تأثیر تغییرات کمی و کیفی آب آبیاری بر بهره وری آب در کشاورزی

مهدی اکبری[۱]، سید مجید میرلطیفی[۲] و سعید مرید[۲]

چکیده:

در کشور ما افزایش جمعیت و کمبود منابع آب در سال‌های اخیر، بخش کشاورزی کشور را با چالش‌های عمده‌ای در جهت تأمین نیاز غذایی مردم و نیل به خودکفایی روبرو ساخته است. به استناد آمار رسمی کشور، محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن عامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در ایران است. استفاده موثر از آب در بخش کشاورزی اصلی‌ترین راه بهبود مدیریت آب و کاهش مصرف آن خواهد بود. موضوعات مختلفی در استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب مورد بحث است، که می‌توان به مسئله مدیریت آب در مزرعه، افزایش کارآیی مصرف آب و سودمندی اقتصادی آب اشاره کرد. به منظور افزایش بهره‌وری آب، باید در شرایط مختلف کمی و کیفی آب، برای محصولات مختلف، دور و عمق بهینه آبیاری ارائه گردد. بدین منظور از دو روش عمده، شامل انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل‌های شبیه سازی بهره برداری می‌شود. در این پژوهش با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت و متغیر، قیمت محصول، کمیت و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری، محصولات مختلف و بهره‌گیری از تلفیق اطلاعات مزرعه‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی توابع تولید- آب کاربردی-شوری تعیین شد و عملکرد محصول، کارایی مصرف آب و بهره‌وری کشاورزی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری عمق بهینه آبیاری افزایش و اختلاف بین عمق بهینه آبیاری در شرایط محدودیت آب و زمین کاهش می‌یابد. روند تغییرات نسبت عملکرد محصول به آب آبیاری در محصولات مختلف متفاوت بوده و به توابع عملکرد- آب مصرفی در محصولات مختلف بستگی دارد. با افزایش شوری آب آبیاری در تمام مقادیر آب کاربردی به علت کاهش عملکرد محصول و در نتیجه کاهش درآمد خالص، سودمندی آب کاهش یافت. همچنین شاخص سودمندی اقتصادی آب با افزایش میزان آب کاربردی تا عمق بهینه در شوری‌های مختلف آب کاربردی افزایش و پس از آن دارای تغییرات ملایمی بود. سودمندی اقتصادی آب تا عمق بهینه آبیاری به علت بیشتر بودن شیب تابع درآمد خالص نسبت به هزینه افزایش یافت لیکن، با نزدیک شدن به عمق بهینه شیب این دو تابع برابر شده و در نتیجه شاخص مذکور تقریباً ثابت می‌شود. این نتایج نشان داد که در شرایط محدودیت آب محصول جو در مقایسه با گندم اقتصادی‌تر است لیکن، بطور کلی محصولات ذرت علوفه‌ای و یونجه در مقایسه با گندم از نظر اقتصادی ارجح هستند.

مقدمه:

هم اكنون بيشتر مناطق جهان با كمبود آب و مسايل جدي ناشي از فعاليت‌هاي كشاورزي روبرو شده است. شور و زهدار شدن زمين‌هاي كشاورزي، بيشتر پروژه‌هاي آبياري را با مشكل روبرو ساخته و توليد محصول را به شدت كاهش داده است. استفاده موثر از آب در بخش كشاورزي اصلي‌ترين راه بهبود مديريت آب و كاهش مصرف آن خواهد بود. موضوعات مختلفي در استفاده مطلوب و بهينه از منابع آب مورد بحث است، كه مي‌توان به مسئله مديريت آب در مزرعه، افزايش كارآيي مصرف آب و سودمندي اقتصادي آب[۳] اشاره كرد. به منظور افزايش كارايي مصرف آب بايد با در نظر گرفتن تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول، مديريت آبياري در مزرعه را بهبود بخشيد. بدين منظور از دو روش، شامل آزمايش‌هاي مزرعه‌اي يا مدل‌هاي شبيه سازي استفاده مي‌گردد.

در روش آزمايش‌هاي مزرعه‌اي براي تعيين تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري و برنامه ريزي آبياري لازم است آزمايش‌هايي با كميت و كيفيت‌هاي مختلف آب براي محصولات زراعي انجام گيرد. از اين رو به آزمايش‌هاي مزرعه‌اي متعددي نياز است. اما در اين روش محدوديت‌هاي متعددي از جمله محدود بودن منطقه و شرايط مورد آزمايش، كوتاه بودن مدت زمان انجام آزمايش، عدم امكان انجام سناريوهاي پيچيده مديريت آبياري و غيره وجود دارد. در چنين آزمايش‌هاي كوتاه مدت، نمي‌توان اثرات دراز مدت مديريت آبياري بر شوري كه از اهميت بالايي برخوردار است را بررسي

---

[۱] – عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی(Akbari_m43@yahoo.com)

[۲] – اعضای هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس

[۳] - Economic Water Productivity

نمود. روش دوم براي تعيين مديريت بهينه آبياري و تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول، استفاده از مدل‌هاي شبيه‌سازي است كه بعنوان يك ابزار مناسب با قابليت‌هاي مختلف براي ارزيابي و تعيين مديريت آبياري در سطوح مختلف (حوضه، شبكه آبياري و مزرعه) تدوين شده‌اند. اين مدل‌ها از بخش‌هاي مختلفي از جمله انتقال آب و املاح در خاك، مديريت آبياري و رشد محصول تشكيل شده‌اند و قادرند مؤلفه‌هاي مختلف مانند: تبخير، تعرق، نفوذ عمقي، رواناب سطحي، شوري آب خاك و عملكرد زراعي مورد انتظار را با دقت بالايي شبيه سازي نمايند. دقت مدل‌هاي شبيه سازي تا حد زيادي به دقت داده‌هاي مورد نياز ورودي بستگي دارد. در صورتي كه اين مدل‌ها به درستي واسنجي و صحت‌يابي شوند، بدون محدوديت‌هاي زماني و مكاني موجود در آزمايش‌هاي مزرعه‌اي و صرف هزينه و زمان زيادي مي‌توانند جهت ارزيابي سناريوهاي مديريت آبياري بكار گرفته شوند. همچنين از اين مدل‌ها مي‌توان براي بررسي اثرات دراز مدت تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول، شوري خاك، تبخير-تعرق، رواناب سطحي و نفوذ عمقي استفاده نمود (Droogers, 2000; Kite and Droogers, 2000).

جهت افزايش راندمان آبياري، يك شبكه آبياري در اسپانيا با قدمت ۵۰ ساله با استفاده از مدل‌هاي شبيه‌سازي ارزيابي گرديد(Isidoro et al., 2004). بدين منظور كليه منابع ورودي و خروجي‌آب شامل آب آبياري، بارندگي، زهكشي سطحي، رواناب سطحي، تلفات آبياري و تبخير-تعرق اندازه‌گيري يا برآورد شدند. سپس حداكثر آب مورد نياز گياهان موجود در شبكه آبياري بر اساس ضريب گياهي و تبخير-تعرق مرجع تعيين و تبخير-تعرق واقعي با استفاده از روش بيلان آب در خاك برآورد گرديد. نتايج نشان داد كه بطور متوسط ميزان تبخير-تعرق واقعي ۱۶ درصد كمتر از حداكثر تبخير-تعرق گياه بوده است.

در راستاي ارزيابي پروژه‌هاي آبياريPanigrahi و همكاران، (۲۰۰۳) بيلان آب در منطقه فعال ريشه را با استفاده از يك مدل شبيه سازي برآورد نمودند. محققين مذكور براي صحت‌يابي مدل شبيه‌سازي از داده‌هاي يك مزرعه آزمايشي در هند استفاده كردند. در آزمايش مزرعه‌اي مذكور ميزان رطوبت خاك در لايه‌هاي مختلف خاك با استفاده از دستگاه نوترون متر اندازه‌گيري شده بود. با استفاده از اطلاعات خاكشناسي، داده‌هاي زراعي و تاريخ‌هاي آبياري مزرعه آزمايشي بيلان آب در خاك شبيه‌سازي گرديد. ضريب همبستگي و ميزان خطاي نسبي بين مقادير رطوبت‌هاي اندازه‌گيري شده خاك و مقادير شبيه‌سازي شده به ترتيب ۰/۹۸ و ۰/۰۵۱ بدست آمد كه در حد مطلوبي است و استفاده از آن‌ها را توصيه نمودند (Panigrahi et al., 2003).

استفاده از مدل‌هاي شبيه‌سازي در طي دهه گذشته رونق تازه‌اي گرفت و مدل‌هاي متعددي جهت شبيه‌سازي جريان آب در خاك تدوين گرديد كه از آن جمله مي‌توان به مدل SWAP [۱] اشاره كرد(Van Dam et al., 1997). از اين مدل براي شبيه سازي جريان آب در خاك، انتقال املاح و رشد محصول استفاده مي‌شود. مدلSWAP در مقياس‌هاي مختلف، براي برآورد كيفيت و كميت آب در خاك، زمان آبياري، توليد محصول نسبي مورد استفاده قرار مي‌گيرد(Droogers et al., 2000b). اين مدل در سال هاي اخير مورد توجه زيادي قرار گرفته و در مزارع چندين شبكه آبياري در سطح جهان از جمله پاكستان، هند، مالزي، مكزيك، سري‌لانكا، مصر،تركيه و ايران، صحت يابي و براي بهبود مديريت آبياري از آن استفاده شده و نتايج رضايت بخشي داشته است. همچنين مؤسسه بين المللي مديريت آبياري[2] اين مدل را به عنوان يك مدل توانا براي ارزيابي مديريت آبياري در مقياس‌هاي مختلف معرفي نموده و از آن در ارزيابي مديريت آب در كشورهاي مختلف استفاده نموده‌اند(Ahmad, 2002; Bastiaanssen et al., 1996; Droogers et al., 2001; Droogers et al., 2000a; Sarwar et al., 2001).

در مطالعات زيادي از نتايج شبيه‌سازي بيلان آب در خاك و رشد محصول جهت تعيين سودمندي آب در سطوح مختلف حوضه و شبكه‌هاي آبياري استفاده شده است كه از آن جمله مي‌توان به تحقيقات Droogersوkite ، (۲۰۰۱) اشاره كرد. در اين مطالعه از مدل SWAP در سه سطح مزرعه، شبكه آبياري و حوضه براي تعيين و شبيه‌سازي اجزاء معادله بيلان آب و محاسبه سودمندي آب استفاده

---

[۱]- Soil Water Atmosphere Plant

[2] - IWMI, International Water Management Institute

گرديد. نتايج نشان داد كه مقدار شاخص PWirrigated (نسبت عملكرد محصول به ميزان آب آبياري) در سطح شبكه به علت وجود اراضي بدون آبياري بيشتر از مقدار همين شاخص در سطح مزرعه بود. سودمندي آب در سطح حوضه به علت پايين بودن سودمندي آب در بخش قابل ملاحظه‌اي از حوضه كمتر از سطح شبكه آبياري بدست آمد (Droogers and kite, 2001).
مقادير سودمندي آب براي محصولات زراعي در سطح جهان بسيار متفاوت است. به عنوان مثال سودمندي آب براي برنج در هند و فيليپين به ترتيب۰/۵ تا ۱/۱ و ۱/٤ تا ۱/٦(Bouman and Tuong, 2001)، ذرت در چين ۱/۵ (Kang et al., 2000)، ذرت در هند ۱/۵ (Mishra et al., 2001)، گندم در امريكا ۰/٦ تا ۱/۹ (Musick and Porter,1990)، سيب زميني در امريكا ٦/۲ تا ۱۱/٦ و بطور متوسط ۷/۵ (Wright and Stark,1990) و براي گياهان علوفه‌اي ۷ تا ۸ (Saeed and Nadi,1998) كيلوگرم بر متر مكعب گزارش شده است.
هدف اصلي پژوهش حاضر بررسي اثرات دراز مدت تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول، بهره‌وري آب و برآورد عملكرد و سودمندي آب در شرايط مختلف مديريت آبياري در سطح مزارع شبكه سمت راست آبشار اصفهان و ارائه راهكارهايي به منظور بهبود سودمندي آب در آينده است. از نتايج جنبي اين پژوهش ميتوان به بررسي وضعيت موجود مديريت آبياري و تعيين سودمندي آب براي وضعيت فعلي و سناريوهاي مختلف كمي و كيفي آب آبياري اشاره كرد. در اين تحقيق با توجه به محاسن اشاره شده در مورد مدل‌هاي شبيه‌سازي و محدوديت‌هاي موجود در روش آزمايش‌هاي مزرعه‌اي و به منظور دستيابي به اهداف فوق الذكر از مدل شبيه‌سازيSWAP استفاده شده است.

مواد و روش:
شبكه آبياري آبشار سمت راست در طول جغرافيائي ۵۲ و عرض جغرافيائي ۳۲/۵ درجه در شرق اصفهان در قسمت مركزي ايران با ارتفاع تقريبي ۱۵۰۰ متر واقع شده است . اين منطقه از نظر اقليمي ، خشك با طيف درجه حرارت از ۳۰ درجه سانتيگراد در تابستان تا ۳ درجه سانتيگراد در زمستان و متوسط بارش سالانه‌آن ۱۲۰ ميليمتر است .خاك منطقه از لايه‌هاي آبرفتي و ريزدانه تشكيل شده است. سطح كل زير پوشش شبكه آبياري حدود ۲۰۰۰۰ هكتار و محصولات اصلي آن گندم، جو، برنج ، يونجه ، ذرت علوفه‌اي ، چغندرقند و صيفي است.

- بررسي اطلاعات موجود و اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي

با توجه به متفاوت بودن مديريت آبياري درشرايط مختلف محصول، شوري و نوع خاك، با بررسي نقشه‌هاي طبقه بندي خاك، قابليت آبياري، شوري و قليائيت خاك، مناطق همگني تعيين گرديد. براي اين مناطق همگن انتخاب شده، مشخصات(بافت خاك ، وزن مخصوص ظاهري و درصد گچ) پروفيل شاهد هر منطقه كه توسط مطالعات خاكشناسي منطقه تعيين شده بود(بي‌نام،۱۳۷۵) جمع‌آوري شد. سپس به كمك توابع انتقالي خاك در شرق اصفهان(فرخيان و همايي، ۱۳۸۲)، خصوصيات هيدروليكي مناطق همگن برآوردگرديد.
براي تأمين اطلاعات هواشناسي شامل تشعشعات خورشيدي، بارندگي، درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداكثر، رطوبت نسبي و سرعت باد در ارتفاع دو متري، از اطلاعات روزانه ايستگاه هواشناسي كبوترآباد براي يك دوره ۱۰ ساله(۷۲-۱۳۷۱ تا ۸۱-۱۳۸۰) استفاده شد.
به منظور تهيه اطلاعات زراعي مورد نياز مدل، در طول فصل رشد، ميزان و شوري آب آبياري، عمق توسعه ريشه، وضعيت ظاهري مزرعه از نظر شوري و تنش آبي و ارتفاع گياه در دو تا سه نوبت در مزارع مختلف مناطق همگن، اندازه‌گيري و يادداشت برداري و در انتهاي فصل رشد، تاريخ برداشت و ميزان عملكرد محصول اندازه‌گيري شد. اگر چه تاريخ دقيق همه آبياري‌ها مشخص نبود، ولي با توجه به توزيع گردشي آب بين حقابه‌داران، تاريخ نوبت‌هاي آبياري تعيين گرديد. براي اندازه‌گيري جريان ورودي آب به مزارع از فلوم نوع WSC واسنجي شده استفاده شد. در هر نوبت آبياري، مدت زمان آبياري، مساحت كرت و ميزان آب ورودي به مزرعه اندازه‌گيري و عمق آب آبياري تعيين گرديد. براي تعيين شوري آب آبياري از دستگاه EC متر قابل حمل استفاده گرديد. عمق توسعه ريشه با حفر گودال و اندازه گيري به وسيله خط كش انجام شد.

- تحليل حساسيت، واسنجي و صحت‌يابي مدل

با توجه به اينكه براي استفاده از هر مدل تحليل حساسيت، واسنجي و صحت‌يابي آن ضروري است. در اين تحقيق براي انجام اين مراحل در مدل SWAP محصول گندم انتخاب و از بخش‌هاي مربوط به رشد محصول و انتقال آب و املاح، مدل استفاده شد. به منظور تحليل حساسيت مدل، ساير داده‌هاي زراعي مورد نياز به كمك تحقيقات انجام شده و اطلاعات موجود در منابع علمي جمع آوري گرديد. سپس با استفاده از اطلاعات زراعي، اطلاعات خاكشناسي و هواشناسي فوق‌الذكر، تحليل حساسيت مدل به روش پيشنهادي لين وهمكاران (Lane et al., 1990) انجام و پارامترهاي حساس مدل تعيين شدند.

واسنجي مدل‌ها با استفاده از داده‌هاي دقيق مزرعه‌اي از جمله عملكرد محصول و ميزان رطوبت در لايه‌هاي خاك انجام مي‌شود. در اين پژوهش واسنجي مدلSWAP در محصول گندم و چغندرقند كه داده‌هاي دقيق مزرعه‌اي قابل دسترس بودند انجام گرفت. واسنجي مدل در محصول گندم با استفاده از داده‌هاي سال زراعي۸۱-۱۳۸۰ يك مزرعه آزمايشي گندم و داده‌هاي سال زراعي۷۷-۱۳۷٦ يك مزرعه آزمايشي چغندرقند در ايستگاه تحقيقاتي كبوترآباد شامل تاريخ‌هاي آبياري، ميزان شوري آب آبياري، ارتفاع بوته، و تاريخ برداشت محصول انجام شد. به عنوان مثال در مزرعه آزمايشي گندم دور آبياري در چهار تيمار، بعد از ٥٠ ، ٦٥، ٨٠ و ٩٠ ميليمتر تبخيرتجمعي از طشتك كلاس A انجام شده بود و در هر نوبت آبياري به اندازه ميزان تبخير تجمعي از طشتك در آن تيمار آبياري انجام گرفته است. با استفاده از اطلاعات اين مزرعه آزمايشي داده‌هاي ورودي مورد نياز تهيه و واسنجي مدل SWAP مطابق با مراحل زير انجام گرديد:

اجراء مدل براي تيمارهاي فوق الذكر و تعيين عملكرد شبيه‌سازي شده در تيمارهاي مختلف مزرعه آزمايشي

مقايسه عملكرد واقعي با عملكرد شبيه سازي شده در تيمارهاي مختلف

در صورت عدم تطابق عملكرد شبيه‌سازي شده با عملكرد واقعي، با تغيير دادن ضريب حساسيت گياه به عملكرد محصول(Ky) در طول دوره رشد مراحل فوق الذكر تكرار گرديد تا نتايج عملكرد شبيه سازي شده بر عملكرد واقعي با دقت قابل قبولي منطبق گردد.

به منظور صحت‌يابي مدل، با استفاده از اطلاعات اندازه‌گيري شده و ساير داده‌هاي مورد نيازفوق الذكر ، عملكرد محصول در شرايط مختلف مديريتي(تاريخ آبياري، عمق وشوري آب آبياري) در مناطق همگن شبيه سازي و با عملكرد واقعي مقايسه شد.

-تغييرات كمي و كيفي آب آبياري

براي تعيين تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول از مدل SWAP پس از واسنجي و صحت‌يابي استفاده شد. بدين منظور عمق هر نوبت آبياري بر اساس اندازه‌گيرهاي مزرعه‌اي برابر با ۱۰۰ ميليمترمنظور گرديد. جهت امكان تجزيه و تحليل توابع توليد در شرايط مختلف كيفي آب سطوح مختلف شوري‌هاي آب آبياري شامل ۰، ۱، ۲، ٤، ٦، ۸ و ۱۰ دسي زيمنس بر متر انتخاب شد. سپس بر اساس معيار نسبت تعرق واقعي به تعرق پتانسيل در طيف ۰/۲ تا ۰/۹۹ ، مقادير مختلف آب كاربردي و عملكرد محصول متناظر با آن به مدت ده سال شبيه‌سازي گرديد. بديهي است كه در شرايط مختلف كمي و كيفي آب آبياري عملكرد محصولات مختلف تابعي از ميزان آب كاربردي و شوري آن مي‌باشند. لذا توابع عملكرد- آب مصرفي براي محصولات و شوري‌هاي مختلف از برازش معادله زير بر نتايج شبيه‌سازي عملكرد محصول در كيفيت و كميت‌هاي مختلف آب كاربردي بدست آمد.

$$Y = a + bEc + cIrr + dEc^{2} + eIrr^{2} + fEc.Irr \qquad (۱)$$

كه در آن:

Y= عملكرد محصول (كيلوگرم برهكتار).

Ec =شوري آب آبياري (دسي زيمنس بر متر).

Irr= ميزان آب كاربردي (ميليمتر).

a،b، c، d، e و f ضرايب معادله مي‌باشند كه از برازش معادله بر نتايج بدست مي‌آيند.

بديهي است كه با ثابت در نظر گرفتن شوري آب آبياري معادله(۱) تبديل به معادله درجه دوم از ميزان آب كاربردي مي‌شود. با فرض خطي بودن تابع هزينه خواهيم داشت:

$$Y(w) = a_1 + b_1 W + c_1 W^2 \quad (۲)$$

$$C(w) = a_2 + b_2 W \quad (۳)$$

كه در آن:

Y(w) = تابع توليد- آب كاربردي(كيلوگرم بر هكتار- ميليمتر).

C(w) = تابع هزينه - ميزان آب كاربردي (ريال يا دلار بر هكتار- ميليمتر).

b2, a2, c1, b1, a1 ضرايب ثابت هستند كه بر اساس نوع محصول، آب مصرفي و درآمد و هزينه‌ها، تعيين شدند. با حل معادلات فوق براي ميزان آب كاربردي عمق بهينه آبياري براي شرايط محدوديت زمين و محدوديت آب به ترتيب از معادلات (٤) و (٥) تعيين گرديد كه در تجزيه و تحليل سناريوها و مقايسه شرايط موجود مورد استفاده قرار مي‌گيرد.

$$W_1 = \frac{b_2 - P_c b_1}{2 P_c c_1} \quad (٤)$$

$$W_w = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c c_1}\right)^{0.5} \quad (٥)$$

كه در معادلات فوق:

W_1 = عمق بهينه آب آبياري در شرايط محدوديت زمين(ميليمتر).

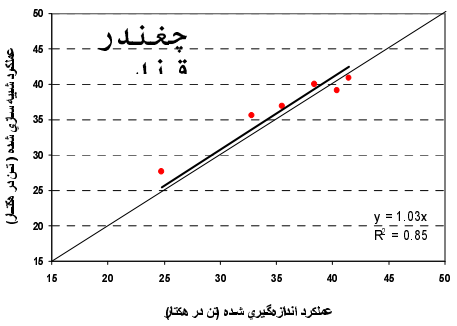
Ww = عمق بهينه آب آبياري در شرايط محدوديت آب (ميليمتر).

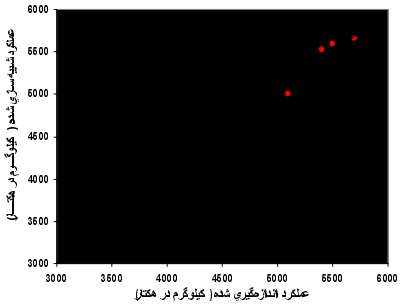
P_c = قيمت محصول (ريال بر كيلوگرم).

نتايج و بحث:

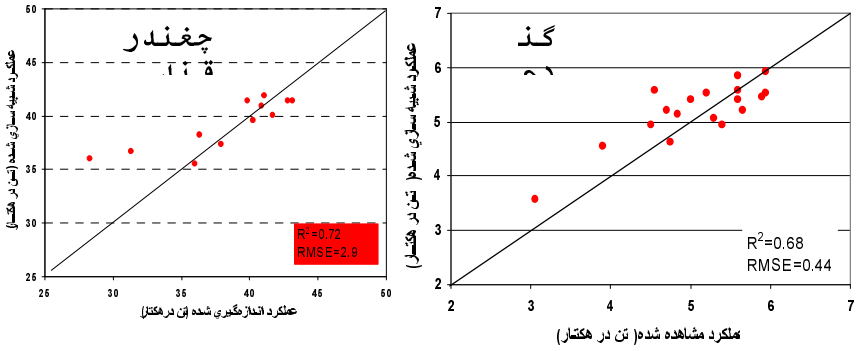
با توجه به اينكه قبل از استفاده از هر مدل تحليل حساسيت، واسنجي و صحت‌يابي آن ضروري است. لذا با اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي و بررسي اطلاعات موجود، داده‌هاي مورد نياز مدل به منظور تحليل حساسيت جمع آوري گرديد و با استفاده از اطلاعات زراعي، اطلاعات خاكشناسي و هواشناسي سال زراعي ۸۱-۱۳۸۰ ، تحليل حساسيت مدل به روش پيشنهادي لين و همكاران (Lane et al., 1990) انجام و پارامترهاي حساس مدل تعيين شدند. براساس نتايج بدست آمده، كليه داده‌هاي هواشناسي، مشخصات هيدروليكي لايه‌هاي سطحي خاك، شاخص سطح برگ و ميزان آب آبياري از حساسيت با درجه متوسط و ساير پارامترهاي ورودي از حساسيت كم برخوردار شدند. از ميان پارامترهاي با حساسيت متوسط، تشعشع روزانه خورشيدي حساس‌ترين پارامتر اقليمي و ميزان آب آبياري و شاخص سطح برگ به ترتيب حساس‌ترين پارامترهاي زراعي بودند.

پس از تعيين پارامترهاي حساس، بايد نتايج شبيه‌سازي مدل واسنجي و صحت‌يابي گردد لذا با اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي و بررسي اطلاعات موجود، داده‌هاي مورد نياز مدل در شرايط مختلف مديريت آبياري مزارع در منطقه همگن جمع‌آوري و واسنجي و صحت‌يابي مدل به شرح ارائه شده در بخش مواد و روشها انجام گرديد. نتايج واسنجي و صحت يابي مدل براي محصولات گندم و چغندرقند به ترتيب در شكل‌هاي شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است.





شکل ۱– نتایج واسنجي مدل SWAP در محصولات گندم و چغندرقند



شكل ٢– نتايج صحت‌يابي مدل SWAP در محصولات گندم و چغندرقند

نتايج حاصل از واسنجي مدل SWAP در محصول گندم و چغندرقند (شكل ١) حاكي از آن است كه اين مدل شبيه سازي عملكرد محصول را با دقت قابل قبولي شبيه سازي مي‌نمايد.
شكل(٢) نشان مي‌دهد كه ضريب همبستگي مقادير واقعي و برآورد شده براي محصول گندم توسط مدل ٦٨ درصد و ريشه ميانگين مربعات خطاها ٠/٤٤ تن در هكتار مي‌باشد. همچنين شاخص ميانگين خطاي مطلق و انحراف مدل مبين آن است كه مدل باخطاي ٣٧٨ و انحراف ١١٣ كيلوگرم برهكتار عملكرد محصول گندم را برآورد نموده و از دقت قابل قبولي برخوردار است. نتايج صحت‌يابي مدل در محصول چغندرقند (شكل ٢) نشان داد كه مدل در اين خصوص نيز از دقت نسبتاً خوبي برخوردار مي‌باشد و عملكرد محصول را با دقت ٢ و انحراف ٠/٩٣ تن در هكتار برآورد نموده و از ضريب همبستگي نسبتاً بالايي برخوردار است. بديهي است كه عملكرد محصول به عوامل مختلفي از جمله ميزان كود، آفات و امراض، علف‌هاي هرز و مديريت آبياري بستگي دارد. ولي در شبيه سازي انجام شده از اين محدوديت‌ها صرف نظر شده است.

-تأثيرتغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول

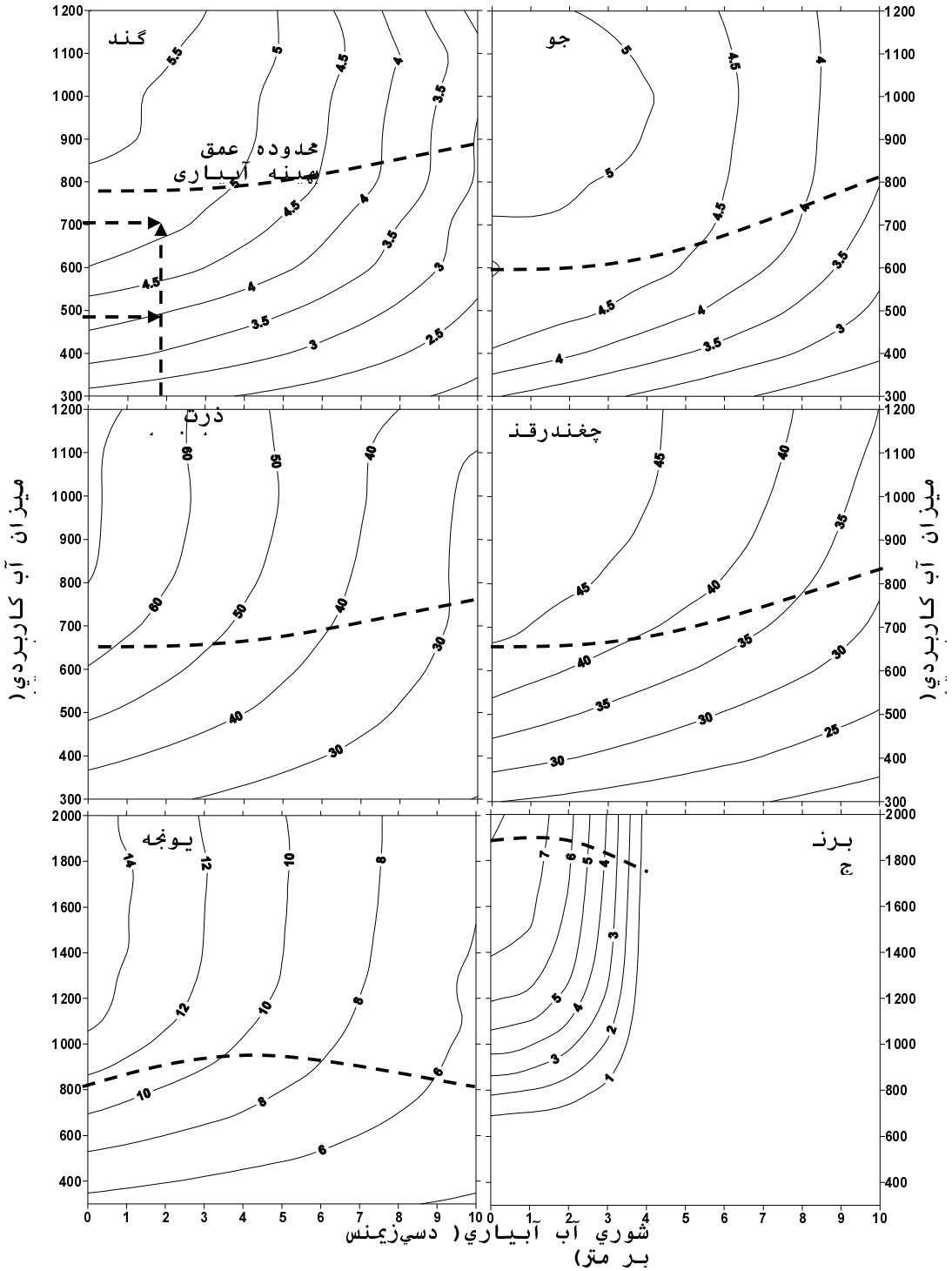
پس از واسنجي و صحت‌يابي مدل شبيه‌سازي، تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول به شرح ارائه شده در بخش مواد و روش انجام گرديد و توابع عملكرد- آب مصرفي براي محصولات و شوري‌هاي مختلف از برازش معادله (١) بر نتايج شبيه‌سازي عملكرد محصول در كيفيت و كميت‌هاي مختلف آب كاربردي بدست آمد. ضرايب اين معادله از برازش آن بر نتايج شبيه‌سازي شده عملكرد محصولات مختلف به كمك نرم افزار SPSS تعيين و نتايج در جدول (١) نشان داده شد.

جدول (١): ضرايب توابع توليد- آب مصرفي(معادله١) در محصولات مختلف.

محصول	a	b	c	d	e	f	R2
گندم	٦١٥	٠/١٧١	٩/٣	-٩/٢	-٠/٠٠٤	-٠/١٨١	٠/٨٩
جو	١٣٧٧	-٩٤/٣	٩/٠١	-٦	-٠/٠٠٥	-٠/٠٤٦	٠/٩١
ذرت‌علوفه‌اي	٩٨٢٥	-١٥٠٩	١٠٧	٦٦/٣	-٠/٠٤٥	-٣/٧٢	٠/٩١
چغندر قند	٦٠٢٢	-٤٨٥	٨٠/٩	-٦١/٤	-٠/٠٣٨	-٠/٤٠٨	٠/٩١
يونجه	١٥٤٣	-١٧٧	١٥/٣	١٧/٣	-٠/٠٠٤	-٠/٧٠٢	٠/٩٨
برنج	-٦٦٣٩	-١٣٠	١٤/١	٩٩/٣	-٠/٠٠٣	-١/٢٩	٠/٨٢

بديهي است كه عملكرد محصول متأثر از تغييرات كمي و كيفي آب آبياري و اثرات متقابل آنها مي‌باشد. شكل (٣) بيانگر تأثير درازمدت (ده ساله) تغييرات ميزان آب كاربردي با كميت و كيفيت‌هاي مختلف بر عملكرد محصولات مختلف است. همچنين عمق بهينه آبياري در شرايط محدوديت آب به

كمك ضرايب توابع توليد و هزينه ـ آب مصرفي و بهرهگيري از رابطه(۵) براي محصولات و شوري‌هاي مختلف محاسبه و در شكل (۳) نشان داده شده است.



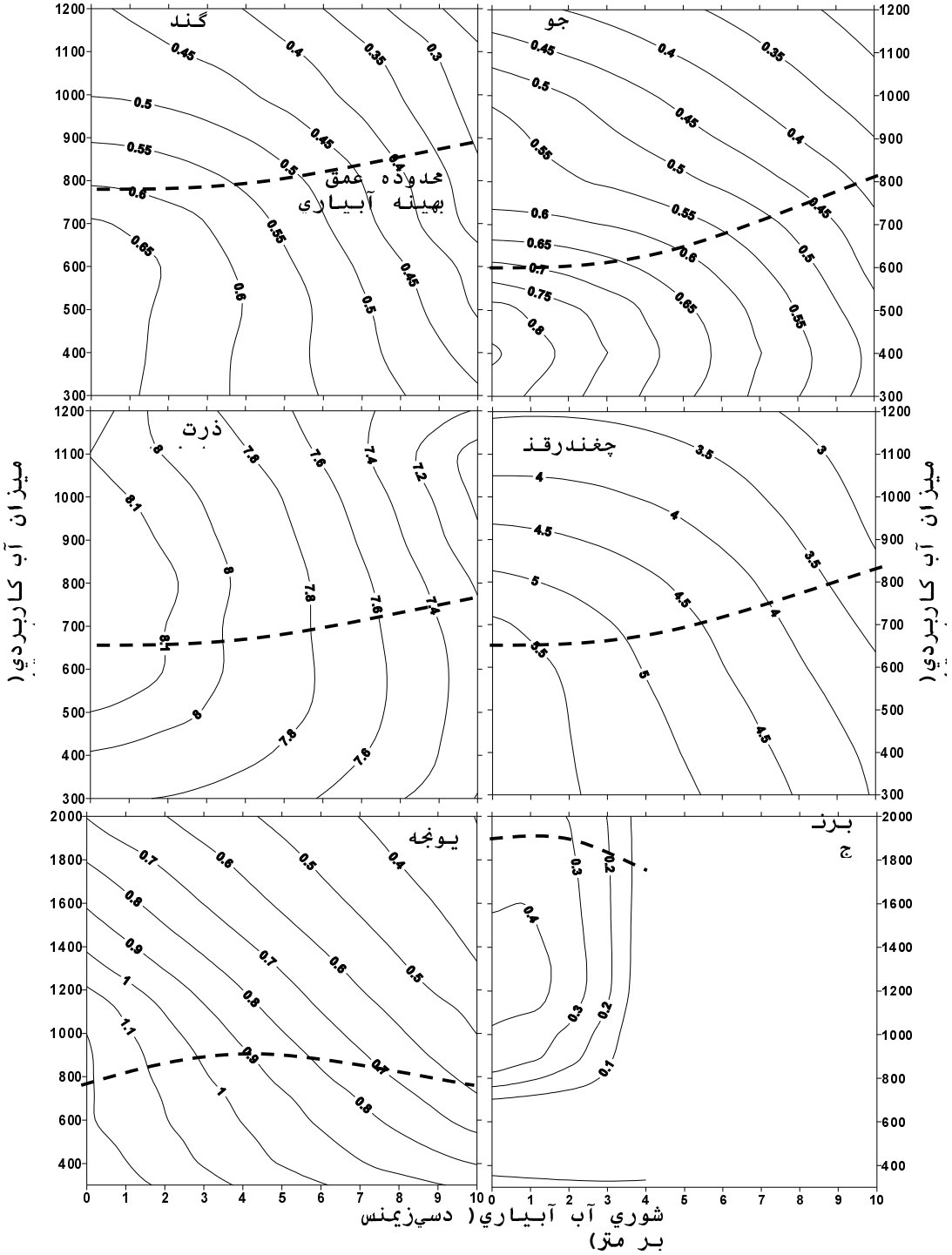
شكل(۳): تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر عملكرد محصول(تن در هكتار)در سال دهم.

حداكثر عملكرد محصولات مختلف در مقادير متفاوت شوري آب آبياري از شكل (۳) قابل استخراج است. به عنوان مثال حداكثر عملكرد محصول گندم با شوري آب آبياري برابر ۵ دسي‌زيمنس بر متر ۵ تن در هكتار مي‌باشد. در همين سطح شوري آب آبياري با افزايش آب كاربردي

از ٤٠٠ تا حدود ٧٠٠ ميليمتر عملكرد محصول شديداً افزايش مي‌يابد در صورتي كه اين روند بين ٧٠٠ تا ٩٠٠ و بيش از ٩٠٠ ميليمتر به ترتيب ملايم و ناچيز است.
اين نتايج حاكي از آن است كه اگر به علل مختلف از جمله كمبود منابع آب و استفاده از منابع آب با كيفيت پايين شوري آب آبياري افزايش يابد، براي رسيدن به همان عملكرد قبلي بايد ميزان آب كاربردي بيشتري استفاده نمود. به عنوان مثال با ميزان ٦٥٠ ميليمتر آب كاربردي با شوري ١ دسي‌زيمنس بر متر در محصول گندم، عملكرد ٥ تن در هكتارحاصل مي‌گردد در صورتي كه براي رسيدن به همين عملكرد با شوري ٤ دسي‌زيمنس بر متر به ٨٥٠ ميليمتر آب آبياري نياز است.
از شكل (٣) جهت برآورد عملكرد محصول در شرايط مختلف كمي و كيفي آب آبياري و تجزيه و تحليل سناريوهاي مختلف استفاده مي‌گردد. به عنوان مثال اگر يك زارع براي آبياري محصول گندم از ٧٠٠ ميليمتر آب با كيفيت ٢ دسي زيمنس بر متر استفاده نمايد عملكرد مورد انتظار، ٥ تن در هكتار خواهد بود. در صورتي كه همين زارع به علت مواجه شدن با كمبود آب به ٥٠٠ ميليمتر آب كاربردي با همان كيفيت دست يابد، عملكرد محصول به ٤ تن در هكتار كاهش خواهد يافت.

- تأثيرتغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر سودمندي آب

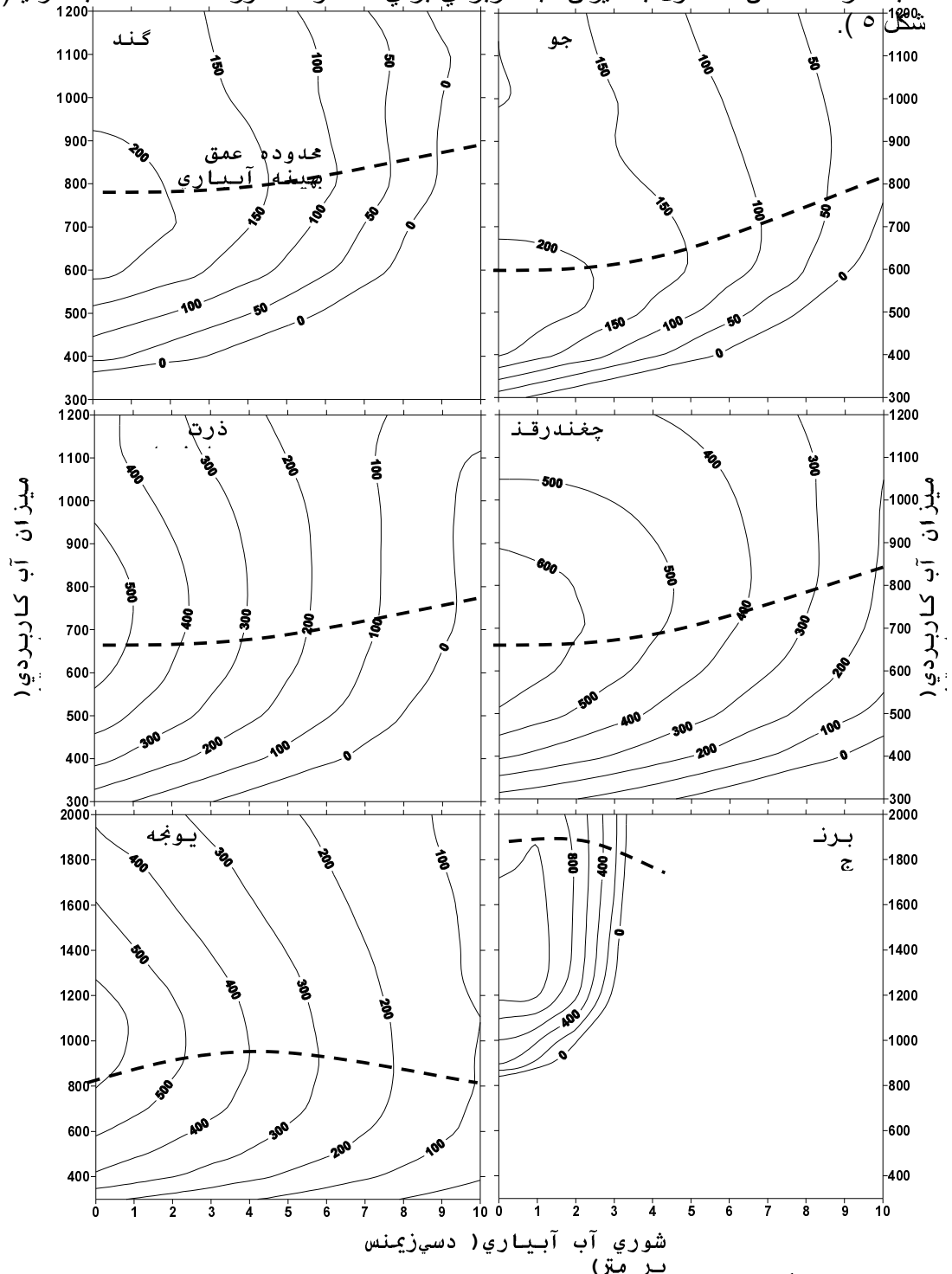
نسبت عملكرد محصول به آب آبياري در كيفيت و كميت‌هاي آب در محصولات مختلف در شكل(٤) نشان داده شده است. روند تغييرات نسبت عملكرد محصول به آب آبياري در محصولات مختلف متفاوت مي‌باشد و به توابع عملكرد- آب مصرفي در محصولات مختلف بستگي دارد. اين نتايج بيانگر آن است كه با افزايش ميزان آب آبياري تا عمق بهينه آن، تغييرات نسبت عملكرد محصول به آب مصرفي جزئي است. به عنوان مثال در محصول گندم با افزايش ميزان آب كاربردي با كيفيت ١ دسي زيمنس بر متر از ٣٠٠ تا حدود٧٠٠ ميليمتر(افزايش ٤٠٠ ميليمتر آب آبياري) تغييرات نسبت عملكرد به آب آبياري ناچيز است. اين نتيجه نشان مي‌دهد كه شيب افزايش عملكرد محصول و آب آبياري يكسان است. در صورتي كه با افزايش ميزان آب كاربردي از ٧٠٠ به ١١٠٠ ميليمتر (افزايش ٤٠٠ ميليمتر) با همين كيفيت آب كاربردي نسبت عملكرد به آب آبياري (حدود ٠/٢ كيلوگرم بر متر مكعب)كاهش مي‌يابد و بيانگر آن است كه شيب افزايش ميزان آب آبياري بيشتر از افزايش عملكرد محصول است.
حداكثر مقدار نسبت عملكرد به آب آبياري در كيفيت‌هاي مختلف آب را مي‌توان از شكل (٤) استخراج نمود. به عنوان مثال حداكثر مقدار اين نسبت براي محصول گندم و كيفيت آب آبياري ١ دسي زيمنس بر متر، حدود ٠/٦٥ كيلوگرم بر متر مكعب است. در صورتي كه حداكثر مقدار نسبت مذكور براي آب آبياري با كيفيت ٤ دسي زيمنس بر متر به علت كاهش عملكرد محصول در اثر شوري آب آبياري، كمتر از ٠/٦ كيلوگرم بر متر مكعب آب مي‌باشد. در تمام مقادير آب كاربردي با افزايش شوري آب آبياري نسبت عملكرد به آب آبياري كاهش مي‌يابد.



شكل(٤): تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر نسبت عملكرد به آب آبياري (كيلوگرم بر متر مكعب)در سال دهم.

با توجه به متفاوت بودن نسبت عملكرد محصول به آب آبياري در محصولات تر و خشك، جهت امكان مقايسه واقع بينانه سودمندي آب در محصولات مختلف، شاخص سودمندي اقتصادي آب بر اساس

نسبت درآمد خالص محصول به ميزان آب كاربردي براي محصولات مورد مطالعه محاسبه گرديد(شكل ٥).



شكل(٥): تأثير تغييرات كمي و كيفي آب آبياري بر شاخص سودمندي اقتصادي آب(ريال بر متر مكعب) بر اساس ميزان آب كاربردي محصولات مختلف در سال دهم.

با افزايش شوري آب آبياري در تمام مقادير آب كاربردي به علت كاهش عملكرد محصول و در نتيجه كاهش درآمد خالص، سودمندي اقتصادي آب كاهش يافت. درآمد خالص به ازاء ميزان آب كاربردي در كميت و كيفيت‌هاي مختلف از شكل (٥) تعيين مي‌شود. به عنوان مثال درآمد خالص حاصل از

كاربرد ۷۰۰ ميليمتر آب آبياري با كيفيت ۲ دسي زيمنس بر متر ۱٤۰۰۰۰۰ ريال (۲۰۰*۱۰*۷۰۰) مي‌باشد. همچنين حداكثر سودمندي اقتصادي آب در كيفيت‌هاي مختلف از شكل(٥) قابل استخراج است. به عنوان مثال حداكثر سودمندي اقتصادي آب با كيفيت ۲ دسي زيمنس در محصول گندم ۲۰۰ ريال بر مترمكعب مي‌باشد كه از كاربرد ۷۰۰ ميليمتر آب آبياري بدست مي‌آيد.
با استفاده از مقايسه شاخص سودمندي اقتصادي آب در محصولات مختلف مي‌توان محصول اقتصادي را تعيين نمود. به عنوان مثال اگر زارعي ٥۰۰ ميليمتر آب آبياري با كيفيت ۳ دسي زيمنس براي كاشت گندم و جو در اختيار داشته باشد از نظر اقتصادي كدام محصول مقرون به صرفه است؟ بر اساس شكل(٥) شاخص سودمندي اقتصادي آب در شرايط مذكور براي محصولات گندم و جو به ترتيب۷٥ و ۱٥۰ ريال بر متر مكعب است بنابر اين در شرايط فوق كاشت محصول جو ارجح است. محاسبات انجام شده دلالت بر آن دارد كه با مديريت موجود آبياري (انجام آبياري با عمق۱۰۰ ميليمتر در هر نوبت) ميزان آب كاربردي كمتر از حدود ۳٥۰ ميليمتر در محصول گندم، بدون توجه به شوري آب كاربردي اقتصادي نمي‌باشد. تلفات آب آبياري در ابتداي فصل رشد و پايين بودن قيمت محصول از علل اصلي اقصادي نبودن كاشت اين محصول است.

- شرايط فعلي مديريت آبياري

براساس اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي در سال زراعي ۸۱-۱۳۸۰، متوسط ميزان آب مصرفي توسط كشاورزان و تاريخ‌هاي آبياري براي محصولات مختلف تعيين و با استفاده از مدل شبيه سازي SWAP اجزاء بيلان آب برآورد گرديد. نتايج در جدول (۲) نشان داده شده است. براي محصول برنج با توجه به متفاوت بودن روش آبياري زارع و روش مورد استفاده در مدل شبيه‌سازي انجام نشد.
باتوجه به نتايج اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي، ميزان آب كاربردي توسط زارعين در نوبت اول حدود ۲۰۰ ميليمتر و در ساير نوبت هاي آبياري ۱۰۰ ميليمتر مي‌باشد. به عنوان مثال محصول گندم بطور متوسط در ۷ نوبت آبياري مي‌شود و متوسط ميزان آب كاربردي ۸۰۰ ميليمتر مي‌باشد. نفوذ عمقي حاصل از اين ميزان آب كاربردي نشان داد كه مقدار آبياري در ابتداي دوره رشد گياه بيش از اندازه بوده و قسمت اعظم آب آبياري بصورت نفوذ عمقي از منطقه ريشه گياه خارج مي‌شود. آبياري زماني از كارآيي بالايي برخوردار است كه در زمان مناسب و به اندازه مورد نياز انجام شود. نتايج ارزيابي تقويم آبياري در محصولات مختلف دلالت بر آن دارد (جدول ۲) كه زمان انجام آبياري در محصول گندم و جو مناسب نبوده و با انجام آبياري در زمان مناسب (تقويم پيشنهادي مدل) عملكرد محصول به مقدار قابل ملاحظه‌اي (۱٥ درصد) افزايش مي‌يابد. بنابر اين كاربرد عمق بهينه آبياري، اصلاح تقويم آبياري و بهبود مديريت زراعي از راهكارهاي بهبود مديريت آبياري مي‌باشند.

جدول(۲): متوسط مقادير آب كاربردي توسط كشاورزان و برآورد اجزاء بيلان آب توسط مدل SWAP در دو حالت شامل شرايط موجود و اعمال تقويم مناسب آبياري

نوع محصول	شرايط موجود								توزيع مناسب آب كاربردي		
	ميزان آب كاربردي كشاورزان(mm)	تعداد نوبت‌هاي آبياري	بارندگي(mm)	متوسط عملكرد محصول(Ton/ha)	نسبت عملكرد به آب كاربردي(Kg/m3)	تبخير-تعرق واقعي(mm)	نفوذ عمقي(mm)	راندمان آبياري(درصد)	نفوذ عمقي(mm)	كاهش نفوذ عمقي(درصد)	افزايش عملكرد(درصد)
گندم	۸۰۰	۷	۱۳۰	۵/۰۸	۰/۵۵	۵۷۶	۳۰۸	۶۲	۲۶۰	۵	۱۵
جو	۷۰۰	۶	۱۳۰	۴/۴۷	۰/۵۴	۴۹۰	۲۸۴	۵۹	۱۷۹	۱۲	۱۶
ذرت علوفه‌اي	۹۰۰	۸	۰	۵۱/۰۴	۵/۶۷	۶۰۳	۲۲۷	۶۷	۲۲۷	۴	۲
چغندرقند	۱۱۰۰	۱۰	۴۰	۳۸/۲۸	۳/۳۶	۷۰۸	۳۴۷	۶۲	۳۱۴	۲	۲
يونجه	۱۴۰۰	۱۴	۱۳۰	۱۰/۸	۰/۷۱	۹۵۶	۵۷۰	۶۲	۵۶۹	۰	۱
برنج	۱۷۰۰۰	۲۵	-								

توصيه و پيشنهادات:

باتوجه به نتايج حاصل از اين تحقيق، ميزان آب كاربردي توسط كشاورزان به علل مختلف از جمله توزيع گردشي آب بين حقابه‌داران و عدم اطلاع زارعين از ميزان آب مورد نياز بيش از نياز آبياري است، لذا توصيه مي‌گردد با آموزش زمان و ميزان آب آبياري مورد نياز، نحوه مطلوب آبياري به كشاورزان و توزيع متناسب آب با نياز واقعي گياه، مديريت آبياري و زراعي افزايش و ميزان آب كاربردي كاهش يابد. با توجه به نتايج حاصل از اين پژوهش، بهبود مديريت آبياري در مزارع از طريق كاربرد عمق بهينه آبياري، برنامه ريزي صحيح آبياري و بهبود مديريت زراعي در شرايط مختلف امكان پذير است. در اين راستا مي‌توان از مدل‌هاي شبيه سازي واسنجي و صحت‌يابي شده به عنوان يك ابزار مناسب و با قابليت‌هاي مختلف استفاده نمود.

منابع :

۱- بي نام.(۱۳۷۵).گزارش مطالعات خاكشناسي نيمه تفصيلي دقيق مناطق قهاب و فلاورجان. مركز مطالعات برنامه ريزي و اقتصاد كشاورزي،معاونت طرح و برنامه وزارت كشاورزي.

۲- بي نام (۱۳۸۰)، آمارنامه كشاورزي سالهاي زراعي۷۱-۱۳۷۰ تا ۸۰-۱۳۷۹ ، انتشارات وزارت جهاد كشاورزي، معاونت برنامه‌ريزي و اقتصادي ، نشريه ۸۰/۰۱ .

۳- فرخيان، احمد و مهدي همايي،(۱۳۸۲). برآورد پارامترهاي ويژگي‌هاي هيدروليكي خاكهاي گچي با استفاده از توابع انتقالي خاك، هشتمين كنگره علوم خاك ايران.

4- Ahmad,M . D, (2002). Estimation of net groundwater use irrigated river basins using Geo-information techniques. A case study in Rechna Doab, Pakistan , ph.D thesis Wageningen university.

5- Bastiaanssen, W. G. M., Huygen, J., Schakel, J. K. and Van Den Broek, B. J. (1996). Modelling the soil-water-crop-atmosphere system to improve agricultural water management in arid zone (SWATRE). In B.J. Van Den Broek (ed.) Dutch experiences in irrigation water management modelling. Report 123, Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands. p. 13-27.

6- Bouman, B. A. M., T. P. Tuong, (2001)."Field water management to save water and increase its productivity in irrigation low land rice". Agric. Water Manage. 49: 11-30.

7- Droogers, P., Bastiaanssen, W. G. M., Beyazgül, M., Kayam, Y., Kite, G. W. and Murray-Rust, H. (2000a). Distributed agro-hydrological modelling of an irrigation system in western Turkey. Agricultural Water Management, 43: 183-202.

8- Droogers, P., Kite, G. W. and Murray-Rust, H. (2000b). Use of simulation models to evaluate irrigation performance including water productivity, risk and system analyses. Irrigation Science, 19: 139-145.

9- Droogers, P. and Kite, G. (2001). Simulation modelling at different scales to evaluate the productivity of water. Physics and Chemistry of the Earth vol 26, No. 11-12, pp. 877-880..

10- Droogers, P., M. Torabi, M. Akbari and E. Pazira, 2001. Field-scale modeling toexplore salinity problems in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage 50:77-90.

11- Droogers, P. (2000). Estimating actual evapotranspiration using a detailed agro-hydrological model. Journal of Hydrology, 229: 50-58.

12-Isidoro, D., Qulez., D. and Aragues, R. (2004). Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district (Spain) as a case study. Agricultural Water Management. 64:123-142.

13- Kang, S. Z., P. Shi, Y. H. Pan, Z. S. Liang, X. T. Hu, and J. Zhang, (2000). "Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas". Irri. Science 19:181-190.

14- Kite, G. W., and Droogers, P. (2000). Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and fields data. Journal of Hydrology, 229: 3-18.

15- Lane, j. w. and v.a. Ferrira.(1990).Sensitivity in CREAMS: A filed scale model for chemical runoff and erosion from agricultural management systems. Ed. w. g . knisel, 113- 158. Vol. A. model Documentation. USDA conservation Res. Report No. 26.Washington D.C.

16- Mishra, H. S., T. R. Rathore, and U. S. Savita, (2001). "Water-use efficiency of irrigated winter maize under cool weather conditions of India". Irri. Science 21:27-33.

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

18- Panigrahi, B. and Sudhindra N. P. (2003) Field test of a soil water balance simulation model. Agricultural Water Management. 58: 223-240.

19- Saeed, I. A. M, and A. H. El-Nadi, (1998). “Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation”. Irrigation Science. 18:67-71.

20- Sarwar,a., Bastiaanssen, W.G.M., and R, A. Feddes.(2001). Irrigation Water distribution and long-term effects on crop and environment. Agricultural Water Management 50:125-140.

21- Van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. VanWalsum, P. Groenendijk, and C.A. van Diepen. (1997). Theory of SWAP version 2.0. Technical Document 45. Wageningen Agricultural University and DLO Winand Staring Centre.

22- Wright, J. L, and J. C. Stark, (1990). “Potato, In Irrigation of agricultural crops, ed. B.A.Steward and D.R.Nielsen. Agronomy Series No. 30. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.