

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

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

۱. دانشیار پژوهشی بخش آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه 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 - 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 کم آبیاری 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 (به ترتیب 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 اعمال شده 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 دوره 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 Taftah *et al* (2013)، که مقدار عملکرد محصول را بر مبنای ضریب توانی تعریف شده بر اساس نسبت ضرایب واکنش در بازه ماهیانه برآورد می‌کند، کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را داشت. با استفاده از روش Taftah *et al* (2013) مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، و مهر به ترتیب برابر ۰/۰۸۵، ۰/۰۹۹، ۰/۱، ۰/۱، ۱ و ۱ برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی، و نهایی به ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹۵، ۰/۱، ۱ و ۱ متوسط آن برای کل دوره رشد یونجه برابر ۰/۹۹ به دست آمد. در نتیجه روش Taftah *et al* (2013) با داده‌های ورودی کمتر می‌تواند روشی مناسب به خصوص برای استفاده در مدل‌های بهینه‌سازی باشد.

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

مقدمه

یونجه یا طلای سبز مهم‌ترین گیاه علوفه‌ای دنیا و اولین گیاه علوفه‌ای اهلی شده است که بشر اولیه آن را برای تغذیه دام تشخیص داده است. یونجه گیاه بومی ایران و از گذشته دور گیاهی با ارزش در تغذیه 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 سی و دو میلیون هکتار است. ایران، از نظر تولید یونجه، در رده 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 رابطه 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 کم آبیاری یکی از روش‌های بهینه‌سازی مصرف آب است که در آن با اعمال درجه‌ای از کم آبی به گیاه و قبول مقداری کاهش محصول در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود. کم آبیاری روشی برنامه‌ریزی شده برای آبیاری گیاه است. این عمل ممکن است بر آبیاری کامل در مواقعی که منابع آب محدود یا هزینه 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 ماده خشک به دست می‌آید (Rechel *et al*, 1991). نیاز آبی گیاه یونجه بین ۵۶۰ تا ۷۳۰ لیتر آب به ازای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به منظور

صورتی که منابع آب محدود باشد برای مصرف بهینه آب باید نوع گیاه، مرحله 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 به دست آورد. تنش آبی در اواخر مرحله رشد ممکن است مفید باشد؛ لیکن زمان قطع آب آبیاری به اقلیم منطقه، بافت خاک، عمق خاک، و میزان آب ذخیره شده در عمق توسعه 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 دوره 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 ده‌ساله از منطقه 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 مقایسه آن با روش‌های تجربی و تخمین مقدار ضرایب واکنش عملکرد محصول یونجه در دشت قزوین (k_p) 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 مزرعه لومی رسی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تیمار زمانی آبیاری شامل E_1 ، E_2 ، E_3 ، E_4 (به ترتیب 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 اجرا شده در هر سال متفاوت و نتایج آبیاری در سال از نظر آماری معنادار بود، تیمارها به صورت T_1 تا T_{12} جهت مقایسه بهتر تفکیک شدند. در اوایل بهار ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و پیش از کاشت

تأمین نیاز تعرقی در طی فصل رشد گزارش شده است (Kipis et al, 1989). نتایج یک آزمایش در منطقه نیومکزیک امریکا نشان داد به ازای هر ۶۲۵ تا ۹۰۰ لیتر آب ۱ کیلوگرم ماده خشک یونجه (Abdul Jabbar et al, 1983) و در منطقه تکزاس به ازای هر ۵۴۶ تا ۹۱۲ لیتر آب ۱ کیلوگرم ماده خشک یونجه (Bolger and Matches, 1990) و در منطقه یوتای امریکا به ازای هر ۳۸۶ تا ۶۳۶ لیتر آب ۱ کیلوگرم ماده 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 ماده خشک علوفه در هر هکتار به دست 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 ده‌روزه 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 ده‌روزه با ۸۰ میلی‌متر و سیزده‌روزه با ۱۰۴ میلی‌متر، تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک، می‌توان نتیجه گرفت که با دوره هفت روز و آب خالص ۱۲۷۰ میلی‌متر میزان عملکرد محصول به ۱۵/۳ تن و با دوره ده روز و آب خالص ۱۳۰۰ میلی‌متر میزان عملکرد محصول به ۱۲/۹ تن در هکتار و با دوره 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 به دست می‌آید. با توجه به صرفه‌جویی انجام‌گرفته برای تحصیل حداکثر سود در مقایسه با آبیاری کامل، عمق خالص مناسب اقتصادی برای منطقه 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

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.

$$dn = \sum_{i=1}^n (Fc - \theta_i) D \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

پس از محاسبه مقدار dn، میزان آب آبیاری به وسیله کنتور آب اندازه‌گیری شد. با توجه به مسدود بودن انتهای هر کرت، آب مورد نیاز کرت آزمایشی به وسیله لوله پلی‌اتیلن در ابتدای هر کرت بین ردیف‌های کاشت تقسیم شد تا به طور یکنواخت در اختیار گیاه قرار گیرد.

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 (۴×۵) قطعه‌بندی شد. از رقم یونجه همدانی به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. آبیاری به شیوه کرتی و میزان آب ورودی به وسیله 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 به کار 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 اندازه‌گیری می‌شد، از رابطه تعیین عمق آب آبیاری (رابطه ۱) محاسبه و به وسیله 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

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

OC (meq/L)	N (%)	K (PPM)	P (PPM)	Na (meq/L)	Ca+Mg (meq/L)	۱۰× هدایت الکتریک (ds/m)	اسیدیته خاک (PH)	نقطه پژمردگی (درصد وزنی)	ظرفیت نگهداری (درصد وزنی)	درصد شن	درصد سلیت	درصد رس	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	عمق خاک (سانتی‌متر)
۰٫۸۶	۰٫۰۹	۳۶	۸	۴	۴	۰٫۷۴	۸٫۱	۱۳٫۹	۲۲٫۵	۲۸	۳۹	۳۳	لومی رسی	۱٫۵۶	۰-۳۰
۰٫۶	۰٫۰۶	۲۸	۲	۵	۵	۰٫۸۷	۸	۱۴٫۲	۲۴٫۵	۳۲	۲۹	۳۹	لومی رسی	۱٫۷۲	۳۰-۶۰

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 رابطه استفاده‌شده در این تحقیق رابطه کاهش نسبی محصول و کمبود تبخیر- تعرق نسبی است که به صورت رابطه ۳ ارائه می‌شود (Doorenbos and Kassam, 1979):

در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم از قبیل وجین علف‌های هرز و سم‌پاشی آفات و بیماری‌های گیاهی، به خصوص 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 قطعه زمینی به ابعاد ۴۰×۴۰ متر نصب شد؛ طوری که چهار جهت آن پوشش گیاهی یونجه بود. در طول فصل زراعی با استفاده از رابطه ۲ بیلان رطوبتی خاک و میزان تبخیر- تعرق گیاه یونجه برای تیمارهای مختلف محاسبه شد (Jensen, 1968):

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

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

d: شاخص توافق، n: تعداد داده‌ها، X: داده اندازه‌گیری شده، Y: داده تخمین زده شده به وسیله مدل، \bar{X} : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده، \bar{Y} : میانگین داده‌های تخمین زده شده به وسیله مدل است.

یافته‌ها و بحث

تجزیه 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, 1997) مطابقت دارد.

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

P	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰٫۰۵۳ ^{ns}	۹٫۴۵	۳	تکرار
۰٫۱۹۰۶ ^{ns}	۲٫۲۳	۲	سال
۰٫۰۰۰ ^{**}	۹۰٫۵۵	۳	آبیاری
۰٫۰۳۸۲ [*]	۳٫۲۷	۶	آبیاری در سال
۱٫۲۸	۴۲٫۳۵	۳۳	خطا

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

برابر ۱۲۴۷ میلی‌متر مربوط به تیمار T₁₂ با حداقل عملکرد محصول ۱۰۰۲۰ کیلوگرم در هکتار است و بیشترین مقدار آب مصرفی یونجه در تیمار ۴۰۴ میلی‌متر و کمترین مقدار آن ۷۴ میلی‌متر در اردیبهشت‌ماه است.

مقایسه میزان عملکرد توابع تولیدی با تابع تولید Taftah et al (2013)

هم‌زمان با اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول، با استفاده از روش‌های (Allen, 1979), (Doorenbos and Kassam, 1979), (Allen, 1994), (Rao et al, 1988), (Raes, 2004), و روش Taftah et al (2013) مقدار عملکرد محصول محاسبه شد. بر اساس ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R²) 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

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

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

RMSE: ریشه مربعات خطا، n: تعداد داده‌ها، X: داده اندازه‌گیری شده، Y: داده تخمین زده شده به وسیله مدل است.

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

NRMSE: ریشه مربعات خطای نرمال، n: تعداد داده‌ها، X: داده اندازه‌گیری شده، Y: داده تخمین زده شده به وسیله مدل، \bar{X} : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده است.

نیاز آبی گیاه یونجه

نیاز آبی گیاه یونجه در جدول ۴ می‌آید. بیشترین نیاز آبی یونجه در کل دوره رشد برابر با ۱۶۸۷ میلی‌متر در تیمار T₁ است که با نتایج لایسیمتر کار گذاشته شده، به منزله شاهد، مطابقت دارد و معادل ۹۹۷ لیتر آب مصرفی به ازای یک کیلوگرم ماده خشک است. مقدار نیاز آبی به ازای تولید یک کیلوگرم ماده 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 به دست آمده به ترتیب 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 به عمل آمده تأیید می‌کنند. با توجه به جدول، تیمار T₁ دارای حداکثر عملکرد محصول برابر ۱۶۸۳۰ کیلوگرم در هکتار است و حداقل آب مصرفی یونجه

Allen (1994) و Rao *et al* (1988) به ترتیب کمترین مقدار را داشتند و ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) روش‌های Taftah *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Rao *et al* (1994)، Allen (1979) و Doorenbos and Kassam (1988) به ترتیب کمترین مقدار را داشتند. هر اندازه این مقادیر کمتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Taftah *et al* (2013) کمترین مقدار خطا را داشت که مطابق سایر گزارش‌هاست (Raes *et al*, 2006; Taftah *et al*, 2013). همچنین شاخص توافق نشان می‌دهد روش Taftah *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994) و Rao *et al* (1988) به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند و ضریب تعیین (R^2) نشان داد روش‌های Taftah *et al* (2013)، Raes (2004)، Averaging، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994) و Rao *et al* (1988) به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. بنابراین هر قدر این مقادیر بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Taftah *et al* (2013) بیشترین مقدار را داشت. مطابقت آماری حاصل شده نشان می‌دهد روش Taftah *et al* (2013) با کاربرد ضریب واکنش FAO کمترین مقدار ریشهٔ مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. در نتیجه روش Taftah *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 آسان کردن تابع تولید با حفظ دقت تخمین است.

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

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

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 به ترتیب برابر ۲۶۹۱ و ۰/۲۱ و ۰/۵۵ است. مقدار خطای نرمال ۲۱ درصد بود. تابع دوم بررسی شده در این مقاله روش Allen (1994) است. مقایسهٔ میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۴۹ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب 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 به ترتیب 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 اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۴۵ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب 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 به ترتیب برابر ۱۰۲۸ و ۰/۰۷۹ و ۰/۹۲ و مقدار خطای نرمال ۸ درصد است. تابع ششم روش Taftah *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 محاسبه شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۹۳ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب 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 Taftah *et al* (2013) مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۹۱ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب 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 Taftah *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)

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) به ترتیب برابر ۰/۸۵، ۰/۹، ۰/۹۹، ۱/۱، ۱/۱، و ۱ است.

مرحله خاص یا کل مرحله 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،

جدول ۴. میزان تبخیر- تعرق ماهیانه یونجه در منطقه 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	۱۶۸۳ ^a
T ₂	۲۷۹	۲۳۲	۲۷۳	۳۵۳	۳۰۸	۲۰۷	۱۶۵۲	۱۶۷۰ ^a
T ₃	۱۰۱	۱۷۴	۲۶۸	۲۷۵	۲۵۵	۲۲۷	۱۳۰۰	۱۴۳۰ ^b
T ₄	۷۴	۲۸۵	۴۰۴	۳۳۸	۱۸۴	۲۱۸	۱۵۰۲	۱۳۷۰ ^c
T ₅	۲۳۴	۲۲۰	۲۰۴	۲۳۶	۲۱۶	۲۳۱	۱۳۴۱	۱۳۴۰ ^d
T ₆	۱۱۵	۱۴۱	۲۹۶	۳۳۸	۳۰۰	۱۸۵	۱۳۷۵	۱۳۳۰ ^d
T ₇	۲۶۱	۲۰۰	۳۵۵	۲۵۳	۸۱	۲۰۶	۱۳۵۶	۱۲۷۶ ^e
T ₈	۸۸	۳۴۰	۳۳۰	۲۴۵	۲۱۱	۱۶۴	۱۳۷۸	۱۲۲۸ ^f
T ₉	۸۷	۲۵۹	۲۴۷	۴۰۱	۱۳۴	۱۷۸	۱۳۰۵	۱۱۱۰ ^g
T ₁₀	۲۳۳	۲۰۳	۲۳۳	۲۵۳	۲۱۵	۱۴۵	۱۲۸۲	۱۱۰۷ ^g
T ₁₁	۸۵	۱۶۹	۲۷۷	۳۲۳	۲۸۷	۹۷	۱۲۳۸	۱۰۹۰ ^g
T ₁₂	۹۰	۱۰۵	۳۴۷	۲۴۵	۲۰۸	۲۵۲	۱۲۴۷	۱۰۰۲ ^h

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

جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد اندازه‌گیری شده و برآورد شده با توابع و ضرایب واکنش‌های مختلف

اندازه‌گیری 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

جدول ۶. مقایسه 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	۰٫۱۵	۰٫۵۰
Averaging	۰٫۹	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۱٫۰۱	۹۹۰	۰٫۷۳	۰٫۹۲	۰٫۹۲
Rao	۰٫۹۹	۱	۱	۱	۱	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۱۰۸۷۰	۰٫۸۲	۰٫۱۰۸	۰٫۵۱
Raes	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۰٫۹۹	۱۰۰۸	۰٫۷۵	۰٫۹۲	۰٫۹۲
Tafteh	۰٫۸۵	۰٫۹	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۱	۱	۰٫۹۹	۹۴۰	۰٫۷۰	۰٫۹۲	۰٫۹۳

مقایسه 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 اندازه‌گیری شده مقایسه شد. به منظور مطابقت آماری نتایج از ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R²) استفاده شد. جدول ۶ ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی را به روش Doorenbos and Kassam (1979) به صورت ساده و برای کل دوره رشد نشان می‌دهد؛ که با استفاده از این روش مقدار ضریب واکنش محاسبه شد. مقایسه ضریب واکنش با مقدار اندازه‌گیری نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۵۷ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۲۰۰۴ و ۰٫۱۸ و ۰٫۶۵ و مقدار خطای نرمال آن در حالت بهینه ۱۸ درصد است. تابع دوم بررسی شده در این روش Allen (1994) است که این روش بر اساس حداقل تنش وارده بر گیاه در طول دوره 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 محاسبه شده جهت تخمین استفاده شود، مقدار ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۵ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۵۲۲۴ و ۰٫۴۲ و ۰٫۱۵ 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 محاسبه شده با این روش مقدار ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۹۲ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۹۹۰ و ۰٫۷۳ 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 محاسبه شده اگر با مقدار ضریب واکنش اندازه‌گیری مقایسه شود مقدار ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۵۱ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۱۰۸۷۰ و ۰٫۸۲ و ۰٫۱۰۸ 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 دوره رشد که با توجه به بازه زمانی ماهیانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده اگر با مقدار اندازه‌گیری مقایسه شود مقدار ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۹۲ و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۱۰۰۸ و ۰٫۷۵ 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 بازه زمانی ماهیانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان داد مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده با روش Tafteh *et al* (2013) دارای ضریب تعیین (R²) برابر ۰٫۹۳ است و RMSE و NRMSE و d به ترتیب برابر ۹۴۰ و ۰٫۷ و ۰٫۹۲ و مقدار خطای نرمال ۷ درصد است. با توجه به جدول ۶ ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) روش‌های Tafteh *et al* (2013)، Averaging، Raes (2004)، Doorenbos and Kassam (1979)، Allen (1994)، Rao *et al* (1988) به ترتیب کمترین مقدار را داشتند. بنابراین هر اندازه این مقادیر کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل است و در نتیجه روش Tafteh

(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 یونجه 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. مقایسه روش Raes (2004) با ضرایب Najarchi et al (2011) نشان داد میزان خطا به ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. در روش Taftah 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 Taftah et al (2013) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. زیرا آنچه بر وزندهی مؤثرتر است طول دوره رویش نیست، بلکه میزان واکنش عملکرد گیاه در آن دوره‌هاست. بنابراین، روش Taftah et al (2013) جواب‌هایی پذیرفتنی ارائه می‌کند. با توجه به نتایج نیاز آبی گیاه یونجه در کل دوره رشد برابر ۱۶۷۸ میلی‌متر و تیمار T₁ با حداکثر عملکرد محصول برابر ۱۶۸۳۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار T₁₂ با حداقل عملکرد محصول برابر ۱۰۰۲۰ کیلوگرم در هکتار است. مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، و مهر به ترتیب برابر ۰,۸۵، ۰,۹، ۰,۹۹، ۱,۱، ۱,۱ و ۱ است. مقادیر ضریب واکنش عملکرد یونجه برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی، و نهایی به ترتیب برابر ۰,۸۵، ۰,۹۵، ۱,۱ و ۱ است و متوسط آن برای دوره رشد یونجه برابر ۰,۹۹ است. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری نشان می‌دهد روش Taftah et al (2013) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. در نتیجه روش Taftah et al (2013) روشی مناسب معرفی و توصیه می‌شود.

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

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

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

با توجه به مقادیر ضریب واکنش پیشنهادی (K_p) ارائه شده در جدول ۶، مقادیر ضریب واکنش عملکرد یونجه برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی، و نهایی به ترتیب برابر ۰,۸۵، ۰,۹۵، ۱,۱ و ۱ است و متوسط آن برای دوره رشد یونجه برابر ۰,۹۹ به دست آمد. Doorenbos and Kassam (1979) برای کل مرحله رویش گیاه ضریب واکنش گیاه را برابر ۱,۱ گزارش کردند که در مقایسه با روش Taftah 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

REFERENCES

- Abdul Jabbar, A. S., Sammis, J. W., Iyig, 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-c8dd4d40d1ef>.
- Jensen, J. W. (1968). *Water consumption by agricultural plants*. In: Kozłowski, 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. www.fao.org/AG/AGL/aglw/cropwater/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). Budget: 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

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.