باسمه تعالی

ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی

گزارش نهایی

تابستان ۱۳۹۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ---------- ه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه و اهمیت موضوع ---------- ۲

۱-۲- اهداف ---------- ۶

۱-۳- سئوال‌های اصلی و فرعی ---------- ۷

۱-۴- فرضیه ها ---------- ۷

فصل دوم: شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب

۲-۱- مقدمه ---------- ۱۰

۲-۲- روش تحقیق ---------- ۱۲

۲-۲-۱- انتخاب استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب ---------- ۱۲

۲-۲-۲- انتخاب معیارها ---------- ۱۵

۲-۲-۳- محاسبه وزن معیارها ---------- ۱۷

۲-۲-۴- رتبه بندی استراتژی‌ها ---------- ۲۳

۲-۳- نتایج و بحث ---------- ۲۵

۲-۳-۱- ارزیابی و تعیین اولویت استراتژیها ---------- ۲۵

فصل سوم: بررسی اثربخشی استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب

۳-۱- مقدمه ---------- ۳۲

۳-۲- مروری بر ادبیات موضوع ---------- ۳۳

۳-۲-۱- مطالعات انجام شده با روش بهره‌وری تک عاملی ---------- ۳۴

۳-۲-۲- مطالعات انجام شده با روش بهره‌وری چند عاملی (شاخص TFP و مدلهای مرزی) ۴۲

۳-۲-۳- مطالعات انجام شده با روشهای قیاسی ---------- ۴۵

۳-۳- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های آبیاری بر شاخص فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب با استفاده از مدل تخصیص آب ---------- ۴۶

عنوان **صفحه**

۳-۳-۱- مدل غیرخطی تخصیص آب ---------- ۴۸
۳-۳-۲- نتایج و بحث ---------- ۵۱
۳-۴- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های آبیاری بر شاخص فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب با استفاده از مدل تخصیص زمین اصلاح شده ---------- ۶۹
۳-۴-۱- تشریح مدل تخصیص زمین اصلاح شده---------- ۶۹
۳-۴-۲- نتایج و بحث ---------- ۷۴
۳-۵- ارزیابی اثرات تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار بر بهره‌وری آب با استفاده از مدل SWAT---------- ۸۰
۳-۵-۱- تشریح مدل SWAT ---------- ۸۰
۳-۵-۲- نتایج و بحث ---------- ۸۲
۳-۶- محاسبه بهره‌وری آب با استفاده از اطلاعات فراهم آمده از سطح مزارع و باغات نمونه --- ۸۴
۳-۷- اثرات متقابل خاک ورزی و روشهای آبیاری بر بهره‌وری آب در سه رقم گندم در استان فارس ---------- ۸۹
۳-۷-۱- خاک ورزی حفاظتی، تعریف و اهمیت آن ----------۸۹
۳-۷-۲- طرح آماری ---------- ۹۰
۳-۷-۳- نتایج و بحث ----------۹۱

فصل چهارم : اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب در استان فارس

۴-۱- مقدمه---------- ۹۵
۴-۲- اهمیت بازار آب ---------- ۹۵
۴-۳- مروری بر مطالعات بازار آب با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی و برنامه ریزی ریاضی - ۹۹
۴-۴- تجربیات حاصل از ایجاد بازار آب در کشورهای دیگر ---------- ۱۰۷
۴-۵- شبیه سازی بازار آب به روش برنامه ریزی ریاضی ---------- ۱۰۸
۴-۵-۱- مدل مزرعه ---------- ۱۰۹
۴-۵-۱-۱- تعریف متغیرهای مدل ---------- ۱۱۲
۴-۵-۱-۲- تابع هدف مدل ---------- ۱۱۳
۴-۵-۱-۳- تعیین محدودیت‌های مدل ---------- ۱۱۴
۴-۵-۱-۳-۱- محدودیت زمین ---------- ۱۱۴
۴-۵-۱-۳-۲- محدودیت نیروی کار ---------- ۱۱۴
۴-۵-۱-۳-۳- محدودیت آب مصرفی ---------- ۱۱۵

عنوان **صفحه**

۴-۵-۲- مدل منطقه ---------- ۱۱۵
۴-۶- نتایج حاصل از شبیه سازی بازار آب ---------- ۱۱۸
۴-۶-۱- نتایج حاصل از شبیه سازی بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت ۱۱۸
۴-۶-۱-۱- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروههای همگن در حالت عدم وجود بازار آب با مدل تخصیص زمین اصلاح شده ---------- ۱۱۹
۴-۶-۱-۲- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروههای همگن در حالت وجود بازار آب با مدل تخصیص زمین اصلاح شده ---------- ۱۲۱
۴-۶-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت---- ۱۲۸
۴-۶-۲-۱- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع گروههای همگن در حالت عدم وجود بازار آب و سیستم کنترل برداشت ---------- ۱۲۹
۴-۶-۲-۲- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروههای همگن در حالت وجود بازار آب و سیستم کنترل برداشت ---------- ۱۳۱

فصل پنجم: عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک

۵-۱- مقدمه---------- ۱۳۹
۵-۲- نتایج و بحث---------- ۱۳۹
۵-۲-۱- نتایج حاصل از تخمین مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط---------- ۱۳۹
۵-۲-۲- اثر نهایی متغیرهای توضیحی ---------- ۱۴۳
۵-۲-۳- همگن سازی زارعین بر اساس فعالیتهای حفاظتی آنها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ---------- ۱۴۴

فصل ششم: خلاصه، نتیجه گیری و پیشنهادات

۶- خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ---------- ۱۵۱
منابع ---------- ۱۷۶
پیوست
پیوست ۱: مدل برنامه ریزی غیرخطی تخصیص آب---------- ۲۰۳
پیوست ۲: مدل برنامه ریزی تخصیص زمین اصلاح شده ---------- ۲۱۸
پیوست ۳: پرسشنامه‌های تحقیق ---------- ۲۵۲
پیوست ۴: هزینه استحصال و توزیع یک مترمکعب آب از سفره‌های آب زیرزمینی---------- ۲۶۶
پیوست ۵: ارزش شاخص حساسیت به آب در مراحل مختلف رشد ---------- ۲۶۷
پیوست ۶: مقاله‌های ارائه شده در اولین کنفرانس ملی اقتصاد آب---------- ۲۶۹

پیشگفتار

آب مهمترین عامل توسعه‌ی اقتصادی در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک است. بنابراین مدیریت هوشمند آن، متضمن توسعه پایدار می‌باشد. در شرایط فعلی خشکسالی‌های متعدد، تقاضای روزافزون و بهره‌برداری بیرویه از آب، نگرانی‌های جدی را در مدیریت منابع آب و در نتیجه توسعه پایدار کشور ایجاد کرده است. متأسفانه بسیاری از فرصتها در زمینه به کارگیری استراتژیهای مدیریت ریسک جهت پیشگیری از ورود به شرایط بحرانی کنونی از دست رفته است و چاره‌ای جز استفاده مؤثر از فرصتهای باقی مانده و اتخاذ استراتژی‌های مدیریت بحران باقی نمانده است. در چنین شرایطی، ارتقاء بهره‌وری آب می‌تواند نقشی چند سویه را ایفا نماید. از یک سو می‌تواند با کاهش مصرف آب بدون تغییر در آمد زارعین، به بهبود تراز آب سفره‌های آب زیرزمینی کمک نماید و حقابه فراموش شده تالاب‌ها و دریاچه‌های خشکیده را تأمین کند و از سوی دیگر با بخشی از آب ذخیره شده، نیاز سایر بخش‌ها نظیر شرب و صنعت را فراهم آورد. کاهش قیمت تمام شده و امکان افزایش درآمد زارعین از منافع دیگر بهبود بهره‌وری آب است.

در این راستا، مطالعه حاضر در دو بخش سازماندهی شده است. در بخش اول، استراتژیها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب با بررسی مطالعات مختلف، مشورت با ذینفعان و جمع آوری سیستماتیک دیدگاه کارشناسان خبره استان فراهم آمده و با روش فازی چند معیاری مورد ارزیابی و اولویت بندی قرار گرفته‌اند. در بخش دوم، اثربخشی بعضی از استراتژی‌ها و راهکارهای بدست آمده در مرحله اول، با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی شبیه سازی و تحلیل شده است. برخلاف روال معمول، سعی شده است که از پرداختن به جزئیات مدل‌ها و روش‌های ریاضی که از منابع علمی، قابل دستیابی است، خودداری شده و بر نتایج ملموسی که می‌تواند، سیاستگذاران را در اتخاذ تاکتیک‌ها و فرآیندها، یاری نماید، تأکید شود.

با سپاس فراوان از همکاری ارزشمند دانشجویان دوره دکتری و کارشناسی ارشد بخش اقتصاد کشاورزی به ویژه آقایان مهندس حامد دهقانپور و سیامک نیک مهر، همچنین آقای مهندس محمدحسین زیبایی دانشجوی دوره دکتری منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز که ما را در این مطالعه همراهی کردند. بخشی از محاسبات توسط آقای مهندس تهور کارشناس ارشد بخش اقتصاد کشاورزی و ویراستاری و تایپ توسط سرکارخانم محبوبه رضایی مسئول محترم دفتر بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شده که از این عزیزان نیز تشکر می‌شود.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه و طرح مسئله

توسعه اقتصادی – اجتماعی، رشد جمعیت و تغییر اقلیم چالش‌های عمده‌ای را برای پایداری و امنیت غذایی که یکی از مهمترین دغدغه‌های جوامع است، ایجاد کرده‌اند (Vorosmarty et al., 2000; Gleik, 2008). در این راستا، منابع آب که برای حیات بشر، معیشت پایدار، امنیت غذایی و حفظ زیست بوم‌ها ضروری می‌باشند، تحت فشار واقع شده‌اند. بسیاری بر این باورند که دنیا با بحران آب بی‌سابقه‌ای روبروست و انتظار می‌رود که بدون پیشرفت و بهبود مدیریت منابع آب و تصمیم‌سازی یکپارچه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، مسائل مرتبط با آب در دهه‌های آینده به طورچشمگیری، بحرانی‌تر شود (Scheierling et al., 2014). ایران واقع در اقلیم خشک و نیمه خشک نیز با محدودیت شدید آب روبرو است. در سال ۲۰۱۴، سرانه آب برای ایران ۱۶۴۴ مترمکعب بوده است که در مقایسه با میانگین جهانی به میزان ۶۲۲۵ مترمکعب برای هر نفر در سال، گویای وضعیت نامناسب کشور از نظر برخورداری از منابع آب است (بانک جهانی، ۲۰۱۴). روند و گرایشات حاکم بر سرانه آب نیز بسیار نگران کننده است به گونه‌ای که سرانه آب کشور در سال ۱۹۶۲ میلادی، ۵۵۷۰ مترمکعب در سال بوده است که با یک روند نزولی به ۱۸۷۶ مترمکعب در سال ۲۰۰۸ و همان طور که اشاره شد به ۱۶۴۴ مترمکعب در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است (Aguastat, 2010). وضعیت موجود منابع آب در ایران، روند گرایشات حاکم بر آن و همچنین در نظر گرفتن توزیع مکانی و زمانی نامناسب سرانه محدود آب، به خوبی ضرورت مدیریت تقاضا، تعدیل مصرف و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب را نشان می‌دهد.

در این رابطه، توجه به دو حقیقت برای درک نقش کشاورزی در بحران آب، بسیار ضروری است. اول اینکه بخش کشاورزی با فاصله زیاد، بزرگترین استفاده کننده آب است (۸۰ درصد مصرف، Rost et al., 2008). دوم اینکه آب مصرفی در کشاورزی بطور نسبی در مقایسه با سایر کاربرهای آب، بهره‌وری و بازدهی کمتری دارد (Yong, 2005). بنابراین وقتی که آب در بسیاری از نقاط دنیا، کمیاب می‌شود، سایر بخش‌ها و استفاده کننده‌ها تمایل دارند که به بخش کشاورزی به عنوان یک منبع بالقوه آب نگاه کنند (Scheierling et al., 2014).

بسیاری از کارشناسان معتقدند که علاوه بر بحران جهانی آب، کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط با آن در سطح جهان با یک بحران بی‌سابقه روبرو می‌باشند. رشد مداوم جمعیت، تغییر الگوی غذایی (افزایش مصرف شیر و گوشت) و گسترش استفاده از سوخت گیاهی، فشار را بر بخش کشاورزی افزایش داده است (Scheircling et al., 2010). مشاهده نرخ رشدهای اخیر

در عملکرد غلات عمده، این نگرانی را افزایش داده است که بدون سرمایه‌گذاری قابل توجه جدید در مناطق با عملکرد در هکتار پایین و بکارگیری استراتژی‌های مناسب جهت تداوم افزایش عملکرد در هکتار در مناطق با عملکرد بالا، بهره‌وری کشاورزی به اندازه کافی جهت تأمین تقاضای احتمالی، سریع نخواهد بود (Ray et al., 2013). برای روشن شدن موضوع، مروری بر نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های اخیر انجام شده برای تولیدات کشاورزی و نیازهای آبی مربوط به آن مفید خواهد بود. در این راستا پیش بینی شده است که جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹/۶ میلیارد نفر بالغ خواهد شد (Uniter Nations, 2013). بر اساس مدل بکارگرفته شده به وسیله FAO برای دوره ۲۰۰۷/ ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۰، نرخ رشد مصرف محصولات کشاورزی ۱/۱ درصد در سال پیش‌بینی شده است. به منظور تأمین این تقاضای جهانی، تولیدات کشاورزی در سال ۲۰۵۰ باید ۶۰ درصد بالاتر از تولید سال ۲۰۰۷/ ۲۰۰۵ باشد. برای تولید این میزان محصول، آب مورد نیاز برای آبیاری باید از ۲۷۶۱ به ۲۹۲۶ کیلومترمکعب افزایش یابد (Alexandratos and Bruinsma, 2012). با توجه به اینکه امکان افزایش عرضه آب در بسیاری از نقاط دنیا وجود ندارد، شدیداً توصیه می‌شود که تلاش‌ها و اقدامات باید بر بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی متمرکز شود. با توجه به حجم زیاد آب مصرفی و این موضوع که استفاده از آب در بخش کشاورزی نسبتاً ناکارا است، تصور می‌شود که حتی بهبود اندکی در بهره‌وری آب کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بودجه جهانی و منطقه‌ای آب داشته باشد. چنین فرایندی یعنی ارتقاء بهره‌وری آب، امکان تولید کشاورزی بیشتر با همین مقدار آب یا همین مقدار محصول کشاورزی با آب کمتر را میسر می‌سازد. بطور ساده بهره‌وری به مفهوم تولید بیشتر غذا یا بدست آوردن منافع بیشتر با آب کمتر است. در این راستا؛ بهره‌وری فیزیکی آب[1]، عبارت است از نسبت مقدار محصول به مقدار آب مصرفی و بهره‌وری اقتصادی آب[2]، ارزش فراهم آمده از هر واحد آب مصرفی می‌باشد. بهره‌وری آب را در پاره‌ای مواقع برای محصول یا دام محاسبه می‌کنند (Molden & Oweis, 2007).

به هرحال آب صرفه جویی شده از بهبود بهره‌وری آب را می‌توان در سایر بخش‌ها مورد استفاده قرار داد. راههای متعددی برای بهبود بهره‌وری آب وجود دارد. در این میان، تجارت بین المللی محصولات کشاورزی، مسیری جهت بهبود کارایی یا بهره‌وری جهانی مصرف آب از طریق انتقال مجازی منابع آب به مناطق تحت استرس آبی است (Dalin, 2014). چون کارایی

1 - Physical water productivity
2 - Economic water productivity

استفاده از آب در مناطق مختلف، بسیار متفاوت است، تجارت بین المللی یا داخلی غذا می‌تواند حجم قابل توجهی از منابع آب را در سطح جهانی یا در سطح ملی صرفه جویی کند (Chapagain et al., 2006). هرچند انتقال آب مجازی غیرمحتمل است که نابرابری آب مصرفی را در سطح جهان حل کند (Seekell et al., 2011)، اما می‌تواند آسیب پذیری اجتماعی را نسبت به خشکسالی تحت پاره‌ای از سناریوها کاهش دهد (D' Odorico et al., 2010).

اشاره شد که برای تغذیه جمعیت در حال افزایش همراه با بهبود درآمد سرانه و تنوع الگوهای غذایی به آب بیشتر بر پایه میانگین سرانه نیازمند خواهیم بود. تقاضای بیشتر آب جهت کشاورزی بر سیستم‌های آبی و خاکی فشار وارد خواهد ساخت و رقابت را برای منابع آب، شدت می‌بخشد (Molden & Oweis, 2007). در این راستا بهبود بهره‌وری فیزیکی آب در زراعت، نیاز به آب و خاک اضافی در سیستم‌های آبی و دیم را کاهش می‌دهد و بنابراین پاسخ مناسبی به کمیابی در حال افزایش آب خواهد بود.

راههای نوید بخشی برای افزایش بهره‌وری آب در سیستم‌های زراعی کاملاً دیم تا کاملاً آبی وجود دارد. آبیاری تکمیلی برای اراضی دیم، حفظ حاصلخیزی خاک، کم آبیاری، عملیات قابل اجرا در مقیاس کوچک برای ذخیره‌سازی، تحویل و بکارگیری آب، تکنولوژی‌های مدرن آبیاری، حفاظت از آب موجود در خاک از طریق حداقل خاک ورزی یا بی خاک ورزی، کاهش زیست توده با افزایش مقاومت به آفات و بیماریها و رشد سریع اولیه برای پوشش سریع زمین از جمله این راهها می‌باشند. اما فواید حاصل از بهبود بهره‌وری آب به شرایط بستگی دارد و تنها با چشم انداز یکپارچه در سطح حوضه آبریز قابل ارزیابی است (Molden & Oweis, 2007). افزایش بهره‌وری آب به ویژه ارزش ایجاد شده به ازای هر واحد آب می‌تواند مسیر مهمی برای کاهش فقر باشد، البته مشروط بر اینکه منافع حاصل از بهره‌وری آب به فقرا به ویژه زنان روستایی برسد.

به طور کلی مسیر بهبود بهره‌وری آب می‌تواند با توجه به تبخیر و تعرق (Evapotranspiration)، حاصلخیزی خاک (Soil fertility)، تجارت بین‌الملل (International trade)، کاهش تبخیر (Reducing evaporation) یا تحویل آب (Water deliveries) صورت گیرد (Molden & Owies, 2007).

اتخاذ روشهای ارتقاء بهره‌وری آب نیازمند یک محیط نهادی و سیاسی توانمند برای متوازن سازی انگیزه تولید کنندگان، مدیران منابع و جامعه و تدوین فرآیندی برای ساماندهی

بده - بستانها می‌باشد. علیرغم عملیات مدیریتی و تکنولوژیهای کافی، تحصیل منافع خالص در بهره‌وری آب به دلایل مختلف، مشکل است. قیمت بیشتر محصولات کشاورزی پایین و ریسک تولید برای کشاورزان بالا می‌باشد (Molden & Oweis, 2007). ارتفاء بهره‌وری از طریق افزایش عرضه محصولات کشاورزی، موجب فشار بر قیمت بازار این محصولات می‌شود و منافع بدست آمده برای یک گروه، اغلب به هزینه سایر گروه‌ها بدست می‌آید و به طور کلی سیستم-های انگیزشی[1]، بکارگیری تکنولوژی‌های مدرن به خوبی حمایت نمی‌کنند. استراتژی‌های پیشنهادی باید این بده- بستانها را تشخیص دهند و سیاستهای تشویقی و پرداخت غرامت را در راستای عدالت بیشتر میان آنهایی که از فرآیند بهره‌وری آب متنفع می‌شوند و آنهایی که متضرر می‌گردند، فراهم سازند (Molden & Oweis, 2007).

به طور کلی چهار منطقه با اولویت بالا برای دستیابی به منافع حاصل از بهره‌وری وجود دارد:

- مناطقی که در آنها بهره‌وری پایین و فقر بالاست، بنابراین احتمال اینکه منافع فراهم آمده از بهبود بهره‌وری آب به فقرا برسد، از سایر مناطق بیشتر است.
- مناطقی که کمیابی فیزیکی آب دارند و رقابت شدیدی برای آب بین مصرف کنندگان وجود دارد.
- مناطقی با توسعه منابع آب کم، یعنی جاهایی که بازدهی بالا از آب محدود، می‌تواند تفاوت‌های زیادی ایجاد کند.
- مناطقی که با تخریب زیست محیطی نظیر کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی و خشک شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رواناب‌ها به دلیل برداشت بی رویه و مدیریت نامناسب منابع آب روبرو هستند.

تعیین و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در بسیاری از موارد کار ساده‌ای نیست، زیرا آب تنها برای تولیدات کشاورزی به کار نمی‌رود. بهره‌وری آب کشاورزی به سودمندی حاصل از مصرف آن بستگی دارد، تخمین سودمندی نیز به پارامترهایی بستگی دارد که بسیاری از آنها کیفی بوده و قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند. در رابطه با میزان مصرف آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز، نیز اطلاعات لازم با دقت کافی در اختیار نیست. نصب کنتور هوشمند و برقراری یک سیستم حسابداری مناسب آب در سطح مزرعه و حوضه آبریز، می‌تواند گام مهمی در جهت فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز با دقت کافی باشد. اما نکته آخری که باید

1 - Incentive systems

به آن اشاره کرد، احتمال وقوع پدیده «اثر بازگشت به حالت اولیه[1]» (زیبایی و آخوندعلی، ۱۳۹۵) است. بهره‌وری آب باید با کاهش مصرف آب به ویژه در مناطقی که با تخریب زیست محیطی روبرو هستند، همراه شوند تا با ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آب، از روند تخریبی موجود جلوگیری شود. اما تعداد زیادی از ارزیابی طرح‌های اجرا شده در زمینه مدیریت تقاضای آب و ارتقاء بهره‌وری، شک جدی در مورد اثربخشی این طرح‌ها در زمینه حفاظتی و کاهش مصرف آب به دلیل وقوع پدیده «اثر بازگشت به حالت اولیه» مطرح می‌کنند (زیبایی و آخوند علی، ۱۳۹۵؛ Contor & Taylor, 2013؛ Pfieffer and lin, 2014 ؛ Huffaker, 2008).

بنابراین اقداماتی همراه با سیاست‌های بهبود بهره‌وری و کارایی آب نیز باید به کار گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که آب صرفه جویی شده جهت منظورهای حفاظتی به کار گرفته خواهد شد. در این راستا، استفاده از ابزارهای قیمتی در کنار تجدید نظر در حقوق برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، می‌تواند مؤثر باشد. مثلاً محدودیت قانونی ایجاد شود که آب صرفه جویی شده بویژه در طرح‌هایی که با یارانه‌های قابل توجه همراه هستند (نصب سیستم‌های مدرن آبیاری)، نباید تقاضای جدید را تأمین کند.

۱-۲- اهداف

- شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی با استفاده از روش تحلیل چند معیاری
- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های مختلف آبیاری بر شاخص فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب در سطح مزارع نماینده گروههای همگن زارعین با استفاده از مدلهای خطی و غیرخطی تخصیص آب
- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر الگوی کشت، درآمد زارعین و مصرف آب در واحدهای نماینده گروه‌های همگن زارعین.
- بررسی اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب با استفاده از مدل مزرعه و منطقه
- تعیین عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک با استفاده از مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط

1 - Rebound effect

۱-۳- سئوال‌های اصلی و فرعی

الف- سئوال‌های اصلی

- استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی کدامند؟
- اولویت فنی، اجرایی و اثربخشی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب چگونه است؟ به عبارت دیگر ترتیب استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر اساس معیارهای فنی، اجرایی و اثربخشی چگونه است؟
- اثرات بکارگیری استراتژی‌های مختلف کم آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری بر شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب چگونه است؟
- آیا ایجاد بازار آب می‌تواند موجب بهبود بهره‌وری آب شده و منازعات مربوط به آب را کاهش دهد؟
- چه عواملی بر اتخاذ استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب از سوی زارعین مؤثر هستند؟

ب- سئوال‌های فنی

- آیا بهبود بهره‌وری آب لزوماً به کاهش مصرف آب منجر خواهد شد؟
- آیا کاهش معنی دار مصرف آب بدون افزایش بهره‌وری آب، امکان پذیر است؟
- آیا می‌توان مصرف آب را بدون کاهش درآمد واحدهای نماینده و حتی با افزایش درآمد آنها، تقلیل داد؟

۱-۴- فرضیه‌ها

- بهبود بهره‌وری آب لزوماً به کاهش مصرف آب منجر نخواهد شد.
- الگوهای کشت حداکثر کننده سود، حداکثر کننده بهره‌وری آب کشاورزی نیستند.
- استراتژی‌های تمام آبیاری با حداکثر عملکرد در هکتار، کمترین میزان بهره‌وری آب را به دنبال دارند.
- امکان بهبود بهره‌وری آب به میزان قابل توجه از طریق بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های مناسب آبیاری وجود دارد.
- بازارآب در بهبود بهره‌وری آب می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد.
- مالکیت آب، تعیین میزان برداشت مجاز سالانه و نصب کنتور هوشمند، نقش تعیین کننده‌ای در بهبود بهره‌وری آب دارند.

- ترتیب استراتژی‌های بهره‌وری آب بر اساس روش چند معیاری متفاوت از ترتیب آنها بر اساس روش‌های معمول می‌باشد.

با توجه به اهداف تحقیق، مطالعه حاضر در چهار بخش سازماندهی شده است. بخش اول با شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب با استفاده از روش تحلیل چند معیاری سر و کار دارد. بعد از مشخص شدن استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب، اثربخشی پاره‌ای از این استراتژی‌ها در بخش دوم تحقیق در قالب مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی خطی و غیرخطی تخصیص آب مورد بررسی قرار گرفته است. این بخش در حقیقت، بخش اصلی تحقیق است. با توجه به اینکه ایجاد بازار آب می‌تواند بر ارتقاء بهره‌وری آب و کاهش منازعات مربوط به آب مؤثر واقع شود، این موضوع بطور مستقل با استفاده ازمدل برنامه ریزی ریاضی تخصیص زمین اصلاح شده بعنوان مدل مزرعه و یک مدل دشت در بخش سوم مورد ارزیابی قرار گرفته است. نظر به اینکه عوامل متعددی در پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک مؤثر می‌باشند و شناسایی آنها می‌تواند در گسترش به کارگیری استراتژی‌های حفاظت از آب و خاک مفید واقع شود، این عوامل در بخش چهارم در چارچوب مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

فصل دوم

شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب

۲-۱- مقدمه و مروری بر مطالعات انجام شده

بسیاری از کشورهای دنیا، استراتژی‌های تطبیقی برای مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی را در چارچوب تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار داده‌اند. برای مثال ایگلسیاس و کاروتی (۲۰۱۵) جهت درک بهتر استراتژی‌های تطبیقی برای مدیریت آب کشاورزی، ۱۶۸ مطالعه را که در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۴ چاپ شده‌اند را مورد بررسی قرار داده‌اند. از مطالعات مهم دیگر در این زمینه می‌توان به مطالعه دی بروین و همکاران[1] (۲۰۰۹) اشاره کرد که در هلند انجام شده است. آنها موفق شده‌اند که یک مخزنی از استراتژی‌های انطباقی با تغییر اقلیم را فراهم آورده و با روش چند معیاری آنها را ارزیابی و اولویت بندی نمایند. بخش قابل توجهی از این استراتژی‌ها مربوط به مدیریت آب کشاورزی است. کار مشابهی توسط لمن و همکاران[2] (۲۰۰۸) در کانادا انجام شده است.

در این مطالعه، نیز با استفاده از روش بکارگرفته شده توسط دی بروین و همکاران (۲۰۰۹) و جمع‌بندی ارزشمند مطالعه ایگلسیاس و کاروتی (۲۰۱۵)، استراتژی‌های بهبود بهره-وری آب کشاورزی در ایران جمع آوری و ارزیابی شده‌اند. ارزیابی شامل مراحل زیر بوده است:

۱- تعیین استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر اساس مطالعات اسنادی بویژه مطالعه ایگلسیاس و کاروتی و فیش‌برداری دقیق از مطالعات صورت گرفته در کشور و به ویژه استان فارس و مصاحبه عمیق با ذینفعان (کشاورزان، کارشناسان سازمان کشاورزی استان و سازمان آب منطقه، محققین مراکز تحقیقاتی و دانشگاهی).

۲- تعیین و تعریف معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی برای مرتب‌سازی و اولویت‌بندی استراتژی‌های با استفاده از مطالعه دی بروین و همکاران و نظرات صاحبنظران

۳- تعیین عملکرد و وضعیت استراتژی‌ها در رابطه با هر یک از زیرمعیارها بر اساس قضاوت کارشناسان

۴- تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش FAHP

۵- تعیین امتیاز نهایی هر یک از استراتژی‌ها، مرتب سازی آنها و تفسیر نتایج

1 - De Bruin et al.
2 - Lemman et al.

از آنجا که هدف اصلی این بخش از تحقیق افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است، معیارها و زیرمعیارها در این راستا تعریف شده‌اند و استراتژی‌ها و اولویت آنها بر اساس مشارکت آنها در رسیدن به این هدف تعیین و ارزیابی شده‌اند. اما به منظور آگاه نمودن سیاست‌گذاران نسبت به امکان پذیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب، یک زیر پروژه جداگانه با تمرکز بر ارزیابی امکان پذیری استراتژی‌ها در مرحله اجرا و عملیاتی شدن، انجام شد. امکان پذیری بر اساس پیچیدگی فنی، اجتماعی و نهادی که بهنگام اجرای استراتژی‌ها با آنها روبرو هستیم، سنجش شده است. پیچیدگی فنی مربوط به دشواریها و چالش‌های فنی است که بهنگام اجرای استراتژی رخ می‌دهند. نظیر تسهیلات فنی که باید فراهم شوند یا عدم حتمیت‌های تکنولوژیکی که هنگام اجرا، محتمل خواهند بود. پیچیدگی‌های اجتماعی شامل تنوع ارزشهایی است که بهنگام اجرا دخیل هستند همچنین تغییراتی که در بینش، آگاهی و احساس ذینفعان جهت مشارکت آنها در اجرای استراتژی‌ها، ضروری است. عناصر پیچیدگی نهادی مشتمل است بر اختلاف میان قواعد نهادی (واحدهای مختلف یا سازمانهای مختلف درگیر اجرای استراتژی-ها، از قواعد مختلفی پیروی می‌کنند)، پیامدهای سازمانی اجرای استراتژی و روابط همکاری و همراهی که برای اجرای استراتژی‌ها لازم است و درجه نوگرایی که استراتژی در رابطه با وضعیت و ساختار فعلی دارد. از طریق تلفیق یافته‌های مربوط به ترتیب استراتژی‌ها از نظر اثربخشی آنها بر هدف ارتقاء بهره‌وری آب و نتایج حاصل از امکان پذیری اجرای آنها بر اساس پیچیدگیهای فنی، اجتماعی و نهادی، این زمینه فراهم می‌شود که بتوان با برطرف کردن موانع اجرایی، استراتژی‌های با اثربخشی بیشتر را انتخاب و اجرا کرد.

روش بکارگرفته شده در این تحقیق با درگیر کردن و دخالت دادن کارشناسان، صاحب نظران و ذینفعان در فرآیند تعیین استراتژی‌ها، معیارها، زیرمعیارها وزن معیارها و زیرمعیارها و همچنین سنجش عملکرد هر یک از استراتژی‌ها در رابطه با معیارها و زیرمعیارها، شکاف میان روش‌های (بالا- پایین)[1] و (پایین- بالا)[2] را کاهش داده و امکان رسیدن به استراتژی‌هایی که از یک سو در راستای اهداف ملی و خطوط اصلی توسعه ملی (مندرج در اسناد بالادستی) هستند و از سوی دیگر مورد پذیرش کارشناسان و ذینفعان می‌باشند، را فراهم می‌سازد.

1 - Top-down
2 - Bottom-up

۲-۲- روش تحقیق

هدف اصلی این بخش از تحقیق، ارزیابی استراتژی‌های مدیریت آب کشاورزی و بررسی امکان پذیر بودن آنها از نقطه نظر پیچیدگیهای فنی، اجتماعی و نهادی است. بدین منظور ابتدا استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب از منابع موجود و کارشناسان صاحب نظر مشتمل بر اعضاء هیأت علمی دانشگاه، محققین مراکز تحقیقاتی، کارشناسان خبره اجرایی و زارعین مطلع جمع آوری شده است. جهت جمع آوری سیستماتیک نقطه نظرات آنها و ایجاد همگرایی از روش دلفی استفاده شده است. سپس با رسم نمودار سلسله مراتبی مسئله تحقیق اقدام به محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها در چارچوب روش FAHP بر اساس نظر کارشناسان شد. آنگاه عملکرد استراتژی‌ها در رابطه با هر یک از زیرمعیارها تعیین شد و در نهایت با بکارگیری روش TOPSIS، استراتژی‌ها از نظر اثربخشی و امکان پذیری اولویت بندی شدند، در زیر هر یک از این مراحل، تشریح شده است:

۲-۲-۱- انتخاب استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب

استراتژی‌های افزایش بهره‌وری آب را می‌توان بر اساس دیدگاه مولدن و اویس[1] (۲۰۰۷) به چهار دسته تقسیم کرد:

دسته اول: افزایش بهره‌وری در واحد تبخیر و تعرق[2]

بهبود مدیریت آب و خاک و عملیات زراعی که حاصلخیزی خاک را ارتقاء و شوری را کاهش می‌دهند و یا موجب بهبود شرایط محیطی و تغذیه می‌شوند. همچنین تغییر واریته‌هایی گیاهی به واریته‌هایی که آب کمتری مصرف می‌کنند و به ازای هر واحد آب مصرفی، موجب افزایش عملکرد یا ارزش می‌شوند، از مهمترین استراتژی‌های این گروه هستند. از دیگر استراتژی‌های این گروه می‌توان به بکارگیری آبیاری دقیق، تکمیلی و کم آبیاری اشاره کرد. این استراتژی‌ها به منظور بدست آوردن عملکرد بالاتر به ازای هر واحد تبخیر و تعرق به ویژه همراه با سایر عملیات مدیریتی توصیه می‌شوند. همچنین استراتژی بهبود مدیریت آب آبیاری از

1 - Molden and Oweis
2 - Evapotranspiration

طریق عرضه به موقع[1] آب، جهت کاهش تنش در مراحل بحرانی رشد محصول یا از طریق افزایش اطمینان نسبت به عرضه آب، موجب می‌شوند تا کشاورزان در سایر نهاده‌های کشاورزی سرمایه‌گذاری کرده و در نتیجه به ازای هر واحد مصرف آب، تولید بیشتری را بدست آورند.

استراتژی‌های کاهش تبخیر غیر مولد از طریق مالچ‌پاشی[2]، افزایش ویژگی‌های نفوذپذیری و نگهداری آب در خاک، افزایش پوشش گیاهی، آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، تنظیم زمان کاشت با دوره‌هایی که تقاضای تبخیر کمتری دارند، کاهش تبخیر از اراضی آیش و سفره-های آب زیرزمینی بالا از طریق کاهش مناطقی که در آنها آب سطحی در معرض تبخیر هستند کنترل علف‌های هرز و خاک‌ورزی حفاظتی نیز، استراتژی‌های بهبود بهروه‌وری آب کشاورزی هستند که در این دسته قرار می‌گیرند.

دسته دوم: حداقل کردن برداشت غیرمولد از جریان آب آبی[3]

استراتژی‌هایی که در این دسته قرار دارند، بهره‌وری آب را از طریق کاهش جریان نفوذ عمقی آب، بهبود می‌بخشند. اقداماتی نظیر پوشش انهار، آبیاری قطره‌ای و آبیاری خشک و تر در کشت برنج، نفوذ عمقی غیرقابل وصول و رواناب سطحی را کاهش می‌دهند و بنابراین از استراتژی‌های این گروه به شمار می‌روند. کاهش روند شور شدن و آلودگی جریان‌های برگشتی آب از طریق حداقل کردن جریان‌ها از خاک‌های شور و آلوده، زهکش‌ها و آب زیرزمینی، مدیریت تلفیقی آب‌های شور و آلوده با آب‌های تازه و یا منحرف کردن آب آلوده جهت ورود به عمق زمین به منظور اجتناب از نیاز به رقیق کردن آنها با آب تازه، از جمله استراتژی‌هایی می-باشند که در جهت حداقل کردن برداشت غیرمولد از جریان آب آبی و در نتیجه بهبود بهروه وری آب کشاورزی بکار گرفته می‌شوند. در استفاده از این استراتژی‌ها بایستی حفاظت از تالاب‌ها یا وضعیت سایر کشاورزان نیز در نظر گرفته شوند.

1- Better timing of supply
2 - Mulching
3- Blue Water

دسته سوم: تأمین عرضه اضافی آب

دسته سوم از استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی شامل اضافه کردن تأسیسات ذخیره آب (مخزن و سفره زیرزمینی، استخر در مزرعه کشاورز و ذخیره رطوبت خاک) می-باشند. به گونه‌ای که، بتوان دسترسی به آب را در زمان‌هایی که امکان رسیدن به بهره‌وری بالاتر آب امکان پذیر است، افزایش داد. بهبود مدیریت تأسیسات آبیاری موجود به منظورکاهش جریانهای زهکشی که به خروج تعهد نشده، منتج می‌شوند. کاهش آب مورد نیاز تحویلی از طریق بهبود راندمان آبیاری، قیمت‌گذاری آب و عملیات تخصیص و توزیع آب از جمله این استراتژی‌ها می‌باشند. مداخلات سیاسی، طراحی، مدیریتی و نهادی، ممکن است که به افزایش اراضی آبی، افزایش تراکم کشت یا افزایش عملکرد در هکتار منجر شود.

دسته چهارم: تخصیص مجدد و مدیریت مشترک آب میان استفاده‌های مختلف

تخصیص آب از کاربریهای با ارزش پایین به سمت کاربری‌های با ارزش بالاتر در داخل و بین بخش‌ها، به طور مثال تخصیص آب کشاورزی به شهرها و صنایع در این دسته از استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب قرار دارند. تشخیص و مدیریت خروجی‌ها جهت استفاده محیط زیست و اراضی پایین دست، مدیریت مشترک میان استفاده‌های چندگانه، تشخیص استفاده‌های چندگانه و بدست آوردن منافع چندگانه همراه با تحلیل اثرات جانبی و لحاظ کردن ملاحظات آبزی پروری، ماهیگیری و دامپروری در مدیریت حوضه آبریز از جمله استراتژیهای دسته تخصیص مجدد و مدیریت مشترک آب میان استفاده‌های مختلف می‌باشند.

استراتژی‌های بهبود بهروه‌وری آب کشاورزی با بررسی مطالعات مختلف و همچنین مشورت با ذینفعان بخش‌های مختلف انتخاب شدند. این بخش‌ها شامل بخش کشاورزی، مطالعات پایه منابع آب و حفاظت و بهره برداری منابع آب می‌باشند. سپس این اطلاعات از طریق مشاوره فردی با کارشناسان، تایید و تکمیل گردید و در نهایت گزینه‌های انتخابی در جلسه‌ای با ذینفعان مورد بحث قرار گرفت. در مرحله بعد تمامی تداخل‌های ممکن میان استراتژی‌ها مورد بررسی قرار گرفت و استراتژی‌های تکراری و مواردی که دارای ویژگی‌های

مشترک بودند، حذف شدند. در نهایت ۳۳ استراتژی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی که از هر حیث مناسب بودند، انتخاب شدند. این استراتژی‌ها در جدول (۱) ارائه شده اند:

جدول(۱): استراتژی های بهبود بهروه وری آب کشاورزی

ردیف	استراتژی	ردیف	استراتژی
۱	نصب کنتور و تحویل حجمی آب	۱۸	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی
۲	خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)	۱۹	مبارزه با علف های هرز
۳	خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)	۲۰	استفاده از آبیاری زیرسطحی
۴	تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)	۲۱	تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)
۵	استفاده از واریته-هایی با نیاز آبی کمتر	۲۲	استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند
۶	تاریخ کاشت مناسب	۲۳	مدیریت آبیش، کاهش تبخیر از اراضی آبیش
۷	استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.	۲۴	تلفیق آب شور و شیرین
۸	احداث استخر در مزرعه	۲۵	ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)
۹	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک، نیمه متحرک و ثابت	۲۶	سیاست قیمت گذاری آب
۱۰	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل-موو	۲۷	استفاده چند گانه از آب
۱۱	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت	۲۸	استفاده مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه
۱۲	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای	۲۹	ایجاد پلیس آب
۱۳	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)	۳۰	توسعه کشت گلخانه‌ای
۱۴	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم	۳۱	کاهش نقوذ عمقی آب
۱۵	پوشش انهار	۳۲	افزایش حاصلخیزی خاک
۱۶	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه	۳۳	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی
۱۷	تسطیح اراضی		

۲-۲-۲- انتخاب معیارها

معیارهای منظور شده در این تحقیق با پیروی از مطالعه بروین و همکاران (۲۰۰۹) به شرح زیر است:

گروه اول معیارها

۱- **اهمیت:** نشان دهنده میزان منفعت ناخالصی که هر استراتژی می‌تواند ایجاد نماید. در واقع اهمیت هر استراتژی، منعکس کننده سطح اهمیت به کارگیری آن به منظور جلوگیری از اثرات منفی می‌باشد. استراتژی که اهمیت بالاتری داشته باشد موجب افزایش بهره‌وری آب و

کاهش اثرات عمده بحران آب می شود. در اصل این استراتژی‌ها منافع ناخالصی (جلوگیری از آسیب ها) را ایجاد می‌کنند، اگرچه ممکن است به صورت بالقوه دارای هزینه‌های بالایی باشند.

۲- **اضطراری بودن:** این معیار منعکس کننده اهمیت اجرا کردن سریع استراتژی می-باشد. در واقع با کمک معیار اضطراری بودن، می‌توان گفت که آیا استراتژی باید سریعا به کار گرفته شود یا اینکه می توان آن را به زمان دیگری موکول کرد.

۳- **بدون پشیمانی:** این معیار بیانگر این است که آیا صرف نظر از بهبود بهره‌وری آب، می‌توان این استراتژی را به کار گرفت. در واقع به کار گیری این استراتژی‌ها حتی اگر به بهبود بهره‌وری آب منتج نشوند، مفید خواهند بود.

۴- **اثر بر بحران آب:** به عنوان مثال به کار گیری استراتژی مبارزه با آفات و بیماری ها می تواند موجب بهبود بهره وری آب و در نتیجه کاهش بحران آب شود.

۵- **فواید مشترک:** نشان دهنده فواید مشترک باسایر اهداف و بخش‌ها می باشد.

گروه دوم معیارها

در این قسمت به منظور اطلاع سیاست‌گذاران در مورد امکان اجرای استراتژی ها، امکانپذیری هر استراتژی براساس معیارهای پیچیدگی‌های فنی و تکنیکی، اجتماعی و نهادی مورد ارزیابی قرار گرفت. معیارهای این قسمت از تحقیق عبارتند از:

پیچیدگی فنی: پیچیدگی فنی اشاره به مشکلات فنی و چالش‌هایی دارد که همراه با اجرای استراتژی رخ می‌دهند، مانند امکانات فنی که باید فراهم شوند و یا عدم قطعیت‌های تکنولوژیکی که هنگام اجرای آن استراتژی، متحمل خواهند بود. همچنین منحصر به فرد بودن آن و ریسک های موجود.

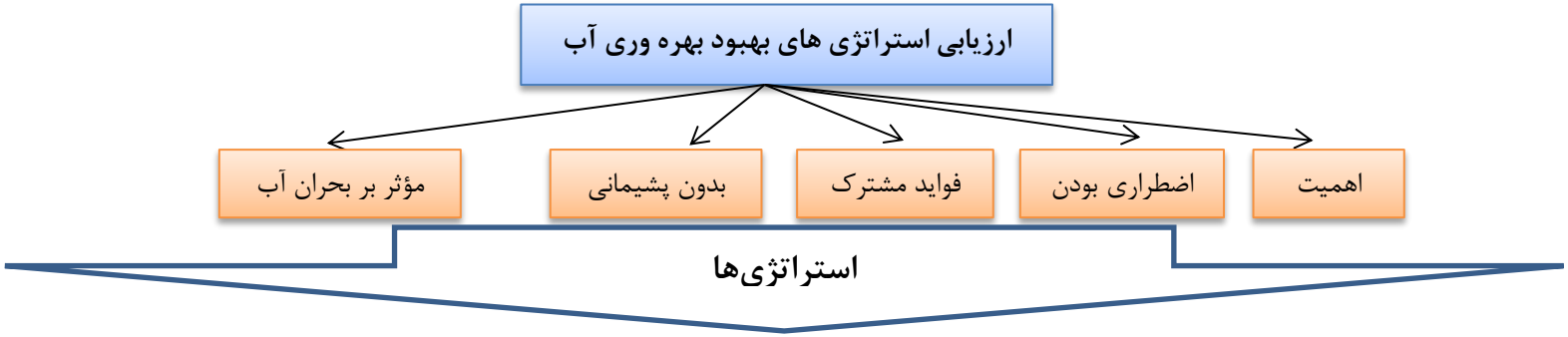
پیچیدگی اجتماعی: پیچیدگی اجتماعی شامل تنوع ارزش‌هایی است که به هنگام اجرای استراتژی دخیل هستند. همچنین تغییراتی که در بینش، آگاهی و احساس ذینفعان جهت مشارکت آنها در اجرای استراتژی‌ها، ضروری است. درجه‌ی بحث برانگیز بودن هر استراتژی، میزان مقاومت‌های ایجاد شده در مسیر اجرای آن و ضرورت ایجاد اجماع و همگرایی میان گروه‌های مختلف، از جمله پیچیدگی‌های اجتماعی اجرای استراتژی‌ها می‌باشند.

پیچیدگی نهادی: پیچیدگی نهادی شامل بوروکراسی موجود در سازمانها، قوانین بازدارنده، سیاست‌های دولتی و عدم همکاری بین نهادهای مختلف می‌باشد، که اجرای استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در ایران را با مشکل مواجه می‌سازند.

۲-۲-۳ - محاسبه وزن معیارها

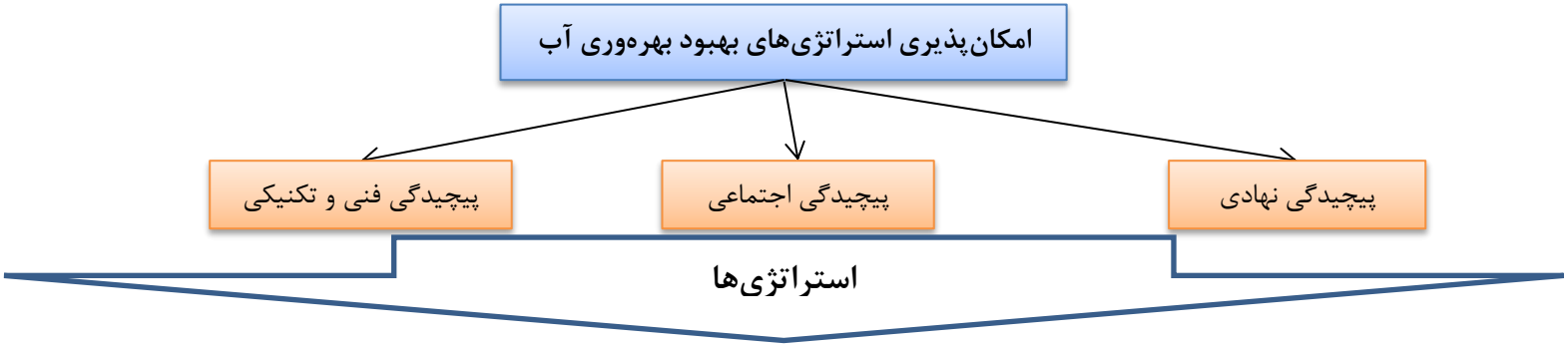
در این مطالعه به منظور محاسبه وزن معیارها برای ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. فرایند کلی تحلیل سلسله مراتبی فازی به صورت زیر می باشد:

۱- **ایجاد ساختار سلسله مراتبی:** اولین مرحله در یک مساله تصمیم گیری، تعیین ساختار سلسله مراتبی می باشد. در این روش هدف، معیارها، زیر معیار ها و گزینه ها در یک ساختار سلسله مراتبی شبیه یک درخت تنظیم می شوند. ساختار سلسله مراتبی در این مطالعه شامل سه سطح: هدف، معیارها و گزینه‌ها (استراتژی‌ها) می‌باشد که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است.



نصب کنتور و تحویل حجمی آب	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک	تسطیح اراضی	ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)
خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل-موو	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی	سیاست قیمت گذاری آب
خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت	مبارزه با علف های هرز	استفاده چند گانه از آب
تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای(Tape)	استفاده از آبیاری زیرسطحی	استفاده مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه
استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)	تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)	ایجاد پلیس آب
تاریخ کاشت مناسب	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم	استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند	توسعه کشت گلخانه‌ای
استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.	پوشش انهار	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش	کاهش نقوذ عمقی آب
			افزایش حاصلخیزی خاک
احداث استخر در مزرعه	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه	تلفیق آب شور و شیرین	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی

شکل ۱- ساختار سلسله مراتبی ارزیابی استراتژی



نصب کنتور و تحویل حجمی آب	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک	تسطیح اراضی	ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)
خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل-موو	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی	سیاست قیمت گذاری آب
خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت	مبارزه با علف های هرز	استفاده چند گانه از آب
تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای(Tape)	استفاده از آبیاری زیرسطحی	استفاده مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه
استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)	تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)	ایجاد پلیس آب
تاریخ کاشت مناسب	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم	استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند	توسعه کشت گلخانه‌ای
استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.	پوشش انهار	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش	کاهش نقوذ عمقی آب
			افزایش حاصلخیزی خاک
احداث استخر در مزرعه	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه	تلفیق آب شور و شیرین	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی

شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی امکان پذیری استراتژی

۲- **مقایسه زوجی:** در این مرحله مقایسه زوجی معیارها با استفاده از اعداد مثلثی فازی صورت می پذیرد.

۳- **محاسبه وزن معیار ها:** روش‌های متعددی به منظورمحاسبه وزن در تحلیل سلسله مراتبی فازی در مطالعات مختلف ارائه شده است. در این تحقیق از روش تجزیه و تحلیل مقداری چانگ (۱۹۹۶) برای ارزیابی تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد. تجزیه و تحلیل مقداری شامل مراحل زیر می باشد:

مرحله اول: محاسبه ارزش ترکیبی فازی برای i امین عنصر با استفاده از رابطه (۱):

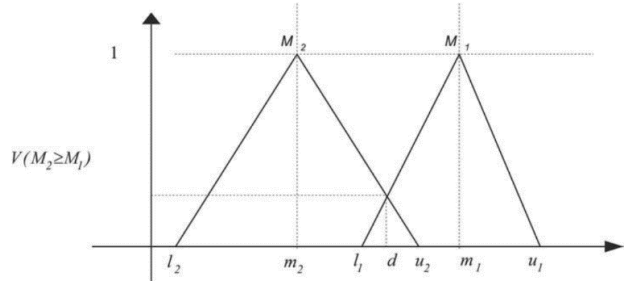
$$S_i \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \qquad (۱)$$

که در آن M_{gi}^{j}ها $(j=1,2,....,m)$ اعداد فازی مثلثی هستند.

مرحله دوم: مقایسه اعداد فازی ترکیبی بدست آمده (S_i ها) و تعین درجه امکان بزرگتر یا مساوی بودن یکی از این اعداد نسبت به بقیه است که با استفاده از رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$V(M_1 \le M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \ge m_1 \\ 0, & \text{if } u_2 \le l_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن d نشان دهنده نقطه اشتراک μ_{M1} و μ_{M2} می باشد.



شکل ۳- اشتراک دو عدد فازی مثلثی

مرحله سوم: محاسبه بردار وزن ها

اگر فرض شود $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) k = 1,2,...,n;\ k \neq i$ باشد، آنگاه بردار وزن‌ها به صورت رابطه (۳) مشخص می‌شود:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_i)\right)^T \quad (۳)$$

از طریق نرمال کردن می‌توان بردار نرمال وزن‌ها که همان رابطه (۴) می‌باشد را بدست آورد:

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), ..., d(A_2)\right)^T \quad (۴)$$

که در آن W یک بردار غیرفازی است (چانگ،۱۹۹۶).

روش بررسی سازگاری گاگوس بوچر

گاگوس و بوچر[1] (۱۹۹۸) پیشنهاد دادند برای بررسی سازگاری، دو ماتریس (عدد میانی و حدود عدد فازی) از هر ماتریس فازی، مشتق و سپس سازگاری هر ماتریس بر اساس روش ساعتی محاسبه شود. مراحل محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌های فازی مقایسات زوجی به قرار زیر است:

مرحله اول: در مرحله اول ماتریس مثلثی فازی را به دو ماتریس تقسیم کنید. ماتریس اول از اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی تشکیل می‌شود $A^m = [a_{ijm}]$ و ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی می‌شود $A^g = \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}$.

مرحله دوم: بردار وزن هر ماتریس را با استفاده از روش ساعتی به‌وسیله روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شود:

$$w_i^m = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ijm}} \quad (۵)$$

که در آن $w^m = [w_i^m]$ می‌باشد.

$$w_i^g = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}}{\sum_{i=1}^{n}\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}} \quad (۶)$$

که در آن $w^g = [w_i^g]$ می‌باشد

1 - Gogus & Boucher.

مرحله سوم: بزرگترین مقدار ویژه برای هر ماتریس با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌گردد:

$$\lambda_{max}^{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ijm}\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \quad (۷)$$

$$\lambda_{max}^{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}\left(\frac{w_j^g}{w_i^g}\right) \quad (۸)$$

مرحله چهارم: شاخص سازگاری با استفاده از روابط (۹) و(۱۰) محاسبه می‌شود:

$$CI^m = \frac{(\lambda_{max}^m - n)}{(n-1)} \quad (۹)$$

$$CI^g = \frac{(\lambda_{max}^g - n)}{(n-1)} \quad (۱۰)$$

مرحله پنجم: برای محاسبه نرخ ناسازگاری (CR)، شاخص CI را بر مقدار شاخص تصادفی (RI) تقسیم می‌شود. در صورتی که مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس سازگار و قابل استفاده تشخیص داده می‌شود. ساعتی برای به‌دست آوردن مقادیر شاخص‌های تصادفی (RI)، ۱۰۰ ماتریس را با اعداد تصادفی و با شرط متقابل بودن ماتریس‌ها تشکیل داده و مقادیر ناسازگاری و میانگین آن‌ها را محاسبه نمود. اما از آنجا که مقادیر عددی مقایسات فازی همواره عدد صحیح نیستند و حتی در صورتی که عدد صحیح باشند، میانگین هندسی، آن‌ها را عموماً به اعداد غیرصحیح تبدیل می‌کند، که نمی‌توان از جدول شاخص‌های تصادفی(RI) ساعتی استفاده کرد. بنابراین گاگوس و بوچر با تولید ۴۰۰ ماتریس تصادفی، مجدداً جدول شاخص‌های تصادفی(RI) را برای ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی تولید کردند. در جدول (۲) شاخص-های تصادفی گزارش شده است.

جدول(۲): شاخص‌های تصادفی

اندازه ماتریس	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI^m	۰	۰	۰/۴۸۹۰	۰/۷۹۳۷	۱/۰۷۲۰	۱/۱۹۹۶	۱/۲۸۷۴	۱/۳۴۱۰	۱/۳۷۹۳	۱/۴۰۹۵
RI^g	۰	۰	۰/۱۷۹۶	۰/۲۶۲۷	۰/۳۵۹۷	۰/۳۸۱۸	۰/۴۰۹۰	۰/۴۱۶۴	۰/۴۳۴۸	۰/۴۴۵۵

ماخذ: گاگوس و بوچر(۱۹۹۸)

پس از محاسبه نرخ ناسازگاری برای دو ماتریس بر اساس روابط (۱۱) و (۱۲) آن‌ها را با آستانه ۰/۱ مقایسه می‌شود:

$$CR^{g} = \frac{CI^{g}}{RI^{g}} \qquad (۱۱)$$

$$CR^{m} = \frac{CI^{m}}{RI^{m}} \qquad (۱۲)$$

در صورتی که هر دو شاخص فوق کمتر از ۰/۱ بودند، ماتریس فازی سازگار است. در صورتی که هر دو بیشتر از ۰/۱ بودند، از تصمیم‌گیرنده تقاضا می‌شود تا در اولویت‌های ارائه شده تجدیدنظر نماید و در صورتی که تنها $CR^{m}(CR^{g})$ بیشتر از ۰/۱ بود، تصمیم‌گیرنده تجدیدنظر در مقادیر میانی (حدود) قضاوت‌های فازی را انجام می‌دهد.

۲-۲-۴ - رتبه بندی استراتژی ها

در این قسمت از وزن‌های معیارها که با کمک روش تحلیل مقداری بدست آمده است و همچنین امتیاز های تجمیع شده هر کدام از استراتژی ها برای معیارهای مختلف، به منظور رتبه بندی استراتژی‌ها استفاده شد. برای این کاراز تکنیک تاپسیس استفاده شده است. تحلیل تاپسیس که به وسیله هوانگ و یون ارائه شده است. یک روش تصمیم گیری چند معیاری به منظور انتخاب بهترین گزینه از میان مجموعه ای از گزینه ها می باشد. روش تاپسیس بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی با راه حل ایده آل مثبت کمترین وبا راه حل ایده آل منفی بیشترین فاصله را داشته باشد. مراحل اجرای روش تاپسیس به صورت زیر می‌باشد:

مرحله‌ی اول: تشکیل ماتریس عملکردها به صورت ماتریس (۱۳) بر اساس n آلترناتیو و k شاخص

$$A_{ij} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12}..a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}..a_{2n} \\ \vdots & \vdots \quad \vdots \\ a_{m_1} & a_{m_2}..a_{mn} \end{pmatrix} \qquad (۳)$$

مرحله‌ی دوم: نرمالیز نمودن عملکردها و تشکیل ماتریس نرمالیز شده از طریق رابطه‌ی (۱۴):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \quad (۱۴)$$

مرحله‌ی سوم: در این مرحله عملکردهای نرمال شده در وزنهای بدست آمده ضرب و ماتریس V_{ij} بدست می‌آید:

$$V_{ij=}\begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (۱۵)$$

مرحله‌ی چهارم: تعیین آلترناتیو ایده‌آل (بالاترین عملکرد هر شاخص) و آلترناتیو حداقل (پایین‌ترین عملکرد هر شاخص) است که با روابط (۱۶) و(۱۷) نشان داده می شوند:

$$A^+ = \left\{\left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J\right), \left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J'\right)\right\} \implies A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (۱۶)$$

$$A^- = \left\{\left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J\right), \left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J'\right)\right\} \implies A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (۱۷)$$

مرحله‌ی پنجم: تعیین فاصله‌ی i امین آلترناتیو از آلترناتیو ایده‌آل (d_i^+) و آلترناتیو حداقل (d_i^-) است که با رابطه (۱۸) نشان داده می شود:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{و} \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (۱۸)$$

مرحله‌ی ششم: تعیین نزدیکی نسبی i امین آلترناتیو (C_i^*) به آلترناتیو ایده‌آل با استفاده از رابطه (۱۹) است که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند.

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad , \quad 0 \le C_i^* \le 1 \quad (۱۹)$$

مرحله‌ی هفتم: رتبه‌بندی آلترناتیوها و تعیین بهترین گزینه بر اساس میزان C_i^* می‌باشد به این صورت که $C_i^* = 1$ نشان‌دهنده‌ی بالاترین رتبه و $C_i^* = 0$ نشان‌دهنده‌ی کمترین رتبه است.

۲-۳-نتایج و بحث

۲-۳-۱ - ارزیابی و تعیین اولویت استراتژی‌ها

در این قسمت با تجمیع[1] نظرات کارشناسان مختلف و اجرای روش تحلیل مقداری چانگ وزن معیارهای ارزیابی و امکان پذیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب محاسبه شد. نتایج حاصله در جدول (۳) آورده شده است.

ستون های دوم و ششم جدول (۳) وزن هر یک از معیارها را نشان می‌دهند. نتایج بیانگر آن است که در گروه اول، معیار اهمیت با وزن نسبی ۰/۳۲۶ تأثیرگذارترین معیار در ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره وری آب می‌باشد. معیارهای اضطراری بودن با وزن ۰/۲۱۲، اثر بر بحران آب با وزن ۰/۱۷۷ و فواید مشترک با وزن ۰/۱۵۵ و بدون پشیمانی با وزن ۰/۱۳۰ به ترتیب در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار می‌گیرند. همچنین با بررسی ستون ششم جدول (۳) مشخص می شود که در گروه دوم معیار پیچیدگی‌های نهادی با ۰/۵۷۵ بالاترین وزن را دارد. پیچیدگی های فنی و پیچیدگی‌های اجتماعی نیز به ترتیب با وزن های ۰/۲۲۴ و ۰/۲۰۱ در رتبه های بعدی قرار دارند. در ستون سوم، چهارم، هفتم و هشتم جدول (۳) نسبت سازگاری بر اساس روش پیشنهادی گاگوس بوچر (۱۹۹۸) برای معیارهای مختلف محاسبه شد. مشاهده می‌شود که تمامی نسبت‌های سازگاری محاسبه شده کمتر از ۰/۱ می‌باشند، بنابراین مقایسه‌های زوجی دو گروه معیارها، کاملا سازگار بوده‌اند.

1-Aggregation

جدول (۳): وزن معیارهای ارزیابی و امکان پذیری استراتژی های بهبود بهره وری آب کشاورزی

معیارهای گروه اول	وزن	CR^m	CR^g	معیارهای گروه دوم	وزن	CR^m	CR^g
اهمیت	۰/۳۲۶	۰/۰۴۸	۰/۰۰۵	پیچیدگی های نهادی	۰/۵۷۵	۰/۰۰۳	۰/۰۳۲
اضطراری بودن	۰/۲۱۲						
فواید مشترک	۰/۱۵۵			پیچیدگی های اجتماعی	۰/۲۰۱		
بدون پشیمانی	۰/۱۳۰						
اثر بر بحران آب	۰/۱۷۷			پیچیدگی های فنی و تکنیکی	۰/۲۲۴		
جمع	۱				۱		

جدول (۴): اولویت بندی استراتژی های بهبود بهره وری آب کشاورزی براساس گروه اول معیارها

استراتژی	امتیاز	رتبه	استراتژی	امتیاز	رتبه
سیاست قیمت گذاری آب	۰/۸۰۲	۱	خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)	۰/۵۱۰	۱۸
نصب کنتور و تحویل حجمی آب	۰/۷۹۰	۲	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت	۰/۵۰۷	۱۹
ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)	۰/۷۶۸	۳	تاریخ کاشت مناسب	۰/۵۰۶	۲۰
استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.	۰/۷۶۱	۴	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک	۰/۵۰۳	۲۱
استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر	۰/۷۶۰	۵	تسطیح اراضی	۰/۴۹۴	۲۲
تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)	۰/۷۴۷	۶	احداث استخر در مزرعه	۰/۴۸۹	۲۳
استفاده از آبیاری زیرسطحی	۰/۶۳۵	۷	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه	۰/۴۸۱	۲۴
ایجاد پلیس آب	۰/۶۲۶	۸	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی	۰/۴۶۲	۲۵
استفاه مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه	۰/۶۲۳	۹	تلفیق آب شور و شیرین	۰/۴۶۰	۲۶
بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)	۰/۵۸۸	۱۰	کاهش نقوذ عمقی آب	۰/۴۵۲	۲۷
استفاده چند گانه از آب	۰/۵۸۰	۱۱	افزایش حاصلخیزی خاک	۰/۴۳۸	۲۸
استفاده از سیستم آبیاری قطره ای (Tape)	۰/۵۷۸	۱۲	پوشش انهار	۰/۳۷۳	۲۹
توسعه کشت گلخانه‌ای	۰/۵۲۸	۱۳	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم	۰/۳۶۳	۳۰
خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)	۰/۵۱۸	۱۴	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش	۰/۱۳۵	۳۱
استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل- موو	۰/۵۱۶	۱۵	مبارزه با علف های هرز	۰/۰۸۵	۳۲
استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند	۰/۵۱۵	۱۶	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی	۰/۰۷۶	۳۳
تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)	۰/۵۱۲	۱۷			

در این قسمت، از وزن‌های معیارها که با کمک روش تحلیل مقداری بدست آمده و همچین امتیاز استراتژی های بهبود بهره وری آب برای معیارهای مختلف، به منظور رتبه بندی این استراتژی ها، در دو گروه مختلف از معیار ها استفاده شد. به این منظور وزن‌های محاسباتی و عملکردها وارد برنامه تاپسیس شدند. نتایج نهایی حاصل ازعملکرد ها و محاسبات مربوط به رتبه بندی نهایی هر استراتژی برای دو گروه از معیار ها در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.

با توجه به جدول (۴) مشاهده می‌شود که براساس گروه اول معیارها، استراتژی«سیاست قیمت گذاری آب» با امتیاز ۰/۸۰۲ از بالاترین اولویت بر خوردار است. بعد از آن استراتژهای «نصب کنتور و تحویل حجمی آب» و«ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)» به ترتیب با امتیاز های ۰/۷۹۰ و ۰/۷۶۸ رتبه های دوم و سوم را در اختیار دارند. همچنین استراتژی «مبارزه با آفات و بیماری گیاهی» نیز با امتیاز ۰/۰۷۶ پایین ترین اولویت را در بین ۳۳ استراتژی بهبود بهره وری آب کشاورزی دارا می باشد.

وجود نظام کنترلی دقیق و مقتدر در بخش بهره برداری آب کشور (ایجاد پلیس آب) می‌تواند نقش بسزایی در بهبود بهره وری آب داشته باشد. به عبارت دیگر این استراتژی نسبت به سایر استراتژی‌های بررسی شده از ویژگی‌های موثرتری جهت کاهش اثرات بحران آب برخوردار می‌باشد. به طور کلی با توجه به نتایج بدست آمده از رتبه‌بندی استراتژی‌ها بر اساس معیارهای گروه اول مشخص می‌شود که سه استراتژی سیاست قیمت گذاری آب، نصب کنتور و تحویل حجمی آب و ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب) از اولویت بالاتری برخوردارند و همچنین اضطرار و ضرورت به کارگیری سریعتر این استراتژی‌ها جهت مدیریت بحران آب آشکار می‌گردد. بعلاوه به کارگیری این سه استراتژی منجر به ایجاد فواید مشترک بیشتری با سایر بخش‌ها خواهد شد و صرف نظر از وجود پدیده بحران آب می توان این استراتژی‌ها را به کار گرفت.

بر اساس جدول (۵)، با توجه به گروه دوم معیارها (پیچیدگی‌های نهادی، پیچیدگی‌های اجتماعی و پیچیدگی‌های فنی و تکنیکی) استراتژی«استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر» با امتیاز ۰/۹۱۰ از بالاترین اولویت بر خوردار است. همچنین استراتژی های «ایجاد پلیس آب» و «تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)» با امتیاز ۰/۸۸۳ و ۰/۸۶۷ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. استراتژی «تسطیح اراضی» نیز با امتیاز ۰/۲۶۸ پایین ترین اولویت را در بین ۳۳ استراتژی بهبود بهره وری آب کشاورزی دارا می باشد.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده و تعاریف انجام شده از پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی مشخص می‌گردد که سه استراتژی استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر، ایجاد پلیس آب و تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر) از پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی کمتری برخوردار هستند. به عبارت دیگر امکان اجرای این سه استراتژی به منظور بهبود بهره‌وری آب کشاورزی نسبت به استراتژی‌های دیگر بیشتر می‌باشد. همچنین سه استراتژی برتر با توجه به معیارهای گروه اول، بر اساس معیارهای گروه دوم به ترتیب در رتبه‌های ۵، ۲۰ و ۱۳ قرار گرفتند. به بیان دیگر اگر چه این سه استراتژی در جهت بهبود بهره‌وری آب کشاورزی از دیدگاه کارشناسان از اثربخشی بالاتری برخوردار هستند اما به دلیل پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی امکان اجرای این استراتژی‌ها کمتر می‌باشد.

جدول (۵): اولویت بندی استراتژی های بهبود بهره وری آب کشاورزی براساس گروه دوم معیارها

استراتژی	امتیاز	رتبه	استراتژی	امتیاز	رتبه
استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر	۰/۹۱۰	۱	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی	۰/۶۷۵	۱۸
ایجاد پلیس آب	۰/۸۸۳	۲	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه	۰/۶۷۴	۱۹
تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)	۰/۸۶۷	۳	نصب کنتور و تحویل حجمی آب	۰/۶۰۶	۲۰
تاریخ کاشت مناسب	۰/۸۳۷	۴	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک	۰/۵۹۹	۲۱
سیاست قیمت گذاری آب	۰/۸۲۳	۵	توسعه کشت گلخانه‌ای	۰/۵۸۹	۲۲
افزایش حاصلخیزی خاک	۰/۸۱۵	۶	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای (Tape)	۰/۵۸۴	۲۳
مبارزه با علف های هرز	۰/۸۱۱	۷	احداث استخر در مزرعه	۰/۵۵۲	۲۴
تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)	۰/۷۸۹	۸	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل- موو	۰/۵۴۶	۲۵
پوشش انهار	۰/۷۵۷	۹	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت	۰/۵۳۷	۲۶
استفاده چند گانه از آب	۰/۷۴۵	۱۰	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم	۰/۵۳۵	۲۷
تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی	۰/۷۳۳	۱۱	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)	۰/۵۲۵	۲۸
استفاده از آبیاری زیرسطحی	۰/۷۳۱	۱۲	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش	۰/۴۶۶	۲۹
ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)	۰/۷۲۸	۱۳	استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.	۰/۳۶۴	۳۰
کاهش نقوذ عمقی آب	۰/۷۱۲	۱۴	خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)	۰/۲۸۶	۳۱
تلفیق آب شور و شیرین	۰/۶۸۸	۱۵	خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)	۰/۲۷۶	۳۲
استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند	۰/۶۸۶	۱۶	تسطیح اراضی	۰/۲۶۸	۳۳
استفاه مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه	۰/۶۸۵	۱۷			

فصل سوم

بررسی اثربخشی استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره وری آب

۳-۱- مقدمه

دامنه وسیعی از روشها برای سنجش و ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب بکارگرفته شده است، که به شیوه‌های مختلف می‌توان آنها را طبقه بندی کرد. در این تحقیق به پیروی از روتان[1] (۲۰۰۲) و شیرلینک و همکاران[2] (۲۰۱۴) آنها را به چهار گروه اصلی تفکیک کرده‌ایم: شاخص بهره‌وری تک عاملی[3]، شاخص‌های بهره‌وری کل عوامل[4]، مدلهای مرزی[5] و روشهای قیاسی[6].

شاخص یا نسبت بهره‌وری تک عاملی (بهره‌وری جزیی هم نامیده می‌شود)، تولید یا محصول را تنها به یک نهاده مربوط می‌کند و محاسبه آن هم آسان است. اما روش با محدودیتهایی روبرو است؛ از جمله اینکه براساس میانگین و نه تولید نهایی می‌باشد و چون محاسبه این شاخص تحت تأثیر میزان استفاده از نهاده دیگر (به غیر از آب) است، قادر به ارائه تصویر دقیقی از عوامل مؤثر بر تغییرات بهره‌وری نمی‌باشد. نسبت بهره‌وری تک عاملی به صورت شاخص CPD[7] به طور گسترده در ادبیات دانش مهندسی آبیاری رواج داشته و دارد. در مقابل ادبیات اقتصادی در زمینه کارایی و بهره‌وری، عمدتاً شامل شاخص TFP و مدلهای مرزی است. از مزایای شاخص TFP این است که تنها آب را در نظر نمی‌گیرد بلکه سایر نهاده‌های موجود در فرآیند تولید را در محاسبه منظور می‌کند (Coelli et al., 2005). بنابراین شاخص TFP (دومین گروه از روش‌ها)، بطور خاص با تمامی نهاده‌های فرآیند تولید سر و کار دارد و در حقیقت مقایسه یک محصول یا شاخص محصول تجمیع شده به شاخص تجمیع شده نهاده‌ها می‌باشد. از آنجا که روشهای مختلفی برای تجمیع کردن محصولات و نهاده‌ها وجود دارد (شاخص لاسپیرز، شاخص پاش، شاخص فیشر و ...)، بر مبنای آنها می‌توان شاخص‌های مختلف TFP را بدست آورد.

شاخص TFP به اطلاعات قیمت و مقدار محصولات و نهاده‌های دخیل در تولید، نیاز دارد و به طور ضمنی فرض می‌کند که تمامی بنگاه‌ها کارا هستند. بنابراین تغییرات TFP در طول زمان مربوط به تغییر تکنولوژیکی است.

---

1 - Ruttan
2 - Scheierling
3 - Single- Factor Productivity Measures
4 - Total-Factor Productivity Indices
5 - Frontier Models
6 - Deductive Methods
7 - Crop Per Drop

سومین گروه از روشها، مدلهای مرزی است که کارایی را به صورت کاهش بالقوه نهاده یا افزایش بالقوه محصول نسبت به بهترین عملیات یا مرز کارا، اندازه‌گیری می‌کند. روش‌های تخمین تابع مرزی به دو گروه، روشهای پارامتریک و ناپارامتریک طبقه بندی می‌شوند. روش پارامتریک بر تصریح یک فرم تابعی (یک مرز تولید) و تخمین پارامترهای آن با روش اقتصادسنجی تکیه دارد. حال آنکه روش ناپارامتریک از روش‌های برنامه ریزی ریاضی برای ساختن یک سطح یا مرز استفاده می‌کنند. روش معمول برای تخمین این مرز یا سطح، روش DEA[1] (Latruffe, 2010) است. تابع تولید مرزی پارامتریک خود به دو صورت تحلیل می-شود، تحلیل مرزی قطعی[2] که هر نوع انحراف از مرز، به دلیل عدم کارایی فرض می‌شود و تحلیل مرزی تصادفی[3] (SFA) که امکان اخلال‌های تصادفی را میسر می‌سازد (Scheierling et al., 2014).

گروه چهارم که در ادبیات کارایی و بهره‌وری کشاورزی کمتر در مورد آن بحث شده است، اما بخش مهمی از ادبیات اقتصادی آب و آبیاری و کشاورزی را تشکیل می‌دهند، روشهای قیاسی نام دارد (Yong, 2005) و شامل مدل‌های برنامه ریزی ریاضی، مدلهای اقتصادی-هیدرولوژیکی، مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) و ارزش باقیمانده[4] می‌باشد. بر خلاف روش‌هایی که از مشاهدات انفرادی، تعمیم‌های برای کل و جامعه استنباط می‌شود، در مدل-های قیاسی، مدل‌های ساخته شده‌ای که شامل یک مجموعه فرضیات و پذیره (نظیر حداکثر کردن سود یا مطلوبیت) می‌باشند را به کار می‌گیرند تا به نتیجه خاصی از یک قضیه یا بنیاد کلی برسند (Scheierling et al. 2014). این مدلها برای بررسی سناریوهای مختلف، تحلیل سیاستها و ارزیابی و برنامه‌ریزی پروژه بسیار مفید هستند.

۳-۲- مروری بر ادبیات موضوع

در این قسمت مطالعاتی مرور خواهند شد که یکی از این چهار گروه روشها را به کار گرفته باشند. یکی از مهمترین یافته‌های حاصل از مرور مطالعات، این است که بیشتر مطالعات

1 - Data Envolopment Analysis
2 - Deterministic Frontier Analysis
3 - Stochastic Frontier Analysis
4 - Residual Imputation

موجود که در سطح مزرعه یا حوضه آبریز انجام شده‌اند، تنها بر یک نهاده (آب) متمرکز بوده‌اند، بنابراین از روش تک عاملی استفاده کرده‌اند. اما اگر روش چند عاملی (TFP یا مدلهای مرزی) بکار گرفته شده، این مطالعه در سطح حوضه آبریز نبوده است و تنها در سطح مزرعه انجام شده است. همچنین این نتیجه حاصل می‌شود که روشهای قیاسی، دارای این انعطاف پذیری هستند که بر بسیاری از محدودیتهای سایر روش‌ها فایق آیند.

۳-۲-۱- مطالعات انجام شده با روش بهره‌وری تک عاملی

استفاده از شاخص بهره‌وری تک عاملی در ادبیات آبیاری عمومیت دارد و با کار سکلر[1] (۱۹۹۶) آغاز شده است. ایشان اشاره می‌کنند که مفهوم کلاسیک کارایی آبیاری که به صورت نسبت آب مصرف شده به وسیله گیاه به کل آب بکار برده شده، تعریف می‌شود و در مهندسی آبیاری بطور گسترده استفاده می‌شود، برای مدیریت تقاضای آب در سطح حوضه آبریز، ناکافی است. چون آبی که به وسیله گیاه مصرف نمی‌شود، ضرورتاً بر اساس چشم انداز حوضه آبریز، هدر نمی‌رود، بلکه این جریان‌های بازگشتی، منبع مهمی برای استفاده کننده‌های پایین دست می‌باشند. بنابراین بهبود کارآیی آبیاری در سطح مزرعه، ممکن است به مفهوم صرفه جویی حقیقی آب در سطح حوضه آبریز نباشد. به همین دلیل سکلر (۱۹۹۶) توصیه می‌کند که بر بهبود کارایی آبیاری کمتر تمرکز شود و بیشتر به افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی پرداخته شود. ایشان بدون ارائه تعریف دیگری برای بهره‌وری آب کشاورزی، از اقداماتی برای بهبود آن نظیر افزایش محصول به ازای هر واحد آب مصرفی، کاهش آب از دست رفته، کاهش آلودگی آب، تخصیص مجدد آب از کاربریهای با ارزش کم به کاربریهای با ارزش بیشتر، نام می‌برد. به دنبال سکلر (۱۹۹۶)، سایر محققین عمدتاً محققین انستیتو بین المللی مدیریت آب (IWMI)، تعاریفی را برای بهره‌وری آب کشاورزی پیشنهاد کردند
(Molden, 1997; Molden and Sakthivadivel, 1999; Molden and Owies,2007)
این تعاریف مرتباً اصلاح شد و در مطالعات مختلفی در ادبیات آبیاری مورد استفاده قرار گرفت.

بهره‌وری آب در کشاورزی به صورت میزان محصول کشاورزی به ازای هر واحد حجمی آب در نظر گرفته شد. صورت کسر این شاخص می‌تواند به صورت فیزیکی نظیر کیلوگرم از

1 - Seckler

محصولات کشاورزی یا عملکرد محصول قابل عرضه به بازار یا به صورت اقتصادی نظیر ارزش ریالی یا دلاری محصول تولید شده باشد. مخرج کسر نیز می‌تواند به صورت آب عرضه شده یا برداشت شده از سفره‌های آب زیرزمینی (نظیر آب مصرف شده از طریق تبخیر و تعرق و یا از دست رفته از یک محل به گونه‌ای که براحتی قابل استفاده مجدد نباشد) باشد.

بنابراین وقتی که صورت و مخرج شاخص بهره‌وری انتخاب شد، تصمیمات لازم در مورد اینکه کدام محصول و کدام قطره لحاظ شود، باید اخذ گردد، اینکه مطالعه در چه مقیاسی (مزرعه، سیستم آبیاری یا حوضه آبریز) انجام شود و ذینفعان آن کدامند و داده‌های لازم چگونه در دسترس قرار گیرند، از موارد دیگری است که باید به آنها پرداخته شود. بعنوان مثال پیشنهاد شده است که در سطح مزرعه نسبت کیلوگرم عملکرد به تبخیر و تعرق، مناسب است. در حالی که در سطح حوضه آبریز نسبت ارزش ریالی به آب مصرفی مناسب است (Scheierling et al. 2014).

مروری بر مطالعات روش بهره‌وری تک عاملی نشان می‌دهد که شیوه‌های مختلف برای اندازه‌گیری بهره‌وری آب کشاورزی، برای محصول، حوضه آبریز، کشور، منطقه و دوره‌های زمانی با هدف تشخیص عوامل کلیدی و ارائه توصیه‌هایی برای ارتقاء بهره‌وری انجام شده است. بسته به تعریف بهره‌وری آب انتخاب شده و حتی با تعریف یکسان از بهره‌وری آب، تفاوت‌های قابل توجهی در سنجش بهره‌وری آب در فضا و مکان مطرح شده است. به عنوان مثال بهره‌وری آب برای گندم در یکی از دشتهای ایران از ۰/۷۶ تا ۰/۹۸ کیلوگرم در مترمکعب تبخیر و تعرق گزارش شده است. در حالی که این نسبت ۱/۱۱ تا ۱/۲۶ است وقتی که عملکرد نسبت به مترمکعب تعرق اندازه‌گیری شود (Vazife doust et al. 2008). بیشتر مطالعات از چنین یافته‌هایی، برای بیان این منظور که چه گستره وسیعی برای افزایش عملکرد یا صرفه جویی آب وجود دارد، استفاده کرده‌اند. هرچند توضیحات زیادی برای تفاوت‌ها، ارائه شده است اما معمولاً نسبت به معنی داری و مقدار عوامل مؤثر که ممکن است تغییرات را موجب شده باشند، تحلیل بیشتری صورت نگرفته است.

تعدادی از محققین، روش و فرضیات ارائه شده از سوی محققین دیگر را نقد کرده‌اند. از جمله بارکر و همکاران[1] (۲۰۰۳) اشاره می‌کنند که هرچند بهره‌وری آب ممکن است که ذاتاً هدف خوبی باشد، اما امکان دارد که بر اساس دیدگاه زارعین یا از بعد اقتصادی، این هدف از توجیه لازم برخوردار نباشد. مثلاً برای افزایش بهره‌وری آب ممکن است به سایر نهاده‌ها و کارگر بیشتر نیاز باشد که از لحاظ اقتصادی و اثربخشی هزینه‌ای، قابل قبول نباشد. در ادامه تعدادی از مطالعات انجام شده با روش بهره‌وری تک عاملی با جزییات بیشتر مرور می‌شود.

به طور سنتی، بهره‌وری آب از اندازه‌گیری عملکرد محصول آب مصرفی در مزارع زارعین یا ایستگاه‌های تحقیقاتی بدست می‌آیند. چنین مطالعاتی تلاش دارند که مقدار سایر نهاده‌های فرآیند تولید را کنترل کنند. به طور کلی این روش‌ها زمان و منابع بر هستند و نتایج آنها براحتی قابل تعمیم به سایر شرایط و مناطق نیست. مطالعه‌ی اربات و همکاران[2] (۲۰۱۰) مثالی برای این نوع مطالعات است که اثر آبیاری قطره‌ای زیرسطحی را بر بهره‌وری آب (عملکرد ذرت با ۱۵/۵ درصد رطوبت بر کل آب مصرفی) در کانزاس آمریکا مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اثر معنی‌داری بر بهره‌وری آب در منطقه مورد مطالعه ندارد.

زوارت و باستیانسن[3] (۲۰۰۴) در یک فراتحلیل، ۸۴ مطالعه را که زمان انجام آنها، کمتر از ۲۵ سال بود، مورد بررسی قرار دادند. شاخص بهره‌وری آب اندازه گیری شده در این مطالعات، عملکرد قابل عرضه به بازار نسبت به تبخیر و تعرق واقعی برای محصولات عمده (گندم، برنج، پنبه و ذرت) بوده است. اولین نتیجه‌ای که از این بررسی بدست آمد، ناظر بر این موضوع بود که دامنه بهره‌وری آب برای این محصولات در تمامی حالات، بیش از ارقامی است که به وسیله FAO گزارش شده بود. میانگین اندازه گیری شده جهانی بهره‌وری آب بر اساس نتایج ۸۴ مطالعه مرور شد، برای گندم، برنج، پنبه (بذر) پنبه (الیاف) و ذرت به ترتیب ۱/۰۹ ، ۱/۰۹، ۰/۶۵، ۰/۲۳ و ۱/۸ کیلوگرم در مترمکعب بود، اما دامنه تغییرات بسیار گسترده است به گونه‌ای که این دامنه برای گندم (۰/۶ تا ۱/۷)، برای برنج (۰/۶ تا ۱/۶)، برای پنبه (بذر) (۰/۴۱ تا ۰/۹۵)، برای پنبه (الیاف) (۰/۱۴ تا ۰/۳۳) و برای ذرت (۱/۱ تا ۲/۷) کیلوگرم در مترمکعب

1 - Barker et al.
2 - Arbat et al.
3 - Zwart and Bastiaanssen

می‌باشد. محققین این یافته‌ها را اینگونه تفسیر کردند که فرصت‌های زیادی برای افزایش تولیدات کشاورزی با ۲۰-۴۰ درصد منابع آب کمتر وجود دارد. بدون تحلیل عمیق آنها سه عامل را که رابطه بین آب، گیاه و خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد را به عنوان کلیدی برای توضیح نوسانات زیاد، مطرح کردند. این عوامل عبارت بودند از: اقلیم، مدیریت آب آبیاری و مدیریت خاک

پاره‌ای از مطالعات از مدل‌های اگروهیدرولوژی (زراعی- هیدرولوژیکی) همراه با داده‌های اندازه گیری شده جهت تخمین بهره‌وری آب کشاورزی استفاده کرده‌اند. مانند تحقیق انجام شده بوسیله وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸) که از مدل SWAP کالیبره شده برای یکی از دشتهای ایران، استفاده کرده‌اند.

شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب برای جهار محصول کلیدی ترکیه تخمین زده شد. محققین دریافتند که تفاوت قابل توجه میان شاخص‌ها (عملکرد در هکتار، به تبخیر و تعرق، عملکرد در هکتار بر آب بکار رفته)، نشان دهنده ضرورت جایگزین کردن سیستم‌های آبیاری سنتی یا سیستم‌های آبیاری کاراتر است (شیرلینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

بعضی از مطالعات نیز مدلسازی زارعی- هیدرولوژیکی را با اطلاعات فراهم آمده از حساسگر و GIS برای ارزیابی بهره‌وری آب در مقیاس‌های بزرگتر ، تلفیق کردند. بعنوان مثال وان دم و همکاران[1] (۲۰۰۶) که از مدل SWAP برای محاسبه بهره‌وری آب در دشتهای هند استفاده کردند.

آبسالان و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه خود به محاسبه بهره‌وری آب محصول گندم در منطقه دشت آزادگان استان خوزستان پرداختند. براساس یافته‌های این تحقیق بهره‌وری آب گندم از ۰/۲۴ تا ۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب برای مناطق با آب و خاک شور تا نسبتا مطلوب متغیر است.

منتظر و کوثری (۲۰۰۷) بهره‌وری آب برنج، ذرت، پنبه، یونجه و سیب‌زمینی در کشور را به ترتیب ۰/۴۲، ۱/۱۷، ۰/۶، ۰/۸۹ و ۲/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

1 - Van Dam et al.

بر اساس اسناد برنامه چهارم توسعه، بهره‌وری آب در سال پایه (۱۳۸۳) حدود ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب و در سال پایان برنامه (۱۳۸۸) حدود ۰/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب نشان داده شده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳).

کمیته ملی آبیاری وزهکشی ایران(۱۳۸۲) بهره وری کل تولید کشاورزی را از طریق شاخص های مختلف از جمله عملکرد به ازای واحد حجم آب، سود ناخالص و خالص در ازای مصرف واحد حجم آب مورد بررسی قرار داده است. براساس این بررسی بهره‌وری کل تولیدات کشاورزی برای سال زراعی ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۰-۱۳۷۹ در حدود ۰/۶۳ و ۰/۶۶ کیلوگرم در ازای مصرف هر مترمکعب می‌باشد. همچنین در این بررسی بهره وری آب در شبکه آبیاری گیلان، دز، مغان با شاخص های فوق الذکر مورد بررسی قرار گرفته است. بهره وری آب با شاخص های عملکرد به ازای واحد حجم آب، سود ناخالص و خالص در ازای مصرف برای واحد حجم آب برای شبکه گیلان برای سال ۱۳۸۱ به ترتیب ۰/۲۸۵ کیلوگرم، ۱۱۴۰ ریال و ۳۱۸ ریال در ازای هر مترمکعب آب، برای شبکه دز در سال ۱۳۸۰ در حدود ۱/۰۷ کیلوگرم ،۳۴۴ ریال و ۱۵۲ ریال در ازای مصرف واحد آب و برای شبکه مغان به ترتیب ۰/۸۲ کیلوگرم، ۷۰۲ ریال به ازای مصرف هر مترمکعب آب برآورد شده است.

جعفری و همکاران (۱۳۸۴) برای مزارع سیب زمینی استان همدان، با محاسبه شاخص-های فیزیکی و اقتصادی آب، سیستم های آبیاری تحت فشار این منطقه را تحلیل کرده اند . طبق نتایج این تحقیق، سیستم آبیاری تحت فشار، بیشترین درآمد اقتصادی در هر هکتار معادل ۴۲۰۷ ریال بر متر مکعب آب را ایجاد کرده است.

سلیمانی و حسنلی (۱۳۸۷) محاسبه ارزش افزوده هر متر مکعب آب برای محصولات عمده منطقه داراب از جمله گندم، ذرت، پنبه و پرتقال را گزارش کرده اند. طبق نتایج به دست آمده، ارزش افزوده آب برای محصولات مذکور به ترتیب ۵۴۸/۴، ۶۵۲/۲، ۳۹۱/۸ و ۹۸۴/۶ ریال بر متر مکعب آب بوده است.

سلطانی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای از هر دو شاخص فیزیکی و اقتصادی برای محاسبه بهره وری آب برخی محصولات زراعی استفاده کرده اند. نتایج تحقیق آنها نشان می-دهد که هر ۱۰۰۰ لیتر آب مصرفی برای محصولات گوجه فرنگی، گندم، جو، ذرت، چغندرقند به ترتیب ۲۳۴۵، ۷۴۰، ۳۹۶، ۳۴۸ و ۸۳ ریال ارزش خالص ایجاد کرده اند.

سپه وند (۱۳۸۸) به مقایسه بهره وری آب مصرفی گندم و کلزا در استان لرستان پرداخته است. طبق این نتایج، بهره وری فیزیکی آب به ترتیب ۱/۶۴ و ۰/۶کیلوگرم بر متر مکعب آب بوده است.

کشاورز و دهقانی سانیچ (۱۳۹۱) در مطالعه خود بیان داشتند که بهره‌وری آب کشاورزی در کشور در حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب مصرف آب است که بر اساس برنامه‌ریزی‌های بلندمدت تا سال ۱۴۰۴ باید به حداقل ۱/۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب افزایش یابد. اختلاف در بهره‌وری آب محصولات مختلف در استان‌های مختلف کشور و مقایسه با کشورهای مختلف ولی با شرایط اقلیمی مشابه نشان دهنده وجود پتانسیل برای افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است.

وردی نژاد و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه خود به برآورد بهره‌وری آب در شبکه آبیاری حوضه آبریز زاینده‌رود پرداختند. برای این منظور بهره‌وری آب برای دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ محاسبه گردید. متوسط بهره وری شبکه برای دو سال فوق به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. همچنین متوسط بهره وری بر اساس محصول پایه گندم در دو سال فوق به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید. بر اساس هزینه‌های تولید آب و قیمت فروش محصول، متوسط بهره‌وری اقتصادی آب و سود خالص به ازاری هر واحد آب مصرفی برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ به ترتیب ۱۰۶۰/۸ و ۴۱۹/۶ ریال بر مترمکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۲۳۹۲/۹ و ۶۶۶/۷ ریال به ازای مترمکعب محاسبه گردید.

اویس (۱۹۹۷) بهره‌وری فیزیکی گندم در مناطق مختلف سوریه را در شرایط متفاوت آبیاری بررسی و گزارش نمود. این بهره وری، دامنه تغییراتی ۱/۵ تا ۶ تن در هر هکتار را نشان داده است.

بر اساس گزارش فائو (۲۰۰۳) بهره‌وری آب گندم، برنج، پنبه و ذرت در سال ۲۰۰۲ در کشور مصر به طور متوسط برابر با ۱/۰۳، ۰/۵۵، ۰/۲۸ و ۰/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است که مقدار آن در ایران در همان سال برابر با ۰/۵، ۰/۳۲، ۰/۱۶ و ۰/۴۹ گزارش شده است.

مولدن و همکاران (۲۰۰۱) ارزش اقتصادی بهره وری آب در دو سیستم آبیاری در جنوب آسیا برای گندم را بین۰/۰۷ تا ۰/۱۷ دلار برای هر مترمکعب آب برآورد کرده است. ایشان در

گزارشی دیگر ارزش اقتصادی ۲۳ شبکه آبیاری در ۱۱کشور در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین را برآورد نموده است. براساس محاسبات نامبرده، ارزش بهره‌وری اقتصادی یک شبکه آبیاری در هند در حدود ۰/۳ دلار به ازای هر مترمکعب آب، در بورکینا فاسو ۰/۹۱ دلار در ازاری هر مترمکعب برآورد گردیده. تغییرات زیاد در برآورد بهره وری به لحاظ اثرات شرایط محلی محیطی و اگرونومیکی است.

کای و روزگرانت (۲۰۰۳) روند تغییرات بهره‌وری آب را برای زراعت برنج و دیگر غلات طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۵ میلادی در مقیاس بین‌المللی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ابتدا میزان عملکرد و آب مصرفی با مدل IMPACT-WATER که توسط موسسه تحقیقات بین‌المللی سیاست غذا (IFPRI) ارائه شده است محاسبه و سپس بهره‌وری آب تعیین شد. بر اساس این مطالعات روند تغییرات بهره‌وری آب برنج در کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای توسعه یافته بوده و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ میلادی مقدار آن در هر دو سری کشورها یکسان باشد ولی در مجموع روند افزایش بهره‌وری برنج بسیار کند است و پیش‌بینی می‌شود مقدار فعلی ۰/۴۴ به حداکثر مقدار ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب در سال ۲۰۲۵ برسد. بهره‌وری آب سایر غلات، دارای رشد افزایشی بیشتری است و پیش‌بینی می‌شود مقدار آن در کشورهای توسعه یافته از ۱ به ۱/۴ و در کشورهای در حال توسعه از ۰/۷ به ۱/۱ افزایش یابد. این افزایش در تمام مناطق مختلف وجود دارد. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که طی سال‌های ۲۰۲۵-۱۹۹۵ میلادی سطح زیرکشت غلات حداکثر ۱۰ درصد افزایش می‌یابد در حالی که میزان آب برداشتی از منابع آب در حدود ۲۳ درصد افزایش خواهد یافت که بیشتر برای مصارف غیرکشاورزی خواهد بود. پیش‌بینی می‌شود مقدار بهره‌وری آب غلات در اراضی دیم در دوره زمانی ۲۰۲۵-۱۹۹۶ میلادی بین ۱/۴ تا ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر باشد. در حالی که بهره‌وری آب زراعت‌های آبی با توجه به روند توسعه تولید بذرهای با مشخصات مقاوم به انواع تنش‌های محیطی، شاخص برداشت بالا، عملکرد بالا در واحد سطح و طول دوره رشد کوتاه‌تر از ۱ به ۱/۴ افزایش خواهد یافت.

موسسه تحقیقاتی دیده بان آب[1] در یک پروژه تحقیقاتی، بهره وری اقتصادی آب برخی محصولات زراعی در هند را بررسی نموده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که گندم، برنج و پنبه به ترتیب ۵/۸، ۶/۴ و ۲۱/۵ روپیه به ازای هر کیلوگرم بهره وری اقتصادی داشته اند.

سینگ و همکاران (۲۰۰۶) بهره وری فیزیکی آب را برای محصولات گندم، برنج و پنبه در کشور هند محاسبه کردند. نتایج این تحقیق حاکی از آنست که محصولات مذکور به ترتیب ۱/۰۴، ۰/۸۴ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب بهره وری داشته اند.

محققین دریافته‌اند که می‌توان نسبت عملکرد به تبخیر و تعرق برای محصولات عمده نظیر گندم و برنج را با حساسگرها به صورت ارزان بدست آورد، اما روشهای مدلسازی منابع بر، اجازه می‌دهند که بهره‌وری آب در تعریف‌های کاملتر تخمین زده شوند و اثرات سناریوهای مدیریتی نیز ارزیابی شوند (شیرلینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

بعضی از مطالعات بهره‌وری آب محصولات را در مقیاس جهانی مدلسازی کرده‌اند. به عنوان مثال لیو و همکاران[2] (۲۰۰۷) با تلفیق GIS و مدل EPIC، بهره‌وری آب برای گندم را در مقیاس جهانی بدست آوردند. بهره‌وری آب تخمینی به طور معنی داری در داخل و بین کشورها ،متفاوت بود. در کشورهای اروپای غربی، بهره‌وری آب نسبتاً بالا ($>۱/۲ kgm^{-3}$) در حالی که در کشورهای افریقایی پایین ($<۰/۴ kgm^{-3}$) بود. بر این اساس و با توجه به تفاوت بهره‌وری آب مشاهده شده، نتیجه گیری می‌شود که آب مصرفی جهانی از طریق تجارت جهانی می‌تواند کاهش یابد.

لیو و همکاران (۲۰۰۷) بهره وری فیزیکی آب در محصول ذرت را برای ۱۲۴ کشور مختلف محاسبه و گزارش کرده اند. طبق نتایج این تحقیق، کشورهای امریکا و چین با بیش از ۱/۵ و کشورهای آفریقایی با کمتر از ۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب به ترتیب بیشترین و کمترین بهره وری فیزیکی آب را داشته اند. البته لازم به ذکر است که در تحقیقات فوق الذکر چندان به مقایسه و رتبه بندی مناطق مختلف پرداخته نشده است.

زوات و همکاران[3] (۲۰۱۰b، ۲۰۱۰a) مدلی به نام WATPRO را توسعه دادند که بر اساس حساسگرها، مجموعه داده‌های مربوط به مصرف نهاده‌ها را استخراج و به طور مستقیم

1-Water watch
2 - Live et al.
3 - Zwart et al.

عملکرد بر تبخیر و تعرق را اندازه گیری می‌کرد. مدل برای گندم در مقیاس جهانی بکار رفت. نتایج به دست آمده بیانگر نوسانات زیاد در بهره‌وری آب محاسبه شده بود. میانگین بهره‌وری آب برای گندم در کشورهای مورد مطالعه برابر با kgm^{-3} ۰/۹۳ بدست آمد.

در مطالعاتی که با استفاده از روش بهره‌وری تک عاملی انجام شده‌اند، اثر سایر عوامل بر بهره‌وری آب تنها در مطالعات کمی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. در این راستا، بلومی و ماتوسی[1] (۲۰۰۶) با استفاده از یک تابع خطی برای ارزشهای بهره‌وری آب، دریافتند که شوری آب، عامل مهمی در تفاوت‌های مشاهده شده عملکرد و بهره‌وری آب است. همچنین علاءالدین و شارما[2] (۲۰۱۳) برای توضیح تفاوت‌های بین منطقه‌ای بهره‌وری آب در تولید برنج در بنگلادش از داده‌های پانل استفاده کردند. در این مطالعه، ابتدا از تحلیل عامل برای مشخص کردن متغیرهای کلیدی استفاده شد. سپس آزمون علیت گرانجری برای تعیین نقش این متغیرها بر تغییرات بهره‌وری آب، بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که انتشار تکنولوژی، عامل علی یا علیت گرانجری بهره‌وری آب در مناطق عمده بنگلادش بوده است. آنها سپس از تخمینهای GIS استفاده کردند و نتیجه گرفتند که انتشار تکنولوژی اثر مثبتی بر تفاوت بهره‌وری آب بین منطقه‌ای داشته است در حالی که شدت کشاورزی بهره‌وری آب را کاهش می‌دهد.

نهایتاً اینکه بعضی از محققین بهره‌وری آب را برای انواع آب محاسبه کرده‌اند. از جمله بورگو و همکاران[3] (۲۰۱۶) میانگین بهره‌وری آب را برای آب آبی و کل آب مصرفی در حوضه آبریز رودخانه گودال کویر[4] به ترتیب ۱/۳۳ و ۰/۴۸ یورو در مترمکعب بدست آوردند.

۳-۲-۲- مطالعات انجام شده با روش بهره‌وری چند عاملی (شاخص TFP و مدلهای مرزی)

در حالی که سنجش بهره‌وری تک عاملی عمدتاً در ادبیات مهندسی آبیاری به کار گرفته می‌شود، سنجش‌های چند معیاری به طور خاص TFP و مدلهای مرزی در ادبیات مربوط به بهره‌وری و کارایی در اقتصاد تولید کشاورزی بر سایر روشها برتری دارند. شاخص TFP در

1 - Belloumi and Mattoussi
2 - Alauddin and Sharma
3 - Borrego et al.
4 - Guadal quivir

تعداد زیادی مطالعات تجربی عمدتاً در سطح ملی استفاده شده است اما اخیراً در سطوح پایین-تر از ملی نیز به کار رفته است. شاخص TFP معمولی، محصولات عرضه شده به بازار کالا و خدمات را در نظر می‌گیرد و مواردی مانند آب را که معمولاً در بازار مورد مبادله واقع نمی‌شوند را نادیده می‌گیرد. از دیرباز نادیده گرفتن کالا و خدمات عرضه نشده در بازار به عنوان یک مشکل در محاسبه شاخص TFP مطرح بوده است (آنتل و کاپالبو[1]، ۱۹۸۸). یکی از نتایج بدست آمده از مروری بر مطالعات بهره‌وری کشاورزی توسط دارکو و همکاران[2] (۲۰۱۳) این بوده است که مطالعات آینده باید تلاش کننده تا بتوانند اثرات آبیاری و بارندگی را بر بهره‌وری، بررسی نمایند. اما تاکنون بر اساس نتایج آلستون و پاردی[3] (۲۰۱۴) تفکیک بهره‌وری کشاورزی میان منابع مختلف به دلیل اینکه داده‌های لازم برای بسیاری از کشورها بسیار محدود است، میسر نشده است. بسیاری از محققین به طور خاص متذکر شده‌اند که قادر به لحاظ کردن مساعدت آب به عنوان یک نهاده مستقل در رشد TFP تخمینی به دلیل فقدان اطلاعات لازم نشده‌اند (به عنوان مثال وانگ و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات موجود در دو کتاب آلستون و همکاران[4] (a ۲۰۱۰) و فوگلی و همکاران[5] (a۲۰۱۰) راههای لحاظ کردن آب را در محاسبه شاخص‌های TFP نشان می‌دهند. به عنوان مثال فوگلی (a ۲۰۱۰) در مطالعه‌ای برای محاسبه TFP ، اراضی در چرخه تولیدات کشاورزی اندونزی را به اراضی آبی و دیم تفکیک کرد. در مطالعه دیگری برای محاسبه بهره‌وری کشاورزی در چین، جین و همکاران (b ۲۰۱۰[6]) هزینه-های آبیاری را جزء هزینه‌های تولید منظور کردند. آلستون و همکاران (b۲۰۱۰) به هنگام بررسی تغییرات الگوهای بهره‌وری کشاورزی در ایالات متحده، اراضی را به آبی و دیم و هزینه-های آبیاری را به عنوان هزینه‌های متفرقه در نظر گرفتند.

بنابراین همان گونه که مشاهده می‌شود آب در مطالعات مربوط به محاسبه TFP در سطح ملی یا بالاتر معمولاً نادیده گرفته شده است و در پاره‌ای موارد نیز آب آبیاری به طور غیرمستقیم از طریق اراضی آبی مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعات اندکی که TFP در

1 - Antle and Capalbo
2 - Darku et al.
3 - Alston and Pardey
4 - Alston et al.
5 - Fuglie et al.
6 - Jin et al.

سطح استان یا منطقه محاسبه شده، متغیر آب به صورت متغیر کمکی در نظر گرفته شده است.

علاوه بر شاخص‌های TFP، مدلهای مرزی نیز در ادبیات اقتصاد تولید کشاورزی اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل مرزی ابتدا توسط فارل (۱۹۵۷) جهت اندازه گیری کارایی اقتصادی مشتمل بر کارایی فنی بکار گرفته شده است. کارایی فنی توانایی بنگاه را در رسیدن به حداکثر محصول (مرز تولید) برای یک مجموعه نهاده داده شده و تکنولوژی معین نشان می-دهد. تحلیل کارایی معمولاً از طریق بکارگیری مدل مرزی، قطعی، مدل مرزی تصادفی و DEA انجام می‌شود. در رابطه با این مدلها نیز، متغیر آب آنگونه که باید مورد تأکید واقع نشده است. به گونه‌ای که از ۱۶۷ مقاله‌ای که دربازه زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۵ منتشر شده‌اند و به وسیله براو اورتا و همکاران[1] (۲۰۰۷) مرور شده‌اند، هیچ یک به موضوع آب به عنوان یک متغیر مستقل اشاره نکرده‌اند. شش مطالعه وجود دارد که آب را در تابع تولید مرزی با جزییات وارد کرده‌اند. در زیر این شش مطالعه مورد قرار گرفته‌اند:

از این مطالعه، دو مطالعه از مدل DEA ، سه مطالعه از مدل مرزی تصادفی و یک مطالعه از هر دو روش DEA و مدل مرزی تصادفی استفاده کرده‌اند. فراسر و کوردنیا[2] (۱۹۹۹) و سارکر و دی[3] (۲۰۰۴) دو مطالعه ای هستند که روش DEA را برای تخمین مرز بکار گرفته-اند. در مطالعه فراسر و کوردینا، آب بکارگرفته شده، بعنوان یک نهاده در تخمین تابع تولید مرزی شیر، حضور دارد. در مطالعه ساروکرودی، کارایی برنج کاران در روستاهای مختلف واقع در غرب بنگال هند، تخمین زده شده است. در این بررسی، روستاهای با تکنولوژی پیشرفته، روستاهایی را شامل می‌شود که دارای تسهیلات لازم برای آبیاری مزرعه هستند و از واریته‌های پربازده استفاده می‌کنند.

اکانایک و ژایاسوریا[4] (۱۹۸۷)، علی و فلین[5] (۱۹۸۹) و شیرلوند و همکاران[6] (۲۰۰۲) مدل تابع مرزی تصادفی را برای تحلیل کارایی بکار گرفته‌اند. نهایتاً اینکه وادود و وایت (۲۰۰۰)

1 - Bravo Ureta et al.
2 - Fraser and Cordina
3 - Sarker and De
4 - Ekanayake and Jayasuriya
5 - Ali & Flinn
6 - Sherlund et al.

تخمینهای کارایی فنی برای برنج کاران بنگلادش را با مدل مرزی تصادفی و DEA با هم مقایسه کردند و اثرات برخورداری از زیربناهای آبیاری را بر کارایی فنی بررسی کردند.

۳-۲-۳- مطالعات انجام شده با روشهای قیاسی

نظیر شاخص‌های TFP و مدلهای مرزی، روشهای قیاسی در گروه روشهای چندعاملی قرار می‌گیرند. آنها انعطاف پذیری بالایی در رابطه با مقیاس مطالعه دارند و می توان آنها را در سطح مزرعه، سیستم آبیاری، حوضه آبریز و حتی ملی به کار گرفت. البته اغلب این مدلها همراه با روشهای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای بررسی سناریوهای مختلف، تحلیل سیاست‌ها و روابط بین استفاده کننده‌های مختلف آب، بسیار مفید هستند.

از جمله مطالعاتی که با استفاده از روشهای قیاسی به موضوع بهره‌وری پرداخته اند می-توان به مطالعه هدی و همکاران[۱] (۱۹۷۳)، هارو و همکاران[۲] (۲۰۰۹)، لت چر و همکاران[۳] (۲۰۰۶)، تیلور و همکاران[۴] (۲۰۱۴)، ری و همکاران[۵] (۲۰۰۵) و گونتر و همکاران[۶] (۲۰۱۲) اشاره کرد.

با توجه به اینکه در این تحقیق، باید اثربخشی استراتژیها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب بررسی شود چاره‌ای جز استفاده از مدلهای برنامه ریزی ریاضی که در گروه روشهای قیاسی قرار می‌گیرند، وجود ندارد. اما شاخص بهره‌وری محاسبه شده، شاخص تک عاملی است که حسب مورد از تقسیم عملکرد در هکتار بر میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب و یا اینکه از تقسیم ارزش محصول که برای دقت بیشتر بازده برنامه‌ای هر هکتار در نظر گرفته شده است بر میزان آب مصرفی برحسب مترمکعب به دست می‌آید.

1 - Heady et al.
2 - Harou et al.
3 - Letcher et al.
4 - Taylor et al.
5 - Roe et al.
6 - Gunter et al.

۳-۳- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های آبیاری بر شاخص فیزیکی و اقتصادی بهره‌وری آب با استفاده از مدل تخصیص آب

مدیریت منابع آب محدود در مناطق نیمه خشکی همچون استان فارس، به ویژه با وقوع خشکسالی‌های اخیر باید به صورت علمی و دانش‌بنیان مورد توجه قرار گیرد. در این قسمت از مطالعه با بکارگیری یک مدل تخصیص آب غیرخطی، برنامه زمان‌بندی آبیاری[1]، استراتژی‌های آبیاری[2] و سیستم‌های آبیاری در قالب سناریوهای مختلف شبیه سازی خواهد شد و اثرات آنها بر معیارهای مختلف از جمله عملکرد در هکتار، آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ارزیابی خواهد شد. برای هر یک از مزارع نماینده نیز استراتژی بهینه آبیاری تعیین و با وضعیت کنونی آنها، مقایسه می‌شود. بدیهی است ابزار اصلی مدیریت دانش بنیان منابع آب، وجود یک سیستم حسابداری مناسب آب در سطح حوضه آبریز و مزرعه می‌باشد، بنابراین تحویل حجمی آب و نصب کنتور هوشمند، کمک شایانی به مدیریت پایدار منابع آب خواهد کرد. منظور از برنامه زمان‌بندی آبیاری، تعیین مقدار دقیق آب برای استفاده در مزرعه و مشخص کردن زمان دقیق برای آبیاری یا به تعبیر دیگر بکار بردن آب تعیین شده در مزرعه است. تصمیم نهایی در خصوص مصرف آب در مزرعه به معیار آبیاری، استراتژی آبیاری و هدف بستگی دارد. معیار آبیاری، شاخص‌هایی هستند که نیاز به آبیاری را نشان می‌دهند. معمول‌ترین معیارها در این رابطه رطوبت موجود در خاک[3] و مکش رطوبت خاکی[4] است، استراتژی آبیاری به هدف زارع بستگی دارد. اگر هدف زارع حداکثر کردن عملکرد در هکتار باشد، استراتژی آبیاری مناسب، نسبت به زمانی که هدف زارع حداکثر کردن سود یا بازده خالص یا حداکثر کردن معیارهایی همچون بهره‌وری فیزیکی یا اقتصادی آب است، بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین، استراتژی-های آبیاری وجود دارد که عملکرد را حداکثر می‌کنند و در مقابل استراتژی‌های آبیاری وجود دارند که بازده خالص را بیشینه می‌سازند. برای نشان‌دادن برنامه زمان‌بندی آبیاری، زارعی را در نظر بگیرید که هدف او حداکثرکردن عملکرد است. در این حالت، رطوبت خاک معیار آبیاری است. در حقیقت سطوح مختلف رطوبت خاک، تاریخ شروع آبیاری را تعیین می‌کند. به عنوان

1 - Irrigation scheduling
2 - Irrigation strategies
3 - Soil moisture content
4 - Soil moisture tension

مثال وقتی که رطوبت خاک به پایین تر از ۷۰ درصد کل رطوبت قابل دسترس خاک رسید، آبیاری باید شروع شود. همانگونه که اشاره شد برای اینکه رطوبت خاک ، تعیین کننده زمان آبیاری باشد به هدف و استراتژی زارع بستگی دارد. بنابراین در حالتی که هدف زارع حداکثر کردن عملکرد در هکتار است، آبیار تلاش خواهد کرد تا رطوبت خاک را بالاتر از یک سطح بحرانی نگهدارد. اگر رطوبت خاک از این حد کمتر شود، عملکرد در هکتار ممکن است که از عملکرد پتانسیل، کمتر باشد. در نتیجه زمانیکه سطح رطوبت خاک به این مرز بحرانی رسید، آبیاری شروع خواهد شد. برای این منظور وجود حس‌گرهای رطوبت خاک[1] می‌تواند بسیار مفید باشد. بنابراین دسترسی به این حس‌گرها و نصب مناسب آب در مزرعه گام بعدی مدیریت دانش بنیان منابع آب است. اما اینکه چه مقدار آب و در چه زمانی به کار گرفته شود به استراتژی آبیاری بستگی دارد. اهمیت استراتژی آبیاری این است که اطلاعات مربوط به مقدار دقیق آب و زمان دقیق کاربرد آن را به منظور رسیدن به هدف در اختیار مدیر یا آبیار قرار می-دهد. بدون دانستن این اطلاعات ارزشمند، کشاورز قادر نیست آب را به گونه‌ای مدیریت کند تا کارایی را حداکثر نماید. همچنین انتقال و توزیع یکنواخت آب در سطح مزرعه به منظور حداکثر کردن منافع حاصل از برنامه زمان‌بندی آبیاری و مدیریت مهم است. در این رابطه سیستم‌های مختلف آبیاری (سطحی، بارانی و نواری) با راندمان مختلف آبیاری از اهمیت زیادی برخوردارند. استفاده یا بکارگیری دقیق آب، از آبیاری بیش از اندازه یا کمتر از اندازه[2] جلوگیری می‌کند. آبیاری بیش از حد، آب، انرژی و نیروی کار را هدر می‌دهد و از طریق آبشویی عناصر ارزشمند خاک را به پایین منطقه ریشه، دور از دسترس گیاه هدایت می‌کند. همچنین تهویه خاک و در نتیجه عملکرد محصول را کاهش می‌دهد. آبیاری کمتر از اندازه نیز به گیاه تنش وارد می‌کند و موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود. مزیت‌های برنامه زمانبندی آبیاری یا استراتژی آبیاری را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- کشاورز را قادر می‌سازد تا گردش آب میان قطعات مختلف را به منظور حداقل کردن تنش آبی و حداکثر کردن محصول برنامه‌ریزی کند.

1 - Soil moisture sensor
2- over-or under irrigation

- هزینه آب و نیروی کار زارع را از طریق تعداد کمتر دفعات آبیاری، کاهش می‌دهد. بنابراین حداکثر استفاده از ذخیره رطوبت خاک را ممکن می‌سازد.
- هزینه کود شیمیایی را از طریق پایین نگهداشتن رواناب سطحی و نفوذ عمقی در کمترین حد خود، کاهش می‌دهد.
- مسئله اشباع خاک توسط آب[1] را از طریق کاهش نیاز به زهکشی، حداقل می‌کند.
- از طریق کنترل آبشویی، به کنترل شوری منطقه ریشه کمک می‌کند.
- با افزایش عملکرد محصول و کیفیت آن، بازده خالص را افزایش می‌دهد.
- با کاهش مصرف آب به اهداف محیط زیستی کمک می‌کند.

بنابراین تعیین برنامه زمانبندی آبیاری یا استراتژی آبیاری از اهمیت خاصی برخوردار است که در این قسمت نتایج آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. امروزه می‌توان با تجهیز مزارع به سیستم‌های خودکار و مجهز به حس‌گرهای نصب شده در سطح مزرعه، استراتژی آبیاری (مقدار دقیق مصرف آب و زمان آبیاری) را پس از تعیین، کاملاً به روش دانش بنیان اجرا کرد. در ادامه ابتدا، مدل ریاضی بکارگرفته شد، معرفی و سپس نتایج ارائه و تحلیل خواهد شد.

۳-۳-۱- مدل غیرخطی تخصیص آب

هر مدل بهینه سازی ریاضی مشتمل بر یک تابع هدف و یک سری محدودیت است که منعکس کننده شرایطی است که بر اساس آن تصمیم در مورد تخصیص آب محدود ،صورت می‌گیرد. با در اختیار داشتن یک تابع تولید زمان دار[2] مناسب آب، نوشتن تابع هدفی که قادر است عملکرد واقعی محصول را در سطوح مختلف مصرف آب به دست دهد، کار مشکلی نخواهد بود. در این رابطه، دو تابع تولید آب زیر بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است (جنسن[3]، ۱۹۶۸؛ رائو و همکاران[4]، ۱۹۸۸):

$$Y_a / Y_p = \prod_{i=1} (ET_a / ET_p)^{\lambda i} \qquad i \in g \qquad (۲۰)$$

$$Y_a / Y_p = \prod_{i=1} [(1 - KY_i (1 - ET_a / ET_p)_i] \quad i \in g \qquad (۲۱)$$

1 -Water-logging
2 - Dated water production function
3 - Jensen
4 - Rao et al.

که Y_a و Y_p ، به ترتیب عملکرد واقعی و عملکرد پتانسیل، ET_a و ET_p تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل، g یک مرحله از رشد گیاه و λ_i و $K\lambda_i$ ، ضریب حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی در مرحله رشد i می‌باشد. دورنباس و کسام[1] (۱۹۷۹) ارزش‌های KY برای ۳۳ محصول را محاسبه کرده‌اند که به طور گسترده در سراسر دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. نیریزی و ریدزیوسکی (۱۹۷۷) ارزش‌های λ_i را برای ۱۱ محصول با استفاده از معادله‌های رگرسیون چند جمله‌ای تخمین زده‌اند. در دو تابع فوق با جایگزین کردن ET_a و ET_p با W_a و W_p که به ترتیب مقدار آب واقعی استفاده شده و مقدار آب مورد نیاز می‌باشند، توسط تعدادی از محققین ساده‌سازی‌هایی صورت گرفته است (میر و همکاران، ۱۹۹۲):

$$Y_a / Y_p = \prod (W_a / WT_p)^{\lambda i} \qquad (۲۲)$$

بر همین مبنا، معادله ۲، نیز به صورت زیر تبدیل شده است (قهرمان، ۲۰۰۰):

$$Y_a / Y_p = \prod [1 - KY_i (1 - W_a / W_p)_i] \qquad (۲۳)$$

درصورتی که این ساده سازی صورت نگیرد و دقت بالاتری مد نظر باشد، لازم است که یک سری محدودیت‌های غیرخطی، در محاسبه عملکرد واقعی آب به شرح زیر لحاظ گردد:

- تراز آب خاک یا موازنه آب خاک[2]

معادله موازنه آب خاک برای محصول c در دوره زمانی t برابر است با :

$$SM_{c,t+1}.Root_{c,t+1} = SM_{c,t}.Root_{c,t} + P_t + IR_{c,t} - ETa_{c,t} - DP_{c,t} + SM_c (Root_{c,t+1} - Root_{c,t}) \qquad (۲۴)$$

در این رابطه $SM_{c,t}$ و $SM_{c,t+1}$ به ترتیب آب قابل استفاده خاک در شروع و پایان دوره زمانی t برای محصول c می‌باشد. $Root_{c,t}$ و $Root_{c,\,t+1}$ ، میانگین عمق ریشه محصول c در دوره زمانی t و $t+1$ و P_t ، میزان بارندگی در دوره t، $IR_{c,\,t}$ ، آب آبیاری تخصیص داده شده به محصول c در دوره زمانی t ، $ETa_{c,t}$ و $DP_{c,t}$ ، تبخیر و تعرق واقعی و نفوذ عمقی برای محصول c در دوره زمانی t و نهایتاً اینکه SM_c ، تغییر در آب خاک برای محصول c می باشد.

1 - Doorenbos and Kassam
2 - Soil water balance

- محدودیت‌های مربوط به تبخیر و تعرق واقعی (ETa)

مقدار ETa محصول c در دوره زمانی t با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$ETa_{c,t} \le \frac{\left[(SM_{c,t} - PWP_c).Root_{c,t} + P_t + IR_{c,t} - DP_{c,t}\right]}{\left[(1-P_c)(FC_c - PWP_c)Root_{c,t}\right]ETP_{c,t}} \qquad (۲۵)$$

که FC، ظرفیت زراعی، PWP ، نقطه پژمردگی دایمی و (FC_c-PWP_c) ، کل آب قابل استفاده خاک تخصیص داده شده محصول C و P_c ، کسر تخلیه آب خاک که مقدار آن به نوع محصول و تبخیر و تعرق پتانسیل بستگی دارد.

- محدودیتهای تخصیص آب

کل آب آبیاری در دوره زمانی t برای تمام محصولات نباید بیشتر از مقدار آب در دسترس برای تخصیص در آن دوره زمانی باشد (R_i) :

$$10\sum_c IR_{c,t}A_c \le R_t E_c \qquad (۲۶)$$

که واحد IR و R به ترتیب میلیمتر و مترمکعب است و E_c راندمان انتقال آب می‌باشد.

سایر محدودیت‌هایی که باید در ساختار مدل لحاظ شود عبارتند از :

$$DP_{c,t} \ge Ir_{c,t}(۱ - E_a) \qquad (۲۷)$$

$$PWP_c \le SM_{c,t} \le Fc_c \qquad (۲۸)$$

$$ETa_{c,t} \le ETP_{c,t} \qquad (۲۹)$$

$$ETa_{c,g} = \sum_i (ETa_{c,t})_i \qquad (۳۰)$$

$$ETp_{c,g} = \sum_i (ETP_{c,t})_i \qquad (۳۱)$$

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل فوق، میزان بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل، عمق ریشه، عملکرد پتانسیل، قیمت محصول و هزینه‌های متغیر است. در حقیقت بازده برنامه‌ای واقعی هر محصول از طریق ضرب نسبت Y_a / Y_p در عملکرد پتانسیل و قیمت محصول و کسر هزینه‌های متغیر آن بدست می‌آید.

بنابراین تابع هدف این مدل غیرخطی عبارت است از :

$$\pi = \sum_{c=1}^{n} B_c^a A_c - \sum_{c=1}^{n} W_c P_w - f \qquad (۳۲)$$

که در آن B_c^a ، بازده برنامه‌ای واقعی محصول c، A ، سطح زیرکشت، W_c مقدار آب بکارگرفته شده برای محصول c، P_w قیمت آب آبیاری و f هزینه‌های ثابت است.

مدل ریاضی فوق در محیط نرم افزار GAMS، برای مزارع نماینده دشت رامجرد در حوضه آبریز بختگان و دشت کوار در حوضه آبریزمند، اجرا شد (فایل مربوطه در پیوست شماره۱ آورده شده است). بخشی از اطلاعات استفاده شده در مدل ریاضی مانند بازده برنامه‌ای محصولات مختلف، امکانات مزارع از لحاظ منابع آب و خاک، نیروی انسانی، محدودیتهای تناوبی، تاریخ کاشت و برداشت و ... از پرسشنامه‌هایی که برای مزارع نمونه تکمیل شد، فراهم آمده است. اما اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه بارندگی مؤثر و تبخیر و تعرق بالقوه از ایستگاههای هواشناسی محدوده مورد مطالعه بدست آمده است.

۳-۳-۲- نتایج و بحث

از پرداختن به چگونگی محاسبه اطلاعات مورد نیاز مدل مانند تبخیر و تعرق بالقوه و عمق ریشه خودداری شده است و تنها نتایج حاصله تحلیل گردیده است. همانگونه که قبلاً اشاره شد مدل مورد مطالعه یک مدل تخصیص آب است بنابراین سطح زیرکشت محصولات بر اساس اطلاعات فراهم آمده از زارعین نمونه در قالب مدل تخصیص زمین تعیین و وارد مدل تخصیص آب شده است. اطلاعات مورد نیاز از دو حوضه آبریزمند و بختگان با پرسشگری حاصل شده است و سپس با استخراج اطلاعات و همگن‌سازی زارعین با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، اقدام به ساختن مزرعه نماینده بر اساس میزان دسترسی به آب برای هر یک از حوضه‌های آبریز به صورت جداگانه شده است. بنابراین نتایج حاصله برای منطقه مورد مطالعه و مزرعه نماینده گروه همگن قابل استفاده است و در صورت نیاز باید چنین مدل‌هایی در سایر مناطق نیز با فراهم آوردن اطلاعات ساخته شود. به طور کلی اگر در قالب سیستم‌های حمایت از تصمیم چنین موضوعاتی دنبال شود، قطعاً نتیجه بهتری خواهد داشت. بدین صورت که در

مناطق همگن از نظر تصمیم‌سازی مسائل مرتبط با آب، اقدام به ساختن مدل‌های ریاضی مربوطه شود و نتایج حاصله از اجرای مدل بر اساس مشخصات مزرعه متقاضی جهت تصمیم سازی مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری که اثر آنها در راندمان کاربرد آب آبیاری مشخص می‌شود، برای محصول گندم در جداول (۶) آورده شده است. به طور کلی راندمان کاربردی آب در ۶ سطح بین ۴۰ تا ۹۰ درصد یعنی راندمان آبیاری سیستم‌های سطحی تا راندمان آبیاری سیستم آبیاری قطره‌ای نواری متفاوت در نظر گرفته شده است. استراتژی اول، استراتژی تمام آبیاری است و بقیه استراتژی‌ها کم آبیاری را به ترتیب به میزان ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد در مراحل مختلف رشد نشان می‌دهند. ابتدا کم آبیاری فقط در یک مرحله، به دنبال آن در دو مرحله و در سه استراتژی انتهایی نیز کم آبیاری به صورت یکنواخت در تمام مراحل اعمال شده است.

جدول(۶): نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب برای محصول گندم

ردیف	استراتژی آبیاری	آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در راندمانهای مختلف آبیاری						بهره وری آب (کیلو گرم محصول بر متر مکعب) در راندمانهای مختلف آبیاری					
		۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪
۱	تمام آبیاری	۱۲۰۲۴	۹۶۱۹	۸۰۱۵	۶۸۸۸	۶۰۲۷	۵۳۵۷	۰.۴۹۹	۰.۶۲۴	۰.۷۴۹	۰.۸۷۱	۰.۹۹۶	۱.۱۲
۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۲۰٪	۱۰۹۱۰	۸۷۲۸	۷۲۷۳	۶۲۳۴	۵۴۵۵	۴۸۴۹	۰.۵۲۸	۰.۶۶	۰.۷۹۲	۰.۹۲۴	۱.۰۵۶	۱.۱۸۸
۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۴۰٪	۹۷۹۶	۷۸۳۷	۶۵۳۱	۵۵۹۸	۴۸۹۸	۴۳۵۴	۰.۵۶۳	۰.۷۰۴	۰.۸۴۵	۰.۹۸۶	۱.۱۲۷	۱.۲۶۸
۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۶۰٪	۹۰۸۲	۷۲۶۵	۶۰۵۴	۵۱۸۹	۴۵۴۱	۴۰۳۶	۰.۵۸۱	۰.۷۲۷	۰.۸۷۲	۱.۰۱۷	۱.۱۶۳	۱.۳۰۸
۵	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۲۰٪	۱۰۹۷۰	۸۷۷۶	۷۳۱۳	۶۲۶۸	۵۴۸۴	۴۸۷۵	۰.۴۹۲	۰.۶۱۵	۰.۷۳۸	۰.۸۶۱	۰.۹۸۵	۱.۱۰۸
۶	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۴۰٪	۹۹۱۶	۷۹۳۳	۶۶۱۱	۵۶۶۶	۴۹۵۸	۴۴۰۷	۰.۴۸۴	۰.۶۰۵	۰.۷۲۶	۰.۸۴۷	۰.۹۶۸	۱.۰۸۹
۷	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۶۰٪	۸۸۶۲	۷۰۹۰	۵۹۰۸	۵۰۶۴	۴۴۳۱	۳۹۳۹	۰.۴۷۴	۰.۵۹۲	۰.۷۱۱	۰.۸۲۹	۰.۹۴۸	۱.۰۶۶
۸	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۲۰٪	۱۱۵۲۸	۹۲۲۲	۷۶۸۵	۶۵۸۷	۵۷۶۴	۵۱۲۳	۰.۵۱۹	۰.۶۴۹	۰.۷۷۷	۰.۹۰۹	۱.۰۳۶	۱.۱۶۹
۹	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۴۰٪	۱۱۰۳۲	۸۸۲۶	۷۳۵۵	۶۳۰۴	۵۵۱۷	۴۹۰۳	۰.۵۴۲	۰.۶۷۷	۰.۸۱۳	۰.۹۴۸	۱.۰۸۳	۱.۲۱۹
۱۰	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۶۰٪	۱۰۵۳۶	۸۴۲۹	۷۰۲۴	۶۰۲۰	۵۲۶۸	۴۶۸۳	۰.۵۶۶	۰.۷۰۸	۰.۸۴۹	۰.۹۹۱	۱.۱۳۲	۱.۲۷۴
۱۱	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۲۰٪	۱۰۴۱۴	۸۳۳۱	۶۹۴۳	۵۹۵۱	۵۲۰۷	۴۶۲۸	۰.۵۵۲	۰.۶۹	۰.۸۲۸	۰.۹۶۶	۱.۱۰۴	۱.۲۴۲
۱۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۴۰٪	۸۸۰۴	۷۰۴۳	۵۸۶۹	۵۰۳۱	۴۴۰۲	۳۹۱۳	۰.۶۲۴	۰.۷۸۱	۰.۹۳۷	۱.۰۹۳	۱.۲۴۹	۱.۴۰۴
۱۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰٪	۷۵۹۴	۶۰۷۵	۵۰۶۲	۴۳۳۹	۳۷۹۷	۳۳۷۵	۰.۶۹۱	۰.۸۶۴	۱.۳۷	۱.۲۱	۱.۳۸۲	۱.۵۵۵
۱۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۲۰٪	۹۸۵۶	۷۸۸۵	۶۵۷۱	۵۶۳۲	۴۹۲۸	۴۳۸۰	۰.۵۲۶	۰.۶۵۷	۰.۷۸۹	۰.۹۲	۱.۰۵۲	۱.۱۸۳
۱۵	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۴۰٪	۷۶۸۸	۶۱۵۰	۵۱۲۵	۴۳۹۳	۳۸۴۴	۳۴۱۷	۰.۵۷۴	۰.۷۱۸	۰.۸۶۲	۱.۰۰۵	۱.۱۴۹	۱.۲۹۲
۱۶	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۶۰٪	۵۹۲۰	۴۷۳۶	۳۹۴۶	۳۳۸۳	۲۹۶۰	۲۶۳۱	۰.۶۲۴	۰.۷۸	۰.۹۳۷	۱.۰۹۳	۱.۲۴۹	۱.۴۰۵
۱۷	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۲۰٪	۸۶۶۵	۶۹۳۲	۵۷۷۷	۴۹۵۱	۴۳۳۲	۳۸۵۱	۰.۵۲۴	۰.۶۵۱	۰.۷۸۷	۰.۹۱۸	۱.۰۴۹	۱.۱۸
۱۸	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۴۰٪	۵۳۰۶	۴۲۴۵	۳۵۳۷	۳۰۳۲	۲۶۵۳	۲۳۵۸	۰.۶۳۷	۰.۷۸۴	۰.۹۴۱	۱.۰۹۸	۱.۲۵۵	۱.۴۱۲
۱۹	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۶۰٪	۲۴۰۹	۱۹۲۷	۱۶۰۶	۱۳۷۷	۱۲۰۴	۱۰۷۰	۰.۹۷	۱.۲۱۳	۱.۴۵۵	۱.۶۹۸	۱.۹۴	۲.۱۸۳

ادامه جدول(۶) نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب برای محصول گندم

ردیف	استراتژی آبیاری	بهره وری آب (ریال بازده برنامه ای در هر متر مکعب) در راندمانهای مختلف آبیاری						Ya/Yp	عملکرد در هکتار	بازده برنامه ای هر
		۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪		کیلو گرم	هکتار ریال
۱	تمام آبیاری	۳۸۲۹	۴۷۸۶	۵۷۴۳	۶۶۸۳	۷۶۳۸	۸۵۹۳	۱	۶۰۰۰	۴۶۰۳۶۰۰۰
۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۲۰٪	۴۰۵۱	۵۰۶۴	۶۰۷۶	۷۰۸۹	۸۱۰۲	۹۱۱۴	۰.۹۶	۵۷۶۰	۴۴۱۹۴۵۴۰
۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۴۰٪	۴۳۲۳	۵۴۰۴	۶۴۸۵	۷۵۴۶	۸۶۴۷	۹۷۲۸	۰.۹۲	۵۵۲۰	۴۲۳۵۳۱۰۰
۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۶۰٪	۴۴۶۱	۵۵۷۶	۶۶۹۱	۷۸۰۶	۸۹۲۲	۱۰۰۳۷	۰.۸۸	۵۲۸۰	۴۰۵۱۱۶۶۰
۵	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۲۰٪	۳۷۷۷	۴۷۲۱	۵۶۶۵	۶۶۱۰	۷۵۵۴	۸۴۹۸	۰.۹	۵۴۰۰	۴۱۴۳۲۳۸۰
۶	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۴۰٪	۳۷۱۴	۴۶۴۳	۵۵۷۱	۶۵۰۰	۷۴۲۸	۸۳۵۷	۰.۸	۴۸۰۰	۳۶۸۲۸۷۹۰
۷	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۶۰٪	۳۶۳۶	۴۵۴۵	۵۴۵۴	۶۳۶۴	۷۲۷۳	۸۱۸۲	۰.۷	۴۲۰۰	۳۲۲۲۵۱۹۰
۸	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۲۰٪	۳۹۸۵	۴۹۸۲	۵۹۷۸	۶۹۷۴	۷۹۷۱	۸۹۶۷	۰.۹۹۸	۵۹۸۸	۴۵۹۴۳۹۱۰
۹	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۴۰٪	۴۱۵۶	۸۱۹۵	۶۲۳۴	۷۲۷۳	۸۳۱۲	۹۳۵۲	۰.۹۹۶	۵۹۷۶	۴۵۸۵۱۷۴۰
۱۰	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۶۰٪	۴۳۴۳	۵۴۲۹	۶۵۱۵	۷۶۰۱	۸۶۸۶	۹۷۷۲	۰.۹۹۴	۵۹۶۴	۴۵۷۵۹۷۷۰
۱۱	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۲۰٪	۴۲۳۵	۵۲۹۴	۶۳۵۳	۷۴۱۲	۸۴۷۱	۹۵۲۹	۰.۹۵۸	۵۷۴۹	۴۴۱۰۶۱۵۰
۱۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۴۰٪	۴۷۹۱	۵۹۸۹	۷۱۸۷	۸۳۸۵	۹۵۸۳	۱۰۷۸۰	۰.۹۱۶	۵۴۹۸	۴۲۱۸۳۶۹۰
۱۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰٪	۵۳۰۳	۶۶۲۹	۷۹۵۴	۹۲۸۰	۱۰۶۰۶	۱۱۹۳۲	۰.۸۷۵	۵۲۴۸	۴۰۲۶۸۵۹۰
۱۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۲۰٪	۴۰۳۶	۵۰۴۴	۶۰۵۳	۷۰۶۲	۸۰۷۱	۹۰۸۰	۰.۸۶۴	۵۱۸۴	۳۹۷۷۵۰۹۰
۱۵	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۴۰٪	۴۴۰۷	۵۵۰۹	۶۶۱۱	۷۷۱۳	۸۸۱۴	۹۹۱۶	۰.۷۳۶	۴۴۱۶	۳۳۸۸۲۴۸۰
۱۶	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۶۰٪	۴۷۹۱	۵۹۸۸	۷۱۸۶	۸۳۸۳	۹۵۸۱	۱۰۷۷۹	۰.۶۱۶	۳۶۹۶	۲۸۳۵۸۱۶۰
۱۷	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۲۰٪	۴۰۲۳	۵۰۲۹	۶۰۳۵	۷۰۴۱	۸۰۴۷	۹۰۵۲	۰.۷۵۷	۴۵۴۴	۳۴۸۶۲۲۲۰
۱۸	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۴۰٪	۴۸۱۴	۶۰۱۸	۷۲۲۲	۸۴۲۵	۹۶۲۹	۱۰۸۳۲	۰.۵۵۵	۳۳۲۹	۲۵۵۴۵۱۰۰
۱۹	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۶۰٪	۷۴۴۳	۹۳۰۴	۱۱۱۶۵	۱۳۰۲۶	۱۴۸۸۷	۱۶۷۴۸	۰.۳۹	۲۳۳۷	۱۷۹۳۲۱۰۰

همانگونه که از بررسی این جدول بدست می‌آید، بر اساس هدف زارع که می‌تواند حداکثر کردن عملکرد در هکتار، حداکثر کردن بهره‌وری فیزیکی آب و یا حداکثر کردن بهره-وری اقتصادی آب باشد، استراتژی آبیاری متفاوتی بدست می‌آید. برای زارعی که هدف او حداکثر کردن عملکرد در هکتار گندم است، استراتژی تمام آبیاری انتخاب مناسبی است، اما همانگونه که ملاحظه می‌شود، این استراتژی، یکی از پایین ترین عملکرد را از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب بدست می‌دهد. میزان بهره‌وری آب برای این استراتژی در صورتی که آبیاری سطحی با راندمان کاربرد ۴۰ درصد استفاده شود در تولید گندم ۰/۴۹۹ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب است. با افزایش راندمان کاربرد آبیاری بر مقدار این شاخص افزوده می‌شود و در نهایت در صورتی که بتوان با سیستم آبیاری مناسب، راندمان کاربرد آبیاری را به ۹۰٪ افزایش داد، به ۱/۱۲ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب خواهد رسید. تفاوت ستونهای هر ردیف اثر سیستم آبیاری یا به تعبیر بهتر اثر افزایش راندمان آبیاری کاربردی را نشان می‌دهد، در تمام موارد با افزایش راندمان آبیاری، میزان مصرف آب کاهش و شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهبود می‌یابند. تفاوت ردیف‌ها مربوط به استراتژی‌های آبیاری اتخاذ شده است که مبتنی بر کم آبیاری می‌باشد. سعی شده است که کم‌آبیاری در مرحله‌ای از رشد گیاه اعمال شود که حساسیت نسبت به تنش آبی حداقل باشد، در تعداد از استراتژی‌های کم آبیاری فقط در یک مرحله و در تعدادی دیگر در دو مرحله انجام شده است. در سه استراتژی آخر نیز کم‌آبیاری به طور یکنواخت در تمام مراحل اعمال شده است. میزان کم-آبیاری نیز از حداقل ۲۰ درصد تا حداکثر ۶۰ درصد متغیر در نظر گرفته شده است. به جز استراتژی‌های آبیاری ۵ تا ۸ که منجر به کاهش بهره‌وری آب می‌شوند، بکارگیری سایر استراتژی‌ها نسبت به استراتژی تمام آبیاری، بهره‌وری آب بیشتری را به دست می‌دهند. علت اینکه استراتژی‌های آبیاری ۵ تا ۸ نسبت به استراتژی تمام آبیاری (استراتژی شماره ۱)، بهره-وری آب کمتری را رقم می‌زند، این است که در این استراتژی‌های کم‌آبیاری در سطح ۲۰ درصد، ۴۰ درصد و ۶۰ درصد در مرحله چهارم (S_4 یعنی مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) انجام می‌شود که در این مرحله حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی از مرحله دوم (S_2 یعنی رویشی) و مرحله پنجم (S_5 یعنی رسیدن) بیشتر است. در این مطالعه از ضرایب پیشنهادی دورنباس و کسام استفاده شده است که بطور گسترده در مطالعات مشابه در سراسر دنیا مورد

استفاده قرار می‌گیرد. چون ضریب حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی در مرحله سوم (S_3) حتی از مرحله ۴ بالاتر است، کم آبیاری در این مرحله در نظر گرفته نشد. اما در سه استراتژی آخر، کم آبیاری به طور یکنواخت در تمام مراحل به میزان ۲۰ درصد، ۴۰ درصد و ۶۰ درصد اعمال می‌شود. بالاترین عملکرد از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مربوط به استراتژی ۱۹ است که در آن کم‌آبیاری به میزان ۶۰ درصد در تمام مراحل منظور می‌شود. مقدار بهره-وری آب برای این استراتژی در سطح راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد، ۹۷۰/ کیلوگرم در هر مترمکعب است که با افزایش راندمان آبیاری به ۲/۱۸۳ کیلوگرم در هر مترمکعب، در راندمان آبیاری ۹۰ درصد می‌رسد. در این استراتژی با مصرف ۱۰۷۰ مترمکعب آب (در راندمان آبیاری ۹۰ درصد) نسبت عملکرد فعلی به عملکرد پتانسیل (Y_a / Y_p) برابر با ۰/۳۹۰ خواهد بود که کمترین عملکرد در هکتار را به دست می‌دهد (۲۳۳۷ کیلوگرم در هکتار). بنابراین این استراتژی برای زارعینی که هدف آنها حداکثرکردن عملکرد در هکتار است، بدترین استراتژی است. اما برای همین استراتژی، شاخص بهره‌وری آب در راندمان‌های آبیاری ۴۰٪ و ۹۰٪ به ترتیب ۰/۹۷۰ و ۲/۱۸۳ کیلوگرم است که بالاترین عدد مربوط به این شاخص بین استراتژی های مورد مطالعه است. بنابراین انتخاب این استراتژی بوسیله زارعین، تابع محدودیت‌های مزرعه و هدف زارع است که در قسمت‌های بعدی به آنها پرداخته می‌شود. در اینجا تنها پیامدهای شبیه‌سازی استراتژی‌های ۱۹ گانه تحلیل شده است. البته ممکن است که استراتژی-های دیگری وجود داشته باشند که حتی نسبت به استراتژی ۱۹ نیز بهره‌وری آب بالاتری را بدست دهند. در حقیقت در قالب این استراتژی یک روش کم آبیاری مناسب با یک سیستم آبیاری فوق العاده کارا، رقم بسیار مناسب بهره‌وری آب ۲/۱۸۳ کیلوگرم در هر مترمکعب را بدست می‌دهد که رسیدن به آن از آرزوهای ملی کشور ما می‌باشد. البته هرچند اجرای این استراتژی شاید مقداری مشکل به نظر آید اما اجرای استراتژی شماره ۱۳ یعنی کم آبیاری در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰ درصد نیز در سیستم‌های آبیاری مختلف، بهره‌وری خوبی را ایجاد می‌کند که نسبت به استراتژی تمام آبیاری در راندمان آبیاری ۴۰ درصد، حدود ۳۸/۵ درصد افزایش و در راندمان آبیاری ۹۰ درصد نسبت به وضعیت کنونی ۲۱۲ درصد افزایش نشان می-دهد که در حقیقت حرکت از دو سو را نشان می‌دهد، سمت اول حرکت به سوی استراتژی آبیاری مناسب و سمت دوم حرکت از سیستم آبیاری نامناسب به سیستم آبیاری کاملاً کارا

است. اگر این دو تحول با هم رخ دهد، قطعاً شاهد افزایش چشمگیر بهره‌وری از مقدار فعلی یعنی ۰/۴۹۹ در آبیاری سطحی و استراتژی تمام آبیاری به ۱/۵۵۵ کیلوگرم در آبیاری نواری و استراتژی کم آبیاری در مرحله S_2 و S_5 به میزان ۶۰ درصد، خواهیم رسید. بنظر می‌رسد که اگر همراه با ترویج سیستمهای آبیاری بارانی، مالکیت آب تعریف و سهمیه سالانه برداشت آب از سفره آب زیرزمینی تعیین شود و این سهمیه بتدریج کاهش یابد، تحقق هدف فوق دور از دسترس نخواهد بود.

اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی برنامه‌های زمانبندی آبیاری یا استراتژی‌های ۱۹ گانه برای محصول جو در جدول ۷ نشان داده شده است که تحلیلی مشابه تحلیل گندم دارد و علت آن ضرایب حساسیت مشابه گیاه گندم و جو نسبت به تنش آبی می‌باشد که جهت جلوگیری از اطاله کلام از پرداختن به آنها خودداری می‌شود.

جدول(۷) :نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب برای محصول جو

ردیف	استراتژی آبیاری	آب مصرفی(متر مکعب در هکتار) در راندمانهای مختلف آبیاری						بهره وری آب (کیلو گرم محصول بر متر مکعب) در راندمانهای آبیاری مختلف					
		۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪	۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪
۱	تمام آبیاری	۱۰۰۹۱	۸۱۸۷	۶۸۲۲	۵۸۴۸	۵۱۱۷	۴۵۴۸	۰.۳۹۶	۰.۴۸۹	۰.۵۸۶	۰.۶۸۴	۰.۷۸۲	۰.۸۷۹
۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۲۰٪	۹۰۴۰	۷۲۳۲	۶۰۴۹	۵۱۶۶	۴۵۳۶	۴۰۳۲	۰.۴۲۵	۰.۵۳۱	۰.۶۳۵	۰.۷۴۳	۰.۸۴۶	۰.۹۵۲
۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۴۰٪	۸۰۷۱	۶۴۵۷	۵۳۸۰	۴۶۱۲	۴۰۳۵	۳۵۸۷	۰.۴۵۶	۰.۵۷	۰.۶۸۴	۰.۷۹۸	۰.۹۱۲	۱.۰۲۶
۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۶۰٪	۸۰۷۱	۶۴۵۷	۵۳۸۱	۴۶۱۲	۴۰۳۵	۳۵۸۷	۰.۴۳۶	۰.۵۴۵	۰.۶۵۴	۰.۷۶۳	۰.۸۷۲	۰.۹۸۱
۵	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۲۰٪	۹۱۲۵	۷۳۰۰	۶۰۸۴	۵۲۱۴	۴۵۶۳	۴۰۵۶	۰.۳۹۵	۰.۴۹۳	۰.۵۹۲	۰.۶۹	۰.۷۸۹	۰.۸۸۸
۶	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۴۰٪	۸۱۵۹	۶۵۲۷	۵۴۴۰	۴۶۶۲	۴۰۸۰	۳۶۲۶	۰.۳۹۲	۰.۴۹	۰.۵۸۸	۰.۶۸۶	۰.۷۸۴	۰.۸۸۲
۷	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۶۰٪	۷۱۹۳	۵۷۵۵	۴۷۹۶	۴۱۱۰	۳۵۹۷	۳۱۹۷	۰.۳۸۹	۰.۴۸۷	۰.۵۸۴	۰.۶۸۱	۰.۷۷۸	۰.۸۷۶
۸	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۲۰٪	۹۳۸۷	۷۵۰۹	۶۲۵۸	۵۳۶۴	۴۶۹۳	۴۱۷۲	۰.۴۲۵	۰.۵۳۲	۰.۶۳۸	۰.۷۴۴	۰.۸۵۱	۰.۹۵۷
۹	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۴۰٪	۸۶۸۲	۶۹۴۶	۵۷۸۸	۴۹۶۱	۴۳۴۱	۳۸۵۹	۰.۴۵۹	۰.۵۷۴	۰.۶۸۸	۰.۸۰۳	۰.۹۱۸	۱.۰۳۲
۱۰	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۶۰٪	۸۲۱۹	۶۵۷۵	۵۴۷۹	۴۶۹۶	۴۱۰۹	۳۶۵۳	۰.۴۸۴	۰.۶۰۵	۰.۷۲۶	۰.۸۴۷	۰.۹۶۸	۱.۰۸۹
۱۱	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۲۰٪	۸۴۷۸	۶۶۶۹	۵۵۵۷	۴۷۶۳	۴۱۶۸	۳۷۰۵	۰.۴۵۲	۰.۵۷۵	۰.۶۹	۰.۸۰۵	۰.۹۱۹	۱.۰۳۴
۱۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۴۰٪	۶۶۶۲	۵۳۳۰	۴۴۴۱	۳۸۰۷	۳۳۳۱	۲۹۶۱	۰.۵۵	۰.۶۸۸	۰.۸۲۵	۰.۹۶۳	۱.۱	۱.۲۳۸
۱۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰٪	۶۱۹۸	۴۹۵۹	۴۱۳۲	۳۵۴۲	۳۰۹۹	۲۷۵۵	۰.۵۶۴	۰.۷۰۶	۰.۸۴۷	۰.۹۸۸	۱.۱۲۹	۱.۲۷
۱۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۲۰٪	۸۰۷۴	۶۴۵۹	۵۳۸۳	۴۶۱۴	۴۰۳۷	۳۵۸۷	۰.۴۲۸	۰.۵۳۵	۰.۶۴۲	۰.۷۴۹	۰.۸۵۶	۰.۹۶۳
۱۵	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۴۰٪	۶۱۳۹	۴۹۱۱	۴۰۹۳	۳۵۰۸	۳۰۶۹	۲۷۲۸	۰.۴۸	۰.۵۹۹	۰.۷۱۹	۰.۸۳۹	۰.۹۵۹	۱.۰۷۹
۱۶	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۶۰٪	۵۱۷۳	۴۱۳۸	۳۴۴۹	۲۹۵۶	۲۵۸۶	۲۲۹۹	۰.۴۷۶	۰.۵۹۵	۰.۷۱۴	۰.۸۳۴	۰.۹۵۳	۱.۰۷۲
۱۷	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۲۰٪	۶۷۷۴	۵۴۱۹	۴۵۱۶	۳۸۷۱	۳۳۸۷	۳۰۱۱	۰.۴۴۷	۰.۵۵۹	۰.۶۷۱	۰.۷۸۳	۰.۸۹۴	۱.۰۰۶
۱۸	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۴۰٪	۳۶۳۶	۲۹۰۹	۲۴۲۴	۲۰۷۸	۱۸۱۸	۱۶۱۶	۰.۶۱	۰.۷۶۳	۰.۹۱۶	۱.۰۶۸	۱.۲۲۱	۱.۳۷۳
۱۹	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۶۰٪	۱۷۰۹	۱۳۶۷	۱۱۳۹	۹۷۶	۸۵۴	۷۵۹	۰.۹۱۲	۱.۱۴	۱.۳۶۸	۱.۵۹۶	۱.۸۲۴	۲.۰۵۲

ادامه جدول (۷) : نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب برای محصول جو

ردیف	استراتژی آبیاری	بهره وری آب (ریال بازده برنامه ای در هر متر مکعب) در راندمانهای آبیاری مختلف						Ya/Yp	عملکرد در هکتار	بازده برنامه ای هر
		۴۰٪	۵۰٪	۶۰٪	۷۰٪	۸۰٪	۹۰٪		کیلو گرم	هکتار ریال
۱	تمام آبیاری	۳۳۳۷	۴۱۱۳	۴۹۳۶	۵۷۵۸	۶۵۸۱	۷۴۰۴			
۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۲۰٪	۳۵۷۶	۴۴۷۰	۵۳۴۵	۶۲۵۸	۷۱۲۶	۸۰۱۷	۰.۹۶	۳۸۴۰	۳۲۳۲۸۰۰۰
۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۴۰٪	۳۸۳۹	۴۷۹۸	۵۷۵۸	۶۷۱۸	۷۶۷۷	۸۶۳۷	۰.۹۲	۳۶۸۰	۳۰۹۸۱۰۰۰
۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 به میزان ۶۰٪	۳۶۷۲	۴۵۹۰	۵۵۰۸	۶۴۲۵	۷۳۴۳	۸۲۶۱	۰.۸۸	۳۵۲۰	۲۹۶۳۴۰۰۰
۵	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۲۰٪	۳۳۲۱	۴۱۵۲	۴۹۸۲	۵۸۱۲	۶۶۴۲	۷۴۷۳	۰.۹	۳۶۰۰	۳۰۳۰۷۵۰۰
۶	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۴۰٪	۳۳۰۲	۴۱۲۷	۴۹۵۳	۵۷۷۸	۶۶۰۳	۷۴۲۹	۰.۸	۳۲۰۰	۲۶۹۴۰۰۰۰
۷	کم آبیاری فقط در دوره S_4 به میزان ۶۰٪	۳۲۷۷	۴۰۹۶	۴۹۱۵	۵۷۳۵	۶۵۵۴	۷۳۷۳	۰.۷	۲۸۰۰	۲۳۵۷۲۵۰۰
۸	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۲۰٪	۳۵۸۰	۴۴۷۵	۵۳۷۰	۶۲۶۵	۷۱۶۱	۸۰۵۶	۰.۹۹۸	۳۹۹۲	۳۳۶۰۷۶۵۰
۹	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۴۰٪	۳۸۶۳	۴۸۲۹	۵۷۹۵	۶۷۶۰	۷۷۲۶	۸۶۹۲	۰.۹۹۶	۳۹۸۴	۳۳۵۴۰۳۰۰
۱۰	کم آبیاری فقط در دوره S_5 به میزان ۶۰٪	۴۰۷۳	۵۰۹۱	۶۱۰۹	۷۱۲۷	۸۱۴۶	۹۱۶۴	۰.۹۹۴	۳۹۷۶	۳۳۴۷۲۹۵۰
۱۱	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۲۰٪	۳۸۰۵	۴۸۳۸	۵۸۰۶	۶۷۷۳	۷۷۴۱	۸۷۰۸	۰.۹۵۸	۳۸۳۲	۳۲۲۶۳۳۴۰
۱۲	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۴۰٪	۴۶۳۲	۵۷۹۰	۶۹۴۸	۸۱۰۶	۹۲۶۴	۱۰۴۲۲	۰.۹۱۶	۳۶۶۵	۳۰۸۵۷۰۸۰
۱۳	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰٪	۴۷۵۲	۵۹۴۰	۷۱۲۹	۸۳۱۷	۹۵۰۵	۱۰۶۹۳	۰.۸۷۵	۳۴۹۸	۲۹۴۵۶۲۰۰
۱۴	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۲۰٪	۳۶۰۳	۴۵۰۴	۵۴۰۵	۶۳۰۶	۷۲۰۷	۸۱۰۸	۰.۸۶۴	۳۴۵۶	۲۹۰۹۵۲۰۰
۱۵	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۴۰٪	۴۰۳۷	۵۰۴۷	۶۰۵۶	۷۰۶۵	۸۰۷۵	۹۰۸۴	۰.۷۳۶	۲۹۴۴	۲۴۷۸۴۸۰۰
۱۶	کم آبیاری فقط در دوره S_2 و S_4 به میزان ۶۰٪	۴۰۱۰	۵۰۱۳	۶۰۱۵	۷۰۱۸	۸۰۲۰	۹۰۲۳	۰.۶۱۶	۲۴۶۴	۲۰۷۴۳۸۰۰
۱۷	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۲۰٪	۳۷۶۴	۴۷۰۶	۵۶۴۷	۶۵۸۸	۷۵۲۹	۸۴۷۰	۰.۷۵۷	۳۰۲۹	۲۵۵۰۱۴۵۰
۱۸	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۴۰٪	۵۱۳۹	۶۴۲۳	۷۷۰۸	۸۹۹۲	۱۰۲۷۷	۱۱۵۶۱	۰.۵۵۵	۲۲۲۰	۱۸۶۸۶۰۶۰
۱۹	کم آبیاری یکنواخت در تمام دوره ها به میزان ۶۰٪	۷۶۷۷	۹۵۹۶	۱۱۵۱۵	۱۳۴۳۴	۱۵۳۵۳	۱۷۲۷۲	۰.۳۹	۱۵۵۸	۱۳۱۱۷۲۰۰

اطلاعات مربوط به شبیه سازی برنامه‌های زمانبندی آبیاری یا استراتژی برای ذرت در جدول (۸) نشان داده شده است. نکته قابل توجه در مورد ذرت این است که به دلیل بالا بودن ضرایب حساسیت این گیاه نسبت به تنش آبی بر اساس اطلاعات فراهم آمده از سوی دورنباس و کسام، افزایش بهره‌وری آب با تغییر استراتژی‌های آبیاری از تمام آبیاری به سمت کم‌آبیاری رخ نمی‌دهد. اما مقدار شاخص بهره‌وری آب را می‌توان از طریق تغییر سیستم آبیاری به میزان قابل توجهی افزایش داد. در استراتژی تمام آبیاری در سطح راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد، مقدار شاخص بهره‌وری آب، ۰/۵۵۶ کیلوگرم در هر مترمکعب است که در صورت افزایش راندمان آبیاری به ۹۰ درصد این اعداد به ۱/۲۵۰ کیلوگرم در هر مترمکعب خواهد رسید. در بعضی از مطالعات از جمله رساله محمدمهدی مقیمی که در سپتامبر ۲۰۱۳ تحت راهنمایی آقای دکتر سپاسخواه در دانشگاه شیراز دفاع شد، به جای ضرایب پیشنهادی دوریناس و کسام برای ذرت از ضرایب پیشنهادی نی ریزی و ریدزیوسکی پس از اصلاحاتی استفاده شده است، ما در این بررسی، از این ضرایب نیز استفاده کردیم و نتایج کاملاً متفاوت با نتایجی که در آن از ضرایب دوریناس و کسام استفاده کرده بودیم، به دست آمد. لازم به تذکر است که ضریب حساسیت گیاه ذرت بر اساس پیشنهاد نی ریزی و ریدزیوسکی به مراتب پایین‌تر از این اعداد بر اساس پیشنهاد دورنباس و کسام می‌باشد. بعد از اعمال این ضرایب، استراتژی‌های آبیاری یافت شد، که نسبت به استراتژی تمام آبیاری شاخص بهره‌وری آب بالاتری داشت. در زیر به پاره‌ای از این استراتژی‌ها اشاره می‌شود:

- استراتژی کم آبیاری در مرحله S_4 به میزان ۲۰ درصد

در این استراتژی در راندمان آبیاری ۴۰ درصد، بهره‌وری آب، ۰/۶۰۱ کیلوگرم در هر مترمکعب است که نسبت به شاخص بهره‌وری آب در استراتژی تمام آبیاری حدود ۸/۱ درصد افزایش نشان می‌دهد.

جدول (۸): نتایج حاصل از اجرای ۱۵ استراتژی آبیاری بر بهره‌وری آب برای محصول ذرت در راندمان آبیاری ۴۰ درصد

ردیف	استراتژی آبیاری	آب مصرفی	بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم محصول بر مترمکعب)	بهره‌وری اقتصادی (ریال بازده برنامه‌ای در هر مترمکعب)
۱	تمام آبیاری	۱۶۱۹۹	۰/۵۵۶	۵۰۳۲
۲	کم آبیاری در دوره S_2 به میزان ۲۰٪	۱۵۵۸۶	۰/۵۳۴	۴۸۴۲
۳	کم آبیاری در دوره S_4 به میزان ۲۰٪	۱۴۷۵۱	۰/۶۰۱	۵۴۴۱
۴	کم آبیاری در دوره S_4 به میزان ۴۰٪	۱۳۳۰۳	۰/۶۵۵	۵۹۳۷
۵	کم آبیاری در دوره S_4 به میزان ۶۰٪	۱۱۸۵۵	۰/۷۲۴	۶۵۵۵
۶	کم آبیاری در دوره S_5 به میزان ۲۰٪	۱۵۷۲۱	۰/۵۶۲	۵۰۹۲
۷	کم آبیاری در دوره S_5 به میزان ۴۰٪	۱۵۳۴۰	۰/۵۶۶	۵۱۲۳
۸	کم آبیاری در دوره S_5 به میزان ۶۰٪	۱۴۹۶۰	۰/۵۶۹	۵۱۵۵
۹	کم آبیاری در دوره S_2 و S_5 به میزان ۲۰٪	۱۵۱۰۸	۰/۵۴۱	۴۹۰۵
۱۰	کم آبیاری در دوره S_4 و S_5 به میزان ۲۰٪	۱۴۲۷۳	۰/۶۱۰	۵۵۲۲
۱۱	کم آبیاری در دوره S_4 و S_5 به میزان ۴۰٪	۱۲۴۴۴	۰/۶۷۵	۶۱۱۸
۱۲	کم آبیاری دو دوره S_4 و S_5 به میزان ۶۰٪	۱۰۶۱۶	۰/۷۶۴	۹۲۵
۱۳	کم آبیاری درتمام دوره‌ها به میزان ۲۰٪	۱۲۶۶۲	۰/۵۶۴	۵۱۰۸
۱۴	کم آبیاری در تمام دوره‌ها به میزان ۴۰٪	۹۲۲۳	۰/۶۰۰	۵۴۳۶
۱۵	کم آبیاری در تمام دوره‌ها به میزان ۶۰٪	۵۷۸۴	۰/۷۲۱	۶۵۲۸

با افزایش کم آبیاری در این مرحله به ۶۰ درصد، شاخص بهره‌وری آب، برابر با ۰/۷۲۴ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب است (در راندمان آبیاری ۴۰٪) که نسبت به استراتژی تمام-آبیاری با همین سیستم و راندمان آبیاری، افزون بر ۳۰ درصد رشد نشان می‌دهد. البته با اعمال کم‌آبیاری در مرحله S_5 نیز شاهد افزایش بهره‌وری آب نسبت به استراتژی تمام آبیاری خواهیم بود اما میزان افزایش چندان قابل توجه نخواهد بود. با اعمال کم‌آبیاری به طور همزمان در دو مرحله رشد S_4 و S_5 بهره‌وری آب افزایش قابل توجهی می‌یابد. در صورتی که میزان کم‌آبیاری حدود ۶۰ درصد باشد، بهره‌وری در این استراتژی به ۰/۷۶۴ کیلوگرم در هر مترمکعب در راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد می‌رسد که نسبت به استراتژی تمام‌آبیاری در همین راندمان، افزون بر ۳۷ درصد رشد نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این استراتژی بالاترین بهره‌وری آب را برای ذرت بدست می‌دهد. زیرا وقتی کم آبیاری را به طور یکنواخت در تمام مراحل رشد اعمال شود(به میزان ۶۰ درصد)، شاخص بهره‌وری آب برای ذرت به ۰/۷۲۱ کیلوگرم در هر مترمکعب می‌رسد که نسبت به استراتژی قبلی یعنی استراتژی که در آن آبیاری تنها در دو مرحله رشد S_4 و S_5 به میزان ۶۰ درصد صورت می‌گیرد (جدول ۸)، عدد پایین‌تری است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که تحقیق بر ضرایب حساسیت گیاهان نسبت به تنش آبی و ارائه ضرایبی که بتواند در چنین مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد، از اهمیت زیادی برخوردار است. متأسفانه مطالعات پراکنده‌ای که در این زمینه صورت گرفته به گونه‌ای نیست که بتواند جایگزین منابع ذکر شده قبلی گردد. به هرحال تعیین استراتژی‌های بهینه آبیاری در گرو دسترسی به ضرایب حساسیتی است که از هر نوع آزمون _ خطایی بی نیاز باشد و با اطمینان بتوان به نتایج حاصله تکیه کرد.

با استفاده از ضرایب اصلاح شده نی‌ریزی و ریدزیوسکی، استراتژی‌های مختلفی برای کلزا شبیه سازی شد. بهره‌وری فیزیکی آب در راندمان آبیاری ۴۰ درصد برای استراتژی تمام آبیاری، ۰/۳۶ بود که با حرکت به سمت استراتژی‌های کم آبیاری و افزایش راندمان کاربردی بر مقدار آن افزوده شد و تا ۱/۱ هم افزایش یافت. برای برنج تنها استراتژی تمام آبیاری ارزیابی شد که مقدار بهره‌وری آب در راندمان ۴۰ درصد و ۹۰ درصد به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۳۰ کیلوگرم در هر مترمکعب بدست آمد.

در محصول گوجه فرنگی، میزان مصرف آب در راندمان ۴۰ درصد، برابر با ۲۰۷۳۰ مترمکعب در هکتار بود که با توجه به متوسط عملکرد در هکتار محصول برابر با ۵۰ تن، میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب معادل ۲/۴۱ کیلوگرم در هر مترمکعب بدست آمد. اما با توجه به کشت زیر پلاستیک این محصول و استفاده گسترده در این نوع کشت از آبیاری نواری و در نتیجه راندمان آبیاری بالای ۸۵ درصد، میزان مصرف آب در راندمان آبیاری ۹۰ درصد به ۹۲۱۳ مترمکعب تقلیل می‌یابد که حتی با همان عملکرد قبلی، میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب تا ۵/۴۳ افزایش یافت. با توجه به ضرایب حساسیت نسبت به تنش آبی که برای این محصول در اختیار بود (ضرایب دوریناس و کسام) استراتژی کم آبیاری که بتواند بهره‌وری فیزیکی آب، بالاتری بدست دهد، مشاهده نشد. بنابراین برای افزایش بهره‌وری آب این محصول، بهترین استراتژی، کشت گلخانه‌ای یا کشت زیر پلاستیک با آبیاری نواری است.

در گام بعدی با استفاده از مدل پیشنهادی، استراتژی آبیاری مناسب برای هر یک از مزارع نماینده پیشنهاد شده است. در همگن سازی زارعین، تکیه اصلی بر منابع آب بوده است. سه گروه زارعین تشخیص داده شد. زارعینی که محدودیتی از نظر منابع آب ندارند و میزان دسترسی آنها به منابع آب بیش از ۱/۵ در ثانیه به ازای هر هکتار است، یعنی هر مزرعه ۱۰ هکتاری به ۱۵ لیتر در ثانیه آب دسترسی دارد. زارعینی با محدودیت متوسط از نظر منابع آب در گروه دوم قرار می‌گیرند، میزان دسترسی این گروه به آب به طور متوسط ۱ لیتر در ثانیه به ازای هرهکتار است. نهایتاً گروه سوم که با محدودیت نسبتاً شدید آب روبرو هستند و میزان دسترسی آنها کمتر از ۰/۷ لیتر به ازای هر هکتار است.

لازم به تذکر است که اتخاذ استراتژی آبیاری باید با توجه به محدودیت‌های موجود در مزرعه از جمله میزان دسترسی آنها به منابع آب صورت گیرد. بنابراین نتایج ارائه شده در قسمت نخست این فصل، تنها شبیه‌سازی استراتژی‌های تعریف شده است و تضمینی برای انتخاب آنها از سوی زارعین نیست. بنابراین از مدل پیشنهادی برای انتخاب استراتژی‌های آبیاری مناسب مزارع نماینده گروه‌های همگن استفاده شد. برای اجرای مدل هزینه استحصال و توزیع هر مترمکعب آب، ۷۵۰ ریال در نظر گرفته شد[1]. همان‌گونه که نتایج درج شده در جدول ۹ نشان می‌دهد، برای مزرعه نماینده گروه ۱ که با محدودیت آب مواجه نیستند، در سطح

۱- روش محاسبه هزینه استحصال و توزیع یک مترمکعب آب از سفره‌های آب زیرزمینی در پیوست آورده شده است.

راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد تنها برای محصول پیاز استراتژی تمام آبیاری انتخاب شده است، برای بقیه محصولات، کم آبیاری در دو مرحله رشد S_4 و S_5 اعمال شده است. اما با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد و ۸۰ درصد، کم آبیاری فقط به محصولات گندم و جو که حساسیت بسیار پایینی به تنش آبی دارند محدود می‌شود و برای هر سه محصول ذرت، پیاز و چغندرقند که بازده برنامه‌ای بالایی دارند، استراتژی تمام آبیاری انتخاب می‌گردد، در حقیقت افزایش راندمان آبیاری، میزان دسترسی آب واحد نماینده را افزایش داده و کل هزینه مربوط به آبیاری را به دلیل مصرف کمتر آب کاهش می‌دهد. پس از یک سو، دسترسی به آب بیشتر شده و از سوی دیگر هزینه بکارگیری آب کمتر گردیده است. این دو عامل، موجب شده است تا مدل بهینه سازی غیرخطی برای محصولات با بازدهی بالا، استراتژی تمام آبیاری را انتخاب نماید. کم آبیاری برای دو محصول شتوی یعنی گندم و جو نیز با افزایش راندمان آبیاری، تنها به دوره S_5 با ضریب حساسیت بسیار پایین به تنش آبی محدود شده است. بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که در صورت جایگزینی سیستم‌های آبیاری مدرن به جای سیستمهای آبیاری سنتی و سطحی در پاره ای از مزارع ، استراتژی تمام آبیاری جایگزین استراتژیهای کم آبیاری می‌شود که تاثیر منفی بر نرخ بهره وری آب دارد و باید به گونه ای مانع این کار شد. همانگونه که قبلا اشاره شد، محدود کردن مصرف آب همراه با مدرنیزه کردن سیستم آبیاری، می تواند گام موثری در این راستا باشد. در مدل تخصیص آب ، سطح زیرکشت داده شده است. در این قسمت ازمطالعه ، برای هر سه مزرعه نماینده، اندازه مزرعه ۱۱ هکتار و الگوی کشت به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

گندم: ۷ هکتار، جو: ۱ هکتار، ذرت: ۸ هکتار، پیاز: ۱/۵ هکتار و چغندرقند: ۱/۵ هکتار

علت یکسان در نظر گرفتن اندازه مزرعه، به این دلیل است که تفاوتهای مشاهده شده، تنها مربوط به میزان دسترسی به آب و تغییرات استراتژی آبیاری و سیستم آبیاری باشد. استراتژی بهینه آبیاری برای مزرعه نماینده گروه ۲، با منابع آبی به میزان ۱ لیتر در ثانیه برای هر هکتار، در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی جدول (۱۰) بدست می-آید، در اینجا نیز در راندمان آبیاری ۴۰ درصد، تنها برای محصول پیاز استراتژی تمام‌آبیاری انتخاب شده است اما برای سایر محصولات میزان کم‌آبیاری بیشتر از میزانی است که برای مزرعه نماینده گروه ۱ انتخاب شد. با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد نیز، استراتژی کم-

آبیاری برای گندم، جو، ذرت و چغندرقند انتخاب شده است اما با افزایش راندمان آبیاری به ۸۰ درصد، کم‌آبیاری فقط به گندم و جو، آن هم برای دوره S_5 محدود شده است. مطلب دیگری که با مقایسه جدول (۱۰) با جدول (۹) حاصل می‌شود، این است که با افزایش راندمان آبیاری به ۸۰ درصد، در مزرعه نماینده این گروه، استراتژی های آبیاری نظیر استراتژی آبیاری مزرعه نماینده گروه ۱ در سطح راندمان آبیاری ۶۰ درصد و ۸۰ درصد برای محصولات موجود در الگوی کشت، انتخاب می‌شود. در حقیقت این موضوع بیانگر آن است که با افزایش راندمان آبیاری به مرز ۶۰ درصد، مزرعه نماینده گروه ۱ با مازاد آب و در مزرعه نماینده گروه ۲ با افزایش راندمان آبیاری به مرز ۸۰ درصد، وضعیت این واحد از نظر دسترسی متوسط به منابع آب به دسترسی خوب به منابع آب تبدیل می‌شود. تفاوت بازده برنامه‌ای کل حاصل از فعالیت زراعی در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد در واحد نماینده یک و دو به ترتیب حدود ۱۳۶۰ و ۱۱۵۳ میلیون ریال است که بیانگر بازده برنامه‌ای حدود ۲۰۷ میلیون ریال در سال برای ۰/۵ لیتر در ثانیه در هکتار دسترسی بیشتر مزرعه نماینده گروه ۱ به آب است.

استراتژی آبیاری برای مزرعه نماینده گروه ۳ در جدول (۱۱) نشان داده شده است. محدودیت نسبتاً زیاد آب در این مزرعه، موجب شده است که برای تمام محصولات، استراتژی کم آبیاری انتخاب شود (در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد). اما با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد، پیاز از این قاعده مستثنی شده است و استراتژی کم آبیاری محدود به چهار محصول دیگر موجود در الگوی کشت یعنی گندم، جو، ذرت و چغندرقند شده است. این موضوع در سطح راندمان آبیاری ۸۰ درصد هم ادامه یافته است. اما از میزان کم‌آبیاری در پاره‌ای از مراحل رشد گیاهان کاسته شده است. تفاوت مشاهده شده در خصوص شاخص کارایی فیزیکی و اقتصادی جداول (۹) تا (۱۱) مربوط به انتخاب استراتژی آبیاری و سیستم‌های آبیاری است.

جدول (۹) : استراتژی آبیاری بهینه برای واحد نماینده گروه ۱ (میزان دسترسی به آب ۱/۵ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

شرح	راندمان کاربردی ۴۰٪					راندمان کاربردی ۶۰٪					راندمان کاربردی ۸۰٪				
	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند
مرحله رشد استقراریا S_1	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشد رویشی یا S_2	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشدگل-دهی یا S_4	۱	۱	۱	–	–	۱	۱	۱	–	–	۱	۱	۱	–	–
مرحله شکل-گیری عملکرد محصول S_4	۰/۹۶۱	۰/۴۰۰	۰/۷۲۷	۱	۰/۹۲۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشد رسیدن S_5	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱	۱	۰/۷۹۵	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸	۱	۱	۱	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸	۱	۱	۱
مقدار آب مصرفی (m^3 در هکتار)	۱۰۳۳۲	۵۳۲۱	۱۴۲۲۵	۲۸۹۳۷	۲۶۸۹۵	۷۰۲۴	۵۵۰۱	۱۰۷۹۹	۱۹۲۹۱	۱۹۷۶۶	۵۲۶۸	۴۱۲۶	۸۱۰۰	۱۴۴۶۹	۱۴۸۲۵
عملکرد در هکتار (kg)	۵۸۴۸	۲۷۸۳	۸۸۰۹	۴۵۰۰۰	۶۶۳۵۵	۵۹۶۴	۳۹۷۹	۹۰۰۰	۴۵۰۰۰	۷۰۰۰۰	۵۹۶۴	۳۹۷۹	۹۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰
بازده برنامه‌ای (ریال در هکتار)	۳۷۱۲۲۸۷۶	۱۹۴۴۰۵۹۰	۶۹۱۲۴۳۴۰	۲۴۳۷۴۷۰۰۰	۱۱۰۹۰۶۲۰۰	۴۰۴۹۱۸۰۰	۲۹۳۷۳۴۱۰	۷۳۴۲۷۴۴۰	۲۵۰۹۸۱۴۰۰	۱۲۳۴۹۳۵۰۰	۴۱۸۰۸۷۹۰	۳۰۴۰۴۸۳۰	۷۵۴۵۲۲۳۰	۲۵۴۵۹۸۵۰۰	۱۲۷۱۹۹۷۰۰
شاخص بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم در مترمکعب)	۰/۵۶۶	۰/۵۲۳	۰/۶۱۹	۱/۵۵۵	۲/۴۶۶	۰/۸۴۹	۰/۷۲۳	۰/۸۳۳	۲/۳۳۳	۳/۵۴۱	۱/۱۳۲	۰/۹۶۴	۱/۱۱۱	۳/۱۱۱	۴/۷۲۲
شاخص بهره‌وری اقتصادی (ریال در مترمکعب)	۳۵۹۳	۳۶۵۴	۴۸۵۹	۸۴۲۴	۴۱۲۴	۵۷۶۵	۵۳۴۰	۶۷۹۹	۱۳۰۱۰	۶۲۴۸	۷۹۳۶	۷۳۷۰	۹۳۱۶	۱۷۵۹۷	۸۵۸۰
بازده برنامه‌ای کل (۱۰ ریال)	۱۳۶۲۸۲۷۰۰					۱۴۶۵۴۸۸۰۰					۱۴۹۷۹۲۲۰۰				

جدول (۱۰): استراتژی آبیاری بهینه برای واحد نماینده گروه ۲ (میزان دسترسی به آب ۱ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

شرح	راندمان کاربردی ۴۰٪					راندمان کاربردی ۶۰٪					راندمان کاربردی ۸۰٪				
	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند
مرحله رشد استقرار S_1	۱	۱	۰/۴۰۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشد رویشی S_2	۰/۸۷۷	۰/۶۴۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشدگل‌دهی S_4	۱	۱	۱	–	–	۱	۱	۱	–	–	۱	۱	۱	–	–
مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول S_4	۰/۴۲۷	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱	۰/۴۰۰	۰/۹۶۱	۰/۴۰۰	۰/۷۲۷	۱	۰/۹۲۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشد رسیدن S_5	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱	۱	۰/۶۱۴	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸	۱	۱	۰/۷۹۵	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸	۱	۱	۱
مقدار آب مصرفی (m^3 در هکتار)	۷۵۱۵	۴۶۷۲	۹۷۲۶	۲۸۹۳۷	۱۹۷۸۴	۶۸۸۷	۳۵۶۹	۹۴۸۳	۱۹۲۹۱	۱۷۹۲۹	۵۲۶۸	۴۱۲۶	۸۱۰۰	۱۴۴۶۹	۱۴۸۲۵
عملکرد در هکتار (kg)	۴۲۵۵	۲۷۱۵	۶۹۸۸	۴۵۰۰۰	۵۲۳۴۰	۵۸۴۸	۲۷۸۵	۸۸۰۸	۴۵۰۰۰	۶۶۳۳۵	۵۹۶۴	۳۹۷۹	۹۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰
بازده برنامه‌ای (ریال در هکتار)	۲۷۰۰۸۲۶۰	۱۹۳۴۸۷۱۰	۵۶۰۱۱۵۹۰	۲۴۳۷۴۷۰۰۰	۸۸۵۸۵۲۶۰	۳۹۷۰۷۴۸۰	۲۰۷۷۲۶۸۰	۷۲۶۸۰۶۳۰	۲۵۰۹۸۱۴۰۰	۱۱۷۶۲۹۹۰۰	۴۱۸۰۸۷۹۰	۳۰۴۰۴۸۳۰	۷۵۴۵۲۲۳۰	۲۵۴۵۹۸۵۰۰	۱۲۷۱۹۹۷۰۰
شاخص بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم در مترمکعب)	۰/۵۶۶	۰/۵۸۱	۰/۷۱۹	۱/۵۵۵	۲/۶۴۶	۰/۸۴۹	۰/۷۸۰	۰/۹۲۹	۲/۳۳۳	۳/۷۰۰	۱/۱۳۲	۰/۹۶۴	۱/۱۱۱	۳/۱۱۰	۴/۷۲۲
شاخص بهره‌وری اقتصادی (ریال در مترمکعب)	۳۵۹۴	۴۱۴۱	۵۷۵۹	۸۴۲۴	۴۱۲۴	۵۷۶۵	۵۸۲۰	۷۶۶۴	۱۳۰۱۰	۶۵۶۰	۷۹۳۶	۷۳۷۰	۹۳۱۶	۱۷۵۹۷	۸۵۸۰
بازده برنامه‌ای کل (۱۰ ریال)	۸۵۸۰			۱۱۵۳۵۳۸۰۰					۱۴۶۵۴۸۸۰۰					۱۴۹۷۹۲۲۰۰	

جدول (۱۱) :استراتژی آبیاری بهینه برای واحد نماینده گروه ۳ (میزان دسترسی به آب ۰/۷ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

شرح	راندمان کاربردی ۴۰٪					راندمان کاربردی ۶۰٪					راندمان کاربردی ۸۰٪				
	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند	گندم	جو	ذرت	پیاز	چغندرقند
مرحله رشد استقرار S_1	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰/۴۰۰	۱	۱	۱	۱	۰/۸۸۱	۱	۱
مرحله رشد رویشی S_2	۰/۷۸۲	۱	۰/۴۰۰	۱	۰/۸۰۷	۱	۱	۰/۷۱۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
مرحله رشدگل‌دهی S_4	۰/۵۴۴	۱	۰/۹۸۶	–	–	۱	۱	۱	–	–	۱	۱	۱	–	–
مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول S_4	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۹۸	۰/۴۰۰	۰/۴۱۶	۱	۰/۴۴۹	۰/۸۹۰	۰/۴۰۰	۰/۶۸۲	۱	۰/۷۵۳
مرحله رشد رسیدن S_5	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۰/۴۰۰	۱	۱	۰/۷۳۲	۰/۴۰۰	۰/۴۷۸	۱	۱	۰/۷۹۵
مقدار آب مصرفی (m^3 در هکتار)	۴۹۱۱	۵۳۲۱	۸۹۴۰	۱۲۳۵۹	۱۵۶۸۲	۵۲۵۹	۳۵۴۷	۶۷۱۷	۱۹۲۹۱	۱۴۲۶۹	۴۹۷۹	۲۶۷۶	۶۸۴۷	۱۴۴۶۹	۱۲۵۷۶
عملکرد در هکتار (kg)	۲۹۰۰	۲۷۸۳	۶۲۱۵	۱۹۱۸۸	۴۱۰۸۷	۴۴۶۵	۲۷۸۳	۷۲۲۴	۴۵۰۰۰	۵۴۳۱۳	۵۶۳۷	۲۷۸۵	۸۶۷۲	۴۵۰۰۰۰	۶۲۲۱۱
بازده برنامه‌ای (ریال در هکتار)	۱۸۵۶۸۰۰۰	۱۹۴۴۰۵۹۰	۴۹۵۹۵۳۷۰	۱۰۳۹۱۸۴۰۰	۶۹۴۲۶۶۲۰	۳۰۳۲۱۳۶۰	۲۰۷۷۰۷۵۰	۶۰۴۰۵۳۰۰	۲۵۰۹۸۱۴۰۰	۹۶۶۱۹۶۵۰	۳۹۵۱۷۹۶۰	۲۱۴۴۱۸۵۰	۷۳۴۲۷۵۴۰	۲۵۴۵۹۸۵۰۰	۱۱۳۴۹۶۵۰۰
شاخص بهره‌وری فیزیکی(کیلوگرم در مترمکعب)	۰/۵۹۰	۰/۵۲۳	۰/۶۹۵	۱/۵۵۳	۲/۶۲۰	۰/۸۴۹	۰/۷۸۵	۱/۰۷۶	۲/۳۳۳	۳/۸۰۶	۱/۱۳۲	۱/۰۴۱	۱/۲۶۷	۳/۱۱۰	۴/۹۴۷
شاخص بهره‌وری اقتصادی(ریال در مترمکعب)	۳۷۸۰	۳۶۵۴	۵۵۴۸	۸۴۰۸	۴۴۲۷	۵۲۵۹	۳۵۴۷	۶۷۱۷	۱۹۲۹۱	۱۴۲۷۰	۷۹۳۶	۸۰۱۰	۱۰۷۲۳	۱۷۵۹۷	۹۰۲۵
۸۵۸۰بازده برنامه‌ای کل (۱۰ ریال)	۸۰۴۷۳۷۱۰					۱۲۳۶۲۰۴۰۰					۱۴۳۶۱۷۰۰۰				

۳-۴- بررسی اثرات بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های آبیاری بر شاخص فیزیکی و اقتصادی بهره وری آب با استفاده از مدل تخصیص زمین اصلاح شده

۳-۴-۱- تشریح مدل تخصیص زمین اصلاح شده

در فصل قبل نتایج با استفاده از مدل تخصیص آب بررسی شد، در مدل تخصیص آب، الگوی کشت داده شده فرض می‌شود، به عبارت دیگر فرآیند تصمیم گیری را این گونه در نظر می‌گیرند که زارعین در ابتدای فصل زراعی با توجه به پیش بینی خود از وضعیت اقلیمی، سطح زیرکشت خود را تعیین می‌کنند و بعد از کشت و مشخص شدن وضعیت اقلیمی و به تبع آن میزان دسترسی به منابع آب، استراتژی‌های آبیاری را با توجه به سیستم آبیاری مزرعه انتخاب می‌کنند. اما در مدل تخصیص زمین اصلاح شده، برای هر محصول چند عمق آبیاری در نظر می‌گیرند به عبارت دیگر هر استراتژی آبیاری برای هر محصول به صورت یک فعالیت در مدل وارد می‌شود. در این بررسی برای گندم، ذرت و پیاز هر یک هشت استراتژی آبیاری و برای جو و چغندرقند هرکدام چهار استراتژی آبیاری و برای یونجه تنها یک استراتژی آبیاری در نظر گرفته شد. به عنوان مثال دو فعالیت گندم ۱ و گندم ۸، هرچند این دو فعالیت هر دو مربوط به گندم هستند، اما استراتژی آبیاری آنها متفاوت است و با افزایش شماره درج شده در کنار محصول، مقدار آب مصرفی کاسته شده و در نتیجه عملکرد نسبی یعنی عملکرد فعلی (Y_a) به عملکرد بالقوه (Y_p) کاهش می‌یابد. اطلاعات مربوط به فعالیتهای موجود در مدل تخصیص زمین اصلاح شده در جدول (۱۲) نشان داده شده است. شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب نیز برای هر یک از فعالیت‌ها در سطوح مختلف راندمان آبیاری محاسبه و در جداول (۱۳) تا (۱۵) درج شده است.

جدول (۱۲): مقدار آب مورد نیاز و عملکرد نسبی استراتژیهای مختلف آبیاری برای محصولات زراعی دشت در مدل تخصیص زمین اصلاح شده

محصول	آب خالص مورد نیاز (مترمکعب در هکتار)									نسبت Ya/Yp
	آبان و آذر	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	
گندم۱	۱۴۶	۵۷۰	۹۵۸	۱۷۶۲	۹۴۰	۰	۰	۰	۰	/۹۸۸
گندم ۲	۱۴۶	۵۷۰	۱۱۰۶	۱۲۴۹	۹۴۰	۰	۰	۰	۰	/۸۹۰
گندم ۳	۱۴۶	۵۷۰	۱۱۰۶	۱۰۲۱	۹۴۰	۰	۰	۰	۰	/۸۲۲
گندم ۴	۷۸	۵۷۰	۷۲۹	۱۰۲۱	۹۴۰	۰	۰	۰	۰	/۷۶۴
گندم ۵	۱۴۶	۵۷۰	۹۴۶	۷۷۶	۶۶۹	۰	۰	۰	۰	/۷۲۶
گندم ۶	۷۸	۳۹۴	۷۶۹	۷۲۲	۸۶۴	۰	۰	۰	۰	/۶۶۴
گندم ۷	۷۸	۳۹۴	۷۳۰	۷۲۵	۵۲۶	۰	۰	۰	۰	/۵۱۶
گندم ۸	۷۸	۲۱۷	۸۰۶	۷۲۵	۵۲۶	۰	۰	۰	۰	/۴۶۸
جو۱	۳۹	۴۹۱	۱۱۷۸	۱۵۳۹	۱۲۰	۰	۰	۰	۰	/۹۶۰
جو ۲	۳۹	۵۶۲	۱۱۰۸	۷۳۹	۱۲۰	۰	۰	۰	۰	/۷۳۸
جو ۳	۲۴/۵	۳۲۶	۷۹۰	۷۳۹	۱۲۰	۰	۰	۰	۰	/۶۶۳
جو ۴	۲۴/۵	۵۴/۳	۴۱۱	۷۹۰	۶۰	۰	۰	۰	۰	/۴۶۸
ذرت ۱	۷۴۷	۰	۰	۰	۰	۹۴۷	۱۴۹۹	۱۹۲۳	۱۵۱۲	/۹۸۰
ذرت ۲	۹۴۴	۰	۰	۰	۰	۶۱۱	۱۴۹۹	۱۴۷۹	۱۵۱۲	/۹۰۱
ذرت ۳	۵۹۲	۰	۰	۰	۰	۵۴۴/۲	۸۵۰	۱۴۵۰	۶۵۲	/۸۵۰
ذرت ۴	۵۹۲	۰	۰	۰	۰	۵۴۴/۲	۸۵۰	۱۴۵۰	۶۲۲	/۸۰۰
ذرت ۵	۷۸۰	۰	۰	۰	۰	۴۵۶	۱۴۹۹	۸۳۰	۱۵۱۲	/۷۳۰
ذرت ۶	۴۸۲	۰	۰	۰	۰	۴۵۶	۱۴۴۹	۶۴۲	۱۴۰۲	/۶۲۸
ذرت ۷	۴۸۲	۰	۰	۰	۰	۴۱۳/۲	۱۰۴۰	۶۴۲	۱۴۰۲	/۵۳۱
ذرت ۸	۵۳۵	۰	۰	۰	۰	۹۴۷	۹۵۶	۸۸۵	۸۹۶	/۴۸۶
چغندرقند ۱	۰	۲۰۴	۷۶۶	۱۵۷۱	۲۳۴۸	۲۴۰۰	۲۳۹۳	۱۹۸۲	۶۷۰	/۹۶۱
چغندرقند ۲	۰	۲۰۴	۷۶۶	۱۵۷۱	۲۳۴۸	۲۴۰۰	۱۵۹۹	۱۸۹۰	۰	/۹۰۴
چغندرقند۳	۰	۲۰۴	۴۳۶	۱۵۷۱	۲۳۴۸	۸۰۰	۱۲۸۲	۱۸۹۰	۰	/۷۰۸
چغندرقند ۴	۰	۲۰۴	۱۳۶	۶۴۹	۲۳۴۸	۸۰۰	۱۲۸۲	۱۸۹۰	۰	/۵۰۳
چغندرقند۵	۶۶۹	۴۴۶	۱۳۶	۵۵۹	۱۶۰۰	۸۰۰	۱۲۸۲	۱۸۹۰	۰	/۳۶۲
یونجه			۸۷۰	۱۴۷۱	۲۲۱۰	۲۲۰۴	۲۱۶۸	۲۰۴۶	۱۴۰۰	۱
برنج					۳۲۱۵	۳۲۸۰	۳۴۲۸	۲۹۷۶	۴۷۸	۱

جدول (۱۳) : میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب فعالیتهای مختلف موجود در مدل تخصیص زمین اصلاح شده در راندمان آبیاری ۴۰ ٪

نام محصول	راندمان کاربردی ۴۰٪			
	میزان آب مصرفی	عملکرد در هکتار	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب
گندم ۱	۱۰۹۴۰	۵/۹۳	۰/۵۴۲	۲۶۵۷
گندم۲	۱۰۰۲۷	۵/۳۴	۰/۵۳۳	۲۵۸۵
گندم۳	۹۴۵۷	۴/۹۳	۰/۵۲۱	۲۵۰۱
گندم۴	۸۳۴۵	۴/۵۸	۰/۵۴۹	۲۷۱۴
گندم۵	۷۷۶۵	۴/۳۶	۰/۵۶۱	۲۸۰۴
گندم۶	۷۰۶۷	۳/۹۸	۰/۵۶۳	۲۸۲۵
گندم۷	۶۱۳۲	۳/۱	۰/۵۰۶	۲۳۷۳
گندم۸	۵۸۸۰	۲/۸۱	۰/۴۷۸	۲۱۶۴
جو۱	۸۴۱۷	۴/۸	۰/۵۷۰	۲۳۴۰
جو۲	۶۴۲۰	۳/۷	۰/۵۷۶	۲۳۷۱
جو۳	۴۹۹۸	۳/۱۵	۰/۶۳۰	۲۹۶۶
جو۴	۳۳۴۹	۲/۳۴	۰/۶۹۹	۳۲۰۵
ذرت۱	۱۶۵۷۰	۸/۸۲	۰/۵۳۲	۳۳۲۱
ذرت۲	۱۵۱۱۲	۸/۱۱	۰/۵۳۷	۳۳۶۰
ذرت۳	۱۰۲۲۰	۷/۶۵	۰/۷۴۹	۵۲۸۰
ذرت۴	۱۰۱۴۵	۷/۲	۰/۷۱۰	۴۹۲۸
ذرت۵	۱۲۶۹۲	۶/۵۷	۰/۵۱۸	۳۱۸۸
ذرت۶	۱۱۰۷۷	۵/۶۵	۰/۵۱۰	۳۱۲۱
ذرت۷	۹۹۴۷	۴/۷۸	۰/۴۸۱	۲۸۵۱
ذرت۸	۱۰۵۴۷	۴/۳۷	۰/۴۱۴	۲۲۵۶
پیاز۱	۲۳۴۰۵	۵۵	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹
پیاز۲	۲۰۷۵۵	۴۹/۷۸	۲/۳۹۸	۱۰۹۵۲
پیاز۳	۱۹۹۷۲	۴۸/۱۲	۲/۴۰۹	۱۱۰۰۷
پیاز۴	۱۷۶۸۰	۴۳/۰۱	۲/۴۳۳	۱۱۱۳۰
پیاز۵	۱۵۵۱۷	۴۰/۵۱	۲/۶۱۱	۱۲۰۵۴
پیاز۶	۱۵۶۰۷	۳۵/۴۶	۲/۲۷۲	۱۰۲۹۶
پیاز۷	۱۱۶۵۵	۲۸/۰۳	۲/۴۰۵	۱۰۹۸۴
پیاز۸	۱۰۴۷۲	۲۱/۸۱	۲/۰۸۳	۹۳۱۲
چغندرقند۱	۳۰۸۳۵	۶۷/۲۷	۲/۱۸۲	۲۸۱۰
چغندرقند۲	۲۶۹۴۵	۶۳/۲۸	۲/۳۴۸	۳۱۴۰
چغندرقند۳	۲۱۳۲۷	۴۹/۵۶	۲/۳۲۴	۳۰۹۱
چغندرقند۴	۱۸۲۷۲	۳۵/۲۱	۱/۹۲۷	۲۳۰۷
چغندرقند۵	۱۶۱۷۷	۲۵/۳۴	۱/۵۶۶	۱۵۹۵
یونجه	۳۳۷۱۰	۱۵	۰/۴۴۵	-۲۲۴

جدول (۱۴): میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب فعالیتهای مختلف موجود در مدل تخصیص زمین اصلاح شده در راندمان آبیاری ۶۰ ٪

نام محصول	راندمان کاربردی ۶۰٪			
	میزان آب مصرفی	عملکرد در هکتار	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب
گندم ۱	۷۲۹۳	۵/۹۳	۰/۸۱۳	۴۷۳۶
گندم۲	۶۶۸۵	۵/۳۴	۰/۷۹۹	۴۶۲۸
گندم۳	۶۳۰۵	۴/۹۳	۰/۷۸۲	۴۵۰۱
گندم۴	۵۵۶۳	۴/۵۸	۰/۸۲۳	۴۸۲۲
گندم۵	۵۱۷۶	۴/۳۶	۰/۸۴۲	۴۹۵۶
گندم۶	۴۷۱۱	۳/۹۸	۰/۸۴۵	۴۹۸۷
گندم۷	۴۰۸۸	۳/۱	۰/۷۵۸	۴۳۱۰
گندم۸	۳۹۲۰	۲/۸۱	۰/۷۱۷	۳۹۹۶
جو۱	۵۶۱۱	۴/۸	۰/۸۵۵	۴۲۶۰
جو۲	۴۲۸۰	۳/۷	۰/۸۶۴	۴۳۰۶
جو۳	۳۳۳۲	۳/۱۵	۰/۹۴۵	۵۱۹۹
جو۴	۲۲۳۳	۲/۳۴	۱/۰۴۸	۵۵۵۷
ذرت۱	۱۱۰۴۶	۸/۸۲	۰/۷۹۸	۵۷۳۲
ذرت۲	۱۰۰۷۵	۸/۱۱	۰/۸۰۵	۵۷۹۰
ذرت۳	۶۸۱۳	۷/۶۵	۱/۱۲۳	۸۶۷۰
ذرت۴	۶۷۶۳	۷/۲	۱/۰۶۵	۸۱۴۳
ذرت۵	۸۴۶۱	۶/۵۷	۰/۷۷۶	۵۵۳۳
ذرت۶	۷۳۸۵	۵/۶۵	۰/۷۶۵	۵۴۳۲
ذرت۷	۶۶۳۱	۴/۷۸	۰/۷۲۱	۵۰۲۷
ذرت۸	۷۰۳۱	۴/۳۷	۰/۶۲۱	۴۱۳۴
پیاز۱	۱۵۶۰۳	۵۵	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹
پیاز۲	۱۳۸۳۶	۴۹/۷۸	۳/۵۹۸	۱۷۱۷۸
پیاز۳	۱۳۳۱۵	۴۸/۱۲	۳/۶۱۴	۱۷۲۶۱
پیاز۴	۱۱۷۸۶	۴۳/۰۱	۳/۶۴۹	۱۷۴۴۵
پیاز۵	۱۰۳۴۵	۴۰/۵۱	۳/۹۱۶	۱۸۸۳۱
پیاز۶	۱۰۴۰۵	۳۵/۴۶	۳/۴۰۸	۱۶۱۹۴
پیاز۷	۷۷۷۰	۲۸/۰۳	۳/۶۰۷	۱۷۲۲۶
پیاز۸	۶۹۸۱	۲۱/۸۱	۳/۱۲۴	۱۴۷۱۸
چغندرقند۱	۲۰۵۵۶	۶۷/۲۷	۳/۲۷۲	۴۹۶۶
چغندرقند۲	۱۷۹۶۳	۶۳/۲۸	۳/۵۲۳	۵۴۶۰
چغندرقند۳	۱۴۲۱۸	۴۹/۵۶	۳/۴۸۶	۵۳۸۷
چغندرقند۴	۱۲۱۸۱	۳۵/۲۱	۲/۸۹۰	۴۲۱۱
چغندرقند۵	۱۰۷۸۵	۲۵/۳۴	۲/۳۵۰	۳۱۴۲
یونجه	۲۲۴۷۳	۱۵	۰/۶۶۷	۴۱۳

جدول (۱۵): میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب فعالیتهای مختلف موجود در مدل تخصیص زمین اصلاح شده در راندمان آبیاری ۸۰ ٪

نام محصول	راندمان کاربردی ۸۰٪			
	میزان آب مصرفی	عملکرد در هکتار	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب	شاخص بهره‌وری اقتصادی آب
گندم ۱	۵۴۷۰	۵/۹۳	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
گندم۲	۵۰۱۳	۵/۳۴	۱/۰۶۵	۶۶۷۱
گندم۳	۴۷۲۸	۴/۹۳	۱/۰۴۳	۶۵۰۲
گندم۴	۴۱۷۲	۴/۵۸	۱/۰۹۸	۶۹۲۹
گندم۵	۳۸۸۲	۴/۳۶	۱/۱۲۳	۷۱۰۸
گندم۶	۳۵۳۳	۳/۹۸	۱/۱۲۶	۷۱۵۰
گندم۷	۳۰۶۶	۳/۱	۱/۰۱۱	۶۲۴۷
گندم۸	۲۹۴۰	۲/۸۱	۰/۹۵۶	۵۸۲۸
جو۱	۴۲۰۸	۴/۸	۱/۱۴۰	۶۱۸۱
جو۲	۳۲۱۰	۳/۷	۱/۱۵۳	۶۲۴۲
جو۳	۲۴۹۹	۳/۱۵	۱/۲۶۰	۷۴۳۲
جو۴	۱۶۷۴	۲/۳۴	۱/۳۹۷	۷۹۱۰
ذرت۱	۸۲۸۵	۸/۸۲	۱/۰۶۵	۸۱۴۳
ذرت۲	۷۵۵۶	۸/۱۱	۱/۰۷۳	۸۲۲۱
ذرت۳	۵۱۱۰	۷/۶۵	۱/۴۹۷	۱۲۰۶۱
ذرت۴	۵۰۷۲	۷/۲	۱/۴۱۹	۱۱۳۵۷
ذرت۵	۶۳۴۶	۶/۵۷	۱/۰۳۵	۷۸۷۷
ذرت۶	۵۵۳۸	۵/۶۵	۱/۰۲۰	۷۷۴۳
ذرت۷	۴۹۷۳	۴/۷۸	۰/۹۶۱	۷۲۰۳
ذرت۸	۵۲۷۳	۴/۳۷	۰/۸۲۹	۶۰۱۳
پیاز۱	۱۱۷۰۲	۵۵	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
پیاز۲	۱۰۳۷۷	۴۹/۷۸	۴/۷۹۷	۲۳۴۰۴
پیاز۳	۹۹۸۶	۴۸/۱۲	۴/۸۱۹	۲۳۵۱۵
پیاز۴	۸۸۴۰	۴۳/۰۱	۴/۸۶۵	۲۳۷۶۰
پیاز۵	۷۷۵۸	۴۰/۵۱	۵/۲۲۱	۲۵۶۰۹
پیاز۶	۷۸۰۳	۳۵/۴۶	۴/۵۴۴	۲۲۰۹۳
پیاز۷	۵۸۲۷	۲۸/۰۳	۴/۸۱۰	۲۳۴۶۸
پیاز۸	۵۲۳۶	۲۱/۸۱	۴/۱۶۵	۲۰۱۲۵
چغندرقند۱	۱۵۴۱۷	۶۷/۲۷	۴/۳۶۳	۷۱۲۱
چغندرقند۲	۱۳۴۷۲	۶۳/۲۸	۴/۶۹۷	۷۷۸۱
چغندرقند۳	۱۰۶۶۳	۴۹/۵۶	۴/۶۴۸	۷۶۸۳
چغندرقند۴	۹۱۳۶	۳۵/۲۱	۳/۸۵۴	۶۱۱۵
چغندرقند۵	۸۰۸۸	۲۵/۳۴	۳/۱۳۳	۴۶۹۰
یونجه	۱۶۸۵۵	۱۵	۰/۸۹۰	۱۰۵۰

۳-۴-۲- نتایج و بحث

الگوهای کشت همراه با استراتژی‌های آبیاری بهینه برای واحد نماینده گروه ۱ بر اساس نتایج فراهم آمده از اجرای مدل تخصیص زمین اصلاح شده، در سطوح مختلف راندمان آبیاری در جدول (۱۶) نشان داده شده است.

همان گونه که ملاحظه می‌گردد، در سطح راندمان ۴۰ درصد، علیرغم دسترسی واحد نماینده به میزان کافی آب، اما پایین بودن راندمان آبیاری و منظور نمودن هزینه تأمین هر مترمکعب آب، موجب شده است که برای گندم و ذرت استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شود. بازده برنامه‌ای کل بدست آمده، اندکی کمتر از بازده کل محاسبه شده بر اساس مدل تخصیص آب است، که دلیل اصلی آن، امکان انتخاب بیشتر استراتژی آبیاری در مدل تخصیص آب نسبت به مدل تخصیص زمین اصلاح شده است. با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ و ۸۰ درصد، برای تمام محصولات استراتژی تمام آبیاری (گندم ۱، ذرت ۱، پیاز ۱ و چغندر۱) انتخاب شده است. الگوی کشت بهینه همراه با استراتژی آبیاری انتخاب شده برای مزرعه نماینده گروه ۲ در جدول (۱۷) نشان داده شده است، همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، در راندمان آبیاری ۴۰ درصد و ۶۰ درصد برای دو محصول گندم و ذرت، استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شده است که با افزایش راندمان آبیاری به ۸۰ درصد، حتی با وجود هزینه تأمین هرمترمکعب آب برابر با ۷۵۰ ریال، استراتژی تمام آبیاری برای همه محصولات انتخاب شده است. برای پیاز نیز در تمام سطوح راندمان آبیاری، استراتژی آبیاری انتخاب شده، استراتژی تمام آبیاری می‌باشد. انتخاب استراتژی کم آبیاری در دو سطح راندمان آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد، موجب شده است که شاخص کل بهره‌وری هرمترمکعب آب در این گروه بیشتر از مقدار این شاخص برای مزرعه نماینده گروه ۱ باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه میزان دسترسی بیشتر مزارع به منابع آب، آب اندوخته شده، به تغییر استراتژی آبیاری از کم‌آبیاری به تمام‌آبیاری شده است که کاهش بهره‌وری اقتصادی آب را به دنبال داشته است. در این خصوص تعیین ومحدود کردن میزان برداشت آب و ایجاد بازار آب می‌تواند از چنین فرآیندی جلوگیری کند. در فصل بعد اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر بهره‌وری آب و کاهش منازعات مورد بررسی قرار گرفته است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در

سطح راندمان آبیاری ۸۰ درصد در مزارع نماینده گروه ۱ و ۲ به میزان ۱۰۰۶۹ ریال برای هر مترمکعب و برابر می‌باشد.

الگوی کشت و استراتژی بهینه آبیاری برای مزرعه نماینده گروه ۳ در جدول (۱۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای این واحد به دلیل محدودیت نسبتاً شدید آب، حتی در صورت افزایش راندمان آبیاری به سطح ۸۰ درصد هم، استراتژی کم آبیاری برای گندم و ذرت انتخاب خواهد شد. وضعیت دسترسی این واحد به منابع آب به گونه‌ای است که در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد، حتی برای پیاز نیز، استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شده است.

بالا بودن میزان شاخص کل بهره‌وری اقتصادی آب در این مزرعه نسبت به دو مزرعه دیگر، به خوبی نقش تعیین کننده استراتژی کم آبیاری و سیستم‌های آبیاری را بر بهره‌وری آب نشان می‌دهد.

جدول (۱۶): الگوی کشت و استراتژی بهینه برای واحد نماینده گروه ۱ (میزان دسترسی به آب ۱/۵ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

نام محصول	راندمان کاربردی ۴۰٪			راندمان کاربردی ۶۰٪			راندمان کاربردی ۸۰٪		
	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب
گندم ۱	۳/۱۷۶	۰/۵۴۲	۲۶۵۷	گندم ۱	۸	۰/۸۱۳	۴۷۳۶	گندم ۱	۸	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
گندم۲	۴/۸۲۴	۰/۵۳۳	۲۵۸۵	ذرت۱	۸	۰/۷۹۸	۵۷۳۲	ذرت۱	۸	۱/۱۴۰	۸۱۴۳
ذرت۱	۲/۱۱۳	۰/۵۳۲	۳۳۲۱	پیاز۱	۱/۵	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹	پیاز۱	۱/۵	۱/۰۶۵	۲۲۸۹۹
ذرت۲	۲/۸۹۴	۰/۵۳۷	۳۳۶۰	چغندرقند۱	۱/۵	۳/۲۷۲	۴۹۶۶	چغندرقند۱	۱/۵	۴/۳۶۳	۷۱۲۱
ذرت۳	۲/۹۹۳	۰/۷۴۹	۵۲۸۰								
پیاز۱	۱/۵۰۰	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹								
چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۲/۱۸۲	۲۸۱۰								
کل آب مصرفی (مترمکعب)	۲۷۳۸۱۴			۲۰۰۹۶۰			۱۵۰۷۲۰				
بازده برنامه‌ای کل	۱۳۵۳۲۴۳۰۰			۱۴۸۰۰۰۱۰۰			۱۵۱۷۶۸۱۰۰				
شاخص کل بهره‌وری آب	۴۹۴۲			۷۳۶۴			۱۰۰۶۹				

جدول (۱۷): الگوی کشت و استراتژی بهینه برای واحد نماینده گروه ۲ (میزان دسترسی به آب ۱ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

نام محصول	راندمان کاربردی ۴۰٪			راندمان کاربردی ۶۰٪			راندمان کاربردی ۸۰٪		
	سطح زیر کشت	شاخص بهره‌وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب
گندم ۲	۰/۵۳۰	۰/۵۳۳	۲۵۸۵	گندم ۱	۳/۱۷۶	۰/۸۱۳	گندم ۱	۸	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
گندم۳	۳/۶۳۵	۰/۵۲۱	۲۵۰۱	گندم ۲	۴/۸۲۴	۰/۷۹۹	ذرت۱	۸	۱/۰۶۵	۸۱۴۳
گندم۵	۵/۳۳۵	۰/۵۶۱	۲۸۰۴	ذرت۱	۲/۱۱۳	۰/۷۹۸	پیاز۱	۱/۵	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
ذرت۳	۶/۱۲۱	۰/۷۴۹	۵۲۸۰	ذرت۲	۲/۸۹۴	۰/۸۰۵	چغندرقند۱	۱/۵	۴/۳۶۳	۷۱۲۱
ذرت۶	۲/۰۵۱	۰/۵۱۰	۳۱۲۱	ذرت۳	۲/۹۹۳	۱/۱۲۳				
پیاز۱	۱/۵۰۰	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹	پیاز۱	۱/۵۰۰	۳/۵۲۵				۱۶۷۹۹
				چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۳/۲۷۲				۴۹۶۶
کل آب مصرفی (مترمکعب)			۲۰۱۴۹۶			۱۸۲۵۴۲				۱۵۰۷۲۰
بازده برنامه‌ای کل (۱۰ریال)			۱۱۴۳۹۰۲۰۰			۱۴۲۱۶۹۶۰۰				۱۵۱۷۶۸۱۰۰
شاخص کل بهره‌وری آب (ریال به ازای هرمترمکعب)			۵۶۷۷			۷۷۸۸				۱۰۰۶۹

جدول (۱۸): الگوی کشت و استراتژی بهینه برای واحد نماینده گروه ۳ (میزان دسترسی به آب ۰/۷ لیتر در ثانیه برای هر هکتار)

نام محصول	راندمان کاربردی ۴۰٪			راندمان کاربردی ۶۰٪			راندمان کاربردی ۸۰٪		
	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب	نام محصول	سطح زیر کشت	شاخص بهره-وری فیزیکی آب	شاخص بهره-وری اقتصادی آب
گندم ۵	۰/۲۹۰	۰/۵۶۱	۲۸۰۴	گندم ۲	۰/۷۶۰	۰/۷۹۹	۴۶۲۸	گندم ۱	۱/۰۴۶	۱/۰۸۴	۶۸۱۴
گندم ۷	۷/۷۱۰	۰/۵۰۶	۲۳۷۳	گندم ۳	۵/۴۲۱	۰/۷۸۲	۴۵۰۱	گندم ۲	۶/۹۵۴	۱/۰۶۵	۶۶۷۱
ذرت۳	۴/۴۱۹	۰/۷۴۹	۵۲۸۰	گندم ۵	۳/۳۱۹	۰/۸۴۲	۴۹۵۶	ذرت۲	۳/۱۶۰	۱/۰۷۳	۸۲۲۱
ذرت۶	۰/۷۸۶	۰/۵۱۰	۳۱۲۱	ذرت۳	۶/۰۳۴	۱/۱۲۳	۸۶۷۰	ذرت۳	۴/۶۷۷	۱/۴۹۷	۱۲۰۶۱
پیاز۱	۰/۹۱۱	۲/۳۵۰	۱۰۶۹۹	ذرت۵	۲/۳۹۶	۰/۷۷۶	۵۵۳۳	ذرت۵	۰/۱۶۳	۱/۰۳۵	۷۸۷۷
پیاز۲	۰/۵۸۹	۲/۳۹۸	۱۰۹۵۲	پیاز۱	۱/۵۰۰	۳/۵۲۵	۱۶۷۹۹	پیاز۱	۱/۵۰۰	۴/۷۰۰	۲۲۸۹۹
								چغندرقند۱	۱/۵۰۰	۴/۳۶۳	۷۱۲۱
کل آب مصرفی (مترمکعب)		۱۳۶۹۵۰				۱۴۱۲۳۲				۱۳۰۰۷۷	
بازده برنامه‌ای کل		۸۴۸۹۵۷۳۰۰				۱۲۳۰۳۳۱۰۰				۱۴۲۸۵۴۸۰۰	
شاخص کل بهره‌وری آب		۶۱۹۸				۸۷۱۱				۱۰۹۸۲	

اطلاعات موجود در جداول (۱۳) تا (۱۵) نشان می‌دهد که در میان هشت عمق آبیاری منظور شده برای گندم، گندم ۶ دارای بالاترین میزان بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب می‌باشد. استراتژی آبیاری این فعالیت را می‌توان با مراجعه به جدول (۱۲) بدست آورد. بنابراین می‌توان با انتخاب استراتژی آبیاری مناسب، بهره‌وری آب را افزایش داد. اما این امر بیانگر آن نیست که چنین استراتژی‌های همواره انتخاب خواهند شد، قطعاً برای زارعینی که هدف آنها حداکثر کردن عملکرد در هکتار یا سود می‌باشد، ممکن است که استراتژی تمام آبیاری، انتخاب برتر باشد که در این صورت بهره‌وری آب، کاهش خواهد یافت. برای محصول ذرت نیز استراتژی‌های آبیاری همراه با فعالیت ذرت ۲، ذرت ۳ و ذرت ۴، بهره‌وری بالاتری را نسبت به استراتژی تمام آبیاری بدست می‌دهد. این امر به ویژه در مورد ذرت ۳ که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در آن برابر با ۰/۷۴۹ کیلوگرم برای هر مترمکعب است، کاملاً محسوس است. بهره‌وری فیزیکی آب در این استراتژی آبیاری را که می‌توان با مراجعه به جدول (۱۳) بدست آورد، به میزان ۴۰/۸ درصد بیشتر از بهره‌وری فیزیکی آب برای استراتژی تمام آبیاری (ذرت ۱) است. در مورد پیاز هم مشاهده می‌شود که هر چند بهره‌وری آب در استراتژیهای آبیاری همراه با فعالیت پیاز ۲، پیاز ۳، پیاز ۴، پیاز ۵، پیاز ۶ و پیاز ۷. بیش از استراتژی تمام آبیاری برای این محصول (پیاز ۱) است، اما همانگونه که مشاهده کردیم این استراتژی تنها، برای یکی از مزارع نماینده که با محدودیت شدید آب همراه بود، آن هم تنها در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد، انتخاب شد و در بقیه موارد، استراتژی تمام‌آبیاری برای پیاز انتخاب شده است. این موضوع در مورد چغندرقند نیز مصداق دارد، به گونه‌ای که استراتژیهای آبیاری همراه با فعالیت چغندرقند ۲ و چغندرقند ۳، بهره‌وری آبی بیش از استراتژی تمام آبیاری برای این محصول به همراه دارند. در مورد محصول جو نیز بهره‌وری آب برای تمامی استراتژیهای کم آبیاری منظور شده برای جو (جو ۲، جو۳ و جو۴)، بیش از بهره‌وری آب برای استراتژی تمام آبیاری این محصول است.

۳-۵- ارزیابی اثرات تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار بر بهره‌وری آب با استفاده از مدل SWAT

در این بخش، برای ارزیابی تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار بر شاخص بهره‌وری آب از مدل SWAT استفاده شده است. در ابتدا مدل SWAT تشریح شده و به دنبال آن نحوه شبیه‌سازی این سناریو در مدل بیان گردیده است. در انتها نیز نتایج، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۳-۵-۱- تشریح مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه می‌باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی تاثیر شیوه‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (نیتچ و همکاران[1]، ۲۰۰۲). بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، سیکل مواد مغذی، فرسایش (حرکت رسوب)، رشد گیاه، مدیریت کشاورزی و پویای آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روند یابی جریان می‌باشد. این مدل یک مدل فرایند محور-نیمه توزیعی است و به جای آنکه از معادلات رگرسیونی جهت توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نماید، اطلاعات ویژه‌ای راجع به هوا، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پوشش اراضی در حوضه آبریز دریافت می‌کند. همچنین این مدل از نظر محاسباتی کارآمدی مناسبی دارد. شبیه‌سازی حوضه‌های بسیار بزرگ یا با تنوع استراتژی مدیریتی را می‌توان بدون صرف هزینه یا زمان اضافی انجام داد. از طرف دیگر، مدل SWAT کاربران را قادر به شبیه‌سازی طولانی مدت می‌نماید و از نظر زمانی یک مدل پیوسته است. این مدل به صورت یک مدل الحاقی تحت نرم‌افزار GIS می‌باشد و از قابلیت‌های آن بهره‌مند می‌گردد.

1 - Neitsch et al.

SWAT یک مدل شبیه‌سازی پارامتر توزیعی فرایند محور است که با گام زمانی روزانه عمل می‌کند. در این مدل ابتدا کل حوضه با استفاده از نرم‌افزار AVSWAT[1] به تعدادی زیر حوضه تقسیم می‌شود. همچنین می‌توان شبکه آبراهه‌ها را توسط همین نرم‌افزار با توجه به نقشه DEM[2]، تولید یا در صورت امکان از نقشه دیجیتالی اصلی شبکه آبراهه‌های حوضه استفاده کرد. بعد از ایجاد زیرحوضه‌ها بر مبنای نقشه‌های خاک و کاربری اراضی، زیر حوضه‌ها به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شوند که به هر کدام از این واحدها یک واحد واکنش هیدرولوژیک (HRU[3]) گفته می‌شود که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند.

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی عملکرد در اثر تغییر سیستم آبیاری از مدل SWAT کالیبره و واسنجی شده در مطالعه شیخ‌زین‌الدین و همکاران (۱۳۹۴) استفاده شد. در این مطالعه حوضه آبریز طشک- بختگان به ۱۳۳ زیر حوضه تقسیم‌بندی شد، اما از آنجایی که داده‌های استفاده شده به منظور واسنجی و اعتبار سنجی فرایند هیدرولوژیکی و عملکرد مربوط به محدوده‌ی سد دروزن تا پل خان (شبکه آبیاری و زهکشی درودزن) می‌باشد و همچنین تکمیل پرسشنامه جهت تعیین سیستم مدیریتی در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن انجام شد، از این رو از خروجی مدل SWAT در این محدوده که شامل ۱۰ زیرحوضه می‌باشد استفاده شد.

از آنجایی که مدل SWAT به طور مستقیم قادر به شبیه‌سازی تغییر در سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار نیست، برای این منظور با تغییر در متغیرهای مدیریتی آبیاری شامل عمق آبیاری و تاریخ آبیاری، به بررسی اثرات تغییر در سیستم آبیاری پرداخته شد. به عبارت دیگر به منظور محاسبه بهره‌وری آب ناشی از تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار با تغییر عمق و تاریخ آبیاری (برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای) به شبیه‌سازی عملکرد این محصولات پرداخته شد.

1 - Arc View Soil and Water Assessment Tool
2 - Digital Elevation Model
3 - Hydrologic Response Unit

۳-۵-۲- نتایج و بحث

در جدول (۱۹) تاریخ کشت و برداشت، حجم آب آبیاری در سناریوهای غرقابی و بارانی، تعداد دفعات آبیاری و نیتروژن مصرفی محصولات منتخب (گندم، جو و ذرت دانه‌ای) گزارش شده است. این اطلاعات از طریق تکمیل پرسشنامه در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن بدست آمده است.

جدول (۱۹): حجم آب آبیاری محصولات منتخب تحت سیستم آبیاری غرقابی و بارانی

	محصول	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	آب آبیاری (متر مکعب در هکتار)	تعداد دفعات آبیاری	نیتروژن مصرفی (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)
غرقابی	گندم	۱۵ آبان	۱ تیر	۵۵۰۰	۵	۲۸۹
	جو	۲۵ مهر	۱۵ خرداد	۳۸۰۰	۳	۱۵۱
	ذرت	۱۰ تیر	۲۵ مهر	۲۰۰۰۰	۱۰	۴۰۴
بارانی	گندم	۱۵ آبان	۱ تیر	۲۵۰۰	۵	۲۸۹
	جو	۲۵ مهر	۱۵ خرداد	۲۵۰۰	۳	۱۵۱
	ذرت	۱۰ تیر	۲۵ مهر	۱۲۰۰۰	۱۰	۴۰۴

** برای محصولات گندم و جو ۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار از آب مورد نیاز گیاه توسط بارندگی تامین می‌شود.

به منظور ارزیابی بهره‌وری آب کشاورزی، دو شاخص CDP_{ET} (عملکرد محصول تقسیم بر حجم تبخیر و تعرق واقعی) و CPD_{IP} (عملکرد محصول تقسیم بر مجموع آب آبیاری و بارش موثر) مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور بعد از شبیه‌سازی متغیرهای مورد نیاز در شاخص بهره‌وری آب با استفاده از مدل کالیبره شده SWAT (شیخ‌زین‌الدین و همکاران، ۱۳۹۴)، شاخص بهره‌وری آب برای هر محصول در زیرحوضه‌ها تحت سیستم آبیاری سطحی (راندمان ۴۰ درصد) و سیستم آبیاری بارانی (راندمان ۸۵ درصد) محاسبه شد (جداول ۲۰ و ۲۱).

جدول (۲۰): شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در سیستم آبیاری سطحی

شاخص بهره‌وری آب	زیرحوضه									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
گندم										
CDP_{ET}	۰/۷۰۹	۰/۷۱۷	۰/۷۲۰	۰/۷۰۸	۰/۷۰۸	۰/۷۲۰	۱/۰۲۱	۱/۰۲۲	۱/۰۲۱	۰/۹۸۷
CPD_{IP}	۰/۵۶۹	۰/۵۷۰	۰/۵۷۱	۰/۵۶۷	۰/۵۶۷	۰/۶۴۹	۰/۹۵۷	۰/۹۵۷	۰/۹۵۷	۰/۷۸۱
جو										
CDP_{ET}	۰/۵۹۵	۰/۵۹۸	۰/۵۹۹	۰/۵۹۵	۰/۵۹۵	۰/۶۰۸	۰/۷۱۶	۰/۷۱۵	۰/۷۱۶	۰/۷۶۳
CPD_{IP}	۰/۵۴۶	۰/۵۴۴	۰/۵۴۲	/۵۴۶	۰/۵۴۶	۰/۵۹۲	۰/۷۱۲	۰/۷۱۱	۰/۷۱۲	۰/۶۸۱
ذرت دانه ای										
CDP_{ET}	۰/۶۰۱	۰/۶۱۳	۰/۶۲۴	۰/۶۰۱	۰/۶۰۱	۰/۶۵۳	۰/۴۳۶	۰/۴۳۸	۰/۴۳۶	۰/۴۴۱
CPD_{IP}	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۳۷۰	۰/۳۵۹	۰/۳۵۹	۰/۳۶۴	۰/۲۴۷	۰/۲۴۸	۰/۲۴۷	۰/۲۷۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج بدست آمده متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن به ترتیب برابر ۰/۷۰۵، ۰/۶۱۳ و ۰/۳۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد، به طوری که به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری حدود ۷۰۵ گرم گندم، ۶۱۳ گرم جو و ۳۱۹ گرم ذرت تولید می‌شود. بنابراین پایین بودن سطح عملکرد محصولات زراعی نسبت به میزان آب مصرف شده، منجر به پایین بودن بهره‌وری آب شده است.

جدول(۲۱): شاخص بهره‌وری آب زیرحوضه در سیستم آبیاری بارانی

شاخص بهره‌وری آب	زیر حوضه									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
گندم										
CDP_{ET}	۰/۹۳۶	۰/۹۳۹	۰/۹۴۱	۰/۹۳۶	۰/۹۳۶	۰/۹۱۰	۱/۱۸۹	۱/۱۸۹	۱/۱۸۹	۱/۲۱۱
CPD_{IP}	۰/۸۵۴	۰/۸۵۰	۰/۸۴۹	۰/۸۵۴	۰/۸۵۴	۰/۸۹۸	۱/۱۹۰	۱/۱۸۸	۱/۱۸۹	۱/۰۴۵
جو										
CDP_{ET}	۰/۶۰۷	۰/۶۰۶	۰/۶۰۴	۰/۶۰۷	۰/۶۰۷	۰/۵۹۵	۰/۷۲۵	۰/۷۲۴	۰/۷۲۵	۰/۷۹۲
CPD_{IP}	۰/۵۶۶	۰/۵۶۰	۰/۵۵۶	۰/۵۶۶	۰/۵۶۶	۰/۵۸۴	۰/۷۲۲	۰/۷۲۰	۰/۷۲۲	۰/۷۰۸
ذرت دانه ای										
CDP_{ET}	۰/۸۲۹	۰/۸۵۳	۰/۸۵۷	۰/۸۲۹	۰/۸۲۹	۰/۹۱۷	۰/۷۰۶	۰/۷۱۵	۰/۷۰۶	۰/۶۵۲
CPD_{IP}	۰/۷۵۴	۰/۷۷۲	۰/۷۷۴	۰/۷۵۴	۰/۷۵۴	۰/۷۷۷	۰/۶۱۰	۰/۶۱۷	۰/۶۱۰	۰/۶۱۲

ماخذ: یافته‌های تحقیق

همچنین با استفاده از سیستم آبیاری بارانی، متوسط شاخص CPD_{IP} برای محصولات گندم، جو و ذرت دانه‌ای در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن به ترتیب برابر ۰/۹۶۶، ۰/۶۲۷ و ۰/۷۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد شد، به طوری که به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری حدود ۹۶۶ گرم گندم، ۶۲۷ گرم جو و ۷۰۳ گرم ذرت تولید می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده با تغییر سیستم آبیاری از سطحی به بارانی، شاخص بهره‌وری آب برای گندم، جو و ذرت دانه‌ای به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. بنابراین با استفاده از سیستم آبیاری بارانی بهره-وری هر مترمکعب آب برای محصول گندم و ذرت به ترتیب ۳۷ و ۱۲۰ درصد افزایش خواهد یافت، که قابل توجه می‌باشد. اما برای محصول جو به دلیل سطح آبیاری پائین در سیستم آبیاری سطحی در مقایسه با سایر محصولات، با تغییر در سیستم آبیاری شاهد افزایش ۲/۲۵۶ درصدی در شاخص بهره‌وری آب می‌باشیم.

همچنین در جدول (۲۲) شاخص بهره‌وری آب برای محصولات کشت شده در شبکه آبیاری و زهکشی درودزن و لحاظ شده در مدل محاسبه شده است. مقدار شاخص بهره‌وری در مقیاس منطقه بیانگر نقش الگوی کشت می‌باشد.

جدول (۲۲): برآورد شاخص بهره‌وری آب (کیلوگرم بر متر مکعب) در سیستم آبیاری و زهکشی درودزن

شاخص بهره‌وری آب	سیستم آبیاری غرقابی	سیستم آبیاری بارانی	نسبت شاخص بهره‌وری
CDP_{ET}	۰/۷۷۶	۰/۹۵۲	۱/۲۲۶
CPD_{IP}	۰/۶۰۶	۰/۸۸۷	۱/۴۶۳

ماخذ: یافته‌های تحقیق

استفاده از سیستم آبیاری تحت فشار منجر به افزایش مقدار شاخص بهره‌وری آب در منطقه خواهد شد. بر اساس نتایج بدست آمده این سیستم آبیاری پتانسیل بالقوه برای افزایش شاخص‌های CDP_{ET} و CPD_{IP} را به میزان ۲۳ و ۴۶ درصد را دارد. این افزایش در شاخص بهره‌وری آب به علت افزایش در عملکرد محصول است که به دلیل توزیع بهتر آب و تبخیر و تعرق واقعی بیشتر است. بنابراین با اصلاح و تغییر روش‌های آبیاری سنتی به سیستم آبیاری تحت فشار و اصلاح و تولید بذور مقاوم به کم آبی می‌تواند بهره‌وری آب کشاورزی را افزایش داد.

۳-۶- محاسبه بهره‌وری آب با استفاده از اطلاعات فراهم آمده از سطح مزارع و باغات نمونه

در این قسمت از تحقیق، با استفاده از اطلاعات مربوط به تعداد دفعات آبیاری، ساعات مورد نیاز برای یک نوبت آبیاری، دبی لحظه‌ای منبع آب، نحوه انتقال آب از منبع به مزرعه و باغ، سیستم آبیاری، واریته و رقم محصول، عملکرد در هکتار و جمع آوری نقطه نظرات صاحبنظران پیرامون میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری برای محصولات مختلف و به طور کلی لحاظ تمامی اطلاعات که می‌توان در سطح مزرعه بدست آورد، اقدام به محاسبه نرخ بهره-وری آب برای محصولات مختلف شده است که نتایج آن در جدول (۲۳) آورده شده است. در

این جدول علاوه بر میانگین بهره‌وری آب، بیشترین و کمترین مقدار شاخص بهره‌وری در هر شهرستان نیز آورده شده است.

جدول (۲۳): بهره‌وری آب در شهرستان‌های منتخب استان فارس

شهرستان	محصول	شاخص بهره‌وری آب		
		حداقل	حداکثر	میانگین
مرودشت	گندم	۰/۲	۱/۳۳	۰/۶۸
	جو	۰/۲۸	۰/۸۳	۰/۴۶
	برنج	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۳
	ذرت علوفه‌ای	۱/۲۵	۱/۷۵	۱/۵
	گوجه	۱/۳۹	۲/۵	۲/۰۸
فسا	گندم	۰/۵	۱	۰/۷۵
	جو	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۳
	ذرت علوفه‌ای	۱	۱/۷۵	۱/۳۳
	کلزا	۰/۲۵	۰/۸۴	۰/۵۷
کازرون	گندم	۰/۲۵	۰/۸۳	۰/۷۲
	جو	۰/۵۶	۱/۱۱	۰/۸۳
	گوجه	۱/۹۴	۴/۱۷	۲/۸۱
اقلید	سیب	۰/۴	۲	۰/۹۴
جهرم	مرکبات	۱/۱۴	۲/۲۷	۱/۷۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج بدست آمده از میان شهرستان‌های مورد بررسی، گندمکاران شهرستان مرودشت دارای کمترین و بیشترین مقدار بهره‌وری آب می‌باشند، به طوری که حداقل و حداکثر به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر آب آبیاری به ترتیب ۰/۲ و ۱/۳۳ کیلوگرم گندم تولید می‌شود. همچنین شهرستان های کازرون و مرودشت به ترتیب دارای بالاترین (۱/۱۱) و کمترین (۰/۲۸) میزان بهره‌وری آب برای محصول جو می‌باشند.

همچنین بهره‌وری آب برای محصول برنج نسبت به سایر محصولات پایین‌تر می‌باشد، به طوری که حداکثر مقدار آن معادل ۰/۳۵ کیلوگرم بر متر مکعب است. علت پایین بودن بهره-وری آب در محصول برنج نسبت به سایر محصولات، بالا بودن مقدار جریان خروجی آب غیرمولد است. به عبارت دیگر بخش اعظم آبی که به شالیزارها داده می شود از دسترس گیاه خارج شده و سهمی در رشد و عملکرد گیاه ندارد.

همچنین بهره‌وری آب برای محصول ذرت علوفه‌ای در شهرستان‌های مرودشت و فساء تقریبا نزدیک به هم بوده و بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب ۱/۷۵ و ۱ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.

برای محصول گوجه فرنگی نیز شهرستان کازرون با بهره وری ۴/۱۷ و شهرستان مرودشت با بهره‌وری ۱/۳۹ به ترتیب بالاترین و پایین ترین مقدار بهره‌وری را دارا می باشند. بهره وری آب برای محصولات باغی به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر آب مصرفی حداکثر معادل ۲ و ۲/۲۷ کیلوگرم به ترتیب برای سیب و مرکبات می‌باشد.

در جدول (۲۴) متوسط شاخص CPD برای محصولات منتخب استان فارس گزارش شده است. با توجه به نتایج بدست آمده برای محصولاتی مثل گندم، ذرت علوفه‌ای، گوجه-فرنگی، سیب درختی و مرکبات تفاوت زیادی بین حداقل و حداکثر بهره‌وری محاسبه شده وجود دارد. این مسئله می‌تواند نشات گرفته از تفاوت در سیستم آبیاری، استراتژی آبیاری و عدم آشنایی برخی از کشاورزان با نحوه استفاده کارا از نهاده آب باشد. همچنین نشاندهنده توانایی افزایش بهره وری مصرف آب در بین تولیدکنندگان این محصولات می‌باشد.

جدول (۲۴): متوسط CPD برای محصولات منتخب استان فارس

محصول	CPD		
	حداقل	حداکثر	میانگین
گندم	۰/۳۲	۱/۰۵	۰/۷۲
جو	۰/۵۶	۰/۹۲	۰/۷۱
ذرت علوفه‌ای	۰/۸۵	۱/۱۳	۰/۹۹
برنج	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۵
گوجه فرنگی	۱/۶۷	۳/۳۴	۲/۴۴
کلزا	۰/۲۵	۰/۸۴	۰/۵۷
سیب	۰/۴	۲	۰/۹۴
مرکبات	۱/۷۵	۲/۲۷	۱/۱۴

با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده می شود که متوسط بهره وری آب در استان فارس از تفاوت معنی‌داری بین محصولات برخوردار می باشد. به گونه‌ای که بیشترین میزان تولید به ازای واحد حجم آب مصرفی مربوط به محصول گوجه فرنگی با مقدار ۲/۴۴ کیلوگرم و کمترین آن مربوط به برنج با مقدار ۰/۲۵ کیلوگرم می‌باشد. از این رو باید کشت محصولاتی با مصرف بالای آب و تولید پایین همانند برنج و جو حذف و به جای آن محصولات با بهره وری بیشتر آب جایگزین شوند. وقوع خشکسالی در مناطق مختلف لزوم توجه به این امر و استفاده حداکثر از آب مورد استفاده در بخش کشاورزی را نمایان می سازد.

با محدود شدن منابع آبی و اثرات تغییرات اقلیمی در چند دهه اخیر و همچنین افزایش نیاز بخش‌های صنعت، شرب و محیط‌زیست، مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان مصرف-کننده اصلی منابع آب، به نفع سایر بخش‌ها باید کنترل شود. بدیهی است پایش این فرایند نیازمند مولفه‌های خاص خود است. در این راستا بهره وری آب به عنوان یکی از این مولفه‌ها در چند سال اخیر در برنامه‌ریزی‌های ملی مورد توجه قرار گرفته است. افزایش در بهره‌وری آب توسط سه سیستم بیولوژیک، محیط و مدیریت امکان‌پذیر است. واضح است که افزایش در بهره‌وری آب نتیجه فرایند ارتباط متقابل و تاثیرات سه سیستم فوق است.

براساس نتایج بدست آمده در این مطالعه مشخص شد که بهره‌وری آب در محصول برنج پایین تر از سایر غلات می باشد، که به دلیل مصرف بالاتر آب در این محصول می‌باشد. این نتایج با نتایج ارائه شده در مطالعه کشاورز و دهقانی سانیچ (۱۳۹۱) همسو می‌باشد. در این مطالعه بهره‌وری آب برنج در مقیاس جهانی ۰/۶-۰/۱۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش شده است، در حالی که برای سایر غلات ۲/۴-۰/۲ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که:

- متوسط تولید به ازای هر مترمکعب آب مصرفی حداقل ۰/۲۵ (محصول برنج) و حداکثر ۳/۳۴ (محصول گوجه فرنگی) کیلوگرم می‌باشد.
- در بین محصولات زراعی بیشترین میزان تولید به ازاء مصرف یک مترمکعب آب مربوط به گوجه‌فرنگی، ذرت علوفه‌ای و گندم و کمترین مربوط به برنج و جو می‌باشد.
- از محصولات باغی بیشترین مقدار تولید به ازاء مصرف یک مترمکعب آب مربوط به مرکبات (۲/۲۷) می‌باشد.
- در بین محصولات زراعی و باغی استان فارس بیشترین مقدار بهره‌وری مربوط به گوجه فرنگی و کمترین مربوط به برنج می‌باشد.
- تفاوت مشاهده شده نرخ بهره وری آب در مزارع و باغات نمونه برای یک محصول خاص، عمدتا مربوط به تفاوت این مزارع در استراتژی آبیاری انتخاب شده و سیستم آبیاری بکار گرفته شده می باشد.

- وقوع خشکسالی در سالهای اخیر، موجب شده تا زارعین به سمت استراتژی‌های کم آبیاری، روی آورند که تاثیر مثبتی بر شاخص بهره‌وری آنها داشته است. همچنین گسترش استفاده از سیستم‌های آبیاری مدرن که یکی از دلایل پرداختن به آن، کاهش دسترسی به آب بوده است، افزایش بهره وری آب را در مزارع به دنبال داشته است. در شرایط فعلی، خوشبختانه می توان مزارعی را یافت که به دلیل انتخاب استراتژیهای مناسب آبیاری و بکارگیری سیستم-های مناسب آبیاری (آبیاری نواری و کشت زیر پلاستیک)، از شاخص بهره‌وری آب قابل قبولی برخوردار می باشند، که تصور آن نیز در گذشته نه چندان دور مشکل بود.

۳-۷- اثرات متقابل خاک ورزی و روشهای آبیاری بر بهره وری آب در سه رقم گندم در استان فارس

با یادآوری این موضوع که خاک ورزی حفاظتی یکی از ارکان کشاورزی پایدار می باشد، در این بخش پس از ارائه تعریف و بیان اهمیت خاک ورزی حفاظتی، اثرات متقابل خاک ورزی و روشهای آبیاری بر بهره وری آب بر سه رقم گندم مورد بررسی قرار می گیرد.

۳-۷-۱- خاک ورزی حفاظتی، تعریف و اهمیت آن

هر روش خاک ورزی که در آن حداقل ۳۰٪ بقایای گیاهی بعد از کاشت محصول بر سطح خاک حفظ شود، خاک ورزی حفاظتی نامیده می شود. واژه خاک ورزی حفاظتی دامنه گسترده ای از فعالیت های خاک ورزی را شامل می شود اما هرگز در آن عملیات برگردان شدن خاک وجود ندارد. خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی و بی خاک ورزی) به همراه مدیریت بقایای گیاهی و تناوب زراعی از ارکان کشاورزی حفاظتی هستند. (دن پوت و همکاران، ۲۰۱۰).

بی خاک ورزی یکی از پیشرفت‌های مهم در فناوری‌های کاشت می‌باشد، زیرا که خاک ورزی مرسوم یکی از عوامل اصلی تخریب ساختمان خاک و فرسایش آن می باشد. مزایای بی خاک ورزی نسبت به خاک ورزی مرسوم عبارتند از: ۱- کشت در زمان مناسب، ۲- کاهش هزینه های سوخت، ۳- تولید بیش تر در بلند مدت، ۴- کاهش فرسایش خاک و

بهبود کیفیت آب، ۵- نگهداری بیش تر رطوبت در خاک و نفوذ بیش تر آب در خاک (چان و پارتلی، ۱۹۹۸).

با کاربرد کشاورزی حفاظتی، خاک از فرسایش باد، باران و روان آب محافظت می شود و همچنین سطح ماده آلی خاک، حاصلخیزی خاک و پایداری خاک دانه ها به طور طبیعی افزایش و تغییر ساختمان خاک تحت اثر حرکت چرخ های سنگین تراکتور کاهش پیدا می‌کند (لال، ۲۰۰۴). باقی گذاشتن بقایایی گیاهی پس از برداشت روی سطح خاک باعث افزایش میزان کربن آلی خاک می‌شود اما در صورتی که خاک شخم خورده شود و مواد آلی زیر خاک قرار گیرند میکروارگانیسم ها سریعاً کربن آلی خاک را به دی اکسید کربن تبدیل کرده و مواد غذایی که به همراه کربن آلی هستند از دسترس خاک خارج می شوند و در نتیجه کشاورزان به کود بیش‌تری برای حفظ عملکرد خود نیاز دارند (بورین و همکاران، ۱۹۹۷ و سنتیلکومار و همکاران، ۲۰۰۹).

روش‌های خاک ورزی روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک اثرگذار می‌باشند. همچنین بر رشد و توسعه ریشه گیاه و عملکرد آن نیز تأثیر دارند. شدت خاک ورزی بر محتوای رطوبتی، درجه حرارت و تهویه خاک نیز اثر مستقیم دارد. نیاز به صرفه جویی در مصرف انرژی، تثبیت کربن در خاک، کاهش فرسایش خاک و افزایش سودآوری در بخش کشاورزی علاقه به استفاده از روش های کم خاک ورزی و بی خاک وررزی را افزایش داده است (برتوکو و همکاران، ۲۰۰۸).

۳-۷-۲- طرح آماری

این تحقیق در قالب یک طرح آزمایش مزرعه‌ای دو ساله (۱۳۹۳و ۱۳۹۴) در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به منظور ارزیابی اثرات دو سیستم خاک ورزی و سه روش آبیاری بر رشد و عملکرد سه رقم گندم و بهره‌وری آب توسط عدالت و نادری (۲۰۱۶) انجام شده است. طرح آزمایشی به صورت بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار بوده است و تیمارها مشتمل بودند بر سیستم خاک ورزی در دو سطح (خاک ورزی متداول و کم خاک

ورزی)، سه روش آبیاری (سطحی، بارانی کلاسیک ثابت و ویلمو) و سه رقم گندم (شیراز، رنسانس و پیشتاز).

لازم به تذکر است که رقم پیشتاز، رقم گندم مناسب برای نواحی معتدله می‌باشد و سهم عمده‌ای در گندمزارهای استان فارس دارد. رقم رنسانس یک رقم وارداتی از کشور صربستان می‌باشد و رقم شیراز، رقمی بوده است که تا سه سال پیش به صورت گسترده کشت می‌شده است، اما در شرایط فعلی به دلیل حساسیت بالای رقم نسبت به زنگ گندم و همچنین دیر رس بودن، میزان استفاده از آن کاهش یافته است.

۳-۷-۳-نتایج و بحث

نتایج تحقیق در جدول (۲۵) نشان داده شده است. تحلیل آماری نتایج که در جدول (۲۶) درج شده است، نشان می‌دهد که رقم پیشتاز در سیستم کم خاک ورزی با روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بالاترین بهره‌وری آب (۱/۶۸ کیلوگرم در هرمترمکعب) را بدست می‌دهد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها دارد. بهره‌وری آب برای همین رقم با خاک ورزی متداول و سیستم آبیاری کلاسیک ثابت، ۱/۵۷ کیلوگرم در ماده خشک است که هرچند به طور معنی-داری کمتر از تیمار قبلی است اما نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌داری دارد. بطور کلی نتایج نشان دهنده برتری روش آبیاری کلاسیک ثابت بر روش آبیاری بارانی ویلمو است و همچنین وضعیت بد رقم وارداتی رنسانس را نشان می‌دهد که یکی از دلایل ممانعت از واردات این رقم می‌باشد.

جدول (۲۵): اثر متقابل سیستم آبیاری و خاک ورزی بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب بر سه رقم گندم در استان فارس

بهره‌وری آب آبیاری (g/mm)	عملکرد دانه g/m^2 (میانگین)	مقدار آب مصرفی mm/m^2	آبیاری	خاک ورزی	رقم	تکرار
۰/۹۱	۸۱۸۰/۰۱	۸۹۶/۰۹	نشتی	متداول	شیراز	۱
۱/۳۵	۸۸۱/۱۹	۶۵۰/۶۷	کلاسیک	متداول	شیراز	۱
۰/۷۷	۵۳۱/۰۶	۶۸۷/۸۵	ویل موو	متداول	شیراز	۱
۱/۰۸	۹۰۶/۱۱	۸۴۰/۸۲	نشتی	کاهش یافته	شیراز	۱
۱/۴۵	۸۳۹/۱۶	۵۷۷/۲۳	کلاسیک	کاهش یافته	شیراز	۱
۰/۸۸	۵۲۹/۷۴	۶۰۰/۰۸	ویل موو	کاهش یافته	شیراز	۱
۰/۶۰	۵۳۹/۷۸	۸۹۹/۰۰	نشتی	متداول	رنسانس	۱
۰/۸۵	۵۵۴/۹۵	۶۵۱/۵۰	کلاسیک	متداول	رنسانس	۱
۰/۴۸	۳۱۷/۱۶	۶۶۵/۷۳	ویل موو	متداول	رنسانس	۱
۰/۶۶	۵۱۸/۹۶	۷۸۱/۹۱	نشتی	کاهش یافته	رنسانس	۱
۰/۸۸	۵۴۳/۹۷	۶۱۶/۶۲	کلاسیک	کاهش یافته	رنسانس	۱
۰/۵۳	۳۱۹/۱۱	۵۹۹/۴۷	ویل موو	کاهش یافته	رنسانس	۱
۱/۴۳	۱۰۲۶/۲۹	۷۱۷/۳۳	نشتی	متداول	پیشتاز	۱
۱/۵۷	۹۵۸/۳۷	۶۱۱/۲۴	کلاسیک	متداول	پیشتاز	۱
۰/۹۴	۵۵۵/۸۶	۵۸۹/۷۵	ویل موو	متداول	پیشتاز	۱
۱/۳۰	۹۳۲/۹۳	۷۱۶/۰۶	نشتی	کاهش یافته	پیشتاز	۱
۱/۶۸	۹۸۰/۳۸	۵۸۴/۲۳	کلاسیک	کاهش یافته	پیشتاز	۱
۱/۰۸	۵۹۰/۰۰	۵۴۷/۶۸	ویل موو	کاهش یافته	پیشتاز	۱
۰/۹۲	۸۶۶/۲۳	۹۴۶/۶۵	نشتی	متداول	شیراز	۲
۱/۳۶	۹۲۰/۹۶	۶۷۸/۶۷	کلاسیک	متداول	شیراز	۲
۰/۷۷	۵۵۲/۷۸	۷۱۳/۶۶	ویل موو	متداول	شیراز	۲
۱/۰۸	۹۳۶/۷۵	۸۶۹/۲۶	نشتی	کاهش یافته	شیراز	۲
۱/۴۵	۸۶۷/۷۸	۵۹۶/۹۲	کلاسیک	کاهش یافته	شیراز	۲
۰/۸۸	۶۳۰/۷۰	۷۱۴/۴۵	ویل موو	کاهش یافته	شیراز	۲
۰/۶۰	۵۶۰/۰۳	۹۲۹/۷۹	نشتی	متداول	رنسانس	۲
۰/۸۵	۵۷۳/۸۳	۶۷۱/۶۶	کلاسیک	متداول	رنسانس	۲
۰/۴۸	۳۵۱/۱۴	۷۳۰/۶۹	ویل موو	متداول	رنسانس	۲
۰/۶۶	۵۶۶/۸۵	۸۵۴/۰۶	نشتی	کاهش یافته	رنسانس	۲
۰/۸۸	۵۶۷/۷۰	۶۴۳/۵۳	کلاسیک	کاهش یافته	رنسانس	۲
۰/۵۳	۳۲۸/۴۷	۶۱۷/۰۵	ویل موو	کاهش یافته	رنسانس	۲
۱/۴۳	۱۰۶۷/۲۸	۷۴۴/۸۸	نشتی	متداول	پیشتاز	۲
۱/۵۷	۹۹۱/۸۶	۶۳۱/۵۷	کلاسیک	متداول	پیشتاز	۲
۰/۹۴	۵۷۱/۵۲	۶۰۴/۹۰	ویل موو	متداول	پیشتاز	۲
۱/۳۰	۹۴۹/۵۸	۷۲۸/۸۳	نشتی	کاهش یافته	پیشتاز	۲
۱/۶۸	۱۰۱۴/۴۹	۶۰۴/۵۶	کلاسیک	کاهش یافته	پیشتاز	۲
۱/۰۸	۶۰۶/۱۴	۵۶۲/۶۷	ویل موو	کاهش یافته	پیشتاز	۲
۰/۹۱	۷۹۱/۳۸	۸۶۵/۰۹	نشتی	متداول	شیراز	۳
۱/۳۶	۸۵۲/۳۰	۶۲۸/۰۹	کلاسیک	متداول	شیراز	۳
۰/۷۷	۵۱۳/۸۱	۶۶۳/۳۱	ویل موو	متداول	شیراز	۳
۱/۰۸	۸۷۶/۰۳	۸۱۲/۹۱	نشتی	کاهش یافته	شیراز	۳
۱/۴۵	۸۸۱/۹۲	۶۰۶/۶۵	کلاسیک	کاهش یافته	شیراز	۳
۰/۸۸	۵۵۶/۵۵	۶۳۰/۴۶	ویل موو	کاهش یافته	شیراز	۳
۰/۶۰	۵۶۷/۵۲	۹۴۱/۸۴	نشتی	متداول	رنسانس	۳
۰/۸۵	۵۸۳/۵۱	۶۸۲/۶۵	کلاسیک	متداول	رنسانس	۳
۰/۴۸	۲۹۹/۳۲	۶۲۸/۱۲	ویل موو	متداول	رنسانس	۳
۰/۶۶	۴۸۹/۰۴	۷۳۶/۸۲	نشتی	کاهش یافته	رنسانس	۳
۰/۸۸	۵۱۲/۴۲	۵۸۰/۸۶	کلاسیک	کاهش یافته	رنسانس	۳
۰/۵۳	۳۰۰/۹۹	۵۶۵/۴۲	ویل موو	کاهش یافته	رنسانس	۳
۱/۴۳	۱۰۵۸/۵۷	۷۴۰/۳۰	نشتی	متداول	پیشتاز	۳
۱/۵۷	۹۸۹/۶۵	۶۳۱/۵۸	کلاسیک	متداول	پیشتاز	۳
۰/۹۴	۵۷۲/۹۴	۶۰۸/۴۶	ویل موو	متداول	پیشتاز	۳
۱/۳۰	۹۶۳/۳۳	۷۳۹/۳۹	نشتی	کاهش یافته	پیشتاز	۳
۱/۶۸	۱۱۶۹/۱۰	۶۹۶/۶۹	کلاسیک	کاهش یافته	پیشتاز	۳
۱/۰۸	۶۹۷/۳۷	۶۴۷/۳۵	ویل موو	کاهش یافته	پیشتاز	۳

جدول (۲۶): اثرات متقابل تیمارها بر بهره‌وری آب

	Shiraz		Ronesans		Pishtaz	
	Conventional Tillage	**Reduced Tillage**	**Conventional Tillage**	**Reduced Tillage**	**Conventional Tillage**	**Reduced Tillage**
Furrow Irrigation	0.91i	1.08g	0.6n	0.66m	1.43d	1.30f
Solid set sprinkler	1.35e	1.45c	0.85k	0.88j	1.57b	1.68a
Wheel move sprinkler	0.771	0.88j	.48p	0.53o	0.94h	1.08g

از دیگر یافته‌های این پژوهش آن است که خاک ورزی بر بهره‌وری آب نقش تعیین کننده‌ای دارد. این موضوع از این نظر حائز اهمیت است که منتقدین روش کم آبیاری اظهار می‌دارند که با تقسیم آب در وسعت بیشتر، هزینه عمدتا به دلیل عملیات خاک ورزی، افزایش چشمگیری می‌یابد، حال آنکه با توجه به یافته های این مطالعه، می‌توان درراستای بکار گیری استراتژی کم آبیاری، آب را در سطح بیشتری همراه باکم خاک ورزی بکار برد بدون آنکه تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌ها داشته باشد.

فصل چهارم

اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب در استان فارس

۴- اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب در استان فارس

۴-۱- مقدمه

در فصل قبل، پیامدهای بکارگیری استراتژی ها و سیستم‌های مختلف آبیاری به عنوان اقدامات مؤثر بر افزایش بهره‌وری آب، با استفاده از مدلهای ریاضی شبیه سازی و تحلیل شد. در این فصل، با توجه به نتایج حاصل از بخش اول مطالعه، که ایجاد بازار آب را در کنار استراتژیهای دیگر نظیر نصب کنتور و تحویل حجمی آب به عنوان یک استراتژی برتر در خصوص افزایش بهره‌وری آب، شناسایی کرد، اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب در استان فارس با استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی به ویژه مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص زمین اصلاح شده بعنوان مدل مزرعه و یک مدل منطقه مناسب، تحلیل شده است. لازم به تذکر است که در راستای افزایش کارایی تطبیقی (بکارگیری استراتژیهای هماهنگ با شرایط بحرانی آب کشور) و تاب آوری اقتصادی جامعه، ایجاد نهاد بازار آب که به خوبی طراحی شده باشد همراه با سیاست‌های تکمیلی نظیر تحویل حجمی آب، نصب کنتور، ایجاد سیستم حسابداری مناسب در مزرعه و حوضه آبریز و کاهش میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی از اقدامات بسیار ضروری است.

۴-۲- اهمیت بازار آب

تقاضای در حال افزایش و عرضه محدود و در حال کاهش، عدم تعادل منابع و مصارف آب را در بسیای از دشتهای کشور به دنبال داشته است. واقع شدن بیش از ۷۰ درصد مساحت کشور در اقلیم خشک و نیمه خشک، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های متعدد، از جذابیت سیاستهای طرف عرضه کاسته است و جهت‌گیری‌ها به سمت سیاست‌های مدیریت تقاضا و حفاظت از منابع محدود آب گرایش یافته است. سیاست‌های طرف تقاضا باید با درک منطقی از اهداف بهره‌برداران، شناخت دقیق مشکلات آنها و پی بردن به فرآیند تصمیم‌سازی آنها، موجبات کاهش تقاضا و مصرف آب را فراهم سازد. اما کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی باید به گونه‌ای باشد که نه تنها بر تولیدات کشاورزی و درآمد زارعین اثر منفی نگذارد که

حتی‌الامکان با افزایش بهره‌وری آب، تولیدات بخش کشاورزی و درآمد زارعین افزایش یابد. بنابراین چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبرو است، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که همزمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمد بالاتری را برای زارعین رقم زند. اگر توجه به مسائل محیط زیستی که اهمیت آن در مدیریت منابع آب مغفول مانده است نیز مد نظر قرار گیرد، قطعاً بر پیچیدگی موضوع افزوده خواهد شد. مبحث زیست محیطی آب باید از منظر حفظ زیست بوم‌ها و آلاینده‌های تهدیدکننده سلامت آنها مورد توجه جدی قرار گیرد. این امر منازعات مربوط به آب را افزایش داده، اتخاذ استراتژیهای تطبیقی را دشوار می سازد.

هرچند در ادبیات رایج بیشتر به کارایی فنی و تخصیصی می‌پردازند، اما نورث اقتصاددان نامی مکتب نهادگرایی جدید، کارایی اقتصادی را شامل کارایی انطباقی (Efficiency Adaptive) نیز می داند. برای داشتن این نوع کارایی می بایست در گذر زمان ، نهادهایی ایجاد شود که انعطاف پذیری اقتصادی و سیاسی لازم را جهت انطباق با تهدیدها و فرصتهای جدید، فراهم آورند. نظامهای که دارای کارایی انطباقی هستند ، ساختارهای نهادی موثری ایجاد می کنند که آنها را قادر می سازد تا در برابر تکانه ها و دگرگونی ها که جزیی از فرآیند توسعه هستند، پایداری نمایند. این توانمندی ایجاد شده را تاب آوری اقتصادی (Economic Resilience) نیز تعریف کرده اند که عبارت است از توانایی یک نظام اقتصادی برای تقلیل پیامدهای بحران، جلوگیری از انتقال آن و بازیابی سریع بعد از بحران است (آیگینگر،۲۰۰۹). تاب آوری اقتصادی که نزدیک‌ترین مفهوم به اقتصاد مقاومتی است ناظر بر دو مفهوم است، نخست توانایی نظام اقتصادی برای بازیابی سریع بعد از مواجه شدن با تکانه‌ها و بحران‌ها، دوم توانای لازم برای ایستادگی در برابر پیامدهای این تکانه‌ها و بحران‌ها. در خصوص بحران آب نیز ضرورت ایجاد نهادهای جدید و موثر همچون بازار آب به منظور افزایش کارایی انطباقی و تاب آوری نظام اقتصادی کشور و کاهش آسیب‌پذیری آن در زمینه‌های مختلف کاملا محسوس است. قطعاً در راستای تحقق اهداف فوق به دیدگاه سیستمی و یک بسته جامع از سیاست‌ها و شاید از همه مهمتر به یک عزم جدی ملی نیاز است. اهمیت موضوع به گونه‌ای است که باید تمامی موارد با مناسب‌ترین روش‌ها به طور دقیق بررسی شوند. ارزیابی دوره‌ای به منظور سنجش میزان پیشرفت به سمت اهداف مدیریتی طراحی شده از جایگاه

خاصی برخوردار است. در این راستا، محاسبه شاخص‌های مناسب در مقاطع مختلف بسیار کارگشا خواهد بود. وضعیت حاکم بر مدیریت منابع آب را می‌توان از پنج منظر مختلف مورد بررسی قرار داد: نخست ارزیابی اهداف بلندمدت[۱] و کوتاه مدت[۲] سیاست‌های مرتبط با آب، به عبارت دیگر بررسی عزم بخش عمومی در پایبند بودن به اهداف با استفاده از شاخص‌های تعهد[۳]، دوم سنجش ابزارها و فرآیندهای در نظر گرفته شده برای نیل به اهداف، با استفاده از شاخص‌های روش[۴]، سوم بررسی کاربردی بودن ابزارهای موجود از طریق شاخص‌های فرایند[۵] ، چهارم سنجش و اندازه‌گیری کیفیت اجرای سیاست‌های آب به کمک شاخص‌های اجرا[۶] و پنجم ارزیابی اثر بخشی سیاست‌های آب در نیل به اهداف در نظر گرفته شده، از طریق شاخص‌های اثر (استفانو و همکاران[۷]، ۲۰۱۰). هرچند بررسی تمامی این موارد از اهمیت زیادی برخوردار است اما در این فصل، اثر بخشی سیاست تشکیل بازار آب با استفاده از مدل ریاضی بررسی خواهد شد.

بازار آب در دو دهه گذشته در چندین کشور توسعه یافته و درحال‌توسعه معرفی شده است. بازار آب به عنوان یک ابزار اقتصادی است، که می‌تواند استفاده‌ی بهینه برای آب را از طریق انتقال آب به مصرف‌کنندگانی که بازده نهایی آب آنها بالاتر است، بهبود بخشد. قیمت-های بازار آب به عنوان علامت اقتصادی است که بازده نهایی را بیان می‌کند و از طرف دیگر محرّکی برای کشاورزان است تا بهره‌وری استفاده آب خود را بالا ببرند (زکری و ایستر[۸]، ۲۰۰۵).

همچنین بازار آب به عنوان یک گزینه مناسب برای نظام تخصیص وکنترل اداری منابع آب معرفی شده است. بازار آب می‌تواند با انتقال آب به سمت مصارف با ارزش افزوده بیشتر موجب افزایش کارائی مصرف آن شود (کیانی و همکاران، ۱۳۸۶). از طرف دیگر بازار آب یک راهکار برای بهبود استفاده آب از طریق تخصیص مجدد بین مصرف کنندگان (زارعین)

1-Water policy goals
2- Water policy objectives
3- Commitment indicators
4- Procedure indicators
5- Process indicators
6- Implementation indicators
7- Stefano et al.
8-Zekri and Easter

است. قیمت‌های بازاری، حقوق آب را به صورت کارآمد تضمین می‌کند و منجر به هزینه‌های مبادلاتی پایین و بهبود کارایی آب می‌شود (موریس[1]، ۲۰۰۲).

بازارهای آب از جمله ابزارهایی هستند که بر خلاف نقش و سابقه‌ی طولانی که بازارها در تخصیص منابع و کالاها ایفا کرده‌اند، در حوزه تخصیص منابع آب مورد کم‌توجهی سیاست-گذاران و برنامه‌ریزان قرار گرفته‌اند. البته تشدید کمیابی اخیر آب در بیشتر مناطق دنیا موجب به‌کارگیری این ابزار سیاستی گردیده است (یوهانسون[2]، ۲۰۰۲). در عین حال، تشکیل بازار آب در برخی مناطق با پدیده تمرکز و اعمال نفوذ حقابه‌داران بر قیمت آب مواجه شده است. از این رو فرآیند تعیین قیمت و آثار توزیعی آن، برای کشاورزان متقاضی اهمیت زیادی برای اجرای سیاست مدیریت تقاضای آب دارد.

بازار آب بر تفاهم بین تمام بهره‌برداران آب در هر حوضه آبریز استوار است. در این نگرش، مصرف‌کنندگان آب کشاورزی، آشامیدنی و صنعت به شیوه‌های مختلف وارد مبادله می‌شوند. مشخصه‌های محوری بازار آب به شرح زیر است (جعفری، ۱۳۸۳):

_ رسمی بودن مبادلات و تصریح حقوق آب

_ نظارت‌پذیری حقوق آب در برداشت و مصرف

_ آزادی ورود و خروج به بازار آب برای مصرف آن

_ حاکمیت داشتن دولت در تنظیم و تشکیل نهاد ناظر بر بازار آب

_ نقش محوری نهاد ناظر بر بازار آب در برنامه‌های تخصیص آب حوضه

واقعی شدن هزینه‌های فرصت یکی از منافع وجودی بازار آب است. در واقع می‌توان با محوری شدن رویکرد بازار آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب، ایجاد انگیزه در تغییر کاربری و حذف مصارف غیرضروری و تشویق مصارف با ارزش را انتظار داشت. بنابراین بررسی نقش بازار آب در افزایش بهره وری آب و مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است.

1- Morris
2- Johansson

۴-۳- مروری بر مطالعات بازار آب با استفاده از مدل‌های اقتصادسنجی و برنامه‌ریزی ریاضی

از مطالعاتی که با استفاده از مدل‌های ریاضی به بررسی بازار آب در ایران پرداخته می-توان به مطالعه کیانی و همکاران (۱۳۸۶) اشاره‌کرد. ایشان توابع عرضه و تقاضای بازار آب را در شرایط عدم حتمیت مدلسازی نموده‌اند. در این مطالعه ریسک قیمت محصول و نهاده آب در مدل معرفی شده است و با استفاده از مدل اقتصادسنجی میانگین-واریانس[1] تحت شرایط ریسک قیمت محصول و ریسک قیمت بازاری آب، توابع عرضه و تقاضا استخراج شده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که مبادله آب بین کشاورزان، علاوه بر اینکه از ارزش تولید نهایی آب اثر می‌گیرد، از ریسک و عدم حتمیت هم متأثر می‌شود و در نتیجه بررسی در شرایط حتمیت منجر به تصمیمات غلطی برای سیاست‌گذاری می‌شود.

مطالعه‌ی بهلولوند (۱۳۸۵) تحت عنوان برآورد تابع تقاضای آب کشاورزی و بررسی مکانیسم بازار در قیمت‌گذاری آب کشاورزی در منطقه مجن انجام شده است. هدف برآورد تابع تقاضای آب کشاورزی و تشریح مکانیسم بازار در قیمت‌گذاری و تخصیص منابع آب و تبیین شرایط لازم برای تشکیل بازارهای کارآمد و موفّق بوده است. بازار آب مجن یک نمونه موفّق و کارآمد از بازارهای رقابتی آب است که با سابقه‌ای چهل ساله در منطقه مجن فرآیند تخصیص آب و زمینه انواع مبادلات را فراهم نموده است. نتایج حاصل از برآورد تابع تقاضای نهاده آب و انجام رگرسیون با استفاده از داده‌های پانل (تلفیقی) و به روش اثرات تصادفی[2] در سطح نمونه مورد مطالعه برای کل محصولات و برآورد تابع تقاضای آب برای تولید محصولات سیب‌زمینی و گندم به طور جداگانه، مویّد رابطه منفی و معنی‌دار بین قیمت آب و مقدار تقاضای آن می‌باشد. کشش‌های قیمتی آب بدست آمده در این مطالعه، در تابع تقاضای کل ۰/۲۵۶- در تابع تقاضای آب برای سیب‌زمینی ۰/۲۷۶- و در تابع تقاضای آب برای گندم ۰/۴۷۷- می‌باشند. این مطالعه نشان می‌دهد که، قیمت‌گذاری آب از طریق بازار آب مجن، سبب اصلاح الگوی تخصیص آب گردیده است و ضمن ایجاد انگیزه کافی در زارعان جهت مشارکت در سرمایه‌گذاری تأسیسات آب‌رسانی، سبب کاهش هدر رفت آب طی فرآیندهای استحصال، انتقال، توزیع و مصرف آب

1- Mean-variance
2- Random Effect

گردیده است. این نتایج اهمیّت و ضرورت به کارگیری بازار آب را در تخصیص آب کشاورزی آشکار می‌سازد.

کیانی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای منافع بالقوه تشکیل بازارهای آب را در منطقه ساوه برآورد کرده است. در این مطالعه با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی خطی منافع بالقوه تشکیل بازار آب در منطقه ساوه برآورد شده است. این مطالعه با استفاده از مدل مزرعه، سود بهینه را بدست آورده و در مدل منطقه بکار برده است. با استفاده از مدل منطقه، منافع بازار آب را برآورد کرده است. نتایج نشان می‌دهد که مبادله آب بین ۲۴ روستای این منطقه باعث افزایش سود زارعین، خصوصاً در دوره‌ی کمبود آب می‌گردد. همچنین بازار آب می‌تواند باعث افزایش تقاضای نیروی‌کار و کم‌شدن اثرات منفی کاهش منابع آب بر اشتغال گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که جهت گسترش دامنه‌ی بازارهای آب، می‌بایست هزینه‌های مبادله آب کاهش یابند.

در بخش زیر تعدادی از مطالعات خارجی که با مدل‌های ریاضی به بررسی موضوع بازار آب پرداخته‌اند، بررسی شده است:

دینار و لتی[1] (۱۹۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی اثر بازار آب بر کارایی تخصیص آب بین بخش‌های کشاورزی-شهری و کاهش زهکشی پرداخته‌اند. در این مطالعه بازار آب به عنوان ابزاری جهت صرفه‌جویی آب و افزایش کارایی اقتصادی و کاهش زهکشی آب عنوان شده است. این بررسی در سان جوآکین[2] دره‌ی کالیفرنیا انجام شده است. نتایج حکایت از توانایی بازار آب برای ایجاد سرمایه‌گذاری در بهبود سیستم آبیاری توسط زارع است. از منافع اجتماعی بازار آب کاهش در زهکشی و آلودگی زیست‌محیطی است. همچنین بخشی از آب مورد نیاز جوامع شهری را تأمین می‌کند.

نوع قیمت‌گذاری در بازار آب مشکل ساز است، ساتیاسی[3] (۱۹۹۷) به این مقوله در هندوستان پرداخته و به این نتیجه رسیده که بین روش‌های مختلف قیمت‌گذاری آب، در روش سهم محصول، کشاورزان آب بیشتری مصرف می‌کنند و هزینه بیشتری نیز بابت هر واحد آب

1- Dinar and Letey
2- San Joaquin
3- Satyasia

مصرفی می‌پردازند. اما در روش پرداخت نقدی آب‌بها، مقدار آب کمتر با هزینه کمتر (برای هر واحد) مصرف می‌شود.

در مطالعه‌ای دیگر از تسور و دینر[1] (۱۹۹۷)، انواع روش‌های قیمت‌گذاری آب از جمله روش قیمت‌گذاری حجمی، روش قیمت‌گذاری نهاده-ستاده، روش قیمت‌گذاری منطقه‌ای، روش قیمت‌گذاری نرخی (عوارضی) و روش قیمت‌گذاری بازاری برای آب مورد مطالعه قرار گرفتند. این نتیجه حاصل شد که قیمت‌گذاری، بیشتر بر الگوی کشت محصولات زراعی اثر می‌گذارد تا تقاضای آب برای هر محصول و نتیجه دیگر اینکه جهت بهبود تخصیص و مدیریت منابع آب، بهتر است که آب بر اساس مکانیسم بازار آب بین کشاورزان مبادله شود.

لاو و اشالکوک[2] (۲۰۰۰)، در مطالعه‌ای بازار آب را به عنوان جایگزینی برای تخصیص آب مرکزی آفریقای جنوبی معرفی می‌کنند. اخیراً در آفریقای جنوبی برای کاهش مخارج دولت و حفاظت از محیط زیست، به مدیریت منابع آب و تخصیص بهینه منابع آبی توجّه و اهمیّت بیشتری داده می‌شود. در این مطالعه با استفاده از مدل تعادل غیرخطی فاصله‌ای اثرات بالقوّه بازار آب در رودخانه‌ای در غرب شبیه‌سازی شده و نتایج آن حکایت از جایگزینی مناسب بازار آب برای تصمیمات تخصیص آب مرکزی دارد.

گاریدو[3] (۲۰۰۰) به بررسی بازار آب بخش کشاورزی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی[4] در اسپانیا پرداخته است. بخش کشاورزی اسپانیا از ۸۰٪ منابع آبی موجود استفاده می‌کند. از سیاست‌های مهم و دارای اولویت آب اسپانیا، افزایش کارایی اقتصادی استفاده آب بخش کشاورزی است. در این مطالعه قیمت و بازار به عنوان ابزارهای اصلی برای کاهش استفاده آب مصرفی کشاورزی در جهت افزایش کارایی بیشتر آب معرفی شده‌اند. همچنین بازار آب سبب بهبود کارایی اقتصادی آب می‌شود. این مطالعه انتقال آب بین زارعین و نواحی آبیاری را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی، بازار آب را شبیه-سازی می‌کند. نتایج حکایت از وابستگی بازار آب به سهم و هزینه‌های انتقال و معامله آب دارد.

1- Tsur and Dinar
2- Louw and Schalkwvk
3- Garrido
4- Mathematical Programming Model

درآپر و همکاران[1] (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی سیستم عرضه آب کالیفرنیا با مدل بهینه-یابی اقتصادی پرداختند. نتایج مطالعه، حکایت از منافع بازار آب برای منابع آب کالیفرنیا است. به طور کلّی بهینه‌یابی اقتصادی ره‌یافتی برای مدیریت سیستم‌های بزرگ آبی است.

کنرادی و هنگ[2] (۲۰۰۴) مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای آب آبیاری را مرور کردند. در این مطالعه شبیه‌سازی ارزش آب توسط مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی انجام شده است. مدل-ها در الگوی کشت، محدودیت آب، سیستم‌های آبیاری و دیگر ویژگی‌های مزرعه تفاوت داشتند. اما همگی قیمت سایه‌ای آب و ارزش آب را فراهم می‌آوردند. در این بررسی ۱۷ مطالعه مرور شده و نتایج حاکی از تغییر ارزش آب بین دو مقدار ۰/۰۰۴۲ و ۰/۱۸۹۹ دلار بر مترمکعب است. نتیجه دیگر اینکه الگوی کشت از ارزش آب تأثیر می‌گیرد. در انتها اشاره شده است که هر منطقه‌ای نیاز به مدل خاص خود دارد و بایستی بطور مداوم مطابق با تغییرات منطقه، بروز شود.

در مطالعه‌ای دیگر از پیترسون و همکاران[3] (۲۰۰۴)، منافع حاصل از بازار آب برای دو منطقه و بر اساس مدل تعادل جزئی مورد بررسی قرار گرفته است. که بر اساس یافته‌های این مطالعه، تخصیص مجدد آب تا جایی ادامه دارد که تولید نهایی آب برای دو منطقه برابر گردد.
در مطالعه‌ای از بچتا و همکاران[4] (۲۰۰۴)، بازار آب در تونس شبیه‌سازی شده است. این مطالعه با روش PMP[5] انجام شده است. در دو دهه گذشته در تونس به قیمت‌گذاری آب توجه اساسی شده است. متوسط قیمت آب از ارزش نهایی آب و هزینه‌های انتقال آب خیلی پایین‌تر است. اهمیت تخصیص بهینه آب با کمبود منابع آبی و افزایش زمین‌های آبیاری مشخص می‌شود. بازار آب سبب تخصیص بهینه آب می‌شود. این مطالعه اثرات اجرای بازار آب را در تونس ارزیابی می‌کند. فرضیه مطالعه این است که بازار، سبب تخصیص بهینه آب می‌شود، ارزش یا قیمت آب را بالا می‌برد و توزیع آب را بین کشاورزان بهبود می‌دهد. زارعین از طریق تغییر الگوی کشت استفاده آب خود را تعدیل می‌کنند و منجر به افزایش درآمد مزرعه می‌شود.

1- Draper et.al.
2- Conradie and Hong
3- Peterson et.al.
4- Bachta et.al.
5- Positive Mathematical Programming

همچنین این بررسی حالت فعلی را با حالت بازاری آب مقایسه می‌کند و هر دو بازار انحصاری و رقابتی را مورد توجه و ارزیابی قرار می‌دهد.

مدلسازی بازار آب تحت شرایط عدم حتمیت عرضه آب، توسط کالاتراوا و گاریدو[1] در سال ۲۰۰۵ انجام شده است. این مطالعه نقش بازار آب در شرایط عدم حتمیت عرضه آب را در تصمیم‌گیری بررسی می‌کند و منافع حاصل از آن را بدست می‌آورد. مدل تصادفی دو مرحله-ای[2] برای شبیه‌سازی بازار آب در ناحیه جنوب اسپانیا به کار برده شده است. نتایج مطالعه حکایت از کارایی تخصیص آب و استفاده کمتر از منابع آبی به دلیل تمرکز بازار آب در منطقه است. این مطالعه اهمیت ایجاد بازار آب واقعی را بیان می‌کند.

در مطالعه‌ای از زکری و ایستر[3] (۲۰۰۵)، منافع و مضار بازار آب بین کشاورزان و بین کشاورز و شرکت‌های آب شهری با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی[4] در تونس تخمین زده شده است. بازار آب، استفاده کارای آب را از طریق انتقال به مصرف‌کنندگانی که درآمد نهایی بالاتری از آن بدست می‌آورند، بهبود می‌دهد. برای بررسی از چهار مدل مزرعه جداگانه و یک مدل دشت استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه یک ناحیه‌ی ۴۵۰۰ هکتاری در شمال تونس است. انتقال آب بین کشاورزان بدون محدودیت است و اثر چندانی بر درآمد زارعین نداشته است. در مقابل انتقال آب بین کشاورزان و شرکت‌های آب شهری سبب افزایش ۷/۹٪ سود کشاورزان می‌شود. نتایج حاکی از آن است که فروش آب به شرکت‌های آب شهری با کاهش نیروی کار در حدود ۳۴/۸٪ و کاهش مخارج کشاورزان برای نهاده‌ها و ماشین‌آلات در حدود ۱۷/۶٪ همراه شده است. نتیجه دیگر اینکه ممکن است در سال خشک، حفظ و ذخیره آب آبیاری، نسبت به فروش آب به شرکت‌های آب شهری مزیت بیشتری داشته باشد. بنابراین کشاورزان بایستی بین این دو گزینه، بهینه‌سازی انجام دهند و این انتخاب بستگی به امکانات آبی و شرایط کشاورزان دارد.

پوجال و همکاران[5] (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات بالقوه بازار برای آب آبیاری پرداختند و دو منطقه اسپانیا و ایتالیا را مورد مقایسه قرار دادند. هدف مطالعه این است که آیا

1- Calatrava and Garrido
2- Two-Stage Stochastic Model
3- Zekri and Easter
4- Linear Programming
5- Pujol et.al.

بازار آب می‌تواند کارائی تخصیص آب را بهبود دهد و برای کشاورزان سودآوری ایجاد کند. تجزیه و تحلیل بر اساس مدل برنامه‌ریزی خطی و مقایسه دو حالت با و بدون بازار آب است و هزینه‌های متغیر و ثابت انتقال آب در نظر گرفته شده است. نتایج حاکی از این است که بازار آب سبب بهبود کارائی اقتصادی مصرف آب در هر هکتار می‌شود و کارائی اقتصادی با رفتار کشاورز ارتباط نزدیکی دارد و بین کشاورزان متفاوت است. در نهایت نتیجه گرفته می‌شود که اثر بازار آب به سطح دسترسی آب، اندازه مزرعه و هزینه‌های انتقال آب بستگی شدیدی دارد.

زکری و همکاران[1] (۲۰۰۶)، بازار آب در عمان را مورد مطالعه قرار دادند. بر خلاف مطالعات قبلی که شبیه سازی بازار آب به خاطر کمبود اطلاعات، بر اساس مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی بود در این مطالعه از قیمت و مقدار واقعی مصرف آب استفاده شد. با استفاده از داده-های سری زمانی قیمت و مصرف، کشش قیمتی آب آبیاری تخمین زده شد. در این تابع که در فرم لگاریتمی تخمین زده شد، زمان و سیسم آبیاری به صورت متغیر کمکی حضور داشته‌اند. مقدار کشش قیمتی آب بین ۰/۱۰- تا ۰/۲۸- نوسان داشت.

منجاتانا و همکاران[2] (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای اثر بازار آب‌های زیرزمینی را بر کارایی استفاده از آن مورد بررسی قرار داده‌اند. این مطالعه در شبه‌جزیره‌ی هند و با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها صورت گرفته است. بازار آب‌های زیرزمینی با کارایی بیشتر سبب بهبود توزیع آب شده است. نتایج نشان داد که کارایی استفاده‌ی آب در خریداران آب بالاتر از فروشندگان آن است. نتایج همچنین حکایت از مؤثر بودن بازار آب‌های زیرزمینی بر کارایی استفاده‌ی از آب دارد و نشان می‌دهد که بازار آب سود کشاورزان را افزایش می‌دهد.

در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برخلاف مدل‌های تجویزی، مدل به گونه‌ای کالیبره می‌شود که بتوانند حالت پایه را دقیقاً بازسازی کند. از آنجا که این مدل الگوی فعلی را بازسازی می‌کند، مثبت (واقعی) نامیده می‌شود. از آنجاییکه هدف عمده این نوع مدل‌ها، بررسی واکنش‌ها به تغییرات خارجی است، باعث علاقه سیاستگذاران به مدل PMP شده است (هویت[3]، ۱۹۹۵).

1- Zekri et.al.
2- Manjunatha et.al.
3- Howitt

از مطالعات داخل کشور که با استفاده از روش PMP به تحلیل سیاست پرداخته‌اند، می‌توان به مطالعه صبوحی صابونی اشاره کرد. صبوحی‌صابونی (۱۳۸۵) به بررسی راه‌های بهبود کارائی مصرف آب در سطح حوضه آبریز و مزرعه از طریق بهینه‌سازی الگوهای کشت با توجه به پتانسیل حوضه آبریز و مزیت نسبی محصولات زراعی پرداخته است. ابتدا با استفاده از ماتریس تحلیل سیاست، مزیت نسبی محصولات مورد مطالعه تعیین شده، سپس با بکارگیری مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی که در آن‌ها ریسک نیز لحاظ شده الگوهای بهینه کشت این مدل‌ها از بعد منافع اجتماعی و خصوصی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج مطالعه نشان داد که بعضی از محصولات زراعی، فاقد مزیت نسبی تولید در منطقه مورد مطالعه هستند و الگوهای بهینه کشت منتج از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، حداکثرکننده منافع اجتماعی نیستند. همچنین گروه‌های همگن زارعین به سیاست‌های مختلف پاسخ یکسان نمی‌دهند و افزایش قیمت آب آبیاری الزاماً به کاهش مصرف آب در سطح مزرعه منجر نمی‌شود.

هنری و همکاران[1] (۲۰۰۵) در مطالعه‌ی خود سیاست‌گذاری‌های مختلف را جهت قیمت‌گذاری آب بررسی کردند. آنها چهارچوبی تجربی جهت مقایسه‌ی سیاست‌های آبیاری برای تخصیص آب کمیاب به تولیدات کشاورزی در مصر و مراکش ارائه دادند. در این مطالعه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، مالیات بر نهاده‌ی مکمل و مالیات بر ستاده مقایسه شده است. نتایج بررسی نشان داد که سیاست آبیاری به عوامل اجتماعی، اقتصادی و محیطی مناطق بستگی دارد.

در مطالعه‌ای دیگر تورس و همکاران[2] (۲۰۰۷) با استفاده از مدل برنامه ریزی ریاضی مثبت در سطح مزرعه، اثرات سیاست‌های مختلف و الگوهای مصرف آب را بر تولیدات کشاورزی مورد بررسی قرار داده‌اند. این مطالعه به تفاوت هزینه‌های متغیر (شامل هزینه‌های انرژی برق و نیروی‌کار) و هزینه‌های سرمایه‌ی آب سطحی و زیرزمینی که به عنوان جانشین کامل برای آبیاری لحاظ می‌شوند، توجه ویژه می‌کند. قیمت‌های سایه‌ای برای نهاده‌های غیر بازاری (زمین، نیروی‌کارخانوادگی و آب) در نخستین مرحله‌ی مدلسازی برآورد می‌شوند.

1- Henry et.al.
2- Torres et.al.

کرتیگنانی و سورینی[1] (۲۰۰۹) به بررسی پذیرش تکنیک کم آبیاری در سطح مزرعه با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت پرداخته‌اند. به خاطر کاهش منابع آبی در دسترس و افزایش تغییرات قیمت محصولات کشاورزی، تجزیه و تحلیل اقتصادی رفتار کشاورزان اهمیت پیدا کرده است. در این مطالعه، رهیافت PMP شامل تکنیک کم آبیاری است که حتی در سال پایه مشاهده نشده است. این مطالعه در منطقه مدیترانه برای بررسی سه سناریوی: افزایش در هزینه‌های آب، کاهش منابع آبی در دسترس و تغییرات قیمت محصولات کشاورزی شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی حکایت از عدم تأثیر افزایش هزینه‌های آب بر استفاده از تکنیک کم آبیاری دارد.

پالومو – هیرو و همکاران[2] (۲۰۱۵) به بررسی عملکرد و چالش‌های بازار آب در اسپانیا می‌پردازد و چنین نتیجه می‌گیرد که اثربخشی بازار آب در عمل کمتر از آن چیزی بوده است که مدل‌های شبیه سازی ریاضی بیان می‌کرده‌اند. بازارهای آب که ایجاد آنها از سال ۱۹۹۹ در اسپانیا آغاز شده است، تنها در زمان خشکسالی (سالهای ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) فعال بوده‌اند. البته حتی در شرایط خشکسالی، میزان تجارت آب به وسیله بازارهای آب کمتر از ۵ درصد کل آب مصرفی بوده است. محققین چنین نتیجه می‌گیرند که عملکرد محدود بازارهای آب در اسپانیا ناشی از وجود موانعی است که اجازه نقش آفرینی مؤثر را به بازارهای آب نمی‌دهد. آنها عمدتاً بر هزینه مبادله آب تأکید می‌کنند و میزان آن را در مقایسه با کشورهایی که از بازار آب توسعه یافته‌ای برخوردارند (نظیر آمریکا، استرالیا و شیلی)، بالا می‌دانند و راهکارهایی جهت مقابله با مشکلات و تعدیل هزینه مبادله آب ارائه نموده‌اند. به هرحال علیرغم محدودیت عملکرد بازار آب، تفاوت بهره‌وری آب میان خریداران و فروشندگان در اسپانیا نشان داد که بازارهای آب به عنوان یک ابزار می‌توانند در راستای بهبود بهره‌وری آب عمل کنند (Palomo-Hierro et al. 2015).

گرافتن و همکاران[3] (۲۰۱۱) در یک مقایسه بین کشوری، اثربخشی بازارهای آب را در کشورهایی نظیر استرالیا، امریکا، شیلی و افریقای جنوبی گزارش کرده‌اند. در شرایط خشکسالی در استرالیا و شیلی، بیش از ۲۰ درصد آب مصرفی از طریق بازارهای آب مورد مبادله قرار می-

1- Cortignani and Severini
2 - Palomo-Hierro et al.
3 - Grafton et al.

گیرد (Hadjigeorgalis et al., 2004; National water commission, 2012). اما در کالیفرنیا، آب مورد مبادله در بازار آب، کمتر از حدود ۵ درصد کل آب مصرفی می‌باشد (Hanak and Stryiewski, 2012). این میزان مشابه درصدی است که برای حوضه‌های آبریز جنوب شرقی اسپانیا گزارش شده است. در سایر کشورهایی که بازارهای آب اخیراً در آنها ایجاد شده است نظیر افریقای جنوبی، آب مبادله شده بیش از ۱ درصد آب مصرفی آنها نیست (Grafton et al., 2011).

تجربه اسپانیا نشان می‌دهد که استراتژی‌های کاهش هزینه مبادله در طراحی سیاست ایجاد بازار آب، موضوع مهمی است. این موضوع در چین و افریقای جنوبی نیز صادق است (Grafton et al., 2011). در سایر نقاط دنیا نظیر غرب امریکا و استرالیا که بازارهای آب توسعه یافته هستند، موانع اولیه از طریق اصلاحات سیاسی بر حقابه‌ها، سیستم‌های رصد کردن و قواعد تجارت برطرف شده‌اند (Palomo-Hierro et al., 2015).

۴-۴- تجربیات حاصل از ایجاد بازار آب در کشورهای دیگر

آنچه می توان از تجربه ایجاد بازار آب در کشورهای پیشرو آموخت، به قرار زیر است:

۱- توسعه بازار حتی در سیستم‌های هیدرولوژیکی پیچیده امکان پذیر است.

۲- بازارهای آب که به خوبی طراحی شده باشند، منافع ملموسی را در سیستم هایی که در آنها دسترسی به آب کمیاب است، بدست می‌دهند.

۳- ویژگیهای اقتصادی و فیزیکی عمومی وجود دارد که بر اساس آنها می‌توان پیشنهاد داد که در کجا تجارت آب ، بیشترین منافع را ایجاد می‌کند.

۴- علیرغم وجود این ویژگیهای عمومی، طراحی بازار آب مستلزم آگاهی از ویژگیهای خاص و تاریخی مدیریت منابع آب محلی است.

۵- پیش نیازهای عمومی برای بازار آب مؤثر عبارتند از :

- برقراری سهمیه مؤثر بر کل برداشت پایدار آب
- ایجاد حقابه (Entitlement) که به خوبی تصریح، مانیتور و اجرا شود به گونه‌ای که آب بران بطور دقیق بدانند که چه می‌توانند بخرند و چه می‌توانند بفروشند.
- داشتن یک چارچوب حکمرانی و قانونمندی که در داخل آن تجارت آب صورت گیرد.

- اجرای عناصر اساسی مدیریت مناسب آب نظیر تحویل حجمی و حسابداری آب

۶- اندازه گیری و توجه به پیامدهای محیط زیستی و اجتماعی که بازار آب می‌تواند ایجاد کند.

اما مطلب آخر اینکه بازارهای آب باید نه تنها بر اساس کارایی اقتصادی که بر اساس پایداری اجتماعی و محیط زیستی مورد ارزیابی قرار گیرند (Graften et al., 2011). بنابراین تحلیل عمیق بررسی اثرات اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به منظور ارزیابی اثرات ایجاد بازارهای آب بر رفاه اجتماعی آن گونه که در استرالیا در قالب مطالعات (Edwards et al., 2008; NWC, 2010 and Wheeler et al., 2014) انجام شده، مورد نیاز است. در شرایط فعلی که ما هنوز اقدام به ایجاد بازارهای رسمی آب نکرده‌ایم و از پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی واقعی آن اطلاع نداریم، چاره‌ای جز بررسی اثرات بالقوه ایجاد بازار آب در قالب مدلهای شبیه سازی نخواهیم داشت.

۴- ۵- شبیه‌سازی بازار آب به روش برنامه‌ریزی ریاضی

در این مطالعه سعی می‌شود که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی، بازار آب شبیه-سازی شود و نقش آن به عنوان یکی از سیاست‌های مدیریت تقاضای آب بررسی شود[۱]. ابتدا مدل مزرعه در حالت بدون بازار آب برای هر شش گروه اجرا می‌شود، قیمت سایه‌ای آب در دهه‌های مختلف، الگوی کشت بهینه و سود برای مزارع مختلف بدست می‌آید. بعد از آن مدل منطقه با کمک سود و قیمت سایه‌ای آب بدست آمده از مدل مزرعه اجرا می‌شود و منافع حاصل از بازار آب بدست می‌آید.

به طور کلی، در یک الگوی برنامه‌ریزی خطی، مسائل مورد مطالعه به صورت زیر مطرح می‌شوند:

۱- نوشتن یک تابع هدف، یعنی به حداکثر رساندن بازده برنامه‌ای و یا به حداقل رساندن هزینه.

۲- مشخص کردن راه‌ها یا فعالیت‌های رسیدن به هدف تعیین شده

۳- تعیین محدودیت‌هایی که در راه رسیدن به هدف وجود دارند

۱- آنچه در قالب مدلهای برنامه ریزی ریاضی بررسی خواهد شد، اثرات بالقوه ایجاد بازار آب است، بدیهی است که آنچه در عمل اتفاق خواهد افتاد با آنچه که شبیه سازی شده است، یکسان نخواهد بود.

برای یک واحد اقتصادی که با مسأله گزینش بین n فعالیت روبرو بوده و دارای m محدودیت می‌باشد و می‌خواهد بازده کل فعالیت‌های خود را به حداکثر برساند، الگوی تصمیم‌گیری به صورت کلی زیر نشان داده می‌شود:

$$\text{Max}: \quad z = \sum_{j=1}^{m} r_j x_j \qquad (۳۳)$$

$$\text{s.t}: \quad \sum_{j=1}^{m} a_{ij} x_j \le b_j$$

$$x_j \ge 0$$

در این رابطه r_j بازده ناخالص هر فعالیت و a_{ij} مقدار مورد نیاز نهاده برای یک واحد فعالیت (محصول) و b_j مقدار موجودی منبع و z مقدار تابع هدف است. در ادامه ابتدا مدل مزرعه و به دنبال آن مدل منطقه تشریح خواهد شد.

۴-۵-۱- مدل مزرعه

امروزه با افزایش روزافزون تقاضا برای مصارف آب شهری و صنعتی، سهم تخصیص یافته آب به بخش کشاورزی که مصرف‌کننده عمده آب می‌باشد، به سرعت روبه کاهش است. بنابراین از مهمترین اهداف بخش کشاورزی، فراهم آوردن شرایطی است که محصول در برابر آب مصرفی به حداکثر برسد. به عبارت دیگر، تغییرات اساسی در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری لازم است تا کارآیی مصرف آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی بهینه شود و این مسأله نیازمند ابتکار و نوآوری می‌باشد (کیردا[1]، ۲۰۰۴). در راستای افزایش و بهبود کارآیی مصرف آب، توجه به روش کم‌آبیاری ضروری است. کم‌آبیاری روشی است که در آن میزان مصرف آب آبیاری، نسبت به سطوح آبیاری کامل کاهش می‌یابد و یک تنش رطوبتی ملایم که حداقل تأثیر سوء را بر تولید محصولات زراعی داشته باشد، اعمال می‌شود. در شرایط خشکسالی و کم-آبی، تکنیک کم‌آبیاری می‌تواند با تولید حداکثری محصول به ازای هر واحد آب آبیاری، سبب افزایش سود اقتصادی محصول شود. هدف اساسی کم‌آبیاری، افزایش راندمان مصرف آب با افزایش کفایت آبیاری است (انگلیش[2]، ۱۹۹۰و کیردا و کنبر[3]، ۱۹۹۹). بنابراین لازم است که

1- Kirda
2-English
3-Kirda and Kanber

استراتژی‌های آبیاری متفاوتی برای هر محصول در نظر گرفته شود. در انتخاب استراتژی‌های مناسب توجه به بیشینه‌کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری می-باشد. از این رو کم‌آبیاری به عنوان یک راهبرد عملی و روشی اقتصادی در حصول الگوی بهینه مصرف آب به شمار می‌رود. با توجه به منابع محدود (آب و زمین) می‌توان استراتژی‌های کم-آبیاری را نیز مانند استراتژی‌های آبیاری کامل برای گیاهان مختلف، در مدل‌های تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. بر این اساس در طراحی مدل حاضر استراتژی‌های کم‌آبیاری نیز لحاظ گردیده است. با توجه به اینکه از ابتدای ماه آبان تا اوایل بهمن‌ماه بیشتر نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تامین می‌شود، به این دلیل از آبان تا اوایل بهمن‌ماه به عنوان یک دوره در نظر گرفته شده است و کم‌آبیاری در این دوره لحاظ نگردیده است. دوره‌های دیگر (D) برای انطباق با دوره‌های رویشی گیاه به صورت ۱۰روزه در نظر گرفته شد. از این‌رو متغیرهای مدل بر اساس استراتژی‌های مختلف آبیاری، همراه با تنش آبی و بدون تنش آبی و در نظر گرفتن سیستم آبیاری بارانی و استفاده از لوله برای انتقال آب تعریف شدند. هدف در نظر گرفته‌شده در طراحی مدل مزرعه، حداکثرسازی سود خالص کشاورزی است. تابع تولید مورد استفاده در این مطالعه برای تعیین عملکرد واقعی محصول در هکتار (Y_a) بر اساس تحقیقات میر و همکاران[1] (۱۹۹۳) به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\prod_{i=1}^{n}\left[1-KY_i\left[1-\frac{W_a}{W_p}\right]_i\right] \qquad (۳۴)$$

در این رابطه:

Y_a: مقدار محصول در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)

Y_p: حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی

KY_i: ضریب واکنش عملکرد نسبت به تنش آبی در مرحله رشد i (استقرار، اوایل دوره رویشی، اواخر دوره رویشی، گل‌دهی، شکل‌گیری عملکرد محصول و رسیدن) است که از پژوهش‌های گذشته بدست آمده است.

n: تعداد مراحل رشد

W_p: حداکثر آب مورد نیاز گیاه که از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

1-Meyer et. al.

$$W_{pi} = \frac{IN_j}{Ea} \times A_j \times 10 \quad (۳۵)$$

که در آن:

IN_j: مقدار آب خالص مورد نیاز گیاه j ام **(**mm/10day)

Ea: راندمان کاربرد آب در مزرعه و عدد ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر(mm) به مترمکعب در هکتار(m^3/ha) می‌باشد.

مقدار IN_j با توجه به رابطه زیر بدست می‌آید:

$$IN_j = ET_{crop_j} - P_e \quad (۳۶)$$

که در آن:

P_e: بارندگی مؤثر است که مقدار آن با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT و از روش USDA برای ماه‌هایی که در آن بارندگی اتفاق می‌افتد، محاسبه می‌شود.

ET_{crop}: تبخیر- تعرق گیاه jام (mm/10day) از طریق رابطه زیر بدست می‌آید.

$$ET_{crop_i} = k_c \cdot ET_0 \quad (۳۷)$$

که در آن:

ET_0: تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع (mm/10day) است.

K_c: ضریب گیاهی

تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث، با استفاده از داده‌های هواشناسی استان فارس برای دشت مورد مطالعه محاسبه گردید. ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد گیاه برای محصولات مختلف متفاوت می‌باشد. این ضریب از نرم‌افزار CROPWAT و آلن و همکاران[1] (۱۹۹۸) بدست آمد.

W_a: مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه است که مقدار آن در دوره‌های مختلف رشد در شرایط آبیاری کامل برابر $W_a=W_p$ ودر شرایط اعمال کم‌آبیاری از طریق رابطه (۳۸) بدست می‌آید:

$$W_{ai} = (1-h)W_{pi} \quad (۳۸)$$

1- Allen et. al.

h: مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچکتر یا مساوی یک) است. رابطه فوق در هریک از مراحل مختلف رشد اعمال می‌گردد. در این قسمت استراتژی‌های کم‌آبیاری به گونه‌ای تعریف شده است که اگر کم‌آبیاری در یک دوره اعمال شد، در سایر دوره‌ها، آبیاری به صورت کامل در نظر گرفته شود. بر این اساس مقدار Y_a و W_{ai} در کل دوره رشد برای استراتژی‌های مختلف آبیاری محاسبه گردیده است (فتحی، ۱۳۸۸). پس از محاسبات لازم، عملکرد واقعی با درنظر گرفتن تنش برای گیاهان مختلف با استفاده از نرم‌افزار EXCEL بدست آمد.

۴-۵-۱-۱- تعریف متغیرهای مدل

اولین گام در ساختن مدل برنامه‌ریزی ریاضی تعریف متغیرهای تصمیم یا فعالیت‌ها است. در این مطالعه فعالیت‌ها بر اساس نوع محصول، استراتژی و راندمان آبیاری تعریف شده-اند. استراتژی‌های آبیاری منظور شده شامل تمام آبیاری و کم آبیاری به صورت ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد در مراحل مختلف رشد است. راندمان آبیاری بر اساس نظر کارشناسان به ترتیب برای سیستم آبیاری بارانی، ۶۵ درصد، برای انتقال آب با لوله‌های پلاستیکی، ۴۵ درصد و برای آبیاری سطحی ۳۵ درصد در نظر گرفته شد. با توجه به مطالب فوق، متغیرهای مدل عبارتند از:

۱) گندم۱ تا گندم۶۳ به ترتیب گندم در شرایط آبیاری کامل، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد تنش آبی در مراحل اواخر رشد گیاه، گلدهی، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن به ترتیب با راندمان ۳۵، ۶۵ و ۴۵ درصد می‌باشد.

۲) جو۱ تا جو۶۳ به ترتیب جو در شرایط آبیاری کامل، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد تنش آبی در مراحل اواخر رشد گیاه، گلدهی، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن به ترتیب با راندمان ۳۵، ۶۵ و ۴۵ درصد می‌باشد.

۳) ذرت۱ تا ذرت۳۳ به ترتیب ذرت در شرایط آبیاری کامل، ۱۰ و ۲۰ درصد تنش آبی درمراحل استقرار، اواخر رشد گیاه، گلدهی، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن به ترتیب با راندمان ۳۵، ۶۵ و ۴۵ درصد می‌باشد.

۴) کلزا۱ تا کلزا۳۰ به ترتیب کلزا در شرایط آبیاری کامل، ۱۰، ۲۰، ۳۰ درصد تنش آبی در مراحل اوایل رشد رویشی گیاه، گلدهی و رسیدن به ترتیب با راندمان ۳۵، ۶۵ و ۴۵ درصد می‌باشد.

۵) از آنجا که برنج حساسیت بالایی نسبت به کم‌آبیاری دارد این گیاه به‌صورت آبیاری کامل وارد مدل شد.

۴-۵-۱-۲- تابع هدف مدل

بعد از تعیین متغیرهای مدل، بایستی تابع هدف مدل مشخص گردد. هدف در نظر گرفته شده حداکثرسازی سود ناخالص کشاورز است. ضرایب تابع هدف، بازده برنامه‌ای هر فعالیت است که با کسر هزینه‌های متغیر (خرید نهاده‌های تولید از جمله بذر، کود (خرید آزاد و دولتی)، سم، نیروی‌کار) از درآمد حاصل از کشت محصول بدست می‌آید:

$$MaxZ = \sum_{j=1}^{m} X_{Sj} * (GM_{Sj} - \sum_{D=1}^{27} Pw * (water_{jD} / 0.35)) + \sum_{j=1}^{m} X_{Bj} * (GM_{Bj} - \sum_{D=1}^{27} Pw * (water_{jD} / 0.65)) + \sum_{j=1}^{m} X_{Lj} * (GM_{Lj} - \sum_{D=1}^{27} Pw * (water_{jD} / 0.45)) \quad (۳۹)$$

که در آن:

X_{Sj}: سطح زیر کشت محصولات با سیستم آبیاری سنتی (راندمان ۳۵ درصد)

X_{Bj}: سطح زیر کشت محصولات با سیستم آبیاری بارانی (راندمان ۶۵ درصد)

X_{Lj}: سطح زیر کشت محصولات با سیستم آبیاری با استفاده از لوله جهت انتقال آب (راندمان ۴۵ درصد)

$Water_{jD}$: نیاز آبی محصول j ام در دوره D ام

Pw: قیمت آب

D: دوره‌های ده‌روزه رویشی گیاه

GM_{Sj}: بازده برنامه‌ای هر هکتار محصول j ام مربوط به سیستم آبیاری سنتی

GM_{Bj}: بازده برنامه‌ای هر هکتار محصول j ام مربوط به سیستم آبیاری بارانی

GM_{Lj}: بازده برنامه‌ای هر هکتار محصول j ام مربوط به سیستم آبیاری با استفاده از لوله

برای سیستم آبیاری بارانی و استفاده از لوله برای انتقال آب معادل یکنواخت سالانه سرمایه گذاری انجام شده، محاسبه و از بازده برنامه‌ای کسر گردید.

۴-۵-۱-۳- تعیین محدودیت‌های مدل

تابع هدف را باید با توجه به محدودیت‌های مزرعه، حداکثر کرد. محدودیت‌ها را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

۴-۵-۱-۳-۱- محدودیت زمین

$$\sum X_j * Landuse_{jD} \leq Land_D \qquad (۴۰)$$

X_j: سطح زیر کشت محصول j

$Landuse_{jD}$: زمین مورد نیاز محصول j ام در دوره D ام

$Land_D$: کل زمین در دسترس در دوره D ام است. این محدودیت بیان می‌کند که کل سطح زیر کشت نباید از مقدار زمین موجود در دوره D بیشتر گردد.

۴-۵-۱-۳-۲- محدودیت نیروی‌کار

تقاضا برای نیروی‌کار در فعالیت‌های تولیدی محصولات زراعی تابع عملیات مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت است و به‌دلیل تنوع کشت محصولات و متفاوت بودن دوره رشد آنها، تأمین نیروی‌کار مورد نیاز در دوره‌های مختلف متفاوت خواهد بود، لذا نیروی‌کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف در دوره‌های مختلف به‌صورت زیر در مدل در نظر گرفته شده است:

$$\sum X_j * Rlab_{jD} \leq Alab_D \qquad (۴۱)$$

$Rlab_{jD}$: مقدار نیروی‌کار مورد نیاز برای کشت محصول j ام در دوره D ام در واحد سطح است.

$Alab_D$: مقدار نیروی‌کار در دسترس (کل نیروی‌کار خانوادگی+کل نیروی استخدام شده) در دوره D ام است. این محدودیت بیان می‌کند که کل نیروی‌کار برای کشت محصولات در مزرعه نبایستی از تعداد نیروی‌کار مزرعه بیشتر گردد.

۴-۵-۱-۳-۳- محدودیت آب مصرفی

از آنجایی که دوره کشت و نیاز آبی محصولات و میزان موجودی آب منطقه در ماه‌های مختلف سال با یکدیگر متفاوت است، محدودیت آب به صورت دوره‌های ده‌روزه در نظر گرفته شد. در واقع محدودیت آب، بیانگر آن است که جمع مقدار آب مصرفی گیاهان در دوره‌های مختلف تقسیم بر راندمان آبیاری توزیع و انتقال نمی‌تواند از کل آب در دسترس بهره‌بردار بیشتر شود. سمت راست، منبع آب در دسترس کشاورز است که بر اساس متوسط آبدهی، تعداد روزهای آبدهی و تعداد ساعات آبدهی در هر روز برحسب مترمکعب محاسبه شده است.

$$\sum X_{SJ} * (Rwater_{JD} / 0.35) + \sum X_{BJ} * (Rwater_{JD} / 0.65) + \sum X_{LJ} * (Rwater_{JD} / 0.45) \le Awater_{D} \quad (۴۲)$$

$Rwater_{JD}$: مقدار آب مورد نیاز محصول j ام در دوره D ام در واحد سطح است.

X_{SJ}: محصولات با سیستم آبیاری سنتی (راندمان ۳۵ درصد).

X_{BJ}: محصولات با سیستم آبیاری بارانی (راندمان ۶۵ درصد).

X_{LJ}: محصولات با سیستم آبیاری استفاده از لوله (راندمان ۴۵ درصد).

$Awater_{D}$: حجم آب در دسترس (کل مقدار موجود+سهمیه آب مزرعه) در دوره D ام است. این محدودیت بیان می‌کند که کل آب مصرفی برای کشت محصولات مزرعه نبایستی از کل آب موجود بیشتر گردد.

۴-۵-۲- مدل منطقه

تابع هدف بر اساس مجموع درآمدهای مزارع نماینده تعریف شد:

$$MAX \quad Z = \sum_{k=1}^{6} X_{jK} * GM_k - \sum_{k=1}^{6} BW_k * P_{bw} + \sum_{k=1}^{6} SW_k * \mu \quad (۴۳)$$

که در آن:

Z: کل بازده ناخالص مزارع است که هدف ما حداکثر کردن آن است

GM_k: بازده ناخالص مزرعه نماینده گروه K است که با روش برنامه‌ریزی ریاضی بدست می‌آید

k: گروه همگن مورد نظر

X_{jK}: سطح زیر کشت محصول j ام در مزرعه K ام

μ: قیمت فروش آب (کمترین هزینه فرصت آب در دهه‌های کم آبی که از نتایج حاصل از مدل-های مزرعه نماینده هر گروه همگن بدست آمد).

P_{bw}: قیمت خرید آب، قیمتی که توسط زارع پرداخت می‌شود و به صورت زیر محاسبه گردید:

$$P_{bw} = \mu + P_w + TransactionCost \qquad (۴۴)$$

در این معادله Transaction Cost هزینه مبادله است که بر پایه مطالعات موجود در زمینه بازار آب که توسط هرنه و ایستر[1] در سال ۱۹۹۷ انجام شده، ۱۰ درصد قیمت آب، فرض می‌شود. بنابراین، قیمت پرداخت شده برای آب از حاصل جمع قیمت سایه‌ای آب، قیمت آب در نظر گرفته شده در مدل مزرعه (P_w) و هزینه مبادله بدست می‌آید.

BW_k: مقدار آب خریداری شده توسط مزرعه k ام

SW_k: مقدار آب فروش رفته توسط مزرعه k ام

تابع هدف با توجه به محدودیت‌های زیر حداکثر می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{m} X_{Kj} * GM_{Kj} - \sum_{K=1}^{6} P_{bw} * BW_K + \sum_{K=1}^{6} \mu * SW_K \geq Profit_K$$

$$(\sum_{j=1}^{m} (water_{DjK} / 0.35) * X_{Sjk}) + (\sum_{j=1}^{m} (water_{Djk} / 0.65) * X_{Bjk} +$$

$$(\sum_{j=1}^{m} (water_{Djk} / 0.45) * X_{Ljk}) + Nuse_{Dk} - bw_{Dk} = Awater_{Dk}$$

$$\sum_{D=1}^{27} Awater_{DK} + WS_k \leq Twater_k \qquad (۴۵)$$

$$\sum_{D=1}^{27} bw_{Dk} = WB_k$$

$$\sum_{k=1}^{6} bw_{DK} \leq \sum_{k=1}^{6} Nuse_{Dk}$$

$$\sum_{k=1}^{6} WB_k = \sum_{k=1}^{6} WS_k$$

اولین محدودیت به منظور حصول اطمینان خاطر از اینکه هیچ زارعی از مبادله آب زیان نخواهد دید، در مدل منطقه اعمال گردید. اعداد سمت راست محدودیت ($Profit_K$) از اجرای

1- Hearne and Easter

مدل‌های مزرعه نماینده گروه‌های همگن زارعین بدست آمدند. در واقع سود حاصل از مزرعه در حالت عدم وجود بازار آب می‌باشد.

دومین محدودیت، بیانگر آن است که مجموع آب مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری و آب مازاد استفاده نشده برابر با مجموع کل آب در دسترس و آب خریداری شده در هر یک از دوره‌های ده روزه است. سومین محدودیت بیان کننده این است که کل آب مصرفی در سیستم‌های مختلف آبیاری و کل آب فروش رفته در هر یک از گروه‌های همگن بایستی از کل آب در دسترس هر گروه کمتر باشد.

که در این معادلات:

$Water_{DjK}$: میزان آب مورد نیاز محصول j ام در دوره رویشی D ام در مزرعه K ام

$Twater_K$: کل آب در دسترس مزرعه K ام

$Awater_{DK}$: کل آب در دسترس مزرعه K ام در دوره D ام

$Nuse_{DK}$: میزان آب مازاد استفاده نشده در دوره D ام مزرعهK ام

bw_{DK}: میزان آب خریداری شده دوره D ام در مزرعه K ام

WB_k: کل مقدار آب خریداری شده در مزرعه K ام

WS_k: کل مقدار آب فروش رفته در مزرعه K ام

معادله آخری بیانگر آن است که کل آب فروش رفته در منطقه با کل آب خریداری‌شده در منطقه یکسان است.

بعد از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز از سطح مزرعه، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، اقدام به همگن سازی زارعین شد و برای هر گروه همگن یک مزرعه نماینده که در میانه گروه قرار داشت، انتخاب گردید و مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای این مزرعه نماینده ساخته شد. مشخصات کلی گروههای همگن از نظر دسترسی به منابع آب و اندازه مزرعه در زیر آورده شده است. اما سایر اطلاعات مربوط به گروههای همگن را می‌توان با مراجعه به مدل ریاضی در پیوست گزارش ملاحظه کرد:

گروه ۱- بهره‌بردارانی را شامل می‌شود که در زمینه دسترسی به منابع آب با محدودیت روبرو نبودند و اندازه مزرعه نماینده آنها، ۵ هکتار بود.

گروه ۲- بهره‌برداران این گروه نیز از روستاهایی بودند که با محدودیت آب روبرو نبودند و اندازه مزرعه نماینده آنها، ۱۵ هکتار بود.

گروه ۳- بهره‌برداران این گروه در زمینه دسترسی به منابع آب با محدودیت متوسط روبرو بودند و اندازه مزرعه نماینده آنها، ۶ هکتار بود.

گروه ۴- بهره‌برداران این گروه نیز همچون گروه ۳ با محدودیت متوسط از نظر دسترسی به منابع آب، روبرو بودند و اندازه مزرعه نماینده آنها، ۱۳ هکتار بود.

گروه ۵- بهره‌بردارانی را شامل می‌شد که در دسترسی به منابع آب، مشکلات زیادی داشتند و اندازه مزرعه نماینده آنها، ۷ هکتار بود.

گروه ۶- بهره‌برداران این گروه نیز همچون بهره‌برداران گروه ۵، از روستاهای با محدودیت شدید منابع آب بودند و اندازه مزرعه نماینده گروه آنها، ۱۸ هکتار بود.

۴-۶- نتایج حاصل از شبیه سازی بازار آب

۴-۶-۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت

همانگونه که در روش تحقیق بیان گردید، در این مطالعه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی، بازار آب شبیه‌سازی شد و نقش آن به عنوان یکی از استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب بررسی گردید. بدین صورت که ابتدا مدل مزرعه در حالت بدون بازار آب برای مزارع نماینده گروه‌های همگن اجرا شد و قیمت سایه‌ای آب در دهه‌های مختلف، الگوی کشت بهینه و سود برای مزارع مختلف بدست آمد. بعد از آن مدل منطقه با کمک سود و قیمت سایه‌ای آب بدست آمده از مدل مزرعه اجرا و منافع حاصل از بازار آب بررسی شد. در زیر نتایج حاصله به ترتیب آورده شده است.

۴-۶-۱-۱- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروه‌های همگن در حالت عدم وجود بازار آب با مدل تخصیص زمین اصلاح شده

با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی، الگوی کشت بهینه و مطابق با آن درآمد برای مزارع نماینده گروه‌های همگن در جدول (۲۷) گزارش شده است. مزارع نماینده گروه‌های ۱ و ۲ شامل مزارع روستاهای بدون محدودیت آب است. جدول (۲۷) الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای شش مدل مزرعه را نشان می‌دهد. الگوی کشت حکایت از وجود استراتژی‌های کم‌آبیاری و سیستم‌های آبیاری نوین در مزارع نماینده با محدودیت بیشتر آب است. در مزارع نماینده گروه‌های با دسترسی بیشتر آب، برنج در الگوی کشت آن‌ها وجود دارد. کل اراضی مزارع نماینده در گروه‌های همگن ۵ و ۶ که با محدودیت بیشتر آب روبرو می‌باشند، کاملاً زیر کشت نرفته‌اند. اما در بقیه مزارع بخاطر دسترسی بیشتر آب، سطح زیر کشت افزایش یافته است. سود زارعین با افزایش محدودیت آب به دلیل کاهش سطح زیر کشت و عدم کشت برنج، کاهش می‌یابد.

جدول (۲۷): الگوی بهینه کشت برای مزارع نماینده گروه‌های همگن حاصل از اجرای مدل مزرعه

روستاهای بدون محدودیت آب				روستاهای با محدودیت متوسط آب				روستاهای با محدودیت زیاد آب			
گروه۱		گروه ۲		گروه ۳		گروه ۴		گروه ۵		گروه ۶	
محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)
				گندم۲۱	۰,۶۹۶	گندم۲۱	۵,۱۹۴				
گندم۲۱	۲,۵	گندم۲۱	۹	گندم۶۳	۲,۳۰۴	گندم۲۲	۱,۸۰۶	گندم۴۲	۳,۵۰۷	گندم۴۲	۷,۰۵
کلزا۱۱	۰,۸۰۳	کلزا۱	۲,۰۱	جو۱۶	۱,۵۴۸	جو۱۶	۳,۹۶۹	جو۱۶	۱,۳۴۶	جو۱۶	۱,۲۷۲
کلزا۲۱	۱,۶۹۷	کلزا۱۱	۳,۹۹	جو۲۱	۰,۴۵۲	جو۲۱	۱,۰۳۱	جو۲۱	۰,۶۵۴	جو۲۱	۲,۷۲۸
ذرت۱۲	۳,۳۹۰	ذرت۱	۰,۰۹۷	کلزا۱۱	۱	کلزا۱۱	۱	کلزا۱۱	۰,۴۴۳	کلزا۱۱	۰,۳۱۹
ذرت۲۳	۰,۶۱	ذرت۱۲	۱۲,۹۰۳	ذرت۱۲	۵,۴۵۵	ذرت۱	۰,۰۰۵	ذرت۱۲	۳,۵۹۷	ذرت۱۲	۸,۱۱۶
برنج	۱	برنج	۲	ذرت۲۳	۰,۰۴۵	ذرت۱۲	۱۲,۰۹۵	ذرت۲۲	۰,۱۸۹	ذرت۱۵	۰,۱۰۳
				برنج	۰,۵	برنج	۰,۹			ذرت۱۶	۰,۰۵۲
سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)	
۷۹۷۵۲۳۲۵		۲۲۳۹۹۱۴۸۷		۷۲۱۷۵۴۰۳		۱۵۵۳۰۹۷۵۰		۴۲۹۶۴۱۰۰		۸۸۹۷۵۹۰۴	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۶-۱-۲- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروه‌های همگن در حالت وجود بازار آب با مدل تخصیص زمین اصلاح شده

هدف مدل منطقه‌ای حداکثر کردن سود کشاورزان حاصل از کشت محصولات و مبادله آب بوده است. نتایج حاصل از اجرای مدل منطقه در جداول (۲۸ و ۲۹) ارائه شده است. منفعت حاصل از ورود به بازار آب شامل دو بخش است: ۱- منفعتی که از افزایش سطح زیر کشت محصولات و یا کشت محصولات پر درآمد نصیب زارع گردیده است. چون در صورت تشکیل بازار آب کشاورز می‌تواند با خرید آب مورد نیاز خود کمبود آب آبیاری را جبران نموده و سطح زیر کشت محصولات خود را افزایش دهد و یا محصولاتی با درآمد بالاتر کشت نماید. ۲-منفعت دیگر، سود حاصل از فروش آب، که خود درآمدی برای کشاورز حاصل می‌نماید. نتایج در جدول (۲۸) نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد همه مزارع نماینده افزایش سود داشته‌اند در بین آنها مزرعه نماینده گروه ۶ بیشترین افزایش سود را بخاطر افزایش سطح زیر کشت داشته است. مزرعه نماینده گروه ۱ کمترین افزایش سود را در بین زارعین داشته است. میزان آب خریداری شده و حجم آب فروخته شده برای مزارع نماینده نیز در جدول(۲۸) گزارش شده است. بیشترین میزان آب خالص فروخته شده به ترتیب مربوط به مزارع نماینده ۱ و ۲ می‌باشد. این مزارع در اکثر دهه‌هایی از سال که مزارع نماینده‌های دیگر با کمبود شدید آب مواجه بودند، مازاد آب داشته‌اند. بنابراین آب کافی برای شرکت در تجارت آب برای این مزارع در دسترس بوده است. بیشترین آب خریداری شده به ترتیب مربوط به مزارع نماینده ۶ و ۵ است. زیرا قیمت خرید آب کمتر از هزینه فرصت آب در دهه‌های کم‌آبی این مزارع بوده است و زارعین در این قیمت و حتی بالاتر از آن تمایل به خرید آب دارند. نتایج حاصل از الگوی کشت بهینه در جدول (۲۹) گزارش شده است. در مزارع نماینده هر شش گروه، تغییر الگوی کشت به چشم می‌خورد. با ایجاد بازار آب در منطقه مورد مطالعه منافع اقتصادی قابل توجهی حاصل می‌گردد. در حقیقت با ایجاد بازار آب، امکان خرید آب برای مزارع که با محدودیت شدید آب روبرو بوده و از خاک حاصلخیز بهره‌مند هستند، فراهم می‌گردد که افزایش سطح زیرکشت آنها را به دنبال دارد.

مزارع با امکان آبی مازاد نیز می‌توانند از طریق فروش آب مازاد، درآمد کل خود را افزایش دهند. ایجاد بازار آب به طور غیرمستقیم موجب می‌گردد تا زارعین از طریق پوشش انهار، تسطیح اراضی و استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین، راندمان آبیاری خود را ارتقاء بخشند و آب ذخیره شده را مورد مبادله قرار دهند. نظر به اینکه زارعین کارآتر حاضر به پرداخت بهاء بیشتر به ازای دریافت یک مترمکعب آب می‌باشند، ایجاد بازار آب و برقراری سیستم خرید و فروش آب را از طریق انتقال آب به سمت مصارف با ارزش افزوده بیشتر، کارایی استفاده از آب را افزایش می‌دهد.

جدول (۲۸): نتایج حاصل از مبادله آب بین مزارع نماینده گروه‌های همگن در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
سود زارع قبل از ورود به بازار آب (۱۰ ریال)	۷۹۷۵۲۳۲۵	۲۳۹۹۱۴۸۷	۷۲۱۷۵۴۰۳	۱۵۵۳۰۹۷۵۰	۴۲۹۶۴۱۰۰	۸۸۹۷۵۹۰۴
سود زارع پس از ورود به بازار آب (۱۰ ریال)	۹۱۷۱۵۱۷۳	۲۶۴۳۰۹۹۵۵	۸۴۴۴۵۲۲۱	۱۸۱۷۱۲۴۰۷	۵۵۸۵۳۳۳۰	۱۲۶۳۴۵۷۸۴
حجم آب فروخته شده (متر مکعب)	۴۵۷۵	۴۴۹۱	۴۵۰۶	۴۴۹۵	۴۲۱۳	۴۲۱۹
حجم آب خریداری شده (متر مکعب)	۰	۰	۱۵۴	۴۹۰	۳۴۴۳	۲۲۴۱۲
حجم آب خالص فروخته شده (متر مکعب)	۴۵۷۵	۴۴۹۱	۴۳۵۲	۴۰۰۵	۷۷۰	-۱۸۱۹۳
افزایش سود ناشی از بازار آب (۱۰ ریال)	۱۱۹۶۲۸۴۸	۴۰۳۱۸۴۶۸	۱۲۲۶۹۸۱۸	۲۶۴۰۲۶۵۷	۱۲۸۸۹۲۳۰	۳۷۳۶۹۸۸۰
افزایش سود ناشی از بازار آب (درصد)	۱۵	۱۸	۱۷	۱۷	۳۰	۴۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج الگوی کشت بهینه در حالت وجود بازار آب در جدول (۲۹) گزارش شده است. همان گونه که از بررسی این جدول به دست می‌آید، مزارع نماینده گروه‌های ۱ و ۲ به دلیل دسترسی به آب، استراتژی‌های کم‌آبیاری را نسبت به دیگر مزارع کمتر مورد استفاده قرار می-دهند. مزارع نماینده ۳، ۴، ۵ و ۶ با افزایش محدودیت آب به سمت استراتژی‌های کم‌آبیاری گرایش پیدا کرده‌اند. بنابراین محدود کردن برداشت آب توسط زارعین سبب گرایش آنها به سیستم‌های آبیاری نوین و استراتژی‌های کم‌آبیاری می‌شود.

جدول (۲۹): الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای مدل منطقه در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت

روستاهای بدون محدودیت آب				روستاهای با محدودیت متوسط آب				روستاهای با محدودیت زیاد آب			
گروه۱		گروه ۲		گروه ۳		گروه ۴		گروه ۵		گروه ۶	
محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم۱	۲,۵	گندم۱	۹	گندم۴۳	۳	گندم۱	۴,۹۵۹	گندم۱۶	۰,۶۳	گندم۱۶	۱,۰۸۵
کلزا۱۱	۲,۵	کلزا۱۱	۶	جو۱۶	۰,۹۴۴	گندم۲۲	۲,۰۴۱	گندم۲۲	۳,۹۱۶	گندم۲۲	۱۱,۳۲۹
ذرت۱۲	۴	ذرت۱۲	۱۳	جو۲۱	۱,۰۵۶	جو۱۶	۲,۸۹۸	جو۱۶	۲	جو۱۶	۴
برنج	۱	برنج	۲	کلزا۱۱	۱	جو۲۱	۲,۱۰۲	کلزا۱۱	۰,۴۵۳	کلزا۱۱	۱,۵۸۶
				ذرت۱۲	۵,۵	کلزا۱۱	۱	ذرت۱۲	۳,۸۹۱	ذرت۱۲	۸,۷۵۳
				برنج	۰,۵	ذرت۱۲	۱۲,۱				
						برنج	۰,۹				
سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)	
۹۱۷۱۵۱۷۳		۲۶۴۳۰۹۹۵۵		۸۴۴۴۵۲۲۱		۱۸۱۷۱۲۴۰۷		۵۵۸۵۳۳۳۰		۱۲۶۳۴۵۷۸۴	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج مربوط به بازدهی و میزان مصرف آب در مزارع نماینده در حالت‌های بدون بازار آب و وجود بازار آب در جدول (۳۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصله، بازدهی آب در حالت وجود بازار آب نسبت به قبل افزایش پیدا کرده است. بازدهی آب بیانگر متوسط درآمدی است که از مصرف یک مترمکعب آب در مزرعه بدست می‌آید. این افزایش بازدهی آب بخاطر افزایش درآمد مزرعه بعد از ایجاد بازار آب است بنابراین فرضیه مبنی بر اینکه بازار آب، بازدهی هر مترمکعب آب را افزایش می‌دهد، قویاً تایید می‌گردد. تغییرات میزان مصرف آب در جدول (۳۰) گزارش شده است، با توجه به نتایج، مصرف آب در مزارع نماینده ۳، ۴، ۵ و ۶ افزایش یافته و در مزارع نماینده ۱، ۲ کاهش یافته است. بنابراین در چهار مزرعه با ایجاد بازار آب مصرف آب افزایش یافته است ومیزان افزایش در مجموع بیش از ۳۷ هزار مترمکعب است. در نتیجه فرضیه‌ای که بیانگر تعدیل تقاضای آب با ایجاد بازار آب است، بطور قاطع رد می‌شود. این نکته هشداری است برای مدیریت آب، بدین صورت که هر چند بازار آب، موجب افزایش درآمد زارعین می‌گردد و بازدهی هر مترمکعب آب را افزایش می‌دهد اما نه تنها موجب تعدیل تقاضای آب نمی‌گردد که مصرف بیشتر آب را دامن می‌زند بنابراین در صورتیکه با سیاستهای مکملی تقاضای آب، همراه نگردد می‌تواند بحران آب را تشدید کند. بهمین دلیل در قسمت بعد سیاست ایجاد بازار آب با سیاست سهمیه‌بندی و کنترل میزان برداشت از سفره‌های آب با هم بکار گرفته شده و نتایج آن بطور مستقل آورده شده است. آب مصرفی مزارع نماینده گروه ۱و ۲ کاهش یافته است اما مقدار آب فروش رفته در این دو مزرعه در مزارع دیگر به مصرف رسیده است. با توجه به نتایج جدول (۳۰) کل آب مصرفی منطقه افزایش یافته است و این نتیجه زنگ خطری برای مدیریت تقاضای آب بعد از ایجاد بازار آب است.

جدول (۳۰): نتایج مربوط به بازدهی و مصرف آب بین مزارع نماینده در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
بازدهی آب قبل از بازار آب (۱۰ ریال بر مترمکعب)	۱۳۱۱	۱۳۲۹	۱۲۳۵	۱۲۸۹	۹۹۲	۱۰۵۲
بازدهی آب پس از ورود به بازار آب (۱۰ ریال بر مترمکعب)	۱۵۳۶	۱۵۵۲	۱۴۲۶	۱۴۹۲	۱۱۶۷	۱۰۷۱
آب مصرف شده قبل از بازار آب (مترمکعب)	۱۲۵۷۸۴	۳۴۸۶۲۸	۱۱۱۸۶۳	۲۳۹۲۲۱	۷۳۰۵۱	۱۴۶۴۰۱
آب مصرف شده پس از ورود به بازار آب (مترمکعب)	۱۱۵۲۲۱	۳۲۹۶۱۷	۱۱۱۹۴۶	۲۴۲۰۱۱	۸۰۸۰۹	۲۰۳۰۷۰
تغییرات در آب مصرف شده ناشی از بازار آب (مترمکعب)	-۱۰۵۶۳	-۱۹۰۱۰	۸۳	۲۷۹۰	۷۷۵۸	۵۶۶۶۹
افزایش در کل آب مصرف شده منطقه ناشی از بازار آب (مترمکعب)	**۳۷۷۲۷**					

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۶-۲- نتایج حاصل از شبیه سازی بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت

همانگونه که اشاره شد چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبرو است، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که همزمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمد بالاتری را برای زارعین رقم زند. با توجه به نتایج ارائه شده در قسمت قبلی این مطالعه، سیاست ایجاد بازار آب به تنهایی، بهره‌وری آب و سود زارعین را افزایش می‌دهد ولی همزمان مصرف کل آب منطقه افزایش می‌یابد که با مدیریت تقاضای آب در نتاقض می‌باشد. از این رو برای مدیریت مصرف آب بایستی به همراه ایجاد بازار آب، سیاست کنترل برداشت آب برای زارعین اجرا شود. در این راستا به رسمیت شناختن حق مالکیت آب گام اساسی است که باید هرچه سریع‌تر برداشته شود. مالکیت آب باید از مالکیت زمین جدا شده و سند آب که مقدار مالکیت بر منابع آب را مشخص می‌کند، برای بهره‌برداران صادر شود. لازمه این امر، تحویل حجمی آب و نصب کنتور برای نظارت بر مالکیت آب است. استفاده از تکنولوژی جدید برای قرائت کنتور از راه دور، با کاهش هزینه اجرا، کارایی این اقدام را افزایش خواهد داد. مهمترین ویژگی حق مالکیت، قابلیت انتقال[1] آن است یعنی زارعین باید بتوانند حقابه خود را به دیگران منتقل کنند یا این که آن را برای سال‌های بعد نگهداری نمایند. در چنین شرایطی دولت نیز می‌تواند به عنوان خریدار آب صرفه‌جویی شده اقدام نماید. میزان حقابه با توجه به وضعیت سفره آب زیرزمینی دشت متفاوت و با توجه به تغییرات بارندگی سالانه می‌تواند شناور باشد. در صورتی که وضعیت آبخوان مناسب است حقابه می‌تواند دو نوع باشد، حقابه نوع اول، با توجه به میزان ذخیره و عمق لایه آبدار و روند و گرایشات حاکم بر آن تعیین می‌شود و می‌تواند برای چند سال ثابت باشد. اما حقابه نوع دوم با توجه به مشخص‌شدن میزان بارندگی در اواخر زمستان قبل از تصمیم‌گیری در مورد کشت محصولات صنفی که نیاز آبی بالایی دارند، تعیین خواهد شد و شناور می‌باشد. در چنین شرایطی، بازار آب نیز به طور خودکار ایجاد می‌شود که می‌تواند در افزایش بازده هر مترمکعب آب نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد در قسمتی دیگر از این مطالعه، اثرات ایجاد بازار آب و سیاست تعیین حقابه با هم بررسی شد. بدین گونه که برای مزارع نماینده ۱ و ۲، ۳۰ درصد و برای مزارع نماینده ۳ و ۴، ۲۰ درصد کاهش حقابه آب لحاظ

1 - Transferability

شد. اما برای مزارع نماینده ۵ و ۶ به علت محدودیت دسترسی به آب کاهش حقابه آب در نظر گرفته نشد.

۴-۶-۲-۱- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروه‌های همگن در حالت عدم وجود بازار آب و سیستم کنترل برداشت

الگوی کشت بهینه و مطابق با آن درآمد مربوطه برای مزارع نماینده در شرایط کاهش حقابه آب یا به عبارت دیگر کنترل برداشت در جدول (۳۱) گزارش شده است. با توجه به نتایج فراهم آمده، سود زارعین نماینده ۱، ۲، ۳ و ۴ بخاطر کنترل برداشت آب کاهش یافته است. الگوی کشت مزارع به سمت استراتژی‌های کم‌آبیاری و روش‌های آبیاری نوین بخاطر محدودیت بیشتر آب گرایش یافته است. برنج به دلیل نیاز آبی بیشتر آن از الگوی کشت حذف شده و سطح زیر کشت مزارع کاهش یافته است. درصد کاهش سود زارعین برای مزارع نماینده گروه های۱ و ۲، به ترتیب۲۹/۶ و۲۸/۵ درصد و برای مزارع نماینده گروه‌های ۳ و ۴، به ترتیب ۱۸/۷ و ۱۳/۲ درصد است و برای جبران کاهش سود زارعین بازار آب با هدف افزایش سود زارعین ایجاد می‌شود.

جدول (۳۱): الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای مدل مزرعه در حالت وجود سیستم کنترل برداشت

روستاهای بدون محدودیت آب				روستاهای با محدودیت متوسط آب				روستاهای با محدودیت زیاد آب			
گروه۱		گروه ۲		گروه ۳		گروه ۴		گروه ۵		گروه ۶	
محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم۲۲	۱,۸۳۷	گندم۲۱	۲,۰۴۷	گندم۲۲	۳	گندم۲۱	۰,۵۴۶	گندم۴۲	۳,۵۰۷	گندم۴۲	۷,۰۵
گندم۶۳	۰,۶۶۳	گندم۲۲	۶,۹۵۳	جو۱۶	۱,۲۸۹	گندم۲۲	۶,۴۵۴	جو۱۶	۱,۳۴۶	جو۱۶	۱,۲۷۲
کلزا۱۱	۲,۵	کلزا۱۱	۶	جو۴۲	۰,۱۲۹	جو۱۶	۳,۶۲۷	جو۲۱	۰,۶۵۴	جو۲۱	۲,۷۲۸
ذرت۱۲	۴,۴۱۳	ذرت۱۲	۱۱,۹۸۱	جو۶۳	۰,۵۸۲	جو۲۱	۱,۳۷۳	کلزا۱۱	۰,۴۴۳	کلزا۱۱	۰,۳۱۹
				کلزا۱۱	۱	کلزا۱۱	۱	ذرت۱۲	۳,۵۹۷	ذرت۱۲	۸,۱۱۶
				ذرت۱۲	۵,۲۱۳	ذرت۱۲	۹,۳۱۲	ذرت۲۲	۰,۱۸۹	ذرت۱۵	۰,۱۰۳
				ذرت۲۰	۰,۰۳۶	برنج	۰,۹			ذرت۱۶	۰,۰۵۲
سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)	
۵۶۱۳۶۸۱۸		۱۶۰۱۱۲۵۰۴		۵۸۶۶۹۶۱۹		۱۳۴۷۵۲۳۰۲		۴۱۹۰۸۶۴۳		۸۶۸۵۴۱۵۳	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۶-۲-۲- بررسی الگوی کشت بهینه و درآمد مزارع نماینده گروه‌های همگن در حالت وجود بازار آب و سیستم کنترل برداشت

در این قسمت از مطالعه به منظور بررسی منفعت حاصل از ایجاد بازار فرضی آب در حالت برقراری کنترل برداشت آب و اثرات آن بر اقتصاد منطقه از یک مدل منطقه‌ای استفاده شده است. هدف مدل منطقه‌ای حداکثر کردن سود کشاورزان حاصل از کشت محصولات و مبادله آب بوده است. نتایج حاصل از اجرای مدل منطقه در جداول (۳۲ و ۳۳) ارائه شده است. نتایج الگوی کشت گویای استفاده بیشتر از استراتژی‌های کم‌آبیاری و سیستم آبیاری نوین است. در واقع با بکارگیری سیاست کنترل برداشت آب برای زارعین و نظارت بر برداشت آب توسط آنها تقاضای آب تعدیل شده است. از طرف دیگر استراتژی‌های کم‌آبیاری و سیستم آبیاری نوین گزینه‌ای مناسب برای جلوگیری از کاهش سود زارعین و افزایش سطح زیر کشت مزرعه و حفظ عملکرد محصول است.

با توجه به نتایج، از آنجاییکه مزارع نماینده ۵ و ۶ کمترین بازده آب را دارند فروشنده آب هستند. در واقع بازار، سبب انتقال آب به سمت مصارف با بازدهی بیشتر می‌باشد. تنها مزرعه نماینده گروه ۵ فروشنده خالص آب می‌باشد و دلیل فروش آب در این مزرعه بازدهی پائین آب نسبت به سایر مزارع است.

.

جدول (۳۲): نتایج حاصل از مبادله آب بین مزارع نماینده در حالت وجود سیستم کنترل برداشت

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
سود زارع قبل از ورود به بازار آب (۱۰ ریال)	۵۶۱۳۶۸۱۸	۱۶۰۱۱۲۵۰۴	۵۸۶۶۹۶۱۹	۱۳۴۷۵۲۳۰۲	۴۱۹۰۸۶۴۳	۸۶۸۵۴۱۵۳
سود زارع پس از ورود به بازار آب (۱۰ ریال)	۷۰۷۳۲۳۹۱	۲۰۶۵۴۵۱۳۰	۷۰۴۰۳۵۴۳	۱۵۷۶۶۰۱۹۳	۴۱۹۰۸۵۴۳	۸۶۸۵۴۱۵۳
حجم آب فروخته شده (متر مکعب)	۰	۰	۰	۰	۲۷۱۵۴	۹۷۰۳
حجم آب خریداری شده (متر مکعب)	۴۴۰۷	۲۰۰۳۲	۱۰۶۴	۵۰۴	۱۰۰۶	۹۸۴۵
حجم آب خالص فروخته شده (متر مکعب)	-۴۴۰۷	-۲۰۰۳۲	-۱۰۶۴	-۵۰۴	۲۶۱۴۸	-۱۴۲
افزایش سود ناشی از بازار آب (۱۰ ریال)	۱۴۵۹۵۵۷۳	۴۶۴۳۲۶۲۶	۱۱۷۳۳۹۲۴	۲۲۹۰۷۸۹۱	۰	۰
افزایش سود ناشی از بازار آب (درصد)	۲۶	۲۹	۲۰	۱۷	۰	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۳۳): الگوی بهینه کشت حاصل از اجرای مدل منطقه در حالت وجود سیستم کنترل برداشت

روستاهای بدون محدودیت آب				روستاهای با محدودیت متوسط آب				روستاهای با محدودیت زیاد آب			
گروه۱		گروه ۲		گروه ۳		گروه ۴		گروه ۵		گروه ۶	
محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	محصول	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم۲۲	۲,۵	گندم۲۲	۹	گندم۲۲	۳	گندم۲۲	۷	گندم۱۶	۰,۶۳۶	گندم۱۶	۰,۷۷۴
کلزا۱۱	۲,۵	کلزا۱۱	۶	جو۱۶	۱,۳۳۷	جو۱۶	۲,۴۷۷	گندم۲۲	۴,۰۳۵	گندم۲۲	۱۱,۲۱۸
ذرت۱۲	۴,۶۷۸	ذرت۱۲	۱۴,۶۱۹	جو۲۱	۰,۶۶۳	جو۲۱	۲,۵۲۳	جو۱۶	۱,۳۲۸	جو۱۶	۳,۵۶۶
برنج	۰,۳۲۲	برنج	۰,۳۸۱	کلزا۱۱	۱	کلزا۱۱	۱	جو۲۱	۰,۶۷۲	جو۲۱	۰,۴۳۴
				ذرت۱۲	۵,۴	ذرت۱۲	۹,۴۱	ذرت۱۲	۲,۲۷۰	ذرت۱۲	۵,۴۴۳
						برنج	۰,۹				
سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)		سود(۱۰ ریال)	
۷۰۷۳۲۳۹۱		۲۰۶۵۴۵۱۳۰		۷۰۴۰۳۵۴۳		۱۵۷۶۶۰۱۹۳		۴۱۹۰۸۶۴۳		۸۶۸۵۴۱۵۳	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از اجرای همزمان سیاست ایجاد بازار آب و سهمیه‌بندی برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی در جداول (۳۴ تا ۳۶) درج شده است. همان گونه که ملاحظه می‌گردد بازدهی هر مترمکعب آب و سود مزارع نماینده در تمامی موارد افزایش یافته است. از مزایای اجرای همزمان این دو سیاست این است که برخلاف سناریو ایجاد بازار به تنهایی که موجب افزایش مصرف آب می‌گردید در این حالت، میزان آب مصرفی در مزارع نماینده بعد از محدود کردن برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، ۲۱۵ هزار مترمکعب کاهش یافته است. کاهش سود ناشی از محدود کردن میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در مزارع نماینده گروه‌های ۱ و ۲ ، قبل از ورود به بازار آب بین ۲۸ تا ۲۹ درصد بوده است که پس از ورود این مزارع به بازار میزان کاهش سود مزارع نماینده به ۸ تا ۱۱ درصد تقلیل یافته است. بنابراین سیاست کاهش مصرف آب که از مهمترین اهداف بخش مدیریت منابع آب می‌باشد به دلیل ایجاد بازار آب و در نتیجه افزایش بازدهی هرمترمکعب با کاهش قابل توجه سود زارعین همراه نگردیده است و در حقیقت سیاست ایجاد بازار آب و سهمیه‌بندی برداشت از سفره‌های زیرزمینی، رفاه جامعه و منافع زارعین را با هم تأمین نموده است. بنابراین ملاحظه می‌شود که بازار آب بخش قابل توجهی از کاهش سود زارعین گروه ۱ و ۲ که برداشت آب آنها از سفره‌های زیرزمینی به میزان ۳۰ درصد تقلیل یافته بود، را جبران می‌کند. برای گروه ۳ و ۴ که میزان برداشت آب آنها از سفره زیرزمینی به میزان ۲۰ درصد تقلیل یافته بود، میزان کاهش سود برای مزرعه نماینده گروه ۳، ۲/۴ درصد و برای مزرعه گروه ۴، نیز نه تنها کاهش سودی رخ نمی‌دهد که حتی اندکی نیز افزایش سود مشاهده می شود. این موضوع به خوبی نقش بازار آب را در کاهش منازعات مربوط به آب نشان می‌دهد. به عبارت دیگر چاره‌ای جز کاهش حقابه زارعین وجود ندارد و این امر در صورت عدم تشکیل بازار آب با کاهش چشمگیر سود همراه است که می‌تواند مخالفت جدی کشاورزان را به دنبال داشته باشد. حال آنکه با تشکیل بازار کاهش سود در دو گروه به میزان قابل توجهی تقلیل می‌یابد (گروه ۱ و ۲)، در گروه ۳ کاهش سود به کمتر از ۳ درصد تنزل می‌یابد و در یکی از گروه‌ها (گروه ۴) کاهش سود مشاهده نخواهد شد. بنابراین در صورتی که دولت بخواهد در این رابطه بابت تقلیل حقابه زارعین، غرامتی پرداخت نماید، با تشکیل بازار آب، این میزان به حداقل ممکن تقلیل خواهد یافت.

جدول (۳۴): نتایج مربوط به بازدهی و مصرف آب بین مزارع نماینده در حالت وجود سیستم کنترل برداشت

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
بازدهی آب قبل از بازار آب (۱۰ ریال بر مترمکعب)	۱۰۳۱	۱۰۷۱	۱۰۸۶	۱۲۷۰	۹۸۶	۱۰۲۵
بازدهی آب پس از ورود به بازار آب (۱۰ ریال بر مترمکعب)	۱۲۱۱	۱۲۳۵	۱۲۸۴	۱۴۷۷	۱۱۹۱	۱۰۱۹
آب مصرف شده قبل از بازار آب (مترمکعب)	۸۵۳۶۸	۲۴۰۰۹۳	۸۹۰۵۸	۱۹۴۲۹۵	۷۳۰۵۱	۱۴۶۴۰۱
آب مصرف شده پس از ورود به بازار آب (مترمکعب)	۸۸۰۵۰	۲۴۴۰۴۰	۸۹۴۹۰	۱۹۱۳۷۸	۷۰۵۸۵	۱۴۶۴۰۱
تغییرات در آب مصرف شده ناشی از بازار آب (مترمکعب)	۲۶۸۲	۳۹۴۷	۴۳۲	۲۹۱۷	-۲۴۶۶	۰
تغییرات کل آب مصرف شده در منطقه ناشی از بازار آب (مترمکعب)	**۷۵۱۲**					

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۳۵): نتایج مربوط به مقایسه مصرف آب در دو حالت با و بدون سیستم کنترل برداشت آب در شش مزرعه نماینده

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
آب مصرفی قبل از ورود به بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت (مترمکعب)	۱۲۵۷۸۴	۳۴۸۶۲۷	۱۱۱۸۶۳	۲۳۹۲۲۱	۷۳۰۵۱	۱۴۶۴۰۱
آب مصرفی پس از ورود به بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت (مترمکعب)	۱۱۵۲۲۱	۳۲۹۶۱۷	۱۱۱۹۴۶	۲۴۲۰۱۱	۸۰۸۰۹	۲۰۳۰۷۰
آب مصرفی قبل از ورود به بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت (مترمکعب)	۸۵۳۶۸	۲۴۰۰۹۳	۸۹۰۵۸	۱۹۴۲۹۵	۷۳۰۵۱	۱۴۶۴۰۱
آب مصرفی پس از ورود به بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت (مترمکعب)	۸۸۰۵۰	۲۴۴۰۴۰	۸۹۴۹۰	۱۹۱۳۷۸	۷۰۵۸۵	۱۴۶۴۰۱
تغییرات آب مصرفی ناشی از وجود سیستم کنترل برداشت پس از ورود به بازار آب (مترمکعب)	-۳۷۷۳۴	-۱۰۴۵۸۷	-۲۲۳۷۳	-۴۷۸۴۳	-۲۴۶۶	۰
تغییرات کل آب مصرف شده در منطقه ناشی از وجود سیستم کنترل برداشت (مترمکعب)	**-۲۱۵۰۰۳**					

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۳۶): نتایج حاصل از مقایسه سود زارع در دو حالت با و بدون سیستم کنترل برداشت آب در شش مزرعه نماینده

	روستاهای بدون محدودیت آب		روستاهای با محدودیت متوسط آب		روستاهای با محدودیت زیاد آب	
	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
سود زارع قبل از ورود به بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت (۱۰ ریال)	۷۹۷۵۲۳۲۵	۲۲۳۹۹۱۴۸۷	۷۲۱۷۵۴۰۳	۱۵۵۳۰۹۷۵۰	۸۵۱۹۰۱۸	۱۷۸۴۴۰۴۳
سود زارع پس از ورود به بازار آب در حالت عدم وجود سیستم کنترل برداشت (۱۰ ریال)	۹۱۷۱۵۱۷۳	۲۶۴۳۰۹۹۵۵	۸۴۴۴۵۲۲۱	۱۸۱۷۱۲۴۰۷	۱۱۰۸۳۰۰۰	۲۵۳۹۲۰۰۰
سود زارع قبل از ورود به بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت (۱۰ ریال)	۵۶۱۳۶۸۱۸	۱۶۰۱۱۲۵۰۴	۵۸۶۶۹۶۱۹	۱۳۴۷۵۲۳۰۲	۸۵۱۹۰۱۸	۱۷۸۴۴۰۴۳
سود زارع پس از ورود به بازار آب در حالت وجود سیستم کنترل برداشت (۱۰ ریال)	۷۰۷۳۲۳۹۱	۲۰۶۵۴۵۱۳۰	۷۰۴۰۳۵۴۳	۱۵۷۶۶۰۱۹۳	۸۵۱۹۰۱۸	۱۷۸۴۴۰۴۳
کاهش سود ناشی از کنترل برداشت قبل از ورود به بازار آب (درصد)	۲۹/۶۰	۲۸/۵۱	۱۸/۷۱	۱۳/۲۴	۰	۰
کاهش سود ناشی از کنترل برداشت پس از ورود به بازار آب (درصد)	۱۱/۳	۷/۸	۲/۴	۰	۰	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

فصل پنجم

عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک

۵- عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک

۵-۱- مقدمه

برای اینکه استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک از جمله استراتژی‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر مورد پذیرش قرار گیرد، باید عوامل مؤثر بر این فرآیند شناسایی شود. در این فصل، این عوامل در چارچوب مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط مورد بررسی قرار گرفته است. مدل دارای دو معادله است که یکی از آنها عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژی‌های مدیریت آب و دیگری عوامل مؤثر بر پذیرش استراتژیهای مدیریت خاک را بررسی می‌کند. دو معادله در چارچوب یک مدل بطور همزمان تخمین زده می‌شوند و عوامل مؤثر بر پذیرش این استراتژی‌ها تعیین می‌گردند. در انتها نیز با توجه به استراتژی‌های بکار گرفته شده از سوی زارعین و بهره-گیری از تحلیل خوشه‌ای، زارعین نمونه به خوشه‌های همگن تفکیک شده‌اند.

۵-۲- نتایج وبحث

۵-۲-۱- نتایج حاصل از تخمین مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط

برای بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش روش‌های حفاظت آب و خاک، ابتدا اقدامات، از نقطه نظر اهمیت آنها در حفاظت از منابع آب و خاک با استفاده از دیدگاه کارشناسی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاصله در جدول (۳۷) نشان داده شده‌است. امتیازبندی اقدامات در مقیاس یک تا نه بوده است که عدد نه بیانگر بهترین وضعیت و عدد یک بیانگر پایین‌ترین وضعیت می-باشد.

جدول (۳۷): رتبه بندی حفاظت آب و خاک با توجه به نظر کارشناسان

اقدامات حفاظت از منابع آب	درصد پذیرش	امتیاز (رتبه بندی حفاظت آب بین۱تا۹)
پوشش انهار	۵۱/۵	۴
انتقال آب از منبع به مزرعه با لوله	۱۶/۲	۷
استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار	۲۹	۹
تسطیح اراضی	۳۷/۷	۶
یکپارچه کردن اراضی	۶۷/۲	۴
کشت محصولات با نیاز آبی پایین	۵۵/۶	۸
کشت گلخانه‌ای	۶۶/۷	۷
اقدامات حفاظت از منابع خاک	**درصد پذیرش**	**امتیاز (رتبه بندی حفاظت خاک بین۱تا۹)**
رعایت آیش‌گذاری	۱۳/۲	۳
رعایت تناوب زراعی	۷۵/۵	۷
استفاده مناسب از کودها	۳۲/۴	۶
خاک‌ورزی حفاظتی	۲۷	۹
نحوه کشت و کار در اراضی شیب‌دار	۷۱/۶	۲
چرای بی‌رویه دام	۶۲/۳	۲
سوزاندن بقایای گیاهی	۶۴/۷	۲

یافته‌های تحقیق

پس از ارزیابی اقدامات درصورتیکه مزارع نمونه یکی از دو وضعیت زیر را حائز بودند، برای متغیر مجازی مربوطه یعنی پرداختن به حفاظت از آب و خاک عدد یک و در غیراین‌صورت عدد صفر منظور شد:

- انجام یکی از اقدامات دارای امتیاز بالا مانند اجرای سیستم آبیاری تحت فشار در زمینه حفاظت از منابع آب یا خاک‌ورزی حفاظتی در زمینه حفاظت از منابع خاک در مزرعه.
- انجام حداقل دو اقدام دارای امتیاز پایین.

نتایج بدست آمده نشان داد که ۴۳/۶ درصد از کشاورزان حفاظت از منابع آب، ۴۴/۱ درصد حفاظت از منابع خاک و ۲۴ درصد هردو را انجام داده‌اند.

جدول (۳۸) نتایج حاصل از تخمین رگرسیون پروبیت به‌ظاهر نامرتبط را نشان می‌دهد. نتایج فراهم آمده از این تخمین عوامل مؤثر بر پرداختن به فعالیت‌های حفاظتی آب و خاک را بدست می‌دهد. بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ویژگی‌های فردی (سن، سابقه کشاورزی و تحصیلات) و ویژگی‌های اقتصادی (اندازه مزرعه، تعداد قطعات، تعدادنیروی کار،

فعالیت خارج از مزرعه و میزان تسهیلات بانکی) می‌توانند بر پذیرش فعالیت‌های حفاظتی مؤثر باشند که در این مطالعه لحاظ شده‌اند.

همان‌طور که در جدول (۳۸) مشاهده می‌شود آماره حداکثر راستنمایی ۱۲۸/۳۸ می-باشد و معنی داری کل رگرسیون را نشان می‌دهد. مالکیت زمین اثر معنی‌داری بر پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک نداشته است؛ اما این پارامتر برای حفاظت آب مثبت است به این معنی که اگر کشاورز مالک زمین باشد امکان پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب توسط کشاورز بیشتر می‌شود. تعداد اعضای خانواده در هر دو مدل معنی‌دار و منفی است. پارامتر سن کشاورز در معادله اول مثبت و در سطح ۱۰٪ معنی‌دار است و در معادله دوم بی‌تأثیر است، در مورد این پارامتر مطالعات پیشین، تفسیرهای مختلفی ارائه داده‌اند؛ آموسولا و گراف (۲۰۰۷) استدلال می‌کنند که سن یک شاخص از تجربه است و ارتباط مستقیمی با پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک دارند. از سوی دیگر نوریس و بتی[1] (۱۹۸۷)، لاپار و پندی[2] (۱۹۹۹)، لیچتنبرگ[3] (۲۰۰۱) و کرامب (۲۰۰۵) گزارش دادند که احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک در بین کشاورزان جوان‌تر بیشتر از کشاورزان مسن است.

سطح تحصیلات در هر دو معادله مثبت و معنی‌دار است یعنی هر چه تحصیلات کشاورزان بیشتر باشد میزان پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک آنها نیز بیشتر خواهد بود. نتایج این مطالعه در رابطه با تأثیر این متغیر با مطالعه‌ی صارمی (۱۳۷۲)، لاین (۱۹۹۱) و پوتلر و زیبرمن (۱۹۸۴)، بارادی[4] (۲۰۰۹) مطابقت دارد. نیروی کار خانواده در پذیرش فعالیت-های حفاظت از خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. اندازه مزرعه در پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد؛ یعنی هر چه اندازه مزرعه بزرگ‌تر باشد، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک بیشتر می‌باشد. نتایج این مطالعه در رابطه با تأثیر این متغیر با مطالعه‌ی ادجاوه (۲۰۰۸)، مرینیا و برت[5] (۲۰۰۷)، کرامب (۲۰۰۷)، وسترا و اولسن[6] (۱۹۹۷) مطابقت دارد. فعالیت خارج از مزرعه در معادله اول (پذیرش فعالیت‌های

1- Norris and Batie
2- Lapar and Pandey
3- Lichtenberg
4- Baradi
5- Marenya and Barrett
6- Westra and Olson

حفاظت از آب) مثبت و معنی‌دار و در معادله دوم (پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک) مثبت اما معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که فعالیت خارج از مزرعه، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را افزایش می‌دهد. نتایج این مطالعه در رابطه با تأثیر این متغیر با مطالعه‌ی عرفانی‌فر مطابقت دارد. عرفانی فر (۱۳۹۱) به این نتیجه رسیده که کشاورزانی که فعالیت درآمدزای دیگری دارند به دلیل اینکه قادر به تحمل ریسک درآمدی بیشتری از محل کشاورزی هستند تمایل بیشتری به پذیرش دارند. در مقابل سامکالاوی و فالمر (۲۰۰۰) و براوو و همکاران[1] (۲۰۰۶) و تنگه و همکاران (۲۰۰۴) رابطه منفی بین فعالیت خارج از مزرعه و پذیرش گزارش داده‌اند. همچنین دانشور (۱۳۹۰) بیان می‌کند که اگر کشاورزان به فعالیت خارج از مزرعه مشغول باشند کمتر به گسترش کشاورزی با روش‌های نوین می‌پردازند. اعتبارات در این مطالعه شامل: تشویق، اعتبار و یارانه می‌شود. در معادله اول معنی‌دار و مثبت است؛ یعنی اعتبارات بر پذیرش مؤثر است. کوگلی- هریس (۲۰۰۳- ۲۰۰۴) بیان کرده‌اند که اعتبارات به کشاورز انگیزه می‌دهد تا بیشتر به پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک بپردازد. همچنین تناوب زراعی یک رابطه مثبت و معنی‌داری با پذیرش حفاظت خاک دارد. در این رابطه حیاتی (۱۳۸۴) بیان می‌کند که تناوب زراعی اثر معنی‌داری بر پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک دارند.

1- Bravo-Ureta et al

جدول(۳۸): نتایج حاصل از تخمین مدل پروبیت به‌ظاهر نامرتبط

نام متغیر	حفاظت آب		حفاظت خاک	
	ضریب	خطای معیار	ضریب	خطای معیار
وضعیت مالکیت زمین	۰/۲۲	۰/۳۰۸	-۰/۲۴۶	۰/۲۵
تعداد افراد خانواده	-۰/۱۷۸**	۰/۰۸	-۰/۲۰۷***	۰/۰۶۴
سن	۰/۰۲۴*	۰/۰۱۳	-۰/۰۱۵	۰/۰۱
تحصیلات	۰/۲۸۱**	۰/۱۳۸	۰/۲۲۴**	۰/۱۱۳
نیروی کار خانواده	-۰/۲۶۶	۰/۱۷۴	۰/۸۳۸***	۰/۱۴۸
اندازه مزرعه	۰/۲۲۲***	۰/۰۵۸	۰/۰۹۸***	۰/۰۳۷
فعالیت خارج از مزرعه	۱/۱۳۸***	۰/۳۲۵	۰/۳۷۵	۰/۲۶۱
اعتبار	۲/۲۷۳***	۰/۳۷۹	۰/۱۶۸	۰/۲۶۳
تعداد قطعات زمین	-۰/۸۸۹***	۰/۲۳۵	۰/۲۱۴	۰/۱۴۴
تناوب زراعی	-	-	۰/۵۰۹*	۰/۲۸۴
عرض از مبدأ	-۲/۵۷۵	۱/۱۵۷	-۰/۲۴۷	۰/۹۰۱
آزمون کای دو (χ^2) =۱۳۳/۹۶***		لگاریتم راستنمایی = -۱۲۸/۳۸		

مأخذ: یافته‌های تحقیق ** و *** معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

۵-۲-۲- اثر نهایی متغیرهای توضیحی

جدول (۳۹) به بررسی اثر نهایی متغیرهای توضیحی در پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که اثر نهایی متغیرهای تعداد افراد خانواده، تحصیلات، اندازه مزرعه، فعالیت خارج از مزرعه، اعتبار، در سطح یک درصد معنی‌داری بوده است. همچنین اثر نهایی متغیرهای نیروی کار خانواده و تعداد قطعات زمین، در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. اثر نهایی اندازه مزرعه ۰/۰۴۰ می‌باشد. بنابراین با افزایش یک واحد به اندازه مزرعه، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک ۴ درصد افزایش می‌یابد. اثر نهایی تعداد قطعات زمین ۰/۰۸۵ می‌باشد. دارای علامت منفی است به این معنی است که کشاورزان باید برای یکپارچه‌سازی اراضی اقدام کنند. به این منظور که هر چه تعداد قطعات زمین بیشتر باشد احتمال پذیرش سیستم آبیاری بارانی کمتر می‌شود؛ یعنی افزایش یک واحدی تعداد قطعات زمین باعث می‌شود تا احتمال پذیرش حفاظت آب و خاک ۰/۰۸ کاهش یابد. اگر کشاورز به سمت فعالیت خارج از مزرعه برود، ۰/۲۴ احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک افزایش می‌یابد. افزایش یک نفر نیروی کار خانوادگی ۰/۰۶ احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را افزایش می‌دهد. همچنین هر یک سال افزایش

سطح تحصیلات می‌تواند احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را ۰/۰۶ افزایش دهد. اثر نهایی اعتبارات مثبت و معنی‌دار است یعنی هرچه تسهیلات اعتباری بیشتری در اختیار زارعین قرار گیرد احتمال پرداختن به فعالیت‌های حفاظتی بیشتر خواهد شد.

جدول (۳۹): اثر نهایی متغیرهای توضیحی در پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک

نام متغیر	اثر نهایی	خطای معیار
وضعیت مالکیت زمین	-۰/۰۰۲	۰/۰۴۵
تعداد افراد خانواده	-۰/۰۴۷***	۰/۰۱۴
سن	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
تحصیلات	۰/۰۶۳***	۰/۰۲۵
نیروی کار خانواده	۰/۰۶۹**	۰/۰۳
اندازه مزرعه	۰/۰۴۰***	۰/۰۱۱
فعالیت خارج از مزرعه	۰/۲۴۲***	۰/۰۷۸
اعتبار	۰/۳۵۹***	۰/۰۸۵
تعداد قطعات زمین	-۰/۰۸۵**	۰/۰۳۶
تناوب زراعی	۰/۰۵۳	۰/۰۲۸

برگرفته از: یافته‌های تحقیق ** و *** معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهد.

۵-۲-۳- همگن سازی زارعین براساس فعالیت‌های حفاظتی آنها با استفاده از تحلیل خوشه‌ای

جدول (۴۰) درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب توسط کشاورزان را نشان می‌دهد. کشاورزان به دو گروه تقسیم‌شده‌اند. گروه اول ۱۱۵ کشاورز (۵۶/۴ درصد) که فعالیت‌های حفاظت از آب را انجام نداده‌اند، گروه دوم ۸۹ کشاورز (۴۳/۶ درصد) که فعالیت‌های حفاظت از آب را انجام داده‌اند.

جدول(۴۰): درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب توسط کشاورزان

خوشه‌ها	تعداد	درصد
کشاورزانی که حفاظت آب را انجام نداده‌اند	۱۱۵	۵۶/۴
کشاورزانی که حفاظت آب را انجام داده‌اند	۸۹	۴۳/۶
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

جدول (۴۱) درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک توسط کشاورزان را نشان می-دهد. کشاورزان به دو گروه تقسیم‌شده‌اند. گروه اول ۱۱۴ کشاورز (۵۵/۹ درصد) که فعالیت‌های حفاظت از خاک را انجام نداده‌اند، گروه دوم ۹۰ کشاورز (۴۴/۱ درصد) که فعالیت‌های حفاظت از خاک را انجام داده‌اند.

جدول (۴۱): درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک توسط کشاورزان

خوشه‌ها	تعداد	درصد
کشاورزانی که حفاظت خاک را انجام نداده‌اند	۱۱۴	۵۵/۹
کشاورزانی که حفاظت خاک را انجام داده‌اند	۹۰	۴۴/۱
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

جدول (۴۲) درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک توسط کشاورزان را نشان می‌دهد. کشاورزان به دو گروه تقسیم‌شده‌اند. گروه اول ۵۱ کشاورز (۲۵ درصد) که هم‌زمان فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را انجام داده‌اند، گروه دوم ۱۵۳ کشاورز (۷۵ درصد) که این دو فعالیت را هم‌زمان انجام نداده‌اند.

جدول(۴۲): درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک توسط کشاورزان

خوشه‌ها	تعداد	درصد
کشاورزانی که این دو فعالیت را هم‌زمان انجام نداده‌اند	۱۵۳	۷۵
کشاورزانی که هم‌زمان فعالیت حفاظت از آب و خاک را انجام داده‌اند	۵۱	۲۵
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

سپس با تحلیل خوشه‌ای وضعیت واحدها از نظر حفاظت از منابع آب و خاک بررسی شده است. همانگونه که جدول (۴۳) نشان می‌دهد، کشاورزان نمونه را از نظر میزان حفاظت از منابع آب می‌توان در پنج گروه قرار داد. گروه اول شامل کشاورزانی است که تمامی موارد مربوط به حفاظت از منابع آب را انجام داده‌اند. ۵/۴ درصد از کشاورزان نمونه موردمطالعه در این گروه هستند. یعنی حفاظت از آب را در سطح عالی انجام دادند. گروه دوم کشاورزانی که کمتر از گروه قبل فعالیت‌های حفاظت از آب را انجام داده‌اند. در این گروه از پنج مورد حفاظت آب حداقل سه مورد انجام‌شده است. در این گروه کشاورزان یا از سیستم آبیاری تحت‌فشار و یا تسطیح اراضی حداقل یکی را انجام داده‌اند. (۵۵ کشاورز یا به‌عبارت دیگر ۲۷ درصد از کشاورزان نمونه). گروه سوم کشاورزانی هستند که حفاظت آب را در سطح متوسط انجام داده-اند. از پنج مورد دو مورد را انجام داده‌اند. (۵۰ کشاورزان یا به‌عبارت دیگر ۲۴/۵ درصد از کشاورزان نمونه). گروه چهارم کشاورزانی را شامل می‌شود که از پنج مورد مربوط به حفاظت از منابع آب، تنها یک مورد را انجام داده‌اند، به‌عبارت دیگر در زمینه حفاظت از منابع آب درحد ضعیف عمل کرده‌اند. تعداد کشاورزان این گروه ۶۳ نفر (۳۰/۹ درصد) می‌باشد. درنهایت گروه پنجم، کشاورزانی را در برمی‌گیرد که هیچ فعالیتی درزمینه حفاظت از منابع آب انجام نداده‌اند. تعداد کشاورزان این گروه ۲۵ نفر (۱۲/۳ درصد) می‌باشد.

جدول(۴۳): درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت آب توسط کشاورزان

خوشه‌ها	تعداد	درصد
حفاظت از منابع آب در سطح عالی	۱۱	۵/۴
حفاظت از منابع آب در سطح خوب	۵۵	۲۷
حفاظت از منابع آب در سطح متوسط	۵۰	۲۴/۵
حفاظت از منابع آب در سطح ضعیف	۶۳	۳۰/۹
عدم حفاظت آب	۲۵	۱۲/۳
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

وضعیت زارعین نمونه از نظر حفاظت از منابع خاک در جدول (۴۴) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، کشاورزان نمونه از نظر حفاظت از خاک در پنج خوشه قرار دارند. خوشه اول شامل کشاورزانی است که تناوب زراعی و کشت به صورت مستقیم یا کم‌خاک‌ورزی را که براساس ارزیابی کارشناسان از نقطه نظر حفاظت از خاک بالاترین امتیاز را دارند، رعایت نموده‌اند. تعداد زارعین این خوشه تنها پنج نفر می‌باشد. گروه دوم شامل کشاورزانی که حفاظت از منابع خاک را کمتر از گروه قبل انجام داده‌اند. این کشاورزان یا تناوب زراعی را رعایت کرده‌اند یا از شیوه خاک‌ورزی سنتی استفاده نکرده‌اند (۵۰ نفر از کشاورزان نمونه موردمطالعه). گروه سوم کمتر از گروه قبل حفاظت از منابع خاک را انجام داده‌اند. این گروه حفاظت خاک را در سطح متوسط انجام داده‌اند. در این گروه کشاورزان، حفاظت را تنها استفاده کردن از کود حیوانی و کمپوست و استفاده‌ی کمتر از کود شیمیایی و یا نسوزاندن کاه و کلش مزارع می‌دانند؛ که ۷۳ کشاورز (۳۵/۸ درصد) را شامل می‌شود. گروه چهارم حفاظت از خاک را در سطح ضعیف انجام داده‌اند، به‌این صورت که تنها یک مورد از مواد منظور شده برای حفاظت از خاک را دنبال کرده‌اند. زارعین این گروه که ۶۸ نفر (۳۳/۳ درصد) می‌باشند عمدتا شخم در خلاف جهت شیب زمین را انجام داده‌اند. گروه پنجم شامل هشت کشاورز (۳/۹ درصد) است که حفاظت از خاک را انجام نداده‌اند.

جدول (۴۴): درصد پذیرش فعالیت‌های حفاظت خاک توسط کشاورزان

خوشه‌ها	تعداد	درصد
حفاظت از منابع خاک در سطح عالی	۵	۲/۵
حفاظت از منابع خاک در سطح خوب	۵۰	۲۴/۵
حفاظت از منابع خاک در سطح متوسط	۷۳	۳۵/۸
حفاظت از منابع خاک در سطح ضعیف	۶۸	۳۳/۳
عدم حفاظت خاک	۸	۳/۹
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

جدول (۴۵) نتایج تحلیل خوشه‌ای را برای زارعین در رابطه با نحوه فعالیت آنها در هر دو زمینه منابع آب و خاک نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، گروه اول کشاورزانی را شامل می‌شود که حفاظت از آب و خاک را اصلاً انجام نداده‌اند (۰/۵ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه). گروه دوم کشاورزانی که حفاظت از آب و خاک را در سطح ضعیف انجام داده‌اند. این دسته شامل ۳۹ نفر (۱۹/۱ درصد) از کشاورزان نمونه مورد مطالعه است. گروه سوم حفاظت از آب را در سطح ضعیف و حفاظت از خاک را در سطح خوب انجام داده‌اند (۵/۴ درصد از کشاورزان نمونه موردمطالعه). دلیل اصلی استفاده نکردن از سیستم آبیاری تحت‌فشار در این گروه از کشاورزان مشکلات مالی است. گروه چهارم حفاظت از آب را در سطح خوب و حفاظت خاک را در سطح ضعیف انجام داده‌اند (۷/۴ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه). برخی از این کشاورزان به دلیل کمبود آب و بعضی به دلیل تسهیلات بانکی، از سیستم آبیاری تحت‌فشار و تسطیح اراضی استفاده کرده‌اند. گروه پنجم حفاظت از آب و خاک را در سطح خوب انجام داده‌اند (۱۲/۷ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه). گروه شش، حفاظت از آب و خاک را در سطح نسبتاً ضعیف انجام داده‌اند (۱۹/۱ درصد از کشاورزان نمونه موردمطالعه). گروه هفت، حفاظت ازآب و خاک را در سطح نسبتاً خوب انجام داده‌اند (۱۲/۳ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه). گروه هشتم، حفاظت آب را اصلاً انجام نداده‌اند و حفاظت از خاک را در سطح خوب انجام داده‌اند (۲/۵ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه). این کشاورزان به دلیل مشکلات مالی و نداشتن پروانه چاه هیچ کدام از فعالیت‌های حفاظت از آب را انجام نداده‌اند. گروه نهم که ۰/۵ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه را شامل می‌شوند،

حفاظت خاک را اصلاً انجام نداده‌اند و حفاظت از آب را در سطح خوب انجام داده‌اند. گروه دهم که یک درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه را شامل می‌شوند، حفاظت از آب و خاک را در سطح عالی انجام داده‌اند. کشاورزان این گروه تحصیلات بالا و وضعیت مالی مناسب داشتند. گروه یازدهم که ۹/۸ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه را شامل می‌شوند، حفاظت از آب را در سطح نسبتاً ضعیف انجام داده‌اند و حفاظت از خاک را در سطح نسبتاً خوب انجام داده‌اند. گروه دوازدهم که ۹/۸ درصد از کشاورزان نمونه مورد مطالعه را شامل می‌شوند، حفاظت از آب را در سطح نسبتاً خوب انجام داده‌اند و حفاظت از خاک را در سطح نسبتاً ضعیف انجام داده‌اند.

جدول (۴۵): درصد پذیرش کلیه کشاورزان برای فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک

خوشه‌ها	تعداد	درصد
عدم حفاظت از آب و خاک	۱	۰/۵
حفاظت از آب و خاک در سطح ضعیف	۳۹	۱۹/۱
حفاظت از آب در سطح ضعیف و حفاظت ازخاک در سطح خوب	۱۱	۵/۴
حفاظت از آب در سطح خوب و حفاظت از خاک در سطح ضعیف	۱۵	۷/۴
حفاظت از آب و خاک در سطح خوب	۲۶	۱۲/۷
حفاظت آب و خاک در سطح نسبتاً ضعیف	۳۹	۱۹/۱
حفاظت از آب و خاک در سطح نسبتاً خوب	۲۵	۱۲/۳
عدم حفاظت از آب و حفاظت از خاک در سطح خوب	۵	۲/۵
عدم حفاظت خاک و حفاظت از آب در سطح خوب	۱	۰/۵
حفاظت از آب و خاک در سطح عالی	۲	۱
حفاظت از آب در سطح نسبتاً ضعیف	۲۰	۹/۸
حفاظت از خاک در سطح نسبتاً ضعیف	۲۰	۹/۸
مجموع	۲۰۴	۱۰۰

یافته‌های تحقیق

فصل ششم

خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶- خلاصه، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

توسعه اقتصادی- اجتماعی، رشد جمعیت و تغییر اقلیم چالش‌های عمده‌ای را برای پایداری و امنیت غذایی جوامع ایجاد کرده است. این عوامل موجب شده‌اند تا منابع آب که برای حیات بشر، معیشت پایدار، امنیت غذایی و حفظ زیست بوم‌ها ضروری می‌باشند، تحت فشار واقع شوند. انتظار می‌رود که بدون پیشرفت و بهبود مدیریت منابع آب و تصمیم سازی یکپارچه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، در دهه‌های آینده مسائل مرتبط با آب به طور چشمگیری بحرانی‌تر شود.

در این راستا، ایران واقع در اقلیم خشک و نیمه خشک نیز با محدودیت شدید آب روبروست. سرانه آب کشور در سال ۱۹۶۲ میلادی، ۵۵۷۰ مترمکعب در سال بوده است که با یک روند نزولی به ۱۸۷۶ مترمکعب در سال ۲۰۰۸ و ۱۶۴۴ مترمکعب در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است. وضعیت موجود منابع آب در ایران، روند و گرایشات حاکم بر آن و همچنین در نظر گرفتن توزیع مکانی و زمانی نامناسب سرانه محدود آب، به خوبی وضعیت بحرانی و ضرورت مدیریت تقاضا، تعدیل مصرف و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب را نشان می‌دهد.

علاوه بر بحران جهانی آب، کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط با آن در سطح جهان با یک وضعیت بی سابقه روبرو می‌باشند، رشد مداوم جمعیت، تغییر الگوی غذایی (افزایش مصرف شیر و گوشت) و گسترش استفاده از سوخت گیاهی، فشار را بر بخش کشاورزی افزایش داده است. مشاهده نرخ رشدهای اخیر در عملکرد غلات عمده، این نگرانی را افزایش داده است که بدون سرمایه‌گذاری قابل توجه جدید در مناطق با عملکرد در هکتار پایین و بکارگیری استراتژی‌های مناسب جهت تداوم افزایش عملکرد در هکتار در مناطق با عملکرد بالا، بهره‌وری کشاورزی به اندازه کافی جهت تأمین تقاضای احتمالی، سریع نخواهد بود. با توجه به اینکه امکان افزایش عرضه متعارف و نامتعارف آب در بسیاری از نقاط دنیا وجود ندارد، شدیداً توصیه می‌شود که تلاش و اقدامات بر بهبود بهره‌وری آب در کشاورزی متمرکز شود. با توجه به حجم زیاد آب مصرفی و این موضوع که استفاده از آب در کشاورزی نسبتاً ناکاراست، تصور می‌شود که حتی بهبود اندکی در بهره‌وری آب کشاورزی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بودجه جهانی و منطقه‌ای آب داشته باشد.

سیاست‌های مرتبط با مدیریت آب باید با درک منطقی از اهداف بهره‌برداران، شناخت دقیق مشکلات آنها و پی بردن به فرآیند تصمیم سازی آنها، موجبات کاهش تقاضا و مصرف آب را فراهم سازد. اما کاهش تقاضای آب در بخش کشاورزی باید به گونه‌ای باشد که نه تنها بر تولیدات کشاورزی و درآمد زارعین اثر منفی نگذارد که حتی الامکان با افزایش بهره‌وری آب، تولیدات کشاورزی و درآمد زارعین، افزایش یابد. بنابراین چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبرو است، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که همزمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمدبالاتری را برای زارعین رقم زند. اگر توجه به مسائل محیط زیستی که اهمیت آن در مدیریت منابع آب مغفول مانده است نیز مد نظر قرار گیرد، قطعاً بر پیچیدگی موضوع افزوده خواهد شد. مبحث زیست محیطی آب باید از منظر حفظ زیست بوم‌ها و آلاینده‌های تهدید کننده سلامت آنها مورد توجه جدی قرار گیرد. این امر منازعات مربوط به آب را افزایش داده، اتخاذ استراتژی‌های تطبیقی را دشوار می‌سازد.

به هر حال آب صرفه جویی شده از بهبود بهره‌وری آب را می‌توان در سایر بخش‌ها مورد استفاده قرار داد. راههای متعددی برای بهبود بهره‌وری آب وجود دارد. در این میان، تجارت بین المللی محصولات کشاورزی، مسیری جهت بهبود کارایی یا بهره‌وری جهانی مصرف آب از طریق انتقال مجازی منابع آب به مناطق تحت استرس آبی است. چون کارایی استفاده از آب در مناطق مختلف، بسیار متفاوت است، تجارت بین المللی یا داخلی غذا می‌تواند حجم قابل توجهی از منابع آب را در سطح جهانی یا در سطح ملی صرفه جویی کند.

بنابراین ضرورت دارد که جهت بهبود بهره‌وری آب، به جریانات آب مجازی کشور و تعیین کننده‌های آن توجه خاص شود. در این راستا بررسی کارایی منابع آب تجارت غذای داخلی و تهیه نقشه راه تجارت آب مجازی برای کشور از اهمیت خاصی برخوردار است.

راههای نویدبخشی برای افزایش بهره‌وری آب در سیستم‌های زراعی کاملاً دیم تا کاملاً آبی وجود دارد. آبیاری تکمیلی برای اراضی دیم، حفظ حاصلخیزی خاک، کم آبیاری، عملیات قابل اجرا در مقیاس کوچک برای ذخیره سازی، تحویل و بکارگیری آب، تکنولوژی‌های مدرن آبیاری، حفاظت از آب موجود در خاک از طریق حداقل خاک ورزی یا بی خاک ورزی، کاهش زیست توده با افزایش مقاومت به آفات و بیماریها و رشد سریع اولیه برای پوشش سریع زمین از جمله این راهها می‌باشند. اما فواید حاصل از بهبود بهره‌وری آب به شرایط بستگی دارد و تنها با

چشم انداز یکپارچه در سطح حوضه آبریز قابل ارزیابی است. افزایش بهره‌وری آب به ویژه ارزش ایجاد شده به ازای هر واحد آب می‌تواند مسیر مهمی برای کاهش فقر باشد، البته مشروط بر اینکه منافع حاصل از بهره‌وری آب به فقرا به ویژه زنان روستایی برسد.

با توجه به اهداف تحقیق، مطالعه حاضر در چهار بخش سازماندهی شده است. بخش اول با شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب با استفاده از روش تحلیل چند معیاری سر و کار دارد. بعد از مشخص شدن استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب، اثربخشی پاره‌ای از این استراتژی ها در بخش دوم تحقیق در قالب مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی خطی و غیرخطی تخصیص آب مورد بررسی قرار گرفته است. این بخش در حقیقت، بخش اصلی تحقیق است. با توجه به اینکه ایجاد بازار آب می‌تواند بر ارتقاء بهره‌وری آب و کاهش منازعات مربوط به آب مؤثر واقع شود، این موضوع به طور مستقل با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی تخصیص زمین اصلاح شده به عنوان مدل مزرعه و یک مدل دشت در بخش سوم مورد ارزیابی قرار گرفته است. نظر به اینکه عوامل متعددی در پذیرش استراتژی‌های حفاظت از منابع آب و خاک مؤثر می‌باشند و شناسایی آنها می‌تواند در گسترش به کارگیری استراتژی‌های حفاظت از آب و خاک مفید واقع شود، این عوامل در بخش چهارم در چارچوب مدل پروبیت ظاهراً نامرتبط مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در بسیاری از کشورهای دنیا، استراتژی‌های تطبیقی برای مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی در چارچوب تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر نیز با استفاده از روش بکارگرفته شده توسط دی بروین و همکاران (۲۰۰۹) و مطالعه‌ی ایگلسیاس و کاروتی (۲۰۱۵)، استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی جمع آوری و ارزیابی شد.

از آنجا که هدف اصلی این بخش از تحقیق افزایش بهره‌وری آب کشاورزی است، معیارها و زیرمعیارها در این راستا تعریف و استراتژی‌ها و اولویت آنها بر اساس مشارکت آنها در رسیدن به این هدف تعیین و ارزیابی شده‌اند. اما به منظور آگاه نمودن سیاست گذاران نسبت به امکان پذیری استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب، یک زیر پروژه جداگانه با تمرکز بر ارزیابی امکان پذیری استراتژیها در مرحله اجرا و عملیاتی شدن، انجام شد. امکان پذیری بر اساس پیچیدگی فنی، اجتماعی و نهادی که بهنگام اجرای استراتژی‌ها با آنها روبرو هستیم، سنجش شده است. پیچیدگی فنی مربوط به دشواریها و چالش‌های فنی است که بهنگام اجرای استراتژی رخ می-

دهند. نظیر تسهیلات فنی که باید فراهم شوند یا عدم حتمیت‌های تکنولوژیکی که هنگام اجرا، محتمل خواهند بود. پیچیدگی‌های اجتماعی شامل تنوع ارزشهایی است که بهنگام اجرا دخیل هستند همچنین تغییراتی که در بینش، آگاهی و احساس ذینفعان جهت مشارکت آنها در اجرای استراتژی‌ها، ضروری است. عناصر پیچیدگی نهادی مشتمل است بر اختلاف میان قواعد نهادی (واحدهای مختلف یا سازمانهای مختلف درگیر اجرای استراتژی‌ها، از قواعد مختلفی پیروی می‌کنند)، پیامدهای سازمانی اجرای استراتژی و روابط همکاری و همراهی که برای اجرای استراتژی‌ها لازم است و درجه نوگرایی که استراتژی‌ها در رابطه با وضعیت و ساختار فعلی دارند. از طریق تلفیق یافته‌های مربوط به ترتیب استراتژیها از نظر اثربخشی آنها بر هدف ارتقاء بهره‌وری آب و نتایج حاصل از امکان پذیری اجرای آنها بر اساس پیچیدگیهای فنی، اجتماعی و نهادی، این زمینه فراهم می‌شود که بتوان با برطرف کردن موانع اجرایی، استراتژی-های با اثربخشی بیشتر را انتخاب و اجرا کرد.

روش بکارگرفته شده در این تحقیق با درگیر کردن و دخالت دادن کارشناسان، صاحب نظران و ذینفعان در فرآیند تعیین استراتژی‌ها، معیارها، زیرمعیارها وزن معیارها و زیرمعیارها و همچنین سنجش عملکرد هر یک از استراتژی‌ها در رابطه با معیارها و زیرمعیارها، شکاف میان روش‌های (بالا- پایین)[1] و (پایین- بالا)[2] را کاهش داده و امکان رسیدن به استراتژی‌هایی که از یک سو در راستای اهداف ملی و خطوط اصلی توسعه ملی (مندرج در اسناد بالادستی) هستند و از سوی دیگر مورد پذیرش کارشناسان و ذینفعان می‌باشند، را فراهم می‌سازد.

استراتژی‌های بهبود بهروه‌وری آب کشاورزی با بررسی مطالعات مختلف و همچنین مشورت با ذینفعان بخش‌های مختلف انتخاب شدند. این بخش‌ها شامل بخش کشاورزی، مطالعات پایه منابع آب و حفاظت و بهره برداری منابع آب می باشند. سپس این اطلاعات از طریق مشاوره فردی با کارشناسان، تایید و تکمیل گردید و در نهایت گزینه‌های انتخابی در جلسه‌ای با ذینفعان مورد بحث قرار گرفت. در مرحله بعد تمامی تداخل‌های ممکن میان استراتژی‌ها مورد بررسی قرار گرفت و استراتژی های تکراری و مواردی که دارای ویژگی‌های

1 - Top-down
2 - Bottom-up

مشترک بودند، حذف شدند. در نهایت ۳۳ استراتژی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی که از هر حیث مناسب بودند، انتخاب شدند.

این استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب که در جدول (۱) نشان داده شده‌اند، در حقیقت پاسخ به سئوال اول تحقیق می‌باشد. اما در پاسخ به سئوال دوم تحقیق، لازم است که ابتدا در مورد وزن و اهمیت معیارها و سپس در رابطه با اولویت آنها بر اساس دو گروه متفاوت از معیارها بحث شود که در زیر به آن پرداخته شده است.

بررسی اهمیت معیارها، نشان داد که در گروه اول، معیار اهمیت با وزن نسبی ۰/۳۲۶ تأثیرگذارترین معیار در ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب می‌باشد. معیارهای اضطراری بودن با وزن ۰/۲۱۲، اثر بر بحران آب با وزن ۰/۱۷۷ و فواید مشترک با وزن ۰/۱۵۵ و بدون پشیمانی با وزن ۰/۱۳۰ به ترتیب در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار می‌گیرند. همچنین مشخص شد که در گروه دوم، معیار پیچیدگی‌های نهادی با ۰/۵۷۵ بالاترین وزن را دارد. پیچیدگی‌های فنی و پیچیدگی‌های اجتماعی نیز به ترتیب با وزن های ۰/۲۲۴ و ۰/۲۰۱ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر اساس روش FAHP در جدول (۴) نشان داده شده است. همان‌گونه که از بررسی این جدول به دست می‌آید براساس گروه اول معیارها، استراتژی «سیاست قیمت گذاری آب» با امتیاز ۰/۸۰۲ از بالاترین اولویت بر خوردار است. بعد از آن استراتژهای «نصب کنتور و تحویل حجمی آب» و«ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)» به ترتیب با امتیاز های ۰/۷۹۰ و ۰/۷۶۸ رتبه های دوم و سوم را در اختیار دارند. همچنین استراتژی «مبارزه با آفات و بیماری گیاهی» نیز با امتیاز ۰/۰۷۶ پایین ترین اولویت را در بین ۳۳ استراتژی بهبود بهره وری آب کشاورزی دارا می باشد.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از رتبه‌بندی استراتژی‌ها بر اساس معیارهای گروه اول، مشخص می‌شود که سه استراتژی سیاست قیمت گذاری آب، نصب کنتور و تحویل حجمی آب و ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب) از اولویت بالاتری برخوردارند و همچنین اضطرار و ضرورت به کارگیری سریعتر این استراتژی‌ها جهت مدیریت بحران آب آشکار می-گردد. بعلاوه به کارگیری این سه استراتژی منجر به ایجاد فواید مشترک بیشتری با سایر بخش‌ها خواهد شد و صرف نظر از مسئله بهره‌وری آب می‌توان این استراتژی‌ها را به کار گرفت.

پیشنهاد مشخص در رابطه با یافته‌های این بخش از تحقیق، این است که منابع محدود، امکان پرداختن به تمامی استراتژی‌ها را نمی‌دهد بنابراین لازم است در تخصیص منابع محدود انسانی و اعتباری، اولویت تعیین شده در این تحقیق مد نظر قرار گیرد.

با توجه به گروه دوم معیارها (پیچیدگی‌های نهادی، پیچیدگی‌های اجتماعی و پیچیدگی‌های فنی و تکنیکی) استراتژی«استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر» با امتیاز ۰/۹۱۰ از بالاترین اولویت بر خوردار است. همچنین استراتژی‌های «ایجاد پلیس آب» و «تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)» با امتیاز ۰/۸۸۳ و ۰/۸۶۷ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده و تعاریف انجام شده از پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی مشخص می‌گردد که سه استراتژی استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر، ایجاد پلیس آب و تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر) از پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی کمتری برخوردار هستند. به عبارت دیگر امکان اجرای این سه استراتژی به منظور بهبود بهره‌وری آب کشاورزی نسبت به استراتژی‌های دیگر بیشتر می‌باشد. همچنین سه استراتژی برتر با توجه به معیارهای گروه اول، بر اساس معیارهای گروه دوم به ترتیب در رتبه‌های ۵، ۲۰ و ۱۳ قرار گرفتند. به بیان دیگر اگر چه این سه استراتژی در جهت بهبود بهره‌وری آب کشاورزی از دیدگاه کارشناسان از اثربخشی بالاتری برخوردار هستند اما به دلیل پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی امکان اجرای این استراتژی‌ها کمتر می‌باشد.

این امر ضرورت در نظر گرفتن پیچیدگی‌های اجتماعی و نهادی را در کنار پیچیدگی-های فنی به خوبی نشان می‌دهد. در بسیاری از موارد عملیاتی نشدن استراتژی‌های مناسب به دلیل بی اعتنایی نسبت به پیچیدگی های اجتماعی و نهادی است که هنگام اجرای این استراتژی‌ها با آنها روبرو هستیم. بنابراین آنچه در جداول (۴ و ۵) درج شده است، پاسخ به سئوال دوم تحقیق است که خواهان اولویت بندی و ترتیب استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب بر اساس معیارهای فنی، اجرایی و اثربخشی آنها بود.

هرچند قیمت آب علیرغم پایین بودن کشش آن، ابزار مهمی در اصلاح رفتار تولید کنندگان بخش کشاورزی است و انگیزه لازم را در آنها جهت تغییر الگوی کشت به سمت محصولات با بهره‌وری بالای آب، به کارگیری روش نوین آبیاری و استراتژی‌های مناسب آبیاری

ایجاد می‌کند. اما چون این موضوع به صورت مستقل در قالب یک طرح تحقیقاتی دنبال می-شد، در این بررسی از پرداختن به آن خودداری شد.

با توجه به نتایج فراهم آمده از تحقیق، استراتژی‌های زیر از اولویت بالایی برخوردار هستند:

- ابزار اصلی مدیریت دانش بنیان منابع آب، وجود یک سیستم حسابداری مناسب آب در سطح حوضه آبریز و مزرعه می‌باشد. بنابراین استراتژی تحویل حجمی آب و نصب کنتور هوشمند، کمک شایانی به پایداری منابع آب خواهد کرد و گام مهمی در راستای تعیین دقیق شاخص‌های بهره‌وری آب در شرایط فعلی و ارتقاء آنها خواهد بود. همچنین با بهره‌برداری از این ابزار می‌توان اثربخشی سایر استراتژی‌ها را در سطح مزرعه با دقت بالایی سنجش نمود (اولویت ۲).
- واقعی شدن هزینه‌های فرصت یکی از منافع بارز ایجاد بازار آب است. در واقع با محوری شدن رویکرد بازار آب در برنامه‌های مدیریت منابع آب، می‌توان ایجاد انگیزه در تغییر کاربری و حذف مصارف غیرضروری و تشویق مصارف با ارزش بالا را انتظار داشت. اثربخشی این استراتژی در قالب یک فصل مستقل مورد بررسی قرار گرفته است (اولویت ۳).
- تصمیم نهایی در خصوص مصرف آب در مزرعه به معیار آبیاری، استراتژی آبیاری و هدف بستگی دارد. معیار آبیاری، شاخص‌هایی هستند که نیاز به آبیاری را نشان می‌دهند. معمول‌ترین معیارها در این رابطه رطوبت موجود در خاک و مکش رطوبت خاکی است، استراتژی آبیاری به هدف زارع بستگی دارد. اگر هدف زارع حداکثر کردن عملکرد در هکتار باشد، استراتژی آبیاری مناسب نسبت به زمانی که هدف زارع حداکثر کردن سود یا بازده خالص یا حداکثر کردن معیارهایی همچون بهره‌وری فیزیکی یا اقتصادی آب است، بسیار متفاوت خواهد بود. بنابراین، استراتژی‌های آبیاری وجود دارد که عملکرد را حداکثر می‌کنند و در مقابل استراتژی‌های آبیاری وجود دارند که بهره‌وری آب را بیشینه می‌سازند. بنابراین بکارگیری استراتژی‌های مناسب آبیاری جهت بهبود بهره‌وری آب قویاً توصیه می‌شود (اولویت ۱۰). همچنین بهبود روش‌های آبیاری سطحی موجود و نصب سیستم‌های مدرن آبیاری (بارانی، نواری و قطره‌ای)، پوشش انهار و سیستم‌های

انتقال آب کارا از اهمیت زیادی جهت صرفه جویی در مصرف آب و ارتقاء بهره‌وری برخوردارند (اولویت‌های ۶، ۱۲، ۱۵، ۱۹، ۲۱ و ۲۴). اثربخشی بکارگیری استراتژی‌های مناسب آبیاری (کم آبیاری)، نصب سیستم‌های آبیاری مدرن، پوشش انهار و سیستم-های انتقال آب مناسب توأم با هم در قالب یک فصل مستقل مورد بررسی قرار گرفته است.

- تأکید بر ضرورت وجود نظام کنترلی دقیق و مقتدر در بهره‌برداری از منابع آب کشور، موجب شده است تا استراتژی ایجاد پلیس آب از سوی کارشناسان و صاحبنظران از اولویت بالایی برخوردار گردد. البته بهترین نحوه کنترل بر نحوه مصرف آب، نظارت از سوی خود بهره‌برداران است. اما بدون یک نظام کنترلی دقیق و مقتدر این امر محقق نخواهد شد. محول شدن کنترل آب تحویل شده هر دشت به تشکل‌های کشاورزی موجب خواهد شد که کشاورزان خود از برداشت‌های غیرمجاز آب و هدر رفتن آن جلوگیری کنند (اولویت ۸).
- استراتژی استفاده از واریته‌های با نیاز آبی کمتر، یکی از استراتژی‌های برتر بر اساس معیارهای گروه دوم تحقیق می‌باشد. بنابراین شناسایی و ایجاد ارقام متحمل به خشکی که در شرایط محدودیت آب، عملکرد قابل قبولی داشته باشند، از اهمیت خاصی برخوردار است. در این راستا، افزایش اعتبارات به طرح‌های تحقیقاتی و بهاء دادن به علم ژنتیک، اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی جهت ایجاد واریته‌های مقاوم به خشکی و با نیاز آبی کم از اولویت بالایی برخوردار است (اولویت ۵).
- استفاده از نشاء به جای بذر می‌تواند در صرفه جویی یک الی دو بار آبیاری محصولات مؤثر باشد، بنابراین تحقیق و ترویج چنین روشی توصیه می‌شود (اولویت ۱۶). ضمن اینکه تولید سبزیجات مورد نیاز جامعه با توسعه کشت گلخانه‌ای گام مؤثری جهت بهبود بهره‌وری آب خواهد بود (اولویت ۱۲).
- با توجه به کیفیت آب مصرفی، خاک شناسی منطقه، الگوی کشت و شرایط اقلیمی منطقه، زه آبهای کشاورزی از کمیت و کیفیت متفاوتی برخوردار می‌باشند. بنابراین در پاره‌ای از شرایط، این منابع که از حجم قابل توجهی برخوردارند، دارای کیفیت مناسب برای مصارف زراعی می‌باشند (اولویت ۹)

در فصل سوم اثربخشی استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب مورد بررسی قرار گرفته است. همان گونه که در مقدمه این فصل اشاره شده است، دامنه وسیعی از روشها برای سنجش و ارزیابی بهره‌وری و کارایی آب بکارگرفته شده است که در این تحقیق به پیروی از روتان (۲۰۰۲) و شیرلینک و همکاران (۲۰۱۴) آنها را به چهارگروه اصلی تفکیک کرده‌ایم:

شاخص بهره‌وری تک عاملی، شاخص بهره‌وری کل عوامل، مدلهای مرزی و روشهای قیاسی. شاخص یا نسبت بهره‌وری تک عاملی که در دنیا و ایران به طور گسترده توسط متخصصین آبیاری استفاده می‌شود، تولید یا محصول را تنها به یک نهاده مربوط می‌کند و محاسبه آن هم آسان است. اما روش با محدودیتهایی روبرو است، از جمله اینکه بر اساس میانگین و نه تولید نهایی می‌باشد و چون محاسبه این شاخص تحت تأثیر میزان استفاده از نهاده دیگر (به غیر ازآب) است، قادر به ارائه تصویر دقیقی از عوامل بر تغییرات بهره‌وری نمی-باشد.

در این تحقیق، اثربخشی استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب با استفاده از مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی که در گروه روشهای قیاسی قرار می‌گیرند، بررسی شده‌اند. اما شاخص بهره‌وری محاسبه شده، شاخص تک عاملی است که حسب مورد از تقسیم عملکرد بر میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب و یا تقسیم ارزش محصول بر میزان آب مصرفی برحسب مترمکعب برای مزارع نماینده و تکنولوژی و ترکیب نهاده‌ای که آنها مصرف می‌کنند، به دست می‌آید. بنابراین در حقیقت تخمینی از بهره‌وری آب است، در شرایط مزارع نماینده که برای گروههای همگن زارعین تعیین شده‌اند. تا زمانی که کنتور هوشمند در مزارع نصب نشده‌اند، حتی با اندازه‌گیری‌های متعدد و پرهزینه نیز نمی‌توان تخمین‌های دقیق‌تر از آنچه در این تحقیق آورده شده است، به دست داد.

مدل مورد مطالعه یک مدل تخصیص آب است بنابراین سطح زیرکشت محصولات بر اساس اطلاعات فراهم آمده از زارعین نمونه در قالب مدل تخصیص زمین تعیین و وارد مدل تخصیص آب شده است. اطلاعات مورد نیاز از دو حوضه آبریز مند و بختگان با پرسشگری حاصل شده است و سپس با استخراج اطلاعات و همگن‌سازی زارعین با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، اقدام به ساختن مزرعه نماینده بر اساس میزان دسترسی به آب برای هر یک از حوضه‌های آبریز به صورت جداگانه شده است. بنابراین نتایج حاصله برای منطقه مورد مطالعه و

مزرعه نماینده گروه همگن قابل استفاده است و در صورت نیاز باید چنین مدل‌هایی در سایر مناطق نیز با فراهم آوردن اطلاعات ساخته شود. به طور کلی اگر در قالب سیستم‌های حمایت از تصمیم چنین موضوعاتی دنبال شود، قطعاً نتیجه بهتری خواهد داشت. بدین صورت که در مناطق همگن از نظر تصمیم‌سازی مسائل مرتبط با آب، اقدام به ساختن مدل‌های ریاضی مربوطه شود و نتایج حاصله از اجرای مدل بر اساس مشخصات مزرعه متقاضی جهت تصمیم سازی مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

در این قسمت از مطالعه با بکارگیری یک مدل تخصیص آب غیرخطی، برنامه زمان‌بندی آبیاری، استراتژی‌های آبیاری و سیستم‌های آبیاری در قالب سناریوهای مختلف شبیه سازی شده است و اثرات آنها بر معیارهای مختلف از جمله عملکرد در هکتار، آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ارزیابی شده است. برای هر یک از مزارع نماینده نیز استراتژی بهینه آبیاری تعیین و با وضعیت کنونی آنها، مقایسه می‌شود. بدیهی است ابزار اصلی مدیریت دانش بنیان منابع آب، وجود یک سیستم حسابداری مناسب آب در سطح حوضه آبریز و مزرعه می-باشد، آب و نصب کنتور هوشمند، کمک شایانی به مدیریت پایدار منابع آب خواهد کرد.

بنابراین یکی از مساعدت‌های تحقیق حاضر، ساختن مدلی است که می‌توان با آن سناریوهای مختلف مشتمل بر استراتژی و سیستم‌های مختلف آبیاری را شبیه سازی و شاخص‌های بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی آنها را محاسبه کرد.

نتایج حاصل از اجرای ۱۹ استراتژی آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری که اثر آنها در راندمان کاربرد آب آبیاری مشخص می‌شود، برای محصول گندم در جداول (۶) آورده شده است. به طور کلی راندمان کاربردی آب در ۶ سطح بین ۴۰ تا ۹۰ درصد یعنی راندمان آبیاری سیستم‌های سطحی تا راندمان آبیاری سیستم آبیاری قطره‌ای نواری متفاوت در نظر گرفته شده است. همانگونه که از بررسی این جدول بدست می‌آید، بر اساس هدف زارع که می‌تواند حداکثر کردن عملکرد در هکتار، حداکثر کردن بهره‌وری فیزیکی آب و یا حداکثر کردن بهره-وری اقتصادی آب باشد، استراتژی آبیاری متفاوتی بدست می‌آید. برای زارعی که هدف او حداکثر کردن عملکرد در هکتار گندم است، استراتژی تمام آبیاری انتخاب مناسبی است، اما همانگونه که ملاحظه می‌شود، این استراتژی، یکی از پایین‌ترین عملکرد را از نظر شاخص بهره-وری فیزیکی و اقتصادی آب بدست می‌دهد. میزان بهره‌وری آب برای این استراتژی در صورتی

که آبیاری سطحی با راندمان کاربرد ۴۰ درصد استفاده شود در تولید گندم ۰/۴۹۹ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب است. با افزایش راندمان کاربرد آبیاری بر مقدار این شاخص افزوده می‌شود و در نهایت در صورتی که بتوان با سیستم آبیاری مناسب، راندمان کاربرد آبیاری را به ۹۰٪ افزایش داد، به ۱/۱۲ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب آب خواهد رسید. تفاوت ستونهای هر ردیف اثر سیستم آبیاری یا به تعبیر بهتر اثر افزایش راندمان آبیاری کاربردی را نشان می‌دهد، در تمام موارد با افزایش راندمان آبیاری، میزان مصرف آب کاهش و شاخص‌های فیزیکی و اقتصادی بهبود می‌یابند. تفاوت ردیف‌ها مربوط به استراتژی‌های آبیاری اتخاذ شده است که مبتنی بر کم آبیاری می‌باشد. سعی شده است که کم‌آبیاری در مرحله‌ای از رشد گیاه اعمال شود که حساسیت نسبت به تنش آبی حداقل باشد، در تعداد از استراتژی‌های کم آبیاری فقط در یک مرحله و در تعدادی دیگر در دو مرحله انجام شده است. در سه استراتژی آخر نیز کم‌آبیاری به طور یکنواخت در تمام مراحل اعمال شده است. میزان کم‌آبیاری نیز از حداقل ۲۰ درصد تا حداکثر ۶۰ درصد متغیر در نظر گرفته شده است. به جز استراتژی‌های آبیاری ۵ تا ۸ که منجر به کاهش بهره‌وری آب می‌شوند، بکارگیری سایر استراتژی‌ها نسبت به استراتژی تمام آبیاری، بهره‌وری آب بیشتری را به دست می‌دهند. علت اینکه استراتژی‌های آبیاری ۵ تا ۸ نسبت به استراتژی تمام آبیاری (استراتژی شماره ۱)، بهره‌وری آب کمتری را رقم می‌زند، این است که در این استراتژی‌های کم‌آبیاری در سطح ۲۰ درصد، ۴۰ درصد و ۶۰ درصد در مرحله چهارم (S_4 یعنی مرحله شکل‌گیری عملکرد محصول) انجام می‌شود که در این مرحله حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی از مرحله دوم (S_2 یعنی رویشی) و مرحله پنجم (S_5 یعنی رسیدن) بیشتر است. در این مطالعه از ضرایب پیشنهادی دورنباس و کسام استفاده شده است که بطور گسترده در مطالعات مشابه در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون ضریب حساسیت گیاه نسبت به تنش آبی در مرحله سوم (S_3) حتی از مرحله ۴ بالاتر است، کم آبیاری در این مرحله در نظر گرفته نشد. اما در سه استراتژی آخر، کم آبیاری به طور یکنواخت در تمام مراحل به میزان ۲۰ درصد، ۴۰ درصد و ۶۰ درصد اعمال می‌شود. بالاترین عملکرد از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مربوط به استراتژی ۱۹ است که در آن کم‌آبیاری به میزان ۶۰ درصد در تمام مراحل منظور می‌شود. مقدار بهره‌وری آب برای این استراتژی در سطح راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد، ۹۷۰/ کیلوگرم در هر مترمکعب است که با افزایش

راندمان آبیاری به ۲/۱۸۳ کیلوگرم در هر مترمکعب، در راندمان آبیاری ۹۰ درصد می‌رسد. در این استراتژی با مصرف ۱۰۷۰ مترمکعب آب (در راندمان آبیاری ۹۰ درصد) نسبت عملکرد فعلی به عملکرد پتانسیل (Y_a / Y_p) برابر با ۰/۳۹۰ خواهد بود که کمترین عملکرد در هکتار را به دست می‌دهد (۲۳۳۷ کیلوگرم در هکتار). بنابراین این استراتژی برای زارعینی که هدف آنها حداکثرکردن عملکرد در هکتار است، بدترین استراتژی است. اما برای همین استراتژی، شاخص بهره‌وری آب در راندمان‌های آبیاری ۴۰٪ و ۹۰٪ به ترتیب ۰/۹۷۰ و ۲/۱۸۳ کیلوگرم است که بالاترین عدد مربوط به این شاخص بین استراتژی‌های مورد مطالعه است. بنابراین انتخاب این استراتژی بوسیله زارعین، تابع محدودیت‌های مزرعه و هدف زارع است که در قسمت‌های بعدی به آنها پرداخته می‌شود. در اینجا تنها پیامدهای شبیه‌سازی استراتژی‌های ۱۹ گانه تحلیل شده است. البته ممکن است که استراتژی‌های دیگری وجود داشته باشند که حتی نسبت به استراتژی ۱۹ نیز بهره‌وری آب بالاتری را بدست دهند. در حقیقت در قالب این استراتژی یک روش کم آبیاری مناسب با یک سیستم آبیاری فوق العاده کارا، رقم بسیار مناسب بهره‌وری آب ۲/۱۸۳ کیلوگرم در هر مترمکعب را بدست می‌دهد که رسیدن به آن از آرزوهای ملی کشور ما می‌باشد. البته هرچند اجرای این استراتژی شاید مقداری مشکل به نظر آید اما اجرای استراتژی شماره ۱۳ یعنی کم آبیاری در دوره S_2 و S_5 به میزان ۶۰ درصد نیز در سیستم‌های آبیاری مختلف، بهره‌وری خوبی را ایجاد می‌کند که نسبت به استراتژی تمام آبیاری در راندمان آبیاری ۴۰ درصد، حدود ۳۸/۵ درصد افزایش و در راندمان آبیاری ۹۰ درصد نسبت به وضعیت کنونی ۲۱۲ درصد افزایش نشان می‌دهد که در حقیقت حرکت از دو سو را نشان می‌دهد، سمت اول حرکت به سوی استراتژی آبیاری مناسب و سمت دوم حرکت از سیستم آبیاری نامناسب به سیستم آبیاری کاملاً کارا است. اگر این دو تحول با هم رخ دهد، قطعاً شاهد افزایش چشمگیر بهره‌وری از مقدار فعلی یعنی ۰/۴۹۹ در آبیاری سطحی و استراتژی تمام آبیاری به ۱/۵۵۵ کیلوگرم در آبیاری نواری و استراتژی کم آبیاری در مرحله S_2 و S_5 به میزان ۶۰ درصد، خواهیم رسید. بنظر می رسد که اگر همراه با ترویج سیستم‌های آبیاری بارانی، مالکیت آب تعریف و سهمیه سالانه برداشت آب از سفره آب زیرزمینی تعیین شود و این سهمیه بتدریج کاهش یابد، تحقق هدف فوق دور از دسترس نخواهد بود.

اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی برنامه‌های زمانبندی آبیاری یا استراتژی‌های ۱۹ گانه برای محصول جو در جدول (۷) نشان داده شده است که تحلیلی مشابه تحلیل گندم دارد و می‌توان بهره‌وری آب را در تولید این محصول از ۰/۳۹۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب در سناریو آبیاری سطحی و استراتژی تمام آبیاری تا حدود ۲ کیلوگرم در هرمترمکعب با سیستم-های آبیاری و استراتژی‌های مناسب بهبود بخشید.

اطلاعات مربوط به شبیه سازی برنامه‌های زمانبندی آبیاری یا استراتژی برای ذرت در جدول (۸) نشان داده شده است. نکته قابل توجه در مورد ذرت این است که به دلیل بالا بودن ضرایب حساسیت این گیاه نسبت به تنش آبی بر اساس اطلاعات فراهم آمده از سوی دورنباس و کسام، افزایش بهره‌وری آب با تغییر استراتژی‌های آبیاری از تمام آبیاری به سمت کم‌آبیاری رخ نمی‌دهد. اما مقدار شاخص بهره‌وری آب را می‌توان از طریق تغییر سیستم آبیاری به میزان قابل توجهی افزایش داد. در استراتژی تمام آبیاری در سطح راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد، مقدار شاخص بهره‌وری آب، ۰/۵۵۶ کیلوگرم در هر مترمکعب است که در صورت افزایش راندمان آبیاری به ۹۰ درصد این اعداد به ۱/۲۵۰ کیلوگرم در هر مترمکعب خواهد رسید. در بعضی از مطالعات از جمله رساله محمدمهدی مقیمی که در سپتامبر ۲۰۱۳ تحت راهنمایی آقای دکتر سپاسخواه در دانشگاه شیراز دفاع شد، به جای ضرایب پیشنهادی دوریناس و کسام برای ذرت از ضرایب پیشنهادی نی ریزی و ریدزیوسکی پس از اصلاحاتی استفاده شده است، ما در این بررسی، از این ضرایب نیز استفاده کردیم و نتایج کاملاً متفاوتی با نتایجی که در آن از ضرایب دوریناس و کسام استفاده کرده بودیم، به دست آمد. لازم به تذکر است که ضریب حساسیت گیاه ذرت بر اساس پیشنهاد نی ریزی و ریدزیوسکی به مراتب پایین‌تر از این اعداد بر اساس پیشنهاد دورنباس و کسام می‌باشد. بعد از اعمال این ضرایب، استراتژی‌های آبیاری یافت شد، که نسبت به استراتژی تمام آبیاری شاخص بهره‌وری آب بالاتری داشت. در زیر به پاره‌ای از این استراتژی‌ها اشاره می‌شود:

- استراتژی کم آبیاری در مرحله S_4 به میزان ۲۰ درصد

در این استراتژی در راندمان آبیاری ۴۰ درصد، بهره‌وری آب، ۰/۶۰۱ کیلوگرم در هر مترمکعب است که نسبت به شاخص بهره‌وری آب در استراتژی تمام آبیاری حدود ۸/۱ درصد افزایش نشان می‌دهد.

با افزایش کم آبیاری در این مرحله به ۶۰ درصد، شاخص بهره‌وری آب، برابر با ۰/۷۲۴ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب است (در راندمان آبیاری ۴۰٪) که نسبت به استراتژی تمام-آبیاری با همین سیستم و راندمان آبیاری، افزون بر ۳۰ درصد رشد نشان می‌دهد. البته با اعمال کم‌آبیاری در مرحله S_5 نیز شاهد افزایش بهره‌وری آب نسبت به استراتژی تمام آبیاری خواهیم بود اما میزان افزایش چندان قابل توجه نخواهد بود. با اعمال کم‌آبیاری به طور همزمان در دو مرحله رشد S_4 و S_5 بهره‌وری آب افزایش قابل توجهی می‌یابد. در صورتی که میزان کم‌آبیاری حدود ۶۰ درصد باشد، بهره‌وری در این استراتژی به ۰/۷۶۴ کیلوگرم در هر مترمکعب در راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد می‌رسد که نسبت به استراتژی تمام‌آبیاری در همین راندمان، افزون بر ۳۷ درصد رشد نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این استراتژی بالاترین بهره‌وری آب را برای ذرت بدست می‌دهد. زیرا وقتی کم آبیاری را به طور یکنواخت در تمام مراحل رشد اعمال شود(به میزان ۶۰ درصد)، شاخص بهره‌وری آب برای ذرت به ۰/۷۲۱ کیلوگرم در هر مترمکعب می‌رسد که نسبت به استراتژی قبلی یعنی استراتژی که در آن آبیاری تنها در دو مرحله رشد S_4 و S_5 به میزان ۶۰ درصد صورت می‌گیرد (جدول ۸)، عدد پایین‌تری است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که تحقیق بر ضرایب حساسیت گیاهان نسبت به تنش آبی و ارائه ضرایبی که بتواند در چنین مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد، از اهمیت زیادی برخوردار است. متأسفانه مطالعات پراکنده‌ای که در این زمینه صورت گرفته به گونه‌ای نیست که بتواند جایگزین منابع ذکر شده قبلی گردد. به هرحال تعیین استراتژی‌های بهینه آبیاری در گرو دسترسی به ضرایب حساسیتی است که از هر نوع آزمون _ خطایی بی نیاز باشد و با اطمینان بتوان به نتایج حاصله تکیه کرد.

با استفاده از ضرایب اصلاح شده نی‌ریزی و ریدزیوسکی، استراتژیهای مختلفی برای کلزا شبیه سازی شد. بهره‌وری فیزیکی آب در راندمان آبیاری ۴۰ درصد برای استراتژی تمام آبیاری، ۰/۳۶ بود که با حرکت به سمت استراتژیهای کم آبیاری و افزایش راندمان کاربردی بر مقدار آن افزوده شد و تا ۱/۱ هم افزایش یافت. برای برنج تنها استراتژی تمام آبیاری ارزیابی شد که مقدار بهره‌وری آب در راندمان ۴۰ درصد و ۹۰ درصد به ترتیب ۰/۱۸ و ۰/۳۰ کیلوگرم در هر مترمکعب بدست آمد.

در محصول گوجه فرنگی، میزان مصرف آب در راندمان ۴۰ درصد، برابر با ۲۰۷۳۰ مترمکعب در هکتار بود که با توجه به متوسط عملکرد در هکتار محصول برابر با ۵۰ تن، میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب معادل ۲/۴۱ کیلوگرم در هر مترمکعب بدست آمد. اما با توجه به کشت زیر پلاستیک این محصول و استفاده گسترده در این نوع کشت از آبیاری نواری و در نتیجه راندمان آبیاری بالای ۸۵ درصد، میزان مصرف آب در راندمان آبیاری ۹۰ درصد به ۹۲۱۳ مترمکعب تقلیل می‌یابد که حتی با همان عملکرد قبلی، میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب تا ۵/۴۳ افزایش یافت. با توجه به ضرایب حساسیت نسبت به تنش آبی که برای این محصول در اختیار بود (ضرایب دوریناس و کسام) استراتژی کم آبیاری که بتواند بهره‌وری فیزیکی آب، بالاتری بدست دهد، مشاهده نشد. بنابراین برای افزایش بهره‌وری آب این محصول، بهترین استراتژی، کشت گلخانه‌ای یا کشت زیر پلاستیک با آبیاری نواری است.

بنابراین در پاسخ به سئوال سوم تحقیق می‌توان چنین اظهار داشت که اگر حرکت از دو سو انجام شود، یعنی از یک سو، استراتژی‌های آبیاری ناکارای فعلی به استراتژی‌های مناسب تبدیل شود و از سوی دیگر راندمان آبیاری از طریق سیستم مناسب انتقال آب، پوشش انهار، تسطیح اراضی، نصب سیستم‌های مناسب آبیاری و ... بهبود یابد. قطعاً شاهد افزایش چشمگیر بهره‌وری خواهیم بود. نتایج فراهم آمده از این مطالعه به خوبی این موضوع را نشان داد.

همچنین با یافته‌های این بخش از تحقیق، فرضیه سوم و چهارم تحقیق، تأیید شد. یعنی استراتژی‌ها آبیاری با حداکثر عملکرد در هکتار کمترین بهره‌وری آب را داشتند و امکان بهبود بهره‌وری آب به میزان قابل توجهی از طریق بکارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های مناسب آبیاری وجود دارد.

سئوالی که مطرح می‌شود این است که آیا استراتژی‌های کم آبیاری به صورت داوطلبانه از سوی کشاورزان اتخاذ خواهد شد؟ برای پاسخ به این سئوال با استفاده از مدل برنامه ریزی طراحی شده، استراتژی آبیاری برای مزارع نماینده سه گروه از زارعین تعیین شد. به عبارت دیگر استراتژی آبیاری بهینه که سود این زارعین را حداکثر می‌کرد، محاسبه گردید. گروه همگن اول زارعینی را شامل می‌شد که محدودیتی از نظر منابع آب نداشتند و میزان دسترسی آنها به منابع آب بیش از ۱/۵ در ثانیه به ازای هر هکتار بود، یعنی هر مزرعه ۱۰ هکتاری به ۱۵ لیتر در ثانیه آب دسترسی داشت. زارعینی با محدودیت متوسط از نظر منابع آب در گروه دوم

قرار گرفتند، میزان دسترسی این گروه به آب به طور متوسط ۱ لیتر در ثانیه به ازای هرهکتار بود. نهایتاً گروه سوم که با محدودیت نسبتاً شدید آب روبرو بودند و میزان دسترسی آنها کمتر از ۰/۷ لیتر به ازای هر هکتار بود.

لازم به تذکر است که اتخاذ استراتژی آبیاری باید با توجه به محدودیت‌های موجود در مزرعه از جمله میزان دسترسی آنها به منابع آب صورت گیرد. بنابراین نتایج ارائه شده در قسمت نخست این فصل، تنها شبیه‌سازی استراتژی‌های تعریف شده است و تضمینی برای انتخاب آنها از سوی زارعین نیست. بنابراین از مدل پیشنهادی برای انتخاب استراتژی‌های آبیاری مناسب مزارع نماینده گروه‌های همگن استفاده شد. برای اجرای مدل هزینه استحصال هر مترمکعب آب، ۷۵۰ ریال در نظر گرفته شد. همان گونه که نتایج درج شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهد، برای مزرعه نماینده گروه ۱ که با محدودیت آب مواجه نیستند، در سطح راندمان آبیاری کاربردی ۴۰ درصد تنها برای محصول پیاز استراتژی تمام آبیاری انتخاب شده است، برای بقیه محصولات، کم آبیاری در دو مرحله رشد S_4 و S_5 اعمال شده است. اما با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد و ۸۰ درصد، کم آبیاری فقط به محصولات گندم و جو که حساسیت بسیار پایینی به تنش آبی دارند محدود می‌شود و برای هر سه محصول ذرت، پیاز و چغندرقند که بازده برنامه‌ای بالایی دارند، استراتژی تمام آبیاری انتخاب می‌گردد، در حقیقت افزایش راندمان آبیاری، میزان دسترسی آب واحد نماینده را افزایش داده و کل هزینه مربوط به آبیاری را به دلیل مصرف کمتر آب کاهش می‌دهد. پس از یک سو، دسترسی به آب بیشتر شده و از سوی دیگر هزینه بکارگیری آب کمتر گردیده است. این دو عامل، موجب شده است تا مدل بهینه سازی غیرخطی برای محصولات با بازدهی بالا، استراتژی تمام آبیاری را انتخاب نماید. کم آبیاری برای دو محصول شتوی یعنی گندم و جو نیز با افزایش راندمان آبیاری، تنها به دوره S_5 با ضریب حساسیت بسیار پایین به تنش آبی محدود شده است. بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که در صورت جایگزینی سیستمهای آبیاری مدرن به جای سیستمهای آبیاری سنتی و سطحی در پاره‌ای از مزارع، استراتژی تمام آبیاری جایگزین استراتژیهای کم آبیاری می شود که تاثیر منفی بر نرخ بهره وری آب دارد و باید به گونه ای مانع این کار شد. همانگونه که قبلا اشاره شد، محدود کردن مصرف آب همراه با مدرنیزه کردن سیستم آبیاری، می‌تواند گام موثری در این راستا باشد.

بنابراین براحتی می‌توان نشان داد که الگوهای کشت حداکثر کننده سود، حداکثر کننده بهره‌وری آب کشاورزی نیستند (تأیید فرضیه دوم تحقیق).

همچنین می‌توان نشان داد که بهبود بهره‌وری آب لزوماً به کاهش مصرف آب منجر نخواهد شد. در صورتی که میزان اراضی زارعین از امکانات آبی آنها بیشتر باشد، آب صرفه جویی شده ناشی از بهبود بهره‌وری آب جهت افزایش سطح زیرکشت به کار می‌رود، بنابراین کاهش مصرف آب را به دنبال نخواهد داشت (تأیید فرضیه اول تحقیق). این پدیده را که اصطلاحاً اثر بازگشت به حالت اولیه می‌گویند، به هنگامی که با تغییر سیستم آبیاری از سطحی به بارانی و قطره‌ای، استراتژی آبیاری به سمت تمام آبیاری حرکت می‌کند نیز شاهد خواهیم بود. این موضوع با نتایج فراهم آمده از مدل تخصیص زمین اصلاح شده برای مزارع نماینده سه گروه فوق الذکر نیز تأیید می‌شود.

الگوهای کشت همراه با استراتژی‌های آبیاری بهینه برای واحد نماینده گروه ۱ بر اساس نتایج فراهم آمده از اجرای مدل تخصیص زمین اصلاح شده، در سطوح مختلف راندمان آبیاری در جدول (۱۶) نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، در سطح راندمان ۴۰ درصد، علیرغم دسترسی واحد نماینده به میزان کافی آب، اما پایین بودن راندمان آبیاری و منظور نمودن هزینه تأمین هر مترمکعب آب، موجب شده است که برای گندم و ذرت استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شود. بازده برنامه‌ای کل بدست آمده، اندکی کمتر از بازده کل محاسبه شده بر اساس مدل تخصیص آب است، که دلیل اصلی آن، امکان انتخاب بیشتر استراتژی آبیاری در مدل تخصیص آب نسبت به مدل تخصیص زمین اصلاح شده است. با افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ و ۸۰ درصد، برای تمام محصولات استراتژی تمام آبیاری (گندم ۱، ذرت ۱، پیاز ۱ و چغندر۱) انتخاب شده است. الگوی کشت بهینه همراه با استراتژی آبیاری انتخاب شده برای مزرعه نماینده گروه ۲ در جدول (۱۷) نشان داده شده است، همان گونه که ملاحظه می‌گردد، در راندمان آبیاری ۴۰ درصد و ۶۰ درصد برای دو محصول گندم و ذرت، استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شده است که با افزایش راندمان آبیاری به ۸۰ درصد، حتی با وجود هزینه تأمین هرمترمکعب آب برابر با ۷۵۰ ریال، استراتژی تمام آبیاری برای همه محصولات انتخاب شده است. برای پیاز نیز در تمام سطوح راندمان آبیاری، استراتژی آبیاری انتخاب شده، استراتژی تمام آبیاری می‌باشد. انتخاب استراتژی کم آبیاری در دو سطح راندمان آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد،

موجب شده است که شاخص کل بهره‌وری هرمترمکعب آب در این گروه بیشتر از مقدار این شاخص برای مزرعه نماینده گروه ۱ باشد. بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش راندمان آبیاری و در نتیجه میزان دسترسی بیشتر مزارع به منابع آب، آب اندوخته شده، به تغییر استراتژی آبیاری از کم‌آبیاری به تمام‌آبیاری شده است که کاهش بهره‌وری اقتصادی آب را به دنبال داشته است. در این خصوص تعیین و محدود کردن میزان برداشت آب و ایجاد بازار آب می‌تواند از چنین فرآیندی جلوگیری کند.

الگوی کشت و استراتژی بهینه آبیاری برای مزرعه نماینده گروه ۳ در جدول (۱۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای این واحد به دلیل محدودیت نسبتاً شدید آب، حتی در صورت افزایش راندمان آبیاری به سطح ۸۰ درصد هم، استراتژی کم آبیاری برای گندم و ذرت انتخاب خواهد شد. وضعیت دسترسی این واحد به منابع آب به گونه‌ای است که در سطح راندمان آبیاری ۴۰ درصد، حتی برای پیاز نیز، استراتژی کم‌آبیاری انتخاب شده است. بالا بودن میزان شاخص کل بهره‌وری اقتصادی آب در این مزرعه نسبت به دو مزرعه دیگر، به خوبی نقش تعیین کننده استراتژی کم آبیاری و سیستم‌های آبیاری را بر بهره‌وری آب نشان می‌دهد.

نتایج حاصله به خوبی ضرورت بازنگری در حقابه و میزان برداشت مجاز از سفره‌های آب زیرزمینی (مندرج در پروانه‌های بهره‌برداری چاه) را نشان می‌دهد. حقابه و میزان برداشت مجاز از سفره باید به گونه‌ای تعیین شود که انگیزه زارعین را برای بهبود بهره‌وری آب کاهش ندهد و بکارگیری استراتژی‌های مناسب کم آبیاری را امکان پذیر نماید.

از آنجا که پاره‌ای از مطالعات مرور شده نظیر وان دم و همکاران (۲۰۰۶)، وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸)، لیو و همکاران (۲۰۰۷) و زوات و همکاران (۲۰۱۰ b و ۲۰۱۰a) از مدلهای رشد برای محاسبه بهره‌وری استفاده کرده بودند، در این تحقیق نیز برای ارزیابی اثرات تغییر سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار بر شاخص بهره‌وری آب از مدل SWAT که برای منطقه رامجرد واقع در حوضه آبریز بختگان کالیبره و واسنجی شده بود، استفاده شد، نتایج به دست آمده قابل مقایسه با نتایج حاصل از اجرای مدلهای برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی و مدل تخصیص زمین اصلاح شده است، با این تفاوت که شاخص بهره‌وری محاسبه شده در این بخش، CDP (میزان محصول تقسیم بر حجم تبخیر و تعرق) و CPD_{IP} (میزان محصول تقسیم

بر مجموع آب آبیاری و بارش مؤثر) است که با شاخص محاسبه شده در قسمتهای قبل که میزان محصول در هر مترمکعب آب مصرفی می‌باشد، متفاوت است. یافته‌های این قسمت نیز تأثیر مثبت سیستم‌های آبیاری مدرن را بر بهره‌وری آب نشان داد. لازم به تذکر است که دو شاخص بهره‌وری فوق توسط مدلهای ریاضی نیز قابل محاسبه می‌باشند.

با استفاده از اطلاعات فراهم آمده از سطح مزرعه (اطلاعات مربوط به تعداد دفعات آبیاری، ساعات مورد نیاز برای یک نوبت آبیار، دبی لحظه‌ای منبع آب، نحوه انتقال آب از منبع به مزرعه، سیستم آبیاری، واریته و رقم محصول، عملکرد در هکتار) اقدام به محاسبه نرخ بهره-وری برای پاره‌ای از محصولات زراعی (گندم، جو، برنج، ذرت، کلزا و گوجه فرنگی) و محصولات باغی (سیب و مرکبات) شد که اعداد به دست آمده در دامنه اعداد برآورد شده به وسیله مدلهای ریاضی بود. این تخمینها در جدول (۲۳) درج شده است. نکته قابل توجه این است که میانگین بهره‌وری به دست آمده برای بعضی از محصولات نظیر گندم، جو، کلزا و ذرت، از ارقام گزارش شده تا حدودی بالاتر است که دلیل آن را می‌توان وقوع خشکسالی در سالهای اخیر دانست که موجب شده تا زارعین به سمت استراتژی‌های کم آبیاری روی آورند که تاثیر مثبتی بر شاخص بهره وری آنها داشته است. همچنین گسترش استفاده از سیستمهای آبیاری مدرن، افزایش بهره وری آب را در مزارع به دنبال داشته است. در شرایط فعلی، خوشبختانه می‌توان مزارعی را یافت که به دلیل انتخاب استراتژیهای مناسب آبیاری و بکارگیری سیستمهای مناسب آبیاری (آبیاری نواری و کشت زیر پلاستیک)، از شاخص بهره‌وری آب قابل قبولی برخوردار می‌باشند، که تصور آن نیز در گذشته نه چندان دور مشکل بود.

یکی از چالش‌هایی که در رابطه با استفاده از امکانات آبی کشور در گستره وسیعی از اراضی (کاهش حقابه هر هکتار) مطرح می‌شود، این است که فرآیند مذکور ممکن است که به دلیل هزینه بالای خاک‌ورزی متداول، موجب افزایش قیمت و هزینه تمام شده محصولات گردد. در این رابطه اثرات متقابل خاک ورزی و روشهای آبیاری بر بهره‌وری آب در سه رقم گندم در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج این تحقیق در جدول (۲۵) درج شده است و نشان می‌دهد که رقم پیشتاز در سیستم کم خاک‌ورزی و با روش آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، بالاترین بهره‌وری آب (۱/۶۸ کیلوگرم در هر مترمکعب) را به دست می‌دهد که با بقیه تیمارها تفاوت معنی داری دارد.

این نتیجه ضمن تأیید اثر مثبت خاک ورزی حفاظتی (کم خاک‌ورزی و بی خاک ورزی)، می‌تواند به پاره‌ای از نگرانیهای مطرح شده خاتمه دهد.

اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقاء بهره‌وری آب، در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به بازدهی و میزان مصرف آب در مزارع نماینده در حالت‌های بدون بازار آب و وجود بازار آب در جدول (۳۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصله، بازدهی آب در حالت وجود بازار آب نسبت به قبل افزایش پیدا کرده است. بازدهی آب بیانگر متوسط درآمدی است که از مصرف یک مترمکعب آب در مزرعه بدست می‌آید. این افزایش بازدهی آب بخاطر افزایش درآمد مزرعه بعد از ایجاد بازار آب است بنابراین فرضیه مبنی بر اینکه بازار آب، بازدهی هر مترمکعب آب را افزایش می‌دهد، قویاً تایید می‌گردد. تغییرات میزان مصرف آب در جدول (۲۹) گزارش شده است، با توجه به نتایج، مصرف آب در مزارع نماینده ۳، ۴، ۵ و ۶ افزایش یافته و در مزارع نماینده ۱، ۲ کاهش یافته است. بنابراین در چهار مزرعه با ایجاد بازار آب مصرف آب افزایش یافته است ومیزان افزایش در مجموع بیش از ۳۷ هزار مترمکعب است. در نتیجه فرضیه‌ای که بیانگر تعدیل تقاضای آب با ایجاد بازار آب است، بطور قاطع رد می‌شود. این نکته هشداری است برای مدیریت آب، بدین صورت که هر چند بازار آب، موجب افزایش درآمد زارعین می‌گردد و بازدهی هر مترمکعب آب را افزایش می‌دهد اما نه تنها موجب تعدیل تقاضای آب نمی‌گردد که مصرف بیشتر آب را دامن می‌زند بنابراین در صورتیکه با سیاستهای مکملی تقاضای آب، همراه نگردد می‌تواند بحران آب را تشدید کند. بهمین دلیل در قسمت بعد سیاست ایجاد بازار آب با سیاست سهمیه‌بندی و کنترل میزان برداشت از سفره‌های آب با هم بکار گرفته شده و نتایج آن بطور مستقل آورده شده است.

همانگونه که اشاره شد چالش عمده‌ای که بخش کشاورزی با آن روبرو است، این است که نه تنها باید مصرف آب را کاهش دهد که همزمان باید تولید بیشتری را عرضه نماید و درآمد بالاتری را برای زارعین رقم زند. با توجه به نتایج ارائه شده در قسمت قبلی این مطالعه، سیاست ایجاد بازار آب به تنهایی، بهره‌وری آب و سود زارعین را افزایش می‌دهد ولی همزمان مصرف کل آب منطقه افزایش می‌یابد که با مدیریت تقاضای آب در تناقض می‌باشد. از این رو برای مدیریت مصرف آب بایستی به همراه ایجاد بازار آب، سیاست کنترل برداشت آب برای زارعین اجرا شود. در این راستا به رسمیت شناختن حق مالکیت آب گام اساسی است که باید

هرچه سریع‌تر برداشته شود. مالکیت آب باید از مالکیت زمین جدا شده و سند آب که مقدار مالکیت بر منابع آب را مشخص می‌کند، برای بهره‌برداران صادر شود. لازمه این امر، تحویل حجمی آب و نصب کنتور برای نظارت بر مالکیت آب است. استفاده از تکنولوژی جدید برای قرائت کنتور از راه دور، با کاهش هزینه اجرا، کارایی این اقدام را افزایش خواهد داد. مهمترین ویژگی حق مالکیت، قابلیت انتقال آن است یعنی زارعین باید بتوانند حقابه خود را به دیگران منتقل کنند یا این که آن را برای سال‌های بعد نگهداری نمایند. در چنین شرایطی دولت نیز می‌تواند به عنوان خریدار آب صرفه‌جویی شده اقدام نماید. میزان حقابه با توجه به وضعیت سفره آب زیرزمینی دشت متفاوت و با توجه به تغییرات بارندگی سالانه می‌تواند شناور باشد. در صورتی که وضعیت آبخوان مناسب است حقابه می‌تواند دو نوع باشد، حقابه نوع اول، با توجه به میزان ذخیره و عمق لایه آبدار و روند و گرایشات حاکم بر آن تعیین می‌شود و می‌تواند برای چند سال ثابت باشد. اما حقابه نوع دوم با توجه به مشخص‌شدن میزان بارندگی در اواخر زمستان قبل از تصمیم‌گیری در مورد کشت محصولات صنفی که نیاز آبی بالایی دارند، تعیین خواهد شد و شناور می‌باشد. در چنین شرایطی، بازار آب نیز به طور خودکار ایجاد می‌شود که می‌تواند در افزایش بازده هر مترمکعب آب نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد در قسمتی دیگر از این مطالعه، اثرات ایجاد بازار آب و سیاست تعیین حقابه با هم بررسی شد. بدین گونه که برای مزارع نماینده ۱ و ۲، ۳۰ درصد و برای مزارع نماینده ۳ و ۴، ۲۰ درصد کاهش حقابه آب لحاظ شد. اما برای مزارع نماینده ۵ و ۶ به علت محدودیت دسترسی به آب کاهش حقابه آب در نظر گرفته نشد.

الگوی کشت بهینه و مطابق با آن درآمد مربوطه برای مزارع نماینده در شرایط کاهش حقابه آب یا به عبارت دیگر کنترل برداشت در جدول (۳۱) گزارش شده است. با توجه به نتایج فراهم آمده، سود زارعین نماینده ۱، ۲، ۳ و ۴ بخاطر کنترل برداشت آب کاهش یافته است. الگوی کشت مزارع به سمت استراتژی‌های کم‌آبیاری و روش‌های آبیاری نوین بخاطر محدودیت بیشتر آب گرایش یافته است. برنج به دلیل نیاز آبی بیشتر آن از الگوی کشت حذف شده و سطح زیر کشت مزارع کاهش یافته است. درصد کاهش سود زارعین برای مزارع نماینده گروه های۱ و ۲، به ترتیب۲۹/۶ و۲۸/۵ درصد و برای مزارع نماینده گروه های ۳ و ۴، به ترتیب

۱۸/۷ و ۱۳/۲ درصد است و برای جبران کاهش سود زارعین بازار آب با هدف افزایش سود زارعین ایجاد می‌شود.

به منظور بررسی منفعت حاصل از ایجاد بازار فرضی آب در حالت برقراری کنترل برداشت آب و اثرات آن بر اقتصاد منطقه از یک مدل منطقه‌ای استفاده شده است. هدف مدل منطقه‌ای حداکثر کردن سود کشاورزان حاصل از کشت محصولات و مبادله آب بوده است. نتایج حاصل از اجرای مدل منطقه در جداول (۳۲) و (۳۳) ارائه شده است. نتایج الگوی کشت گویای استفاده بیشتر از استراتژی‌های کم‌آبیاری و سیستم آبیاری نوین است. در واقع با بکارگیری سیاست کنترل برداشت آب برای زارعین و نظارت بر برداشت آب توسط آنها تقاضای آب تعدیل شده است. از طرف دیگر استراتژی‌های کم‌آبیاری و سیستم آبیاری نوین گزینه‌ای مناسب برای جلوگیری از کاهش سود زارعین و افزایش سطح زیر کشت مزرعه و حفظ عملکرد محصول است.

با توجه به نتایج، از آنجاییکه مزارع نماینده ۵ و ۶ کمترین بازده آب را دارند فروشنده آب هستند. در واقع بازار، سبب انتقال آب به سمت مصارف با بازدهی بیشتر می‌باشد. تنها مزرعه نماینده گروه ۵ فروشنده خالص آب می‌باشد و دلیل فروش آب در این مزرعه بازدهی پائین آب نسبت به سایر مزارع است.

نتایج حاصل از اجرای همزمان سیاست ایجاد بازار آب و سهمیه‌بندی برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی در جداول (۳۳) تا (۳۵) درج شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد بازدهی هر مترمکعب آب و سود مزارع نماینده در تمامی موارد افزایش یافته است. از مزایای اجرای همزمان این دو سیاست، این است که برخلاف سناریو ایجاد بازار به تنهایی که موجب افزایش مصرف آب می‌گردید در این حالت، میزان آب مصرفی در مزارع نماینده بعد از محدود کردن برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی، ۲۱۵ هزار مترمکعب کاهش یافته است. کاهش سود ناشی از محدود کردن میزان برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در مزارع نماینده گروه‌های ۱ و ۲ ، قبل از ورود به بازار آب بین ۲۸ تا ۲۹ درصد بوده است که پس از ورود این مزارع به بازار میزان کاهش سود مزارع نماینده به ۸ تا ۱۱ درصد تقلیل یافته است. بنابراین سیاست کاهش مصرف آب که از مهمترین اهداف بخش مدیریت منابع آب می‌باشد به دلیل ایجاد بازار آب و در نتیجه افزایش بازدهی هرمترمکعب با کاهش قابل توجه سود زارعین همراه نگردیده است و در

حقیقت سیاست ایجاد بازار آب و سهمیه‌بندی برداشت از سفره‌های زیرزمینی، رفاه جامعه و منافع زارعین را با هم تأمین نموده است. بنابراین ملاحظه می‌شود که بازار آب بخش قابل توجهی از کاهش سود زارعین گروه ۱ و ۲ که برداشت آب آنها از سفره‌های زیرزمینی به میزان ۳۰ درصد تقلیل یافته بود، را جبران می‌کند. برای گروه ۳ و ۴ که میزان برداشت آب آنها از سفره زیرزمینی به میزان ۲۰ درصد تقلیل یافته بود، میزان کاهش سود برای مزرعه نماینده گروه ۳، ۲/۴ درصد و برای مزرعه گروه ۴، نیز نه تنها کاهش سودی رخ نمی‌دهد که حتی اندکی نیز افزایش سود مشاهده می شود. این موضوع به خوبی نقش بازار آب را در کاهش منازعات مربوط به آب نشان می‌دهد. به عبارت دیگر چاره‌ای جز کاهش حقابه زارعین وجود ندارد و این امر در صورت عدم تشکیل بازار آب با کاهش چشمگیر سود همراه است که می‌تواند مخالفت جدی کشاورزان را به دنبال داشته باشد. حال آنکه با تشکیل بازار کاهش سود در دو گروه به میزان قابل توجهی تقلیل می‌یابد (گروه ۱ و ۲)، در گروه ۳ کاهش سود به کمتر از ۳ درصد تنزل می‌یابد و در یکی از گروه‌ها (گروه ۴) کاهش سود مشاهده نخواهد شد. بنابراین در صورتی که دولت بخواهد در این رابطه بابت تقلیل حقابه زارعین، غرامتی پرداخت نماید، با تشکیل بازار آب، این میزان به حداقل ممکن تقلیل خواهد یافت.

پیشنهاد اصلی مطالعه حاضر این است که سیاست ایجاد بازار آب و سیاست کنترل میزان برداشت با هم اجرا شود. در این‌صورت اولاً انگیزه زارعین برای کاهش مصرف آب از طریق بکارگیری روش‌های نوین آبیاری، پوشش انهار، تسطیح اراضی، استراتژی‌های کم‌آبیاری و تغییر الگوی کشت افزایش چشمگیری خواهد یافت. ثانیاً با افزایش بازدهی هر مترمکعب آب اثر کاهش مصرف آب بر درآمد زارعین ناچیز خواهد بود که این امر تمایل زارعین را در استفاده از سیاست‌های مدیریت تقاضای آب تقویت خواهد کرد.

در پذیرش تکنولوژیهای حفاظت از منابع آب و خاک از سوی کشاورزان، عوامل بسیاری دخالت دارند. در بسیاری از موارد تکنولوژی تهیه و معرفی می‌گردد، اما از سوی کشاورزان ممکن است پذیرفته نشود. این مسئله در زمینه‌ی تکنولوژی‌های کشاورزی و بالاخص در مورد تکنولوژی‌های حفاظتی به کرات اتفاق افتاده است. با توجه به نقش مهمی که کشاورزان در رابطه با بهره‌وری آب و کنترل فرسایش خاک و حفاظت از منابع ایفا می‌کنند، بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش راهکارهای حفاظت از منابع آب و خاک از اهمیت زیادی برخوردار است که در

فصل پنجم این مطالعه به آن پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که ۴۳/۶ درصد از کشاورزان حفاظت از منابع آب، ۴۴/۱ درصد حفاظت از منابع خاک و ۲۴ درصد هر دو را انجام داده‌اند. نتایج حاصل از تخمین رگرسیون پروبیت به ظاهر نامرتبط نشان می‌دهد که آماره حداکثر راستنمایی ۱۲۸/۳۸ می‌باشد و معنی‌داری کل رگرسیون را نشان می-دهد. مالکیت زمین اثر معنی‌داری بر پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک نداشته است؛ اما این پارامتر برای حفاظت آب مثبت است به این معنی که اگر کشاورز مالک زمین باشد امکان پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب توسط کشاورز بیشتر می‌شود. تعداد اعضای خانواده در هر دو مدل معنی‌دار و منفی است. پارامتر سن کشاورز در معادله اول مثبت و در سطح ۱۰٪ معنی‌دار است و در معادله دوم بی‌تأثیر است. سطح تحصیلات در هر دو معادله مثبت و معنی-دار است یعنی هرچه تحصیلات کشاورزان بیشتر باشد میزان پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک آنها نیز بیشتر خواهد بود. همچنین هر یک سال افزایش سطح تحصیلات می‌تواند احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را ۰/۰۶ افزایش دهد. نیروی کار خانواده در پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد. اثر نهایی نیروی کار خانوادگی ۰/۰۶ است. یعنی افزایش یک نفر نیروی کار خانوادگی ۰/۰۶ احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را افزایش می‌دهد. اندازه مزرعه در پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک تأثیر و معنی‌داری دارد. یعنی هرچه اندازه مزرعه بزرگتر باشد، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک بیشتر می‌باشد. اثر نهایی اندازه مزرعه ۰/۰۴۰ می-باشد. بنابراین با افزایش یک واحد به اندازه مزرعه، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک ۴ درصد افزایش می‌یابد. فعالیت خارج از مزرعه در معادله اول (پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب) مثبت و معنی‌دار و در معادله دوم (پذیرش فعالیت‌های حفاظت از خاک) مثبت اما معنی‌دار نیست. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که فعالیت خارج از مزرعه، احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک را افزایش می‌دهد. اثر نهایی فعالیت خارج از مزرعه ۰/۲۴ است. یعنی اگر کشاورز به سمت فعالیت خارج از مزرعه برود، ۰/۲۴ احتمال پذیرش فعالیت‌های حفاظت از آب و خاک افزایش می‌یابد. اعتبارات در این مطالعه شامل: تشویق، اعتبار و یارانه می‌شود. در معادله اول معنی‌دار و مثبت است؛ یعنی اعتبارات بر پذیرش مؤثر است. اثر نهایی اعتبارات مثبت و معنی‌دار است یعنی هرچه تسهیلات اعتباری بیشتری در

اختیار زارعین قرار گیرد احتمال پرداختن به فعالیت‌های حفاظتی بیشتر خواهد شد. اثر نهایی تعداد قطعات زمین ۰/۰۸۵ و منفی است به این معنی که کشاورزان باید برای یکپارچه سازی اقدام کنند. همچنین تناوب زراعی یک رابطه مثبت و معنی‌داری با پذیرش حفاظت خاک دارد.

بر اساس نتایج فراهم آمده از عوامل مؤثر بر پذیرش فعالیت‌های حفاظت از منابع آب و خاک می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه کرد:

۱- از آنجا که پراکندگی مزارع در پذیرش فعالیت‌های حفاظتی اثر منفی دارد، یکپارچه‌سازی اراضی می‌تواند در حفاظت از منابع آب مؤثر باشد، بنابراین توصیه می‌شود که این طرح با دقت بیشتری انجام شود.

۲- اندازه مزرعه بر پذیرش فعالیت‌های حفاظتی اثر مثبت و معنی‌داری دارد. از آنجا که قانون ارث به کوچکتر شدن مزارع می‌انجامد، لازم است که به‌گونه‌ای از کوچک شدن اندازه مزارع جلوگیری کرد.

۳- فعالیت خارج از مزرعه از یک سو فشار وارده بر منابع را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر بر-پذیرش فعالیت‌های حفاظت از منابع آب مؤثر است. بنابراین ایجاد چنین فرصت‌هایی برای زارعین می‌تواند در توسعه پایدار کشاورزی مؤثر باشد.

۴- میزان دسترسی به اعتبارات و تسهیلات بانکی بر پذیرش فعالیت‌های حفاظت از منابع آب مؤثر است، بنابراین توصیه می‌شود که اعتبارات بیشتری، برای این منظور تخصیص یابد.

منابع

احسانی م.، خالدی، ه. (۱۳۸۲)، بهره وری آب کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، زمستان ۱۳۸۲.

بهلولوند، ع. (۱۳۸۵). "برآورد تابع تقاضای آب کشاورزی و بررسی مکانیسم بازار در قیمت‌گذاری آب کشاورزی"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه اقتصاد دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی.

بهلولوند، ع. و ک. صدر، (۱۳۸۶). "سنجش رقابت در بازار آب مجن"، اقتصاد کشاورزی، ۱(۲): ۸۰-۶۳.

جعفری، ع. (۱۳۸۳). "رویکرد بازار آب و الزامات آن"، اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۲(۱۲۰): ۷۵-۴۸.

جعفری، ع .م.، بهراملو، ر. و رضوانی س.م. (۱۳۸۴). اندازه گیری بهره‌وری آب در سیستم های آبیاری تحت فشار در ایران، مطالعه موردی استان همدان، پنجمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران، زاهدان.

چیذری، ا. و ع. کرامت‌زاده، (۱۳۸۴). "مدیریت منابع آبی از طریق تخصیص بهینه آب بین اراضی زیر سدها مطالعه موردی سد بارزو شیروان"، پژوهش و سازندگی، ۴(۶۹): ۴۰-۵۲.

حیدری، ن. (۱۳۹۳). ارزیابی شاخص بهره وری آب کشاورزی و عملکرد سیاست ها و برنامه های مدیریت آب کشور در این زمینه، مجلس و راهبرد، دوره ۲۱، شماره ۷۸، ص. ۱۹۹-۱۷۷.

زیبایی، م.، د. خلیلی و م. صبوحی، (۱۳۸۲). "مدیریت آب و آبیاری و الگوی کشت؛ چالش‌ها و چشم-اندازها"، مجموعه مقالات همایش سیاست‌ها و مدیریت برنامه‌ریزی رشد و توسعه ایران، مؤسسه آموزش عالی و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، اسفند ۱۳۸۲.

زیبایی، م.، غ. سلطانی و م. بخشوده، (۱۳۸۴). "مدیریت تقاضای آب کشاورزی در سطح مزرعه مطالعه موردی: دشت فیروزآباد"، پنجمین کنفرانس دوسالانه اقتصاد کشاورزی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

زیبایی، م. و ع. م. آخوندعلی، ۱۳۹۵. اثربازگشتی به حالت اولیه یا معمای جیونز: مفهومی برای درک مناسبتر پیامدهای بهبود کارایی آب. نشریه علوم آب و خاک، سال بیستم، شماره ۷۸.

سپه وند، م. (۱۳۸۸). "مقایسه نیاز آبی، بهره‌وری آب و بهره‌وری اقتصادی آن در گندم و کلزا در غرب کشور در سال‌های پر باران." *پژوهش آب ایران* ۳,۴ (۲۰۰۹): ۶۳-۶۸.

سلطانی، غ.، م. زیبایی و ا. کهخا، (۱۳۷۸). "کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در کشاورزی"، تهران، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

سلیمانی، ح. و حسنلی، ع. م. (۱۳۸۷). "محاسبه قیمت تمام شده، بهره وری مصرف و ارزش افزوده آب برای محصولات عمده در منطقه خشک داراب." ۴۵-۶۰.

شعبانی، م.، ت. هنر و م. زیبایی، (۱۳۸۷). "مدیریت بهینه مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۴): ۵۳-۶۶.

شهرستانی ح. ۱۳۹۳، سازماندهی و مدیریت مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی، فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ۴۵.

صبوحی صابونی، م. (۱۳۸۵). "بهینه سازی الگوهای کشت با توجه به مزیت نسبی حوضه آبریز در تولید محصولات زراعی: مطالعه موردی استان خراسان". پایان‌نامه دکتری، بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

صبوحی صابونی، م.، غ. سلطانی و م. زیبایی، (۱۳۸۶). "ارزیابی راه‌کارهای مدیریت منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت نریمان در استان خراسان"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۱): ۴۸۴-۴۷۴.

فتحی، ف. (۱۳۸۸). "مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در سطح مزرعه و دشت مطالعه موردی دشت فیروزآباد"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

فروتن، ر. (۱۳۸۱). "برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل اقتصادی در کشاورزی"، تهران، انتشارات ابجد، چاپ اول.

قرقانی، ف.، ف. بوستانی و غ. سلطانی، (۱۳۸۸). "بررسی تأثیر کاهش آب آبیاری و افزایش قیمت آب بر الگوی کشت با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت: مطالعه‌ی موردی شهرستان اقلید در استان فارس"، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۱(۱): ۷۴-۵۷.

کرامت‌زاده، ع.، ا. چیذری و ا. میرزایی، (۱۳۸۵). "تعیین ارزش اقتصادی آب کشاورزی با استفاده از مدل الگوی کشت بهینه تلفیق زراعت و دامداری مطالعه موردی سد بارزوشیروان"، اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۴(۵۴): ۶۰-۳۵.

کشاورز، ع. و دهقانی سانیچ، ح. (۱۳۹۱). شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور، فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال اول، شماره اول. ۲۳۳-۱۹۹.

کیانی، غ. (۱۳۸۸). "منافع بالقوه تشکیل بازارهای آب: مطالعه موردی منطقه ساوه"، علوم محیطی ۶(۴): ۷۲-۶۵.

مجلس شورای اسلامی، (۱۳۸۸). "عملکرد بخش آب در برنامه چهارم و جایگاه آن در برنامه پنجم"، معاونت پژوهشی. مطالعات زیربنایی.

محسن‌پور، ر. (۱۳۸۷). "بررسی پیامدهای خشکسالی در سطح مزرعه مطالعه موردی: منطقه مرودشت". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

نکویی، ع. و م. زیبایی، (۱۳۸۸). "سیستم حمایت تصمیم در مدیریت بحران منابع آب کشاورزی با تأکید بر کم‌آبیاری: مطالعه‌ی موردی در حوضه آبخیز زاینده‌رود"، ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، کرج.

وردی‌نژاد، و. ر.، سهرابی، ت.، حیدری، ن.، عراقی‌نژاد، ش. و مامن‌پوش، ع. ر. ۱۳۸۸. بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود: مطالعه موردی شبکه آبیاری سمت راست آبشار، مجله آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۳، ص. ۹۹-۸۸.

Absalan, S., Karimi, M., Haydari, N., Dehghan, E., Abassi, F., Rahimian, M. H., & Chergahi, S. A. M. (2007). Determination and Evaluation of Water Productivity in the Saline Areas of Lower Karkheh River Basin.

Ali, M., & Flinn, J. C. (1989). Profit efficiency among Basmati rice producers in Pakistan Punjab. *American Journal of Agricultural Economics*, *71*(2), 303-310.

Hossain, S. M. A., & Crouch, B. R. (1992). Patterns and determinants of adoption of farm practices: some evidence from Bangladesh. *Agricultural Systems*, *38*(1), 1-15.

Alauddin, M., & Sharma, B. R. (2013). Inter-district rice water productivity differences in Bangladesh: An empirical exploration and implications. *Ecological Economics*, *93*, 210-218.

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision* (No. 12-03, p. 4). Rome, FAO: ESA Working paper.

Ali, M., & Flinn, J. C. (1989). Profit efficiency among Basmati rice producers in Pakistan Punjab. *American Journal of Agricultural Economics*, *71*(2), 303-310.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water

requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, *300*(9), D05109.

Alston, J. M., & Pardey, P. G. (2014). Agriculture in the global economy. *The Journal of Economic Perspectives*, *28*(1), 121-146.

Alston, J. M., Babcock, B. A., & Pardey, P. G. (2010). *The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide*. Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center.

Alston, J. M., Babcock, B. A., & Pardey, P. G. (2010). *The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide*. Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center.

Amsalu, A., & De Graaff, J. (2007). Determinants of adoption and continued use of stone terraces for soil and water conservation in an Ethiopian highland watershed. *Ecological economics*, *61*(2), 294-302.

Anley, Y., Bogale, A., & Haile-Gabriel, A. (2007). Adoption decision and use intensity of soil and water conservation measures by smallholder subsistence farmers in Dedo district, Western Ethiopia. *Land degradation & development*, *18*(3), 289-302.

Anosike, N., & Coughenour, C. M. (1990). The socioeconomic basis of farm enterprise diversification decisions. *Rural Sociology*, *55*(1), 1.

Antle, J.M., & S.M. Capalbo. (1988). "Introduction and overview." In *Agricultural Productivity: Measurement and Explanation*, eds. S.M. Capalbo, and J.M. Antle, 1-14. Washington, DC: Resources for the Future.

Aquastat (2010). FAO Aquastat China Country ProVle. fao.org/nr/water/aquastat/countries regions/Iran/index.stm.

Arbat, G. P., Lamm, F. R., & Abou Kheira, A. A. (2010). Subsurface drip irrigation emitter spacing effects on soil water redistribution, corn yield, and water productivity. *Applied Engineering in Agriculture*, *26*(3), 391-399.

Arfini, F. & Q. Paris, (1995). "A positive mathematical programming model for regional analysis of agricultural policies In: Sotte", The Regional Dimension in Agricultural Economics and Policies, EAAE, Proceedings of the 40th Seminar. June 26–28, Ancona, Italy: 17–35.

Asafu-Adjaye, J. (2006). Willingness to adopt soil conservation measures: A case study of Fijian cane farmers. *School of Economics, the*

University of Queensland. Available at www. aomevents. com/AARES2006/papers/asafuadjaye. pdf.

Bachta, M. S., Mimoum, A. B., Zaibet, L., & Albouchi, L. (2004). Simulation of a water market in Tunisia: A case study of GIC Melalsa–Kairouan. In *Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée* (pp. 14-p). IAV Hassan II.

Baidu-Forson, J. (1999). Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel: lessons from a case study in Niger. *Agricultural Economics*, *20*(3), 231-239.

Baradi, N. K. (2009). *Factors affecting the adoption of tillage systems in Kansas* (Doctoral dissertation, Kansas State University).

Barker, R., Dawe, D., & Inocencio, A. (2003). Economics of water productivity in managing water for agriculture. *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, (1).

Baryan, R. B. (2000). Soil erosion and processes of water erosion on hill slope. *Geomorphic*, *32*, 285-415.

Bayard, B., Jolly, C. M., & Shannon, D. A. (2006). The adoption and management of soil conservation practices in Haiti: The case of rock walls. *Agricultural Economics Review*, *7*(2), 28.

Bayramin, I., Dengiz, O., BAŞKAN, O., & Parlak, M. (2003). Soil erosion risk assessment with ICONA model; case study: Beypazarı area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *27*(2), 105-116.

Bekele, W., & Drake, L. (2003). Soil and water conservation decision behavior of subsistence farmers in the Eastern Highlands of Ethiopia: a case study of the Hunde-Lafto area. *Ecological economics*, *46*(3), 437-451.

Belloumi, M., & Matoussi, S. (2006). Date Yield and Water Productivity in Nefzaoua Oases in Tunisia: a comparative analysis. *NEW MEDIT*, *5*(2), 52.

Bendale S. K., H. S. Chauhan, K. K. Singh. & A. S. Tomar. (1998). Proceedings of the National Seminar on Micro Irrigation Research in India. Status and Perspectives for the 21st Century, Bhubaneswar, July 27-28.

Bett, C. (2004). Farm level adoption decisions of soil and water management technologies in semi-ari Eastern Kenya. In 48th Annual

Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society.

Bewket, W., & Sterk, G. (2002). Farmers' participation in soil and water conservation activities in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Land Degradation & Development*, *13*(3), 189-200.

Bjomlund, H. (2003). "Efficient water market mechanisms to cope with water scarcity", International Journal of Water Resources Development, 19: 553-567.

Boender, C.G.E., de Grann, J.G., & Lootsma, F.A. (1989). Multi-Criteria Decision Analysis with fuzzy Pairwise Comparison, FuzzySets and Systems, Vol. 29, No. 2.

Borrego-Marín, M. M., Gutiérrez-Martín, C., & Berbel, J. (2016). Water productivity under drought conditions estimated using SEEA-Water. *Water*, *8*(4), 138.

Bozdag, C.E., Kahraman, C., & Ruan, D. (2003). Fuzzy Group Decision Making For selection among Computer Integrated Manufacturing Systems, Computers Industry, Vol. 51, No.1.

Bravo-Ureta, B. E., Solis, D., Cocchi, H., & Quiroga, R. E. (2006). The impact of soil conservation and output diversification on farm income in Central American hillside farming. *Agricultural Economics*, *35*(3), 267-276.

Bravo-Ureta, B. E., Solís, D., López, V. H. M., Maripani, J. F., Thiam, A., & Rivas, T. (2007). Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *Journal of productivity Analysis*, *27*(1), 57-72.

Brooks, R., & Harris, E. (2008). Efficiency gains from water markets: Empirical analysis of Watermove in Australia. *Agricultural Water Management*, *95*(4), 391-399.

Buckley, J.J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 17, No.3.

Cai, X. and Rosegrant M.W. (2003). World Water Productivity: Current Situation and Future Options. CAB International.

Calatrava, J., & Garrido, A. (2005). Modelling water markets under uncertain water supply. *European review of agricultural economics*, *32*(2), 119-142.

Cameron, T.A. & J. Quiggin. (1994). Estimation Using Contingent Valuation Data from a Dichotomous Choice with Follow-Up Questionnaire. Journal of Environmental Economics and Management 27(3): 218-234.

Casewell M., & D. Zelberman. (1985). The choices of irrigation in technology in California. Agricultural Water Management. 61: 224-234.

Castelletti, A., & Soncini-Sessa, R. (2006). A procedural approach to strengthening integration and participation in water resource planning. *Environmental Modelling & Software*, *21*(10), 1455-1470.

Castelletti, A., & Soncini-Sessa, R. (2006). A procedural approach to strengthening integration and participation in water resource planning. *Environmental Modelling & Software*, *21*(10), 1455-1470.

Caviglia-Harris, J. L. (2003). Sustainable agricultural practices in Rondonia, Brazil: Do local farmer organizations affect adoption rates?. *Economic Development and Cultural Change*, *52*(1), 23-49.

Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, European Journal of Operational Research, Vol. 95, No.3.

Chang, N. B., Chen, H. W., Shaw, D. G., & Yang, C. H. (1997). Water pollution control in river basin by interactive fuzzy interval multiobjective programming. *Journal of Environmental Engineering*, *123*(12), 1208-1216.

Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, *70*(4), 749-758.

Characklis, G. W., Griffin, R. C., & Bedient, P. B. (1999). Improving the ability of a water market to efficiently manage drought. *Water Resources Research*, *35*(3), 823-831.

Cheng, C. H. (1997*). Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function*. European Journal of Operational Research, 96(2), 343-350.

Chizari, M., S. Karimi, J. R. Lindner & G. Pezeshki-Rad. (2003). Perception of soil conservation competencies among farmers in Markazi Province, Iran. Journal of International Agricultural and Extension Education, 10(3): 13-19.

Chomba, G. N. (2004). Factors affecting smallholder farmers'adoption of Soil and Water conservation practices in ZAMBIA (Doctoral dissertation, Michigan State University).

Coelli, T., & D.S. Prasada Rao. (2005). "Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000." *Agricultural Economics* 32 (s1): 115-134.

Speelman, S., Frija, A., Perret, S., D'haese, M., Farolfi, S., & D'haese, L. (2011). Variability in smallholders' irrigation water values: Study in North-West Province, South Africa. *Irrigation and drainage*, *60*(1), 11-19.

Contor, B. A. & R. G. Taylor. (2013). Why improving irrigation efficiency increases total volume of consumptive use. *Irrigation and drainage*. 62, 273-280.

Cortignani, R., & Severini, S. (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, *96*(12), 1785-1791.

Cramb, R. A., Catacutan, D., Culasero-Arellano, Z., & Mariano, K. (2007). The 'Landcare'approach to soil conservation in the Philippines: an assessment of farm-level impacts. *Animal Production Science*, *47*(6), 721-726.

Cramb, R. A., Garcia, J. N. M., Gerrits, R. V., & Saguiguit, G. C. (1999). Smallholder adoption of soil conservation technologies: evidence from upland projects in the Philippines. *Land Degradation & Development*, *10*(5), 405-423.

Dalin, C., Hanasaki, N., Qiu, H., Mauzerall, D. L. & Rodriguez-Iturbe, I. (2014). Water resources transfer through Chinese interprovincial and foreign food trade. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.*111(27): 9774–9779.

Dalin, C., Qiu, H., Hanasaki, N., Mauzerall, D.L.& Rodriguez-Iturbe, I. (2015). Balancing water resource conservation and food security in China. *Proc. Natl.Acad. Sci. U. S. A.* 112(15), 4588–4593.

Solís, D., Bravo-Ureta, B. E., & Quiroga, R. E. (2007). Soil conservation and technical efficiency among hillside farmers in Central America: a switching regression model. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, *51*(4), 491-510.

Darku, A. B., Malla, S., & Tran, K. C. (2013). Historical review of agricultural efficiency studies. *CAIRN Research Network*.

De Bruin, K., Dellink, R. B., Ruijs, A., Bolwidt, L., van Buuren, A., Graveland, J., ... & Tassone, V. C. (2009). Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives. *Climatic change*, *95*(1-2), 23-45.

De Graaff, J., A. Amsalu, F. Bodnár, A. Kessler, H. Posthumus & A. Tenge. 2008. Factors influencing adoption and continued use of long-term soil and water conservation measures in five developing countries. *Applied Geography*, 28(4), 271-280.

Demeke, B. A. (2003). Factors Influencing the Adoption of Introduced Soil Conservation Practices in Northwestern Ethiopia. *Institute of Rural Development*, University of Gottingen.

Dinar, A., & Letey, J. (1991). Agricultural water marketing, allocative efficiency, and drainage reduction. *Journal of Environmental Economics and Management*, *20*(3), 210-223.

Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A., Phillips, & L. (2000). Multi-criteria analysis manual. Department of Transport, Local Government and the Regions, London. http://www.communities.gov.uk/archived/publications/corporate/multicriteriaanalysismanual

D'Odorico, P., Carr, J., Laio, F., & Ridol, L. (2012). Spatial organization and drivers of the virtual water trade: a community-structure analysis. *Environ. Res. Lett.*

Doorenbos, J. & A.H. Kassam, (1979). "Yield response to water", FAO irrigation and drainage paper, *Food and Agricultural Organization of United Nations*, Rome, Italy, No: 33.

Dosi, C., & Easter, K. W. (2002). Water scarcity: institutional change, water markets, and privatization. In *Economic Studies on Food, Agriculture, and the Environment* (pp. 91-115). Springer US.

Draper, A. J., Jenkins, M. W., Kirby, K. W., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2003). Economic-engineering optimization for California water management. *Journal of water resources planning and management*, *129*(3), 155-164.

Dungumaro, E. W., & Madulu, N. F. (2003). Public participation in integrated water resources management: the case of Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *28*(20), 1009-1014.

Ekanayake, S. A. B., & Jayasuriya, S. K. (1987). MEASUREMENT OF FIRM-SPECIFIC TECHNICAL EFFICIENCY: A COMPARISON OF METHODS. *Journal of Agricultural Economics*, *38*(1), 115-122.

English, M. (1990). Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *116*(3), 399-412.

Ervin, C. A., & Ervin, D. E. (1982). Factors affecting the use of soil conservation practices: hypotheses, evidence, and policy implications. *Land economics*, *58*(3), 277-292.

FAO (2003). Fao's Global Information System on Water and Agriculture. http://www.fao.org/ag/aquastat.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2011). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing Systems and Risk*. Abingdon: Earthscan Publications.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2012). *Coping with Water Scarcity: An Action Framework for Agriculture and Food Security.* FAO Water Reports 38, Rome: FAO.

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, *120*(3), 253-290.

Feder, G. (1980). Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers*, *32*(2), 263-283.

Fraser, I., & Cordina, D. (1999). An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia. *Agricultural Systems*, *59*(3), 267-282.

Fuglie, K. O. (2010a). Indonesia: from food security to market-led agricultural growth. *The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide*, 343-377

Fuglie, K. O. (2010b). Total factor productivity in the global agricultural economy: Evidence from FAO data. *The shifting patterns of agricultural production and productivity worldwide*, 63-95.

Fuglie, K. O., Wang, S. L., & Ball, V. E. (Eds.). (2012a). *Productivity growth in agriculture: an international perspective*. CABI.

Fuglie, K.O., S.L. Wang, & V.E. Ball. (2012b). "Introduction to Productivity Growth in Agriculture." In *Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective*, eds. K.O. Fuglie, S.L. Wang, and V.E. Ball, 1-12. Wallingford: CAB International.

Garrido, A. (2000). "A mathematical programming model applied to the study of water markets within the Spanish agricultural sector", Annals of Operations Research. 94: 105-123.

Gebregziabher, G., R.E. Namara, & S. Holden. (2012). "Technical efficiency of irrigated and rain-fed smallholder agriculture in Tigray, Ethiopia: A comparative stochastic frontier production function analysis." *Quarterly Journal of International Agriculture* 51 (3): 203-226.

Gebremedhin B. & S. M. Swinton. (2003). Investment in soil conservation in Northern Ethiopia: The role of land tenure security and public programs. Agricultural Economics, 29(1): 69–84.

Gerrard, J. (2000). Fundamentals of soils. Rutledge Fundamentals of Physical Geography .London and New York, pp: 113.

Gleik, P. H. (2008). Can California's Water Problems Be Solved. *Ecology L.Currents*, 35, 71.

Gogus, O., & Boucher, T. O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, *94*(1), 133-144.

Gould, B. W., Saupe, W. E., & Klemme, R. M. (1989). Conservation tillage: the role of farm and operator characteristics and the perception of soil erosion. *Land economics*, *65*(2), 167-182.

Grafton, R. Q., Libecap, G., McGlennon, S., Landry, C., & O'Brien, B. (2011). An integrated assessment of water markets: a cross-country comparison. *Review of Environmental Economics and Policy*, *5*(2), 219-239.

Grafton, R. Q., & Horne, J. (2014). Water markets in the Murray-Darling Basin. *Agricultural Water Management*, *145*(C), 61-71.Greene, W. H. 2003. Econometric analysis. Pearson Education India

Greene, W. H. (2012). Econometric Analysis. 7th edition, Prentice Hall, USA.

Groot, J. C., Rossing, W. A., Jellema, A., Stobbelaar, D. J., Renting, H., & Van Ittersum, M. K. (2007). Exploring multi-scale trade-offs between nature conservation, agricultural profits and landscape quality—a methodology to support discussions on land-use perspectives. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *120*(1), 58-69.

Gunter, A., Goemans, C., Pritchett, J. G., & Thilmany, D. D. (2012, August). Linking an Equilibrium Displacement Mathematical Programming Model and an Input-Output Model to Estimate the Impacts of Drought: An Application to Southeast Colorado. In *Agricultural and Applied Economics Association 2012 Annual Meeting, Seattle, Washington, August* (pp. 12-14).

Hadjigeorgalis, E. (2008). Managing drought through water markets: Farmer preferences in the rio grande basin1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *44*(3), 594-605.

Hadjigeorgalis, E., & Lillywhite, J. (2004). The impact of institutional constraints on the Limarí River Valley water market. *Water Resources Research*, *40*(5).

Hanak, E., & Stryjewski, E. (2012). California's water market, by the numbers: update 2012. *Public Policy Institute of California*.

Hang D.Y., (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.

Hardaker, J.B., R.B. Huirne, J.R Anderson & G. Lien. (2004). Coping with Risk in Agriculture, second ed. Wallingford, UK: CABI, pp: 17-37.

Harou, J., M. Pulido-Velazquez, D.E. Rosenberg, J. Medellín-Azuara, J.R. Lund, & R.E. Howitt. (2009). "Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects." *Journal of Hydrology* 375 (3): 627-643.

Hayati, D., & Lari, M. B. (2000). Farmers' problem and obstacles towards using sprinkler irrigation technology. *Agriculture and Development Economics*, *32*, 187-213.

He, X. F., Cao, H., & Li, F. M. (2007). Econometric analysis of the determinants of adoption of rainwater harvesting and supplementary irrigation technology (RHSIT) in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural water management*, *89*(3), 243-250.

Heady, E.O., H.C. Madsen, KJ. Nicol, & S.H. Hargrave. (1973). "National and interregional models of water demand, land use, and agricultural policies." *Water Resources Research* 9 (4): 777-797.

Hearne, R. R., & Easter, K. W. (1997). The economic and financial gains from water markets in Chile. *Agricultural Economics*, *15*(3), 187-199.

Heckelei, T. (2002). Calibration and estimation of programming models for agricultural supply analysis. *University of Bonn*.

Heerink, N., Bao, X., Li, R., Lu, K., & Feng, S. (2009). Soil and water conservation investments and rural development in China. *China Economic Review*, *20*(2), 288-302.

de Frahan, B. H., Buysse, J., Polomé, P., Fernagut, B., Harmignie, O., Lauwers, L., ... & Van Meensel, J. (2007). Positive mathematical programming for agricultural and environmental policy analysis: review and practice. In *Handbook of operations research in natural resources* (pp. 129-154). Springer US.

Howitt, R. E. (1995). Positive mathematical programming. *American journal of agricultural economics*, *77*(2), 329-342.

Huckett, S. P. (2010). A Comparative Study to Identify Factors Affecting Adoption of Soil and Water Conservation Practices Among Smallhold Farmers in the Njoro River Watershed of Kenya.

Huffaker, R. (2008). Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*, *44*(7).

Hwang, C. L., & Yoon, K. (2012). *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey* (Vol. 186). Springer Science & Business Media.

Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, *155*, 113-124.

Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water management*, *155*, 113-124.

Igodan, C. O., Ohaji, P. E., & Ekpere, J. A. (1988). Factors associated with the adoption of recommended practices for maize production in the Kainji Lake Basin of Nigeria. *Agricultural Administration and Extension*, *29*(2), 149-156.

Isham, J. (2002). The effect of social capital on fertiliser adoption: Evidence from rural Tanzania. *Journal of African Economies, 11*(1), 39-60.

Jahannama, F. (2001). Socio-economic factors influencing the adoption of under-pressure Irrigation systems. *Agr. Eco. Dev, 36,* 187-213.

Jara-Rojas, R., Bravo-Ureta, B. E., & Díaz, J. (2012). Adoption of water conservation practices: A socioeconomic analysis of small-scale farmers in Central Chile. *Agricultural Systems, 110,* 54-62.

Jara-Rojas, R., Bravo-Ureta, B. E., Engler, A., & Díaz, J. (2013). An analysis of the joint adoption of water conservation and soil conservation in Central Chile. *Land use policy, 32,* 292-301.

Jin, S., J. Huang, & S. Rozelle. (2010). "Agricultural Productivity in China." In *The Shifting Patterns of Agricultural Production and Productivity Worldwide*, eds. J.M. Alston, B.A. Babcock, and P.G. Pardey, 229-278. Ames, Iowa: The Midwest Agribusiness Trade Research and Information Center.

Johansson, R.C. (2002). "Pricing Irrigation Water: a literature survey", The world Bank, Working Paper, Washington D.C.

Karimi, S., & Chizari, M. (2007). Studing of small scale farmers Attitude about soil conservation, case study in the Gharah-Chay Watershed of Markazi Province. Monthly Social & Scientific, Economic Magazine Jihad. Agricultural Extension & Rural Development. 273: 54-66.

Karmai, E. (1995). Models of soil conservation technology adoption in developing countries: The case of Iran, *Iran Agricultural Research. 14:* 39-62.

Kelly, W., C.C., Jeel, & Y. Dean. (1994). Surge Irrigation Management. File NF under Irrigation Engineered BS. *Irrigation Operation Management*. Issued January.

Kerhoft, P., G. Foley & G. Barnard. (1990). Agroforestry in Africa: a survey of project experience. In Foley, G. and. Bernard (Eds.). *Ponas Institute*, London: 10-41.

Kiem, A. S. (2013). Drought and water policy in Australia: Challenges for the future illustrated by the issues associated with water trading and climate change adaptation in the Murray–Darling Basin. *Global environmental change, 23*(6), 1615-1626.

Kirda, C. (2002). Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. *Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports*, *22*, 102.

Kirda, C., & Kanber, R. (1999). Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigated agriculture. *Crop yield response to deficit irrigation*, 1-20.

Kuyvenhoven, A., Pender, J., & Ruben, R. (2004). Development strategies for less-favoured areas.

Lahmar, R. (2010). Adoption of conservation agriculture in Europe: lessons of the KASSA project. *Land use policy*, *27*(1), 4-10.

Landry, C. J. (2001). How water markets can end conflicts. *Bozeman, MT: Political Economy Research Center, http://www. perc. org/pdf/guide_water. pdf.*

Lapar, M. L. A., & Pandey, S. (1999). Adoption of soil conservation: the case of the Philippine uplands. *Agricultural economics*, *21*(3), 241-256.

Latruffe, L. (2010). "Competitiveness, productivity and efficiency in the agricultural and agri-food sectors." OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 30, Paris: OECD Publishing.

Lemmen, D. S., Warren, F. J., Lacroix, J., & Bush, E. (2008). From impacts to adaptation: Canada in a changing climate. *Government of Canada, Ottawa*.

Letcher, R. A., B. Croke, A. Jakeman, & W. Merritt. (2006). "An integrated modelling toolbox for water resources assessment and management in highland catchments: Model description." *Agricultural Systems* 89 (1): 106-131.

Leung, L. C., & Cao, D. (2000). On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, *124*(1), 102-113.

Leyva, J. C., Martínez, J. F., & Roa, M. G. (2007). Analysis of the adoption of soil conservation practices in olive groves: the case of mountainous areas in southern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *5*(3), 249-258.

Li, W., Li, Y. P., Li, C. H., & Huang, G. H. (2010). An inexact two-stage water management model for planning agricultural irrigation under uncertainty. *Agricultural Water Management*, *97*(11), 1905-1914.

Lichtenberg, E. (2001). Adoption of soil conservation practices: a revealed preference approach. *College Park, MD, USA, University of Maryland*.

Lin, J. Y. (1991). Education and innovation adoption in agriculture: evidence from hybrid rice in China. *American Journal of Agricultural Economics*, *73*(3), 713-723.

Lingling, L., Renzhi, Z., Zhuzhu, L., Weili, L., Junhong, X., Liqun, C., & Bellotti, B. (2014). Evolution of soil and water conservation in rain-fed areas of China. *International Soil and Water Conservation Research*, *2*(1), 78-90.

Liu, J., J. Williams, A. Zehnder, & H. Yang. (2007). "GEPIC - modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale." *Agricultural Systems* 94: 478-493.

Liu, J., Zehnder, A. J., & Yang, H. (2008). Drops for crops: modelling crop water productivity on a global scale. *Global NEST Journal*, *10*(3), 295-300.

Louw, D. B., & van Schalkwyk, H. D. (2000). Water markets an alternative for central water allocation?. *Agrekon*, *39*(4), 484-494.

Mahboubi, M. R., Irvani, H., Rezvanfar, A., Kalantari, K., & MOHSENI, S. M. (2005). Factors Affecting the Adoption Behavior Regarding Soil Conservation Technologies in the Zarrin Gol Watershed, Golestan Province.

Manjunatha, A. V., Speelman, S., Chandrakanth, M. G., & Van Huylenbroeck, G. (2011). Impact of groundwater markets in India on water use efficiency: a data envelopment analysis approach. *Journal of Environmental Management*, *92*(11), 2924-2929.

Marenya, P. P., & Barrett, C. B. (2007). Household-level determinants of adoption of improved natural resources management practices among smallholder farmers in western Kenya. *Food policy*, *32*(4), 515-536.

Mathijs, E. (2003). Social capital and farmers' willingness to adopt countryside stewardship schemes. *Outlook on agriculture*, *32*(1), 13-16.

Mazvimavi, K., & Twomlow, S. (2009). Socioeconomic and institutional factors influencing adoption of conservation farming by vulnerable households in Zimbabwe. *Agricultural Systems*, *101*(1), 20-29.

Meyer, S.J., K. Hubbard & D.A. Wilhite, (1993). "A crop-specific drought index for corn: Model development and validation", *Agronomy Journal*, 85: 388-395.

Mohanty, N. & Sh. Gupta, (2002). "Breaking the Gridlock in water reforms through water markets", International Experience and implementation issues for India, Working Paper Series, *Julian L. Simon Centre for Policy Research*, August.

Molden, D. (1997). "Accounting for water use and productivity." System-Wide Initiative for Water Management (SWIM) Paper 1. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Molden, D., & R. Sakthivadivel. (1999). "Water accounting to assess use and productivity of water." *International Journal of Water Resources Development* 15 (1-2): 55-71.

Molden, D., & T.Y. Oweis. (2007). "Pathways for increasing agricultural water productivity." In *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, ed. D. Molden, 279-310. London: Earthscan and International Water Management Institute.

Molden, D., Sakthivadivel, R. & Habib, Z., (2001). *Basin-level use and productivity of water: Examples from South Asia* (Vol. 49). IWMI.

Montazar, A., & Kosari, H. (2006). Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. *J Irrig Manage*, *52*, 23-29.

Morris, J. (2002). What is sustainable development and how can we achieve it. *Sustainable Development: Promoting Progress or Perpetuating Poverty*.

Mwakubo, S., Obare, G., Omiti, J., & Mohammed, L. (2006, August). The influence of social capital on natural resource management in marginal areas of Kenya. In *Int. Assoc. Agric. Economists Conference, Gold Coast, Australia Aug* (pp. 12-18).

Nairizi, S. & J.R. Rydzewski, (1977). "Effect of dated soil moisture stress on crop yields", *Expl. Agric*. 13: 51-59.

Napier, T. L. (2000). Soil and water conservation policy approaches in North America, Europe, and Australia. *Water Policy*, *1*(6), 551-565.

Napier, T. L., Thraen, C. S., Gore, A., & Goe, W. R. (1984). Factors affecting adoption of conventional and conservation tillage practices in Ohio. *Journal of soil and water conservation*, *39*(3), 205-209.

Napier, T. L., Napier, A. S., & Tucker, M. A. (1991). The social, economic and institutional factors affecting adoption of soil conservation practices: the Asian experience. *Soil and Tillage Research*, *20*(2), 365-382.

Narayanamoorthy, A. (1997). Economic viability of drip irrigation: An empirical analysis from Maharashtra. *Indian Journal of Agricultural Economics*, *52*(4), 728.

National Water Comission (NWC) , (2012). Australian Water Markets Report: 2011-2012; NWC: Canberra, Australia.

National Water Comission (NWC), (2010). The Impacts of Water Trading in the Southern Murray-Darling Basin: An Economic, Social and Environmental Assessment; NWC: Canberra, Australia.

Nijbroek, R., Hoogenboom, G., & Jones, J. W. (2003). Optimizing irrigation management for a spatially variable soybean field. *Agricultural Systems*, *76*(1), 359-377.

Njuki, J., Mapila, M., Zingore, S., & Delve, R. (2008). The dynamics of social capital in influencing use of soil management options in the Chinyanja Triangle of southern Africa. *Ecology and society*, *13*(2).

Nkonya, E. (2002). Soil conservation practices and non-agricultural land use in the south western highlands of Uganda. *Strategic criteria for rural investment in productivity. SCRIP report. IFPRI, Washington*.

NOROUZI, O., & Chizari, M. (2006). Effective cultural and social factors regarding attitude of wheat farmers of Nahavand Township toward sprinkler irrigation development.

Norris, P. E., & Batie, S. S. (1987). Virginia farmers' soil conservation decisions: An application of Tobit analysis. *Southern Journal of Agricultural Economics*, *19*(01), 79-90.

Nowak, P. (1992). Why farmers adopt production technology Overcoming impediments to adoption of crop residue management techniques will be crucial to implementation of conservation compliance plans. *Journal of Soil and Water Conservation*, *47*(1), 14-16.

Oweis, T. (1997). *Supplemental irrigation: A highly efficient water-use practice*. ICARDA.

Palomo-Hierro, S., Gómez-Limón, J. A., & Riesgo, L. (2015). Water markets in Spain: Performance and challenges. *Water*, *7*(2), 652-678.

Pannell, D. J., Llewellyn, R. S., & Corbeels, M. (2014). The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers. *Agriculture, ecosystems & environment*, *187*, 52-64.

Paudel, G. S., & Thapa, G. B. (2004). Impact of social, institutional and ecological factors on land management practices in mountain watersheds of Nepal. *Applied geography*, *24*(1), 35-55.

Paunlagui, M. M., M. R. Nguyen, & A. C. Rola. (2003). Social Capital, Ecogovernance and Natural Resource Management: A Case Study in Bukidnon. Philippines (No. 03-04). ISPPS Working Paper.

Pender, J. L., & Kerr, J. M. (1998). Determinants of farmers' indigenous soil and water conservation investments in semi-arid India. *Agricultural Economics*, *19*(1), 113-125.

Peterson, D., G. Dwyer, G. Appels & J. Fry, (2004). "Modelling water trade in the southern Murrary-Darling Basin. Staff", Working Paper, *Productivity Commission*, Canberra.

Pfeiffer, L., & Lin, C. Y. C. (2014). Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management*, *67*(2), 189-208.

Piro, T., H. Moghim & A. Rahmani. (2008). Investigating socio-economic influence factors on rural participation in watershed PRA projection (Fars province). *National conference of sciences and Watershed engineering in Iran*, Watershed Management.

Pujol, J., Raggi, M., & Viaggi, D. (2006). The potential impact of markets for irrigation water in Italy and Spain: a comparison of two study areas.

Pujol Planella, J., Raggi, M., & Viaggi, D. (2005). Agricultural water markets: exploring limits and opportunities in Italy and Spain. © *DEIAgra Working Papers, 2005, vol. 1, p. 1-13*.

Putler, D. S., & Zilberman, D. (1988). Computer use in agriculture: evidence from Tulare County, California. *American Journal of Agricultural Economics*, *70*(4), 790-802.

Qureshi, M. E., Schwabe, K., Connor, J., & Kirby, M. (2010). Environmental water incentive policy and return flows. *Water resources research*, *46*(4).

Qureshi, M. E., Shi, T., Qureshi, S. E., & Proctor, W. (2009). Removing barriers to facilitate efficient water markets in the Murray-Darling Basin of Australia. *Agricultural Water Management*, *96*(11), 1641-1651.Ray, D.K., N. Ramankutty, N.D. Mueller, P.C. West, and J.A. Foley. 2013. "Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050." *PLOS ONE* 8 (6): 1-8.

Rezvanfar, A., Samiee, A., & Faham, E. (2009). Analysis of factors affecting adoption of sustainable soil conservation practices among wheat growers. *World Applied Sciences Journal*, *6*(5), 644-651.

Roe, T., A. Dinar, Y. Tsur, & X. Diao. (2005). "Feedback links between economy-wide and farm-level policies: with application to irrigation water management in Morocco." *Journal of Policy Modeling* 27 (8): 905-928.

Rogers, E. M. (1983). Diffusion of innovations. New York, Free Press, 18(20): 271.

Rogers, E.M. (1996). Diffusion of innovation. New York: Macmillan Co. Inc. 320p.

Röhm, O., & Dabbert, S. (2003). Integrating agri-environmental programs into regional production models: an extension of positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, *85*(1), 254-265.

Rost, S., Gerten, D., Bondeau, A., Lucht, W., Rohwer, J., & Schaphoı, S. (2008). Agricultural green and blue water consumption and it's in^uence on the global water system. *Water Resources Research*, 44.

Rounsevell, M. D. A., Annetts, J. E., Audsley, E., Mayr, T., & Reginster, I. (2003). Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *95*(2), 465-479.

Ruttan, V. W. (2002). "Productivity growth in world agriculture: Sources and constraints." *Journal of Economic Perspectives* 16 (4): 161-184.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, *48*(1), 9-26.

Salvatici, L., Anania, G., Arfini, F., Conforti, P., De Muro, P., Londero, P., & Sckokai, P. (2000, March). Recent developments in modelling the CAP: hype or hope. In *65th European Seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE), Bonn*.

Sarker, D., & S. De. (2004). "Non-parametric approach to the study of farm efficiency in agriculture." *Journal of Contemporary Asia* 34 (2): 207-220.

Satyasai, K. J. S., & Kumar, P. (1997). Terms of Transactions in Groundwater Markets: A Study in Anantapur District of Andhra Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Economics*, *52*(4), 751.

Scheaffer, R.I., M. Mendenhall & R.O. Lyman, (1996). "Elementary Survey Sampling", United State of America: Wadsworth Publishing Company.

Scheierling, S. M., Young, R. A., & Cardon, G. E. (2006). Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic, and economic assessment. *Water Resources Research*, *42*(3).

Scheierling, S. M., Treguer, D. O., Booker, J. F., & Decker, E. (2014). How to assess agricultural water productivity? Looking for water in the agricultural productivity and efficiency literature.

Scheierling, S.M. (2013). *Improving Agricultural Water Productivity and Beyond: What are the Options?* Unpublished Concept Note, Water Anchor, Washington, DC: World Bank.

Scheierling, S.M., R.A. Young, and G.E. Cardon. 2006. "Public subsidies for water-conserving irrigation investments: Hydrologic, agronomic and economic assessment." *Water Resources Research* 42 (3).

Seckler, D. (1996). "The new era of water resources management: From "dry" to "wet' water savings*." Research Report 1*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Seekell, D., D'Odorico, P., & Pace, M. (2011). Virtual water transfers unlikely to redress inequality in global water use. *Environ Res Lett*, 6:455–468.

Sherlund, S. M., Barrett, C. B., & Adesina, A. A. (2002). Smallholder technical efficiency controlling for environmental production conditions. *Journal of development economics*, *69*(1), 85-101.

Shively, G. E. (1999). Risks and returns from soil conservation: evidence from low-income farms in the Philippines. *Agricultural Economics*, *21*(1), 53-67.

Shively, G. E. (1998, August). Modeling impacts of soil conservation on productivity and yield variability: Evidence from a heteroskedastic switching regression. In *Selected paper at annual meeting of the American Agricultural Economics Association* (pp. 2-5).

Siddique, K. H. M., Tennant, D., Perry, M. W., & Belford, R. K. (1990). Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Crop and Pasture Science*, *41*(3), 431-447

Sidibé, A. (2005). Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in northern Burkina Faso. *Agricultural water management*, *71*(3), 211-224.

Singh, R., Van Dam, J. C., & Feddes, R. A. (2006). Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agricultural Water Management*, *82*(3), 253-278.

Soltani, G.h., Akbari M. R. & mohamadi, H.(2009). Investigating agricultural water productivity in arid regions (a case study: Marvdasht-Karbal*). 6th biannual Iranian conference of agricultural economics*. Mashhad. Iran. (in farsi)

Soule, M. J., A. Tegene. & K. D. Wiebe. (2000). Land tenure and the adoption of conservation practices. *American journal of agricultural economics*, 82(4): 993-1005.

Stefano, L.D., I.D.P. Gilsanz & F.V. Gil, (2010). "A methodology for the evaluation of water policies in European Countries", *Environmental Management*, 45: 1363-1377.

Rahnama, H., & Fadaei, M. (2016). Modeling the Factors Affecting Organic or Local Cucumber Purchasing Motivations in Northern Iran. *Journal of Food Products Marketing*, 1-12.

Tatlıdil, F. F., Boz, İ., & Tatlidil, H. (2009). Farmers' perception of sustainable agriculture and its determinants: a case study in Kahramanmaras province of Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, *11*(6), 1091-1106.

Taylor, R.G., R.D. Schmidt, L. Stodick, & B.A. Contor. (2014). "Modeling Conjunctive Water Use as a Reciprocal Externality." *American Journal of Agricultural Economics* 96 (3).

Tefera, B., & Sterk, G. (2010). Land management, erosion problems and soil and water conservation in Fincha'a watershed, western Ethiopia. *Land use policy*, *27*(4), 1027-1037.

Tenge, A. J., De Graaff, J., & Hella, J. P. (2004). Social and economic factors affecting the adoption of soil and water conservation in West Usambara highlands, Tanzania. *Land Degradation & Development*, *15*(2), 99-114.

Thangata, P. H., Hildebrand, P. E., & Gladwin, C. H. (2002). Modeling agroforestry adoption and household decision making in Malawi. *African studies quarterly*, *6*(1), 271-293.

Tiwari, K. R., Sitaula, B. K., Nyborg, I. L., & Paudel, G. S. (2008). Determinants of farmers' adoption of improved soil conservation technology in a middle mountain watershed of central Nepal. *Environmental management*, *42*(2), 210-222.

Torres M., S. Vosti, L.H. Bassoi, R. Howitt, M. Maneta, L. Bennett & L. Rodrigues, (2007)."A Demonstration Economic Model for the Buriti Vermelhc sub Catchment of the Sao Francisco River Baisin: Specification, calibration and Preliminary Simulations", Selected Paper prepared for the *American Agricultural Economics Association*, Annual Meeting, Portland, Oregon, July-August.

Tsur, Y., & Dinar, A. (1997). The relative efficiency and implementation costs of alternative methods for pricing irrigation water. *The World Bank Economic Review*, *11*(2), 243-262.

Turinawe, A., L. Drake & J. Mugisha. (2014). Adoption intensity of soil and water conservation technologies: a case of South Western Uganda. *Environment, Development and Sustainability*: 1-20.

United Nation Population Division,(2004), UN Projection Report, New York.

United Nations. (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables.* Department of Economic and Social Affairs, ESA/P/WP.227. New York: United Nations.

Vandeer M.L, (2001). Demand for area crop insurance among litchi producers in northern Vietnam. *Agricultural Economics, 26(2),* 173-184.

Vazifedoust, M., J.C. van Dam, R.A. Feddes, and M. Feizi. (2008). "Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale." *Agricultural Water Management* 95 (2): 89-102.

Voh, J. P. (1982). A study of factors associated with the adoption of recommended farm practices in a Nigerian village. *Agricultural administration*, 9(1): 17-27.

Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R. B.(2000). Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 289(5477):284-288.

Wadud, A. & B. White. (2000). "Farm household efficiency in Bangladesh: a comparison of stochastic frontier and DEA methods." *Applied Economics* 32 (13): 1665-1673.

Wang, S.L., F. Tuan, F. Gale, A. Somwaru, & J. Hansen. (2013). "China's regional agricultural productivity growth in 1985-2007: A multilateral comparison." *Agricultural Economics* 33: 241-251.

Weil, P. M. (1970). The introduction of the ox plow in Central Gambia. African Food Production Systems. The Johns Hopkins Press, Baltimore & London.

Westra, J. V., & Olson, K. D. (1997). *Farmers' decision processes and adoption of conservation tillage* (No. 13380). University of Minnesota, Department of Applied Economics.

Wheeler, S., Garrick, D., Loch, A., & Bjornlund, H. (2013). Evaluating water market products to acquire water for the environment in Australia. *Land Use Policy*, *30*(1), 427-436.

Willcocks, T. J., & S. J. Twomlow. (1993). A review of tillage methods and soil and water conservation in southern Africa. *Soil and Tillage Research*, 27(1), 73-94.

Yang, H. & Zehnder, A. J. B. (2002). Water scarcity and food import: A case study for southern Mediterranean countries. *World Development*, 30(8), 1413–1430.

Yaron, D., H. Voet & A. Dinar. (1992). Innovations on family farms: the Nazareth region in Israel. *American Journal of Agricultural Economics*, 74(2), 361-370.

Yila, O. M., & G. B. Thapa. (2008). Adoption of agricultural land management technologies by smallholder farmers in the Jos Plateau, Nigeria. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 6(4), 277–288.

Yiridoe, E. K., D. O. A. Atari, R. Gordon & S. Smale. (2010). Factors influencing participation in the Nova Scotia environmental farm plan program. *Land Use Policy, 27(4),* 1097-1106.

Young, M. (2014). Trading into trouble? Lessons from Australia's mistakes in water policy reform sequencing. In *Water Markets for the 21st Century* (pp. 203-214). Springer Netherlands.

Young, R.A. (2005). *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods*. Washington, DC: Resources for the Future.

Zekri, S. & W. Easter, (2005). "Estimating the potential gains from water markets: a case study from Tunisia", *Agricultural water management*: 161-175.

Zekri, S., & Easter, K. W. (2007). Water reforms in developing countries: management transfers, private operators and water markets. *Water Policy*, *9*(6), 573-589.

Zekri, S., Kotagama, H., & Boughanmi, H. (2006). Temporary water markets in Oman. *Agricultural and marine sciences*, *11*, 77-84.

Zirahuka, C. K. (2009). Crisis in Kabale District: a case study for food policy reforms.

Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004a). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, *69*(2), 115-133.

Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004b). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, *69*(2), 115-133.

Zwart, S. J., Bastiaanssen, W. G., de Fraiture, C., & Molden, D. J. (2010a). A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat. *Agricultural Water Management*, *97*(10), 1617-1627.

Zwart, S., W. Bastiaanssen, C. de Fraiture, & D. Molden. (2010b). "WATPRO: A remote sensing based model for mapping water productivity of wheat." *Agricultural Water Management, 97*(10), 1628-1636.

پیوست‌ها

پیوست ۱- مدل برنامه ریزی غیر خطی تخصیص آب

```
$Title Water Allocation Integrated Model (Kavar District,Medium Size Farm)
$Ontext

This model helps a farmer to determine irrigation strategies for different  crops in a given crop
pattern by nonlinear programming.

$Offtext


sets  c          crop types                /wheat,barley,corn,onion,sugar,alfalfa/
      cnf(c)     subset of c               /onion,sugar/
      cf(c)                               /wheat,barley,corn/
      cr(c)      crops in current pattern  /wheat,corn,onion,barley,sugar/
      y          year                      /1368 * 1393/
      y1(y)                                /1385 * 1393/
      se         seasons                   /se1,se2,se31,se32,se4/
      t          ten-day periods           /t1*t40/
      s          growth stage periods      /s1,s2,s3,s4,s5/
      sa(s)      subset of s               /s4/
      ss(s)      subset of s               /s1,s2,s4,s5/
      tw(t)      growth ten-day periods for wheat
                                           /t1,t2,t3,t4,t11*t24/
      tw1(tw)    subset of tw(t)           /t2,t3,t4,t11*t24/
      tw2(t)     subset of (t)             /t25*t40/
      twfirst(tw) subset of tw(t)
      twlast(tw)  subset of tw(t)
      tb(t)      growth ten-day periods for barley
                                           /t2,t3,t4,t11*t23/
      tb1(tb)    subset of tb(t)           /t3,t4,t11*t23/
      tb2(t)     subset of (t)             /t24* t40/
      tbfirst(tb) subset of tb(t)
      tblast(tb)  subset of tb(t)
      tc(t)      growth ten-day periods for corn
                                           /t25*t39/
      tc1(tc)    subset of tc(t)           /t26*t39/
      tg1(t)                               /t26*t39/
      tc2(t)     subset of (t)             /t40,t1*t24/
      tcfirst(tc) subset of tc(t)
      tclast(tc)  subset of tc(t)
      to(t)      growth ten-day periods for onion
                                           /t12*t35/
      to1(to)    subset of to(t)           /t13*t35/
      to2(t)     subset of (t)             /t36,t37,t38,t39,t40,t1*t12/
      tofirst(to) subset of to(t)
      tolast(to)  subset of to(t)
      ts(t)      growth ten-day periods for sugar
                                           /t15*t35/
      ts1(ts)    subset of ts(t)           /t16*t35/
      ts2(t)     subset of (t)             /t36,t37,t38,t39,t40,t1*t14/
```

```
tsfirst(ts) subset of ts(t)
tslast(ts)  subset of ts(t)
ta(t)       growth ten-day periods for alfalfa
                              /t13*t39/
ta1(ta)     subset of ta(t)          /t14*t39/
ta2(t)      subset of (t)            /t40,t1*t12/
tafirst(ta) subset of ta(t)
talast(ta)  subset of ta(t)
m1(t)       subset of (t)            /t1,t2,t3,t4,t5,t37,t38,t39/
m2(t)       subset of (t)            /t11*t15/
m3(t)       subset of (t)            /t16*t18/
m4(t)       subset of (t)            /t19*t21/
m5(t)       subset of (t)            /t22*t24/
m6(t)       subset of (t)            /t25*t27/
m7(t)       subset of (t)            /t28*t30/
m8(t)       subset of (t)            /t31*t33/
m9(t)       subset of (t)            /t34*t36/
per         period                   /per1*per9/;
```

table b(y,c) crop revenue in different years(1378 Rials)

	wheat	barley	corn	onion	sugar	alfalfa	
1368	57810572.27	47605007.9	72367533.06	187089609.2	92489804.61	3867637.051	
1369	48625759.47	34875765.24	83196535.91	283105980.6	172445865.3	3146323.041	
1370	42217202.44	26750169.65	89970196.75	269393217.7	161958946.7	2228374.029	
1371	41649620.09	25931702.09	88379699.66	217947541.2	142338391.2	2136523.028	
1372	39499962.72	21374744.41	78438288.71	202613055.1	140792816.4	2855178.037	
1373	44993944.51	25808461.62	89407063.99	278069131.6	147109273.5	2322684.03	
1374	44317726.06	31979891.59	81087972.73	250134914.3	129083646.2	3225063.042	
1375	53716354.85	41264346.91	71669192.29	468225300.5	118281027.6	2703539.035	
1376	45112983.97	43658628.52	71190834.27	391265723.4	140287209.7	3067844.04	
1377	33298934.5	31621662.29	70261448.63	282441159	104931352.5	3070207.04	
1378	49232193.77	45148385.02	94448161.06	297925413.8	181028481.1	3841175.05	
1379	44124907.85	30561550.23	90148802.89	285263268	139817031	3029913.04	
1380	42768476.35	26642503.4	88831882.44	323019462.7	131117357	2540248.033	
1381	38728134.09	37899516.11	84611338.78	223887358.9	152944499.5	3818413.05	
1382	43975752.49	49493105.09	82653955.09	265449999.4	139275254.9	2818949.037	
1383	43472292.36	30123031.59	64091703.55	40062731.65	122735028.2	2619384.034	
1384	54814595.43	36193340.04	71976260.08	248659599	124532537.4	2983105.039	
1385	52842385.71	27385584.62	69967632.91	166099336.7	141232502.6	3476105.046	
1386	53292509.08	24925168.02	76139808.6	105494153.2	119304220.2	2075007.027	
1387	57716212.57	40501431.85	124718095.1	334681895.2	108033392.3	2931466.038	
1388	55929457.08	36199640.73	85093090.03	252257424.5	177154534.5	3658185.048	
1389	40319101.46	19774712.66	71562517.94	369103062.9	158679350.3	2013506.026	
1390	40805992.64	29040689.67	94099331.6	343815986.4	125693178.3	2059201.027	
1391	42599938.43	35992206.28	68909055.63	282447736.5	171001893.8	3432311.045	
1392	44744645.95	34519998.52	56499286.19	324754850.3	156062411.2	3282009.043	
1393	40326343.87	40278755.96	99982312.15	208492088.3	97944753.97	3086486.04 ;	

table pet(t,c) potential evapotranspiration values at ten-day growth periods

	wheat	barley	corn	onion	sugar	alfalfa
t1	15.3	15.3				
t2	14.1	14.1				
t3	12.6	12.6				
t4	11	11				
t5	9	9				
t6	7.2	7.2				

t7 7.2 7.2
t8 7.4 7.4
t9 7.2 7.2
t10 8.3 8.3
t11 9.3 9.3
t12 12.5 12.5 13.8
t13 19.5 19.5 12.8
t14 27.9 27.9 18.8 18 30.3
t15 37.6 37.6 23.8 20.4 34
t16 44.4 44.4 33.8 22 40.7
t17 48 48 38.5 24.6 40
t18 51.6 51.6 45.7 30 43
t19 58 58 53.2 40.1 48.5
t20 64.4 64.4 59 52.1 54.4
t21 70.8 70.8 64.9 64.9 60.6
t22 75.6 75.6 76.2 74.8 72.2
t23 65.3 65.3 75.2 82.1 72.2
t24 33.9 33.9 80.3 86.9 78.2
t25 35.2 77.4 85.8 76.4
t26 33.5 73.7 84.3 73.5
t27 32.5 71.5 83.6 71.5
t28 41.7 77.8 81.8 77.8
t29 48.4 70 79.9 70
t30 58.1 68.3 77.4 69.3
t31 72.7 70 71.7 74.2
t32 69.4 59.1 66 66.6
t33 67.9 54.6 60.5 64.6
t34 59.8 45.3 53.9 56.2
t35 50.6 28.7 47.5 46.9
t36 41.9 41.3 38.9
t37 37.9 38.7
t38 25.7 31.9
t39 12.5 19.7
t40 ;

table root(t,c) the average root depths of different ten-day periods

	wheat	barley	corn	onion	sugar	alfalfa
t1	1.41	1.55				
t2	4.06	4.63				
t3	8.04	9.33				
t4	13.3	15.52				
t5						
t6						
t7						
t8						
t9						
t10						
t11	34.76	35.71				

```
t12   45.05   46.78          .51
t13   55.15   55.35          1.48
t14   65.87   66.72          3.16    1.92    180
t15   73.59   75.64          5.05    5.69    180
t16   85.03   83.37          7.74    12.7    180
t17   90.59   90.79          10.7    21.55   180
t18   95.12   94.72          13.98   32.25   180
t19   98.96   98.3           17.84   45.62   180
t20   100.94  100.8          21.49   58.85   180
t21   102.58  105            25.16   72.46   180
t22   104     106            29.12   87.3    180
t23   110     110            32.53   100.12  180
t24   110     110            35.67   111.79  180
t25                  3.67    38.72   122.78  180
t26                  12.92   41.04   130.66  180
t27                  27.49   42.86   136.24  180
t28                  48.46   44.23   139.46  180
t29                  70.57   44.87   139.99  180
t30                  94.03   45      140     180
t31                  119.45  45      140     180
t32                  140.48  45      140     180
t33                  158.03  45      140     180
t34                  171.43  45      140     180
t35                  178.41  45      140     180
t36                  179.99          140     180
t37                  180                     180
t38                  180                     180
t39                  180                     180
t40                                          ;


parameter   rain(t)  the amount of rain  in ten-day periods
   /t1  4.06,t2  10.2,t3  15.3,t4  16.6,t5  17.8,t6  19,t7  20,t8  21.7,
    t9  23,t10  20.6,t11  17.4,t12   14.7,t13  14.2,t14  13.8,t15  13.3,
    t16  12.6,t17  11.8,t18  11,t19  8.3,t20  5.7,t21  3,t22  2,t23  1,
    t24  0,t25  0,t26  .3,t27  .4,t28  .3,t29  .1,t30  0,t31  0,t32  0,
    t33  0,t34  .1,t35  0,t36  0,t37  2.1,t38  10.5,t39  10.8,t40 16.6/;
parameter   area(c)  crop acreage in current pattern
   /wheat 7 ,barley 1 ,corn 8,onion 1.5,sugar 1.5,alfalfa  0/;

   twfirst(tw)=yes $(ord(tw)  eq 1);
   twlast(tw)=yes  $(ord(tw) eq card(tw));
   tbfirst(tb)=yes $(ord(tb)  eq 1);
   tblast(tb)=yes  $(ord(tb) eq card(tb));
   tcfirst(tc)=yes $(ord(tc)  eq 1);
   tclast(tc)=yes  $(ord(tc) eq card(tc));
   tofirst(to)=yes $(ord(to)  eq 1);
   tolast(to)=yes  $(ord(to) eq card(to));
   tsfirst(ts)=yes $(ord(ts)  eq 1);
   tslast(ts)=yes  $(ord(ts) eq card(ts));
```

```
tafirst(ta)=yes $(ord(ta)  eq 1);
talast(ta)=yes  $(ord(ta) eq card(ta));


table  ky(c,s)  water sensitivity factors of different stage periods
        s1     s2     s3     s4     s5
 wheat  .01     .2     .6     .5     .01
 barley .01     .2     .6     .5     .01
 corn   .01     .372   .558   .078   .09
 onion  .01     .45           .8     .3
 sugar  .12     1             .36    .12
 alfalfa .9     .9     .9     .9     .9 ;

parameter  tr(c) crop revenue in current year(1378 Rials)
  /wheat   46036000
   barley  33675000
   corn    81527000
   onion   265450000
   sugar   138318260
   alfalfa 42991860 /;
parameter  yac(c) Potential yield(ton/hac)
  /wheat   6
   barley  4
   corn    9
   onion   45
   sugar   70
   alfalfa 16 /;


parameters  sw(per)
/ per1    1.65
  per2    1.65
  per3    1.65
  per4    1.5
  per5    1.5
  per6    1.5
  per7    1.4
  per8    1.4
  per9    1.4/;


scalar   effa     application efficiency        /.6/
         effc     conveyance efficiency        /1/
         fsize    farm size                    /11/
         hday     hours per day                /22/
         pw       water price                  /750/
         fc       fild capacity                /.26/
         pwp      permanent witting point      /.11/
         smw0     initial avilable soil water for wheat
                                               /.11/
```

```
smb0    initial avilable soil water for barley
                        /.11/
smc0    initial avilable soil water for corn
                        /.11/
smo0    initial avilable soil water for onion
                        /.26/
sms0    initial avilable soil water for sugar
                        /.26/
sma0    initial avilable soil water for alfalfa
                        /.26/
 a      implies variation in coefficient of absolute risk aversion
                        /1/
rmin    minimum coefficient of absolute risk aversion
                        /.0000001/
rmax    maximum coefficient of absolute risk aversion
                        /.00000035/;


 parameters   petg(c,s) potential evapotranspiration values  at growth stage periods;
  petg('wheat','s1')=pet('t1','wheat')+pet('t2','wheat')+0.00001;
  petg('wheat','s2')=pet('t3','wheat')+pet('t4','wheat')+pet('t11','wheat')+pet('t12','wheat')
            +pet('t13','wheat')+pet('t14','wheat')+pet('t15','wheat')+pet('t16','wheat')
            +pet('t17','wheat')+0.00001;
  petg('wheat','s3')=pet('t18','wheat')+pet('t19','wheat')+.00001;
  petg('wheat','s4')=pet('t20','wheat')+pet('t21','wheat')+pet('t22','wheat')+0.000001;
  petg('wheat','s5')=pet('t23','wheat')+pet('t24','wheat')+0.000001;
  petg('barley','s1')=pet('t2','barley')+pet('t3','barley')+0.000001;
  petg('barley','s2')=pet('t4','barley')+pet('t11','barley')+pet('t12','barley')
            +pet('t13','barley')+pet('t14','barley')+pet('t15','barley')+pet('t16','barley')
            +pet('t17','barley')+0.000001;
  petg('barley','s3')=pet('t17','barley')+pet('t18','barley')+0.0000001;
  petg('barley','s4')=pet('t19','barley')+pet('t20','barley')+pet('t21','barley')+0.0000001;
  petg('barley','s5')=pet('t22','barley')+pet('t23','barley')+0.00001;
  petg('corn','s1')=pet('t25','corn')+pet('t26','corn')+0.000001;
  petg('corn','s2')=pet('t27','corn')+pet('t28','corn')+pet('t29','corn')+0.00001;
  petg('corn','s3')=pet('t30','corn')+pet('t31','corn')+0.000001;

petg('corn','s4')=pet('t32','corn')+pet('t33','corn')+pet('t34','corn')+pet('t35','corn')+pet('t36','corn')+0
.000001;
  petg('corn','s5')=pet('t37','corn')+pet('t38','corn')+pet('t39','corn')+0.00001;
  petg('onion','s1')=pet('t12','onion')+pet('t13','onion')+pet('t14','onion')+0.000001;

petg('onion','s2')=pet('t15','onion')+pet('t16','onion')+pet('t17','onion')+pet('t18','onion')+0.000001;


petg('onion','s4')=pet('t19','onion')+pet('t20','onion')+pet('t21','onion')+pet('t22','onion')+pet('t23','on
ion')+pet('t24','onion')+
            pet('t25','onion')+pet('t26','onion')+pet('t27','onion')+pet('t28','onion')+
            pet('t29','onion')+pet('t30','onion')+0.000001;
```

```
petg('onion','s5')=pet('t31','onion')+pet('t32','onion')+pet('t33','onion')+pet('t34','onion')+pet('t35','on
ion')+0.0000001;
    petg('sugar','s1')=pet('t15','sugar')+pet('t16','sugar')+pet('t17','sugar')+0.000001;
    petg('sugar','s2')=+pet('t18','sugar')+pet('t19','sugar')+pet('t20','sugar')+
                pet('t21','sugar')+pet('t22','sugar')+pet('t23','sugar')+
                pet('t24','sugar')+0.000001;

    petg('sugar','s4')=pet('t25','sugar')+pet('t26','sugar')+pet('t27','sugar')+
                pet('t28','sugar')+pet('t29','sugar')+0.0000001;
    petg('sugar','s5')=pet('t30','sugar')+pet('t31','sugar')+ pet('t32','sugar')
               +pet('t33','sugar')+pet('t34','sugar')+pet('t35','sugar')+0.000001;

    petg('alfalfa','s2')=pet('t13','alfalfa')+pet('t14','alfalfa')+pet('t15','alfalfa')+
                  pet('t16','alfalfa')+pet('t17','alfalfa')+pet('t18','alfalfa')+
                  pet('t19','alfalfa')+pet('t20','alfalfa')+pet('t21','alfalfa')+
                  pet('t22','alfalfa')+pet('t23','alfalfa')+pet('t24','alfalfa')+
                  pet('t25','alfalfa')+pet('t26','alfalfa')+pet('t27','alfalfa')+
                  pet('t28','alfalfa')+pet('t29','alfalfa')+pet('t30','alfalfa')+
                  pet('t31','alfalfa')+pet('t32','alfalfa')+pet('t33','alfalfa')+
                  pet('t34','alfalfa')+pet('t35','alfalfa')+pet('t36','alfalfa')+
                  pet('t37','alfalfa')+pet('t38','alfalfa')+pet('t39','alfalfa');

    petg('alfalfa','s2')=sum(t$ts(t),pet(t,'sugar'));


  parameter   p(c)  soil water depletion factors
     /wheat    .738
      barley   .763
      corn     .589
      onion    .590
      sugar    .579
      alfalfa  .580/;
  parameter  smdp1 initial available soil water for wheat and barley
           smdp2 initial available soil water for corn
           smdp3 initial available soil water for sugar onion and alfalfa;
           smdp1=pwp;
           smdp2=pwp+.85*(fc-pwp);
           smdp3=fc;

  variables
          smw(t)    available soil water content at time interval t for wheat
          smb(t)    available soil water content at time interval t for barley
          smc(t)    available soil water content at time interval t for corn
          smo(t)    available soil water content at time interval t for onion
          sms(t)    available soil water content at time interval t for sugar
          sma(t)    available soil water content at time interval t for alfalfa
          aetw(t)   actual evapotranspiration value at time interval t for wheat
          aetb(t)   actual evapotranspiration value at time interval t for barley
          aetc(t)   actual evapotranspiration value at time interval t for corn
```

aeto(t) actual evapotranspiration value at time interval t for onion
aets(t) actual evapotranspiration value at time interval t for sugar
aeta(t) actual evapotranspiration value at time interval t for alfalfa
aetg(c,s) actual evapotranspiration values at growth stage periods
ir(c,t) irrigation water allocated to crop c at time interval t
dp(c,t) deep percolation for crop c at time interval t
gw(per) groundwater at time m
ycmax(c) maximum relative yield
z1(c,y) crop revenue at time y
z2(y) total crop revenue at time y
u(y) utility at time y
z11 crop revenue in profit maximization model
zz total net revenue in profit maximization model
watcost11 water cost in profit maximization model
watcost1(y) water cost at time y
percol(y)
z3(y) total net revenue at time y
wateru(c) crop water use
wateru12(c)
wateru1(y) total crop water use
wateru11
k total utility;

positive variables

smw,smb,smc,smo,sms,sma,aetw,aetb,aetc,aeto,aets,aeta,ir,dp,gw,aetg,ycmax,u,wateru1,wateru,watcost1,watcost11,watr1;

ir.up(c,t)= 120;
dp.up(c,t)=9;
gw.up(per)=.7;

equations

percolation(y)
percolat(c,t)
smr1(tw) soil water content constraint 1 for wheat
smr2(tw) soil water content constraint 2 for wheat
smr3(tb) soil water content constraint 1 for barley
smr4(tb) soil water content constraint 2 for barley
smr5(tc) soil water content constraint 1 for corn
smr6(tc) soil water content constraint 2 for corn
smr7(to) soil water content constraint 1 for onion
smr8(to) soil water content constraint 2 for onion
smr9(ts) soil water content constraint 1 for sugar
smr10(ts) soil water content constraint 2 for sugar
smr11(ta) soil water content constraint 1 for alfalfa
smr12(ta) soil water content constraint 2 for alfalfa
smwb(tw) soil water balance for wheat
smbb(tb) soil water balance for barley
smcb(tc) soil water balance for corn
smob(to) soil water balance for onion
smsb(ts) soil water balance for sugar
smab(ta) soil water balance for alfalfa

aetwb1(tw) actual evapotranspiration constraint for wheat 2
aetbb(tb) actual evapotranspiration constraint for barley
aetcb(tc) actual evapotranspiration constraint for corn
aetob(to) actual evapotranspiration constraint for onion
aetsb(ts) actual evapotranspiration constraint for sugar
aetab(ta) actual evapotranspiration constraint for alfalfa
aetg11 actual ET at growth stage s1 for wheat
aetg12 actual ET at growth stage s2 for wheat
aetg13 actual ET at growth stage s3 for wheat
aetg14 actual ET at growth stage s4 for wheat
aetg15 actual ET at growth stage s5 for wheat
aetg21 actual ET at growth stage s1 for barley
aetg22 actual ET at growth stage s2 for barley
aetg23 actual ET at growth stage s2 for barley
aetg24 actual ET at growth stage s4 for barley
aetg25 actual ET at growth stage s5 for barley
aetg31 actual ET at growth stage s1 for corn
aetg32 actual ET at growth stage s2 for corn
aetg33 actual ET at growth stage s3 for corn
aetg34 actual ET at growth stage s4 for corn
aetg35 actual ET at growth stage s5 for corn
aetg41 actual ET at growth stage s1 for onion
aetg42 actual ET at growth stage s2 for onion
aetg44 actual ET at growth stage s4 for onion
aetg45 actual ET at growth stage s5 for onion
aetg51 actual ET at growth stage s1 for sugar
aetg52 actual ET at growth stage s2 for sugar
aetg54 actual ET at growth stage s4 for sugar
aetg55 actual ET at growth stage s5 for sugar
aetg6 actual ET at growth stage s1 for alfalfa formul 1
aetg7 actual ET at growth stage s1 for alfalfa formul 2
irrig1(t) irrigation restriction for wheat
irrig2(t) irrigation restriction for barley
irrig3(t) irrigation restriction for corn
irrig4(t) irrigation restriction for onion
irrig5(t) irrigation restriction for sugar
irrig6(t) irrigation restriction for alfalfa
rest1(c,s) restriction about aetg-petg ratio 1
rest5(c,ss) restriction about aetg-petg ratio 2
rest11(tw) restriction about relation between aet and pet for wheat
rest12(tb) restriction about relation between aet and pet for barley
rest13(tc) restriction about relation between aet and pet for corn
rest14(to) restriction about relation between aet and pet for onion
rest15(ts) restriction about relation between aet and pet for sugar
rest16(ta) restriction about relation between aet and pet for alfalfa
rest2(c) restriction about maximum relative yield 1
rest3(c) restriction about maximum relative yield 2
yy1(c) maximum relative yield 1
yy11(c) maximum relative yield 2
waterbal1 water balance at period m1

```
            waterbal2       water balance at period m2
            waterbal3       water balance at period m3
            waterbal4       water balance at period m4
            waterbal5       water balance at period m5
            waterbal6       water balance at period m6
            waterbal7       water balance at period m7
            waterbal8       water balance at period m8
            waterbal9       water balance at period m9
            yy2(c,y)        total revenue obtained from crop c at time y
            yy22            total revenue  in profit maximization model
            profit(y)       total revenue obtained from all crop at time y
            profit121       total net revenue in profit maximization model
            wateruse1(c)    total  crop water use
            wateruse2(y)    total water use
            wateruse22
            wateruse11(c)
            watercost(y)    water cost
            watercost121    water cost in profit maximization model
            netprof(y)      total net revenue
            utility(y)      utility
            rest110
            totu            total utility
            rest10
            rest50
            rest100
            rest500;
 percolat(c,t)..        dp(c,t) =g= (1- effa)*ir(c,t);
 smr1(tw)..             smw(tw) =l= fc;
 smr2(tw)..             smw(tw) =g= pwp;
 smr3(tb)..             smb(tb) =l= fc;
 smr4(tb)..             smb(tb) =g= pwp;
 smr5(tc)..             smc(tc) =l= fc;
 smr6(tc)..             smc(tc) =g= pwp;
 smr7(to)..             smo(to) =l= fc;
 smr8(to)..             smo(to) =g= pwp;
 smr9(ts)..             sms(ts) =l= fc;
 smr10(ts)..            sms(ts) =g= pwp;
 smr11(ta)..            sma(ta) =l= fc;
 smr12(ta)..            sma(ta) =g= pwp;
 smwb(tw)$tw1(tw)..     smw(tw)*root(tw,'wheat') =e= smw(tw-1)*root(tw-1,'wheat') +rain(tw-
1)+ir('wheat',tw-1)-aetw(tw-1)+smdp1*(root(tw,'wheat')- root(tw-1,'wheat'))-dp('wheat',tw-1);
 smbb(tb)$tb1(tb)..     smb(tb)*root(tb,'barley') =e= smb(tb-1)*root(tb-1,'barley') +rain(tb-
1)+ir('barley',tb-1)-aetb(tb-1)+smdp1*(root(tb,'barley')- root(tb-1,'barley'))-dp('barley',tb-1);
 smcb(tc)$tc1(tc)..     smc(tc)*root(tc,'corn') =e= smc(tc-1)*root(tc-1,'corn') +rain(tc-
1)+ir('corn',tc-1)-aetc(tc-1)+smdp2*(root(tc,'corn')- root(tc-1,'corn'))-dp('corn',tc-1);
 smob(to)$to1(to)..     smo(to)*root(to,'onion') =e= smo(to-1)*root(to-1,'onion') +rain(to-
1)+ir('onion',to-1)-aeto(to-1)+smdp3*(root(to,'onion')- root(to-1,'onion'))-dp('onion',to-1);
 smsb(ts)$ts1(ts)..     sms(ts)*root(ts,'sugar') =e= sms(ts-1)*root(ts-1,'sugar') +rain(ts-
1)+ir('sugar',ts-1)-aets(ts-1)+smdp3*(root(ts,'sugar')- root(ts-1,'sugar'))-dp('sugar',ts-1);
 smab(ta)$ta1(ta)..     sma(ta)*root(ta,'alfalfa') =e= sma(ta-1)*root(ta-1,'alfalfa') +rain(ta-
```

```
1)+ir('alfalfa',ta-1)-aeta(ta-1)+smdp3*(root(ta,'alfalfa')- root(ta-1,'alfalfa'))-dp('alfalfa',ta-1);
  aetwb1(tw)..          aetw(tw) =l= pet(tw,'wheat')*(smw(tw)+(ir('wheat',tw)+rain(tw)-
dp('wheat',tw))/(2*root(tw,'wheat')-pwp)/((1-p('wheat'))*(fc-pwp)));
  aetbb(tb)..           aetb(tb) =l= pet(tb,'barley')*(smb(tb)+(ir('barley',tb)+rain(tb)-
dp('barley',tb))/(2*root(tb,'barley')-pwp)/((1-p('barley'))*(fc-pwp)));
  aetcb(tc)..           aetc(tc) =l= pet(tc,'corn')*(smc(tc)+(ir('corn',tc)+rain(tc)-
dp('corn',tc))/(2*root(tc,'corn')-pwp)/((1-p('corn'))*(fc-pwp)));
  aetob(to)..           aeto(to) =l= pet(to,'onion')*(smo(to)+(ir('onion',to)+rain(to)-
dp('onion',to))/(2*root(to,'onion')-pwp)/((1-p('onion'))*(fc-pwp)));
  aetsb(ts)..           aets(ts) =l= pet(ts,'sugar')*(sms(ts)+(ir('sugar',ts)+rain(ts)-
dp('sugar',ts))/(2*root(ts,'sugar')-pwp)/((1-p('sugar'))*(fc-pwp)));
  aetab(ta)..           aeta(ta) =l= pet(ta,'alfalfa')*(sma(ta)+(ir('alfalfa',ta)+rain(ta)-
dp('alfalfa',ta))/(2*root(ta,'alfalfa')-pwp)/((1-p('alfalfa'))*(fc-pwp)));
  aetg11..              aetg('wheat','s1') =e= aetw('t1')+aetw('t2');
  aetg12..              aetg('wheat','s2') =e= aetw('t3')+aetw('t4')+aetw('t11')+aetw('t12')
                                +aetw('t13')+aetw('t14')+aetw('t15')+aetw('t16')
                                +aetw('t17');
  aetg13..              aetg('wheat','s3') =e= aetw('t18')+aetw('t19');
  aetg14..              aetg('wheat','s4') =e= aetw('t20')+aetw('t21')+aetw('t22');
  aetg15..              aetg('wheat','s5') =e= aetw('t23')+aetw('t24');
  aetg21..              aetg('barley','s1')=e= aetb('t2')+aetb('t3');
  aetg22..              aetg('barley','s2')=e= aetb('t4')+aetb('t11')+aetb('t12')
                                +aetb('t13')+aetb('t14')+aetb('t15')+aetb('t16')
                                +aetb('t17');
  aetg23..              aetg('barley','s3')=e= aetb('t17')+aetb('t18');
  aetg24..              aetg('barley','s4')=e= aetb('t19')+aetb('t20')+aetb('t21');
  aetg25..              aetg('barley','s5')=e= aetb('t22')+aetb('t23');
  aetg31..              aetg('corn','s1')=e= aetc('t25')+aetc('t26');
  aetg32..              aetg('corn','s2')=e= aetc('t27')+aetc('t28')+aetc('t29');
  aetg33..              aetg('corn','s3')=e= aetc('t30')+aetc('t31');
  aetg34..              aetg('corn','s4')=e= aetc('t32')+aetc('t33')+aetc('t34')+aetc('t35')+aetc('t36');
  aetg35..              aetg('corn','s5')=e= aetc('t37')+aetc('t38')+aetc('t39');
  aetg41..              aetg('onion','s1')=e=aeto('t12')+aeto('t13')+aeto('t14');
  aetg42..              aetg('onion','s2')=e=aeto('t15')+aeto('t16')+aeto('t17')+aeto('t18');

  aetg44..
aetg('onion','s4')=e=aeto('t19')+aeto('t20')+aeto('t21')+aeto('t22')+aeto('t23')+aeto('t24')+
                                aeto('t25')+aeto('t26')+aeto('t27')+aeto('t28')+
                                aeto('t29')+aeto('t30');
  aetg45..              aetg('onion','s5')=e=aeto('t31')+aeto('t32')+aeto('t33')+aeto('t34')+aeto('t35');
  aetg51..              aetg('sugar','s1')=e=aets('t15')+aets('t16')+aets('t17');
  aetg52..              aetg('sugar','s2')=e=aets('t18')+aets('t19')+aets('t20')+
                                aets('t21')+aets('t22')+aets('t23')+
                                aets('t24');

  aetg54..              aetg('sugar','s4')=e=aets('t25')+aets('t26')+aets('t27')+
                                aets('t28')+aets('t29');
  aetg55..              aetg('sugar','s5')=e=aets('t30')+aets('t31')+ aets('t32')
                                +aets('t33')+aets('t34')+aets('t35');
```

```
aetg6..          aetg('alfalfa','s2')=e= aeta('t13')+aeta('t14')+aeta('t15')+
                                         aeta('t16')+aeta('t17')+aeta('t18')+
                                         aeta('t19')+aeta('t20')+aeta('t21')+
                                         aeta('t22')+aeta('t23')+aeta('t24')+
                                         aeta('t25')+aeta('t26')+aeta('t27')+
                                         aeta('t28')+aeta('t29')+aeta('t30')+
                                         aeta('t31')+aeta('t32')+aeta('t33')+
                                         aeta('t34')+aeta('t35')+aeta('t36')+
                                         aeta('t37')+aeta('t38')+aeta('t39');

aetg7..              aetg('alfalfa','s2')=e=sum(t$ts(t),aeta(t));

rest1(c,s)$(cr(c)$cf(c))..     aetg(c,'s5')/(petg(c,'s5')) =g= .4;
rest5(c,ss)$cr(c)..            aetg(c,'s5')/petg(c,'s5') =g= .4;
rest100(c,s)$(cr(c)$cf(c))..   aetg(c,'s4')/(petg(c,'s4')) =g= .4;
rest500(c,ss)$cr(c)..          aetg(c,'s4')/petg(c,'s4') =g= .4;
rest10(c,s)$(cr(c)$cf(c))..    aetg(c,s)/(petg(c,s)) =g= .4;
rest50(c,ss)$cr(c)..           aetg(c,ss)/petg(c,ss) =g= .4;
rest11(tw)..                   aetw(tw) =l= pet(tw,'wheat');
rest12(tb)..                   aetb(tb) =l= pet(tb,'barley');
rest13(tc)..                   aetc(tc) =l= pet(tc,'corn');
rest14(to)..                   aeto(to) =l= pet(to,'onion');
rest15(ts)..                   aets(ts) =l= pet(ts,'sugar');
rest16(ta)..                   aeta(ta) =l= pet(ta,'alfalfa');
smc.lo(t)=smc0;
smc.fx(tcfirst) = smc.lo(tcfirst);
smw.lo(t)=smw0;
smw.fx(twfirst) = smw.lo(twfirst);
smb.lo(t)=smb0;
smb.fx(tbfirst) = smb.lo(tbfirst);
smo.lo(t)=smo0;
smo.fx(tofirst) = smo.lo(tofirst);
sms.lo(t)=sms0;
sms.fx(tsfirst) = sms.lo(tsfirst);
sma.lo(t)=sma0;
sma.fx(tafirst) = sma.lo(tafirst);
rest110(c,s)..     (aetg('corn',s))/(petg('corn',s))=g=0.8;

yy1(c)$(cr(c)$cf(c))..         ycmax(c) =e= prod(s, (1-ky(c,s)*(1-(aetg(c,s))/(petg(c,s)))));
yy11(c)$(cr(c)$cnf(c))..       ycmax(c) =e= prod(s$ss(s), (1-ky(c,s)*(1-(aetg(c,s))/(petg(c,s)))));
rest2(c)$cr(c)..       ycmax(c) =l=1;
rest3(c)$cr(c)..       ycmax(c) =g= 0;
irrig1(t)$tw2(t)..     ir('wheat',t) =e=0;
irrig2(t)$tb2(t)..     ir('barley',t) =e=0;
irrig3(t)$tc2(t)..     ir('corn',t) =e=0;
irrig4(t)$to2(t)..     ir('onion',t) =e=0;
irrig5(t)$ts2(t)..     ir('sugar',t) =e=0;
irrig6(t)$ta2(t)..     ir('alfalfa',t) =e=0;
waterbal1..            sum((c,t)$m1(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=60*gw('per1')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
```

```
 waterbal2..          sum((c,t)$m2(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=90*gw('per2')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal3..          sum((c,t)$m3(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per3')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal4..          sum((c,t)$m4(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per4')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal5..          sum((c,t)$m5(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per5')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal6..          sum((c,t)$m6(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per6')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal7..          sum((c,t)$m7(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per7')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal8..          sum((c,t)$m8(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per8')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 waterbal9..          sum((c,t)$m9(t),ir(c,t)*area(c)*10)
=l=30*gw('per9')*hday*effa*effc*fsize*3.600;
 yy2(c,y)$cr(c)..        z1(c,y) =e=ycmax(c)$cr(c)*area(c)$cr(c)*(b(y,c)/1000);
 profit(y)..            z2(y) =e= sum(c$cr(c),z1(c,y));
 wateruse1(c)$cr(c)..     wateru(c) =e= sum(t,ir(c,t))*(1/(effa*effc));
 wateruse2(y)..          wateru1(y) =e= sum((c,t),ir(c,t)*area(c)*10*(1/(effa*effc)));
 percolation(y)..        percol(y) =e= sum((c,t),dp(c,t));
 watercost(y)..          watcost1(y)=e= wateru1(y)*pw;
 netprof(y)..           z3(y) =e= z2(y)-1460000- watcost1(y);
 utility(y)..           u(y) =e= 1-exp(-((1-a)*rmin + a*rmax)*(z3(y)/10));
 totu..                  k =e= sum(y, u(y)*(1/26) );
 yy22..                   z11 =e= sum(c$cr(c),ycmax(c)*area(c)*tr(c));
 watercost121..              watcost11 =e= sum((c,t)$cr(c),ir(c,t)*(1/(effa*effc))*area(c)*10*pw);
 profit121..               zz =e= (z11-watcost11-1460000)/10;
 wateruse11(c)$cr(c)..        wateru12(c) =e= sum(t,ir(c,t)*10*(1/(effa*effc)));
 wateruse22..              wateru11 =e= sum((c,t),ir(c,t)*area(c)*10*(1/(effa*effc)));

model alim1   /smr1,smr2,smr3,smr4,smr5,smr6,smr7,smr8,smr9,smr10,
          smwb,smbb,smcb,smob,smsb,aetwb1,aetbb,aetcb,aetob,aetsb,

aetg11,aetg12,aetg13,aetg14,aetg15,aetg21,aetg22,aetg23,aetg24,aetg25,aetg31,aetg32,aetg33,aetg
34,aetg35,
          aetg41,aetg42,aetg44,aetg45, aetg51,aetg52,aetg54,aetg55,
          irrig1,irrig2,irrig3,irrig4,irrig5
          ,rest1,rest11,rest12,rest13,rest14,rest15,rest2,rest3,rest5,yy1,yy11,waterbal1,waterbal2
          ,waterbal3, waterbal4,waterbal5,waterbal6,waterbal7,waterbal8,rest110,
          waterbal9,yy2,profit,wateruse11,wateruse2,watercost,netprof,utility,totu/;


solve alim1 using nlp maximizing k;

  display   ir.l;
  display   petg;
  display   aetg.l;
  display   aetw.l;
  display   pet;
```

```
 parameter  def(c,s);
         def(c,s)=aetg.l(c,s)/(petg(c,s)+0.00001);
 display    def;
 parameter  ez;
         ez=(sum(y,z3.l(y))/26);
 display    ez;
 parameter  ez1;
         ez1=ez-(sum(y,watcost1.l(y))/26);
 display    ez1;
  parameter  water110(c);
         water110(c)= sum(s,def(c,s)*petg(c,s)*10*(1/.42));
  display    water110;
   display    wateru12.l;
    parameter  productivity(c);
         productivity(c)=(ycmax.l(c)*yac(C)*1000) /(wateru12.l(c)+.001);
  display    productivity;

 model alim2   /smr1,smr2,smr3,smr4,smr5,smr6,smr7,smr8,smr9,smr10,
            smwb,smbb,smcb,smob,smsb,aetwb1,aetbb,aetcb,aetob,aetsb,

aetg11,aetg12,aetg13,aetg14,aetg15,aetg21,aetg22,aetg23,aetg24,aetg25,aetg31,aetg32,aetg33,aetg
34,aetg35,

aetg41,aetg42,aetg44,aetg45,aetg51,aetg52,aetg54,aetg55,irrig1,irrig2,irrig3,irrig4,irrig5
            ,rest1,rest11,rest12,rest13,rest14,rest15,rest2,rest3,rest5,yy1,yy11,waterbal1,waterbal2
            ,waterbal3, waterbal4,waterbal5,waterbal6,waterbal7,waterbal8,

waterbal9,yy22,wateruse22,wateruse11,watercost121,profit121,rest10,rest50,rest100,rest500/;


   solve alim2 using nlp maximizing zz;

  display   ir.l,ycmax.l;
  display   petg;
  display   aetg.l;
  display   aetw.l;
  display   pet;
  parameter def(c,s);
         def(c,s)=(aetg.l(c,s)$cr(c))/(petg(c,s)$cr(c)+0.0001);
 display    def;
 display    wateru12.l;
 parameter  productivity1(c);
         productivity1(c)=(ycmax.l(c)*yac(C)*1000) /(wateru12.l(c)+.001);
 display    productivity1;
 parameter  productivity2(c);
         productivity2(c)=((ycmax.l(c)*tr(C))-(wateru12.l(c)*pw)) /(wateru12.l(c)+.001);
 display    productivity2;
 parameter  gm(c);
         gm(c)=(ycmax.l(c)*tr(C))-(wateru12.l(c)*pw);
 parameter  yield(c);
```

```
        yield(c)=(ycmax.l(c)*yac(C)*1000);

display    effa,ycmax.l,gm,yield,zz.l;
```

پیوست ۲: مدل برنامه ریزی تخصیص زمین اصلاح شده

```
$Title Farm1
$Ontext

This model helps a farmer to determine simultaneously irrigation strategies and crop patterns by
corrected land allocation model.

$Offtext


Sets

I      Crops  /wheat1*wheat63,barely1*barely63,colza1*colza30,corn1*corn33,rice1/

S(I) sonati /wheat1*wheat21,barely1*barely21,colza1*colza10,corn1*corn11,rice1/

B(I) barani /wheat22*wheat42,barely22*barely42,colza11*colza20,corn12*corn22/

L(I) lole /wheat43*wheat63,barely43*barely63,colza21*colza30,corn23*corn33/

D    decade /d1*d27/

K    water ability and day /1,2/;

Parameter   GM(I) gross margin crop

/wheat1      46036000
wheat2       44579680
wheat3       43123360
wheat4       41667040
wheat5       40210720
wheat6       38754400
wheat7       41667040
wheat8       37298080
wheat9       32929120
wheat10      28560160
wheat11      24191200
wheat12      42395200
wheat13      38754400
wheat14      35113600
wheat15      31472800
wheat16      27832000
wheat17      45963184
wheat18      45890365
wheat19      45817552
wheat20      45744736
wheat21      45744736
wheat22      44326323
wheat23      42870003
wheat24      41413683
```

wheat25	39957363
wheat26	38501043
wheat27	37044723
wheat28	39957363
wheat29	35588403
wheat30	31219443
wheat31	26850483
wheat32	22481523
wheat33	40685523
wheat34	37044723
wheat35	33403923
wheat36	29763122
wheat37	26122323
wheat38	44253507
wheat39	44180691
wheat40	44107875
wheat41	44035059
wheat42	44035059
wheat43	40273089
wheat44	38816769
wheat45	37360449
wheat46	35904129
wheat47	34447809
wheat48	32991489
wheat49	35904129
wheat50	31535169
wheat51	27166209
wheat52	22797249
wheat53	18428289
wheat54	36632289
wheat55	32991489
wheat56	29350689
wheat57	25709889
wheat58	22069089
wheat59	40200273
wheat60	40127457
wheat61	40054641
wheat62	39981825
wheat63	39909009
corn1	81527000
corn2	80802311
corn3	80077622
corn4	77358920
corn5	73244840
corn6	65997950
corn7	50468900
corn8	76350650
corn9	71174300
corn10	79456460
corn11	77385920

corn12	79817323
corn13	79092634
corn14	78367954
corn15	75676243
corn16	71535163
corn17	64288273
corn18	48759223
corn19	74640973
corn20	69464623
corn21	77746783
corn22	75676243
corn23	75764089
corn24	75039400
corn25	74314711
corn26	71623009
corn27	67481929
corn28	60235039
corn29	44708989
corn30	70587739
corn31	65411389
corn32	73693549
corn33	71623009
barely1	33675000
barely2	33641251
barely3	33607502
barely4	33573753
barely5	33540004
barely6	33506255
barely7	33642785
barely8	33610570
barely9	33578355
barely10	33546140
barely11	33513925
barely12	33130412
barely13	32585825
barely14	32041237
barely15	31496649
barely16	30952061
barely17	33549208
barely18	33423416
barely19	33297624
barely20	33171832
barely21	33046040
barely22	31965323
barely23	31931574
barely24	31897825
barely25	31864076
barely26	31830327
barely27	31796578
barely28	31933108

barely29	31900893
barely30	31868678
barely31	31836463
barely32	31804248
barely33	31420735
barely34	30876148
barely35	30331560
barely36	29786972
barely37	29242384
barely38	31839531
barely39	31713739
barely40	31857947
barely41	31462155
barely42	31336363
barely43	27912089
barely44	27878340
barely45	27844591
barely46	27810842
barely47	27777093
barely48	27743344
barely49	27879874
barely50	27847659
barely51	27815444
barely52	27783229
barely53	27751014
barely54	27367501
barely55	26822914
barely56	26278326
barely57	25733738
barely58	25189150
barely59	27786297
barely60	27660505
barely61	27534713
barely62	27408921
barely63	27283129
colza1	42208560
colza2	41041140
colza3	39873720
colza4	38706300
colza5	39534581
colza6	36860602
colza7	34186623
colza8	40408516
colza9	38608471
colza10	36808427
colza11	40498883
colza12	39331463
colza13	38164043
colza14	36996623
colza15	37824904

colza16	35150925
colza17	32476946
colza18	38698839
colza19	36898794
colza20	35098750
colza21	36445649
colza22	35278229
colza23	34110809
colza24	32943389
colza25	33771670
colza26	31097691
colza27	28423712
colza28	34645605
colza29	32845560
colza30	31045516
rice1	271995730

/;

Table waterR(I,D) net water crop

	d1	d2	d3	d4
wheat1	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat2	471.5	40.5	35.9	90.7
wheat3	471.5	36.0	31.9	80.6
wheat4	471.5	31.5	28.0	70.5
wheat5	471.5	27.0	24.0	60.5
wheat6	471.5	22.5	20.0	50.4
wheat7	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat8	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat9	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat10	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat11	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat12	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat13	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat14	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat15	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat16	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat17	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat18	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat19	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat20	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat21	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat22	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat23	471.5	40.5	35.9	90.7
wheat24	471.5	36.0	31.9	80.6
wheat25	471.5	31.5	28.0	70.5
wheat26	471.5	27.0	24.0	60.5
wheat27	471.5	22.5	20.0	50.4
wheat28	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat29	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat30	471.5	44.9	39.9	100.8

wheat31	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat32	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat33	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat34	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat35	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat36	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat37	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat38	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat39	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat40	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat41	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat42	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat43	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat44	471.5	40.5	35.9	90.7
wheat45	471.5	36.0	31.9	80.6
wheat46	471.5	31.5	28.0	70.5
wheat47	471.5	27.0	24.0	60.5
wheat48	471.5	22.5	20.0	50.4
wheat49	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat50	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat51	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat52	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat53	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat54	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat55	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat56	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat57	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat58	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat59	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat60	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat61	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat62	471.5	44.9	39.9	100.8
wheat63	471.5	44.9	39.9	100.8
barely1	443.2	44.9	39.9	100.8
barely2	443.2	40.5	35.9	90.7
barely3	443.2	36.0	31.9	80.6
barely4	443.2	31.5	28.0	70.5
barely5	443.2	27.0	24.0	60.5
barely6	443.2	22.5	20.0	50.4
barely7	443.2	44.9	39.9	100.8
barely8	443.2	44.9	39.9	100.8
barely9	443.2	44.9	39.9	100.8
barely10	443.2	44.9	39.9	100.8
barely11	443.2	44.9	39.9	100.8
barely12	443.2	44.9	39.9	100.8
barely13	443.2	44.9	39.9	100.8
barely14	443.2	44.9	39.9	100.8
barely15	443.2	44.9	39.9	100.8
barely16	443.2	44.9	39.9	100.8
barely17	443.2	44.9	39.9	100.8

barely18	443.2	44.9	39.9	100.8
barely19	443.2	44.9	39.9	100.8
barely20	443.2	44.9	39.9	100.8
barely21	443.2	44.9	39.9	100.8
barely22	443.2	44.9	39.9	100.8
barely23	443.2	40.5	35.9	90.7
barely24	443.2	36.0	31.9	80.6
barely25	443.2	31.5	28.0	70.5
barely26	443.2	27.0	24.0	60.5
barely27	443.2	22.5	20.0	50.4
barely28	443.2	44.9	39.9	100.8
barely29	443.2	44.9	39.9	100.8
barely30	443.2	44.9	39.9	100.8
barely31	443.2	44.9	39.9	100.8
barely32	443.2	44.9	39.9	100.8
barely33	443.2	44.9	39.9	100.8
barely34	443.2	44.9	39.9	100.8
barely35	443.2	44.9	39.9	100.8
barely36	443.2	44.9	39.9	100.8
barely37	443.2	44.9	39.9	100.8
barely38	443.2	44.9	39.9	100.8
barely39	443.2	44.9	39.9	100.8
barely40	443.2	44.9	39.9	100.8
barely41	443.2	44.9	39.9	100.8
barely42	443.2	44.9	39.9	100.8
barely43	443.2	44.9	39.9	100.8
barely44	443.2	40.5	35.9	90.7
barely45	443.2	36.0	31.9	80.6
barely46	443.2	31.5	28.0	70.5
barely47	443.2	27.0	24.0	60.5
barely48	443.2	22.5	20.0	50.4
barely49	443.2	44.9	39.9	100.8
barely50	443.2	44.9	39.9	100.8
barely51	443.2	44.9	39.9	100.8
barely52	443.2	44.9	39.9	100.8
barely53	443.2	44.9	39.9	100.8
barely54	443.2	44.9	39.9	100.8
barely55	443.2	44.9	39.9	100.8
barely56	443.2	44.9	39.9	100.8
barely57	443.2	44.9	39.9	100.8
barely58	443.2	44.9	39.9	100.8
barely59	443.2	44.9	39.9	100.8
barely60	443.2	44.9	39.9	100.8
barely61	443.2	44.9	39.9	100.8
barely62	443.2	44.9	39.9	100.8
barely63	443.2	44.9	39.9	100.8
colza1	540.6	516.7	516.7	516.7
colza2	516.5	465.0	516.7	516.7
colza3	492.4	413.3	516.7	516.7
colza4	468.3	516.7	516.7	516.7

colza5	540.6	516.7	516.7	516.7
colza6	540.6	516.7	516.7	516.7
colza7	540.6	516.7	516.7	516.7
colza8	540.6	516.7	516.7	516.7
colza9	540.6	516.7	516.7	516.7
colza10	540.6	516.7	516.7	516.7
colza11	540.6	516.7	516.7	516.7
colza12	516.5	465.0	516.7	516.7
colza13	492.4	413.3	516.7	516.7
colza14	468.3	516.7	516.7	516.7
colza15	540.6	516.7	516.7	516.7
colza16	540.6	516.7	516.7	516.7
colza17	540.6	516.7	516.7	516.7
colza18	540.6	516.7	516.7	516.7
colza19	540.6	516.7	516.7	516.7
colza20	540.6	516.7	516.7	516.7
colza21	540.6	516.7	516.7	516.7
colza22	516.5	465.0	516.7	516.7
colza23	492.4	413.3	516.7	516.7
colza24	468.3	516.7	516.7	516.7
colza25	540.6	516.7	516.7	516.7
colza26	540.6	516.7	516.7	516.7
colza27	540.6	516.7	516.7	516.7
colza28	540.6	516.7	516.7	516.7
colza29	540.6	516.7	516.7	516.7
colza30	540.6	516.7	516.7	516.7
corn1	0	0	0	0
corn2	0	0	0	0
corn3	0	0	0	0
corn4	0	0	0	0
corn5	0	0	0	0
corn6	0	0	0	0
corn7	0	0	0	0
corn8	0	0	0	0
corn9	0	0	0	0
corn10	0	0	0	0
corn11	0	0	0	0
corn12	0	0	0	0
corn13	0	0	0	0
corn14	0	0	0	0
corn15	0	0	0	0
corn16	0	0	0	0
corn17	0	0	0	0
corn18	0	0	0	0
corn19	0	0	0	0
corn20	0	0	0	0
corn21	0	0	0	0
corn22	0	0	0	0
corn23	0	0	0	0
corn24	0	0	0	0

corn25	0	0	0	0
corn26	0	0	0	0
corn27	0	0	0	0
corn28	0	0	0	0
corn29	0	0	0	0
corn30	0	0	0	0
corn31	0	0	0	0
corn32	0	0	0	0
corn33	0	0	0	0
rice1	0	0	0	0

+

	d5	d6	d7	d8	d9	d10
wheat1	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat2	150.4	233.1	197.7	202.2	394.5	355.4
wheat3	133.7	207.2	175.7	179.7	394.5	355.4
wheat4	117.0	181.3	153.7	157.2	394.5	355.4
wheat5	100.3	155.4	131.8	134.8	394.5	355.4
wheat6	83.6	129.5	109.8	112.3	394.5	355.4
wheat7	167.2	259.0	219.6	224.6	355.1	319.9
wheat8	167.2	259.0	219.6	224.6	315.6	284.3
wheat9	167.2	259.0	219.6	224.6	276.2	248.8
wheat10	167.2	259.0	219.6	224.6	236.7	213.2
wheat11	167.2	259.0	219.6	224.6	197.3	177.7
wheat12	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat13	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat14	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat15	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat16	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat17	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat18	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat19	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat20	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat21	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat22	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat23	150.4	233.1	197.7	202.2	394.5	355.4
wheat24	133.7	207.2	175.7	179.7	394.5	355.4
wheat25	117.0	181.3	153.7	157.2	394.5	355.4
wheat26	100.3	155.4	131.8	134.8	394.5	355.4
wheat27	83.6	129.5	109.8	112.3	394.5	355.4
wheat28	167.2	259.0	219.6	224.6	355.1	319.9
wheat29	167.2	259.0	219.6	224.6	315.6	284.3
wheat30	167.2	259.0	219.6	224.6	276.2	248.8
wheat31	167.2	259.0	219.6	224.6	236.7	213.2
wheat32	167.2	259.0	219.6	224.6	197.3	177.7
wheat33	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat34	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat35	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat36	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat37	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat38	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4

wheat39	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat40	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat41	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat42	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat43	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat44	150.4	233.1	197.7	202.2	394.5	355.4
wheat45	133.7	207.2	175.7	179.7	394.5	355.4
wheat46	117.0	181.3	153.7	157.2	394.5	355.4
wheat47	100.3	155.4	131.8	134.8	394.5	355.4
wheat48	83.6	129.5	109.8	112.3	394.5	355.4
wheat49	167.2	259.0	219.6	224.6	355.1	319.9
wheat50	167.2	259.0	219.6	224.6	315.6	284.3
wheat51	167.2	259.0	219.6	224.6	276.2	248.8
wheat52	167.2	259.0	219.6	224.6	236.7	213.2
wheat53	167.2	259.0	219.6	224.6	197.3	177.7
wheat54	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat55	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat56	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat57	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat58	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat59	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat60	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat61	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat62	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
wheat63	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely1	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely2	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely3	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely4	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely5	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely6	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely7	150.4	233.1	197.7	224.6	394.5	355.4
barely8	133.7	207.2	175.7	224.6	394.5	355.4
barely9	117.0	181.3	153.7	224.6	394.5	355.4
barely10	100.3	155.4	131.8	224.6	394.5	355.4
barely11	83.6	129.5	109.8	224.6	394.5	355.4
barely12	167.2	259.0	219.6	202.2	355.1	319.9
barely13	167.2	259.0	219.6	179.7	315.6	284.3
barely14	167.2	259.0	219.6	157.2	276.2	248.8
barely15	167.2	259.0	219.6	134.8	236.7	213.2
barely16	167.2	259.0	219.6	112.3	197.3	177.7
barely17	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely18	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely19	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely20	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely21	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely22	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely23	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely24	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely25	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4

barely26	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely27	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely28	150.4	233.1	197.7	224.6	394.5	355.4
barely29	133.7	207.2	175.7	224.6	394.5	355.4
barely30	117.0	181.3	153.7	224.6	394.5	355.4
barely31	100.3	155.4	131.8	224.6	394.5	355.4
barely32	83.6	129.5	109.8	224.6	394.5	355.4
barely33	167.2	259.0	219.6	202.2	355.1	319.9
barely34	167.2	259.0	219.6	179.7	315.6	284.3
barely35	167.2	259.0	219.6	157.2	276.2	248.8
barely36	167.2	259.0	219.6	134.8	236.7	213.2
barely37	167.2	259.0	219.6	112.3	197.3	177.7
barely38	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely39	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely40	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely41	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely42	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely43	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely44	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely45	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely46	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely47	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely48	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely49	150.4	233.1	197.7	224.6	394.5	355.4
barely50	133.7	207.2	175.7	224.6	394.5	355.4
barely51	117.0	181.3	153.7	224.6	394.5	355.4
barely52	100.3	155.4	131.8	224.6	394.5	355.4
barely53	83.6	129.5	109.8	224.6	394.5	355.4
barely54	167.2	259.0	219.6	202.2	355.1	319.9
barely55	167.2	259.0	219.6	179.7	315.6	284.3
barely56	167.2	259.0	219.6	157.2	276.2	248.8
barely57	167.2	259.0	219.6	134.8	236.7	213.2
barely58	167.2	259.0	219.6	112.3	197.3	177.7
barely59	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely60	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely61	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely62	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
barely63	167.2	259.0	219.6	224.6	394.5	355.4
colza1	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza2	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza3	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza4	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza5	516.7	516.7	701.7	701.7	701.7	862.4
colza6	516.7	516.7	623.7	623.7	623.7	862.4
colza7	516.7	516.7	545.8	545.8	545.8	862.4
colza8	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza9	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza10	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza11	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza12	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4

colza13	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza14	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza15	516.7	516.7	701.7	701.7	701.7	862.4
colza16	516.7	516.7	623.7	623.7	623.7	862.4
colza17	516.7	516.7	545.8	545.8	545.8	862.4
colza18	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza19	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza20	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza21	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza22	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza23	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza24	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza25	516.7	516.7	701.7	701.7	701.7	862.4
colza26	516.7	516.7	623.7	623.7	623.7	862.4
colza27	516.7	516.7	545.8	545.8	545.8	862.4
colza28	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza29	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
colza30	516.7	516.7	779.7	779.7	779.7	862.4
corn1	0	0	0	0	0	0
corn2	0	0	0	0	0	0
corn3	0	0	0	0	0	0
corn4	0	0	0	0	0	0
corn5	0	0	0	0	0	0
corn6	0	0	0	0	0	0
corn7	0	0	0	0	0	0
corn8	0	0	0	0	0	0
corn9	0	0	0	0	0	0
corn10	0	0	0	0	0	0
corn11	0	0	0	0	0	0
corn12	0	0	0	0	0	0
corn13	0	0	0	0	0	0
corn14	0	0	0	0	0	0
corn15	0	0	0	0	0	0
corn16	0	0	0	0	0	0
corn17	0	0	0	0	0	0
corn18	0	0	0	0	0	0
corn19	0	0	0	0	0	0
corn20	0	0	0	0	0	0
corn21	0	0	0	0	0	0
corn22	0	0	0	0	0	0
corn23	0	0	0	0	0	0
corn24	0	0	0	0	0	0
corn25	0	0	0	0	0	0
corn26	0	0	0	0	0	0
corn27	0	0	0	0	0	0
corn28	0	0	0	0	0	0
corn29	0	0	0	0	0	0
corn30	0	0	0	0	0	0
corn31	0	0	0	0	0	0
corn32	0	0	0	0	0	0

corn33	0	0	0	0	0	0
rice1	0	0	0	0	0	0

+

	d11	d12	d13	d14	d15	d16	
wheat1	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat2	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat3	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat4	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat5	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat6	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat7	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat8	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat9	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat10	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat11	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat12	353.3	318.5	298.4	227.5	164.4	0
wheat13	314.1	283.1	265.2	227.5	164.4	0
wheat14	274.8	247.8	232.1	227.5	164.4	0
wheat15	235.5	212.4	198.9	227.5	164.4	0
wheat16	196.3	177.0	165.8	227.5	164.4	0
wheat17	392.5	353.9	331.5	204.8	148.0	0
wheat18	392.5	353.9	331.5	182.0	131.5	0
wheat19	392.5	353.9	331.5	159.3	115.1	0
wheat20	392.5	353.9	331.5	136.5	98.7	0
wheat21	392.5	353.9	331.5	113.8	82.2	0
wheat22	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat23	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat24	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat25	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat26	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat27	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat28	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat29	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat30	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat31	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat32	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat33	353.3	318.5	298.4	227.5	164.4	0
wheat34	314.1	283.1	265.2	227.5	164.4	0
wheat35	274.8	247.8	232.1	227.5	164.4	0
wheat36	235.5	212.4	198.9	227.5	164.4	0
wheat37	196.3	177.0	165.8	227.5	164.4	0
wheat38	392.5	353.9	331.5	204.8	148.0	0
wheat39	392.5	353.9	331.5	182.0	131.5	0
wheat40	392.5	353.9	331.5	159.3	115.1	0
wheat41	392.5	353.9	331.5	136.5	98.7	0
wheat42	392.5	353.9	331.5	113.8	82.2	0
wheat43	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat44	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat45	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0

wheat46	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat47	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat48	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat49	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat50	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat51	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat52	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat53	392.5	353.9	331.5	227.5	164.4	0
wheat54	353.3	318.5	298.4	227.5	164.4	0
wheat55	314.1	283.1	265.2	227.5	164.4	0
wheat56	274.8	247.8	232.1	227.5	164.4	0
wheat57	235.5	212.4	198.9	227.5	164.4	0
wheat58	196.3	177.0	165.8	227.5	164.4	0
wheat59	392.5	353.9	331.5	204.8	148.0	0
wheat60	392.5	353.9	331.5	182.0	131.5	0
wheat61	392.5	353.9	331.5	159.3	115.1	0
wheat62	392.5	353.9	331.5	136.5	98.7	0
wheat63	392.5	353.9	331.5	113.8	82.2	0
barely1	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely2	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely3	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely4	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely5	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely6	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely7	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely8	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely9	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely10	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely11	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely12	353.3	353.9	331.5	0	0	0
barely13	314.1	353.9	331.5	0	0	0
barely14	274.8	353.9	331.5	0	0	0
barely15	235.5	353.9	331.5	0	0	0
barely16	196.3	353.9	331.5	0	0	0
barely17	392.6	318.5	298.4	0	0	0
barely18	392.6	283.1	265.2	0	0	0
barely19	392.6	247.8	232.1	0	0	0
barely20	392.6	212.4	198.9	0	0	0
barely21	392.6	177.0	165.8	0	0	0
barely22	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely23	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely24	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely25	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely26	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely27	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely28	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely29	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely30	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely31	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely32	392.6	353.9	331.5	0	0	0

barely33	353.3	353.9	331.5	0	0	0
barely34	314.1	353.9	331.5	0	0	0
barely35	274.8	353.9	331.5	0	0	0
barely36	235.5	353.9	331.5	0	0	0
barely37	196.3	353.9	331.5	0	0	0
barely38	392.6	318.5	298.4	0	0	0
barely39	392.6	283.1	265.2	0	0	0
barely40	392.6	247.8	232.1	0	0	0
barely41	392.6	212.4	198.9	0	0	0
barely42	392.6	177.0	165.8	0	0	0
barely43	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely44	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely45	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely46	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely47	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely48	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely49	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely50	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely51	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely52	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely53	392.6	353.9	331.5	0	0	0
barely54	353.3	353.9	331.5	0	0	0
barely55	314.1	353.9	331.5	0	0	0
barely56	274.8	353.9	331.5	0	0	0
barely57	235.5	353.9	331.5	0	0	0
barely58	196.3	353.9	331.5	0	0	0
barely59	392.6	318.5	298.4	0	0	0
barely60	392.6	283.1	265.2	0	0	0
barely61	392.6	247.8	232.1	0	0	0
barely62	392.6	212.4	198.9	0	0	0
barely63	392.6	177.0	165.8	0	0	0
colza1	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza2	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza3	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza4	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza5	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza6	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza7	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza8	862.4	862.4	282.2	0	0	0
colza9	862.4	862.4	250.8	0	0	0
colza10	862.4	862.4	219.5	0	0	0
colza11	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza12	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza13	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza14	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza15	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza16	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza17	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza18	862.4	862.4	282.2	0	0	0
colza19	862.4	862.4	250.8	0	0	0

colza20	862.4	862.4	219.5	0	0	0
colza21	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza22	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza23	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza24	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza25	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza26	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza27	862.4	862.4	313.5	0	0	0
colza28	862.4	862.4	282.2	0	0	0
colza29	862.4	862.4	250.8	0	0	0
colza30	862.4	862.4	219.5	0	0	0
corn1	0	0	0	0	0	0
corn2	0	0	0	0	0	0
corn3	0	0	0	0	0	0
corn4	0	0	0	0	0	0
corn5	0	0	0	0	0	0
corn6	0	0	0	0	0	0
corn7	0	0	0	0	0	0
corn8	0	0	0	0	0	0
corn9	0	0	0	0	0	0
corn10	0	0	0	0	0	0
corn11	0	0	0	0	0	0
corn12	0	0	0	0	0	0
corn13	0	0	0	0	0	0
corn14	0	0	0	0	0	0
corn15	0	0	0	0	0	0
corn16	0	0	0	0	0	0
corn17	0	0	0	0	0	0
corn18	0	0	0	0	0	0
corn19	0	0	0	0	0	0
corn20	0	0	0	0	0	0
corn21	0	0	0	0	0	0
corn22	0	0	0	0	0	0
corn23	0	0	0	0	0	0
corn24	0	0	0	0	0	0
corn25	0	0	0	0	0	0
corn26	0	0	0	0	0	0
corn27	0	0	0	0	0	0
corn28	0	0	0	0	0	0
corn29	0	0	0	0	0	0
corn30	0	0	0	0	0	0
corn31	0	0	0	0	0	0
corn32	0	0	0	0	0	0
corn33	0	0	0	0	0	0
rice1	0	0	0	0	0	0

+

	d17	d18	d19	d20	d21	d22
wheat1	0	0	0	0	0	0
wheat2	0	0	0	0	0	0
wheat3	0	0	0	0	0	0

wheat4	0	0	0	0	0	0
wheat5	0	0	0	0	0	0
wheat6	0	0	0	0	0	0
wheat7	0	0	0	0	0	0
wheat8	0	0	0	0	0	0
wheat9	0	0	0	0	0	0
wheat10	0	0	0	0	0	0
wheat11	0	0	0	0	0	0
wheat12	0	0	0	0	0	0
wheat13	0	0	0	0	0	0
wheat14	0	0	0	0	0	0
wheat15	0	0	0	0	0	0
wheat16	0	0	0	0	0	0
wheat17	0	0	0	0	0	0
wheat18	0	0	0	0	0	0
wheat19	0	0	0	0	0	0
wheat20	0	0	0	0	0	0
wheat21	0	0	0	0	0	0
wheat22	0	0	0	0	0	0
wheat23	0	0	0	0	0	0
wheat24	0	0	0	0	0	0
wheat25	0	0	0	0	0	0
wheat26	0	0	0	0	0	0
wheat27	0	0	0	0	0	0
wheat28	0	0	0	0	0	0
wheat29	0	0	0	0	0	0
wheat30	0	0	0	0	0	0
wheat31	0	0	0	0	0	0
wheat32	0	0	0	0	0	0
wheat33	0	0	0	0	0	0
wheat34	0	0	0	0	0	0
wheat35	0	0	0	0	0	0
wheat36	0	0	0	0	0	0
wheat37	0	0	0	0	0	0
wheat38	0	0	0	0	0	0
wheat39	0	0	0	0	0	0
wheat40	0	0	0	0	0	0
wheat41	0	0	0	0	0	0
wheat42	0	0	0	0	0	0
wheat43	0	0	0	0	0	0
wheat44	0	0	0	0	0	0
wheat45	0	0	0	0	0	0
wheat46	0	0	0	0	0	0
wheat47	0	0	0	0	0	0
wheat48	0	0	0	0	0	0
wheat49	0	0	0	0	0	0
wheat50	0	0	0	0	0	0
wheat51	0	0	0	0	0	0
wheat52	0	0	0	0	0	0
wheat53	0	0	0	0	0	0

wheat54	0	0	0	0	0	0
wheat55	0	0	0	0	0	0
wheat56	0	0	0	0	0	0
wheat57	0	0	0	0	0	0
wheat58	0	0	0	0	0	0
wheat59	0	0	0	0	0	0
wheat60	0	0	0	0	0	0
wheat61	0	0	0	0	0	0
wheat62	0	0	0	0	0	0
wheat63	0	0	0	0	0	0
barely1	0	0	0	0	0	0
barely2	0	0	0	0	0	0
barely3	0	0	0	0	0	0
barely4	0	0	0	0	0	0
barely5	0	0	0	0	0	0
barely6	0	0	0	0	0	0
barely7	0	0	0	0	0	0
barely8	0	0	0	0	0	0
barely9	0	0	0	0	0	0
barely10	0	0	0	0	0	0
barely11	0	0	0	0	0	0
barely12	0	0	0	0	0	0
barely13	0	0	0	0	0	0
barely14	0	0	0	0	0	0
barely15	0	0	0	0	0	0
barely16	0	0	0	0	0	0
barely17	0	0	0	0	0	0
barely18	0	0	0	0	0	0
barely19	0	0	0	0	0	0
barely20	0	0	0	0	0	0
barely21	0	0	0	0	0	0
barely22	0	0	0	0	0	0
barely23	0	0	0	0	0	0
barely24	0	0	0	0	0	0
barely25	0	0	0	0	0	0
barely26	0	0	0	0	0	0
barely27	0	0	0	0	0	0
barely28	0	0	0	0	0	0
barely29	0	0	0	0	0	0
barely30	0	0	0	0	0	0
barely31	0	0	0	0	0	0
barely32	0	0	0	0	0	0
barely33	0	0	0	0	0	0
barely34	0	0	0	0	0	0
barely35	0	0	0	0	0	0
barely36	0	0	0	0	0	0
barely37	0	0	0	0	0	0
barely38	0	0	0	0	0	0
barely39	0	0	0	0	0	0
barely40	0	0	0	0	0	0

barely41	0	0	0	0	0	0
barely42	0	0	0	0	0	0
barely43	0	0	0	0	0	0
barely44	0	0	0	0	0	0
barely45	0	0	0	0	0	0
barely46	0	0	0	0	0	0
barely47	0	0	0	0	0	0
barely48	0	0	0	0	0	0
barely49	0	0	0	0	0	0
barely50	0	0	0	0	0	0
barely51	0	0	0	0	0	0
barely52	0	0	0	0	0	0
barely53	0	0	0	0	0	0
barely54	0	0	0	0	0	0
barely55	0	0	0	0	0	0
barely56	0	0	0	0	0	0
barely57	0	0	0	0	0	0
barely58	0	0	0	0	0	0
barely59	0	0	0	0	0	0
barely60	0	0	0	0	0	0
barely61	0	0	0	0	0	0
barely62	0	0	0	0	0	0
barely63	0	0	0	0	0	0
colza1	0	0	0	0	0	0
colza2	0	0	0	0	0	0
colza3	0	0	0	0	0	0
colza4	0	0	0	0	0	0
colza5	0	0	0	0	0	0
colza6	0	0	0	0	0	0
colza7	0	0	0	0	0	0
colza8	0	0	0	0	0	0
colza9	0	0	0	0	0	0
colza10	0	0	0	0	0	0
colza11	0	0	0	0	0	0
colza12	0	0	0	0	0	0
colza13	0	0	0	0	0	0
colza14	0	0	0	0	0	0
colza15	0	0	0	0	0	0
colza16	0	0	0	0	0	0
colza17	0	0	0	0	0	0
colza18	0	0	0	0	0	0
colza19	0	0	0	0	0	0
colza20	0	0	0	0	0	0
colza21	0	0	0	0	0	0
colza22	0	0	0	0	0	0
colza23	0	0	0	0	0	0
colza24	0	0	0	0	0	0
colza25	0	0	0	0	0	0
colza26	0	0	0	0	0	0
colza27	0	0	0	0	0	0

colza28	0	0	0	0	0	0
colza29	0	0	0	0	0	0
colza30	0	0	0	0	0	0
corn1	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn2	172.0	168.6	505.2	703.8	673.9	726.8
corn3	152.9	149.9	505.2	703.8	673.9	726.8
corn4	191.1	187.3	505.2	703.8	606.5	726.8
corn5	191.1	187.3	505.2	703.8	539.1	726.8
corn6	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	654.1
corn7	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	581.4
corn8	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn9	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn10	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn11	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn12	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn13	172.0	168.6	505.2	703.8	673.9	726.8
corn14	152.9	149.9	505.2	703.8	673.9	726.8
corn15	191.1	187.3	505.2	703.8	606.5	726.8
corn16	191.1	187.3	505.2	703.8	539.1	726.8
corn17	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	654.1
corn18	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	581.4
corn19	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn20	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn21	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn22	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn23	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn24	172.0	168.6	505.2	703.8	673.9	726.8
corn25	152.9	149.9	505.2	703.8	673.9	726.8
corn26	191.1	187.3	505.2	703.8	606.5	726.8
corn27	191.1	187.3	505.2	703.8	539.1	726.8
corn28	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	654.1
corn29	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	581.4
corn30	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn31	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn32	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
corn33	191.1	187.3	505.2	703.8	673.9	726.8
rice1	732.6	718.1	803.8	743.6	730.1	787.4

+

	d23	d24	d25	d26	d27
wheat1	0	0	0	0	0
wheat2	0	0	0	0	0
wheat3	0	0	0	0	0
wheat4	0	0	0	0	0
wheat5	0	0	0	0	0
wheat6	0	0	0	0	0
wheat7	0	0	0	0	0
wheat8	0	0	0	0	0
wheat9	0	0	0	0	0
wheat10	0	0	0	0	0
wheat11	0	0	0	0	0

wheat12	0	0	0	0	0
wheat13	0	0	0	0	0
wheat14	0	0	0	0	0
wheat15	0	0	0	0	0
wheat16	0	0	0	0	0
wheat17	0	0	0	0	0
wheat18	0	0	0	0	0
wheat19	0	0	0	0	0
wheat20	0	0	0	0	0
wheat21	0	0	0	0	0
wheat22	0	0	0	0	0
wheat23	0	0	0	0	0
wheat24	0	0	0	0	0
wheat25	0	0	0	0	0
wheat26	0	0	0	0	0
wheat27	0	0	0	0	0
wheat28	0	0	0	0	0
wheat29	0	0	0	0	0
wheat30	0	0	0	0	0
wheat31	0	0	0	0	0
wheat32	0	0	0	0	0
wheat33	0	0	0	0	0
wheat34	0	0	0	0	0
wheat35	0	0	0	0	0
wheat36	0	0	0	0	0
wheat37	0	0	0	0	0
wheat38	0	0	0	0	0
wheat39	0	0	0	0	0
wheat40	0	0	0	0	0
wheat41	0	0	0	0	0
wheat42	0	0	0	0	0
wheat43	0	0	0	0	0
wheat44	0	0	0	0	0
wheat45	0	0	0	0	0
wheat46	0	0	0	0	0
wheat47	0	0	0	0	0
wheat48	0	0	0	0	0
wheat49	0	0	0	0	0
wheat50	0	0	0	0	0
wheat51	0	0	0	0	0
wheat52	0	0	0	0	0
wheat53	0	0	0	0	0
wheat54	0	0	0	0	0
wheat55	0	0	0	0	0
wheat56	0	0	0	0	0
wheat57	0	0	0	0	0
wheat58	0	0	0	0	0
wheat59	0	0	0	0	0
wheat60	0	0	0	0	0
wheat61	0	0	0	0	0

wheat62	0	0	0	0	0
wheat63	0	0	0	0	0
barely1	0	0	0	0	0
barely2	0	0	0	0	0
barely3	0	0	0	0	0
barely4	0	0	0	0	0
barely5	0	0	0	0	0
barely6	0	0	0	0	0
barely7	0	0	0	0	0
barely8	0	0	0	0	0
barely9	0	0	0	0	0
barely10	0	0	0	0	0
barely11	0	0	0	0	0
barely12	0	0	0	0	0
barely13	0	0	0	0	0
barely14	0	0	0	0	0
barely15	0	0	0	0	0
barely16	0	0	0	0	0
barely17	0	0	0	0	0
barely18	0	0	0	0	0
barely19	0	0	0	0	0
barely20	0	0	0	0	0
barely21	0	0	0	0	0
barely22	0	0	0	0	0
barely23	0	0	0	0	0
barely24	0	0	0	0	0
barely25	0	0	0	0	0
barely26	0	0	0	0	0
barely27	0	0	0	0	0
barely28	0	0	0	0	0
barely29	0	0	0	0	0
barely30	0	0	0	0	0
barely31	0	0	0	0	0
barely32	0	0	0	0	0
barely33	0	0	0	0	0
barely34	0	0	0	0	0
barely35	0	0	0	0	0
barely36	0	0	0	0	0
barely37	0	0	0	0	0
barely38	0	0	0	0	0
barely39	0	0	0	0	0
barely40	0	0	0	0	0
barely41	0	0	0	0	0
barely42	0	0	0	0	0
barely43	0	0	0	0	0
barely44	0	0	0	0	0
barely45	0	0	0	0	0
barely46	0	0	0	0	0
barely47	0	0	0	0	0
barely48	0	0	0	0	0

barely49	0	0	0	0	0
barely50	0	0	0	0	0
barely51	0	0	0	0	0
barely52	0	0	0	0	0
barely53	0	0	0	0	0
barely54	0	0	0	0	0
barely55	0	0	0	0	0
barely56	0	0	0	0	0
barely57	0	0	0	0	0
barely58	0	0	0	0	0
barely59	0	0	0	0	0
barely60	0	0	0	0	0
barely61	0	0	0	0	0
barely62	0	0	0	0	0
barely63	0	0	0	0	0
colza1	0	0	0	0	0
colza2	0	0	0	0	0
colza3	0	0	0	0	0
colza4	0	0	0	0	0
colza5	0	0	0	0	0
colza6	0	0	0	0	0
colza7	0	0	0	0	0
colza8	0	0	0	0	0
colza9	0	0	0	0	0
colza10	0	0	0	0	0
colza11	0	0	0	0	0
colza12	0	0	0	0	0
colza13	0	0	0	0	0
colza14	0	0	0	0	0
colza15	0	0	0	0	0
colza16	0	0	0	0	0
colza17	0	0	0	0	0
colza18	0	0	0	0	0
colza19	0	0	0	0	0
colza20	0	0	0	0	0
colza21	0	0	0	0	0
colza22	0	0	0	0	0
colza23	0	0	0	0	0
colza24	0	0	0	0	0
colza25	0	0	0	0	0
colza26	0	0	0	0	0
colza27	0	0	0	0	0
colza28	0	0	0	0	0
colza29	0	0	0	0	0
colza30	0	0	0	0	0
corn1	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn2	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn3	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn4	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn5	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5

corn6	550.0	585.8	606.8	419.5	294.5
corn7	489.9	585.8	606.8	419.5	294.5
corn8	611.1	527.3	546.1	419.5	294.5
corn9	611.1	468.7	485.4	419.5	294.5
corn10	611.1	585.8	606.8	377.6	265.0
corn11	611.1	585.8	606.8	335.6	235.6
corn12	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn13	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn14	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn15	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn16	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn17	550.0	585.8	606.8	419.5	294.5
corn18	489.9	585.8	606.8	419.5	294.5
corn19	611.1	527.3	546.1	419.5	294.5
corn20	611.1	468.7	485.4	419.5	294.5
corn21	611.1	585.8	606.8	377.6	265.0
corn22	611.1	585.8	606.8	335.6	235.6
corn23	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn24	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn25	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn26	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn27	611.1	585.8	606.8	419.5	294.5
corn28	550.0	585.8	606.8	419.5	294.5
corn29	489.9	585.8	606.8	419.5	294.5
corn30	611.1	527.3	546.1	419.5	294.5
corn31	611.1	468.7	485.4	419.5	294.5
corn32	611.1	585.8	606.8	377.6	265.0
corn33	611.1	585.8	606.8	335.6	235.6
rice1	662.0	634.7	657.4	501.1	428.3;

Parameter LandA(D) Land(hectar)of decade

/ D1	5
D2	5
D3	5
D4	5
D5	5
D6	5
D7	5
D8	5
D9	5
D10	5
D11	5
D12	5
D13	5
D14	5
D15	5
D16	5
D17	5

D18 5
D19 5
D20 5
D21 5
D22 5
D23 5
D24 5
D25 5
D26 5
D27 5 / ;

Table LandR(I,D) land requirment(hectar)

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
wheat1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

wheat44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
wheat63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
barely1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

barely44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
barely63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
colza30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
corn1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

corn14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rice1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

+

	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27
wheat1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat28	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat32	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

wheat36	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat37	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat38	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat39	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat40	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat44	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat46	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat47	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat48	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat50	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat51	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat52	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat53	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat54	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat56	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat57	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat58	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat59	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat62	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
wheat63	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

barely29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
barely63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

colza22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
corn1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn11	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn13	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn14	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn15	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn17	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn18	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn19	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn20	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn21	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn22	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn23	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn24	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn25	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn26	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn27	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn28	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn29	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn30	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn31	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn32	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
corn33	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
rice1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1;

Table A(D,K) water avibility (lit se) and numder of day for each D

	1	2
D1	1.5	90
D2	1.5	10
D3	1.6	10
D4	1.6	10
D5	1.7	10
D6	1.7	10

```
D7      1.8       10
D8      1.8       10
D9      1.8       10
D10     1.7       10
D11     1.7       10
D12     1.6       10
D13     1.6       10
D14     1.6       10
D15     1.5       10
D16     1.4       10
D17     1.4       10
D18     1.3       10
D19     1.5       10
D20     1.58      10
D21     1.54      10
D22     1.64      10
D23     1.4       10
D24     1.5       10
D25     1.5       10
D26     1.5       10
D27     1.5       10     ;


Scalar pw     water price                          /750/
      effa   application efficiciency              /.40/
      effc   conveyance   efficiency               /1/
      effB   efficiciency for barani               /0.70/
      effcL  conveyance   efficiency for lile       /0.60/
      hday   hours for each day                    /24/
      costB  cost of each year for barani system   / 0/
      costL  cost of lole system                   /0/ ;

Parameter GMl,GMb;

GMl(L)=GM(L)-costL ;
GMb(B)=GM(B)-costB ;
parameter water110,water111,water112,
        water210,water211,water212;
water110(s) =(sum(d,waterR(S,D)))/(effc*effa);
water111(b)=(sum(d,waterR(B,D)))/(effB);
water112(l)=(sum(d,waterR(L,D)))/(effcL) ;
water210(s) =(gm(s)-(water110(s)*pw))/(water110(s)+0.000001);
water211(b) =(gm(b)-(water110(b)*pw))/(water111(b)+0.000001);
water212(l) =(gm(l)-(water110(l)*pw))/(water112(l)+0.000001);
Variable   Z,X,usew;

Positive variable  X,NUSE;

Equations
```

```
OBJ,landuse,wateruse,wheatfarm,ricefarm;


OBJ..        Z=e=sum(S,X(S)*(GM(S)))-(Pw*(sum((S,D),X(S)*waterR(S,D))/(effc*effa)))
             +sum(B,X(B)*(GMb(B)))-(Pw*(sum((B,D),X(B)*waterR(B,D))/(effB)))
             +sum(L,X(L)*(GMl(L)))-(Pw*(sum((L,D),X(L)*waterR(L,D))/(effcL)));

landuse(D)..     sum(I,X(I)*landR(I,D))=L=LandA(D);

wateruse(D)..    (sum(S,waterR(S,D)*x(S))/(effc*effa))+(sum(B,waterR(B,D)*x(B))/(effB))

+(sum(L,waterR(L,D)*x(L))/(effcL))+NUSE(D)=e=A(D,'1')*A(D,'2')*hday*3600*LandA(D)*0.0
01;

wheatfarm..        x('wheat1')+x('wheat2')+x('wheat3')+x('wheat4')+x('wheat5')
                +x('wheat6')+x('wheat7')+x('wheat8')+x('wheat9')+x('wheat10')
                +x('wheat11')+x('wheat12')+x('wheat13')+x('wheat14')+x('wheat15')
                +x('wheat16')+x('wheat17')+x('wheat18')+x('wheat19')+x('wheat20')
                +x('wheat21')+x('wheat22')+x('wheat23')+x('wheat24')+x('wheat25')
                +x('wheat26')+x('wheat27')+x('wheat28')+x('wheat29')+x('wheat30')
                +x('wheat31')+x('wheat32')+x('wheat33')+x('wheat34')+x('wheat35')
                +x('wheat36')+x('wheat37')+x('wheat38')+x('wheat39')+x('wheat40')
                +x('wheat41')+x('wheat42')+x('wheat43')+x('wheat44')+x('wheat45')
                +x('wheat46')+x('wheat47')+x('wheat48')+x('wheat49')+x('wheat50')
                +x('wheat51')+x('wheat52')+x('wheat53')+x('wheat54')+x('wheat55')
                +x('wheat56')+x('wheat57')+x('wheat58')+x('wheat59')+x('wheat60')
                +x('wheat61')+x('wheat62')+x('wheat63')=l=2.5;

ricefarm..         x('rice1')=l=1;


ModeL FARM1 /all/;

Solve FARM1 using lp maximizing Z;

DISPLAY X.L,wateruse.m;

parameter water1
        water2;

water1(d) =(sum(S,waterR(S,D)*x.l(S))/(effc*effa))+(sum(B,waterR(B,D)*x.l(B))/(effB))
             +(sum(L,waterR(L,D)*x.l(L))/(effcL)) ;
water2 = (sum(d,water1(d)));

display water1, water2  ;
parameter water3
        water4;
```

```
water3(d) =(sum(S,waterR(S,D)*x.l(S)))+(sum(B,waterR(B,D)*x.l(B)))
            +(sum(L,waterR(L,D)*x.l(L))) ;
water4 = (sum(d,water3(d)));

display water3, water4,water110,water111,water112,
      water210,water211,water212,gm;
```

پیوست ۳- پرسشنامه های تحقیق

باسمه تعالی

مرکز مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

National Agriculture and Water Strategic Center (NAWSRC)

طرح ارزیابی استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی

پرسشنامه کارشناسان خبره

محقق و صاحبنظر محترم

با سلام

لطفاً در وزن دهی معیارها و زیرمعیارهای زیر مجریان طرح ارزیابی استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب را مساعدت نمایید. ابتدا با مقایسه زوجی در مقیاس ۱-۹ امکان محاسبه وزن زیرمعیارها را فراهم سازید و سپس جهت ارزیابی استراتژیها، به هریک از استراتژیها نمره لازم را در مقیاس ۱ تا ۵ تعیین نمایید. در جدول ارزیابی استراتژیها در صورتی که استراتژی مورد نظر از نظر شما در رابطه با هر یک از زیر معیارها اولویت خیلی کم دارد، عدد ۱ و در صورتی که اولویت خیلی زیاد دارد عدد ۵ را در ستون مربوطه درج نمایید. همچنین برای جدول امکان پذیر اجرای گزینه‌ها یااستراتژیها، در صورتی که اجرای استراتژی مورد نظر از نقطه نظر هر یک از زیرمعیارهای، دارای پیچیدگی خیلی کم است عدد ۱ و در صورتی که دارای پیچیدگی خیلی زیاد است عدد ۵ را در ستون مربوطه درج نمایید.

برای مقایسه زوجی نیز از دستورالعمل زیر استفاده کنید. زیر معیارها به صورت زوجی مقایسه می‌شوند. در هر مرحله ماتریس مقایسه‌های زوجی به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$\begin{array}{c} \\ A_1 \\ \\ A_2 \\ \\ A_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} A_1 & A_2 & A_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \end{array}$$

درایه‌های این ماتریس از مقایسه عنصر هر سطر با عناصر ستون‌ها بدست می‌آید. مثلا درایه a_{12} نشان می‌دهد عنصر اول از چه میزان اهمیتی در برابر عنصر دوم برخوردار است. عدد مورد نظر با توجه به مقیاس ساعتی[1] که در جدول زیر نشان داده شده است در نظر گرفته می‌شود:

مقیاس	تعریف	میزان اهمیت در تحقق هدف
۱	اهمیت مساوی	اهمیت دو معیار مساوی
۳	اهمیت اندکی بیشتر	اهمیت i اندکی بیشتر از j است
۵	اهمیت بیشتر	اهمیت i بیشتر از j است
۷	اهمیت خیلی بیشتر	اهمیت i خیلی بیشتر از j است
۹	اهمیت مطلق	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به اثبات رسیده است.
۶،۴،۲ و ۸		حالت میانه

1- saaty

مثلا اگر A_1 با توجه به موضوع مورد بررسی خیلی مهمتر از A_2 باشد عدد ۷ را در ماتریس قرار می‌دهیم. واضح است که در این صورت درایه a_{21} و یا اهمیت A_2 نسبت به A_1 برابر ۱/۷ خواهد بود.

جدول ۱ مقایسه زیر معیارهای ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب

در این جدول زیرمعیارهای ارزیابی استراتژیهای بهبود بهره‌وری آب مورد مقایسه قرار می‌گیرند. جهت مقایسه از اعداد ۱ تا ۹ بر مبنای جدول صفحه قبل استفاده کنید.

معیار ارزیابی	اهمیت	اضطراری بودن	فواید مشترک	بدون پشیمانی	مؤثر بر بحران آب
اهمیت					
اضطراری بودن					
فواید مشترک					
بدون پشیمانی					
مؤثر بر بحران آب					

- اهمیت یک استراتژی منعکس کننده میزان نیاز برای اجرای آن جهت افزایش بهره‌وری آب است.
- اضطراری بودن یک استراتژی مربوط به نیاز به اجرای استراتژی بلادرنگ است یا اینکه می‌توان آن استراتژی را در زمانی دیگر به کار گرفت.
- گزینه یا استراتژی که فواید مشترک بالایی دارد، استراتژی است که ضمن افزایش بهره‌وری آب، می‌تواند منافع فرعی دیگری که ارتباطی با بهره‌وری آب ندارد نیز تأمین نماید.
- استراتژی بدون پشیمانی استراتژیهایی هستند که برای آنها، منافع غیر از افزایش بهره‌وری آب، هزینه اجرای آنها را افزایش می دهد، بنابراین صرف نظر از اینکه بهبود بهره‌وری آب صورت گیرد یا نگیرد، اجرای این استراتژیها مفید می‌باشد.
- استراتژی که دارای امتیاز بالایی در رابطه با زیر معیار « مؤثر بر بحران آب» می‌باشد، استراتژی است که علاوه بر بهبود بهره‌وری آب می تواند در کاهش بحران آب مؤثر باشد.

جدول ۲ مقایسه زیرمعیارهای امکان پذیری اجرای استراتژی‌ها

در این جدول زیرمعیارهای امکان پذیری اجرای استراتژیها مورد مقایسه قرار می‌گیرند. جهت مقایسه از اعداد ۱ تا ۹ استفاده کنید.

زیرمعیارها	پیچیدگی نهادی	پیچیدگی اجتماعی	پیچیدگی فنی و تکنیکی
پیچیدگی نهادی			
پیچیدگی اجتماعی			
پیچیدگی فنی و تکنیکی			

- پیچیدگی نهادی مربوط به اختلاف میان قواعدی است که سازمانهای مرتبط از آنها استفاده می‌کنند. پیامدهای سازمانی استراتژی و نیاز به همکاری که باید بین سازمانها و ادارات مرتبط ایجاد شود تا استراتژی عملیاتی گردد.
- پیچیدگی اجتماعی شامل تنوع ارزشهایی است که بهنگام اجرای استراتژی مورد نظر دخالت دارند. تغییراتی که در آگاهی و احساس ذینفعان جهت مشارکت در اجرای پروژه لازم است.
- پیچیدگی فنی و تکنیکی مربوط به چالش ها و دشواری‌های فنی برای اجرای استراتژی آب است.

جدول ۳- ارزیابی استراتژی های بهبود بهره‌وری آب

ردیف	نام استراتژی	ارزیابی استراتژی				
		اهمیت	اضطراری بودن	فواید مشترک	بدون پشیمانی	مؤثر بر بحران آب
۱	نصب کنتور و تحویل حجمی آب					
۲	خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)					
۳	خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)					
۴	تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)					
۵	استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر					
۶	تاریخ کاشت مناسب					
۷	استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.					
۸	احداث استخر در مزرعه					
۹	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک و ثابت					
۱۰	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل‌موو					
۱۱	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت					
۱۲	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای (Tape)					
۱۳	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)					
۱۴	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم					
۱۵	پوشش انهار					
۱۶	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه					
۱۷	تسطیح اراضی					
۱۸	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی					

ردیف	نام استراتژی	ارزیابی استراتژی				
		اهمیت	اضطراری بودن	فواید مشترک	بدون پشیمانی	مؤثر بر بحران آب
۱۹	مبارزه با علف های هرز					
۲۰	استفاده از آبیاری زیرسطحی					
۲۱	تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)					
۲۲	استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند					
۲۳	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش					
۲۴	تلفیق آب شور و شیرین					
۲۵	ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)					
۲۶	سیاست قیمت گذاری آب					
۲۷	استفاده چند گانه از آب					
۲۸	استفاه مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه					
۲۹	ایجاد پلیس آب					
۳۰	توسعه کشت گلخانه‌ای					
۳۱	کاهش نقوذ عمقی آب					
۳۲	افزایش حاصلخیزی خاک					
۳۳	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی					
۳۴	سایر با ذکر نام استراتژی:					
۳۵	سایر با ذکر نام استراتژی:					

جدول ۴- امکان پذیری اجرای استراتژی‌ها

ردیف	نام استراتژی	امکان پذیری گزینه		
		امکان پذیری یا پیچیدگی فنی و تکنیکی	امکان پذیری یا پیچیدگی اجتماعی	امکان پذیری یا پیچیدگی سازمانی یا نهادی
۱	نصب کنتور و تحویل حجمی آب			
۲	خاک ورزی حفاظتی (کم خاک ورزی)			
۳	خاک ورزی حفاظتی (بی خاک ورزی)			
۴	تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کمتر)			
۵	استفاده از واریته‌هایی با نیاز آبی کمتر			
۶	تاریخ کاشت مناسب			
۷	استفاده از پوششهایی که موجب کاهش تبخیر از سطح خاک می گردد.			
۸	احداث استخر در مزرعه			
۹	استفاده از سیستم آبیاری بارانی – کلاسیک متحرک و نیمه متحرک			
۱۰	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- ویل‌موو			
۱۱	استفاده از سیستم آبیاری بارانی- سنترپیوت			
۱۲	استفاده از سیستم آبیاری قطره ای (Tape)			
۱۳	بکارگیری استراتژیهای مناسب آبیاری (استراتژی کم آبیاری)			
۱۴	آبیاری تکمیلی در اراضی دیم			
۱۵	پوشش انهار			
۱۶	استفاده از لوله برای انتقال آب از منبع به مزرعه			
۱۷	تسطیح اراضی			
۱۸	مبارزه با آفات و بیماری گیاهی			
۱۹	مبارزه با علف های هرز			
۲۰	استفاده از آبیاری زیرسطحی			

ردیف	نام استراتژی	امکان پذیری گزینه		
		امکان پذیری یا پیچیدگی فنی و تکنیکی	امکان پذیری یا پیچیدگی اجتماعی	امکان پذیری یا پیچیدگی سازمانی یا نهادی
۲۱	تعیین زمان آبیاری با حساسگر (آبیاری دقیق)			
۲۲	استفاده از نشاء به جای بذر در مورد محصولاتی همچون چغندرقند			
۲۳	مدیریت آیش، کاهش تبخیر از اراضی آیش			
۲۴	تلفیق آب شور و شیرین			
۲۵	ایجاد بازار آب (به منظور خرید و فروش آب)			
۲۶	سیاست قیمت گذاری آب			
۲۷	استفاده چند گانه از آب			
۲۸	استفاه مجدد از آب های زهکشی و رواناب های مزرعه			
۲۹	ایجاد پلیس آب			
۳۰	توسعه کشت گلخانه‌ای			
۳۱	کاهش نقوذ عمقی آب			
۳۲	افزایش حاصلخیزی خاک			
۳۳	تلفیق آب سطحی و آب زیرزمینی			
۳۴	سایر با ذکر نام استراتژی:			
۳۵	سایر با ذکر نام استراتژی:			

باسمه تعالی

مرکز مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

National Agriculture and Water Strategic Center (NAWSRC)

ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی

پرسشنامه بهره برداران نمونه

۱- اطلاعات کلی شماره

پرسشنامه:

نام و نام خانوادگی:---------- نام روستا: ----- سن کشاورز: ----------

سطح سواد ---------- سابقه کشاورزی -----نوع مالکیت زمین ----------

۲- اندازه مزرعه

مساحت کل ---------- هکتار سطح زیرکشت شتوی ---------- هکتار

سطح زیرکشت صیفی ---------- هکتار میزان آیش ---------- هکتار

سطح زیرکشت مجهز به آبیاری مدرن ---------- هکتار سطح زیرکشت با آبیاری سنتی --------- هکتار

۳- منابع آب

- آب مزرعه شما از کدام منبع تأمین می شود؟

۱- چاه ☐ ۲- چشمه و قنات☐ ۳- سد☐ ۴- رودخانه☐

- مقدارآب مزرعه شما به چه میزان است؟

۱- کمتر از ۱ اینچ☐ ۲- یک تا دو اینچ☐ ۳- ۲ تا ۳ اینچ☐ ۴- ۳ تا ۴ اینچ☐

۵- بیش از ۴ اینچ☐

- آیا مقدار آب شما برای آبیاری تمامی مزرعه کافی است؟ بلی☐ خیر☐

- با مقدار آب خود چند هکتار را می توانید به طور کامل آبیاری کنید؟ ---------- هکتار شتوی

---------- هکتار صیفی

- آیا میزان آب شما در تمام ایام سال یکسان است؟ بلی☐ خیر☐

- اگر خیر کاهش میزان آب شما از چه ماهی آغاز می شود و میزان کاهش به چه صورت است؟

از ماه ---------- میزان کاهش (برحسب درصد) ----------

از ماه ---------- میزان کاهش ----------

از ماه ---------- میزان کاهش ----------

- کیفیت آب مزرعه شما چگونه است؟

شیرین ☐ لب شور ☐ شور ☐

- کیفیت آب شما نسبت به گذشته چه تغییری کرده است؟

بدون تغییر ☐ شورتر شده است ☐

- مقدار آب مزرعه شما نسبت به گذشته (۱۰ سال پیش) چه تغییری کرده است؟

بدون تغییر ☐ ۱۰-۲۵ درصد کاهش یافته است ☐ ۲۵-۴۰ درصد کاهش یافته است ☐

نصف شده است ☐ کاهش یافته است ☐

- آیا در مزرعه خود استخر احداث کرده اید؟ بلی☐ خیر☐

- ابعاد استخرمزرعه شما طول---------- متر عرض ---------- متر عمق --------- متر

- تأثیر استخر را در مزرعه خود چگونه ارزیابی می‌کنید؟

خیلی کم ☐ کم ☐ متوسط ☐ زیاد ☐ خیلی زیاد☐

عمق سطح ایستابی (متر).....عمق چاه (متر).....

کانال ☐ دبی .....تاریخ‌های آبگیری .....مختصات محل آبگیری (UTM).....توضیحات

.....

رودخانه ☐ دبی .....تاریخ‌های آبگیری .....مختصات محل آبگیری (UTM).....توضیحات

.....

۱-عملیات تهیه زمین در هر هکتار:

محصول	نوع کشت	سطح زیر کشت (هکتار)			تاریخ کاشت	شخم در هر هکتار		دیسک در هر هکتار		سایر عملیات مورد نیاز آماده سازی زمین		تعداد نیروی کار مورد نیاز برای آماده سازی زمین
		فعلی	سال خوب	سال بد		تعداد دفعات	تاریخ	تعداد دفعات	تاریخ	تعداد دفعات	تاریخ	

۲- عملیات بذرپاشی در هر هکتار و عملکرد:

محصول	نوع بذر مصرفی	میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	عمق کشت	تاریخ بذر پاشی	نحوه بذر پاشی (ردیف کار، سانترفیوژ، دستی)	تعداد کارگر مورد استفاده در بذرپاشی (غیر از راننده ماشین)	تاریخ برداشت	نحوه برداشت (دستی، ماشینی)	تعداد کارگر برداشت (غیر از راننده ماشین)	عملکرد در هکتار محصول اصلی (تن)			عملکرد محصول فرعی (تن)
										فعلی	حداکثر در سال خوب	حداقل در سال بد	

۳- عملیات کودپاشی (کود شیمیایی/حیوانی) در هر هکتار:

محصول	نوع کود مصرفی	تعداد دفعات کودپاشی			تاریخ های کودپاشی	میزان کود مصرفی در هر نوبت (کیلوگرم در هکتار)			نحوه کودپاشی (ردیف کار، سانترفیوژ، دستی)	تعداد کارگر مورد استفاده در هر نوبت کودپاشی (غیراز راننده ماشین)
		فعلی	سال خوب	سال بد		فعلی	سال خوب	سال بد		
	اوره									
	فسفات									
	اوره									
	فسفات									
	اوره									
	فسفات									
	اوره									
	فسفات									

عملیات سمپاشی در هر هکتار:

محصول	نوع سم مصرفی	تعداد دفعات سم پاشی			تاریخ های سم پاشی	میزان سم مصرفی در هر نوبت (کیلوگرم در هکتار)			نحوه سم پاشی (سمپاش تراکتوری، کوله پشتی)	تعداد کارگر مورد استفاده در هر نوبت سم پاشی (غیراز راننده ماشین)
		فعلی	سال خوب	سال بد		فعلی	سال خوب	سال بد		

آبیاری در هر هکتار:- در سال زراعی مورد مطالعه، چه محصولاتی کاشته اید؟ با چه روشی آنها را آبیاری کرده اید و عملکرد آنها چقدر بوده است؟

محصول	تاریخ آبیاری	تعداد دفعات آبیاری			تعداد ساعات هر نوبت آبیاری	دور آبیاری	منبع تأمین آب	دبی منبع تأمین آب (لیتر در ثانیه)	روش آبیاری (غرقابی، ردیفی، سایر با ذکر روش)	تعداد کارگر آبیار در هر نوبت
		فعلی	سال خوب	سال بد						

* اگر یک محصول با دو روش آبیاری مشروب شده است آن را در دو ردیف ذکر کنید. به عنوان مثال گندم با آبیاری سطحی، گندم با آبیاری بارانی کلاسیک

* اگر سطح زیرکشت دیم داشته اید آن را ذکر کنید.

- زمان آبیاری محصول خود را چگونه تعیین می‌کنید؟

بر اساس تجربیات فردی ☐ براساس اطلاعاتی که از سطح مزرعه جمع آوری می‌کنم ☐

از حساسگرها استفاده می‌کنم (آبیاری دقیق) ☐

- آیا از ارقامی استفاده می‌کنید که نیاز آبی کمتری داشته باشد؟

بلی ☐ در مورد محصول ---------- از رقم ---------- استفاده کرده‌ام

در مورد محصول ---------- از رقم ---------- استفاده کرده‌ام

در مورد محصول ---------- از رقم ---------- استفاده کرده‌ام

خیر ☐

- آیا در تعیین زمان کاشت، مقدار مصرف آب را در نظر می‌گیرید؟

بلی ☐ چگونه ----------

خیر ☐

- آیا برای محصولات دیم خود از آبیاری تکمیلی استفاده می‌کنید؟

خیر ☐ بلی☐

- اگر بلی، برای کدام محصول دیم از آبیاری تکمیلی استفاده کرده‌اید؟

گندم ☐ جو ☐ حبوبات ☐

- اثر آبیاری تکمیلی را بر عملکرد محصولات دیم خود چگونه دیده‌اید؟

اثر بر عملکرد در هکتار ندارد ☐

عملکرد در هکتار تا حدود ۲۰ درصد افزایش می‌دهد ☐

افزایش در عملکرد در هکتار حدود ---------- درصد است.

- در مزرعه خود کدامیک از اقدامات زیر را انجام می‌دهید؟

خاک ورزی حفاظتی کم خاک ورزی ☐

خاک ورزی حفاظتی بی خاک ورزی ☐

کم آبیاری ☐

استفاده از پوشش پلاستیکی برای کاهش تبخیر از سطح خاک ☐

- برای انتقال آب از منبع به مزرعه از چه روشی استفاده می‌کنید؟

نهر و جوی سنتی ☐ لوله یکبار مصرف ☐ کانال سیمانی ☐

لوله پلی اتیلین و دائمی ☐

- آیا تمام اراضی خود را تسطیح کرده‌اید؟

نیاز نداشته و این کار را انجام نداده‌ام ☐

نیاز بوده و به طور کامل انجام شده است ☐

نیاز بوده اما تنها بخشی از آن انجام شده است ☐

نیاز بوده اما انجام نداده‌ام ☐

- مزرعه شما در چند قطعه قرار دارد؟ ---------- قطعه

- آیا یکپارچه سازی را انجام داده‌اید؟

نیاز نبوده و این کار را انجام نداده‌ام ☐

نیاز بوده و انجام شده است ☐ از ---------- قطعه به ---------- قطعه تقلیل یافته است

نیاز بوده اما تاکنون انجام نداده‌ام ☐

- مزرعه خود را چگونه آبیاری می‌کنید؟

آبیاری غرقابی	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری سیفونی و کشت ردیفی	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری بارانی کلاسیک متحرک و نیمه متحرک	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری بارانی کلاسیک ثابت	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری بارانی ویلمو	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری بارانی سنترپیوت	☐	در سطح ---------- هکتار
آبیاری نواری	☐	در سطح ---------- هکتار

آبیاری زیرسطحی ☐ در سطح ---------- هکتار

سایر با ذکر نام ---------- ☐ در سطح ---------- هکتار

- حاصلخیزی خاک مزرعه خود را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

کم و فقیر ☐ متوسط ☐ خوب ☐ خیلی خوب ☐

- برای حاصلخیزی مزرعه خود تاکنون چه اقداماتی را انجام داده‌اید؟

استفاده از کود حیوانی ☐ استفاده ازکمپوست ☐ سایر اقدامات ☐ با ذکر نام ----------

- سال گذشته مزرعه شما با چه آفات و بیماری گیاهی روبرو شد و میزان خسارت چگونه بود؟

آفات ---------- میزان خسارت ----------

آفات ---------- میزان خسارت ----------

آفات ---------- میزان خسارت ----------

بیماری ---------- میزان خسارت ----------

بیماری ---------- میزان خسارت ----------

بیماری ---------- میزان خسارت ----------

- عملکرد خود را در مقابله با آفات و بیماریها چگونه ارزیابی می‌کنید؟

بسیار حساس هستم و با دیدن نشانه آفات و بیماری به جهاد کشاورزی مراجعه می‌کنم ☐

اگر بیماری مشهود باشد، پیگیری می‌کنیم ☐

چندان حساس نیستم ☐

- در سال زراعی گذشته با چه علف هرزی مقابله کرده‌اید؟

علف هرز ---------- علف کش ----------

علف هرز ---------- علف کش ----------

علف هرز ---------- علف کش ----------

- بطور کلی عملکرد خود را در مقابله و مدیریت علف هرز چگونه ارزیابی می‌کنید؟

ضعیف ☐ متوسط ☐ خوب☐ خیلی خوب ☐

- اگر بهره‌وری آب را مقدار محصول تقسیم بر مقدار آب مصرفی تعریف کنیم، شما برای بهبود بهره‌وری آب در مزرعه خود، چه پیشنهادی دارید؟

- آب صرفه جویی شده شما ناشی از بکارگیری روشهای مختلف افزایش کارآیی و بهره‌وری آب به چه میزان بوده است؟

---------- درصد کل آب مزرعه

- با آب صرفه جویی شده می‌توان چند هکتار شتوی و چند هکتار صیفی را آبیاری کرد؟

تنها ---------- هکتار شتوی

تنها ---------- هکتار صیفی

---------- هکتار شتوی + ---------- هکتار صیفی

- با آب صرفه جویی شده چه کرده‌اید؟

۱- افزایش سطح زیرکشت آبی به میزان ---------- هکتار

۲- افزایش عملکرد در هکتار به میزان ---------- کیلوگرم در هکتار

۳- تبدیل اراضی دیم به سطح زیرکشت آبی ---------- به میزان ---------- هکتار

۴- جایگزین محصولات با نیاز آبی بالا و درآمد بیشتر به جای محصولات قبلی

محصول ---------- جانشین محصول ---------- شده است به میزان ---------- هکتار

۵- میزان برداشت آب از سفره زیرزمینی را کاهش داده‌ام

قبلاً میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی ---------- ساعت در شبانه روز بوده است.

اکنون میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی ---------- ساعت در شبانه روز است.

پیوست ۴- هزینه استحصال و توزیع یک مترمکعب آب از سفره‌های آب زیرزمینی

اقدام مورد نیاز برای محاسبه هزینه استحصال و توزیع یک مترمکعب آب برداشت شده از سفره آبهای زیرزمینی عبارتند از: هزینه حفر چاه، هزینه خرید لوله جداره و نصب آن (جداره گذاری)، هزینه خرید لوله انتقال و نصب آن، هزینه خرید پمپ و الکتروپمپ، هزینه برق رسانی، هزینه‌های جاری و تعمیرات، هزینه آبیاری و هزینه متفرقه، متوسط اقلام فوق برای ۱۴ حلقه چاه در سال ۹۵ به قرار زیر بوده است:

- میانگین هزینه حفر چاه، خرید و نصب لوله جداره، خرید لوله انتقال و احداث شبکه: ۲۳۴۸۲ هزارتومان

- میانگین هزینه خرید پمپ، الکتروپمپ و کلید روغنی: ۸۹۴۰ هزارتومان

- میانگین هزینه برق رسانی: ۱۱۱۵۰ هزارتومان

- میانگین هزینه های جاری، تعمیرات، آبیاری و متفرقه: ۲۹۱۰ هزارتومان

برای سه ردیف اول که عمری بیش از یکسال دارند، معادل یکنواخت سالانه هزینه‌ها در نرخ تنزیل ۲۰ درصد بدست آمد. برای این منظور عمر مفید چاه، لوله جداره، شبکه انتقال و برق رسانی، ۳۰ سال و برای الکتروپمپ ۲۰ سال در نظر گرفته شد. بر این اساس معادل یکنواخت سالانه برابر شد با:

هزارتومان ۶۹۵۴/۱۰۴ = (۲۰٪ و ۳۰ و A/P) * (۲۳۴۸۲+۱۱۱۵۰)

هزارتومان ۱۸۳۶/۲۷۶= (۲۰٪ و ۲۰ و A/P) * (۸۹۴۰)

بنابراین جمع هزینه‌های سالانه یک حلقه چاه برابر است با:

هزارتومان ۱۱۷۰۰/۳۸ = ۲۹۱۰ + ۱۸۳۶/۲۷۶ + ۶۹۵۴/۱۰۴

اگر جمع هزینه‌های سالانه بر میانگین برداشت آب هر حلقه چاه از سفره‌های آب زیرزمینی که برای چاههای مورد مطالعه برابر با ۱۵۶ هزارمترمکعب می‌باشد، تقسیم نماییم، خواهیم داشت:

تومان ۷۵ = ۱۰۰۰ * ۰/۰۷۵ = ۱۱۷۰۰/۱۵۶۰۰۰ = هزینه هرمترمکعب آب برداشت شده از سفره آبهای زیرزمینی

پیوست ۵- مقاله های ارائه شده در اولین کنفرانس ملی اقتصاد آب

جدول ۱- ضریب واکنش عملکرد گیاهان نسبت به تنش آبی در دوره‌های مختلف رشد

گیاه	منبع مورد استفاده	مرحله رشد				
		استقرار	اوایل رشد رویشی	اواخر رشد رویشی	گلدهی	شکل گیری عملکرد محصول	رسیدن
گندم	الف	۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۲/۱	۰/۳۳	۰/۲
	ب	۰/۰۳۶۷	۰/۰۱۵۸	۰/۱۱۳۷	۰/۰۷۶۲	۰۵۹۳۲	۰
	ج	۰/۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۰۱
جو	االف	۰	۰/۱۲	۰/۱۵	۱/۵	۰/۴	۰/۱۴
	ب	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۶۳	۰/۱۰۶۵	۰/۰۲۴۶
	ج	۰/۰۱	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۵	۰/۰۱
ذرت	ه	۰/۱	۱/۴۲	۱/۴۲	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۳
	ب	۰/۱۱۰۲	۰/۰۱۲۱	۰/۰۱۲۱	۰/۰۷۹۷	۰/۰۵۹۷	۰/۰۰۲
	ج	۰/۰۷	۰/۴	۰/۴	۱/۵	۰/۵	۰/۲
چغندرقند	د	۰/۱۲	۲	۲	-	۰/۳۶	۰/۱۲
	ب	۰/۰۱	۰/۰۵۵۱	۰/۰۵۵۱	-	۰/۰۷۸۹	۰/۱۱۸۹
پیاز	ج	۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۴۵	۰	۰/۸	۰/۳
گوجه فرنگی	ج	۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۴۰	۱/۱	۰/۸	۰/۴

الف- آرین (۱۳۷۱)

ب- نیریزی و ریدزوسکی (۱۹۷۷)

ج- دورنبوش و کسام (۱۹۷۹)

د- هیل و همکاران (۱۹۸۳)

ه – هنر و سپاسخواه (۱۳۷۵)

جدول ۲- ارزش شاخص حساسیت به آب در مراحل مختلف رشد (λ_i) برای گندم کلزا و ذرت بر اساس ضرایب اصلاح شده نی‌ریزی و ریدوزورسکی

Crop	Stage	Period (days)	λ_i
Winter wheat	Tillering	31	0.086
	Joining	18	0.125
	Flowering	22	0.104
	Milk Ripe	35	0.046
Rapeseed	Stem elongation	32	0.179
	Flowering	28	0.410
	Ripening	27	0.276
Maize	Vegetative	43	0.372
	Flowering	24	0.558
	Yield formation	22	0.078
	Ripening	16	0.090

مأخذ: رساله دکتری محمد مهدی مقیمی، بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز، ۲۰۱۳

ارزیابی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در استان فارس

منصور زیبایی[۱]، حامد دهقان‌پور[۲]، سیامک نیک‌مهر[۳]، محمدحسین زیبایی[٤]

۱. استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز zibaei@shirazu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز
۳. دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز
٤. دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

(به سفارش مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی ایران)

چکیده

وابستگی بخش کشاورزی به آب آبیاری و ضرورت سازگاری با اقلیم، نقش مؤثر بهبود بهره‌وری و اصلاح الگوی مصرف آب کشاورزی را در چارچوب مدیریت پایدار منابع آب برجسته می‌کند. از این رو، این پژوهش با هدف رتبه‌بندی استراتژی‌های بهبود بهره‌وری آب کشاورزی انجام شد. برای این منظور ابتدا استراتژی‌ها و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب از منابع موجود و کارشناسان صاحب‌نظر جمع‌آوری شد. جهت جمع‌آوری سیستماتیک نقطه نظرات آن‌ها و ایجاد همگرایی از اجرای راندهای مختلف، از روش دلفی استفاده شده است.

سپس با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (FAHP) وزن هر یک از معیارها محاسبه و عملکرد استراتژی‌ها در خصوص معیارها و زیرمعیارها ارزیابی شدند. سپس با به کارگیری روش شباهت به گزینه‌ی ایده‌آل (TOPSIS)، استراتژی‌ها از نظر اثربخشی، فنی و اجرایی اولویت‌بندی شدند. نتایج به دست آمده از رتبه‌بندی استراتژی‌ها بر اساس معیارهای گروه اول مشخص شد که سه استراتژی سیاست قیمت‌گذاری آب، نصب کنتور و تحویل حجمی آب و ایجاد بازار آب منجر به ایجاد منافع ناخالص بالاتری شده و همچنین اضطرار و ضرورت به کارگیری سریع‌تر این استراتژی‌ها برای مدیریت بحران آب آشکار می‌گردد. به علاوه به

کارگیری این سه استراتژی منجر به ایجاد فواید مشترک بیش‌تری با سایر بخش‌ها خواهد شد و صرف نظر از وجود پدیده‌ی بحران آب می‌توان این استراتژی‌ها را به کار گرفت.

همچنین با توجه به گروه دوم معیارها سه استراتژی استفاده از واریته‌های با نیاز آبی کم‌تر، پلیس آب و تغییر الگوی کشت (به سمت محصولاتی با نیاز آبی کم‌تر) از پیچیدگی‌های فنی، اجتماعی و نهادی کم‌تری برخوردار هستند. به عبارت دیگر، امکان اجرای این سه استراتژی به منظور بهبود بهره‌وری آب کشاورزی نسبت به استراتژی‌های دیگر بیش‌تر می‌باشد. بر همین اساس ضرورت استفاده از نتایج به دست آمده در این پژوهش و راهکارهای ارایه شده برای بهبود بهره‌وری مشخص می‌شود.

کلمات کلیدی: بهره‌وری، بازار آب، قیمت‌گذاری و فارس

اثرات بالقوه ایجاد بازار آب بر ارتقای بهره‌وری و کاهش منازعات مربوط به آب

منصور زیبایی[۱]، مرضیه ملک ورنوسفادرانی[۲]

۱. استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز zibaei@shirazu.ac.ir

۲. استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز

(به سفارش مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق بازرگانی صنایع، معادن و کشاورزی ایران)

چکیده

اثرات توأم رشد جمعیت، شهرنشینی و بهبود استانداردهای زندگی منتج به افزایش تقاضای آب شده است. به منظور تأمین تقاضای در حال افزایش، بیش‌تر سیاست‌ها بر مدیریت عرضه‌ی آب نظیر احداث سدها، شبکه‌های آبیاری و پروژه‌های برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی متمرکز بوده است. لذا اکنون برای مقابله با کمبود آب مدیریت تقاضای آب از طریق سیاست‌هایی که تغییر در الگوی مصرف را تشویق می‌کنند، می‌تواند در اولویت باشد.

در این زمینه، بازار آب می‌تواند از طریق انتقال آب به مصرف‌کنندگانی که بالاترین بازده‌ی نهایی را از مصرف آب به دست می‌آورند، بهره‌وری مصرف آب را بهبود و از طریق کاهش مصرف آب، منازعات بین زارعین و محیط زیست را کاهش دهد. پژوهش حاضر به نقش بازار آب بر مدیریت منابع آب می‌پردازد. برای این منظور، این پژوهش از دو بخش تشکیل شده است. در بخش نخست، ایجاد بازار آب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی در سطح مزرعه و دشت، شبیه‌سازی شد. در مدل ریاضی فوق، امکان انتخاب همزمان الگوی کشت بهینه، استراتژی مناسب آبیاری و روش‌های نوین آبیاری فراهم آمده است. دلیل اصلی برای استفاده از مدل مزرعه، تعیین قیمت سایه‌یی آب در انواع مزارع نماینده است که در نهایت به عنوان اطلاعات لازم در مدل دشت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. قسمت دوم اثرات

ایجاد بازار آب و سیاست سهمیه‌بندی مقدار برداشت آب را با هم بررسی می‌کند. داده‌های مورد نیاز با روش نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی دو مرحله‌یی فراهم آمد.

نتایج نشان داد که حجم آب مبادله شده، ۹/۵ درصد کل آب مصرفی است. متوسط بهبود درآمد زارعین بین ۱۵ تا ۴۲ درصد متغیر است. بنابر این انگیزه‌ی کافی برای همه‌ی کشاورزان برای ورود به بازار آب وجود دارد. مزرعه‌ی نماینده‌ی گروه ۶ که سود آن به میزان ۴۲ درصد افزایش می‌یابد، بالاترین سود حاصل از تجارت آب را به دست می‌آورد. کشاورزان گروه ۱ و ۲ صرفا فروشنده‌ی آب هستند در حالی که گروه‌های دیگر فروشنده و خریدار آب می‌باشند. از آن جایی که ایجاد بازار آب مانند اجرای بسیاری از سیاست‌ها و اقدامات آب اندوز، بدون طراحی اقدامات پیشگیرانه مکمل، با افزایش مصرف آب همراه است که این موضوع با هدف ملی، کاهش در مصرف آب سازگار نیست، اثرات مشترک سیاست سهمیه‌بندی برداشت آب و ایجاد بازار آب در قالب سناریو ۲، شبیه‌سازی شدند. در این سناریو، میزان کل آب سالانه برای مزارع نماینده گروه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۳۰ و ۲۰ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که با کاهش آب مصرفی، درآمد کشاورزان تنها ۱ تا ۶ درصد کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بازار آب، بهرهوری، منازعات آب، برنامه‌ریزی ریاضی