تحلیل اقتصادی آبیاری تکمیلی گندم در حد بهینه ازت در شرایط دیم[1]

علیرضا توکلی[2]

۱- چکیده:

وابستگی زراعت گندم دیم به مقدار و پراکنش بارش و لزوم دستیابی به حداکثر سود، اهمیت اجرای تحقیقاتی را در زمینهٔ اعمال بهینه و سودآور آبیاری تکمیلی افزایش می‌دهد. بر همین اساس، در تحقیقی سه ساله (۸۱-۱۳۷۸) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، این امر در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی و به‌صورت اسپلیت پلات با سطوح مختلف آب مصرفی (متوسط سه سال شامل صفر،۹۵ ، ۱۵۱ و ۲۰۷ میلیمتر) و مقادیر مختلف ازت (صفر، ۳۰، ۶۰،۹۰ و۱۲۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص) روی گندم دیم رقم سبلان بررسی شد. کل کود فسفره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در زمان کاشت و مصرف ازت به صورت تقسیط بوده است. آب مورد نیاز بر اساس رطوبت خاک در تیمار آبیاری کامل با استفاده از دستگاه رطوبت سنج ترایم محاسبه و تأمین می‌شد. بر اساس نتایج به دست آمده از طریق بودجه‌بندی جزیی، تحلیل نهایی و تعیین بهره‌وری آب مصرفی و با توجه به تابع درآمد و در شرایط مختلف قیمت آب و آبیاری، تیمار ۹۵ میلیمتر آب مصرفی به همراه ۶۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص، به‌رغم ۲۰ درصد عملکرد کمتر نسبت به آبیاری تکمیلی کامل، حداکثر کارآیی مصرف آب را در اضافه تولید نسبت به شرایط دیم (۲۰/۱ کیلوگرم بر میلیمتر) داشته است و ضمن امکان افزایش سطح تحت آبیاری بهینه به میزان ۱۸۰ درصد، با ایجاد حداکثر سود خالص در حدود ۷۴ درصد به مقدار کل تولید دانه گندم افزوده است. تیمار بهینه آبیاری تکمیلی تا زمانی می‌تواند توصیه شود که هزینهٔ آب و آبیاری کمتر از ۲۸۵۷ ریال برای هر متر مکعب آب مصرفی، یا نسبت قیمت آب و آبیاری به قیمت فروش محصول (P_W/P_C) کمتر از ۲/۵ باشد.

۲- واژه های کلیدی:

آبیاری تکمیلی، بودجه بندی جزئی، بهره‌وری از آب مصرفی، بهینه سازی، دیم، سودخالص، گندم.

۱- برگرفته از طرح تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، شماره ۷۸۱۴۳ – ۲۱-۱۰۰

۲- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، مراغه، ص. پ. ۱۱۹، نمابر: ۲۲۲۲۰۶۹ – ۰۴۲۱ ، پیام نگار: Art_Tavakoli1970@yahoo.com.

© 2005,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۳- پیشگفتار:

زراعت دیم نقش مهمی در تولید غذای مردم بسیاری از کشورهای منطقه وجهان دارد و شامل ۸۰ درصد کل اراضی قابل استفاده کشاورزی است]١٤، ١٦و٢١[، ٦٠ درصد کل تولیدات کشاورزی از این بخش به دست می‌آید [١٤]. تغییرات سال به سال میزان بارندگی و پراکنش (توزیع) آن، به همراه تغییرات درجه حرارت وعدم وقوع بارندگی در بخشی از سال زراعی سبب می‌شود که ریسک و خطرپذیری در زراعت دیم بالا رود وضریب اعتماد و درجه ثبات و پایداری تولید در این نوع زراعت اندک باشد]٤-٥، ٢٠-٢٢[. از شیوه‌ها و راهبردهای مدیریتی فنی- زراعی مؤثر درکاهش ریسک و خطر پذیری و افزایش تولید و بهبود درجهٔ ثبات و پایداری در زراعت دیم، می‌توان به اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی و تک‌آبیاری اشاره کرد. در این حالت تعیین رقم مناسب، میزان آب مصرفی، زمان کاشت، و میزان افزایش عملکرد با آبیاری تکمیلی و تک‌آبیاری، و بررسی جنبه‌های اقتصادی آن از جمله مسائل مهم و مرتبط است [٣-٥]. گندم یکی از محصولات اساسی کشور است و حدود ٤٥ درصد کالری و٧٠ درصد پروتئین مصرفی مردم ایران از این محصول تأمین می‌شود [١]. بر اساس تحقیقات انجام شده، گندم عموماً به ازت واکنش خوبی نشان می‌دهد]١٥، ١٧، ١٨ و٢٥[و همچنین واکنش مناسبی بین میزان ازت و آب آبیاری وجود دارد [٢٦].

در جنوب ایتالیا، اکتبر- دسامبر (مهر- آذر) دورهٔ خشکی است، اما دورهٔ زمانی ژانویه - می (دی - اردیبهشت) مرطوبتر است. بر اساس تحقیقات انجام شده در این مناطق، تنها یک بار آبیاری گندم بلافاصله بعد از کاشت، منجر به افزایش عملکردی به میزان ۱۳۲ درصد (از ۲/۰۳ به ٤/٧١ تن در هکتار) نسبت به شرایط دیم شده است، در حالی که یک بار آبیاری در مرحلهٔ تشکیل غلاف خوشه، فقط افزایش عملکردی به میزان ۲۳ درصد (یعنی افزایش عملکرد از ۲/۰۳ به ۲/۵ تن در هکتار) را به دنبال داشته است [١٢]. طی تحقیقی در ارومیه گزارش شد که با یک نوبت آبیاری به میزان ۵۰ میلیمتر در زمان کاشت گندم به همراه ٦٠ کیلوگرم در هکتار ازت در شرایط منطقه، عملکردی به میزان ۲۸۵۳ کیلوگرم در هکتار به دست می‌آید که با شرایط دیم تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد [٢]. توکلی طی تحقیقی در مراغه مشاهده کرد که اعمال مدیریت تک‌آبیاری در زمان کاشت، افزایش عملکردی به میزان۵۵۰-۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار را به دنبال دارد [٣ و ٥]. طی تحقیقات به انجام رسیده در مراغه، ارومیه، و کرمانشاه ملاحظه شد که بهترین زمان تک‌آبیاری در شرایط مراغه، زمان کاشت و در شرایط کرمانشاه و ارومیه در مرحلهٔ گلدهی گندم است [٥]. بر اساس مطالعات هشت ساله مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) ، در منطقه تل هدیا[1] در سوریه، آبیاری تکمیلی به‌طور متوسط عملکرد گندم را در شرایط دیم از ۲/۲۵ به ۵/۹ تن در هکتار افزایش می‌دهد. در سالی با شرایط خشک (۸۹ - ۱۹۸۸) وقتی متوسط بارندگی سالیانه ۲۳٤ میلیمتر بود، با کاربرد ۱۸۳ میلیمتر آب مصرفی از طریق آبیاری تکمیلی، عملکرد گندم از ۰/۷٤ به ۳/۸۳ تن در هکتار افزایش یافت. در مقابل در سالی با شرایط

1- Tel - Hadya

مطلوب از نظر بارش (۸۸ – ۱۹۸۷)، هنگامی که متوسط بارندگی سالیانه ۵۰٤ میلیمتر بود، با کاربرد تنها ۷۵ میلیمتر آب مصرفی با آبیاری تکمیلی عملکرد دانه از ۵/۰٤ تن در هکتار به ٦/٤٤ تن در هکتار افزایش یافت. همچنین در سالهای متعارف و در شرایط بارندگی متوسط (۳۱٦ میلیمتر)، با کاربرد ۱۲۰ میلیمتر آب مصرفی با آبیاری تکمیلی، عملکرد از ۲/۳ به ۵/٦ تن در هکتار افزایش پیدا کرد. در شرایط مزارع کشاورزان نیز عملکرد گندم دیم که ۰/۸ تن در هکتار بود، با کاربرد آبیاری تکمیلی به بیش از ٤/۸ تن در هکتار افزایش یافت [۲۰ و ۲۲]. در تحقیقی چهار ساله در سوریه با متغیرهایی همچون سطوح مختلف آبیاری تکمیلی، تاریخهای مختلف کاشت، مقادیر ازت، و ارقام گندم مشاهده شد که تیمار ٦٦ درصد آبیاری تکمیلی کامل از نظر کارایی مصرف آب بهترین وضعیت تولید را ایجاد می‌کند، ضمن اینکه تاریخ کاشت زودتر به همراه یک آبیاری حداقل (۳۰ میلیمتر) در حصول عملکرد مطلوب مؤثر است [۲۳]. طی تحقیقی در شمال عراق نتیجه گرفته شد که اولین تاریخ کاشت بالاترین کارآیی مصرف آب را به دنبال دارد، به طوری که در سال ۹۸–۱۹۹۷ که سالی با شرایط خیلی خشک بوده، به ازای هر هفته تأخیر در کاشت برای شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب ۲۲۰ و ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار افت عملکرد ایجاد شده بود [۱۱]. نتیجهٔ تحقیق آبیاری تکمیلی روی گندم دیم در سه منطقه از ترکیه نشان داد که به طور متوسط عملکرد گندم در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی به ترتیب بین ۲–۲/۲ و ۳/٤–۳/۸ تن در هکتار است [۲٤]. تحت شرایط آبیاری تکمیلی، میزان مصرف کود و بذر نسبت به شرایط دیم افزایش می‌یابد و به دلیل افزایش دانه و کاه و کلش، هزینه نقل و انتقال دانه و کاه نیز بالا می‌رود اما افزایش هزینه‌های کود، بذر، و نقل وانتقال در مقایسه با سود ناشی از افزایش دانه و کاه وکلش، ناچیز است [۲٤]. مهم‌ترین عامل مؤثر اقتصادی در آبیاری تکمیلی استحصال و مصرف آب است، لذا تعیین حد سودآوری آبیاری تکمیلی بسیار اهمیت دارد.

کارایی مصرف آب ناشی از مجموع بارش و آبیاری تکمیلی نیز از شاخصهای مورد توجه محققان است. در حالی که در حوزهٔ غرب آسیا و شمال آفریقا (WANA)، متوسط کارایی مصرف آب ناشی از بارش در تولید گندم در حدود ۰/۳٤ کیلوگرم بر متر مکعب (۳/٤ کیلوگرم برمیلیمتر) و برای آبیاری کامل گندم ۰/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب است، با کاربرد آبیاری تکمیلی متوسط کارآیی مصرف آب به حدود ۲/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب (۲۲/۱ کیلوگرم بر میلیمتر) افزایش می‌یابد [۲۲ و۲۷]. بالاترین میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری تکمیلی در شمال عراق مربوط به تیمار ۵۰ درصد آبیاری تکمیلی کامل بوده است [۱۱]. بنا بر مشاهدات در شرایط مراغه، با تک‌آبیاری زمان کاشت گندم [۵] و آبیاری تکمیلی بهینه، بر کارایی مصرف آب افزوده می‌شود [٤]. آبیاری تکمیلی موجب ثبات عملکرد نیز می‌شود. با بررسی ضریب تغییرات (C.V.) عملکرد دانه گندم در آزمایشهای آبیاری تکمیلی در مدت پنج سال در ایکاردا، مشاهده شد که این ضریب از ۷۱ درصد در شرایط دیم به ۸ درصد در شرایط آبیاری تکمیلی کاهش پیدا می‌کند و در شرایط مزارع کشاورزان نیز

ضریب تغییرات با اعمال آبیاری تکمیلی از ۱۰۰ درصد به ۱۰ درصد کاهش می‌یابد [۲۷].

تغذیهٔ صحیح ریشه‌ها جهت حداکثر رشد گیاهی و تولید محصول ضروری است، از این رو در مناطقی که مواد غذایی فراوانتر یافت می‌شوند، گسترده‌ترین سیستم ریشه‌ای نیز مشاهده می‌شود [۹]. مصرف متعادل کود یکی از عوامل مهم در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است [۱۰]. در اراضی دیم برخی از کشورها، تأمین ازت مورد نیاز در حدود ۲۵ درصد هزینه تولید گندم را تشکیل می‌دهد و در سالهای با بارندگی اندک (یا با پراکنش نامناسب) تأمین این عنصر اغلب با خطر همراه است [۱۳]. اما در کشور ما سهم هزینهٔ ازت در مقابل دیگر هزینه‌ها از جمله آبیاری تکمیلی بسیار ناچیز است و می‌توان گفت که حد بهینه ازت باید تابع حد بهینهٔ آبیاری تکمیلی باشد. بسته به نوع زمین بین ٤٠ تا ٨٠ کیلوگرم در هکتار ازت خالص، بهترین و مناسبترین مقدار برای گندم خواهد بود که نیمی از آن را در موقع کاشت (پاییز) و بقیه را در اوایل بهار و به صورت سرک به مزارع گندم اضافه می‌کنند [۸]. مقدار مصرف فسفر بر مبنای P_2O_5 می‌تواند بین ۲۰ تا ٤٠ کیلوگرم در هکتار تغییر کند [۷].

عمده‌ترین اهداف این تحقیق شامل، بهبود بهره‌وری آب[1] (WP)، حداکثر استفاده از حجم آب قابل دسترس، کسب حداکثر سود خالص، و تعیین حد سودآوری آبیاری تکمیلی است.

۴- مواد و روشها:

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم در ۲۵ کیلومتری مراغه (ارتفاع ۱۷۲۵ متر از سطح دریا، 46 ′15 E، 37 ′15 N) و روی گندم دیم رقم سبلان طی سالهای ۸۱-۱۳۷۸ انجام شد. خاک محل آزمایش رس سیلتی است که نقطهٔ ظرفیت زراعی، نقطهٔ پژمردگی دائم، و جرم مخصوص ظاهری خاک به ترتیب ۳۸ درصد حجمی، ۲۰ درصد حجمی و ۱/۱۷۵ گرم بر سانتیمتر مکعب به دست آمد. متوسط آب قابل استفاده در یک متر عمق خاک نیز برابر ۱۸۰ میلیمتر بود. با تعبیهٔ لوله‌های هادی دستگاه رطوبت سنج ترایم[2] رطوبت خاک به صورت مستقیم و حجمی اندازه‌گیری شد. آب مورد نیاز از طریق چاه تأمین شد که مشکلی از نظر کیفی نداشت (SAR =۱/۵، EC = 1 ds/m، pH = 6/7). آبیاری به صورت سطحی و از طریق انتقال آب با لوله و شیلنگ و کنترل دقیق با کنتور حجمی صورت می‌گرفت و برای دستیابی به یکنواختی توزیع مناسب، آبیاری در کرت از طریق لوله سوراخدار متحرک دستی انجام می‌شد، به نحوی که آب از طریق منافذ تعبیه شده به فواصل ۳-٤ سانتیمتری روی لوله پلی اتیلن با قطر ٦٣ میلیمتر و به طول ٤ متر و با حرکت یکنواخت دست در سطح کرت پخش می‌شد.

این تحقیق در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی و به صورت کرتهای خرد شده (اسپلیت پلات) با چهار سطح آبیاری (کرت اصلی) شامل: آبیاری تکمیلی کامل (F.S.I)، تأمین آب به میزان ٦٦ درصد آبیاری تکمیلی کامل، تأمین آب به میزان ۳۳ درصد آبیاری تکمیلی کامل و بدون آبیاری (شرایط دیم) و پنج میزان ازت (کرت فرعی) شامل: صفر،

1- Water Productivity 2- TRIME

۳۰ ، ٦۰، ۹۰ و۱۲۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص بود که در سه تکرار و به مدت سه سال (۸۱-۱۳۷۸) به اجرا درآمد. نیمی از ازت همراه با کل کود فسفره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص در زمان کاشت (به طور یکسان برای کلیهٔ تیمارها) و بقیه ازت در بهار به صورت سرک مصرف شد.

اولین آبیاری در پاییز، بلافاصله پس از کشت و به طور یکسان برای تمامی تیمارها به جز دیم، به میزان ٤۰ میلیمتر اعمال شد. تیمارهای آبیاری در بهار بر مبنای ۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک (S.M.D) در تیمار آبیاری کامل و تأمین ۱۰۰ ، ٦٦ و ۳۳ درصد به‌ترتیب برای تیمارهای آبیاری تکمیلی کامل و دو سوم و یک سوم آبیاری تکمیلی کامل بوده است که میزان آن در هر نوبت ۷۲ ، ٤۸ و ۲٤ میلیمتر برای تیمارهای آبیاری بود.

متوسط آب مصرفی سه سال برای تیمارهای مختلف آبیاری (آبیاری تکمیلی کامل، دو سوم آبیاری تکمیلی کامل، یک سوم آبیاری تکمیلی کامل و شرایط دیم) به ترتیب برابر ۲۰۷ ، ۱۵۱، ۹۵ و صفر میلیمتر بوده است. همچنین متوسط میزان بارندگی و متوسط دما در سه سال به ترتیب ۲۹۳ میلیمتر و ۹/۸ درجهٔ سانتیگراد اندازه گیری شد. در جدول شماره ۱ تیمارهای آبیاری و مقادیر آب مصرفی سه سال آزمایش ارائه شده است. در شرایط دیم مصرف کمتر از ٦۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص تیمار برتر است، لذا تیمار ۳۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص نیز در مقایسه‌ها در کنار حد بهینهٔ ازت برای تیمارهای آبیاری تکمیلی (N_{60}) آورده شده است. پس از رسیدن محصول، عملکرد دانه (با استفاده از کمباین آزمایشی) و عملکرد کاه و کلش (برداشت نمونه با دست)، اندازه‌گیری و تعیین شد [٤].

از طریق بودجه بندی جزیی[1]، تحلیل نهایی نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه[2]، نسبت درآمد به هزینه هر تیمار، میزان سود خالص، تعیین بهره‌وری کل آب مصرفی (آبیاری تکمیلی + بارش) و تعیین حد سودآوری هر یک از تیمارها با توجه به قیمت آب و آبیاری بررسی اقتصادی تحقیق صورت گرفت. پس از تعیین قیمت تمام شدهٔ آب آبیاری، تیمارها بر اساس درآمد خالص و به صورت نزولی مرتب شدند. با حذف شقوق تحت تسلط[3]، اختلاف میانگین منافع تیمارها و اختلاف میانگین هزینه‌ها محاسبه شد. طبق روابط $\overline{\Delta C} = \overline{C}_{i+1} - \overline{C}_i$ و $\overline{\Delta B} = \overline{B}_{i+1} - \overline{B}_i$ اختلاف بین منافع خالص و اختلاف بین هزینه‌ها تعیین و با استفاده از رابطهٔ $\frac{\overline{\Delta B}}{\overline{\Delta C}} \geq 1$ تحلیل نهایی بین تیمارهای مسلط انجام شد و تیمارهایی حذف شدند که نسبت اختلاف منافع نهایی آنها به اختلاف هزینهٔ نهایی مربوط کمتر از واحد بود.

جدول شمارهٔ ۱- مقادیر آب کاربردی و نحوهٔ مصرف کود برای حد بهینهٔ کود مصرفی (N_{60})

تیمار آبیاری	کود مصرفی (خالص، کیلوگرم در هکتار)		میزان آب کاربردی(میلیمتر)*
	فسفر	ازت	متوسط سه سال(آبیاری + بارش)
I_0N_{30} **	۳۰	۱۵+۱۵	0 + 293
I_0N_{60}	۳۰	۳۰+۳۰	0 + 293
$I_{95}N_{60}$	۳۰	۳۰+۳۰	95 + 293
$I_{151}N_{60}$	۳۰	۳۰+۳۰	1 + 293
$I_{207}N_{60}$	۳۰	۳۰+۳۰	07 + 293

* ٤۰ میلیمتر از آب مصرفی در زمان کاشت بوده است. **حد بهینه ازت در شرایط دیم

1- Partial Budgeting (P.B)
2- Marginal Benefit Cost Ratio (MBCR)
3- Dominated Alternatives

برای تعیین قیمت تمام شده آب آبیاری بر اساس هزینه‌های استحصال آب (هزینه‌های سرمایه گذاری وهزینه‌های جاری یا بهره برداری) از چاه با الکتروموتور، از روش تبدیل به معادل یکنواخت سالانه (رابطهٔ شماره ۱) استفاده شد:

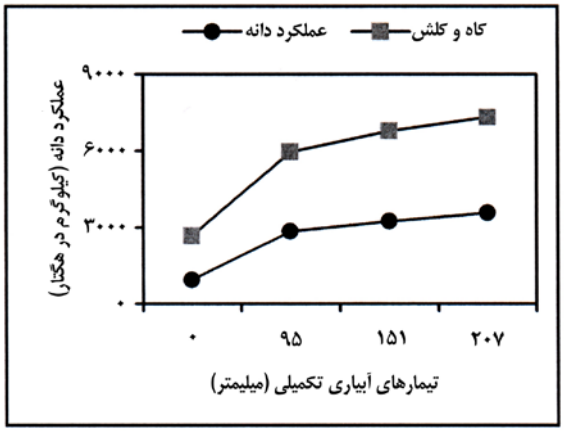
$$A = P\frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \qquad (۱)$$

که در آن: A = ارزش کنونی اقساط سالانه بر حسب ریال، P = مقدار سرمایه گذاری بر حسب ریال، n = عمر مفید بر حسب سال و i= نرخ بهره بر حسب درصد است.

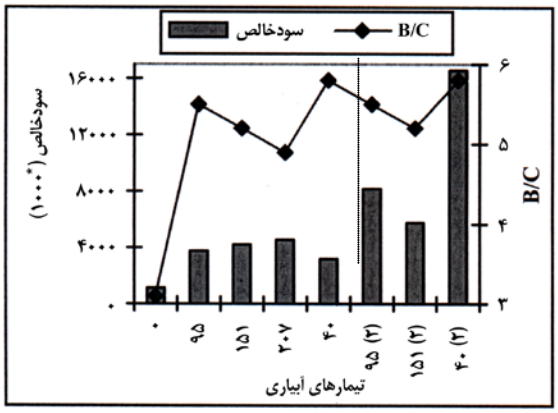
بهره‌وری از آب (WP) به میزان عملکرد به ازای واحد آب مصرفی (بارش در شرایط دیم و آبیاری + بارش در شرایط آبیاری تکمیلی) اطلاق می‌شود که دارای مفهومی اقتصادی در بهینه سازی مصرف نهاده‌هاست [۱۶ و ۲۱]. نقش ازت متأثر از میزان رطوبت خاک و مقادیر آبیاری است. برای ارقام دیم که دارای پتانسیل تولید محدودی هستند، تأمین آب و کود به میزان کامل نمی‌تواند حداکثر کارآیی تولید به ازای نهاده را موجب شود [۹]. بر اساس تجزیه و تحلیل آماری برای سه سال آزمایش، حد بهینهٔ ازت برای شرایط آبیاری تکمیلی گندم دیم، از قرار مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص می‌باشد که برای شرایط دیم، خصوصاً در صورت نبود سبز پاییزه، میزان کود مصرفی ۳۰ کیلوگرم در هکتار کفایت می‌کند [٤]. از این رو در مقالهٔ حاضر فقط به بررسی اقتصادی تیمارهای آبیاری پرداخته می‌شود.

۵– یافته ها:

شکل شمارهٔ ۱ نشان دهنده تغییرات متوسط عملکرد دانه و کاه و کلش و شکل شمارهٔ ۲ در برگیرندهٔ تغییرات سود خالص و نسبت درآمد ناخالص به هزینه ها تحت سطوح مختلف آبیاری تکمیلی است.



شکل شمارهٔ ۱- عملکرد دانه و کاه وکلش تحت تیمارهای آبیاری



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

- تابع درآمد

هزینه‌ها شامل دو بخش هزینهٔ ثابت و هزینهٔ متغیر است. با توجه به اینکه بهینه سازی مصرف آب برای حد بهینهٔ ازت (N60) صورت می‌گیرد، لذا

هزینه‌های متغیر فقط شامل هزینه‌های مربوط بـه آب و آبیاری می‌شود. شکل عمـومی تـابع هزینـه بـرای چنین شرایطی به صورت $C(w) = \alpha + \beta w$ است کـه α بیانگر هزینـه‌هـای ثابـت تولیـد و β بیـانگر آثـار هزینه‌های آب وآبیاری است، در حالت وجود مقدار ثابت آب (آبیاری کامل = ۲۰۷ میلیمتر) تابع عمـومی درآمد برای تیمارهای مختلف آبیاری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$N.B = B(w) - C(w) = (Yg.P1 + Ys.P2) - C1 + \beta.w) = A - 207\beta = K - 3000w) \quad (۲)$$

در ایـن معادلـه N.B، B(w)، C(w)، Yg، P1، Ys، P2، C1، β، w و K به ترتیـب بیـانگر درآمـد خـالص، درآمـد ناخـالص، هزینـه‌هـای تولیـد، عملکـرد دانـه، قیمـت فـروش دانـه (۱۱۵۰ ریـال بر کیلوگرم)، عملکرد کاه وکلش، قیمت فروش کـاه و کلـش (۲۲۰ ریـال بـر کیلـوگرم)، هزینـه‌هـای ثابت تولیـد، هزینـه واحـد آب مصـرفی، عمـق آب مصرفی و درآمـد خـالص بـدون هزینـه‌هـای آب و آبیاری است.

جدول شمارهٔ ۲- هزینه‌های مختلف کاشت، داشت و برداشت برای هر هکتار گندم دیم بدون احتساب هزینه‌های آب و آبیاری

شرح عملیات	هزینه‌ها (ریال در هکتار)، ۸۰-۱۳۷۹
کاشت (شخم، دیسک، بذر، کود زمان کاشت و کاشت با بذر کار)	۳۳٦۸۷۵
داشت (کود سرک، کارگر برای کودپاشی و سمپاشی)	۱۰۷۰۰۰
برداشت	۱۰۰۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها برای متوسط سه سال زراعی	٥٤۳۸۷٥

- تحلیل اقتصادی

با توجه به تحقیقات انجام شده در زراعت دیم و نتایج به دست آمده، نـه شـرایط کـاملاً سـنتی قابـل توجیه و توصیه است تا هزینه‌های آن ملاک مقایسـه قرار گیرد و نه مکانیزاسیون کامل وجود دارد و تنهـا برخی از عملیات زراعی آن (مثلاً کاشت یا برداشت) مکانیزه یا نیمه مکانیزه است. لذا برای واقعـی شـدن هزینه‌های تولید شامل هزینه‌هـای کاشـت، داشـت و برداشت، حالت عمـومی‌تـر (کشـت نیمـه مکـانیزه) مورد توجه قرار گرفت. جدول شمارهٔ ۲ هزینـه‌هـای مختلف کاشت، داشـت و برداشـت گنـدم را بـدون احتسـاب هزینـه‌هـای آب و آبیـاری و بـرای سـطح کـودی ٦۰ کیلـوگرم در هکتـار ازت خـالص نشـان می‌دهد. با توجه به اینکه هزینه‌های مختلف کاشـت، داشت و برداشت هر ساله افـزایش مـی‌یابـد، هزینـهٔ سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ به عنوان میـانگین هزینـه‌هـای سه سال آزمایش در نظر گرفته شـد. بنـابراین جمـع کل هزینه‌های تولید بدون احتساب هزینه‌های آب و آبیاری برابر ٥٤۳۸۷٥ ریال خواهد شـد. هزینـه‌هـای آب و آبیاری بسته به نوع منبع تـأمین آب و سیسـتم آبیاری متفاوت است. جـدولهای شـمارهٔ ۳ تـا ٥ بـر اساس ۳۰۰ ریال برای هر متـر مکعـب آب مصـرفی استحصـالی از چـاه اراضـی مؤسسـه تحقیقـات کشاورزی دیم مراغه تنظیم شده اسـت. ایـن هزینـه

شامل هزینهٔ چاه (حفر، لوله گذاری، آزمایش پمپاژ، و گالریهای افقی در منطقه که محدودیت لایه غیر قابل نفوذ دارد)، هزینهٔ موتور پمپ و برق رسانی هوایی و ترانس، هزینه‌های سیستم آبیاری (آبیاری بارانی کلاسیک)، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری است و قیمت واحد آب مصرفی پس از تبدیل هزینه‌ها به ارزش کنونی اقساط سالانه (معادل هزینهٔ یکنواخت سالانه) بر اساس عمر مفید (۲۰-۳۰ سال) و متوسط نرخ بهره (۵- ۱۵ درصد) به دست آمد. قابل ذکر است که در شرایط کنونی با توجه به تغییرات نرخ تورم، پیش بینی آن برای سنوات آتی مشکل است. لذا در مقایسهٔ تیمارها و با توجه به حد سودآوری تیمارها در شرایط فعلی، این قیمت قابل قبول است. مهم آن است که با تغییر هزینه‌های آب و آبیاری تا حد سود آوری در هر یک از تیمارها، تغییری در انتخاب گزینهٔ مطلوب ایجاد نمی‌شود. حد سودآوری برای تیمارهای ۲۰۷ میلیمتر (آبیاری تکمیلی کامل)، ۱۵۱ و ۹۵ میلیمتر زمانی است که هزینه های آب و آبیاری برای هر متر مکعب آب مصرفی به ترتیب برابر ۱۸۵۵، ۲۲۱۵ و ۲۸۵۷ ریال شود و در شرایط تک آبیاری (۴۰ میلیمتر مصرف آب در زمان کاشت) نیز حد سودآوری هنگامی است که هزینه‌های آب و آبیاری برای هر متر مکعب آب مصرفی برابر ۴۹۹۰ ریال شود (جدول شمارهٔ ۳). مفهوم گزینه‌های (۲) ۹۵، (۲) ۱۵۱ و (۲) ۴۰ این است که در شرایط وجود مقدار آب ثابت برابر با آبیاری تکمیلی کامل (۲۰۷ میلیمتر)، با اعمال تیمارهای ۹۵، ۱۵۱ و۴۰ میلیمتر آب مصرفی، سطح زیر کشت این مدیریتها به جای یک هکتار به ترتیب ۲/۱۸، ۱/۳۷۱ و ۵/۱۷۵ هکتار خواهد شد. لذا در برآورد عملکردها، هزینه‌ها و درآمدها و میزان بهره‌وری کل از آب مصرفی (آبیاری+ بارش) سطوح جدید منظور می‌شود.

جدول شمارهٔ ۳- حد سودآوری تیمارهای آبیاری (ریال در هکتار) در مقایسه با شرایط دیم، برای حد بهینه ازت (N_{60})

تیمارهای آبیاری تکمیلی (میلیمتر آب مصرفی)	قیمت آب و آبیاری (ریال بر متر مکعب)			
	۱۸۵۵	۲۲۱۵	۲۸۵۷	۴۹۸۹
دیم (با ۳۰ کیلوگرم ازت)	۱۳۲۵۶۷۵	۱۳۲۵۶۷۵	۱۳۲۵۶۷۵	۱۳۲۵۶۷۵
۴۰	2578970	۲۴۳۵۲۵۵	۲۱۷۸۳۰۰	۱۳۲۵۶۷۵
۹۵	۲۲۷۷۲۶۸	۱۹۳۵۹۴۴	۱۳۲۵۶۷۵	-
۱۵۱	۱۸۶۸۲۰۲	۱۳۲۵۶۷۵	۵۵۵۶۷۰	–
۲۰۷	۱۳۲۵۶۷۵	۵۸۱۹۴۷	–	–
نسبت قیمت آب به قیمت فروش محصول در حد سودآوری	۱/۶	۱/۹	۲/۵	۴/۳۰

جدول شمارهٔ ٤- هزینه ها، درآمدها، و سود خالص تیمارهای مختلف آبیاری برای حد بهینهٔ ازت (N_{60})، ریال در هکتار

تیمارهای آبیاری	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد کاه و کلش (کیلوگرم در هکتار)	اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم تقسیم بر میزان آب آبیاری	درآمد ناخالص (B)	هزینهٔ تولید (C)	درآمد خالص (N.B)	نسبت سود به هزینه (B/C)
دیم (با ۳۰ کیلوگرم ازت)	۱۰۲۱	۳۰۷۰	-	۱۸٤۹٥٥۰	٥۲۳۸۷٥	۱۳۲٥٦۷٥	۳/٥
دیم	۹٤۰	۲٦۷۲	-	۱٦٦۸۸٤۰	٥٤۳۸۷٥	۱۱۲٤۹٦٥	۳/۱
۹٥	۲۸٤۸	٥۹٤۸	۲۰/۱	٤٥۸۳۷٦۰	۸۲۸۸۷٥	۳۷٥٤۸۸٥	٥/٥
۱٥۱	۳۲۳۷	٦۷۷۸	۱٥/۲	٥۲۱۳۷۱۰	۹۹٦۸۷٥	٤۲۱٦۸۳٥	٥/۲
۲۰۷	۳٥٦٦	۷۳۱٥	۱۲/۷	٥۷۱۰۲۰۰	۱۱٦٤۸۷٥	٤٥٤٥۳۲٥	٤/۹
٤۰	۲٥۰۰	٤٥۰۰	۳۹	۳۸٦٥۰۰۰	٦٦۳۸۷٥	۳۲۰۱۱۲٥	٥/۸
۹٥(۲)	٦۲۰٦	۱۲۹٦۰	-	۹۹۸۷۷۷۲	۱۸۰٦۰۷٥	۸۱۸۱٦۹۷	٥/٥
۱٥۱(۲)	٤٤۳۷	۹۲۹۲	-	۷۱٤۷۲۷۱	۱۳٦٦٥۷۷	٥۷۸۰٦۹٤	٥/۲
٤۰(۲)	۱۲۹۳۸	۲۳۲۸۸	-	۲۰۰۰۱۳۷٥	۳٤۳٥٥٥۳	۱٦٥٦٥۸۲۲	٥/۸

جدول شمارهٔ ٥- تحلیل 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)	$\frac{\Delta B}{\Delta C} \geq 1$
٤۰(۲)	۳٤۳٥٥٥۳	۱٦٥٦٥۸۲۲	-
۹٥(۲)	۱۸۰٦۰۷٥	۸۱۸۱٦۹۷	٥/۱٥
۱٥۱(۲)	۱۳٦٦٥۷۷	٥۷۸۰٦۹٤	٥/۲۱
۲۰۷	۱۱٦٤۸۷٥	٤٥٤٥۳۲٥	٥/۲۹
۱٥۱	۹۹٦۸۷٥	٤۲۱٦۸۳٥	٥/۰٦
۹٥	۸۲۸۸۷٥	۳۷٥٤۸۸٥	٤/۹۱
٤۰	٦٦۳۸۷٥	۳۲۰۱۱۲٥	٤/۸۲
دیم (با ۳۰ کیلوگرم ازت)	٥۲۳۸۷٥	۱۳۲٥٦۷٥	٥/۲۳

جدول شمارهٔ ٦- مقایسه بهره‌وری کل آب مصرفی(بارش + آبیاری) در تولید دانهٔ گندم تحت گزینه‌های مختلف

شاخص / تیمارهای آبیاری	آب آبیاری (Irr)	سطح آبیاری (A_{Irr})	سطح دیم ($A_{Rainfed}$)	کل سطح (A)	عملکرد با آبیاری (Y_{Irr})	عملکرد دیم ($Y_{Rainfed}$)	کل عملکرد (Y)	کل آب مصرفی (آبیاری + بارش) (Irr+Rain)	WP (کیلوگرم به ازای میلیمتر)
آبیاری کامل	۲۰۷	۱	۰/۳۷۱	۱/۳۷۱	۳۵٦٦	۱۰۲۷	۳۹٤٥	٦۰۹	٦/٤۸
دو سوم آبیاری کامل	۱۵۱	۱/۳۷۱	۰	۱/۳۷۱	۳۲۳۷	–	٤٤۳۸	٦۰۹	۷/۲۹
آبیاری کامل	۲۰۷	۱	۱/۱۸	۲/۱۸	۳۵٦٦	۱۰۲۷	٤۷۷۹	۸٤٦	٥/٦٥
یک سوم آبیاری کامل	۹٥	۲/۱۸	۰	۲/۱۸	۲۸٤۸	–	٦۲۰۹	۸٤٦	۷/۳٤
آبیاری کامل	۲۰۷	۱	٤/۱۷٥	٥/۱۷٥	۳۵٦٦	۱۰۲۷	۷۸٥٤	۱۷۲۳	٤/٥٦
تک آبیاری	٤۰	٥/۱۷٥	۰	٥/۱۷٥	۲٥۰۰	–	۱۲۹۳۸	۱۷۲۳	۷/٥۱

آبیاری تکمیلی کامل $=A_{Irr}*Y_{Irr} + A_{Rainfed} * Y_{Rainfed}$ y

آبیاری تکمیلی $=A_{Irr}*Y_{Irr}$ y

آبیاری تکمیلی کامل $=Y / [Irr*A_{Irr} + Rain*(A_{Rainfed} + A_{Irr})]$ WP

آبیاری تکمیلی $[(WP=Y / [Irr+Rain)* A_{Irr}$

۶- کاوش:

از طریق بودجه بندی جزیی، تعیین توابع درآمد تیمارهای آبیاری، میزان سود خالص، تعیین بهره‌وری آب مصرفی، و استفاده از تحلیل نهایی نسبت اختلاف منافع به اختلاف هزینه‌ها (جدول شمارهٔ ٥)، تیمار برتر انتخاب می‌شود. بدیهی است پس از مرتب کردن نزولی تیمارها بر اساس منافع خالص، ابتدا شقوق تحت تسلط حذف می‌شود. شقوق تحت تسلط، تیمارهایی هستند که نسبت به یک تیمار برتر، منافع خالص کمتر ولی هزینه بیشتری دارند و در نتیجه، مطلوبیت ندارند و از مقایسه کنار گذاشته می‌شوند. بر این اساس تیمار شرایط دیم و مصرف ٦۰ کیلوگرم در هکتار ازت خالص حذف شد.

از میان تیمارهای آبیاری تکمیلی، کاربرد ۹٥ میلیمتر آب مصرفی (٤٥/۹ درصد آبیاری تکمیلی کامل)، علاوه بر اینکه نسبت به شرایط دیم حدود ۲۰۰ درصد افزایش عملکرد نشان داد ریسک و خطرپذیری را نیز نسبت به شرایط دیم بسیار کاهش می‌دهد و در واقع علاوه بر تثبیت عملکرد، وضعیت را بهبود نیز می‌بخشد. اگر چه بالاترین میزان عملکرد دانه مربوط به آبیاری کامل است (شکل شمارهٔ ۱ و جدول شمارهٔ ٤)، برای تیمار ۹٥ میلیمتر آب مصرفی، کارآیی مصرف آب در اضافه تولید نسبت به شرایط دیم برابر ۱ /۲۰

کیلوگرم بر میلیمتر است که بالاترین میزان در بین تیمارهای آبیاری است. این در حالی است که کارآیی مصرف آب در اضافه عملکرد نسبت به شرایط دیم برای آبیاری تکمیلی کامل و کاربرد ۱۵۱ میلیمتر آب مصرفی به ترتیب ۱۲/۷ و ۱۵/۳۵ کیلوگرم بر میلیمتر است ضمن اینکه حداکثر شیب افزایش عملکرد در هر یک از تیمارها نسبت به تیمار قبلی مربوط به تیمار آبیاری یک سوم آبیاری تکمیلی کامل نسبت به شرایط دیم است (شکل شماره ۱). این نتیجه با نتایج دیگر محققان همسویی دارد. در شرایط شمال سوریه، در حالی که بهره‌وری آب ناشی از بارش بین ۷ تا ۱۰/۹ کیلوگرم بر میلیمتر متغیر بود، بهره‌وری آب آبیاری تکمیلی در سالهای خشک (بارش۲۳٤ میلیمتر)، متوسط (بارش ۳۱٦ میلیمتر) و مرطوب (بارش ٥۰٤ میلیمتر) به ترتیب ۱٤/٦، ۲۲ و۱۹/۲ کیلوگرم بر میلیمتر گزارش شد [۲۱]. طی تحقیقی در شمال عراق مشخص شد که تیمار ۵۰ درصد آبیاری تکمیلی کامل دارای بالاترین میزان کارآیی مصرف آب بوده است [۱۱ و ۲۱]، ضمن اینکه با کاربرد تنها ۵۰ درصد میزان آب آبیاری تکمیلی کامل، عملکرد به میزان ۱۰-۱۵ درصد کاهش داشته است [۲۱]. جانگ و اویس (۱۹۹۹) نیز طی تحقیقی روی گندم گزارش کردند که کاهش ٤۰-۷۰ درصدی آب آبیاری نسبت به آبیاری تکمیلی کامل، فقط ۱۳ درصد کاهش عملکرد دانه را به همراه داشته است [۲۹]. بهره‌وری کل آب مصرفی (بارش + آبیاری تکمیلی) در مقایسهٔ آبیاری تکمیلی کامل با سطوح دیگر آبیاری نشان-دهندهٔ تفوق و برتری تیمارهای دیگر آبیاری است (جدول شمارهٔ ٦). در این شرایط، بهره‌وری کل آب مصرفی بین ٤/٥٦ تا ۷/۵۱ کیلوگرم بر میلیمتر متغیر است. بهره‌وری کل آب مصرفی تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی و دیم در شرایط سوریه [۲۱] بین ۹/۳ تا ۱۱/۹ و در شرایط تکزاس امریکا [۱۹] بین ٦/۱ تا ۸ کیلوگرم بر میلیمتر گزارش شد. جانگ و اویس (۱۹۹۹) و جانگ و همکاران (۲۰۰۰) بهره‌وری کل آب مصرفی را بین ٤ تا ۵ کیلوگرم بر میلیمتر گزارش کردند]۲۸ و ۲۹[. تیمار ۹۵ میلیمتر مصرف آب دارای بالاترین میزان نسبت درآمد ناخالص به هزینه (۵/۵) است (شکل شمارهٔ ۲) و به‌رغم کاهش ٥٤/۱ درصدی آب مصرفی نسبت به آبیاری تکمیلی کامل، فقط ۲۰ درصد افت عملکرد اتفاق می‌افتد. طی تحقیقی در ترکیه درآمد ناخالص، هزینهٔ تولید و درآمد خالص برای شرایط دیم به ترتیب ۳۹/۱، ۱٤/۲۱ و ۲٤/۸۹ میلیون لیر ترکیه در هکتار و نسبت درآمد ناخالص به هزینهٔ تولید ۲/۷۵ و برای شرایط آبیاری تکمیلی به ترتیب ۷۰/۳۸، ۲۳/۸٦ و٤٦/۵۲ میلیون لیر ترکیه در هکتار و نسبت درآمد ناخالص به هزینه تولید ۲/۹۵ گزارش شده است که نشان دهنده افزایش سود خالص به میزان ۸۷ درصد نسبت به شرایط دیم بوده است [۲٤].

در شرایط طرح توسعه و امکان افزایش سطح زیر کشت و محدودیت نداشتن زمین که در کشت دیم بیشتر به چشم می‌خورد، با در دسترس بودن حجم ثابت آب (برابر با آب مصرفی آبیاری تکمیلی = ۲۰۷ میلیمتر)، بیشترین میزان سود خالص از تیمار ۹۵ میلیمتر مصرف آب به دست می‌آید، ضمن اینکه ۲٤/٤ درصد به میزان عملکرد دانه، ۸۰ درصد به سود خالص و ۱۸۰ درصد به سطح زیر کشت اضافه

می‌شود. فرداد و گلکار نیز طی تحقیقی گزارش کردند که با ٦٥ درصد کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل، ضمن حصول حداکثر سود، سطح زیر کشت به میزان سه برابر افزایش می‌یابد [٦].

موضوع مهم دیگری که در جدولهای شمارهٔ ٣ تا ٥ نشان داده شده است، اعمال مدیریت تک‌آبیاری در زمان کاشت است که در حالت در دسترس بودن حجم ثابت آب (برابر با آب مصرفی آبیاری تکمیلی = ٢٠٧ میلیمتر)، بالاترین نسبت درآمد ناخالص به هزینه (٥/٨)، بیشترین میزان سود خالص (١٦٥٦٥٨٢٢ ریال) و بیشترین سطح تحت مدیریت تک آبیاری (٥/١٧٥ هکتار) را دارد و میزان تولید کل آن در کل سطح ٥/١٧٥ هکتاری برابر ١٢٩٣٨ کیلوگرم است که نسبت به شرایط دیم و در چنین سطحی بیش از هشت تن افزایش تولید نشان می‌دهد.

همان‌طور که ذکر شد، کاربرد٤٠ میلیمتر از آب مصرفی در پاییز و بلافاصله پس از کاشت بوده است. بر این اساس، قابل استنباط است که برتریهای تیمار ٩٥ میلیمتری، بیشتر ناشی از مصرف آب زمان کاشت باشد. لذا در هر شرایطی از مقدار و پراکنش بارش در مناطق سردسیر، اعمال آبیاری پاییزه منتج به سبزکامل پاییزه برای بهبود و تثبیت عملکرد گندم در شرایط دیم، مدیریت مناسبی به شمار می‌رود]٢، ٣، ٥، ١٢ و٢٣[، اگر چه برای مناطق با شرایط معتدل، تک آبیاری گندم در مرحلهٔ گلدهی بیشترین تأثیرات را به همراه دارد [٥].

بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان گفت که آبیاری تکمیلی ابزاری مناسب و راهکاری اقتصادی در تعدیل میزان تغییرات عملکرد محصول در طول سالهای مختلف به شمار می‌آید [٤ و ٥]، به طوری که ضریب تغییرات عملکرد دانهٔ گندم در شرایط دیم که در محدوده‌ای بین ٧٠ و ١٠٠ درصد در نوسان بود با اعمال آبیاری تکمیلی بهینه و تک آبیاری، به ٨ تا ١٠ درصد کاهش یافت [٢٧]. لذا با کاهش ریسک و خطر پذیری در زراعت دیم، امکان برنامه‌ریزی مطمئن و سودآور در سطح کلان و خرد و از جمله برای بهره برداران به وجود می‌آید.

مزیتهای نسبی به کارگیری مدیریت بهینه آبیاری تکمیلی شامل حصول "حداکثر سود به ازای واحد آب مصرفی"، "حداکثر تولید به ازای واحد آب مصرفی"، "افزایش سطح زیر کشت"، و "حداکثر استفاده از آب قابل دسترس" است و در شرایط خاص کشور ما که با مقدار و پراکنش نامناسب بارش و فراوانی نسبی زمین مواجه هستیم، به کارگیری و ترویج علمی و هوشمندانهٔ آبیاری تکمیلی بهینه همراه با حد بهینهٔ ازت و اعمال تمهیدات لازم در جهت ایجاد و بهره برداری سیستمهای استحصال آب از منابع مختلف (بند، سد، رودخانه، چاه، قنات، چشمه و...) اهمیت فوق العاده‌ای پیدا می‌کند. بر این اساس و با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود در طرحهای توسعهٔ منابع آب و سدسازی و در تدوین الگوی کشت، مدیریت تک‌آبیاری را لحاظ کنند زیرا با توجه به حد سودآوری تک‌آبیاری، این مقوله در ابعاد زراعی، تحلیل آماری و اقتصادی توجیه پذیر و مقرون به صرفه است و ضمن افزایش عملکرد، نقشی مؤثر در پایداری تولید و تأمین درآمد مطمئن ایفا می‌کند.

۷- قدردانی:

از راهنماییهای ارزشمند داوران و ویراستاران مقاله که در رفع نواقص و کاستیها مرا یاری فرمودند صمیمانه تقدیر و امتنان به عمل می‌آید.

۸- مراجع:

۱- بای بوردی، ا. ملکوتی، م. و اسلام زاده. م. ۱۳۸۰. نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و کاهش نسبت مولی اسید فیتیک به روی (Pa/Zn) در مزارع گندم میانه. مجله خاک و آب، ویژه نامه مصرف بهینه کود. جلد ۱۲. شمارهٔ ۱٤، ۱۰-۱٦.

۲- بلسون، و. ۱۳۷۸. بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و مقادیر مصرف ازت در افزایش عملکرد ارقام گندم دیم. مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی، شماره ۷۷/۷۸.

۳- توکلی، ع.۱۳۸۰. به گزینی مدیریت تک آبیاری در زراعت گندم دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی.موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. جلد ۲. شمارهٔ ۱۷، ٤۱-۵۰.

٤- توکلی، ع. بلسون، و. رضوی، ر. و فری. ف. ۱۳۸۲. بررسی عکس العمل گندم دیم نسبت به سطوح مختلف بیاری تکمیلی و نیتروژن. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم، شماره ۳۱۵/۸۲.

۵- توکلی، ع. بلسون و. و فری. ف. ۱۳۷۹. بررسی اثرات آبیاری تکمیلی روی ارقام پیشرفته گندم دیم، گزارش نهایی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، شماره ۷۹/۷۲۹.

٦- فرداد، ح. و گلکار. ح. ر. ۱۳۸۱. تحلیل اقتصادی کم آبیاری گندم در شرایط کرج. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۳. شمارهٔ ۲، ۳۰۵-۳۱۱.

۷- کاظمی اربط، ح. ۱۳۷٤. "زراعت خصوصی، جلد اول غلات. مرکز نشر دانشگاهی.

۸- کریمی، ه. ۱۳۷۱. گندم. مرکز نشر دانشگاهی.

۹- کوچکی، ع. ۱۳۷٦. (مترجم). به زراعی و به نژادی در زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۱۰- ملکوتی، م. نفیسی، م. متشرع زاده، ب. خاواری، ک. مسیح آبادی، م. ح. رضایی، ح. و بازرگان، ک. ۱۳۸۰. تولید و مصرف بهینه کود در کشور، گامی ارزنده به سوی امنیت غذایی و دستیابی به کشاورزی پایدار (یادداشت فنی). مجله خاک و آب، ویژه نامه مصرف بهینه کود. جلد ۱۲ ، شمارهٔ ۱٤، ۱-۷.

11- Adary, A., Hachum, A., Oweis, T. and Pala, M. 2002. Wheat productivity under supplemental irrigation in northern Iraq. ICARDA, Aleppo, Syria.

12- Caliandro, A. and Boari, F. 1992. Supplementary irrigation in arid and semi-arid regions. In: International Conference on Supplementary Irrigation and Drought Water Management. Vol. 1. Sep.27-Oct2. 1992. Bari. Italy.

13- Garabet, S., Wood, M. and Ryan, J. 1998. Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean type climate. Field Crop Research. 57, 309-318.

14- Harris, H. C. 1991. Implications of climatic variability. In: Harris, H. C., Cooper, P. J. M. and Pala, M. (Eds) Soil and Crop Management for Improved Water Use Efficiency in Rainfed Areas. Proceedings of an International Workshop. 1989. Ankara. Turkey. ICARDA. Aleppo. Syria. p. 352.

15- Harmsen, K., Shepherd, K. D. and Allan, A. Y. 1983. Crop response to nitrogen and phosphorus in rain fed agriculture. In: Nutrient balances and the need for fertilizers in semi arid and arid regions. International Potash Institute. Bern. Switzerland. PP. 223-248.

16- Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. 2003. Improving water productivity in agriculture; Editor's overview. In: Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. (Eds). Water productivity in agriculture, limits and opportunities for improvement. International Water Management Institute (IWMI). Colombo. Sri Lanka.

17- 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.

18- Mossedqe, F. and Smith, D. H. 1994. Timming nitrogen application to enhance spring wheat yield in a Mediterranean climate. Agron. J. 86, 221-226.

19- Musick, J. T. and Porter, K. B. 1990. Wheat. In: Steward, B. A. and Nielsen, D. R. (Eds). Irrigation of agricultural crops. Agronomy series No. 30. Madison. Wisconsin. American Society of Agronomy.

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

21- Oweis, T., and Hachum, A. 2003. Improving water productivity in the dry areas of west asia and north africa. In: Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. (Eds). Water productivity in agriculture, limits and opportunities for improvement. International Water Management Institute (IWMI). Colombo. Sri Lanka. pp. 179-198.

22- Oweis, T., Hachum, A. and Kijne, J. 1999. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. SWIM. Paper No.7, 38pp.

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

24- Oweis, T., Salkini, A. Zhang, H. Ilbeyi, A. Hustun, H. Dernek, Z. and Erdem, G. 2001. Supplemental irrigation potential for wheat in the central Anatolian plateau of Turkey. ICARDA.

25- Pala, M., Matar, A. and Mazid, A. 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.

26- Ramig, R. E. and Rhoades, H. F. 1963. Inter relationships of soil moisture level at planting and nitrogen fertilization on winter wheat production. Agron. J. 54, 123-127.

27- Salkini, A. and Ansell, D. 1992. Agro-economic impact of supplemental irrigation on rainfed wheat production under the Mediterranean environment of Syria. In: International Conference on Supplementary Irrigation and Drought Water Management. Vol. 1. Sep 27-Oct 2. 1992. Bari. Italy.

28- Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water - yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agric. Water Management, 38, 195-211.

29- Zhang, H., Oweis, T. Garabet, T. S. and Pala, M. 1998. Water use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rainfed conditions and supplemental irrigation in a Mediterranean type environment. Plant and Soil. 201, 295-305.

An Economic Evaluation of Supplemental Irrigation at Optimum Rate of Nitrogen on Wheat in Rainfed Condition

A. R. Tavakoli

In order to obtain the maximum benefit, yield increasing and its stability a supplemental irrigation field experiment was conducted as split plot arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications during 1999-2002 at Maragheh Agricultural Research Station of DARI. The treatments included four levels of irrigation (average of three years: 0, 95, 151 and 207 mm) as main plots and five N rates (0, 30, 60, 90 and 120 $kg.N.ha^{-1}$) as sub plots, was carried out on rainfed wheat variety (Sabalan). Data analysed by Partial Budgeting, Marginal Benefit - Cost Ratio (BBCR), different states of water and irrigation prices, income functions and senario analysis of water productivities. Optimal level of supplemental irrigation was 95 mm water use combined with 60 $kg.N.ha^{-1}$ resulted maximum water productivity (20.1 $kg.mm^{-1}$). In spite of 20% reduction of yield in this treatment, maximum net benefit was obtained along with probability of 180% cropping area increasing which can be led to 74% increasing in total production grain yield. Limit of benefitability for optimum level of supplemental irrigation was determined as 2857 $Rial.m^{-3}$.

Keywords: Net Benefit, Optimization, Partial Budgeting, Rainfed, Supplemental Irrigation, Water Productivity, Wheat.