Archive of SID

پژوهش و سازندگی
در زراعت و باغبانی
شماره ۷۱، تابستان ۱۳۸۵

تخمین تابع تولید گندم و بهینه‌سازی کم‌آبیاری و نیتروژن

• **علیرضا توکلی**، عضو هیات علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه

تاریخ دریافت: خرداد ماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: اسفندماه ۱۳۸۴

E-mail:art.tavakoli@gmail.com

چکیده

به منظور تخمین تابع تولید گندم و نیز توابع تقاضای آب و نیتروژن تحت شرایط کم‌آبیاری، طی پژوهشی در دو سال زراعی (۸۰-۱۳۷۹ و ۸۱-۱۳۸۰) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات، سطوح مختلف آب مصرفی (متوسط دو سال شامل صفر، ۱۶۰ و ۲۲۰ میلی‌متر) و مقادیر نیتروژن (صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) بر روی گندم رقم الموت مورد مطالعه قرار گرفت. هزینه تولید، درآمد ناخالص، درآمد خالص، تابع درآمد، نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید و حد سودآوری تیمارها تعیین و ضرایب تابع تولید و توابع تقاضای آب و کود مشخص گردیدند. بر اساس نتایج به دست آمده و با توجه به تابع درآمد و در شرایط مختلف قیمت آب و آبیاری، تیمار ۱۶۰میلی‌متر آب مصرفی همراه با ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، حداکثر بهره‌وری از آب مصرفی در اضافه تولید نسبت به شرایط دیم (۲۰/۵۶ کیلوگرم بر میلی‌متر) را دارا بوده و حداکثر سود خالص را به همراه داشته و امکان افزایش سطح آبیاری بهینه را به میزان ۳۷/۵ درصد فراهم می‌کند. ضمناً ۱۰/۲ درصد به میزان تولید کل دانه گندم افزوده می‌شود. تیمار بهینه کم‌آبیاری تا زمانی می‌تواند مورد توصیه قرار گیرد که هزینه آب و آبیاری کمتر از ۲۶۹۰ ریال برای هر متر مکعب آب مصرفی باشد.

کلمات کلیدی: گندم، نیتروژن، کم‌آبیاری، بررسی اقتصادی، بهینه‌سازی

Pajouhsh & Sazandegi No 71 pp: 25-33

Estimation of wheat production function and optimization of deficit irrigation and nitrogen

By: A.R. Tavakoli, Academic Member of Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Maragheh, Iran

In order to estimation of wheat production function and so water and nitrogen demand functions at deficit irrigation condition a field experiment was conducted as split plot arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications during 2000-2002 at Maragheh Agricultural Research Station of DARI. The treatments included four levels of irrigation (average of two years: 0, 100, 160 and 220mm) as main plots and five N rates (0, 30, 60, 90 and 120kg.N.ha^{-1}) as sub plots, and winter wheat, Alamout as variety. Data analyzed by Partial Budgeting, Marginal Benefit –Cost Ratio (BBCR), different states of water and irrigation prices, production function and income functions. Wheat production function was a polynomial (quadratic) and estimated its coefficients. Optimum level of deficit irrigation was 2/3 of full irrigation (160mm), combined with 90kg.N.ha^{-1}, although it reduced 19.8 percent of grain yield comparison with full irrigation, but it got maximum water productivity (27.9kg.mm^{-1}). In this treatment, 27.3 percent increase in

www.SID.ir

Archive of SID

cropping area mentioned 10.2 percent increase in total yield production. Limit of benefitability for optimum level of deficit irrigation was determined as 2690 Rial.m^{-1} water.

Key words: Wheat, Nitrogen, Deficit irrigation, Economic analysis, Optimization

مقدمه

محدودیت منابع آب، تزاید جمعیت و تلاش در راستای حذف و یا ترمیم کشاورزی کم بازده و تعالی کشاورزی نوین، سبب شده است تا ارزش نهاده‌های تولید و جایگاه تحقیقات بهینه‌سازی مصرف آب و کود، ترقی یابد. در رسیدن به دورنمای روش راهبری و بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک، شاخص‌های چندی مؤثر است که از جمله مهمترین آنها تدوین و تبیین الگوی بهینه مصرف آب و کود در کشاورزی است. هر گونه کمبود در مقدار آب یا نیتروژن سبب کاهش محصول می‌گردد (۸، ۳۴، ۳۵). کم آبیاری توام با بهینه‌سازی مصرف کود یک راهبرد مطلوب برای حصول تولید مناسب تحت شرایط محدودیت منابع آب است. هدف اصلی از اعمال مدیریت کم‌آبیاری، همانا افزایش راندمان کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند (۷، ۱۵). گیاهانی که برای کم‌آبیاری انتخاب می‌شوند بایستی متحمل به تنش آبی باشند و خاک نیز عمیق و ظرفیت انباشت رطوبتی آن، زیاد باشد. اعمال مدیریت کم‌آبیاری سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها می‌شود، ضمن اینکه برای کاهش رقابت گیاهان در جذب آب، تراکم بوته در واحد سطح کاهش می‌یابد (۷، ۱۵). آنچه که درکم آبیاری همراه با مقادیر نیتروژن مورد توجه قرار می‌گیرد بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین حد بهینه نیتروژن به صورت دو جانبه است که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته است و از آنجا که مهمترین عامل محدودکننده، آب است لذا کاربرد نتایج تحقیقات کم‌آبیاری، می‌تواند در اقتصاد کشور اهمیت فراوانی داشته باشد.

نیتروژن هم یکی از عوامل مهم تولید محصول در کشاورزی است. نیتروژن نقش کلیدی در تغذیه گیاهی دارد و از عناصر غذایی ضروری برای گیاهان به شمار می‌آید (۱۱، ۳۱). نیتروژن جزئی از پروتئین و اسید نوکلئیک بوده و اگر مقدار آن در خاک بهینه نباشد باعث کاهش رشد گیاه می‌شود (۳۹). افزایش بازده مصرف آب آبیاری و باران متأثر از کاربرد صحیح کود شیمیایی به ویژه نیتروژن می‌باشد (۲۸، ۳۴، ۳۵، ۳۹). کمبود نیتروژن پس از کمبود آب از مهمترین عامل کاهش دهنده تولید محصولات زراعی به ویژه غلات و از جمله گندم می‌باشد (۱۰) که در مناطق گندم خیز ایران نیز صادق است (۳۴، ۳۵). همان طوری که تأثیر نیتروژن مستقیماً به میزان باران بستگی دارد (۳۰) نیاز به نیتروژن نیز با کاربرد آب آبیاری افزایش می‌یابد (۲۸). تحقیقات نشان می‌دهد که گندم عموماً به کود نیتروژن عکس‌العمل خوبی نشان می‌دهد (۲۰، ۲۵، ۲۶ ، ۳۰). همچنین عکس‌العمل مناسبی بین میزان نیتروژن و آب آبیاری وجود دارد و کارآیی مصرف آب با بهینه‌سازی مصرف آب بهبود می‌یابد (۲۸، ۳۴، ۳۵).

کمبود آب آبیاری عمده‌ترین عامل بازدارنده در زراعت آبی محسوب می‌شود. به دلیل بحران فزاینده کمیت و کیفیت منابع آبی، بهینه‌سازی مصرف آب شایان توجه است. در مناطقی که قیمت آب زیاد است نیز مصرف بهینه آن غیر قابل اجتناب است. از این رو، تلاش برای بهینه کردن محصول تولیدی در ازای مصرف هر چه کمتر آب، منطقی جلوه کرده است. برای تعیین حد بهینه آب آبیاری استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی- ریاضی و توابع تغییرات مصرف آب- عملکرد امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (۸). تعیین تابع تولید راه را برای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری تولیدات کشاورزی هموار می‌کند. تحقیقات گسترده‌ای در خصوص تعیین تابع تولید بر اساس میزان آب آبیاری، کود و دیگر نهاده‌های تولید صورت گرفته است. استفاده از برنامه‌ریزی خطی و تحلیل رگرسیونی (۳۷)، برنامه‌ریزی بر مبنای حداقل انحرافات مطلق برآورد پارامترها (۱۷، ۴۰)، برنامه‌ریزی بر اساس حداقل مربعات (۱۲، ۱۸، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۳۲، ۳۶، ۳۸) و نیز مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی (۱) در تعیین ضرایب تابع تولید از جمله این تحقیقات است. بهینه‌سازی کم‌آبیاری از طریق کاهش هزینه‌های تولید سبب افزایش سود خالص می‌شود. Englis و Nuss (۱۴) در یک بررسی نشان داده‌اند که با ۲۴ درصد کاهش آب مصرفی گندم و با طراحی یک سیستم آبیاری بر اساس مفاهیم کم‌آبیاری کاهش هزینه‌ها در بخش‌های مختلف به صورت زیر است: ۱) کاهش هزینه‌های آبیاری (انرژی، نیروی کارگری، تعمیرات و نگهداری) برابر ۳۷ درصد کل صرفه‌جویی، ۲) کاهش هزینه‌های ثابت (سرمایه‌گذاری اولیه) برابر ۳۶ درصد کل صرفه‌جویی و ۳) کاهش دیگر هزینه‌های تولید (اعمال زراعی، کاربرد کود و مواد شیمیایی، برداشت و غیره) برابر با ۲۷ درصد کل صرفه‌جویی.

اهداف این تحقیق شامل تخمین تابع تولید، تابع تقاضا برای نهاده کود نیتروژن، تابع تقاضا برای نهاده آب، تابع آب مصرفی - نیتروژن، افزایش شاخص بهره‌وری از آب مصرفی، حداکثر استفاده از حجم آب قابل دسترس، کسب حداکثر سود خالص و تعیین حد سودآوری تیمارهای کم‌آبیاری است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

ایـن تحقیـق در ایسـتگاه تحقیقات کشـاورزی دیـم، مراغه (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شـمالی، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شـرقی و ارتفاع ۱۷۲۵ متر از سـطح دریا) و بر روی گندم آبی رقم الموت طی دو سال زراعی (۸۰-۱۳۷۹ و ۸۱-۱۳۸۰) انجام شد. خاک محل آزمایش رس سیلتی بوده که رطوبت نقطه ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۳۸ درصد حجمی، ۲۰ درصد حجمی و ۱/۱۷۵ گرم بر سـانتیمتر مکعب و متوسـط آب قابل استفاده در یک متر عمق خاک برابر ۱۸۰ میلی‌متر است.

مطالعه حاضر بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت اسپلیت پلات با چهار سـطح آبیاری (کرت اصلی) شامل: آبیاری کامل (F.I)، تامین آب به میزان ۶۶ درصد آبیاری کامل، تامین آب به میزان ۳۳ درصد آبیاری کامـل و بدون آبیاری (شـرایط دیم) و پنج میزان نیتـروژن (کرت فرعی) شـامل: صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگـرم در هکتار نیتروژن خالص بود که در سـه تکرار به اجرا درآمد. نیمی‌از نیتروژن همراه با کل کود فسـفر به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسـفر خالص در زمان کاشت و بقیه نیتروژن در بهار به صورت سـرک مصرف شـد. ابعاد کرتهای فرعـی(۵×۴) ۲۰ متر مربع بود، میزان بذر بر اسـاس وزن هزار دانـه و با تراکم ۴۰۰ دانه در متر مربع تعیین و با دسـتگاه بذر کار آزمایشی وینتراشتایگر در پاییز و در عمق ۳-۵ سـانتیمتری کشت گردید. تعیین نیاز آبی گندم از طریق اندازه‌گیری رطوبت خاک با تعبیه لوله‌های هادی دستگاه رطوبت سنج ترایم (TRIME) و به صورت مسـتقیم حجمی بود، تیمارهای آبیـاری در بهار بر مبنای ۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک (S.M.D) در تیمار آبیاری کامل و تامین ۱۰۰، ۶۶ و۳۳ درصد به ترتیب برای تیمارهای آبیاری کامل و ۶۶٪ و۳۳٪ آبیاری کامل بوده است که میزان آن در هر نوبت با توجه به ضرایب رطوبتی خاک بـه ترتیـب ۷۲، ۴۸ و۲۴ میلی‌متر برای تیمارهای آبیـاری بود. میزان آب مصرفی به طور متوسـط در دو سـال به ترتیب برابر ۲۲۰، ۱۶۰، ۱۰۰ و صفر میلی‌متر بوده است و میزان بارندگی در دو سال به ترتیب ۲۳۴ و ۳۸۲ میلی‌متر (متوسط ۳۰۸ میلی‌متر) بود (جدول ۱). پس از رسیدن محصول، عملکرد دانه و عملکرد کاه و کلش اندازه‌گیری و تعیین شد.

برای بررسی اقتصادی تحقیق، پس از تعیین تابع تولید گندم از طریق بودجه بندی جزیی[1]، تحلیل بازده نهایی[2] (نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه)، نسبت درآمد به هزینه هر تیمار، سود خالص و تعیین حد سودآوری هر یک از تیمارها با توجه به قیمت آب و آبیاری صورت گرفت. بعد از تعیین قیمت تمام شـده آب آبیاری، تیمارها بر اسـاس درآمد خالص و به صورت نزولی (تحلیل ارجحیت سـرمایه‌گذاری) مرتب شدند و پس از حذف شقوق تحت تسـلط[3]، اختلاف میانگین منافع تیمارها و اختلاف میانگین هزینه‌ها محاسبه گردید. طبق رابطه:

$$\Delta B = \bar{B}_i - \bar{B}_{i+1} \quad \text{و} \quad \Delta C = \bar{C}_i - \bar{C}_{i+1}$$

اختلاف بین منافع خالص و اختلاف بین هزینه‌ها تعیین و با اسـتفاده از رابطـه تحلیل نهایی بین تیمارهای مسـلط انجام و تیمارهایی که نسـبت اختلاف منافع نهایی آنها به اختـلاف هزینه نهایی مربوطه کمتر از واحد بود، حذف گردیدند.

بـرای تعییـن قیمـت تمام شـده آب آبیـاری بر اسـاس هزینه‌های اسـتحصال آب (هزینه‌هـای سـرمایه‌گذاری و هزینه‌هـای جـاری یـا بهره‌بـرداری) از چاه بـا الکتروموتور از روش تبدیل بـه معادل یکنواخت سالانه (فرمول زیر) استفاده شد.

$$A = P\frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1}$$

که در آن A: ارزش کنونی اقساط سالانه (ریال)، P :مقدار سرمایه‌گذاری (ریال)، n: عمر مفید (سـال) و i : نرخ بهره (درصد) اسـت. سـرمایه‌گذاری شامل حفر چاه و لوله‌گذاری، الکتروموتور، ترانس و برق‌رسانی از طریق خط هوایـی، لوله‌های اصلی، فرعی، آب‌پاش‌ها و لوازم جانبی و هزینه‌های جاری نگهداری و بهره‌برداری بوده است.

هزینه‌ها شـامل دو بخش هزینه ثابت و هزینه متغیر میباشـد با توجه به این که بهینه‌سـازی مصرف آب برای حد بهینه نیتروژن (N۹۰) صورت می‌گیـرد، لـذا هزینه‌های متغیر شـرایط این تحقیق با ثابت شـدن میزان نیتـروژن مصرفی (N۹۰) فقط شـامل هزینه‌های مربوط بـه آب و آبیاری می‌شود.

بـرای تخمیـن ضرایـب تابـع تولیـد بـا اسـتفاده از روش OLS[4] و نرم‌افزارهای STATISTICA 5.5 و Engineering Data Fit 6.1.10 مدل آماری زیر به کار گرفته شد.

(۲)

$$Y(W,N) = a + bN + cW + dN^2 + eW^2 + fNW + E$$

که در آن: Y: میزان تولید گندم در یک هکتار (کیلوگرم در هکتار)، N: میـزان کـود نیتروژن مصرف شـده در یک هکتار (کیلوگـرم در هکتار

جدول ۱- متوسط مقادیر آب مصرفی(بارش + آبیاری) و نحوه مصرف کود برای حد بهینه کود مصرفی(N۹۰)

تیمار آبیاری	کود مصرفی خالص (کیلوگرم در هکتار)		میزان آب مصرفی(میلی‌متر)*
	فسفر	نیتروژن	(بارش + آبیاری)
$I_{۱۰۰}N_{۳۰}$**	۳۰	(۱۵+۱۵)	۳۰۸ + ۰
$I_{۱۰۰}N_{۹۰}$	۳۰	(۴۵+۴۵)	۳۰۸ + ۰
$I_{۱۰۰}N_{۹۰}$	۳۰	(۴۵+۴۵)	۳۰۸ + ۱۰۰
$I_{۱۶۰}N_{۹۰}$	۳۰	(۴۵+۴۵)	۳۰۸ + ۱۶۰
$I_{۲۲۰}N_{۹۰}$	۳۰	(۴۵+۴۵)	۳۰۸ + ۲۲۰

*۴۰ میلی‌متر از آب مصرفی در زمان کاشت بوده است ** حد مطلوب نیتروژن در شرایط دیم

www.SID.ir

Archive of SID

نیتـروژن خالـص)، W: میزان عمق آب آبیاری (میلی‌متر)،a, b, c, d, e و f ضرایب تابع تولید گندم تحت دو متغیر آب آبیاری و نیتروژن (بی بعد)، E: جمله اخلال برای تعیین ضرایب ششـگانه فوق می‌توان از نرم‌افزارهای فوق اسـتفاده کرد و یا با اسـتفاده از دو معادله ۳ و ۴، شش معادله ۵ الی ۱۰ را حل نمود که از دو معادله ۳ و ۴ استخراج شده اند(n تعداد داده‌ها).

(۳)

$$\sum_{i=1}^{n} e^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - a - bN_i - cW_i - dN_i^2 - eW_i^2 - fN_iW_i)^2$$

(۴)

$$\frac{\partial \sum e^2}{\partial a} = \frac{\partial \sum e^2}{\partial b} = \ldots\ldots = \frac{\partial \sum e^2}{\partial f} = 0$$

(۵)

$$na + b\sum N + c\sum W + d\sum N^2 + e\sum W^2 + f\sum NW = \sum Y_i$$

(۶)

$$a\sum N + b\sum N^2 + c\sum NW + d\sum N^3 + e\sum NW^2 + f\sum N^2W = \sum NY_i$$

(۷)

$$a\sum W + b\sum WN + c\sum W^2N + d\sum N^2W + e\sum W^3 + f\sum NW^2 = \sum WY_i$$

(۸)

$$a\sum N^2 + b\sum N^3 + c\sum N^2W + d\sum N^4 + e\sum N^2W^2 + f\sum N^3W = \sum N^2Y_i$$

(۹)

$$a\sum W^2 + b\sum W^2N + c\sum W^3 + d\sum W^2N^2 + e\sum W^4 + f\sum NW^3 = \sum W^2Y_i$$

(۱۰)

$$a\sum NW + b\sum N^2W + c\sum W^2N + d\sum N^3W + e\sum W^3N + f\sum N^2W^2 = \sum WNY_i$$

تابـع تولید، تابع تقاضا برای نهاده کود نیتروژن و تابع تقاضا برای نهاده آب بـرای قیمت فروش محصول و هزینه آب و کود مصرفی در تعیین حداکثر سود به صورت زیر در می‌آید(معادلات ۱۱ الی ۱۳):

تابع تقاضا برای نهاده کود نیتروژن:

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)

آبیاری	N۰	N۳۰	N۶۰	N۹۰	N۱۲۰	میانگین
$I_{\cdot}$	۱۴۶۴ j	۱۴۴۶ j	۱۳۵۴ j	۱۱۷۸ jk	۷۹۶ k	۱۲۴۸ D
$I_{۳۳٪}$	۲۴۷۶ i	۲۶۷۰ hi	۲۷۲۴ hi	۲۷۱۳ hi	۲۳۱۹ i	۲۵۸۰ C
$I_{۶۶٪}$	۳۰۶۴ gh	۳۵۴۰ ef	۳۹۸۳ d	۴۴۶۷ c	۴۰۴۹ d	۳۸۲۰ B
$I_{۱۰۰٪}$	۳۳۱۸ fg	۳۸۸۷ de	۴۵۵۹ bc	۵۵۷۲ a	۴۹۱۹ b	۴۴۵۱ A
میانگین	۲۵۸۰ D	۲۸۸۶C	۳۱۵۵ B	۳۴۸۲ A	۳۰۲۱ BC	
LSD ۱٪	آبیاری (۴۸۶/۷)		نیتروژن (۱۹۶/۱)		آبیاری × نیتروژن (۳۹۲/۱)	

میانگین‌های آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آنها که دارای حرف مشابه هستند در مقایسه به روش دانکن فاقد اختلاف آماری هستند

جدول ۳- هزینه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت برای هر هکتار گندم دیم بدون احتساب هزینه‌های آب و آبیاری

شرح عملیات	هزینه‌ها (ریال در هکتار)
کاشت (شخم، دیسک، بذر، کود زمان کاشت و کاشت با بذر کار)	۳۵۱۸۷۵
داشت (کود سرک، کارگر برای کودپاشی و سمپاشی)	۱۲۲۰۰۰
برداشت	۱۰۰۰۰۰
میانگین هزینه‌های تولید برای متوسط دو سال آزمایش	۶۰۲۵۶۹

www.SID.ir

Archive of SID

(۱۱)

$N= [(f.P_W-2e.P_N)/P_C(f^2-4de)] + [(2be-cf)/ (f^2-4d.e)]$ و تابع تقاضا برای نهاده آب:

(۱۲)

$W= [(f.P_N-2d.P_W)/P_C(f^2-4de)] + [(2cd-bf)/ (f^2-4d.e)]$ در حالت وجود مقدار ثابت آب، تابع عمومی‌درآمد برای شرایط این تحقیق به صورت زیر است:

(۱۳)

$NB = B(w)- C(w) = (YgP_1 + YsP_2)- (C_1+\beta w) = A -۳۰۰۰w$

در این معادله $w, A, \beta, C_1, P2, P1, Ys, Yg, C(w), B(w), N.B$ به ترتیب بیانگر درآمد خالص، درآمد ناخالص، هزینه‌های تولید، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش، قیمت فروش دانه (۱۲۲۵ ریال بر کیلوگرم)، قیمت فروش کاه و کلش (۱۸۵ ریال بر کیلوگرم)، هزینه‌های ثابت تولید، هزینه واحد آب مصرفی، درآمد خالص بدون هزینه‌های آب و آبیاری و عمق آب مصرفی است.

نتایج و بحث

بر اساس جدول ۲ و مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری و نیتروژن بر عملکرد دانه نشان داده می‌شود که اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌داری بوده است و آبیاری کامل و مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بیشترین عملکرد را به همراه دارد. اما در شرایط کشور ما که با محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی زمین مواجه است عملکرد به ازای واحد آب مصرفی و کسب سود خالص بیشتر ملاک انتخاب تیمار برتر است نه عملکرد در واحد سطح (۳). لذا وجود یا حتی عدم وجود تفاوت معنی‌دار به تنهایی معیار مناسبی برای ارزیابی و گزینش تیمار برتر به شمار نمیرود. از سویی دیگر نقش و اثر نیتروژن کمتر از آب مصرفی و وابسته به میزان آب مصرفی و رطوبت خاک است (۷، ۸).

تخمین تابع تولید

تابع تولید(معادله ۱۴)، تابع تقاضا برای نهاده کود نیتروژن(معادله ۱۵) و تابع تقاضا برای نهاده آب(معادله ۱۶) برای قیمت فروش محصول و هزینه آب و کود مصرفی در تعیین حداکثر سود به صورت زیر در می‌آید. این تابع به صورت سه بعدی در شکل ۱ نشان داده شده است.

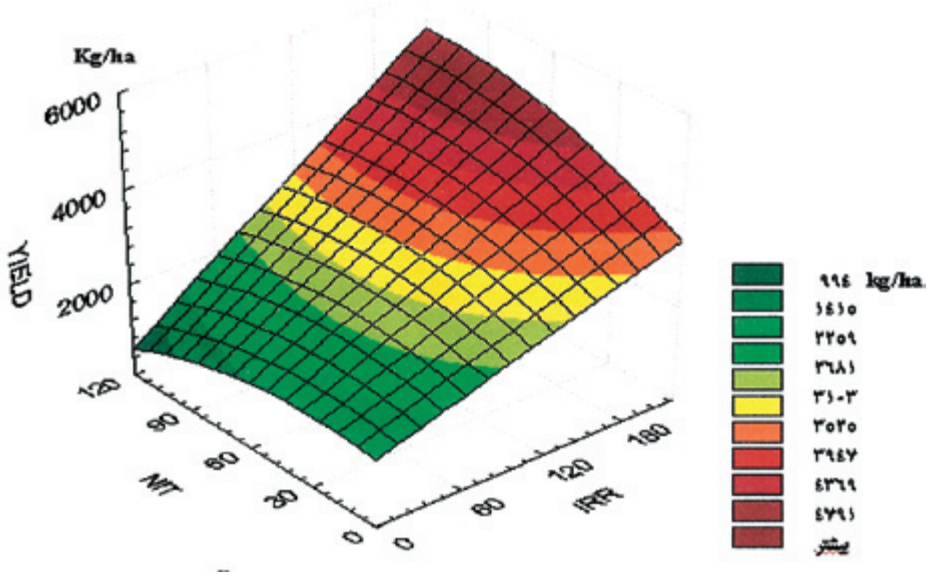
(۱۴)

$Y(W,N) = ۱۴۳۹/۷۶ + ۶/۸۲N + ۹/۱۹۹W - ۰/۱۱۷ - N^2 - ۰/۰۰۱۲W^2 + ۰/۱۰۱۳N.W$

$R2 = ۰/۹۷ \qquad R^2adj = ۰/۹۶$

با توجه به ضرایب تابع تولید و مقادیر PN، PW و PC به ترتیب p_c، p_w، p_n قیمت واحد نهاده آب و آبیاری (۳۰۰۰ ریال بر میلی‌متر)، قیمت نهاده کود نیتروژن (۵۰۰ ریال بر کیلوگرم) و قیمت فروش محصول (۱۲۲۵ ریال بر کیلوگرم) تابع تقاضای کود و آب به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

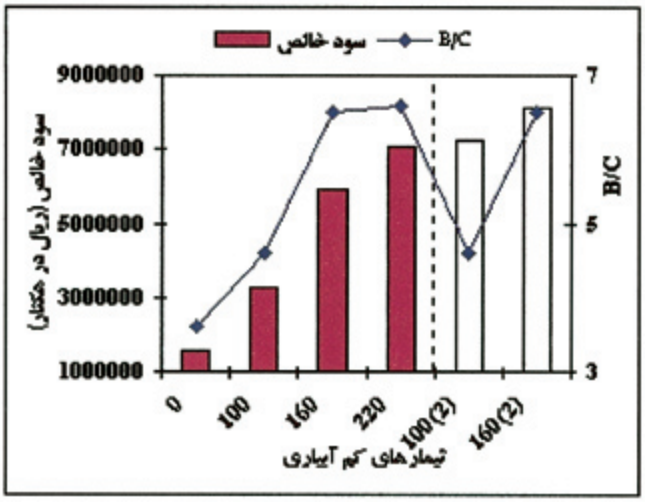
$W = -۲/۲۵۳ + (۰/۰۸P_N + ۰/۱۸۵۴P_W)/P_C$ (۱۵)



شکل ۱- تغییرات عملکرد دانه تحت سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تغییرات سود خالص و نسبت درآمد ناخالص به هزینه‌ها

$$N= -۰/۷۷۹۷-+(۰/۰۸P_W + ۰/۰۰۱۹P_N) /P_C \quad (۱۶)$$

و در نتیجه:

$$W = -۵۱/۹۸۴+ ۲/۴۶۷N \quad (N>۶۰ \text{ برای}) \quad (۱۷)$$

از روابط ۱۴ الی ۱۷ می‌توان در بررسی تاثیر آب و کود بر عملکرد دانه، تغییرات تابع تقاضای آب و کود بر اساس قیمت واحد نهاده‌ها و نیز تخمین میزان آب مصرفی متناظر با کود مصرفی استفاده کرد.

شکل شماره ۱ نشان دهنده تغییرات عملکرد دانه تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری و نیتروژن است اگر چه تیمار آبیاری کامل دارای بالاترین میزان عملکرد دانه در واحد سطح است اما بیشترین بهره‌وری از آب آبیاری در اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم (WP_I) برابر ۲۰/۵۶ کیلوگرم بر میلی‌متر و مربوط به تیمار ۱۶۰ میلی‌متر مصرف آب می‌باشد (جدول ۵).

تامین آب و کود به میزان کامل نمی‌تواند حداکثر کارآیی تولید به ازای واحد نهاده را داشته باشد، بر اساس تجزیه و تحلیل آماری صورت گرفته برای این آزمایش حد بهینه نیتروژن برای شرایط آبیاری گندم دیم، مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص است (۲). لذا پس از تعیین تابع تولید و ضرایب آن، برای به دست آوردن سود خالص و حد سودآوری تیمارهای آبیاری، فقط سطح کودی $N_{۹۰}$ تحت تیمارهای آبیاری مورد ارزیابی قرار میگیرد. با این توضیح که اگر چه به کارگیری رقم آبی برای وضعیت دیم توصیه نمی‌شود اما در صورت استفاده از آن میزان نیتروژن مصرفی برای شرایط دیم ۳۰ کیلوگرم در هکتار کفایت می‌کند. جدول ۱ بیانگر میزان آب مصرفی و نحوه مصرف کود برای حد بهینه نیتروژن ($N_{۹۰}$) است، لذا در جداول ۴ تا ۶ علاوه بر تیمار دیم با حد بهینه نیتروژن آزمایش ($N_{۹۰}$)، تیمار دیم با حد مطلوب نیتروژن در شرایط دیم ($N_{۳۰}$) نیز ذکر شده است.

هزینه و درآمد

در شرایط محل اجرای تحقیق، با توجه به اجرای بخشی از عملیات زراعی (کاشت یا برداشت) به صورت مکانیزه و یا امکان به کارگیری آن، برای واقعی شدن هزینه‌های تولید شامل هزینه های کاشت، داشت و برداشت، حالت عمومی‌تر و نیمه مکانیزه مورد توجه قرار گرفت. هزینه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت گندم (۶۰۲۵۶۹ ریال) بدون احتساب هزینه‌های آب و آبیاری و برای سطح کودی ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص در جدول ۳ نشان داده شد.

چون هزینه‌های آب و آبیاری بسته به نوع منبع تامین آب و سیستم آبیاری متفاوت است، لذا جداول ۴ تا ۶ بر اساس ۳۰۰ ریال برای هر متر مکعب آب مصرفی استحصالی از چاه اراضی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه، تنظیم شده است. این هزینه شامل هزینه چاه (حفر، لوله‌گذاری، آزمایش پمپاژ و گالری‌های افقی در منطقه که محدودیت لایه غیر قابل نفوذ دارد) با عمر مفید ۳۰ سال، موتور پمپ و الکتروموتور (با عمر مفید ۲۰ سال)، برق رسانی هوایی و ترانس (با عمر مفید ۳۰ سال)، طراحی و نصب سیستم آبیاری بارانی کلاسیک (با عمر مفید ۲۰ سال) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری است. قیمت واحد آب مصرفی پس از تبدیل هزینه‌ها به ارزش کنونی اقساط سالانه (معادل هزینه یکنواخت سالانه و i=٪۱۵/۵) بر اساس عمر مفید هر بخش از سازه‌ها برابر ۳۰۰ ریال برای هر متر مکعب آب (۳۰۰۰ ریال برای هر میلی‌متر عمق آب مصرفی) به دست آمد (۴). با تغییر هزینه‌های آب و آبیاری تا حد سود آوری در هر یک از تیمارها، تغییری در انتخاب گزینه مطلوب ایجاد نمی‌شود، مفهوم حد سودآوری این است که اگر قیمت آب بیش از آن میزان باشد سود ناشی از افزایش تولید با تغییر مدیریت آبیاری با هزینه‌های آب و آبیاری برابر خواهد شد. قابل ذکر است که با توجه به تغییرات نرخ تورم، پیش‌بینی آن برای سنوات آتی مشکل است، لذا در مقایسه تیمارها و با توجه به حد سودآوری تیمارها در شرایط فعلی این قیمت قابل قبول است. آنچه مهم است این است که با تغییر هزینه‌های آب و آبیاری تا حد سودآوری در هر یک از تیمارها، تغییری در انتخاب گزینه مطلوب ایجاد نمی‌شود، حد سودآوری برای تیمارهای ۲۲۰میلی‌متر (آبیاری کامل)، ۱۶۰ و ۱۰۰ میلی‌متر زمانی است که هزینه‌های آب و آبیاری برای هر متر مکعب آب مصرفی به ترتیب برابر ۲۵۶۵ ، ۲۶۹۰ و۱۴۸۹ ریال شود (جدول ۴).

از طریق بودجه بندی جزیی، تعیین میزان درآمد و با استفاده از تحلیل بازده نهایی (نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه‌ها)، تیمار برتر انتخاب می‌شود، بدیهی است که پس از مرتب کردن نزولی تیمارها بر اساس منافع خالص ابتدا شقوق تحت تسلط حذف گردد. منظور از شقوق تحت تسلط، تیمارهایی است که نسبت به یک تیمار برتر، منافع خالص کمتر ولی هزینه بیشتری دارند و در نتیجه مطلوبیت نداشته و از مقایسه کنار گذاشته می‌شوند، بر این اساس تیمار دیم با مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و نیز تیمار (۲)۱۰۰ در مقایسه با تیمار برتر (۲)۱۶۰ حذف گردیدند (جدول ۶).

یکی از فواید و اثرهای کم‌آبیاری در حالت محدودیت آب و وجود آب قابل دسترس ثابت، امکان افزایش سطح تحت آبیاری بهینه با آب صرفه‌جویی شده است لذا مفهوم گزینه‌های (۲)۱۰۰ و (۲)۱۶۰ این است

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- حد سودآوری تیمارهای آبیاری (ریال در هکتار) در مقایسه با شرایط دیم، برای حد بهینه نیتروژن (N۹۰)

تیمارهای آبیاری	قیمت آب و آبیاری (ریال بر متر مکعب)		
	۱۴۸۹	۲۵۶۴	۲۶۹۰
دیم (با ۳۰ کیلو نیتروژن)	۲۰۹۸۲۸۱	۲۰۹۸۲۸۱	۲۰۹۸۲۸۱
۱۰۰	۲۰۹۸۲۸۱	۱۰۲۳۲۸۹	۸۹۸۲۶۰
۱۶۰	۴۰۱۸۳۱۵	۲۲۹۸۳۲۸	۲۰۹۸۲۸۱
۲۲۰	۴۴۶۳۲۶۴	۲۰۹۸۲۸۱	۱۸۲۳۲۱۷
نسبت Pw/Pc در حد سودآوری	۱/ ۲۱۶	۲/ ۰۹۳	۲/ ۱۹۶

جدول ۵- هزینه‌ها، درآمدها و سود خالص (ریال در هکتار) تیمارهای مختلف آبیاری برای حد بهینه نیتروژن (N۹۰)

تیمارهای آبیاری	عملکرد دانه (kg/ha)	کاه و کلش (kg/ha)	WP_I	درآمد ناخالص (B)	هزینه‌ها (C)	درآمد خالص (N.B)
دیم (با N۳۰)	۱۴۴۶	۴۷۰۰	-	۲۶۴۰۸۵۰	۵۴۲۵۶۸	۲۰۹۸۲۸۱
دیم	۱۱۷۸	۳۹۷۰	-	۲۱۷۷۵۰۰	۶۰۲۵۶۹	۱۵۷۴۹۳۱
۱۰۰	۲۷۱۳	۴۶۸۶	۱۵/ ۳۵	۴۱۹۰۳۳۵	۹۰۲۵۶۹	۳۲۸۷۷۶۶
۱۶۰	۴۴۶۷	۸۲۸۱	۲۰/ ۵۶	۷۰۰۴۰۶۰	۱۰۸۲۵۶۹	۵۹۲۱۴۹۱
۲۲۰	۵۵۷۲	۸۲۰۰	۱۹/ ۹۷	۸۳۴۲۷۰۰	۱۲۶۲۵۶۹	۷۰۸۰۱۳۱
۱۰۰(۲)	۵۹۶۹	۱۰۳۰۹	-	۹۲۱۸۷۳۷	۱۹۸۵۶۵۱	۷۲۳۳۰۸۶
۱۶۰(۲)	۶۱۴۲	۱۱۳۸۶	-	۹۶۳۰۵۸۳	۱۴۸۸۵۳۲	۸۱۴۲۰۵۰

جدول ۶- تحلیل بازده نهایی (نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه‌ها (MBCR)) پس از حذف شقوق تحت تسلط

تیمارهای آبیاری	هزینه کل (ریال در هکتار)	درآمد خالص (ریال در هکتار)	$\frac{\Delta B}{\Delta C} \geq 1$
۱۶۰(۲)	۱۴۸۸۵۳۲	۸۱۴۲۰۵۰	-
۲۲۰	۱۲۶۲۵۶۹	۷۰۸۰۱۳۱	۴/۷
۱۶۰	۱۰۸۲۵۶۹	۵۹۲۱۴۹۱	۵/۵
۱۰۰	۹۰۲۵۶۹	۳۲۸۷۷۶۶	۸/۳
دیم (با ۳۰ کیلو نیتروژن)	۵۴۲۵۶۸	۲۰۹۸۲۸۱	۶/۴

که در شرایط وجود مقدار آب ثابت برابر با آبیاری کامل (۲۲۰ میلی‌متر) با اعمال تیمارهای ۱۰۰ و ۱۶۰ میلی‌متر آب مصرفی، سطح زیر کشت این مدیریت‌ها به جای یک هکتار به ترتیب ۲/۲ و ۱/۳۷۵ هکتار خواهد شد یعنی برای این تیمارها به ترتیب ۱/۲ و۰/۳۷۵ هکتار به سطح تحت آبیاری افزوده می‌شود، لذا در برآورد عملکردها، هزینه‌ها و درآمدها سطوح جدید منظور می‌شود. میزان درآمد به دست آمده برای تیمارهای آبیاری نشان می‌دهند که در شرایط وجود مقدار ثابت آب (برابر آبیاری کامل) بالاترین میزان درآمد ناخالص (۹۶۳۰۵۸۳ ریال در هکتار) مربوط به تیمار ۶۶ درصد آبیاری کامل است (جدول ۵).

از میان تیمارهای آبیاری، کاربرد ۱۰۰ میلی‌متر آب مصرفی، اگرچه نسبت به شرایط دیم حدود ۱۰۰ درصد افزایش عملکرد نشان می‌دهد، اما ریسک و خطرپذیری آن زیاد است، ضمن اینکه بهره‌وری از آب مصرفی آن در اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم (WP_I) برابر۱۵/۳۵ کیلوگرم بر میلی‌متر و سود خالص و نسبت درآمد ناخالص به هزینه‌های آن در مقایسه با بقیه تیمارها کمتر می‌باشد، ولی با کاربرد ۱۶۰ میلی‌متر یعنی کاهش ۲۷/۳ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل، اگرچه ۱۹/۸ درصد

www.SID.ir

Archive of SID

افت عملکرد در واحد سطح اتفاق می‌افتد، اما بالاترین میزان بهره‌وری از آب مصرفی در اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم (۲۰/۵۶کیلوگرم بر میلی‌متر) را دارا بوده و از نظر نسبت درآمد ناخالص به هزینه‌ها، تفاوت چندانی با آبیاری کامل ندارد و در شرایط طرح توسعه و امکان افزایش سطح زیر کشت و عدم محدودیت زمین، میزان سود خالص بیشتر از تیمار ۱۶۰میلی‌متر مصرف آب به دست میآید (شکل ۲).

در تحلیل نهایی نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه‌ها (جدول ۶) نیز نشان داده می‌شود که این تیمار(۶۶ درصد آبیاری کامل) نسبت به بقیه تیمارها، تیمار مسلط میباشد. ضمن اینکه ۱۰/۲ درصد میزان عملکرد دانه، ۱۵ درصد سود خالص و۳۷/۵ درصد به سطح تحت آبیاری اضافه می‌شود. نتیجه این تحقیق با نتایج مطالعه محققین دیگر هماهنگی دارد چرا که Hang و Miller (۱۹) طی تحقیقی نشان دادند که با کاهش ۵۰-۴۰ درصد آب مصرفی گندم نسبت به آبیاری کامل، افت عملکرد ناچیز بوده است. Shearer (۳۳) طی پژوهشی گزارش کرد که آبیاری گندم با سطح کفایت ۸۷/۵ درصد، میزان تلفات عمقی ۲۳ درصد آب مصرفی بود اما در آبیاری با سطح کفایت ۵۰ درصد، میزان تلفات عمقی فقط ۸ درصد آب مصرفی بود. English (۱۶) طی تحقیقی نشان داد که درکم‌آبیاری گندم، سود خالص در واحد سطح، ۲۵ درصد کمتر از آبیاری کامل، ولی سود خالص به ازای واحد آب مصرفی ۱۴/۵ درصد بیشتر از آبیاری کامل بود. همچنین با ۴۳ درصد کاهش آب مصرفی گندم، ضمن داشتن سود خالصی معادل با آبیاری کامل ، فقط ۱۵/۵ درصد کاهش عملکرد بوجود آمد (۱۳ و ۱۶). طی پژوهشی توسط English و Raja (۱۶) گزارش شد که با ۳۹ درصد کاهش آب مصرفی گندم، سود خالص ۴۹ درصد بیشتر از آبیاری کامل به دست آمد. سودآوری کم‌آبیاری از طریق کاهش هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های سرمایه گذاری و ثابت برای آبیاری، هزینه‌های مستقیم آبیاری (انرژی، نیروی کار، نگهداری و تعمیرات و هزینه‌های پیشبینی نشده) و هزینه‌های کود شیمیایی، آفت‌کش‌ها و عملیات کاشت، داشت و برداشت است (۱۴). جانباز نیز طی مطالعه‌ای نشان داد که تیمار ۶۰ درصد تبخیر و تعرق گندم، بیشترین صرفه اقتصادی را به همراه داشته است (۶). طبق گزارش توکلی (۵) با ۴۵ درصد کاهش آب مصرفی گندم، ۳۶ درصد سود خالص بیشتر نسبت به آبیاری کامل به دست آمد. همچنین بر اساس تحقیق فرداد و گلکار (۹) نشان داده شد که سود ناشی از ۴۰ درصد کاهش آب مصرفی گندم با سود ناشی از آبیاری کامل برابر است. طی تحقیقی در ایکاردا (ICARDA)، مصرف بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص را برای وضعیت بهینه آبیاری (۶۶ درصد آبیاری کامل) مجاز ندانسته‌اند (۲۷ ، ۲۹). اعمال کم‌آبیاری برای گندم تا ۵۰-۴۰ درصد کل تبخیر و تعرق با کاهش عملکرد ناچیزی مواجه بوده است (۱۹) و بیشترین میزان سود خالص به ازای واحد آب مصرفی نیز در حد بهینه کم‌آبیاری به دست آمد (۱۳، ۱۶).

مزیت‌های نسبی به کارگیری مدیریت بهینه کم‌آبیاری یعنی کاربرد ۱۶۰ میلی‌متر آب مصرفی (کاهش ۲۷/۳ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل) شامل حصول "حداکثر سود به ازای واحد آب مصرفی ، حداکثر تولید به ازای واحد آب مصرفی، افزایش سطح زیر کشت ، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود کیفیت محصول (۷ ، ۱۵) میباشد و در شرایط خاص کشور ما که با محدودیت جدی منابع آب و فراوانی نسبی زمین مواجه است، به کارگیری و ترویج علمی‌و هوشمندانه کم‌آبیاری و تعیین توابع تولید و تقاضا اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا می‌کند. بر این اساس و با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود در طرحهای توسعه منابع آب و سدسازی و در تدوین الگوی بهینه کشت و نیز در بخش انتقال، توزیع و بهره‌برداری، مدیریت کم‌آبیاری را ملحوظ نمایند چرا که با توجه به حد سودآوری کم‌آبیاری، این مقوله از ابعاد زراعی، تحلیل آماری و اقتصادی توجیه پذیر (۲) و مقرون به صرفه است و ضمن افزایش بهره‌وری از آب، نقشی موثر در پایداری تولید و درآمد مطمئن دارد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی خاتمه یافته موسسه تحقیقات کشاورزی دیم به شماره ۷۸۱۴۳-۲۱-۱۰۰ می‌باشد لذا بدین وسیله از موسسه تحقیقات کشاورزی دیم به خاطر مساعدت در اجرای تحقیق، قدردانی می‌شود.

پاورقی‌ها

1 - Partial Budgeting (P.B)

2- Marginal Benefit Cost Ratio (MBCR)

3 - Dominated Alternatives

4 - Ordinary Least Square

منابع مورد استفاده

۱- پیکانی، غ. ر.۱۳۸۱؛ مدل برنامه‌ریزی غیر خطی بسط داده شده جهت تخمین پارامترهای تابع تولید و بهینه‌سازی به طور همزمان (ENLPM). مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۳(۲): ۲۳۲-۲۲۳.

۲- توکلی ع. ر.، و. بلسون، ر. رضوی و ف. فری.۱۳۸۲؛ بررسی عکس‌العمل گندم دیم نسبت به سطوح مختلف آبیاری تکمیلی و نیتروژن. گزارش نهایی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم شماره ۳۱۵/۸۲، ۱۱۴ص.

۳- توکلی، ع. ر. ۱۳۸۳؛ به گزینی مدیریت آبیاری تکمیلی و بهینه‌سازی نیتروژن برای گندم دیم. مجله پژوهش و سازندگی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، ویژه زراعت و باغبانی ۶۲، ۱۷(۱): ۴۲-۳۵.

۴- توکلی، ع. ر.۱۳۸۳؛ تحلیل اقتصادی آبیاری تکمیلی گندم در حد بهینه ازت در شرایط دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۵(۲۰): ۱۱۲-۹۷.

۵- توکلی، ع. ر.۱۳۷۸؛ ارائه برخی توصیه های تحقیقاتی - کاربردی پیرامون کم‌آبیاری. هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۶- جانباز، ح. ر. ۱۳۷۵؛ مطالعه اثر تنش آبی و دور آبیاری بر عملکرد محصول گندم در منطقه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

۷- خیرابی، ج.، ع. ر. توکلی، م. ر. انتصاری و ع. ر. سلامت.۱۳۷۵؛ دستورالعمل‌های کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۱۸ص.

۸- سپاس‌خواه، ع.ر.، ع.ر توکلی و ف. موسوی. ۱۳۸۵؛ کم‌آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ۲۸۷ ص.

۹- فرداد، ح. و ح. ر. گلکار.۱۳۸۱. تحلیل اقتصادی کم‌آبیاری گندم در شرایط کرج. مجله علوم کشاورزی ایران، ۳۳ (۲) : ۳۱۲-۳۰۵.

www.SID.ir

Archive of SID

10- Campbell, C.A., F., Selliers, R.P., Zentner, and B.G., McConkey.1998; Available water and nitrogen effects on yield components and grain nitrogen of zero-till spring wheat. Agron. J. 85:114-120.

11- Dhanke, W.G. and E., Vass.1973; Testing soil for nitrogen. In. L.M. Walsh and J. Beaton. (Eds.). Soil Testing and Plant Analysis. Rvised Edition. Soil Sci. Soc. Am. J. Inc., Madison, WI. pp: 97-144.

12- Draper, N., and H., Smith.1981; Applied regression analysis. Second edition, New York, J. Wiley and Sons.

13- English, M.J., and S.N., Raja.1996; Perspectives of deficit irrigation. Agricultural Water Management.32:1-14.

14- English, M.J., and G.S., Nuss.1982; Designing for deficit irrigation. J.ASCE, 108(IR2):91- 106.

15- English, M.J., J.T., Musick, and V.N., Murty.1990; Deficit irrigation. In: Hoffman, G.J., Howell, T.A., and K.H., Solomon.(Eds.), Management of Farm Irrigation Systems, ASAE, St. Joseph, Michigan, pp. 631-663.

16- English, M.J.1990; Deficit irrigation, I: analytic framework, J.ASCE (IR), 116(3), 399-412.

17- Fisher, W.D.1961; A note on curve fitting with minimum deviations by linear programming. J. of the American Statistical Association. 56:359-362.

18- Gujarati, D.1978; Basic econometrics. New York.

19- Hang. A.N., and D.E., Miller.1983; Wheat development as affected by deficit irrigation frequency sprinkler irrigation. Agronomy J.75:234-239.

20- Harmsen, K., K.D., Shepherd, and A.Y., Allan.1983; Crop response to nitrogen and phosphorus in rainfed agriculture. In: Nutrient balances and the need for fertilizers in semi arid and arid regions. International potash institute, Bern, Switzerland, PP.223-248.

21- Heady, E.O., and J.L., Dillon.1988; Agricultural production functions. New Delhi, Ludhiana, Kalyani publishers, 667pp

22- Johnson, J.1972; Econometric methods. Second edition, New York, Mc Graw – Hill.

23- Judge, G., W.E., Grittiths, R., Caterhill, and T., Lee.1980; The theory and practice of econometrics. New York, J. Wiley and Sons.

24- Kmenta, J.1971; Elements of econometrics. New York, Mc-Millan.

25- Krentons, U.D., and P.J., Orphonos.1979; Nitrogen and phosphorus fertilizers for wheat and barley in a semi arid region. J. Agric.Sci.93:711-717.

26- Mossedque, F., and D.H., Smith.1994; Timing nitrogen application to enhance spring wheat yield in a Mediterranean climate.Agron.J.86:221-226.

27- Oweis, T., A., Hachum, and J., Kijne.1999; Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. SWIM paper no.7.38pp.

28- Oweis, T., M., Pala, and J. Ryan.1998; Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean climate. Agron. J. 90:672-681.

29- Oweis, T.1997; Supplemental irrigation, ICARDA, Aleppo, Syria, 16pp.

30- Pala, M., A., Matar, and A., Mazid.1996; Assessment of the effects of environmental factors on the response of wheat to fertilizer in on – farm trials in Northern Syria. Exp.Agric.32 (3): 339-349.

31- Salam, A.M., and S., Subramanian.1988; Influence of zinc, nitrogen and their interaction on the yield and nutrient uptake of "IR20" rice (Oryza sativa L.) in different season. Indian J. Agric. Sci. 58: 190-193.

32- Sankhayan, P.L.1988; Introduction to the economics of agricultural production. Prentice Hall International, INC, India.

33- Shearer, M.N.1978; Comparative efficiency of irrigation systems. Proc. annual tech. conf. 183-188.

34- Tavakkoli, A.R., and Oweis, T.2004; The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agric. Water Manage. 65(3): 225-236.

35- Tavakoli, A.R., T., Oweis, F., Ferri, A., Haghighati, V., Belson, M., Pala, H., Siadat, and H., Ketata.2005; Supplemental Irrigation in Iran: Increasing and Stabilizing Wheat Yield in Rainfed Highlands. On-Farm Water Husbandry Research Report Series No.5. 46 pp, ICARDA, Aleppo, Syria.

36- Theil, H.1978; Introduction to econometrics. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

37- Wagner, H.M.1959; Linear programming and regression analysis. J. of the American Statistical Association, 54:206-212.

38- Wannacott, R. and T., Wannacott.1979; Econometrics. Second edition, New York, J.Wiley and Sons.

39- Weinhold, B.J., P.T., Todd, and G.A., Richman.1995; Yield and nitrogen efficiency of irrigated corn in north Great Plains. Agron. J. 87:842-846.

40- Wilson, H.1978; Least square versus minimum absolute deviations estimation in linear models. Decision Science 9: 322-335.

www.SID.ir