



بهره‌برداری بهینه از منابع آب با استفاده از تکنیک کم‌آبیاری (مطالعه موردی در استان فارس)

حمیده نجات‌پور

کارشناس ارشد مدیریت ترویج جهاد کشاورزی فارس

مقدمه:

درحالی‌که آب از جمله موثرترین و کاراترین عوامل دنیای بشری محسوب می‌شود، محدودیت مطلق آن به عنوان یک منبع تجدیدشونده از طرفی و مصرف فزاینده آن با توجه به رشد روزافزون جمعیت از طرف دیگر زمینه ایجاد بحران‌های بزرگی را در سطح جهان فراهم کرده است.

سازمان ملل متحد در برنامه جمعیت و محیط زیست خود ایران را در ردیف ۱۰۰ کشوری قرار داده که سرانه آب شیرین تجدیدشونده آنها پائین است. بر پایه این بررسی، سرانه آب که در سال ۱۹۵۵، ۶۲۰۲ متر مکعب بوده، در سال ۱۹۹۰ به ۲۰۲۵ مترمکعب رسیده و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۱۵ به حدود ۸۱۶ مترمکعب برسد (۴) که حدود ۲۰ درصد کمتر از سرانه آب در خط فقر (۱۰۰۰ مترمکعب) می‌باشد.

براساس آمار موجود میزان تقاضای آب کشور برای مصرف سال ۱۴۰۰ معادل ۱۹۶ میلیارد مترمکعب برآورد شده که شامل ۱۸۵ میلیارد مترمکعب مصرف کشاورزی و ۱۱ میلیارد مترمکعب شرب و صنعت می‌باشد (۳). درحالی‌که مقدار آب تجدیدشونده در کشور ۱۳۰ تا ۱۴۰ میلیارد متر مکعب برآورد شده است. این آمار نشان می‌دهد که در کشور ما بیش از ۹۰ درصد سهم آب به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد. بالطبع کسری نیاز که میزان





قابل توجهی (۶۰ میلیارد متر مکعب) نیز می‌باشد، عمدتاً متوجه این بخش خواهد شد. بدیهی است که به دلیل محدودیت منابع، امکان عرضه بیشتر آب وجود نداشته و باتوجه به رشد سریع جمعیت و نیاز به تأمین غذای بیشتر محدود کردن سطح زیر کشت نیز منطقی به نظر نمی‌رسد. لذا در فرایند توسعه اعمال مدیریت صحیح، برنامه‌ریزی جهت افزایش بهره‌وری آب و بهره‌برداری بهینه از منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌گردد. یکی از ابزارهای مدیریتی که می‌تواند ما را در دستیابی به این اهداف یاری رساند، صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی با استفاده از تکنیک کم‌آبیاری است که در تحقیق حاضر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

باتوجه به واقع شدن استان فارس در اقلیم خشک و نیمه‌خشک و مطرح بودن آب به عنوان یکی از عوامل محدودکننده توسعه اقتصادی، مطالعه در بخش‌هایی از شهرستان‌های مرودشت و شیراز که از قطب‌های کشاورزی استان بوده و در سطح کشور نیز از نظر کشاورزی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند، انجام شده است.

سوابق موضوع:

درخصوص تکنیک کم‌آبیاری و اثرات آن، از ابعاد مختلف و به شیوه‌های گوناگون مطالعات زیادی خصوصاً

بعد از دهه ۶۰ انجام شده است. برخی از این مطالعات در چارچوب بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و به منظور صرفه‌جویی در میزان آن بوده که اغلب توسط محققین و متخصصین منابع آب و اقتصاد کشاورزی صورت گرفته است.

"جنسن" (۱۹۶۸) برای اندازه‌گیری اثر تنش آبی بر عملکرد محصول، در هر یک از مراحل رشد گیاه، شاخص حساسیت هر محصول نسبت به تنش آبی را برآورد نمود.

"نی‌ریزی" و "ریدزوفسکی" (۱۹۷۷) با گسترش معادله جنسن اثر هر نوبت آبیاری را بر عملکرد نهائی بدست آورده و بر آن اساس کاهش عملکرد منتج شده از کاهش آب مصرفی در هر زمان از فصل رشد و برای هر محصول را برآورد نمودند.

"یوماردا" (۱۹۷۷) طی یک تحلیل تئوریک درخصوص منابع آبی مدلی را برای اعمال کم‌آبیاری و بهینه‌سازی الگوی کشت معرفی کرد. وی در این مدل ابتدا بر روی هر یک از محصولات موجود در الگوی کشت تابع تولید آب را برآورد نمود. پس از تخمین تابع تولید آب، ناحیه منطقی تولید را مشخص کرده تا بتواند در این فاصله نقطه‌ای بیابد که ارزش تولید نهایی آن با قیمت آب برابر باشد.

"انگلیش" (۱۹۹۰) در منطقه کلمبیا بررسی اقتصادی درخصوص کم‌آبیاری انجام داده است. در این مطالعه وی کار محققین مختلف را ترکیب کرده تا یک قالب عملی، عمومی و تحلیلی برای بحث درخصوص کم‌آبیاری ارائه دهد. وی به منظور بهینه‌سازی کم‌آبیاری، تخمین تابع تولید آب برای هر محصول را ضروری می‌داند.

"قهرمان" و "سپاسخواه" (۱۳۷۵)، طی تحقیقی که بر محصولات گندم و جو در استان فارس، چغندر قند و پنبه در استان خراسان درخصوص مصرف آب داشتند، به منظور بهینه‌سازی کم‌آبیاری تابع تولید آب برای هر یک از محصولات نامبرده را برآورد نمودند.

"توکلی" و "فرداد" (۱۹۹۷) طی تحقیقی در کرج، براساس مقادیر مختلف آب مصرفی، تابع تولید، هزینه و قیمت محصولات چغندر قند را تخمین و از نظر ریاضی و اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

تئوری و روش تحقیق:

اصولاً مضمون کم‌آبیاری استفاده بیشتر از واحد آب به جای واحد اراضی است. در چنین شرایطی آب مصرفی کمتر از آب مورد نیاز گیاه بوده که موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شده و شرایط افزایش سطح زیر کشت و توسعه افقی عملکرد را فراهم می‌سازد. گرچه نتیجه مستقیم کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل،

عموماً کاهش عملکرد در واحد سطح می‌باشد، اما کاهش هزینه‌های تولید، افزایش بهره‌وری آب، افزایش هزینه فرصت آب، افزایش سطح زیر کشت، در مواردی بهبود کیفیت محصول و... منافع بالقوه‌ای هستند که نباید از نظر دور داشت. با استفاده از این تکنیک و بکارگیری مدل‌های اقتصادی می‌توان حد مجاز کاهش عملکرد را بر حسب کاهش آب مصرفی و نهایتاً حد بهینه آن را تعیین نمود. تکنیک کم‌آبیاری (با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب)، تحت نام‌های مختلفی چون آبیاری جزئی (Partial Irrigation)، آبیاری محدود (Limited Irrigation) و کم‌آبیاری تنظیم شده (Regulated deficit irrigation) معرفی شده است.

کم‌آبیاری زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که:

- ۱- کاربرد آن اثر سوء بر کیفیت محصول نداشته باشد.
- ۲- تنش آبی در مراحل بحرانی گیاه به حداقل خود برسد.
- ۳- نمک منطقه‌ی ریشه به اندازه کافی کنترل شود.
- ۴- عملکرد محصول در حد قابل قبول باشد.
- ۵- کل سیستم از نظر اقتصادی برای بهره‌بردار جاذبه لازم را داشته باشد.

کم‌آبیاری به طرق گوناگون قابل اجراست. کاهش میزان آب مصرفی (نسبت به آبیاری کامل) به صورت برنامه‌ریزی شده، طولانی کردن دور آبیاری، استفاده از جویچه‌های یک در میان، کوتاه کردن طول جویچه‌ها و استفاده از شیوه LID (Limited Irrigation Dryland) از آن جمله‌اند (۱۱).

آمار و اطلاعات مورد نیاز این تحقیق به طرق مختلف از جمله تکمیل پرسشنامه جهت زارعین، استفاده از داده‌های آزمایشی، مشارکت مستقیم در برنامه زراعی چند تن از زارعین و جمع‌آوری اطلاعات فنی از ادارات و سازمان‌های مربوطه در استان فارس تهیه گردیده است.

در خصوص تکمیل پرسشنامه، با توجه به موضوع تحقیق، جهت استفاده از تکنیک کم‌آبیاری، زارعینی مدنظر بوده‌اند که خواسته یا ناخواسته در شرایط کم‌آبیاری قرار گرفته‌اند. لذا به منظور شناسایی این دسته از زارعین، با استفاده از نظرات کارشناسان منطقه ۱۰ روستا که به نحوی با مشکل کم‌آبی مواجه بودند، تعیین، آن‌گاه جهت انتخاب بهره‌برداران نمونه از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای استفاده گردید. با توجه به این که در روستاهای منطقه اغلب زارعین (براساس تقسیم اراضی زمان اصلاحات ارضی) در گروه‌هایی همگن از نظر مساحت زمین، تعداد قطعات، میزان آب موجود و کیفیت اراضی دسته‌بندی می‌شوند، این گروه‌ها در روش نمونه‌گیری خوشه‌ای به عنوان خوشه اصلی در نظر گرفته شدند. بدین ترتیب، ۱۴ گروه از زارعین روستاهای تعیین شده انتخاب شدند. آنگاه بطور تصادفی ۱۰ درصد بهره‌برداران که ۱۰۵ زارع را شامل می‌گردیدند، انتخاب و برای هر یک پرسشنامه‌ای تکمیل گردید. پس از استخراج داده‌ها، برای محصولات گندم و چغندر قند تابع تولید آب برآورد گردید. با توجه به این که شکل عمومی توابع تولید و از جمله تابع تولید آب بیشتر شبیه به توابع چندجمله‌ای (polynomial) می‌باشد، "پوماردا" (۱۹۷۷) و "انگلیش" (۱۹۹۰) نیز تابع تولید آب برای هر محصول را از نوع درجه دوم یا ریشه دوم معرفی نموده‌اند، توابع تولید تخمینی بر این اساس از نوع درجه دوم برآورد گردید.

به منظور بررسی اثرات کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب، بهره‌وری متوسط (AP) و بهره‌وری نهائی (MP) آب نیز در چهار سطح آب مصرفی محاسبه گردید. سطوح آب مصرفی عبارت بودند از:

- ۱- سطح آب مصرفی در شرایط آبیاری کامل و جهت دریافت حداکثر عملکرد در واحد سطح.
 - ۲- سطح آب مصرفی در شرایط کم‌آبیاری و برای دستیابی به حداکثر سود در واحد سطح (کم‌آبیاری درجه ۱)
 - ۳- سطح آب مصرفی در شرایط کم‌آبیاری جهت دریافت حداکثر سود در واحد آب (کم‌آبیاری درجه ۲)
 - ۴- سطح آب مصرفی در شرایط کم‌آبیاری برای تحصیل سود معادل (کم‌آبیاری درجه ۳)
- لازم به توضیح است که سود معادل، سودی معادل سود ناخالص در شرایط آبیاری کامل می‌باشد.

نتایج و بحث:

الف) برآورد توابع تولید آب:

در این قسمت براساس داده‌های تحقیق و با استفاده از بسته نرم‌افزاری TSPV توابع تولید آب جهت محصولات گندم و چغندر قند برآورد شده، با استفاده از آزمون‌های T و F درجه معنی‌داری ضرائب مشخص شده و با محاسبه ضریب R^2 درصد توجیه تغییرات عملکرد توسط متغیر آب معلوم شده است. آزمون "دوربین

واتسون (DW) نیز جهت بررسی وجود یا عدم وجود خودهمبستگی انجام شده است.

الف-۱) تابع تولید آب برای محصول گندم:

$$Y_1 = 1334 + 1/217 W - 0.00005 W^2$$

10/04	24/87	-0.00005
0.0000	0.0000	0.0000

$$R^2 = 0.98 \quad DW = 1.80$$

$$\overline{R^2} = 0.98 \quad F = 10.7$$

الف-۲) تابع تولید آب جهت محصول چغندر قند

$$Y_2 = 1213/8 + 1/17 - 9/5 \times 10^{-6} W^2$$

0.70	1.00	-0.000009
0.17	0.0000	0.0000

$$R^2 = 0.94 \quad DW = 1.77$$

$$\overline{R^2} = 0.7 \quad F = 133.9$$



در توابع مذکور Y_1 و Y_2 به ترتیب معرف عملکرد گندم و چغندر بوده و نشان‌دهنده میزان آب مصرفی می‌باشد.

نتایج حاصل از تخمین توابع نشان می‌دهد که توابع تولید برآورد شده، توابعی خوش‌رفتار با ضریب منفی جهت متغیر توان دوم بوده که این خود کاهش بازده واحدهای نهایی مصرف آب را نشان می‌دهد. به استثنای عرض از مبدأ در تابع تولید آب محصول چغندر قند، سایر ضرایب براساس آمارهای T و F معنی‌دار بوده، بالا بودن ضریب R^2 در تابع تولید آب محصول گندم حدود ۹۸ درصد و محصول چغندر قند حدود ۹۴ درصد (تعدیل شده) بیانگر این واقعیت است که متغیر آب مصرفی، تغییرات عملکردی را تا حد زیادی توجیه می‌کند.

ب) برآورد توابع هزینه محصولات مورد مطالعه:

توابع هزینه در تحقیق حاضر توابعی خطی بوده که بر اساس دو دسته هزینه برآورد شده‌اند. دسته اول هزینه‌هایی را شامل می‌گردد که به آبیاری محصول مربوط بوده و به عنوان هزینه‌های ثابت فرض شده‌اند. دسته دوم شامل هزینه‌های متغیر مربوط به آبیاری است که هزینه‌هایی چون مصرف کود بیشتر، برداشت محصول اضافی، حمل و بارگیری محصول اضافی و... که ناشی از آبیاری بیشتر محصول بوده در نظر گرفته شده است. توابع تخمینی عبارتند از:

ب-۱) تابع هزینه گندم

$$C_1 = 1164000 + 127 W$$

ب-۲) تابع هزینه چغندر قند

$$C_2 = 278000 + 90 W$$

C_1 و C_2 معرف هزینه کل به ترتیب در محصولات گندم و چغندر قند می‌باشند.

ج) تعیین سطوح مختلف آب مصرفی و عملکردهای مربوطه:

در این قسمت براساس توابع تولید و هزینه برآورد شده و قیمت محصولات مورد مطالعه و با استفاده از فرمول‌های ریاضی، چهار سطح مختلف آب مصرفی و عملکرد مربوطه در شرایط آبیاری کامل و درجات کم آبیاری جهت تحویل سود حداکثر در واحد سطح، حداکثر سود در واحد آب و سود معادل محاسبه گردیده که نتایج آن در جداول (۲ و ۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): میزان آب مصرفی، عملکرد در هکتار و سود ناخالص در سطوح مختلف مصرف آب جهت محصول گندم آبی

سطوح مختلف آبیاری	آبیاری کامل	کم آبیاری درجه ۱	کم آبیاری درجه ۲	کم آبیاری درجه ۳
میزان آب مصرفی (متر مکعب)	۱۲۱۷۰	۹۹۹۶	۴۷۵۲	۷۸۲۵
عملکرد در هکتار (کیلوگرم)	۸۷۳۹	۸۵۰۴	۵۹۹۱	۷۷۹۶
سود ناخالص در هکتار (ریال)	۲۳۴۱۲۰۰	۲۴۷۸۳۲۴	۱۶۸۲۰۲۸	۲۳۴۱۹۲۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۲): میزان آب مصرفی، عملکرد و سود ناخالص در هکتار، سطوح مختلف مصرف آب جهت محصول چغندر قند

سطوح مختلف آبیاری	آبیاری کامل	کم آبیاری درجه ۱	کم آبیاری درجه ۲	کم آبیاری درجه ۳
میزان آب مصرفی (متر مکعب)	۲۳۵۲۶	۲۰۵۰۹	۱۱۵۹۹	۱۷۴۹۲
عملکرد در هکتار (کیلوگرم)	۵۳۷۹۵	۵۰۵۰۲	۴۰۲۸۰	۵۰۳۳۶
سود ناخالص در هکتار (ریال)	۳۶۷۲۷۷۵	۳۴۰۳۱۶۱	۲۶۰۰۰۵۰	۳۶۴۸۴۷۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۳): درصد تغییر مصرف آب، عملکرد و سود ناخالص در درجات مختلف کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل در زراعت

گندم آبی

تغییرات	درصد تغییر	درصد تغییر در	درصد تغییر در سود
درجات کم آبیاری	در مصرف آب	عملکرد	ناخالص
کم آبیاری درجه (۱)	-۱۸	-۳	۶
کم آبیاری درجه (۲)	-۶۱	-۳۱	-۲۸/۲
کم آبیاری درجه (۳)	-۳۶	-۱۱	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۴): درصد تغییر مصرف آب، عملکرد و سود ناخالص در درجات مختلف کم آبیاری نسبت به آبیاری کامل در محصول چغندر

قند

تغییرات	درصد تغییر	درصد تغییر در	درصد تغییر در سود
درجات کم آبیاری	مصرف آب	عملکرد	ناخالص
کم آبیاری درجه (۱)	-۱۲/۸	-۶/۱	-۷/۳
کم آبیاری درجه (۲)	-۵۰/۷	-۲۵/۱	-۲۹/۲
کم آبیاری درجه (۳)	-۲۵/۷	-۶/۴	-۰/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از برآورد توابع تولید، هزینه و سود ناخالص نشان‌دهنده این واقعیت است که کاهش در مصرف آب آبیاری، اگر چه موجب کاهش عملکرد محصول شده، اما اولاً درصد کاهش عملکرد کمتر از درصد کاهش مصرف آب بوده، ثانیاً اثر کاهش مصرف آب بر سود ناخالص متفاوت بوده، بطوری که در مواردی حتی موجب افزایش سود ناخالص در واحد سطح شده است.

همان‌گونه که در جدول (۳) نشان داده شده، ۱۸ درصد کاهش در مصرف آب موجب کاهش ۳ درصد در عملکرد گندم شده اما در سود ناخالص نه‌تنها کاهشی ایجاد نشده بلکه معادل ۶ درصد افزایش نیز وجود داشته است. کاهش ۳۶ درصد مصرف آب نیز عملکرد را به میزان ۱۱ درصد کاهش داده، اما در سود ناخالص تغییری ایجاد نکرده است. همچنین ۶۱ درصد کاهش در مصرف آب، صرفاً ۳۱ درصد عملکرد محصول گندم و ۲۸/۲ درصد سود ناخالص را کاهش داده است. درخصوص محصول چغندر قند نیز با ۱۲/۸ درصد کاهش مصرف آب، ۶/۹ درصد از عملکرد و ۷/۳ درصد سود ناخالص را از دست داده، ۲۵/۷ درصد کاهش در مصرف آب به ترتیب ۶/۴ و ۰/۷ درصد کاهش در عملکرد و سود ناخالص را موجب شده که کاهش در سود ناخالص قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

این نتایج نشان می‌دهد که در درجاتی از کم‌آبیاری برای محصولاتی چون گندم و چغندر قند نه‌تنها

جدول (۵): بهره‌وری متوسط، نهایی و ارزش بهره‌وری نهایی در محصول گندم آبی (کیلوگرم در متر مکعب-ریال)

شرایط کم‌آبیاری			شرایط آبیاری کامل	بهره‌وری
درجه (۳)	درجه (۲)	درجه (۱)		
۰/۹۹	۱/۲۶	۰/۸۵	۰/۷۲	بهره‌وری متوسط
۴۳۴۵	۷۳۱۸	۲۱۷۴	۰	بهره‌وری نهایی
۰/	۰/	۰/	۰	ارزش بهره‌وری نهایی
۰/۰۱	۰/۲۴	۰/۱	۰	ارزش بهره‌وری نهایی
۲۵۲	۴۳۰	۱۲۶	۰	ارزش بهره‌وری نهایی نسبت به قیمت آب
۲	۳/۴۱	۱	۰	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول (۶): بهره‌وری متوسط، نهایی و ارزش بهره‌وری نهایی در محصول چغندر قند (کیلوگرم در متر مکعب-ریال)

شرایط کم‌آبیاری			شرایط آبیاری کامل	بهره‌وری
درجه (۳)	درجه (۲)	درجه (۱)		
۳/۳۷	۳/۴۷	۲/۴۶	۲/۲۹	بهره‌وری متوسط
۱/۱۴۶	۲/۲۶	۰/۵۷۳۲	۰	بهره‌وری نهایی
۱۸۰	۳۵۵/۸	۹۰	۰	ارزش بهره‌وری نهایی
۲	۳/۹۵	۱	۰	ارزش بهره‌وری نهایی نسبت به قیمت آب

مأخذ: یافته‌های تحقیق

موجبات صرفه‌جویی در آب آبیاری فراهم می‌گردد بلکه دلیل کاهش قابل توجه هزینه‌های تولید سود ناخالص دریافتی از شرایط آبیاری کامل نیز بیشتر خواهد بود. که این خود شرایط را برای توصیه این تکنیک فراهم می‌سازد.

د) اثرات کاهش مصرف آب (کم‌آبیاری) بر بهره‌وری آب

بطور کلی برای هر نهاده دو نوع بهره‌وری قابل محاسبه می‌باشد. یکی بهره‌وری متوسط که همان AP بوده و عبارت از نسبت ستاده به نهاده می‌باشد. دیگری عبارت از بهره‌وری نهایی یا MP بوده که با مشتق‌گیری از تابع تولید آب نسبت به نهاده آب قابل حصول می‌باشد.

نتایج حاصله در جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد که:

۱- کمترین بهره‌وری متوسط و نهایی مربوط به شرایط آبیاری کامل بوده و در درجات مختلف کم‌آبیاری با کاهش مصرف آب، بهره‌وری آب افزایش یافته است. با توجه به این یافته و این که درجات کم‌آبیاری منظور شده در تحقیق مربوط به ناحیه اقتصادی تولید (ناحیه II) می‌باشد، مانعی برای استفاده از تکنیک کم‌آبیاری در هر یک از درجات وجود ندارد.

۲- بهره‌وری نهایی آب در شرایط آبیاری کامل برابر صفر بوده، درحالی که حداکثر عملکرد در واحد سطح (جداول ۱ و ۲) دقیقاً مربوط به این سطح از مصرف آب می‌باشد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که با کاهش آب مصرفی، بهره‌وری آب افزایش یافته و بهره‌وری زمین کاهش یافته، اما درصد افزایش بهره‌وری آب بیش از درصد کاهش بهره‌وری زمین بوده است. با توجه به این نتیجه و محدودیت منابع آب، تکنیک کم‌آبیاری قابل توصیه می‌باشد.

۳- در ردیف پنجم جداول ۵ و ۶، نسبت ارزش بهره‌وری نهایی به قیمت آب یا گنجانده شده که حد مطلوب مصرف نهاده (آب) مربوط به زمانی است که این نسبت برابر یک باشد. لذا بدون در نظر گرفتن سایر مسائل برای محصولات گندم و چغندر قند شرایط کم‌آبیاری درجه (۱) حد مطلوب کم‌آبیاری در این مطالعه می‌باشد. البته با استفاده از تکنیک کم‌آبیاری جهت تخصیص بهینه آب بین محصولات مختلف ممکن است این حد مطلوب تغییر کند.

منابع:

- ۱- توکلی، ع، فرداد، خ: (۱۳۷۵)، «بهینه‌سازی کم‌آبیاری بر اساس توابع تولید، هزینه و قیمت چغندر قند در کرج» مجموعه مقالات دومین کنگره ملی مسائل آب و خاک، جلد اول: ۳۶۹-۳۵۴
- ۲- خواجه‌عبداللهی، م. و سیاستخواه، ع. (۱۳۷۵)، «بررسی اقتصادی آبیاری جویچه‌ای یک در میان با دوره‌های مختلف برای ذرت»، آب و توسعه، (۱۵): ۶۰-۵۴.
- ۳- خیرایی، ج و توکلی، ع. (۱۳۷۶) «مدل‌های بهینه‌سازی کم‌آبیاری تنظیم شده» ماهنامه آب و خاک ماشین، (۲۱): ۴۵-۳۳.
- ۴- سازمان مدیریت منابع آب، سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۷۵)، «آب شکل بفرنج در پیش‌رو»، ماهنامه آب خاک ماشین، (۲۶): ۵-۴.
- ۵- سلطانی، غ. (۱۳۷۲)، «برنامه‌ریزی آبیاری به منظور استفاده بهینه از منابع آب در ایران»، ماهنامه آب و خاک ماشین، (۳): ۱۴-۱۰.
- ۶- ظفرنژاد، ف. (۱۳۷۵)، «محدودیت تلفات و نرخ آب کشاورزی»، آب و توسعه، (۱۵): ۵۳-۴۴.
- ۷- قهرمان، ب. و سیاستخواه، ع. (۱۳۷۵)، «حداکثر عملکرد نسبی محصولات زراعی، چشم‌انداز جدید در کم‌آبیاری»، آب و توسعه، (۳۳): ۱۴-۲۵.
- 8-Doorenbos, J.Kassam, A.,Branscheid, Vand Bentvolson, C. (1979). *yield Response to Water*, FAO (33).
- 9- English, M.(1990), *Deficit irrigation: Analytical framework*, j. Asce, 116 (3): 399-413
- 10- English, M., James, L. and Chen, C. (1990), *deficit irrigation observation in Colombia basin*, J. Asce, 116 (3): 413 - 426
- 11- English, M.MusicK, J. and Marty, V.(1990), *Management of Farm Irrigation System*, ASCE.
- 12- Jensen, M.E. (1968), *In Water Deficit and Plant Growth* (Ed.Ko ZlowsKi, T.T.) ,Newyork, Academic Press.
- 13- Nairizi, J. and Rydzowski, J. (1977), *Effect of clated soil moisture stress on Crop yields*, Exp. Agree, 13: 51-59
- 14- Pomareda, C. (1977), *Economic analysis of irrigation production function- an application of linear programming*, World Bank, Washington, DC, pp: 1-11