزان خطا از ۴۴ به ۵۳ درصد افزایش یافت. در روش Averaging با ضرایب Najarchi *et al* (2011) خطا از ۷/۶ به ۷/۸ درصد افزایش یافت. روش Rao *et al* (1988) خطای بالایی دارد و با استفاده از ضرایب Najarchi *et al* (2011) خطا به ۸۸ درصد رسید. مقایسهٔ روش Raes (2004) با ضرایب Najarchi *et al* (2011) نشان داد میزان خطا به ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. در روش Tafteh *et al* (2013)، که وزن‌دهی توانی با میزان ضریب واکنش عملکرد ارتباط دارد، با ضرایب Najarchi *et al* (2011) خطا به ۱۱ درصد افزایش پیدا کرد. مطابقت آماری نشان می‌دهد روش Tafteh *et al* (2013) کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. زیرا آنچه بر وزن‌دهی مؤثرتر است طول دورهٔ رویش نیست، بلکه میزان واکنش عملکرد گیاه در آن دوره‌هاست. بنابراین، روش Tafteh *et al* (2013) جواب‌هایی پذیرفتنی ارائه می‌کند. با توجه به نتایج نیاز آبی گیاه یونجه در کل دورهٔ رشد برابر ۱۶۷۸ میلی‌متر و تیمار T_1 با حداکثر عملکرد محصول برابر ۱۶۸۳۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار T_{12} با حداقل عملکرد محصول برابر ۱۰۰۲۰ کیلوگرم در هکتار است. مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، و مهر به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹، ۰/۹۹، ۱/۱، ۱/۱، و ۱ است. مقادیر ضریب واکنش عملکرد یونجه برای مراحل رشد ابتدایی، توسعهٔ گیاه، میانی، و نهایی به‌ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹۵، ۱/۱، و ۱ و متوسط آن برای دورهٔ رشد یونجه برابر ۰/۹۹ است. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری نشان می‌دهد روش Tafteh *et al* (2013) کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال‌شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. در نتیجه روش Tafteh *et al* (2013) روشی مناسب معرفی و توصیه می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

REFERENCES

Abdul Jabbar, A. S., Sammis, J. W., luyg, D. G., Kailsen, C. E., and Smeal, D. (1983). water use by alfalfa, Maize and barely as influenced by available soil water: Agriculture. *Water management,* 6, 351-363.

Allen, R. G. (1994). *Memorandum on application of FAO-33 yield functions*. Department of Biol. & Irrig. Eng., Utah State University, Logan, Utah, 3 pp.

Bolger, I. P. and Matches, A. G. (1990). water use efficiency and yield of sainfoin and alfalfa: *Crop Science,* 30, 143-148.

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. (1979). "*Yield response to Water*." irrigation and drainage. Paper No. 33, Food and Agricultural Organization. Rome. Italy.

Ebrahimi Pak, N. A. (2000). The optimization of deficit irrigation based on water use function – performance of Hamedani alfalfa yield in Shahrekord, Tenth Seminar, *National Committee on Irrigation and Drainage*.

English, M. (1990). "Deficit irrigation. I: Analytical framework" ASCE. *Journal. Irrigation. and Drainage. Div.*, 116 (3), 399-402.

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

Frate, C. and Roberts, B. (2006). Managing alfalfa production with limited irrigation water. In: Proceedings of the *2006 Western Alfalfa & Forage Conference*, 11-13 December, Reno, Nevada.

Hills, F J. and Kafka, S. R. (2000). Sugar beet Irrigation Sugar beet .UC. Davis .edit / SBPM / Irrigation / sb Irrigation. Html.

Jahad Keshavarzi. (1998). http://pr.maj.ir/portal/Home/Default.aspx?CategoryID=6a93e896-4906-4241-897e-c8dd4d40d 1ef.

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

Kassam, A. and Smith, M. (2001). AEO methodologies on crop water use and crop water productivity. ww.fao.org/AG/AGL/aglw/crop water/docs/mehod.pdf

Kipis, T., Vais man, I., and Granoth, I. (1989). Drought stress and alfalfa production in a Mediterranean environment: *Irrigation Science*, 10, 113-115.

Kipkorir, E. C. and Raes, D. (2002). Transformation of yield response factor in to Jensen's sensitivity index .*Irrigation and Daring Systems,* 16, 47-52.

Kuslu, Y., Sahin, U., Tunc, T., and Kiziloglu, F. M. (2010). Determining Water-Yield relationship, Water use efficiency, and Seasonal crop and pan coefficients for alfalfa in a semiarid region with high altitude. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 16(4), 482-492.

Moutonnet, P. (2002). Yield response factors of field crops to deficit Irrigation F.A.O Irrigatices and drain age paper 22" Rome Italy.

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.

Orloff, S., Putnam, D. H., Hanson, B., and Carlson, H. (2004). Controlled deficit irrigation of alfalfa (Medicago sativa): A strategy for addressing water scarcity in California. In Proceedings of the *4th International Crop Science Congress*, 26 Sep1 Oct, Brisbane, Australia.

Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., and Sahli, A. (2006). Simulation of yield decline as a result of water stress with robust soil water balance model. *Agricultural Water Management*, 81, 335-357.

Raes, D. (2004). Budjet: 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).

Rao, N. H., Sarma, P. BS., and Chander, S. (1988). A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 13, 25–32.

Rechel, E. A., Deter, W. R., meek, B. D., and curer, L. M. (1991). Alfalfa: water use efficiency as affected by harvest traffic and soil compaction in a sandy loam soil: *Irrigation Science*.12, 61-65.

Reha, A. and Hanks, R. J. (1980). Corn and alfalfa production as influenced by limited Irrigation: *Irrigation Science,* 1,135-147.

Rostami (1989) . Evaluation of drought resistance of alfalfa cultivars under normal conditions and stress response. *Iranian Journal of Agriculture Science*. 23 (3),10- 13.

Saeed, L. A. M. A. H. E. L. NADI. (1997). Irrigation effects on the growth yield and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science*. 17, 63-68.

Scott Armstrong, J. and Fred Collopy (1992). "Error Measures for Generalizing About Forecasting Methods: Empirical Comparisons". *International Journal of Forecasting*, 8, 69–80.

Shurong Li, Limei GAO. (1999). Water Deficit sensitivity index for spring wheat in arid and semi –arid Areas of Inner Mongolia: proceeding of *99 international conference on Agricultural Engineering*, Vhina.

Tafteh, A., Babazadeh, H., EbrahimiPak, N. A., and Kaveh, F. (2013). Evaluation and Improvement of Crop Production Functions for Simulation

Archive of SID

www.SID.ir

Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. *Journal of Agricultural Sciences*, 5 (3), 111- 122.

Tafteh, A. and Sepaskhah, A. R. (2012). Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. *Agricultural Water Management*. 113, 19–29.