اقتصادکشاورزي و توسعه، سال دوازدهم، شماره ٤٧، پاييز١٣٨٣

تأثير بهبود راندمان آبياري در بخش کشاورزي بر افزايش سطح آبهاي زيرزميني

دکتر ولی بریم نژاد، دکتر غلامرضا پیکانی*

چکیده

استفادهٔ بهینه از منابع تجدیدپذیر آب، یکی از اهداف اقتصادی دولتها به شمار می‌آید. در این راستا سنجش شاخصهای پایداری آب نیاز اساسی دوام نظامهای کشاورزی در درازمدت است. از آنجا که پایداری دربرگیرندهٔ جنبه‌های اجتماعی، بومشناختی و اقتصادی است، کشاورز باید بتواند پارامترهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری را در تصمیمگیری خویش با یکدیگر تلفیق کند. هدف این تحقیق، توسعهٔ مدلی است که به تصمیمگیران کمک می‌کند تا نظام پایداری برای منطقه طراحی کنند. برنامه‌ریزی ریاضی ابزاری مفید برای مطالعه و تحلیل نظامهای‌کشاورزی است. نتایج حاصل ازحل برنامه‌ها و سیاستهای مختلف در راندمانهای مختلف آبی و سناریوهای گوناگون به مدیر این امکان را می‌دهد که حرکت به سوی پایداری را براساس سیاستها و اهداف منطقه‌ای طرحریزی و برنامه‌ریزی

* به ترتیب: اعضای هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد کرج و دانشگاه تهران.
E-mail: Vali_Borimnejad@kiau.ac.ir E-mail: rezapeykani@yahoo.com

کند. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر اثرمستقیم بهبود راندمان آبیاری بر افزایش سطح آبهای زیرزمینی است.

کلید واژه‌ها:
توسعهٔ پایدار، آب، برنامه‌ریزی ریاضی، آبهای زیرزمینی، راندمان آبیاری

مقدمه

لازمه توسعه کشاورزی، تحول و نوسازی است. در این راستا عواملی همچون بازار، فناوری روزآمد، دسترسی به مواد و وسایل لازم در بخش کشاورزی باید دچار تحول و نوسازی شوند. ولی با تغییر نگرش از عوامل فرابخشی به درونبخشی مشخص می‌شود که عواملی از درون بخش کشاورزی تأثیرات مهمی بر روند تحول و نوسازی این بخش و به‌طورخاص توسعهٔ کشاورزی خواهندداشت. آب و خاک، به عنوان دو مقولهٔ عمده، ازجملهٔ این عوامل‌اند. اگرچه این دوعامل تا حدودی لازمهٔ جدایی‌ناپذیر رویش گیاهان هستند اما نگاه ما به این دو مقوله، و مشخصاً آب، از جنبهٔ اهمیت حیاتی آن برای بخش کشاورزی (بویژه درشرایط اقلیمی ایران) است (قاسم‌زاده مجاوری، ۱۳۷۹). نقش‌حیاتی بخش‌کشاورزی در اقتصادملی ایران برکسی پوشیده نیست، به‌طوری‌که حدود ۲۷ درصد تولید ناخالص ملی، ۲۳درصد اشتغال و تأمین بیش از ۸۰ درصد غذای کشور را به عهده دارد. دراین راستا محدودیت منابع آبی همواره یکی از مهمترین موانع توسعهٔ بخش کشاورزی، به عنوان بستر اصلی نیل به خودکفایی مواد غذایی، بوده‌است (روزنامه اطلاعات مورخه ۱۳۸۰/۵/۲). شرایط خاص اقلیمی کشور، که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت گریزناپذیر آن است، هرگونه تولید موادغذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب محدود کشورکرده است. بنابراین می‌توان گفت که آبیاری مهمترین نهادهٔ تولید کشاورزی است؛ زیرا از یک طرف از حدود ۳۷ میلیون هکتار از اراضی مستعد کشاورزی به دلیل محدودیت منابع آب، فقط ۷/۸ میلیون هکتار به صورت فاریاب کشت می‌شود و از طرف دیگراز ۸۸/۵ میلیارد مترمکعب آب

استحصال‌شده از منابع سطحی و زیرزمینی حدود ۸۳ میلیارد مترمکعب (۹۳/۵ درصد) آن به بخش کشاورزی اختصاص دارد (فیض‌اللهی، ۱۳۸۰).

با نسبت حجم آب مورد استفاده و نرخ بهره‌وری و رشد فعلی جمعیت، نیاز آبی کشور در سال ۱۳۹۰ به ۱۲٦ و در سال ۱٤۰۰ به ۱۵۰ میلیارد مترمکعب خواهد رسید که رقم اخیر حدود ۱۵ درصد بیشتر از پتانسیل بالقوهٔ منابع آب تجدیدشوندهٔ کشور است (گزارش وزارت نیرو به هیئت دولت، ۱۳۷۷). بنابراین ضمن تأکید بر کاهش رشد جمعیت، باید از هم اکنون سیاستها و راهبردهای استفاده کارا از منابع آب همراه با پیش‌بینی فناوریهای موردنیاز جهت مقابله با این عامل مهم محدود مدنظر و مورد توجه خاص قرارگیرد. بی‌توجهی به این مهم کشور را با بحران آب مواجه خواهد ساخت؛ اگرچه در شرایط اقلیمی ایران نیز به دلیل پایین‌بودن بارندگی کشور و بالابودن پتانسیل تبخیر، خلأ و کمبود شدید آب خود به صورت بحرانی تجلی می‌نماید و این عارضه در شرایط خشکسالیها با شدت بیشتری کشور را با بحران مواجه می‌کند (کشاورز و صادق‌زاده، ۱۳۸۰).

هرچند مالکیت و برنامه‌ریزی در مورد آب سابقه‌ای تاریخی دارد، اما درتوسعه پایدار اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی حال و آیندهٔ کشور، دسترسی به آب به اندازه‌ای حیاتی است که متولیان امور کشور ناگزیر از اتخاذ برنامه‌ای راهبردی و مدون درمورد آب هستند تا فعالیتها و توسعه اقتصادی کشور بر مبنای آن صورت گیرد. حصول این هدف مستلزم بررسی و تعیین مطالعات و بررسیهای دقیق مهندسی منابع آب و خاک از یک طرف و توسعهٔ اصولی فناوری و تحقیقات مدیریت منابع آب و خاک از طرف دیگر است تا با رعایت آنها برنامه‌های مطلوب تدوین و اجرا شود. پژوهشگران معتقدند که ۱۰ تا ۵۰ درصد آب مصرفی در کشاورزی، ٤۰ تا ۹۰ درصد آب مصرفی در صنعت و حدود ۳۰ درصد آب مصرفی شهرها را می‌توان کاهش داد بدون آنکه به اصل هدف لطمه‌ای واردشود (پوستل، ۱۳۷۳). بنابراین، سازماندهی مناسب توسط مدیریت تقاضا و تنظیم الگوی مصرف آب به صورت پایدار، راهگشای تعدیل در اتلاف آب است.

در این راستا، با عنایت به این حقیقت که حدود ۸۹ درصد مواد خام کشاورزی کشور از باغها

و مزارع فاریاب حاصل‌می‌شود و نیز بخش‌کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب درکشور است، اهداف این مطالعه را می‌توان به صورت زیرنوشت:

۱.تعیین راهبردهایی برای الگوی کشت‌بهینه با توجه به کمبودمنابع آب زیرزمینی در دشت کرمان

۲.نشان‌دادن نقش افزایش راندمان آبیاری در افزایش سطح آبهای زیرزمینی به منظور بهینه‌سازی مدیریت مصرف‌آب‌جهت استفادهٔ پایدار از این نهاده در بخش کشاورزی در دشت کرمان

مروری بر مطالعات انجام‌شده

یکی از مباحث مدیریت پایدار کشاورزی، تولید پایدار محصول بدون آبیاری است که باعث افزایش اثربخشی عرضهٔ آب و حفاظت خاک از فرسایش بیشترمی‌شود. آبیاری کاراتر در عمل بدین معناست که آب کمتری هرز رود یا سطح آبهای زیرزمینی کاهش نیابد. در نتیجه، با توسعه و تطبیق راههایی برای استفادهٔ کاراتر از آب در کشاورزی، آب کمتری برای استفاده‌های غیرکشاورزی، بویژه در نواحی خشک، در دسترس خواهدبود که درآینده این امر منجر به کاهش بیشتر در مقدار آب مورداستفاده، متناسب با نیاز واقعی مصرف‌کنندگان آب می‌شود (Sophocleous, 1998).

در همین‌حال، ارتباطات بین کشاورزی، زمین و آب به طور فزاینده‌ای درحال تغییر و تحول است که از مهمترین‌علل این‌تغییر می‌توان به افزایش‌سریع شهرنشینی درکشورهای درحال‌توسعه، رقابت برای آب دربین استفاده‌کنندگان مختلف، توجهات محیطی، فرسایش خاک و کمبود منابع آبی، فشار جمعیت، سطوح بالای سوءتغذیه و قیمتهای‌جهانی اشاره کرد. فشار روی منابع آب زمانی اتفاق‌می‌افتدکه‌تقاضای جاری و آینده بیش‌از مقدار بهره‌دهی اقتصادی آب‌دردسترس‌ازمنابع‌آب باشد.

گزارش‌انجمن توسعهٔ‌پایدارسازمان‌ملل به منظور پررنگ کردن ارتباط بین محدوده‌های سیستمهای آب طبیعی و کمبودهای موجود در محدودهٔ سیاستهای مدیریت آب و خدماتی تهیه شده که تعیین‌کننده استفاده بهتراز آب است. به عقیدهٔ این انجمن "مدیریت پایدار آب در آبیاری در تلاش است تا از عرضهٔ بلندمدت، پایدار و قابل انعطاف آب مطمئن گردد و در حالی‌که تقاضای آب برای

مصارف صنعتی و شهری در حال افزایش است، به تقاضای محصول برای آب پاسخ داده شود و پیامدهای زیستمحیطی نیز به حداقل برسد"(Commission on Sustainable Development). برای رسیدن‌به‌این‌توازن‌مطلوب به مدلهای جدیدی احتیاج است تا بتوان از شاخصهای پایداری برای هدایت فرایند تصمیمگیری استفاده کرد. در راه رسیدن به این هدف، کای و همکاران(Cai & et al., 2001) یک ساختار مدلبندی ارائه‌دادند که از معیار کمی‌شدهٔ پایداری در یک مدل بهینه‌سازی درازمدت استفاده می‌کند تا بتواند از حداقل کردن ریسک در عرضهٔ آب، حفاظت محیطی، برابری در تخصیص آب و کارایی اقتصادی آب مطمئن شود. این مدلبندی با یک کارعملی در رودخانهٔ سیردریا[1] در آسیای مرکزی به اجرا درآمد. نتایج مدل بیانگر اثربخشی مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای تحلیل سیاستهای پایداری درحوضه این رودخانه است. از طرفی استخراج منابع آب زیرزمینی در کشاورزی می‌تواند منجر به خشک‌شدن چشمه‌ها و آب انبارهای طبیعی و کاهش کیفیت آبهای زیرزمینی‌شود، درصورتی‌که هنگام تعیین الگوهای استخراج آبهای زیرزمینی در بخش کشاورزی اغلب به این عوارض جانبی توجهی نمی‌شود.

هلگرس و همکاران (Hellegres & et al., 2001) مدلی مشتمل بر الگوهای استخراج منابع آب زیرزمینی در کشاورزی ارائه‌دادند. به عقیدهٔ این پژوهشگران، قیمتهای فعلی برای آبهای زیرزمینی کافی‌نیست و برای قبول فناوری پیشرفته آبیاری برای سیستمهایی که هزینه تخلیه و آلودگی آبهای زیرزمینی را در نظر می‌گیرند، محرکی ایجاد نمی‌کند. مطالعه هلگرس و همکاران، نشان می‌دهد در نظر گرفتن اثر بهره‌برداری از آب‌زیرزمینی روی کیفیت آب در یک مدل مدیریت منابع، زمانی معنیدار است که پرشدن مجدد آبهای زیرزمینی در مقایسه با اندازهٔ ذخیره بیشتر باشد.

روش تحقیق

برای مدلسازی پایداری در مدیریت منابع آب در ابتدا لازم است که ارتباط بین استفاده از آب و پیامدهای آن تعریف و میزان آب موجود و تقاضا برای آن بین احتیاجات حال و آینده ترکیب شود.

1. Syr Darya

کارایی استفاده از آب در سطح مزرعه معمولاً پایین است و این امر را می‌توان معلول قیمتهای نسبی نهاده‌ها و ستانده‌هایی دانست که باعث می‌شوند کشاورزان هزینه‌های مربوط به مدیریت منابع آب را حداقل کنند. علت دیگر این موضوع می‌تواند این باشد که کشاورزان به دلیل قیود زمانی و دسترسی آب و دیگر نهاده‌های کلیدی از به دست‌آوردن یک سطح مطلوب ازکارایی آب ناتوانند (Lara & Stancu-Minasian, 1999). یکی دیگر از عللی که کشاورزان نمی‌توانند مدیریت بهینهٔ آب را به کارگیرند این است که زمان انتقال آب براساس تناوبهای مختلف تعیین می‌گردد و نبود اعتماد به عرضهٔ مداوم آب باعث انعطاف‌پذیری اندک کشاورزان می‌شود. کشاورزان ممکن است خاکهای زراعی مختلفی داشته باشند که آنها را مجبور کند که از تانکر یا آبیاری قطره‌ای استفاده کنند؛ اما به دلیل کمبود سرمایه و قیمت پایین محصولات زراعی قادر به سرمایه‌گذاری روی این سیستمها نیستند. در برخی مواقع نبود اطلاعات‌کافی باعث می‌شود کشاورزان از به کاربردن روشهای پیشرفتهٔ آبیاری محروم شوند (همان منبع).

پیامدهای اقتصادی راندمانهای پایین آبیاری درسطح مزرعه ازجمله عدم بهره‌وری به دلیل یکسان‌نبودن کاربرد آب، شسته‌شدن موادغذایی خاک و زیانهای ناشی از بیماریها می‌تواند همه به وضعیت نامناسب رطوبت خاک مربوط باشد. خسارات درازمدت ناشی از فرسایش خاک را نیز می‌توان به این موضوعات افزود، گرچه کشاورزان در حال‌حاضر متوجهٔ این پیامدها نیستند. پیامدهای اقتصادی خارج ازمزرعه، که ناشی از راندمانهای پایین آبیاری در سطح مزرعه است، شامل آلودگی آبهای زیرزمینی و سطحی توسط موادغذایی و دیگر موادشیمیایی، شوری زمینهای پایین‌دست و رسوبگذاری در رودخانه‌هاست.

تحت فروض رقابت‌کامل، زمانی که یک بنگاه اقتصادی، قیمتپذیر در عوامل و محصولات بازار است، پرداختی به تمامی عوامل تولید، دقیقاً معادل با درآمدکل است که این امر باعث می‌شود سود صفر شود. در اینجا یک بنگاه، یک مزرعه است. تئوری بسیار ساده است؛ هرمقدار سود که وجود داشته باشد، بازدهی عوامل ثابت تولید است که به صورت بالقوه شامل آب آبیاری نیز می‌شود.

براساس‌این‌منطق، برنامه‌ریزی‌خطی‌وغیرخطی ایستا و پویا نه تنها برای نشان‌دادن فایدهٔ کل آب آبیاری مفیداست، بلکه‌توابع‌تقاضا برای آن را نیز می‌توان به دست‌آورد(Beneke and Winterboer, 1973). همچنین برای مطالعه و تحلیل نظامهای پایدار کشاورزی، برنامه‌ریزی ریاضی ابزاری مناسب است که درزمان استفاده از این مدلها، تحقیق در عملیات محدودهٔ بزرگی از مدلهای تئوریک معتبر را ارائه می‌دهد (Lara & Stancu-Minasian, 1999).

مطالعهٔ حاضر درصدد بررسی وضعیت منابع آبی دشت کرمان به‌عنوان محدودهٔ مورد مطالعه است. قسمت اعظم بهرهبرداری از منابع آب دشتهای مختلف استان از طریق حفرچاه جهت استفاده از مخازن آب زیرزمینی انجام میگیرد. برداشت از سفرههای آب‌زیرزمینی دشتها بیشتر برای مصارف بخش کشاورزی، آب آشامیدنی شهرها و مصارف موردنیاز استخراج معادن غنی استان نظیر مس و زغال سنگ، آهن و غیره انجام می‌شود. کلیه این مصارف برحسب تصادف در مناطق فقیر استان از نظر منابع آب‌زیرزمینی و سطحی نظیر زرند، رفسنجان، خاتون آباد، شهربابک و سیرجان متمرکز شده است، درحالی‌که در مناطق دیگر استان نظیر جیرفت، کهنوج و رودبار، که دارای آب‌سطحی فراوان (رودخانه پرآب نظیر هلیل‌رود) و آب زیرزمینی مناسب هستند، تمرکز فعالیت بهرهبرداری به نسبت کمتر است. بحران کنونی آب دراستان معلول اضافه برداشت از منابع آبهای زیرزمینی است که این امر باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشتهای استان گردیده است؛ به عبارتی، بهره‌برداری از منابع آبهای‌زیرزمینی در اکثر نقاط از تغذیهٔ دشتهای استان بیشتر شده است که درصورت ادامه این روند، سرمایه‌گذاری‌های فعلی بزودی درخطر نابودی قرار خواهد گرفت.

براساس مطالعات انجام‌گرفته دردشت کرمان و با توجه به تناوبهای موجود در آن، دشت مذکور را می‌توان به سه ناحیه با الگوی کشت مختلف تقسیم کرد. محصولات موجود دراین سه ناحیه هرکدام دارای نیاز آبی متفاوتی نسبت به ناحیهٔ دیگر است (جدولهای۱تا ۳) .

جدول ۱. ناحیهٔ اول

ترکیب کشت	گندم	نخود	ذرت	سیب‌زمینی	عدس	گوجه‌فرنگی	خیار	جو	جمع
زمین مورد	٤٢٠٠	٤٤٠	١٤٥	٥٨٠	١٠٥	١٨٠	٧٥	١٢٥٠	٦٩٧٥

استفاده(هکتار)									
آب مورد نیاز برای هر هکتار (مترمکعب)	٥٧٠٠	٤٤٢٠	٨٠٨٠	٩٤٢٠	٤٧١٠	١٢٠٣٠	٤٤١٠	٥٧٠٠	

جدول ٢. ناحیه دوم

ترکیب کشت	گندم	جو	هندوانه	ذرت	آفتابگردان	جمع
زمین مورد استفاده(هکتار)	٢٤٥٠	٧٨٠	٧٤٥	٧٥	٣٠٥	٤٣٥٥
آب مورد نیاز برای هر هکتار(مترمکعب)	٦٧٥٠	٦٧٥٠	٧٠٩٠	٨٢٢٠	٦٦١٠	

جدول ٣. ناحیهٔسوم

ترکیب کشت	گندم	جو	چغندر	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی	جمع
زمین مورد استفاده(هکتار)	١٨٥٠	٥٢٢	٣٨٥	١٧٠	٤٠٠	٨٥	٣٤١٢
آب مورد نیاز برای هر هکتار(مترمکعب)	٥٨٠٠	٥٨٠٠	٩١٥٠	٨٠٠٠	٣٥٤٠	١١٦٨٠	

مأخذ: فرشی و همکاران، ١٣٧٦، وزارت جهادکشاورزی، ١٣٨١

تذکر: کلیهٔ اعداد تقریبی بوده و بر اساس شباهتهای اقلیمی بین نواحی مختلف و وسعت آن نواحی محاسبه شده است.

نظر به محدودبودن ذخیرهٔ سفره‌های آب‌زیرزمینی در این منطقه، هدف اولیه محاسبهٔ مقدار آب موردنیاز برای هر الگوی کشت، تعیین راندمان و تناوب موجود و الگوی کشت رایج در هر یک از مناطق دشت کرمان است. هدف‌بعدی، اندازه‌گیری اثر افزایش راندمان آبیاری از طریق سیستمهای‌آبیاری تحت‌فشار روی میزان ذخیرهٔ آب به صورت تلفیقی درکل دشت است. در پایان نیزتلاش‌خواهدشد اثرسیاستگذاریهای مختلف بر میزان مصرف‌آب در دشت نشان داده شود.

برنامه‌ریزی تلفیقی برای سه ناحیه با توجه به ذخیرهٔ سفره‌های آب زیرزمینی دشت کرمان

دراین بخش تلاش خواهد شد با تلفیق سه ناحیهٔ فوق، وضعیت دشت کرمان با توجه به میزان ذخیره سفره‌های آب‌زیرزمینی بررسی‌شود. این برنامه‌ریزی برای سه راندمان مختلف انجام می‌گیرد تا از این طریق بتوان اثر تغییر الگوی کشت و میزان ذخیرهٔ آب را به صورت مقایسه‌ای نشان داد. درضمن، اثرسیاستهای مختلف ازجمله وجود محصولات راهبردی نیز در مدل نظر گرفته خواهد شد.

راندمان ۱۰۰ درصد:

Max:
Gm=354704corn1+57480barely1+40412cucum1+403060potato1+130835lent1+85411wheat1+
341852tomato1+92458pea1+354704corn2+232229sunfl2+57480barely2+320000waterm2+85411wheat2+
98837onion3+57480barely3+43105sugb3+403060potato3+341852tomato3+85411wheat3
s.t:
1)corn1+barely1+cucum1+potato1+lent1+wheat1+tomato1+pea1=6975
2)8080corn1+5700barely1+4410cucum1+9420potato1+4710lent1+5700wheat1+
12030tomato1+4420pea1-water1 $\leq$ 0;
3)566corn1+363barely1+585cucum1+958potato1+268lent1+392wheat1+362tomato1+671pea1 $\leq$ 3061240;
4)65corn1+52barely1+133cucum1+94potato1+45lent1+53wheat1+346tomato1+51pea1 $\leq$ 450965;
5)corn2+barely2+waterm2+wheat2+sunfl2=4355;
6)8220corn2+6750barely2+7090waterm2+6750wheat2+6610sunfl2-water2 $\leq$ 0;
7)566corn2+363barely2+485waterm2+392wheat2+219sunfl2 $\leq$ 1714110;
8)65corn2+52barely2+45waterm2+53wheat2+50sunfl2 $\leq$ 224060;
9)wheat3+barely3+sugb3+potato3+onion3+tomato3=3412;
10)5800wheat3+5800barely3+9150sugb3+8000potato3+3540onion3+11680tomato3-water3 $\leq$ 0;
11)392wheat3+363barely3+747sugb3+958potato3+575onion3+362tomato3 $\leq$ 1625911;
12)53wheat3+52barely3+78sugb3+94potato3+157onion3+346tomato3 $\leq$ 263414;
13)water1+water2+water3-reswater $\leq$ 0;
14)reswater $\leq$ 120000000;
15)reswater $\geq$ 100000000;
16)wheat1+wheat2+wheat3 $\leq$ 4200+2450+1850;
17)barely1+barely2+barely3 $\leq$ 1250+780+522;
18)corn1+corn2 $\leq$ 145+75;
19)potato1+potato3 $\leq$ 580+170;
20)tomato1+tomato3 $\leq$ 180+85;
21)lents1 $\leq$ 105;
22)lents=lents1;
23)cucum1 $\leq$ 75;
24)cucum=cucum1;
25)pea $\leq$ 440;

26)pea=pea1;
27)sunflo2 $\leq$ 305;
28)sunfl=sunfl2;
29)sugb3 $\leq$ 385;
30)onion3 $\leq$ 400;
31)waterm2 $\leq$ 745;
32)wheat=wheat1+wheat2+wheat3;
33)barely=barely1+barely2+barely3;
34)water=water1+water2+water3;
35)potato=potato1+potato3;
36)tomato=tomato1+tomato3;
37)corn=corn1+corn2;
38)sugb=sugb3;
39)onion=onion3;
40)waterm=waterm2;

مدل فوق مدل برنامه‌ریزی تلفیقی دشت‌کرمان است. تابع‌هدف این‌مدل، حداکثر کردن درآمدناخالص است. درمحدودیت ۱، کل زمین موجود در دشت کرمان مورد استفاده قرارمی‌گیرد. هدف محدودیت دوم این است که درراندمان ۱۰۰ درصد، میزان آب مصرفی بر اساس الگوی کشت محصولات موجود در ناحیهٔ یک و نیاز آبی این محصولات محاسبه شود. محدودیت سوم و چهارم به ترتیب مربوط به محدودیت کود و نیروی‌کار است. محدودیتهای ۵ تا ۸، محدودیتهای مربوط به ناحیهٔ دوم و محدودیتهای ۹ تا ۱۲ مربوط به ناحیهٔ سوم است. یکی از اهداف این مطالعه، محدودکردن میزان آب مصرفی توسط الگوی کشت رایج درمحدوده‌ای است که بتوان هرساله مقداری در مصرف آب صرفه‌جویی کرد تا پس از چند سال سطح سفره از حدبحرانی خود خارج شود. در اینجا هدف این است که حداقل ۲۰ میلیون مترمکعب در سال ذخیره آب داشته باشیم (میزان آب موجود در سفره‌های آب زیرزمینی در دشت کرمان ١٤٤ میلیون مترمکعب است). بنابراین سعی براین است که حداکثر مقدار آب مصرفی در این دشت از ۱۲۰ میلیون مترمکعب بیشتر و از ۱۰۰ میلیون مترمکعب کمتر نشود. محدودیت ۱۳ تا ۱۵ ما را در رسیدن به این هدف یاری می‌کند. ممکن است سیاست دولت یا مدیر این باشد که همهٔ محصولات موجود در منطقه در الگوی کشت قرار گیرند که محدودیتهای ١٦ تا ۳۱ تأمین‌کنندهٔ این هدف هستند. محدودیتهای ٢٤، ٢٦ و ۳۲ تا ٤٠ نیز الگوی کشت منطقه را نشان

می‌دهند.

جدول٤ نتایج حاصل از حل این مدل، و مشخصاً الگوی کشت، مقدار آب لازم برای هر ناحیه و میزان آب استفاده شده از سفره‌های آب زیرزمینی و مقدار ذخیره آب را نشان می‌دهد.

جدول ٤. حل مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی

	متغیر	ارزش متغیر	هزینهٔ کاهش‌یافته
١	ذرت ١	٠	٣٧٥٤٢٢٧٠٠٠٠٠
٢	جو١	٢٥٥٢	٠
٣	خیار١	٧٥	٠
٤	سیب‌زمینی١	٧١٥	٠
٥	عدس١	١٠٥	٠
٦	گندم١	٣٣٦٠	٠
٧	گوجه‌فرنگی١	١٦٨	٠
٨	نخود١	٠	٥٩٧٣١١٤٠٠٠٠٠
٩	ذرت٢	٢٢٠	٠
١٠	آفتابگردان٢	٣٣٩٠	٠
١١	جو٢	٠	٦٢٣٥١٢٥٠٠٠٠
١٢	هندوانه٢	٧٤٥	٠
١٣	گندم٢	٠	١٤٦٨١٨
١٤	پیاز٣	٤٠٠	٠
١٥	جو٣	٠	٦٢٣٥١١١٠٠٠٠
١٦	چغندرقند٣	٠	٤٢٣٠٦
١٧	سیب‌زمینی٣	٣٥	٠
١٨	گوجه‌فرنگی٣	٩٦	٠
١٩	گندم٣	٢٨٨٠	٠
٢٠	آب١	٤١٤٩٤٠٥٠	٠
٢١	آب٢	٢٩٦٩٠٤٢٠	٠
٢٢	آب٣	٢١١٥٠٩٥٠	٠
٢٣	سفره زیرزمینی	١٠٠٠٠٠٠٠٠	٠
٢٤	عدس	١٠٥	٠
٢٥	خیار	٧٥	٠
٢٦	نخود	٠	٠
٢٧	آفتابگردان	٣٣٩٠	٠
٢٨	گندم	٦٢٤٠	٠
٢٩	جو	٢٥٥٢	٠
٣٠	آب	٩٢٣٣٥٤٢٠	٠

ادامه جدول ٤

۳۱	سیب‌زمینی	۷۵۰	۰
۳۲	گوجه‌فرنگی	۲٦۵	۰
۳۳	ذرت	۲۲۰	۰
۳٤	چغندرقند	۰	۰
۳۵	پیاز	٤۰۰	۰
۳٦	هندوانه	۷٤۵	۰
	ارزش تابع هدف		۸۷۳۳۷۹۹۰۰۰۰۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تذکر: اندیسهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب نشاندهندهٔ محصولات در نواحی اول، دوم و سوم است.

همان‌گونه که در ابتدای مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی اشاره شد، این برنامه‌ریزی در راندمان ۱۰۰درصد است، یعنی فرض این است که کل آب استخراج‌شده به مصرف گیاه می‌رسد. براساس نتایج حاصل از حل این مسئله، الگوی کشت به صورت زیر خواهد بود:

ناحیهٔ اول: جو، خیار، سیب‌زمینی، عدس، گندم و گوجه‌فرنگی (در این ناحیه، ذرت و نخود از الگوی کشت حذف‌شده‌است).

ناحیهٔ دوم: ذرت، آفتابگردان وهندوانه (دراین ناحیه، گندم و جو ازالگوی کشت حذف‌شده است).

ناحیهٔ سوم: پیاز، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و گندم (در این ناحیه جو و چغندرقند از مدل حذف شده است).

همان‌گونه که ازجدول ٤ می‌توان استنتاج کرد، مقدارآب استفاده‌شده در نواحی مختلف به ترتیب برای ناحیهٔاول ٤۱٤۹٤۰۵۰ مترمکعب، ناحیهٔدوم ۲۹٦۹۰٤۲۰ مترمکعب و ناحیهٔ سوم۲۱۱۵۰۹۵۰ مترمکعب خواهد بود. درنتیجه در دشت کرمان در راندمان ۱۰۰ درصد، ۹۲۳۳۵٤۲۰ مترمکعب آب مصرف‌می‌شود که با مصرف این مقدار آب، سالانه ٤۸ میلیون مترمکعب آب از سفره‌های آب زیرزمینی دردشت کرمان صرفه‌جویی می‌شود. البته همان طور که می‌دانیم، راندمان ۱۰۰ درصد یک راندمان غیرواقعی است که عملاً دستیابی به آن ناممکن خواهد بود. بنابراین در ادامه تلاش خواهدشد که این برنامه‌ریزی برای راندمانهای ۳۵ درصد (راندمان رایج درسطح دشت کرمان) و ۷۵ درصد (در صورت استفاده از فناوری آبیاری تحت‌فشار) انجام شود و سیاستهای لازم برای آن به اجرا درآید.

راندمان ۷۵ درصد:

Max:

Gm=354704corn1+57480barely1+40412cucum1+403060potato1+130835lent1+
85411wheat1+341852tomato1+92458pea1+354704corn2+232229sunfl2+57480barely2+
320000waterm2+85411wheat2+98837onion3+57480barely3+43105sugb3+403060potato3+341852
tomato3+85411wheat3;

s.t:

1)corn1+barely1+cucum1+potato1+lent1+wheat1+tomato1+pea1=6975

2)10733corn1+7600barely1+5880cucum1+12560potato1+6280lent1+7600wheat1+16040tomato1+
5890pea1-water1 $\leq$ 0;

3)566corn1+363barely1+585cucum1+958potato1+268lent1+392wheat1+362tomato1+
671pea1 $\leq$ 3061240;

4)65corn1+52barely1+133cucum1+94potato1+45lent1+53wheat1+346tomato1+51pea1 $\leq$ 450965;

5)corn2+barely2+waterm2+wheat2+sunfl2=4355;

6)10960corn2+9000barely2+9453waterm2+9000wheat2+8813sunfl2-water2 $\leq$ 0;

7)566corn2+363barely2+485waterm2+392wheat2+219sunfl2 $\leq$ 1714110;

8)65corn2+52barely2+45waterm2+53wheat2+50sunfl2 $\leq$ 224060;

9)wheat3+barely3+sugb3+potato3+onion3+tomato3=3412;

10)7733wheat3+7733barely3+12200sugb3+10666potato3+4720onion3+15573tomato3-water3 $\leq$ 0;

11)392wheat3+363barely3+747sugb3+958potato3+575onion3+362tomato3 $\leq$ 1625911;

12)53wheat3+52barely3+78sugb3+94potato3+157onion3+346tomato3 $\leq$ 263414;

13)water1+water2+water3-reswater $\leq$ 0;

14)reswater $\leq$ 120000000;

15)reswater $\geq$ 100000000;

16)wheat1+wheat2+wheat3 $\leq$ 4200+2450+1850;

17)barely1+barely2+barely3 $\leq$ 1250+780+522;

18)corn1+corn2 $\leq$ 145+75;

19)potato1+potato3 $\leq$ 580+170;

20)tomato1+tomato3 $\leq$ 180+85;

21)lents1 $\leq$ 105;

22)lents=lents1;

23)cucum1 $\leq$ 75;

24)cucum=cucum1;

25)pea $\leq$ 440;

26)pea=pea1;

27)sunflo2 $\leq$ 305;

28)sunfl=sunfl2;

29)sugb3 $\leq$ 385;

30)onion3 $\leq$ 400;

31)waterm2 $\leq$ 745;

32)wheat=wheat1+wheat2+wheat3;

33)barely=barely1+barely2+barely3;

```
34)water=water1+water2+water3;
35)potato=potato1+potato3;
36)tomato=tomato1+tomato3;
37)corn=corn1+corn2;
38)sugb=sugb3;
39)onion=onion3;
40)waterm=waterm2;
```

پس ازفرمولبندی مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی درراندمان ۷۵درصد، آن را به دوصورت‌حل می‌کنیم:

الف) فرض‌می‌کنیم که محدودیت ١٤ (یعنی تعیین حداکثر میزان مصرف‌آب) وجوددارد. نتایج حاصل از حل این مسئله در جدول ٥ نشان داده شده است:

جدول ٥. حل مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی با وجود محدودیت ١٤

	متغیر	ارزش متغیر	هزینهٔ کاهش‌یافته
١	ذرت ١	٠	٣٨٧٥٢٠٥٠٠٠٠٠
٢	جو١	٢٥٥٢	٠
٣	خیار١	٧٥	٠
٤	سیب‌زمینی١	٧١١	٠
٥	عدس١	١٠٥	٠
٦	گندم١	٣٤٣٣	٠
٧	گوجه‌فرنگی١	٩٨	٠
٨	نخود١	٠	٥٧١٢٧٠٢٠٠٠٠٠
٩	ذرت٢	٠	١٥٩٧٣٩٦٠٠٠٠
١٠	آفتابگردان٢	٤٣٥٥	٠
١١	جو٢	٠	٦٢٠٩٢٢٢٠٠٠٠
١٢	هندوانه٢	٠	٤٧٦١٦٢٩٠٠٠
١٣	گندم٢	٠	١٣٩١٤٥٩٠٠٠
١٤	پیاز٣	٤٠٠	٠
١٥	جو٣	٠	٦٠٧٠١٧٧٠٠٠٠

١٦	چغندرقند٣	٠	٣٣٢٣٥٣٦٠٠٠٠

ادامه جدول ٥

١٧	سیب‌زمینی٣	٠	٢١٨٢١٧٥٠٠٠٠
١٨	گوجه‌فرنگی٣	٠	٥٨٣٣٠٨٢٠٠٠٠
١٩	گندم٣	٣٠١٢	٠
٢٠	آب١	٥٦٤٣٩٥٩٠	٠
٢١	آب٢	٣٨٣٨٠٦٢٠	٠
٢٢	آب٣	٢٥١٧٩٨٠٠	٠
٢٣	سفره زیرزمینی	١٢٠٠٠٠٠٠٠	٠
٢٤	عدس	١٠٥	٠
٢٥	خیار	٧٥	٠
٢٦	نخود	0	٠
٢٧	آفتابگردان	٤٣٥٥	٠
٢٨	گندم	٦٤٤٥/٥٧٢	٠
٢٩	جو	٢٥٥٢	٠
٣٠	آب	١٢٠٠٠٠٠٠٠	٠
٣١	سیب‌زمینی	٧١١	٠
٣٢	گوجه‌فرنگی	٩٨	٠
٣٣	ذرت	٠	٠
٣٤	چغندرقند	٠	٠
٣٥	پیاز	٤٠٠	٠
٣٦	هندوانه	٠	٠
	ارزش تابع هدف		٨٦٨٨٢٩٦٠٠٠٠٠٠٠

مأخذ: یافته‌های تحقیق

ب) فرض‌می‌کنیم که محدودیت ١٤ و ١٥(یعنی تعیین حداکثر میزان مصرف آب) وجود ندارد. نتایج حاصل از حل این مسئله در جدول ٦ آورده شده است:

جدول ٦. حل مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی بدون وجود محدودیت ١٤

	متغیر	ارزش متغیر	هزینهٔ کاهش‌یافته
١	ذرت ١	٢	٣٧٥٤٠٠٠٠٠٠٠
٢	جو١	٢٥٥٢	٠
٣	خیار١	٧٥	٠
٤	سیب‌زمینی١	٧١٥	٠
٥	عدس١	١٠٥	٠
٦	گندم١	٣٣٦٠	٠
٧	گوجه‌فرنگی١	١٦٨	٠
٨	نخود١	٠	٥٩٧٣٠٠٠٠٠٠٠
٩	ذرت٢	٢٢٠	٠
١٠	آفتابگردان٢	٣٣٩٠	٠
١١	جو٢	٠	٦٢٣٥٠٠٠٠٠٠٠
١٢	هندوانه٢	٧٤٥	٠
١٣	گندم٢	٠	١٤٦٨١٨
١٤	پیاز٣	٤٠٠	٠
١٥	جو٣	٠	٦٢٣٥٠٠٠٠٠٠٠
١٦	چغندرقند٣	٠	٤٢٣٠٦
١٧	سیب‌زمینی٣	٣٥	٠
١٨	گوجه‌فرنگی٣	٩٦	٠
١٩	گندم٣	٢٨٨٠	٠
٢٠	آب١	٥٧٠٥١١٦٠	٠
٢١	آب٢	٣٩٣٢٩٧٦٠	٠
٢٢	آب٣	٢٦٠٣٩٢٤٠	٠
٢٣	سفره زیرزمینی	١٢٢٤٢٠٢٠٠	٠
٢٤	عدس	١٠٥	٠
٢٥	خیار	٧٥	٠
٢٦	نخود	٠	٠
٢٧	آفتابگردان	٣٣٩٠	٠
٢٨	گندم	٦٢٤٠	٠

٢٩	جو	٢٥٥٢	٠

ادامه جدول ٦

٣٠	آب	١٢٢٤٢٠٢٠٠	٠
٣١	سیب‌زمینی	٧٥٠	٠
٣٢	گوجه‌فرنگی	٢٦٥	٠
٣٣	ذرت	٢٢٠	٠
٣٤	چغندرقند	٠	٠
٣٥	پیاز	٤٠٠	٠
٣٦	هندوانه	٧٤٥	٠
	ارزش تابع هدف	٨٧٣٣٧٩٩٠٠٠٠٠٠٠٠	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

راندمان ٣٥ درصد:

Max:
Gm=354704corn1+57480barely1+40412cucum1+403060potato1+130835lent1+85411wheat1+
341852tomato1+92458pea1+354704corn2+232229sunfl2+57480barely2+320000waterm2+85411wheat2+
98837onion3+57480barely3+43105sugb3+403060potato3+341852tomato3+85411wheat3;
s.t:
1)corn1+barely1+cucum1+potato1+lent1+wheat1+tomato1+pea1=6975
2)23086corn1+16286barely1+12600cucum1+26914potato1+13457lent1+16286wheat1+
34371tomato1+12628pea1-water1 $\leq$ 0;
3)566corn1+363barely1+585cucum1+958potato1+268lent1+392wheat1+362tomato1+
671pea1 $\leq$ 3061240;
4)65corn1+52barely1+133cucum1+94potato1+45lent1+53wheat1+346tomato1+51pea1 $\leq$ 450965;
5)corn2+barely2+waterm2+wheat2+sunfl2=4355;
6)23486corn2+19286barely2+20257waterm2+19286wheat2+18886sunfl2-water2 $\leq$ 0;
7)566corn2+363barely2+485waterm2+392wheat2+219sunfl2 $\leq$ 1714110;
8)65corn2+52barely2+45waterm2+53wheat2+50sunfl2 $\leq$ 224060;
9)wheat3+barely3+sugb3+potato3+onion3+tomato3=3412;
10)16571wheat3+16571barely3+26143sugb3+22857potato3+10114onion3+33371tomato3-water3 $\leq$ 0;
11)392wheat3+363barely3+747sugb3+958potato3+575onion3+362tomato3 $\leq$ 1625911;
12)53wheat3+52barely3+78sugb3+94potato3+157onion3+346tomato3 $\leq$ 263414;
13)water1+water2+water3-reswater $\leq$ 0;
14)reswater $\leq$ 120000000;
15)reswater $\geq$ 100000000;
16)wheat1+wheat2+wheat3 $\leq$ 4200+2450+1850;
17)barely1+barely2+barely3 $\leq$ 1250+780+522;

18)corn1+corn2 ≤ 145+75;
19)potato1+potato3 ≤ 580+170;
20)tomato1+tomato3 ≤ 180+85;
21)lents1 ≤ 105;
22)lents=lents1;
23)cucum1 ≤ 75;
24)cucum=cucum1;
25)pea ≤ 440;
26)pea=pea1;
27)sunflo2 ≤ 305;
28)sunfl=sunfl2;
29)sugb3 ≤ 385;
30)onion3 ≤ 400;
31)waterm2 ≤ 745;
32)wheat=wheat1+wheat2+wheat3;
33)barely=barely1+barely2+barely3;
34)water=water1+water2+water3;
35)potato=potato1+potato3;
36)tomato=tomato1+tomato3;
37)corn=corn1+corn2;
38)sugb=sugb3;
39)onion=onion3;
40)waterm=waterm2;

در این‌حالت نیز همانند راندمان ۷۵درصد، پس از فرمولبندی مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی در راندمان ۳۵ درصد، آن را به دو صورت حل می‌کنیم:

الف) فرض می‌کنیم که محدودیت ١٤ (یعنی تعیین حداکثرمیزان مصرف آب) وجوددارد. نتایج حاصل ازحل این مسئله نشان می‌دهد که در صورت قراردادن محدودیت استفاده از آب برای سفره آب‌زیرزمینی جواب دستیافتنی[1] وجود ندارد. بنابراین مجبوریم که از راندمان ۳۵درصد این محدودیت را برداریم و حالت دوم را بررسی کنیم.

ب) فرض می‌کنیم که محدودیت ١٤ (یعنی تعیین حداکثرمیزان مصرف آب) وجودندارد. نتایج حاصل از حل این مسئله در جدول ۷ آورده شده است:

1. feasible solution

جدول ۷. حل مسئله برنامه‌ریزی تلفیقی بدون وجود محدودیت ١٤

	متغیر	ارزش متغیر	هزینهٔ کاهش‌یافته
١	ذرت ١	٠	٣٧٥٤٢٢٧٠٠٠٠٠
٢	جو١	٢٥٥٢	٠
٣	خیار١	٧٥	٠
٤	سیب‌زمینی١	٧١٥	٠
٥	عدس١	١٠٥	٠
٦	گندم١	٣٣٥٩	٠
٧	گوجه‌فرنگی١	١٦٨	٠
٨	نخود١	٠	٥٩٧٣١١٤٠٠٠٠٠
٩	ذرت٢	٢٢٠	٠
١٠	آفتابگردان٢	٣٣٩٠	٠
١١	جو٢	٠	٦٢٣٥١٢٥٠٠٠٠
١٢	هندوانه٢	٧٤٥	٠
١٣	گندم٢	٠	١٤٦٨١٨
١٤	پیاز٣	٤٠٠	٠
١٥	جو٣	٠	٦٢٣٥١١١٠٠٠٠
١٦	چغندرقند٣	٠	٤٢٣٠٦
١٧	سیب‌زمینی٣	٣٥	٠
١٨	گوجه‌فرنگی٣	٩٦	٠
١٩	گندم٣	٢٨٨٠	٠
٢٠	آب١	١٢٢٢٥٣٩٠٠	٠
٢١	آب٢	٨٤٢٨١٩٣٠	٠
٢٢	آب٣	٥٥٧٩٩١٦٠	٠
٢٣	سفره زیرزمینی	٢٦٢٣٣٥٠٠٠	٠
٢٤	عدس	١٠٥	٠
٢٥	خیار	٧٥	٠
٢٦	نخود	٠	٠
٢٧	آفتابگردان	٣٣٩٠	٠
٢٨	گندم	٦٢٤٠	٠
٢٩	جو	٢٥٥٢	٣٧٥٤٢٢٧٠٠٠٠٠
٣٠	آب	٢٦٢٣٣٥٠٠٠	٠

ادامه جدول ۷

۳۱	سیب‌زمینی	۷۵۰	۰
۳۲	گوجه‌فرنگی	۲٦٥	۰
۳۳	ذرت	۲۲۰	۰
۳٤	چغندرقند	۰	۰
۳٥	پیاز	٤۰۰	۰
۳٦	ژ هندوانه	۷٤٥	٥۹۷۳۱۱٤۰۰۰۰۰
ارزش تابع هدف			۸۷۰۰۷۹۹۰۰۰۰۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد در راندمان ۳۵ درصد مقدار آب مصرفی ۲٦۲۳۳٥۰۰۰ مترمکعب یعنی نزدیک دو برابر میزان آب موجود درسفره (۱٤میلیون متر مکعب) است. این بدان معنی‌است که‌درراندمانهای پایین بیشترآب ورودی‌به مخازن مصرف‌می‌شودوهیچ‌آبی‌ذخیره نخواهدشد.

جمعبندی

هدف از برنامه‌ریزی تلفیقی طراحی سیاستی برای کل دشت کرمان است. دراین برنامه‌ریزی تلاش شد تا درآمد ناخالص کلیهٔ محصولات زراعی منطقه با توجه به سیاستهای اتخاذشده، حداکثر شود. در این باره مهمترین سیاست، توجه به میزان آب مصرف‌شده در این دشت و حجم سفره‌های آب‌زیرزمینی موجود در آن است. براساس مطالعات اسنادی موجود، حجم سفره‌های آب زیرزمینی در دشت کرمان حدود ۱٤٤میلیون مترمکعب است که هرساله مقداری به آن وارد و مقداری نیز از آن خارج می‌شود. با توجه به مصرف بی‌رویهٔ آب در سالهای اخیر و بویژه مصرف بی رویه توسط بخش کشاورزی (که ناشی از پایین بودن راندمان آبیاری در این منطقه است) و همچنین با توجه به کمبود نزولات آسمانی، هرساله حجم این آب کمتر نیز می‌شود. بنابراین یکی از سیاستهای منظورشده در این برنامه، محدودکردن میزان مصرف آب تا سقف ۱۲۰ میلیون مترمکعب است که این موضوع باعث می‌شود سالانه حداقل ۲٤ میلیون مترمکعب آب در این دشت صرفه‌جویی شود. سیاست دیگر نیز این

است که برنامه‌ریزی به گونه‌ای باشد که همهٔ محصولات موجود در الگوی کشت را در بربگیرد. پس از فرمولبندی این برنامه‌ریزی، مسئله در راندمانهای ۳۵٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪، به عنوان شاهد، حل شد که نتایج آن در جدولهای ٤ تا ۷ آمد.

راندمان ۱۰۰٪: در این راندمان میزان درآمد ناخالص برابر ۸۷۳۳۷۹۹×۱۰^{۸} و راندمان کل آب مورد استفاده ۱۰۰میلیون مترمکعب است. این مقدار آب حتی از ۱۲۰ میلیون‌مترمکعب سقفی که مدل تحمیل کرده بود نیز کمتراست. دراین راندمان حدود ٤٤ میلیون مترمکعب آب صرفه‌جویی و به سفره‌های آب زیرزمینی دشت کرمان افزوده می‌شود.

راندمان ۷۵٪: در این راندمان میزان درآمد ناخالص معادل ۸٦۸۸۲۹٦×۱۰^{۸} است. در این حالت، در صورت وجود محدودیت مصرف آب، همان ۱۲۰میلیون مترمکعب مصرف می‌شود و درصورتی‌که این محدودیت برداشته‌شود، این مقدار به ۱۲۲٤۲۰۲۰۰ مترمکعب افزایش می‌یابد. در این حالت سود برنامه معادل سود برنامه با راندمان ۱۰۰٪ ، یعنی ۸۷۳۳۷۹۹×۱۰^{۸}، است.

راندمان ۳۵٪: در این راندمان درصورتی‌که محدودیت استفاده از سفره‌های آب زیرزمینی در مدل لحاظ شود، برنامه به جوابی دست نمی‌یابد، زیرا مصرف آب بسیار بیش از مقداری است که به مدل تحمیل شده‌است. اما درصورتی‌که این محدودیت برداشته شود مصرف آب به ۲٦۲۳۳٥۰۰۰ مترمکعب افزایش می‌یابد، درحالی‌که درآمد ناخالص ما همان مقدار ۸۷۳۳۷۹۹×۱۰^{۸} است. این مقدار مصرف آب یعنی اینکه بخش کشاورزی علاوه بر مصرف تمام آب ورودی به سفره‌ها، مقدارزیادی از ذخیرهٔ سفره‌هارانیز مصرف می‌کندکه‌این‌امردر نهایت‌منجر به‌کاهش سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود.

منابع

۱.پوستل، س. (۱۳۷۳)، آخرین واحد،آب مایه حیات، ترجمهٔ وهاب‌زاده و علیزاده، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۲.فرشی، ع. ا. و همکاران (۱۳۷٦)، برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور جلد اول، وزارت کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشر آموزش کشاورزی.

۳.فیض‌اللهی، ک. (۱۳۸۰)، آب هدیه بی‌پایان یا توهم جاری، *همشهری (ویژه‌نامه طبیعت)*، اردیبهشت ۱۳۷۹.

٤.قاسم‌زاده مجاوری، ف. (۱۳۷۹)، اقتصاد آب: پیش شرط اقتصاد سبز ،*اقتصاد سبز*، سال اول، اردیبهشت ماه.

۵.کشاورز، ع. و ک. صادق‌زاده (۱۳۸۰)، مدیریت مصرف آب دربخش کشاورزی، *نشریهٔ شکر شکن*، شماره۵۷: ۳۸-۳۲

٦.وزارت جهاد کشاورزی(۱۳۸۱)، پرسشنامه هزینه تولید محصولات کشاورزی، اداره کل آمار و اطلاعات.

۷.وزارت راه و ترابری (سالهای‌مختلف)، سالنامهٔ آماری هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور، مدیریت خدمات ماشینی و کاربرد کامپیوتر در هواشناسی.

8.Beneke, R. R. and R. Winterboer (1973), Linear programming applications to agriculture, *Iowa State University Press*, AMES.

9.Cai, X., D. McKinney, and L.S Lasdon (2001), A framework for sustainability analysis in water resources management and application to the Syr Darya basin, University of Texas at Austin.

10.Commission on Sustainable Development (2000), Sustainable agriculture and rural development, *Report of the Secretary-General*.

11.Hellegers,P.,D. Zillberman & E.Van.Ierland (2001), Analysis dynamics of agricultural grand water extraction, *Ecological Economics,* 37:303-311.

12.Lara, P. and I. Stancu-Minasian (1999), Fractional programming: A tool for the assessment of sustainability, *Agricultural Systems*,(69): 131-141.

13.Sophocleous, M. (1998), Perspectives on sustainable development of water resources in Kansas, papers from 10 contributors, glossary, and an index, 239 pages.