اثر آب آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای با هدف تعیین تابع تولید – آب – کود (رقم پگاه)

سیدحسن موسوی فضل[1*]، احمد اخیانی[2] و سید امیر عطاردی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران. Hmousavifazl@yahoo.com

۲- عضو هیات علمی (مربی پژوهشی) بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

۳- محقق بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آب آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای، پژوهشی در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان سمنان(شاهرود) در سال ۱۳۹۳ انجام شد. فاکتورهای این پژوهش شامل آب آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، کود پتاسیم در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی) و ارقام سورگوم علوفه‌ای (پگاه، کرج و اسپیدفید) بودند. آب آبیاری با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه به روش پنمن- مانتیث محاسبه و با روش آبیاری قطره‌ای (T- tape) در اختیار گیاه قرار گرفت. نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های پژوهش نشان داد که اثر عوامل آب آبیاری، کود پتاسیم و رقم بر عملکرد علوفه، وزن خشک اندام‌های هوایی، ارتفاع گیاه، تعداد برگ هر بوته، وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ساقه معنی‌دار است. حداکثر عملکرد علوفه از سطح آب و کود ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. سطح آب ۷۵ درصد بهره‌وری مصرف آب بیشتری نسبت به دیگر سطوح آب داشت. تیمار W75K100Vp به‌عنوان تیمار برتر انتخاب شد. برای تعیین توابع تولید محصول- آب- کود پتاسیم از معادله‌های ریاضی خطی ساده، خطی لگاریتمی، درجه دوم و نمایی (متعالی) استفاده شد. معادله‌ی درجه دوم به عنوان معادله‌ی برتر انتخاب شد. برای بررسی اثر جداگانه و توام آب آبیاری و کود پتاسیم بر عملکرد علوفه، شاخص‌های تولید نهایی (MP) و نرخ جایگزینی فنی (MRTS) برای آب آبیاری و کود پتاسیم محاسبه شد. متوسط شاخص تولید نهایی عملکرد علوفه نسبت به عمق آب آبیاری (MPI) برابر با ۱/۵۲ تن بر سانتی‌متر، شاخص تولید نهایی کود پتاسیم (MPK) برابر با ۰/۰۷۶ تن بر کیلوگرم در هکتار بدست آمد. نرخ جایگزینی فنی کود پتاسیم به جای آب آبیاری (MRTS) برای عملکرد علوفه ۰/۰۵ کیلوگرم تعیین شد. متوسط ارزش ریالی تولید علوفه نسبت به عمق آب آبیاری برابر ۳۰۴۰۰۰۰ و ارزش تولید نهایی کاربرد کود پتاسیم ۱۵۲۰۰۰ ریال به‌دست آمد.

کلید واژه‌ها : آب آبیاری، کود پتاسیم، سورگوم علوفه‌ای، تابع تولید.

Effect of Irrigation Water and Potassium Fertilizer on The Forage yield of Sorghum With The Aim to Determine The Yield Function - Water – Fertilizer (Pegah Variety)

S.H. Mousavi Fazl[1*] A. Akhyani[2] and A. Atarodi[3]

1*- Corresponding Author, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.

2- Soil and Water Research Department, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.

Archive of SID

www.SID.ir

3- Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan province (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.

Received:23 December 2015 Accepted:20 February 2016

Abstract

This study was conducted to evaluate the effects of different levels of irrigation water and potassium fertilizer on the yield and its components of sorghum forage. This research was carried out in the Agricultural Research Center of Semnan (Shahrood) in 2014. The factors in this study were the irrigation water in three levels (50, 75 and 100% water requirement) and potassium fertilizers in three levels (0, 50 and 100% of the required fertilizer based on soil test) and forage sorghum varieties (Pegah, Karaj and Speed feed). The analysis of variance of data showed that the factors of water and potassium fertilizer on yield, shoot dry weight, plant height, number of leaves per plant, leaf dry weight, leaf area and stem dry weight were significant (1%). The highest forage yield was obtained from the 100 percentage level of the water and fertilizer. The efficiency of water use in water level of 75 percent was more than other levels. The highest yield was observed from W100K100 treatment. Thus W75K100Vp treatment was recommended as a superior treatment. To determine the functions of forage yield - water - potassium fertilizer, linear, logarithmic linear, quadratic and exponential mathematical equations were used. The Quadratic equation was chosen as the premier equation. In order to study the separate and combined effects of irrigation water and potassium fertilizer on the yield forage sorghum, the marginal production (MP) and the rate of substitution (MRTS) for irrigation water and potassium fertilizers were calculated. The marginal production of water irrigation (MPI) and marginal production of potash fertilizers (MPK) were equal to 1.52 tons per cm and 0.076 (ton/ kg. ha), respectively. The rate of technical substitution of potassium fertilizer instead of irrigation water (MRTS) for forage yield was determined as 0.05 kg. The average monetary value of forage and final production of potassium fertilizers were obtained as 3040000 and 152000 rials respectively.

Keywords: Water irrigation, Potassium fertilizer, Sorghum, Yield function.

مقدمه

کم‌آبیاری تنظیم شده یکی از راه‌های افزایش کارایی مصرف آب است. در کم‌آبیاری گیاه در قسمتی یا تمام طول فصل رشد خود، در معرض سطح معینی از تنش قرار می‌گیرد. در این روش، کاهش عملکرد در مقایسه صرفه‌جویی در مصرف آب ناچیز است (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲). هدف از کم‌آبیاری تنظیم شده بهینه ساختن کارآیی مصرف آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازای یک واحد آب مصرفی است. هر افت کوچکی در عملکرد در نتیجه اجرای یک تنش ملایم رطوبتی تحت این استراتژی، با سود حاصل از کاهش مصرف آب – که منجر به کاهش بیش از حد در رشد رویشی می‌شود، جبران می‌گردد (شمس بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۴). اگر چه حداکثر عملکرد محصول در نتیجه آبیاری کامل به‌دست می‌آید، اما همیشه عملکرد حداکثر، عملکرد اقتصادی نخواهد بود. تحقیقات نشان داده است که اگر برای بسیاری از محصولات کشاورزی زمان اعمال کم‌آبیاری و مقدار آن به‌درستی انتخاب شود ضمن افزایش کارایی مصرف آب، عملکرد نیز افزایش می‌یابد. با افزایش سطح زیر کشت و افزایش بازده اقتصادی می‌توان کاهش عملکرد را جبران کرد (بازا[1]، ۱۹۹۴). کم‌آبیاری در بسیاری از نقاط جهان رایج است (انگلیش و راجا[2]، ۱۹۹۶). در پژوهشی اثر کم‌آبیاری تنظیم شده بر رشد گیاه و غلظت عناصر غذایی در برگ و عملکرد سورگوم در یک آزمایش گلخانه‌ای در دانشگاه ترنگانو مالزی بررسی شد. سطوح آبیاری در این پژوهش شامل چهار سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بودند. نتایج نشان داد گیاه سورگوم می‌تواند در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده به‌خوبی رشد نماید. پارامترهای رشدی گیاه و کارایی مصرف آب در سطوح آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد بهتر از سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد بودند (ادزمی و ابراهیم [3] ، ۲۰۱۵).

1 - Bazza
2 - English and Raja
3 - Adzemi and Ebrahim

Archive of SID

www.SID.ir

در ایران نیز تحقیقات زیادی روی کم‌آبیاری انجام شده است (شیرمحمدی علی‌اکبرخانی، ۱۳۹۲). گیاهانی مانند پنبه، ذرت، گندم، آفتابگردان، چغندر قند و سیب زمینی برای کم‌آبیاری مناسب هستند و چنانچه کم‌آبیاری به یک دوره مشخص از رشد محدود شود، می‌توان با ۲۵ درصد کاهش در مقدار آب آبیاری، کارائی مصرف آب را ۱/۲ برابر افزایش داد (هوشمند و همکاران، ۱۳۹۳).

حبیبی و همکاران (۱۳۹۲) پژوهش‌هایی در خصوص مقاومت ارقام سورگوم به تنش آبی انجام دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که اثر تنش آبی و رقم بر درصد پروتیین، الیاف خام معنی‌دار است. نتایج این پژوهش نشان داد با کاهش تنش، این مقادیر افزایش می‌یابد. در پژوهش دیگری اثر تنش آبی بر ارقام سورگوم بررسی شد، نتایج نشان داد عملکرد و پروتیین علوفه با افزایش تنش کاهش می‌یابد. بیشترین عملکرد علوفه با شرایط بدون تنش در رقم پگاه حاصل شد (موسوی، ۱۳۸۳).

نتایج پژوهش‌های محمد و آشوک[1] (۲۰۱۴)، فاروکی و بسرامو[2] (۲۰۰۴)، هاول و همکاران[3] (۱۹۹۵) نشان می‌دهد که کاربرد کود پتاسیم می‌تواند بخشی از تنش آبی وارده به گیاه را جبران نماید.

تابع تولید محصول

تابع تولید محصول و آب مصرفی در تجزیه و تحلیل اقتصادی و یافتن شیوه‌هایی برای بهینه‌سازی مصرف آب کاربردهای فراوانی دارد. تابع تولید یک مفهوم فیزیکی است و رابطه‌ی بین ستاده و نهاده‌های تولید را نشان می‌دهد. تابع تولید نشان دهنده مقادیر یک محصول است که با استفاده از مقادیر مختلف یک نهاده‌ی متغیر به دست می‌آید. تابع تولید را می‌توان به صورت نمودار، جدول و فرمول ریاضی بیان کرد. اگر مقدار نهاده‌های تولید را با Xi و مقدار محصول را با Y نشان دهیم، فرم کلی تابع تولید در کوتاه مدت به صورت رابطه (۱) می‌باشد :

$$Y= f(X_1, X_2, X_3, ..., X_k \mid X_{k+1}, X_n) \qquad (۱)$$

در این رابطه، X_1 تا X_k نهاده‌های متغیر و سایر نهاده‌ها ثابت‌اند. تابع تولید رابطه‌ای بین واکنش گیاه به نهاده‌های تولید مانند آب، کود، خاک، انرژی و ... است (نجفی مود. ۱۳۹۱). توابع تولید به دو روش برآورد می‌شوند. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های نظری و تجربی است که ناشی از فرآیندهای آب و محصول است. مقادیر این پارامترها در این روش از اندازه‌گیری به‌دست می‌آید. دومین روش برآورد تابع تولید، استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مشاهداتی چون سطح تغییرات عملکرد، مقدار آب کاربردی و سایر نهاده‌ها است. توابع تولید به شکل‌های مختلف ظاهر می‌شوند. این توابع به ساده‌ترین شکل، به صورت خطی و در شکل پیچیده‌تر و واقعی‌تر به صورت درجه‌ی ۲ و بالاتر، لگاریتمی و نیمه لگاریتمی، نمایی و امثال آن قابل بیان هستند. تعیین شکل دقیق تابع تولید تا حدود زیادی بستگی به شرایط تولید دارد. اقتصاددانان علاوه بر استفاده از تجربیات مشابه، ملاک انتخاب شکل تابع را بر مبنای توجیه آماری قرار می‌دهند (شیرمحمدی علی‌اکبرخانی، ۱۳۹۲). تابع تولید آب - محصول در ارائه راهکارهای مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محققان روابطی بین مقادیر آب مصرفی و عملکرد پیدا نموده‌اند. اغلب این معادله‌ها از نوع درجه اول یا دوم هستند (لیو و همکاران[4] ، ۲۰۰۶).

این پژوهش با هدف بررسی اثر کم‌آبیاری و مصرف کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای و تعیین توابع تولید نسبت به عوامل تولید، و نیز بررسی میزان تاثیر کود پتاسیم در کاهش صدمات ناشی از تنش‌های آبی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) واقع در کیلومتر ۳ جاده‌ی شاهرود به بسطام انجام شد. منطقه دارای متوسط بارندگی سالیانه ۱۷۵ میلی‌متر و آب و هوای گرم و خشک است. بر اساس آمار دراز مدت، دوره خشک از اواسط اردیبهشت ماه شروع می‌شود و تا نیمه‌ی آبان ماه ادامه دارد. بقیه‌ی ماه‌های سال جزء دوره‌ی مرطوب منطقه محسوب می‌گردد. اقلیم منطقه مطابق طبقه‌بندی آمبروژه خشک و سرد است.

کیفیت آب و خاک

برای تعیین خصوصیات فیزیکو شیمیایی آب و خاک مورد استفاده در این پژوهش، نمونه‌هایی تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. جدول (۱) خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک و جدول (۲) نتایج شیمیایی آب را نشان می‌دهد.

1 - Mohamed andAshok
2 - Bssreeramu,
3 - Howell *et al.*

4 - Liu *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی – شیمیایی خاک

پارامتر های اندازه‌گیری شده	عمق خاک (سانتی‌متر)	
	۰-۳۰	۳۰- ۶۰
۱- بافت خاک	لوم	لوم
الف- درصد شن	۴۵	۴۵
ب- درصد سیلیت	۳۲	۳۴
ج- درصد رس	۲۳	۲۱
۲- وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۴۶	۱/۵۹
۳- رطوبت وزنی در حد ظرفیت مزرعه(درصد)	۲۰/۷	۱۹/۷
۴- رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی(درصد)	۹/۵	۹
۵- اسیدیته خاک (pH)	۷/۹	۷/۸
۶- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس برمتر)	۱/۴	۱/۳
۷- عناصر غذایی		
الف- پتاسیم قابل جذب(قسمت در میلیون)	۱۵۰	۲۵۰
ب- فسفر قابل جذب(قسمت در میلیون)	۱۶	۱۲
ج- ازت کل(درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول ۲- نتایج تجزیه‌ی کیفی آب آبیاری

هدایت الکتریکی (میکروموس برسانتی-متر)	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی والان در لیتر)			آنیون‌ها (میلی اکی والان در لیتر)		نسبت جذب سدیم
		$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	$SO4^{2-}$	$Hco3^{-}+Co3^{2-}$
۱۱۵۱	۸/۱	۵/۶	۳/۵	–	۵/۲	۰/۹۲	۲/۹۸	۲/۱

روش تحقیق

برای بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و مصرف کود پتاسیم بر عملکرد علوفه و اجزای آن و تعیین توابع تولید در سورگوم علوفه‌ای، پژوهشی در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان(شاهرود) در سال ۱۳۹۳ به‌صورت مزرعه‌ای انجام شد. فاکتورهای عبارت بودند از : مقادیر مختلف آب آبیاری در سه سطح (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه)، مقادیر کود پتاسیم در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کود مورد نیاز براساس آزمون خاک) و ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای در سه سطح (رقم پگاه، اسپیدفید و کرج). پژوهش در قالب طرح استریپ فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. در این پژوهش آب به عنوان عامل اصلی، رقم و کود پتاسیم به صورت فاکتوریل به طور تصادفی در داخل نوارها قرار گرفتند. روش آبیاری در این پژوهش، آبیاری قطره‌ای با لوله‌های تیپ (Tape) انتخاب شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار خط کاشت و دو خط لوله‌ی تیپ به طول ۷ متر بود. فاصله بوته‌ها روی هر ردیف ۷ سانتی‌متر و در دو طرف هر خط لوله‌ی تیپ به فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر (فاصله دو ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر) و فواصل لوله‌های تیپ ۷۵ سانتی‌متر از همدیگر انتخاب شد. تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از داده‌های روزانه‌ی ایستگاه هواشناسی مستقر در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شاهرود با روش پنمن_مانتیث محاسبه می‌شد (سپاسخواه و همکاران، ۲۰۰۶). نیاز آبی روزانه با استفاده از رابطه‌ی(۲) محاسبه می‌شد.

$$Ud = ETo. Kc \qquad (۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

در این رابطه ETo میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) و Kc ضریب گیاهی است. میزان متوسط تعرق روزانه گیاه در روش آبیاری قطره‌ای به صورت زیر محاسبه شد.

$$Td = Ud.\left[\frac{Ps}{100} + 0.15\left(1 - \frac{Ps}{100}\right)\right] \quad (۳)$$

Td متوسط تعرق روزانه (میلی‌متر)، Ud متوسط آب مصرفی روزانه (میلی‌متر) و Ps سطح سایه‌انداز (درصد) است. سطح سایه‌انداز در طول فصل زراعی با توجه به مشاهدات مزرعه‌ای برآورد می‌شد. راندمان آبیاری قطره‌ای ۹۰ درصد در نظر گرفته شد و عمق ناخالص آبیاری و حجم آب مورد نیاز هر بوته از روابط (۴) و (۵) محاسبه شد.

$$G = Ig \times Sp \times Sr \times 2 \quad (۴)$$

$$Ig = \frac{Td}{E} = \frac{Td}{0.90} \quad (۵)$$

S_P و S_r به ترتیب فاصله بوته‌ها روی ردیف و فاصله ردیف لوله‌های تیپ (متر) و G حجم آب (لیتر) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۴). آب مصرفی در هر نوبت آبیاری از طریق کنتورهای حجمی و شیر فلکه‌ها کنترل و بر اساس محاسبات نیاز آبی در اختیار گیاه می‌گرفت. آب آبیاری مصرف شده در طول فصل زراعی برای سطوح آبی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب برابر ۳۲۰۰، ۴۳۰۰ و ۵۵۰۰ مترمکعب در هکتار بود. کود ازت در تمام تیمارها بطور یکسان و به اندازه‌ی نیاز از طریق سیستم آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. کود پتاسیم نیز با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای، مطابق تیمارها در سه نوبت (قبل از گلدهی) به مزرعه داده شد. کاشت در اول تیر و برداشت محصول در ۳۰ شهریور ماه در یک نوبت به صورت دستی انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای اس پی اس اس[1] نسخه ۲۲ و صص[2] نسخه 9.1 تجزیه و تحلیل شدند.

توابع تولید[3]

تابع تولید رابطه‌ی بین ورودی و خروجی در یک سیستم است. در این پژوهش، عملکرد علوفه به عنوان خروجی و مقادیر مختلف آب آبیاری و کود پتاسیم به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شد. شکل کلی تابع تولید در این پژوهش به‌صورت رابطه‌ی (۶) بیان شد.

$$Y = f(I, K) \quad (۶)$$

این رابطه نشان می‌دهد که مقدار Y (عملکرد علوفه) تابعی از مقدار آب آبیاری و کود پتاسیم است. در این رابطه Y عملکرد علوفه (تن در هکتار)، I مقدار آب آبیاری (سانتی متر) و K مقدار کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) در نظر گرفته شد. تابع عملکرد و اجزای آن به چهار صورت خطی ساده، لگاریتمی (کاب داگلاس)، تابع درجه دوم و متعالی بصورت زیر تعیین و مورد ارزیابی قرار گرفت (a_0 تا a_n ضرایب ثابت معادله‌اند).

الف) معادله خطی ساده

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 K \quad (۷)$$

ب) معادله لگاریتمی (کاب داگلاس) :

$$Y = a_0 I^{a_1} K^{a_2} \quad (۸)$$

ج) معادله درجه دوم

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 K + a_4 K^2 + a_5 IK \quad (۹)$$

د) معادله متعالی (رشد)

$$Y = a_0 I^{a_1} K^{a_2} \exp(a_3 I + a_4 K) \quad (۱۰)$$

شاخص‌های آماری ارزیابی توابع تولید

در این پژوهش برای ارزیابی و تحلیل بهترین تابع تولید، از معیارهای ارزیابی به شرح زیر استفاده شد (شیرمحمدی‌علی اکبرخانی، ۱۳۹۲).

- ضریب همبستگی[4] بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های تخمینی توسط مدل به‌صورت ضریب تبیین (R^2) بیان می‌گردد. ضریب تبیین بیانگر نسبت پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری است.

1 - SPSS22
2 - SAS9.1
3 - Yield Functions
4 - correlation coefficient

Archive of SID

www.SID.ir

– ریشـــه‌ی مربع میانگین خطا[1] بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی

$$RMES = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \qquad (۱۱)$$

Si مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده-ای) و N تعداد مشاهدات است. مقدار باقی مانده خطاها، انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

– جذر میانگین مربع خطای نرمال شده[2] بین داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی

$$NRMES = \frac{1}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \times 100 \qquad (۱۲)$$

در این رابطه $\bar{O}$ میانگین داده‌های مشاهده‌ای و NRMSE جذر میانگین مربع خطای نرمال شده است.

– ضریب کارایی مدل[3]

ضریب کارایی مدل از رابطه‌ی (۱۳) محاسبه شد.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum(O_i - \bar{O})^2} \qquad (۱۳)$$

– ضـریب باقیمانـده[4]

شاخص ضریب باقی مانده از رابطه‌ی (۱۴) محاسبه شد.

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} S_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \qquad (۱۴)$$

1 - Root Mean Square Error (RMSE)
2 - Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
3 - Coefficient of efficiency
4 - Coefficient of Residual Mass

بررسی شاخص‌های ارزیابی عملکرد

شاخص تولید نهایی[5]

شاخص تولید نهایی یک عامل تولیدی، برابر است با مقدار تغییر در عملکرد به ازای به کارگیری یک واحد بیشتر از آن نهاده. شاخص تولید نهایی نسبت به عمق آب به‌صورت رابطه‌ی (۱۵) و واحد آن تن در هکتار بر سانتی‌متر است.

$$MP_I = \frac{dy}{dI} \qquad (۱۵)$$

شاخص تولید نهایی نسبت به کود پتاسیم بصورت رابطه‌ی (۱۶) است. واحد آن تن در هکتار بر کیلوگرم بیان می‌شود.

$$MP_K = \frac{dy}{dK} \qquad (۱۶)$$

نسبت نهایی نرخ جایگزینی فنی[6] برای عمق آب آبیاری و کود پتاسیم

نسبت نهایی نرخ جایگزینی فنی عبارت است از نسبت جانشینی دو عامل تولید با یکدیگر، به شرط ثابت ماندن مقدار تولید. نسبت نهایی نرخ جایگزینی فنی کود پتاسیم نسبت به آب آبیاری به صورت رابطه‌ی (۱۷) بیان شد.

$$MRTS_{I,K} = \frac{MP_K}{MP_I} \qquad (۱۷)$$

برای بررســی میــزان خســارت وارده بــه ازای کــاهش یک واحد آب آبیاری از تابع ارزش نهایی تولید[7] (VMP) به صورت رابطه‌ی (۱۸) استفاده شد. در این رابطه P_y قیمت علوفه و VMP ارزش نهایی محصول است.

$$VMP_I = P_Y . MP_I \qquad (۱۸)$$

در این پژوهش برای بررسـی اثـرات جداگانـه و تـوأم مقـادیر مختلف آب آبیـاری و کود پتاسیم بــر عملکــرد علوفه، شــاخص‌هــای تولید نهایی و نرخ جایگزینی برای آب آبیاری و کود پتاسیم محاسبه شد.

5 -Marginal Production
6 -Marginal Rate of Technical Substitution
7 - Value of Marginal Production

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج و بحث

نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌های پژوهش نشان داد که فاکتورهای آب آبیاری، کود پتاسیم و رقم بر عملکرد محصول، وزن خشک اندام‌های هوایی، ارتفاع گیاه، تعداد برگ، وزن خشک برگ، سطح برگ، وزن خشک ساقه و محتوی آب نسبی برگ (در سطح یک درصد) معنی‌دار شدند. جدول (۳) نتایج تجزیه‌ی واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. اثر جداگانه‌ی آب آبیاری بر عملکرد محصول و خصوصیات اندام هوایی گیاه (در سطح یک درصد) معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد محصول از تیمار آبی ۱۰۰ درصد به‌دست آمد. عملکرد محصول در سطوح آبی ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب برابر با ۹۴، ۸۰ و ۶۷ تن در هکتار به‌دست آمد. اثر سطوح مختلف کود پتاسیم بر عملکرد محصول و خصوصیات اندام هوایی گیاه نیز (در سطح یک درصد) معنی‌دار شد. اثر جداگانه‌ی ارقام بر عملکرد محصول (در سطح یک درصد) معنی‌دار شد. مقدار عملکرد محصول در ارقام پگاه (Vp)، کرج (Vk) و اسپیدفید (Vs) به ترتیب ۹۲/۷ ، ۷۸ و ۷۰/۷ تن در هکتار به‌دست آمد. جدول (۴) مقایسه‌ی میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

اثر متقابل آب آبیاری و کود پتاسیم

اثر متقابل آب و کود پتاسیم بر عملکرد علوفه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد از تیمار آبی و کودی ۱۰۰ درصد (W100K100) به‌دست آمد (جدول ۵). تیمار آبی ۷۵ درصد با مصرف ۱۰۰ درصد کود پتاسیم مورد نیاز (W75K100) عملکردی بیشتر از تیمار آبی ۱۰۰ درصد با سطح کودی صفر درصد (W100K0) داشت. این مقادیر به ترتیب برابر با ۸۷/۸ و ۸۵/۵ تن در هکتار شدند. مقادیر مذکور از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. بنابراین کاربرد کود مصرفی توانست تا اندازه‌ای اثرات زیان بار تنش آبی را کاهش دهد. در صورتی که تنش آبی شدید باشد نقش کود پتاسیم کاهش می‌یابد. با افزایش سطح تنش‌های آبی، جبران عملکرد توسط کود پتاسیم کاهش یافت. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های محمد و آشوک (۲۰۱۴)، فاروکی و بسرامو (۲۰۰۴)، هاول و همکاران (۱۹۹۵) که معتقدند کاربرد کودها خصوصا پتاسیم می‌تواند بخشی از تنش آبی را جبران نماید، همخوانی دارد.

انتخاب تیمار برتر

با توجه به نتایج اثر متقابل آب و کود پتاسیم و نیز اثر رقم بر عملکرد محصول و سایر خصوصیات گیاه، تیمار (W75K100Vp) یعنی سطح آبی ۷۵ درصد و مصرف کود پتاسیم به اندازه‌ی نیاز و رقم پگاه به عنوان تیمار برتر انتخاب شد.

تعیین ضرایب توابع تولید و ارزیابی آن‌ها

از آنجاییکه در توابع تولید، آب مصرفی با عملکرد محصول رابطه‌ی مستقیم دارد، روش‌های آماری بر روش‌های نظری ترجیح داده می‌شوند. در این پژوهش به منظور تعیین توابع تولید آب – کود پتاسیم – عملکرد از معادله‌های ریاضی خطی ساده، خطی لگاریتمی، درجه دوم و نمایی (متعالی) بر اساس مقدار آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) و کود پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) استفاده شد. ضرایب معادله‌های مورد نظر به‌وسیله نرم افزار اس پی اس اس و صص با استفاده از رگرسیون چندگانه تعیین شدند. همچنین با استفاده از این نرم افزارها، آماره‌ی فیشر (F) که بیانگر معنی‌داری یا عدم معنی‌داری تابع در برآورد میزان عملکرد و اجزای عملکرد محصول است، به‌دست آمد. وقتی آزمون F معنی‌دار می‌شود، نشان می‌دهد که که برازش کلی مدل رگرسیونی و میزان باقیمانده‌های مدل در حد قابل قبول است. با استناد به این آماره میتوان معتبر بودن نتایج را اثبات نمود (سلطانی، ۱۳۸۶). ضرایب معادله‌های توابع مذکور در جدول-های (۶) تا (۹) ارائه شده است. با توجه به نتایج ارائه شده در جداول مذکور و آماره‌یF می‌توان گفت که کلیه توابع توانسته‌اند برآورد معنی‌داری از عملکرد علوفه، سطح برگ، وزن خشک برگ، وزن خشک گیاه و ساقه داشته باشند. آزمون دوربین واتسون برای بررسی استقلال خطاها از یکدیگر بکار می‌رود. اگر ضریب دوربین واتسون در بازه‌ی ۱/۵ تا ۲/۵ قرارگیرد، بین خطاها همبستگی وجود ندارد(سلطانی، ۱۳۸۶). در این پژوهش ضریب دوربین واتسون برای پارامترهای اندازه‌گیری، محاسبه شد (جدول‌های ۶ تا ۹).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات خصوصیات اندازه‌گیری شده‌ی سورگوم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد	وزن خشک اندام‌های هوایی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ هر بوته	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	سطح برگ	محتوی نسبی آب
بلوک	۲	۵۸/۷	۱۴۶	۱۹/۴	۲۲/۳	۴۳/۷*	۶۲	۶۲۵۲۰۳	۸۲/۸*
آب	۲	۴۹۱۳/۸**	۸۵۸۵/۴**	۱۱۷/۶**	۴۵/۲**	۵۲۸/۸**	۴۸۵۳/۲**	۱۱۱۵۵۷۵۴/۳**	۶۸۱/۲**
خطا	۴	۱۲۶/۸	۱۷۴/۳	۵۲۱/۵	۷/۳	۲۹	۹۰/۷	۶۹۵۰۱۹/۵	۲۴/۳
پتاسیم	۲	۹۰۲/۶**	۳۴/۸ **	۱۲۲/۷**	/۳۴۷**	۲/۰۵**	۱۹/۶**	۱۲۷۳۶۸/۴**	۲۷/۴**
رقم	۲	۳۳۹۳/۵**	۴۴۹/۹*	۳۴۰۱/۳**	۲۳۲/۲**	۴۵/۶**	۶۱۸/۲**	۸۸۹۴۷۰/۶*	۱۵۹**
آب × پتاسیم	۴	۲۳۴/۶**	۷۵۵/۹**	۳۷۶/۳	۶/۲	۶۶/۸**	۳۷۴/۸**	۹۳۱۲۳۲/۵*	/۸۹۵
آب × رقم	۴	۲۸۶/۹**	۶۲۶/۲**	۱۵۴	۱۴/۹**	۳۳/۴**	۴۴۶/۲**	۸۹۷۶۰۴/۴*	۱۵/۵
پتاسیم × رقم	۴	۱۴۲**	۱۸۰/۵	۸۳۷/۲*	/۷۲۲	۷/۹	۱۱۴/۴	۱۸۲۱۶۹	۴۹*
آب × پتاسیم × رقم	۸	۳۳/۸	۲۱۹	۴۱۴/۶	۱/۱	۹/۸	۱۵۰/۸	۲۱۱۶۲۸/۷	۱۵/۹
خطا	۴۸	۴۲/۸	۱۲۲/۶	۱۹۹/۲	۴/۴۵	۸/۸	۸۰/۱	۲۶۴۱۷۱	۱۴

** معنی‌دار در سطح یک درصد * معنی‌دار در سطح پنج درصد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- مقایسه‌ی میانگین‌های خصوصیات اندازه‌گیری شده‌ی سورگوم

منابع تغییر	عملکرد (تن در هکتار)	وزن اندام هوایی (گرم در بوته)	میانگین ها: ارتفاع (سانتی‌متر)	میانگین ها: تعداد برگ	میانگین ها: وزن برگ (gr/plant)	وزن ساقه (گرم در بوته)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	محتوی نسبی آب
آب								
W100	۹۴ a	۷۰/۷ a	۱۷۷/۸ a	۱۵ a	۲۲/۴ a	۴۸/۳ a	۳۶۰۲/۲ a	۸۶/۶ a
W75	۸۰ b	۴۵/۶ b	۱۳۵/۷ b	۱۵ a	۱۶/۱ b	۲۹/۵ b	۲۶۰۴/۲ b	۸۲/۴ b
W50	۶۷ c	۳۳/۶ c	۱۱۶./۷ c	۱۳ b	۱۳/۲ c	۲۰/۴ c	۲۲۹۸/۶ c	۷۶ c
پتاسیم								
K100	۸۶ a	۵۹/۳ a	۱۵۰a	۱۴ a	۱۷/۴ a	۳۸/۲ a	۲۸۷۷ a	۸۳ a
K50	۸۰/۶ b	۵۳/۶ b	۱۴۲/۷ b	۱۴ a	۱۵/۱ b	۳۳/۲ b	۲۶۹۳ b	۷۹ b
K0	۷۴/۶ c	۴۴/۳ c	۱۳۹/۵ b	۱۳ a	۱۳/۵ c	۳۰/۵ c	۲۵۹۰ b	۷۵/۵ c
رقم								
Vp	۹۲/۷ a	۵۵ a	۱۴۱/۵ b	۱۲ b	۱۶/۴ b	۳۸/۵ a	۳۰۵۵ a	۸۴/۶ a
Vk	۷۸ b	۴۷ b	۱۳۲/۵ c	۱۳ b	۱۶/۵ b	۳۰/۵ b	۲۶۹۸ b	۸۰/۵ b
Vs	۷۰/۷ c	۴۸ b	۱۵۶ a	۱۸ a	۱۸/۸ a	۲۹/۱ b	۲۷۵۲ b	۷۹/۸ b

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل آب و کود پتاسیم بر صفات اندازه‌گیری

پتاسیم	آب	عملکرد (تن در هکتار)	وزن خشک اندام هوایی (کیلوگرم در مترمربع)	وزن خشک برگ (کیلوگرم در مترمربع)	وزن خشک ساقه (کیلوگرم در مترمربع)	شاخص سطح برگ[1]
K100	W100	۱۰۲/۸ a	۲/۷ a	۱/۱ a	۱/۹ a	۴/۸ a
K50	W100	۹۴ b	۲/۲ b	./۹ B	۱/۵ b	۴/۲ b
K0	W100	۸۵/۵ c	۱/۸ c	./۶bc	۱/۱ c	۳/۳ cd
K100	W75	۸۷/۸ c	۱/۷ c	./۶ c	۱/۰۹ c	۳/۴ c
K50	W75	۸۲ c	۱/۵ cd	./۶ c	./۹ cd	۳/۱ cd
K0	W75	۷۰/۷ d	۱/۴ d	./۵ c	./۸ d	۳/۱ cd
K100	W50	۶۸ d	۱/۵ cd	./۵ c	./۷ d	۲/۹ d
K50	W50	۶۶/۲ d	۱/۱ d	./۴ cd	./۶ d	۲/۸ d
K0	W50	۶۴ d	۱ d	./۴ d	./۶ d	۲/۵ d

1 - Leaf area index

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦- ضرایب تابع خطی ساده (سورگوم در رقم پگاه)

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 K$$

پارامترهای کمی	ضرایب تابع خطی ساده			آماره F	ضریب تبیین	ضریب دوربین – واتسون
	a_0	a_1	a_2			
عملکرد علوفه (تن در هکتار)	۲۵/۳	۰/۰۱	۰/۰۵۷	۱۴/۶**	۰/۵۶	۱/۴۸
وزن خشک برگ بوته (گرم)	-۲۸/۸	۰/۰۱۷	۰/۰۸۳	۱۷**	۰/۷۰	۱/۹۷
وزن خشک ساقه (گرم)	-۱۳۸/۵	۰/۰۵۲	۰/۱۶۵	۱۴/۲**	۰/۶۵	۲/۵
وزن اندام هوایی (گرم)	-۱۶۷/۳	۰/۰۶۹	۰/۲۴۸	۲۱**	۰/۷۴	۲/۵
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	-۲۷۴۷	۲/۵	۱۲/۳	۹/۱**	۰/۵۵	۱/۲

- Y پارامترهای کمی (به شرح ستون اول جدول)، متغیر I آب آبیاری بر حسب مترمکعب در هکتار و K مقدار کود پتاسیم بر حسب کیلوگرم در هکتار می باشد.

جدول ۷- ضرایب تابع لگاریتمی (سورگوم در رقم پگاه)

$$Y = a_0 I^{a_1} K^{a_2}$$

پارامترهای کمی	ضرایب تابع لگاریتمی			آماره F	ضریب تبیین	ضریب دوربین – واتسون
	a_0	a_1	a_2			
عملکرد علوفه (تن در هکتار)	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۰۱۵	۱۳/۸**	۰/۵۴	۱/۶۸
وزن خشک برگ بوته (گرم)	$۱/۲\times۱۰^{-۵}$	۱/۸	۰/۰۶	۳۰**	۰/۸	۲/۱
وزن خشک ساقه (گرم)	$۱/۲\times۱۰^{-۷}$	۲/۴	۰/۱	۱۳/۳**	۰/۶۴	۲/۶
وزن اندام هوایی (گرم)	$۶/۸\times۱۰^{-۷}$	۲/۲۵	۰/۰۸۴	۲۲**	۰/۷۵	۲/۷
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۰/۰۴	۱/۴۶	۰/۰۴	۱۶/۱**	۰/۶۹	۲/۴

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۸- ضرایب تابع درجه دوم (سورگوم در رقم پگاه)

$$Y = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 K + a_4 K^2 + a_5 IK$$

پارامترهای کمی	ضرایب تابع درجه دوم						آماره F	ضریب تبیین	دوربین – واتسون
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5			
عملکرد (تن)	−۷۶	۰/۰۶۳	$-۶/۶\times۱۰^{-۶}$	−۰/۲۵۰	۰/۰۰۱	$۴/۷\times۱۰^{-۵}$	۸/۷**	۰/۶۸	۱/۳۵
وزن خشک برگ (گرم)	−۲۷۴	۰/۱۳۲	$۱/۳\times۱۰^{-۵}$	۰	۰/۰۰۲	-۵×۱۰^{-۵}	۱۳/۶**	۰/۸	۲/۵
وزن خشک ساقه (گرم)	۱۲۸/۶	−۰/۱	$۲/۱\times۱۰^{-۵}$	۰	۰/۰۱	۰	۱۳/۵ **	۰/۸	۲/۲
وزن اندام هوایی (گرم)	−۱۴۵/۶	۰/۰۲۹	$۷/۹\times۱۰^{-۶}$	۰	۰/۰۱۲	۰	۱۷/۹ **	۰/۸۴	۲/۴
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	−۴۱۲۹۰	۲۰/۴	−۰/۰۰۲	۰	۰/۳۶۹	−۰/۰۱	۶/۱ **	۰/۶۶	۲/۴

جدول ۹- ضرایب تابع رشد (سورگوم در رقم پگاه)

$$Y = a_0 I^{a_1} K^{a_2} \exp(a_3 I + a_4 K)$$

پارامترهای کمی	ضرایب تابع متعالی					آماره F	ضریب تبیین	ضریب دوربین – واتسون
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4			
عملکرد (تن در هکتار)	$۸/۶\times۱۰^{-۱۰}$	۳/۵	−۰/۰۳	−۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۱۰/۳**	۰/۶۵	۱/۳۴
وزن خشک برگ بوته (گرم)	$۱/۵\times۱۰^{-۶}$	۲/۱	۰	$۶/۵\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۲	۱۸/۹**	۰/۸۲	۲/۵
وزن خشک ساقه (گرم)	$۴/۴\times۱۰^{۳}$	−۱/۲۵	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۱۲/۵**	۰/۷۳	۲/۴
وزن اندام هوایی (گرم)	۰/۸	۰/۳۳	۰	۰	۰/۰۰۳	۱۶/۶**	۰/۷۸	۲/۴
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۰/۰۰۱	۱/۹۸	۰	۰	۰/۰۰۱	۱۰/۴ **	۰/۶۹	۲/۵

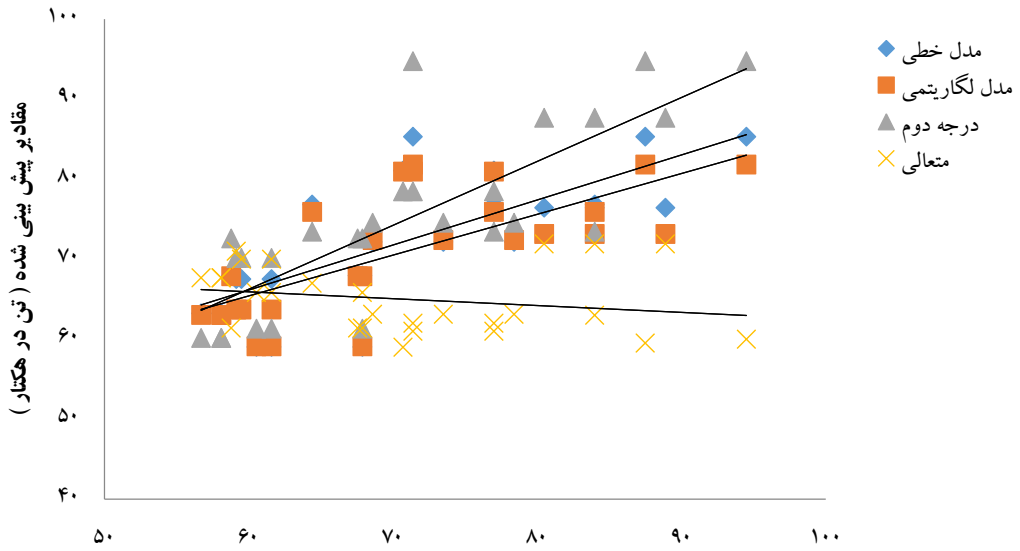
Archive of SID

www.SID.ir

مقایسه و ارزیابی توابع تولید آب – کود – عملکرد

برای مقایسه‌ی مدل‌های پیش‌بینی عملکرد از روی نمودار رگرسیون مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط هر کدام از مدل‌های خطی، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی (رشد) و محاسبه آماره‌ی تی استیودنت، خطوط رگرسیون (شکل ۱) با استفاده از نرم افزارهای صص و اس پی اس اس به‌دست آمد. همچنین پارامترهای ارزیابی ضریب تبیین، ریشه‌ی مربع میانگین خطا، جذر میانگین خطا، مدل خطی مدل لگاریتمی درجه دوم متعالی

شده، ضریب کارایی مدل و ضریب باقی مانده محاسبه و نمره‌دهی شد و بر اساس نمره‌ی کل به‌دست آمده برای هر مدل، رتبه‌ی نهایی آن مشخص شد. تابع درجه دوم دارای رتبه‌ی اول و به عنوان معادله‌ی برتر انتخاب شد (جدول ۱۰). شیرمحمدی‌علی‌اکبرخانی (۱۳۹۲) و نجفی‌مودی (۱۳۹۱) نیز نتیجه گرفتند که تابع درجه دوم، رتبه‌ی بهتری برای برآورد عملکرد و سایر صفات در محصولات ذرت علوفه‌ای و پنبه دارد.



شکل ۱- مقایسه خط رگرسیونی مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد علوفه

جدول ۱۰- شاخص‌های آماری برای ارزیابی اعتبار توابع تولید عملکرد علوفه

نوع تابع	شاخص ارزیابی								
	ریشه‌ی مربع میانگین خطا	جذر میانگین مربع خطای نرمال شده	ضریب کارایی مدل	ضریب باقی مانده	انحراف از میانگین	میانگین خطا	ضریب تبیین	میانگین رتبه	رتبه نهایی
طی	۷/۳	۱۰/۳	۰/۵۳	-۰/۰۲	۰/۸۳	۱۳/۹	۰/۵۶		
رتبه	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۱/۵۷	۳
لگاریتمی	۷/۴	۱۰/۵	۰/۵۱	-۰/۰۰۲	۰/۸۱	۱۵/۷۵	۰/۵۴		
رتبه	۲	۲	۲	۱	۳	۲	۴	۲/۱	۲
درجه دوم	۷/۸	۱۱	۰/۴۶	-۰/۰۶	۰/۸۶	۲۳/۳۵	۰/۶۸		
رتبه	۳	۳	۳	۳	۱	۳	۱	۳/۷	۱
متعالی	۱۳/۴	۱۹	-۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۲۹	۳۴/۵	۰/۶۵		
رتبه	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۲	۱/۵	۴

www.SID.ir

شاخص‌های تولید نهایی آب آبیاری و کود پتاسیم

شاخص‌های تولید نهایی آب آبیاری و کود پتاسیم برای عملکرد علوفه محاسبه شد. متوسط شاخص نهایی تولید نسبت به آب و کود پتاسیم به ترتیب برابر ۱/۵۲ تن بر سانتی‌متر و ۰/۰۷۶ تن بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول۱۰). شاخص تولید نهایی علوفه نسبت به آب آبیاری (MP_I) نشان می‌دهد که با افزایش یک سانتی‌متر عمق آب آبیاری و با فرض ثابت ماندن کود پتاسیم، عملکرد علوفه‌ی تر به‌طور متوسط ۱/۵۲ تن افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به شاخص تولید نهایی کود پتاسیم (MP_K) با افزایش یک واحد کود پتاسیم و با فرض ثابت ماندن مقدار عمق آب آبیاری، به‌طور متوسط عملکرد علوفه‌ی تر ۰/۰۷۶ تن در هکتار افزایش می‌یابد.

ارزش ریالی شاخص‌های تولید نهایی آب آبیاری و کود پتاسیم

نرخ جایگزینی فنی کود پتاسیم به‌جای آب آبیاری (MRTS) برای عملکرد علوفه‌ی تر نشان می‌دهد، برای اینکه عملکرد محصول، با کاهش یک واحد آب آبیاری تغییر نکند لازم است که مقدار کود پتاسیم به اندازه ۰/۰۵ کیلوگرم به ازای هر یک سانتی‌متر آب مصرفی، افزایش یابد (جدول ۱۱).

با توجه به قیمت علوفه در سال اجرای پژوهش، ارزش ریالی تولید نسبت به عمق آب آبیاری برای علوفه‌ی برابر ۳۰۴۰۰۰۰ ریال شد. این شاخص نشان می‌دهد که درآمد حاصل از افزایش تولید محصول در نتیجه‌ی افزایش هر یک سانتی‌متر آب آبیاری نسبت به عمق متوسط (۴۳ سانتی‌متر)، ۳۰۴۰۰۰۰ ریال می‌باشد. همچنین مقدار ارزش تولید نهایی کاربرد کود پتاسیم برای علوفه‌ی تر برابر با ۱۵۲۰۰۰ ریال به دست آمد، که نشان می‌دهد به ازای افزایش هر یک واحد کود پتاسیم نسبت به مقدار متوسط (۷۵ کیلوگرم)، ۱۵۲۰۰۰ ریال افزایش درآمد خواهیم داشت (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- شاخص‌های ارزیابی عملکرد

شاخص	عملکرد
تولید نهایی آب آبیاری	۱/۵۲
تولید نهایی کود پتاسیم	۰/۰۷۶
نسبت نهایی نرخ جایگزینی فنی	۰/۰۵
ارزش ریالی تولید نهایی آب آبیاری	۳۰۴۰۰۰۰
ارزش ریالی تولید نهایی کود پتاسیم	۱۵۲۰۰۰

** ارزش نهایی آب برحسب تن بر سانتی‌متر و ارزش نهایی کود پتاسیم بر حسب تن بر کیلوگرم در هکتار

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش مقادیر عملکرد و اجزای عملکرد در تیمار (W75K100) در مقایسه با تیمار (W100K0)، علی‌رغم کاهش ۲۵ درصدی آب مصرفی، تفاوت معنی‌دار نداشتند. این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد کود پتاسیم می‌تواند تا حدودی کاهش آب مصرفی را جبران نماید. اما در صورتی که تنش‌های آبی شدیدتر شوند، تأثیر کود پتاسیم در جبران کاهش عملکرد کمتر خواهد شد. از طرف دیگر رقم پگاه به عنوان رقم برتر (با پتانسیل عملکرد و کارایی مصرف آب بیشتر) تعیین شد. بنابراین تیمار W75K100Vp به عنوان تیمار برتر انتخاب شد. در این پژوهش معادله‌های ریاضی توابع تولید عملکرد – آب – کود پتاسیم تعیین شد و معادله‌ی درجه دوم به عنوان معادله برتر به‌دست آمد. از این معادله می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف آب و کود پتاسیم استفاده کرد. همچنین در تحلیل اقتصادی پژوهش شاخص‌های تولید نهایی (MP) و نرخ جایگزینی (MRTS)، ارزش ریالی شاخص‌های تولید برای آب آبیاری و کود پتاسیم نیز محاسبه و برتری رقم پگاه و امکان جایگزینی بخشی از آب آبیاری با کود پتاسیم تأیید شد.

منابع

۱- حبیبی، م.، عبدی، م. و م. مهرپویان، ۱۳۹۲. مطالعه خصوصیات کیفی علوفه در دو رقم سورگوم علوفه‌ای اسپیدفید و پگاه تحت شرایط کم آبی. دومین همایش ملی مباحث کشاورزی نوین، ساوه.

۲- سلطانی، ا. ۱۳۸۶. کاربرد نرم افزار SAS در آنالیز آماری(ویرایش دوم). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۶۶ صفحه.

۳- شمس بیرانوند، م.، برومند نسب، س.، ملکی، ع. و م. دانشور، ۱۳۹۴. تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و برخی صفات دانه سه رقم سویا در منطقه خرم‌آباد. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۸(۳): ۲۱-۱۳.

۴- شیرمحمدی علی اکبرخانی ، ز. ۱۳۹۲. ارزیابی بر هم کنش شوری و کم آبیاری تنظیم شده بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه ای و تعیین تابع تولیدآب – شوری. رساله‌ی دوره‌ی دکتری، رشته مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- علیزاده، ا . ۱۳۸۴. رابطه آب و خاک و گیاه (چاپ پنجم). انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۴۵۲ صفحه.

۶- موسوی، غ. ر. ۱۳۸۳ . بررسی دور آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی سورگوم علوفه‌ای. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند، ۱۲۳ صفحه.

۷- نجفی مود، م. ۱۳۹۱. اثر بر هم کنش کم آبیاری و شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام پنبه با تعیین تابع تولید آب و شوری در منطقه بیرجند. رساله دکتری، رشته مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۸- هوشمند، ع.، فروتن، م. و س. برومندنسب، ۱۳۹۳. ارزیابی کم آبیاری و آرایش کاشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۷، شماره ۳، ص ۴۳- ۵۲.

9- Adzemi, A. M. and W. Ibrahim. 2015. Effect of regulated deficit irrigation on nutrient concentration in leaves, growth and yield of Sorghum. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 5(4): 48-56.

10- Bazza, M. 1994. Identification of wheat varieties suitable for arid and semi-arid conditions and of the characters for selection and breeding in regard to water-use efficiency. The use of isotopes in increasing and stabilizing plant productivity in low phosphate and semi-arid and sub-humid soils of the tropics and sub-tropics, IAEA Report.

11- English, M, and S.N. Raja. 1996. Perspectives on deficit irrigation. Agricultural Water Management, 32: 1–14.

Archive of SID

www.SID.ir

12- Farooqi, A. A. and Kh. Bssreeramu. 2004. Cultivation of spice crops. Universities Press (India). pp: 128-148.

13- Howell, T. A., Yazar, A., Schneider, A. D., Duser, D. A. and K. S. Copeland. 1995. Yield and water use efficiency of corn in response to lepa irrigation. Transacation of the ASAE, 38(6): 1737-1747.

14- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and C.R. Jensen. 2006. Effects of deficit irrigation and partial root drying on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. Scientia Horticulturae, 109(2): 113-117.

15- Mohamed, M. and K. Ashok. 2014. Growth, yield and water Use effeciency of forage sorghum as affected by NPK fertilizer and deficit irrigation. American Journal of Plant Sciences, 5: 2134-2140.

16- Sepaskhah, A., Zand Parsa, Sh., Ghasemi, M. M. and B. Ghahraman. 2006. Comparison of two methods for deficit irrigation of sorghum. Iran-Water Resources Research, 2(2): 1-9.

Archive of SID

www.SID.ir