نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۳۸۵-۳۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 372-385

بهینه‌سازی تخصیص اراضی و آب آبیاری مبتنی بر دیدگاه بیلان آب با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

حمیدرضا مرادی[1*] – خلیل جلیلی[2] – امید بزرگ حداد[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸

چکیده

بهینه‌سازی تخصیص منابع یکی از راهکارهای مناسب برای دستیابی به توسعه پایدار و کاهش هدررفت منابع است. در دشت اسلام‌آباد غرب استان کرمانشاه به منظور دستیابی به توسعه پایدار و تخصیص بهینه اراضی به محصولات الگوی کشت، محدودیت‌های موجود لحاظ گردید و برای بیشینه سازی سود تولید، توابع هدف و محدودیت با برنامه‌ریزی خطی فرموله و با استفاده از روش سیمپلکس به کمک نرم افزار LINGO حل شد. سه سناریوی مدیریتی و ۶ برنامه عملیاتی با لحاظ محدودیت‌های موجود شامل دسترسی به منابع، تناوب زراعی، اجتماعی– اقتصادی و غیر منفی بودن متغیرها تحلیل و آنالیز حساسیت شدند. نتایج حاصله بیانگر آن است که در کلیه سناریوهای مدیریتی کشت‌های آبی محصولاتی چون چغندر، ذرت، نخود، گوجه فرنگی و جالیز از الگوی کشت بهینه حذف شدند. گندم در ۲ سناریو و ۵ برنامه عملیاتی،افزایش سطح زیر کشت داشته است. میزان سود حاصل از بهینه‌سازی در کلیه سناریوهای مدیریتی مثبت بوده و این افزایش از ۱۹ تا ۵۵ درصد متغیر است نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل حساسیت نیز نمایانگر تاثیر پذیری زیاد توابع هدف از میزان آب در دسترس، سطح کل اراضی و سطح کشت یونجه است.

واژه‌های کلیدی: اسلام آباد غرب، الگوی کشت، توسعه پایدار، روش سیمپلکس، نرم افزار LINGO

مقدمه

بهینه‌سازی مصرف و تخصیص منابع آب موجود بویژه در بخش کشاورزی به عنوان یک عامل تأثیرگذار در حفاظت محیط زیست و یک راهکار پایدار در مدیریت منابع آب ضروری است (۱۷) و برای مدیریت مؤثر منابع و تحقق توسعه پایدار منابع تجدیدپذیر آب زیرزمینی یک منطقه، محاسبه بیلان و رعایت محدودیت‌های برداشت یک پیش‌نیاز اساسی است (۷). این مهم در مورد منابع آب زیرزمینی با کنترل تغییرات تراز میسر می‌شود (۱۳).

حفظ تعادل مناسب بین مسائل زیست محیطی و تقاضاهای انسانی و بهره‌برداری بهینه از منابع تحت تقاضاهای پیچیده در یک حوضه و یا آبخوان نیازمند استفاده از تکنیک های ریاضی است (۱۷) در این راستا، ترکیبی از دو تکنیک قدرتمند تجزیه و تحلیل، شامل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت بهینه اقتصادی پروژه ها بسیار مؤثر و راهگشا است (۳). کارآیی بالای مدل برنامه‌ریزی خطی در تخصیص بهینه آب آبیاری در الگوی چند محصوله توسط مهدیمرادی و همکاران (۱۲)، بهینه سازی برداشت تلفیقی منابع آب توسط ودولاو همکاران (۱۹) گزارش شده است. جلیلی و همکاران (۹) بهینه سازی کاربری اراضی را به منظور کمینه سازی فرسایش خاک و بیشینه سازی سود با استفاده از برنامه ریزی خطی و بکارگیری مدل بهینه ساز ADBASE انجام دادند. نتایج نشان دهنده کارآیی مدل در حل مسئله و کاهش ۷/۷۸ درصدی فرسایش و افزایش ۱۸/۶۲ درصدی سود سالانه در حالت بهینه می‌باشد. نتایج تحقیقات مولینا و همکاران (۱۴) در بکارگیری سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای مدیریت جامع منابع آب در جنوب شرقی اسپانیا، نشان داد که در شرایط فعلی، بیلان آبخوان منفی بوده و حتی با استفاده از ملاحظات منطقی نیز ممکن نیست که آبخوان به حالت طبیعی برگردد. به این ترتیب هر گونه مداخله برای کاهش افت نیز به ناچار تأثیر منفی روی درآمد کشاورزی می‌گذارد. جلیلی و همکاران (۱۰) برداشت بی رویه و مدیریت نامناسب و نظارت ناکافی دهه گذشته بر میزان آب استخراجی از آبخوان اسلام‌آباد غرب را عامل افت ۷ متری سطح آب زیرزمینی و کشت دیم ۱۶ هزار هکتار از

۱ و ۲– دانشیار و دانش آموخته دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
(*– نویسنده مسئول: Email: hrmoradi@modares.ac.ir)
۳– دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
DOI: 10.22067/jsw.v31i2.52166

اراضی حاصلخیز این دشت معرفی نموده اند.

فلاح مهدی‌پور و همکاران (۶) نشان دادند که دیدگاه شبیه‌سازی مبتنی بر برنامه ریزی ژنتیک یک ابزار مؤثر در تعیین سطوح آب زیرزمینی است. سفلنصر و همکاران (۱۸) و آلکالا و همکاران (۱) و حسن اصفهانی و همکاران (۸) و روزبهانی و همکاران (۱۶) بر ضرورت پیش بینی تأثیرات زیست محیطی سناریوهای مدیریتی و ضرورت تعیین اقتصادی ترین سناریوی پیشنهادی تأکید نموده اند. این محققان علاوه بر حفظ پایداری سیستم‌های طبیعی، بیشینه سازی سوددهی منابع در جهت حفظ منافع بهره برداران را مدنظر قرار داده اند. فرموله نمودن شرایط پیچیده حاکم بر اکوسیستم‌های طبیعی به منظور بهینه‌سازی مدیریت منابع توسط پژوهشگران مختلفی از جمله صادقی و همکاران (۱۷) در بهینه‌سازی کاربری اراضی در مقیاس حوضه آبخیز؛ لی و گوو (۱۱) در بهره برداری بهینه تخصیص منابع آب آبیاری در شرایط عدم قطعیت و با بهینه کردن مزایای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی اراضی؛ آلماراز و همکاران (۲) در طراحی شبکه های تخصیص آب مورد توجه قرار گرفته است. همچنین حسن اصفهانی و همکاران (۸)، در ارزیابی تخصیص بهینه آب آبیاری با استفاده از دیدگاه بیلان آب و روزبهانی و همکاران (۱۶) در تخصیص بهینه و پایدار آب برای دستیابی به منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آب، روش بهینه‌سازی مدیریت منابع را پیشنهاد نموده‌اند.

دیواکار و همکاران (۵) در تایلند از مدل ترکیبی تعیین آب قابل دسترس و مدل بهینه ساز تخصیص استفاده نموده و نشان دادند که سطح رضایت مندی و بازگشت اقتصادی حالت بهینه نسبت به تجارب وضعیت موجود بهبود یافته است. سفلنصر و همکاران (۱۸) با شبیه سازی سناریوهای مدیریت آب زیرزمینی در آبخوان، علاوه بر پیش بینی تأثیرات محیطی بر شرایط بهره برداری کنونی و آتی در کل سیستم، اقتصادی ترین سناریوی بهره برداری را تا سال ۲۱۰۰ پیشنهاد نمودند. آلکالا و همکاران (۱)، یک مدل هیدرولوژی- اقتصادی را به منظور تشریح پویایی وابستگی آب زیرزمینی و مسائل اقتصادی برای استفاده پایدار در اراضی خشک با داده های محدود معرفی نمودند. آلماراز و همکاران (۲) به منظور طراحی شبکه تخصیص آب و تعیین عناصر و معیارهای تأثیرگذار در فرآیند حل مسائل چند هدفه، شبکه های بهینه سازی مختلف را با یکدیگر مقایسه نمودند. حسن اصفهانی و همکاران (۸) به ارزیابی تخصیص بهینه آب آبیاری با استفاده از دیدگاه بیلان آب پرداخته و یک دیدگاه مدل سازی را معرفی نمودند که با کاهش ۲۰ درصدی در کمیت آب مورد استفاده تغییری در میزان سود حاصل ایجاد نخواهد شد. داس و همکاران (۴) استفاده تلفیقی آبهای سطحی و زیرزمینی را برای بسیاری از مناطق جهان مفید دانسته و با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی، تخصیص منابع آب و خاک را به بخش‌های مختلف حوضه بهینه نمودند. نتایج مدل نشان داد که ۲۰ درصد انحراف در الگوی کشت موجودف بهترین سناریوی مدیریتی را ارائه می دهد که علاوه بر تأمین تقاضای مواد غذایی منطقه، محدودیت های اجتماعی و اقتصادی نیز رعایت گردیده است. تخصیص بهینه آب با لحاظ ۳ هدف اجتماعی و ۲ موضوع اقتصادی و زیست محیطی در جهت تخصیص پایدار آب توسط روزبهانی و همکاران (۱۶) مورد پژوهش قرار گرفت. استفاده از تکنیک‌های برنامه‌ریزی نشان از اختصاص ۸۳ درصد از منابع آبی حوضه آبخیز به نیازمندی‌های زیست محیطی حوضه دارد.

بهینه‌سازی استحصال با لحاظ محدودیت‌های مرتبط با بهره‌برداران و تحلیل شرایط بهینه در وضعیت فعلی و سناریوهای مدیریتی مبتنی بر اسناد توسعه پایدار بخش آب در سازمان مدیریت منابع آب ایران، با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی هدف اصلی این تحقیق می باشد. نتایج حاصل یک دید مدیریتی جامع را برای کارشناسان و تصمیم گیران فراهم خواهد نمود تا بتوانند با یک دید جامع‌نگر و با تحلیل روند بهره‌برداری منابع از گذشته تاکنون، تصمیمات اصولی اتخاذ نمایند. به عبارت دیگر، هدف اصلی این مقاله یافتن مناسب ترین تخصیص زمین به محصولات مختلف کشاورزی و باغی با هدف قرار دادن بیشینه سازی درآمد خالص بهره برداران و رعایت محدودیت دسترسی به منابع آب و زمین می باشد.

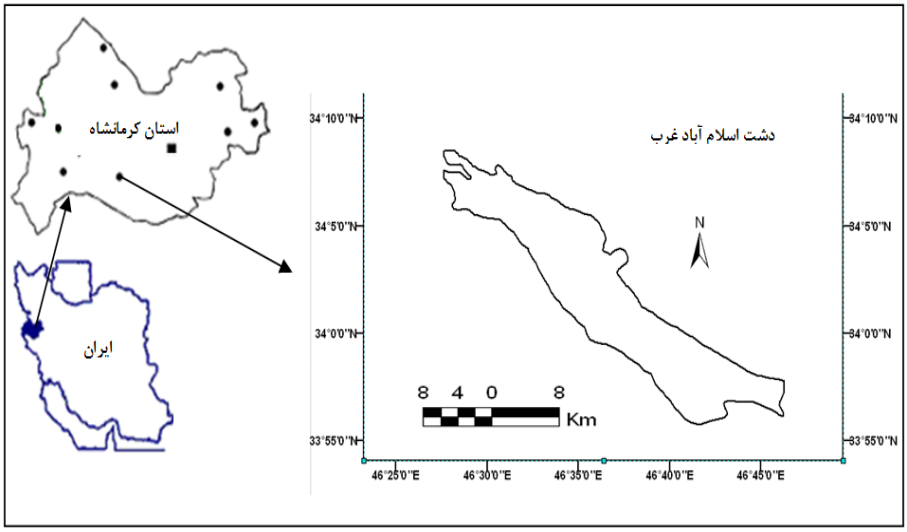
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت اسلام‌آباد غرب، در حوضه آبریز سیمره و کرخه علیا در جنوب غربی استان کرمانشاه و در محدوده ۱۵ ۴۶ تا ۴۷ ۴۶ طول شرقی و ۲۴ ۳۳ تا ۲۰ ۳۴ عرض شمالی واقع است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۲۹۱ و ۲۳۴۲ متر از سطح دریا می باشد. دشت اسلام آباد غرب دارای ۱۹۴۳۸ هکتار مساحت، ۱۴ محصول کشاورزی و باغی در الگوی کشت می باشد. بارش متوسط سالانه منطقه ۴۶۳/۲ میلیمتر می باشد. دسترسی مناسب، وجود ۵ حلقه چاه اکتشافی و ۲۰ حلقه چاه مشاهده‌ای، اطلاعات قابل استنادی را در زمینه شبیه سازی آبخوان و تحلیل بیلان آن و نیز روند برنامه‌ریزی و مدیریت نوسانات سطح آب زیرزمینی فراهم نموده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی دشت اسلام آباد غرب را در استان و کشور نشان می دهد.

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز تحقیق

داده ها و اطلاعات پایه و نیز اطلاعات ژئوهیدرولوژی منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت گردید. با توجه به موقعیت مکانی و اطلاعات استخراجی از چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی، تحلیل های لازم در بخش آب زیرزمینی صورت گرفت و ضرایب ذخیره و نیز نقشه های هم سطح آب زیرزمینی به منظور

تحلیل نوسانات سطح ایستابی در دشت ترسیم گردید. نیاز آبی محصولات مختلف الگوی کشت منطقه با استفاده از نتایج تحقیقات انجام شده این محصولات با استفاده از نرم افزار Cropwat محاسبه شد. حجم آب استحصالی با بررسی کابری‌های مختلف صنعتی، شرب، کشاورزی و دامی در منطقه و آبدهی قنوات و چاه‌های کشاورزی با سنجش میدانی به دست آمد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت اسلام آباد غرب

Figure 1- Geographical location of West Isalam Abad Plain

برای افزایش دقت و نزدیک شدن به حجم واقعی برداشت، نوع محصول، سطح زیر کشت هر چاه، تعداد روز دور آبیاری و میزان ساعت متوسط کارکرد چاه در روزهای آبیاری نیز از طریق مصاحبه با بهره‌برداران ثبت گردید. با داشتن اطلاعات برداشت، افت سطح آبخوان در سال بیلان، سطح بیلان و ضریب ذخیره دشت که از تحلیل های ژئوهیدرولوژی چاه‌های اکتشافی منطقه به دست آمد؛ حجم اضافه برداشت آب زیرزمینی محاسبه گردید. حجم آب مجاز قابل استحصال نیز از تفاضل آب برداشت شده و حجم اضافه برداشت آبخوان در سال بیلان به دست آمد.

سناریوهای مدیریتی و برنامه‌های عملیاتی نیز منتج از برنامه توسعه بلند مدت مدیریت منابع آب زیرزمینی کشور است که بر اساس آن طی ۵ سال باید بیلان منفی آبخوان جبران شده و طی ۲۰ سال سطح آب زیرزمینی به سطح ایستابی اولیه برسد. لذا بهینه سازی برای ۳ سناریوی مدیریتی و ۶ برنامه عملیاتی مطابق جدول ۱ صورت گرفت.

روش تحقیق

پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت های موجود درمنطقه، مسئله بهینه‌سازی در دشت اسلام‌آباد غرب به صورت زیر فرمول‌بندی گردید:

تابع هدف طبق رابطه (۱) بیان می‌شود:

$$Max(Z)=\sum_{1}^{n} C_{Bi}X_i \qquad (۱)$$

توابع محدودیت شامل روابط (۲) تا (۱۲) می‌باشند:

$C_{WUi}<=B_1$ (۲)

$X1+X2+...+X14<=B2$ (۳)

$X_1=X_2+X_3+X_4+X_5+X_8+X_9$ (۴)

$X_{11}+X_{12}=X_{13}+X_{14}$ (۵)

$X_{10}>=B_3$ (۶)

$X_{10}<= B$ (۷)

$X_7>=B_5$ (۸)

$X_7<=B_6$ (۹)

$X_6>=B_7$ (۱۰)

$X_7<=B_8$ (۱۱)

$X_1,X_2,\ldots,X_{14}>=0$ (۱۲)

که در این روابط Z درآمد خالص سالانه، X_i، CB_i، CWU_i به ترتیب مساحت زیرکشت، درآمد خالص و نیاز آبی هر محصول،B_1 حجم آب قابل بهره‌برداری مطابق سناریوهای مدیریتی،B_2 سطح کل اراضی دشت،B_3، B_5 و B_7، سطح اراضی باغی، سبزی کاری و یونجه کاری، B_4، B_6 و B_8 نیز به ترتیب بیشترین سطح اراضی باغی، سبزی کاری و یونجه کاری است.

توابع هدف و محدودیت در مدل بهینه‌سازی

در شرایط فعلی امکان تغییر در استفاده از اراضی مسکونی، صنعتی و راه ها وجود ندارد. لذا مناطق مذکور از سطح کل کسر شده و سطح بهینه‌سازی (۱۹۴۳۸ هکتار) به دست آمد. پس از محاسبه تولید، درآمد ناخالص و هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت؛ سود خالص سالانه هر محصول به عنوان ضریب در تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. برای محدودیت دسترسی به آب، نسبت به تعیین نیاز آبی محصولات مختلف اقدام و به عنوان ضریب برای متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. سایر محدودیت‌ها نیز از طریق پیمایش میدانی و مصاحبه چهره به چهره در منطقه استخراج و توابع محدودیت نهایی شد. شکل عمومی مسئله موجود در دشت اسلام آباد غرب به صورت رابطه (۱۳) نوشته شد:

$$Max(Z)=3.821*X1+7.67*X2+3.439*X3+8.1*X4+1.698*X5+2.196*X6+4.72*X7+1.24*X8+6.14*X9+7.4*X10 +0.726*X11+0.072*X12+1.71*X13+1.09*X14 \quad (۱۳)$$

که در آن:

متغیرهای تصمیم که با اندیس i در الگوی برنامه‌ریزی خطی مشخص شده‌اند شامل ۱۴ محصول عمده زراعی و باغی به ترتیب گندم آبی (i=1)، چغندرقند (i=2)، ذرت (i=3)، سیب زمینی (i=4)، نخود آبی (i=5)، یونجه (i=6)، سبزیجات (i=7)، جالیز (i=8)، گوجه فرنگی (i=9)، باغات میوه (i=10)، گندم دیم (i=11)، جو دیم (i=12)، نخود دیم (i=13) و عدس (i=14) است. و چهار دسته محدودیت زیر در مدل لحاظ گردید:

الف) محدودیت‌های دسترسی به منابع

الف-۱: محدودیت دسترسی به منابع آب: از ۴۴/۵۴ میلیون متر مکعب آب بهره‌برداری شده در سال بیلان مجموع شرب شهری و روستایی و دامپروری و فضای سبز (۱۰/۵۹ میلیون متر مکعب) کسر شده و ۳۳/۹۵ میلون متر مکعب باقی مانده مربوط به بخش کشاورزی و قابل مدیریت و بهینه‌سازی است. رابطه شماره (۱۴) تابع محدودیت دسترسی به منابع آب است که در آن نیاز آبی محصولات بر حسب هزار متر مکعب به عنوان ضرایب متغیرهای تابع در نظر گرفته شد و مقدار سمت راست معادله نماینده مقدار در اختیار بودن منبع بر حسب هزار متر مکعب است و عدد ۲۵۳۸۰ در این ستون همان کمیت آب قابل بهره برداری بر اساس سناریوهای مختلف مدیریتی است که در برنامه‌های مختلف عملیاتی با اعداد ۱۸۸۷۰، ۲۷۰۹۰، ۲۸۸۱۰، ۳۰۵۳۰ و ۳۲۲۴۰ جایگزین می‌شود. جزییات موضوع در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱- سناریوهای مدیریتی و آب قابل استحصال آبخوان دشت اسلام آباد غرب

Table 1- Management scenarios and available water of Islamabad plain aquifer

سناریوی مدیریتی Management scenarios	افت سطح آب زیرزمینی در سال بیلان Slump og groundwater level in water balance year (m)	حجم کسری مخزن Reservoir shortage volume (MCM)	آب قابل بهره‌برداری (برنامه عملیاتی)(MCM) Available water (Action plan)
ثبات سطح آبخوان Water table stability	1.26	8.57	25.38
طی ۵ سال بیلان منفی به صفر برسد Negative water balance will be zero in the end of 5th year	0.252	1.71	سال‌های اول تا پنجم به ترتیب: First year till 5th year Respectively 32.24، 30.53، 28.81، 27.09، 25.38
طی ۲۰ سال سطح آبخوان به سطح ایستابی اولیه برسد Water table will be the previous level in the end of 20th year	11.58 متر طی 15 سال: 0.772 m/year 11.58 m in 15 years:0.772 m/year	5.25	18.87

$$3.31X_1+10.05\ X_2+7.17\ X_3+7.42\ X_4+3.86\ X_5+9.89\ X_6+7.87\ X_7+4.505\ X_8+7.86\ X_9+6.783*X_{10}<=25380 \quad (۱۴)$$

الف-۲: محدودیت سطح اراضی کل: از مساحت ۱۹۴۳۸ هکتاری آبخوان، ۵۹۰ هکتار مربوط به اراضی مسکونی شهری و روستایی و صنعتی کم می شود و لذا سطح باقی مانده برای تخصیص به محصولات ۱۴گانه الگوی کشت ۱۸۸۴۸ هکتار است. بنابراین مجموع سطح اراضی زیر کشت این محصولات حداکثر می‌تواند مطابق رابطه (۱۵) به میزان پیش گفته باشد.

(۱۵)

$$X_1+X_2+X_3+X_4+X_5+X_6+X_7+X_8+X_9+X_{10}+X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}<=18848$$

ب) محدودیت‌های تناوب زراعی

ب-۱: محدودیت تناوب زراعی آبی: در تناوب زراعی الگوی کشت منطقه، ۵۰ درصد کشت های آبی به گندم اختصاص دارد و تناوب تکمیلی گندم، یکی از محصولات ذرت، چغندرقند، سیب زمینی و نخود آبی، جالیز و گوجه‌فرنگی است. رابطه (۱۶) این تناوب را بیان می کند:

$$X_1=X_2+X_3+X_4+X_5+X_8+X_9 \quad (۱۶)$$

ب-۲: محدودیت تناوب زراعی دیم:با کسر سطح اراضی آبی از سطح کل آبخوان، سطح مربوط به کشت محصولات دیم به دست می آید که در کشت دیم نیز بایستی تناوب رعایت شود. یعنی مطابق رابطه (۱۷) میزان سطحی که به کشت گندم و جو اختصاص می یابد با کشت های تکمیلی تناوب سالانه یعنی کشت نخود و عدس برابر خواهد بود:

$$X_{11}+X_{12}=X_{13}+X_{14} \quad (۱۷)$$

ج) محدودیت های اجتماعی و اقتصادی

ج-۱: سطح اراضی باغی: این سطح در منطقه ۲۱/۸ هکتار بوده و این اراضی مطابق رابطه (۱۸) از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد دلیل این امر اینست که در حال حاضر به علت بهره دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

$$X_{10}>=21.8 \quad (۱۸)$$

ج-۲: بیشترین سطح اراضی باغی: سطح اراضی باغی ۲۱/۸ هکتار بوده اما این میزان می تواند به ۳۲/۷ هکتار افزایش یابد. رابطه (۱۹) این شرایط را بیان می‌نماید. دلیل این افزایش که از نتایج حاصل از مصاحبه با باغداران منطقه به دست آمد این است که به دلیل شرایط اقلیمی منطقه و وقوع سرمازدگی و درصد ریسک نسبتاً بالا، باغداران تنها حاضر به افزایش سطح زیرکشت خود تا ۵۰ درصد می باشند.

$$X_{10}<=32.7 \quad (۱۹)$$

ج-۳: سطح اراضی سبزی کاری: این کشت در منطقه ۶ هکتار بوده و این اراضی از این میزان نمی تواند کمتر باشد (رابطه ۲۰). زیرا در حال حاضر به علت بهره دهی مناسب و چند ساله بودن برخی از گونه های کشت شده، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

$$X_7>=6 \quad (۲۰)$$

ج-۴: بیشترین سطح اراضی سبزی کاری:سطح اراضی زیر کشت سبزیجات ۶ هکتار بوده اما نتایج حاصل از مصاحبه با کشاورزان منطقه نشان داد که این سطح تا دو برابر قابل افزایش است که در رابطه (۲۱) به عنوان تابع محدودیت اعمال شده است. دلیل این امر اینست که به دلیل نیاز به نیروی انسانی در طی دوره رشد و تولید محصول و نیز امکان‌پذیر نبودن نگهداری در شرایط بازار مصرف اغلب مردم حاضر به کشت این محصول نمی‌باشند. زیرا معتقدند این کشت بواسطه نیاز به حضور نیروی کار در حضور مشتری برای فروش محصول، با نیروی کارگری نمی‌تواند به درستی مدیریت شود و نیاز به خانوارهایی است که تعداد افراد بیشتری را برای کار در مزرعه دارند بنابراین:

$$X_7<=12 \quad (۲۱)$$

ج-۵: سطح اراضی یونجه کاری:سطح اراضی زیر کشت یونجه در منطقه ۶۸/۵ هکتار بوده و این اراضی از این میزان نمی تواند کمتر باشد (رابطه ۲۲). زیرا در حال حاضر به علت چند ساله بودن و بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

$$X_6> =68.5 \quad (۲۲)$$

ج-۶: بیشترین سطح اراضی یونجه کاری:سطح اراضی زیر کشت یونجه ۶۸/۵ هکتار بوده اما این میزان می تواند به ۱۰۲/۸ هکتار افزایش یابد. رابطه (۲۳) این وضعیت را نشان می‌دهد. دلیل این افزایش از نتایج حاصل از مصاحبه با کشاورزان منطقه به دست آمد که به دلیل شرایط آبی منطقه و طول دوره تولید این محصول امکان افزایش تا ۱۰۲/۸ هکتار را دارند.

$$X_{10}<=102.8 \quad (۲۳)$$

د) محدودیت غیر منفی بودن متغیرها

در شرایط مدل برنامه ریزی خطی سطح اختصاص یافته به هر کاربری باید غیرمنفی باشد که رابطه (۲۴) بیانگر این موضوع است.

(۲۴)

$$X_1,X_2,X_3,X_4,X_5,X_6,X_7,X_8,X_9,X_{10},X_{11},X_{12},X_{13},X_{14}>=0$$

اجرای مدل بهینه سازی

با توجه به موارد گذشته و توابع هدف و محدودیتی که بیان شد به منظور دستیابی به مناسب ترین وضعیت سطح کشت اراضی آبی برای رسیدن به اهداف تحقیق با استفاده از روش سیمپلکس (۱۷) و با کمک نرم افزار LINGO نسخه ۱۱، مسئله برنامه ریزی خطی موجود برای سه سناریوی مدیریتی در قالب شش برنامه عملیاتی مدل‌سازی و اجرا گردید. به منظور شناسایی مؤثرترین محدودیت منابع و همچنین محصولات کشاورزی در تغییر مقدار تابع هدف از تحلیل حساسیت استفاده شد. برای این منظور میزان درصد تغییر تابع هدف مرتبط با درصد مشخصی از تغییرات (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) هر یک از منابع محدودیت بررسی و در نهایت حساسیت تابع هدف نسبت

به آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

یافته‌های حاصل از پژوهش در دو بخش بهینه‌سازی توزیع سطح زیر کشت با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با استفاده از مدل‌های نرم افزاری بهینه‌ساز و آنالیز حساسیت مربوط به آن به تفکیک انجام شده و در ادامه ارائه می‌گردد.

بهینه‌سازی توزیع محصولات موجود در الگوی کشت با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی

در این تحقیق بیشینه‌سازی سود تولیدات الگوی کشت دشت اسلام آباد غرب با لحاظ محدودیت منابع آب فرموله و با استفاده از نرم افزار LINGO این الگوی کشت تعیین گردید. در شرایطی که حل مسائل بهینه سازی با اهداف متضاد حفظ محیط زیست و دست‌یابی به بیشینه سود مواجه است در دشت مورد مطالعه، یک افزایش معنی‌دار در سود حاصل ایجاد گردید. از سوی دیگر تحقیق حاضر نشان دهنده قابلیت بالای مدل LINGO برای حل مسائل خطی با ویژگی‌های مسئله مورد بررسی این تحقیق می‌باشد. این مدل بعد از GAMZ قوی‌ترین نرم‌افزار تحقیق در عملیات است. به این ترتیب، امکان اجرای مدل در سناریوهای مختلف مدیریتی و نیز تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی منابع برای تحلیل حساسیت میسر می باشد. مسئله تحقیق، از طریق GAMZ نیز حل گردید و نتایج آن با نتایج حاصل کاملاً منطبق بود. اما به دلیل کاربر دوست بودن و اجرای سریع و آسان LINGO، در این تحقیق بکار گرفته شد.

تلفیق مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی در پژوهش‌های علوم کشاورزی و محیطی بسیار موفقیت‌آمیز بوده و نتایج حاصل از این پژوهش نیز مؤید این موضوع است. از جمله پژوهش‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیقات جلیلی و همکاران (۹) در بهینه‌سازی کاربری اراضی و بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش منابع تولید حوضه، نیک‌کامی و همکاران (۱۵) در بهینه‌سازی کاربری اراضی، مهدیمرادی و همکاران (۱۲) در تخصیص بهینه آب آبیاری در الگوی چند محصوله، حسن‌اصفهانی و همکاران (۸) در ارزیابی تخصیص بهینه آب آبیاری با استفاده از دیدگاه بیلان آب، اشاره نمود. همه این پژوهش‌های انجام شده کارآیی مدل برنامه‌ریزی خطی در حل مسائل چند هدفه مدیریت منابع آب و خاک و تخصیص بهینه سطح اراضی و منابع آب کشاورزی در راستای رسیدن به حداکثر سود تولیدات کشاورزی و دستیابی به کشاورزی پایدار را تأیید نموده و استفاده آن را پیشنهاد نموده‌اند.

نتایج توزیع بهینه محصولات مختلف کشاورزی و باغی حاصل از اجرای مدل بهینه‌ساز در جدول ۲ آورده شده است.

با دقت در جدول ۲ مشخص است که در کلیه سناریوهای مدیریتی تغییرات انجام شده بیشتر با جایگزینی گندم و سیب‌زمینی با گندم دیم و نخود دیم روی داده است. دلیل این موضوع اینست که سود این محصولات به ازاء واحد حجم آب مورد نیاز نسبت به سایر محصولات بیشتر است. عکس این موضوع در مورد دو محصول پرمصرف آب یعنی ذرت و چغندرقند اتفاق افتاده است که در آن‌ها کاهش سطح نسبت به وضعیت موجود مشاهده می‌گردد. چغندرقند به رغم آنکه دومین محصول با ارزش اقتصادی و سود تولید بالاست اما به دلیل نیاز آبی زیاد آن در مقایسه با سایر محصولات و سودآوری به ازاء مصرف واحد حجم آب با کاهش سطح مواجه شده است. در خصوص سیب‌زمینی، به‌رغم سودخالص بالاتر اما به دلیل عدم اطمینان از قیمت محصول و نیز نیاز به سرمایه اولیه بالا برای مراحل کاشت و داشت، کشاورزان تمایلی به کشت این محصول در منطقه نشان نداده‌اند. نیک کامی (۱۵) نیز در بهینه‌سازی کاربری اراضی یکی از زیرحوضه‌های دماوند به نتایج مشابهی دست یافته و افزایش ۳/۵ برابری در سطح اراضی باغی، افزایش در سطح محصولات آبی پرسود و کاهش ۱۰۰ درصد در سطح اراضی دیم را پیشنهاد نموده است. جلیلی و همکاران (۹) نیز در پژوهش خود در حوضه آبخیز بریموند کرمانشاه، کاهش ۵۰/۰۷ درصدی اراضی دیم و افزایش ۱۳/۵ برابری سطح اراضی باغی نسبت به حالت فعلی را گزارش نموده‌اند.

دقت در جدول‌های ۲ و ۳ نشان می دهد که تغییر سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در دشت اسلام آباد غرب با رعایت کلیه محدودیت های موجود در منطقه، در همه سناریوها و کلیه برنامه‌های عملیاتی، سبب افزایش سود تولید نسبت به وضعیت موجود می‌شود. از همه مهم تر اینکه حتی در سناریوی سوم و یا برنامه عملیاتی ۶، علیرغم اینکه دستیابی به سطح ایستابی اولیه آب زیرزمینی که شاید ۲۰ سال پیش اتفاق افتاده باشد دور از ذهن است باز هم میزان سود از سود تولید در وضعیت موجود و با این حجم اضافه برداشت بیشتر است و این نشان می دهد که برای دستیابی به کشاورزی پایدار، الگوی کشت منطقه نیازمند تحقیق و پژوهش است. در سناریوهای مختلف میزان سود حاصل از بهینه‌سازی در کلیه سناریوهای مدیریتی مثبت بوده و این افزایش از ۱۹ تا ۵۵ درصد است. نتایج پژوهش صادقی و همکاران (۱۷) نشان داد که بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز علاوه بر کاهش هدررفت منابع، میزان سوددهی کاربری های مختلف را نیز بهبود می‌بخشد و در نتیجه علاوه بر حفظ منابع به سودآوری بیشتری می‌انجامد و افزایش ۱۱۹ درصد، میزان سودآوری حوضه آبخیز پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی است. نیک کامی و همکاران (۱۵) نیز در یکی از زیرحوضه‌های حوضه دماوند افزایش ۱۳۴ درصد در سودآوری کاربری‌های حوضه آبخیز پس از بهینه‌سازی آن را اعلام نموده‌اند.

حسن اصفهانی و همکاران (۸) در پژوهش خود پیرامون تخصیص بهینه آب آبیاری، بهینه‌سازی مصرف آب در سیستم‌های آبیاری با استفاده از دیدگاه بیلان آب و صرفه‌جویی ۲۰ درصدی در مصرف آب بدون کاهش سود را از نتایج مدیریت صحیح و بهینه‌سازی تخصیص و مصرف آب گزارش نموده‌اند.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت برای تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی در منابع و اثر آن در تابع هدف انجام شده و در شکل‌های ۲ تا ۷ ارائه شده است.

در خصوص آنالیز حساسیت می‌توان نتیجه گرفت که هم افزایش و هم کاهش سود، بیشترین حساسیت را نسبت به کاهش حجم آب قابل بهره‌برداری دارد. دلیل این مسئله آن است که در منطقه مورد بررسی حجم آب قابل استحصال مطابق سناریوهای مدیریتی، محدود کننده‌ترین عامل اثر گذار است چرا که در دشت اسلام‌آباد کمتر از ۲۰ درصد اراضی حاصلخیز دشت به کشت آبی اختصاص دارد و محصولات آبی الگوی کشت منطقه سود بیشتری نسبت به محصولات دیم دارند بنابراین حساسیت مدل نسبت به این موضوع بسیار زیاد است و سطح اراضی در دسترس برای کشت آبی در مقایسه با آب به عنوان عامل محدود کننده محسوب نمی‌شود.

جدول ۲- توزیع محصولات الگوی کشت در وضعیت موجود و شرایط بهینه سناریوهای مدیریتی (هکتار)

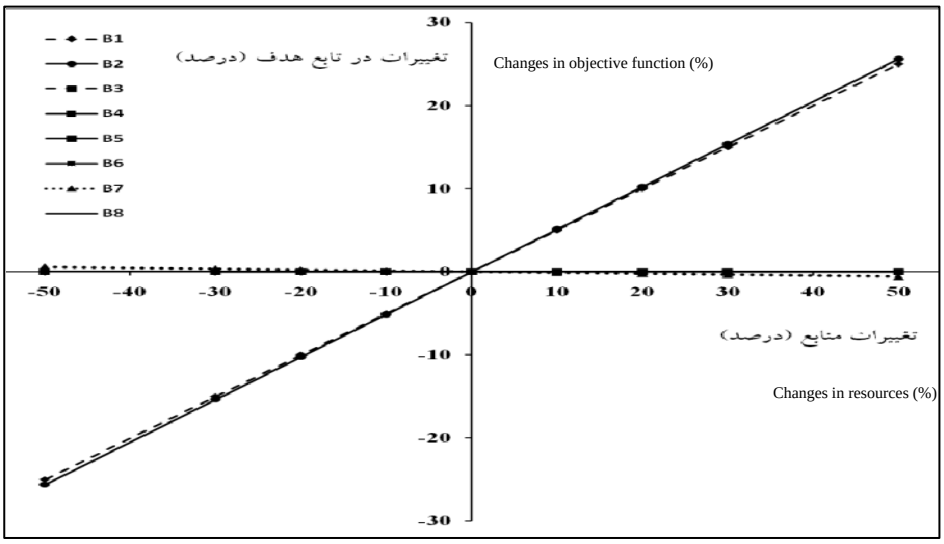
Table 2- Distribution of crop pattern productions in current condition and optimal condintion of management scenarios(ha)

محصولات Production	وضعیت موجود Current condition	برنامه عملیاتی ۱ Action plan1	برنامه عملیاتی ۲ Action plan2	برنامه عملیاتی ۳ Action plan3	برنامه عملیاتی ٤ Action plan4	برنامه عملیاتی ٥ Action plan5	برنامه عملیاتی٦ Action plan6
گندم Irrigated wheat	1901.9	2277.1	2916.5	2757.2	2596.8	2436.7	1670.4
چغندرقند sugar beet	407.5	0	0	0	0	0	0
ذرت Corn	545.3	0	0	0	0	0	0
سیب زمینی Potato	112.3	2277.1	2916.5	2757.2	2596.8	2436.7	1670.4
باغ Garden	21.8	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7
یونجه Alfafa	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5	68.5
سبزیجات Vegetables	6	6	6	6	6	6	6
نخود Irrigated Chick-pea	22.8	0	0	0	0	0	0
گوجه فرنگی Tomato	28	0	0	0	0	0	0
جالیز Melon	223.3	0	0	0	0	0	0
گندم دیم Dry wheat	7745.4	7093.3	6454	6613.2	6773.6	6933.7	7700
جو دیم Hordeum vulgare	36.8	0	0	0	0	0	0
نخود دیم Dry Chick-pea	7725.4	7093.3	6454	6613.2	6773.6	6933.7	7700
عدس دیم dry lentil	3.2	0	0	0	0	0	0
میزان سود Benefit	32844.68	44845.31	50910.27	49399.06	47877.67	46359.12	39090.76
درصد تغییر سود Benefit change percent	----	36.5	55.0	50.4	45.8	41.1	19.0

جدول ۳- سود حاصل از توزیع بهینه سطح کشت محصولات مختلف کشاورزی و باغی (بر حسب میلیون ریال)

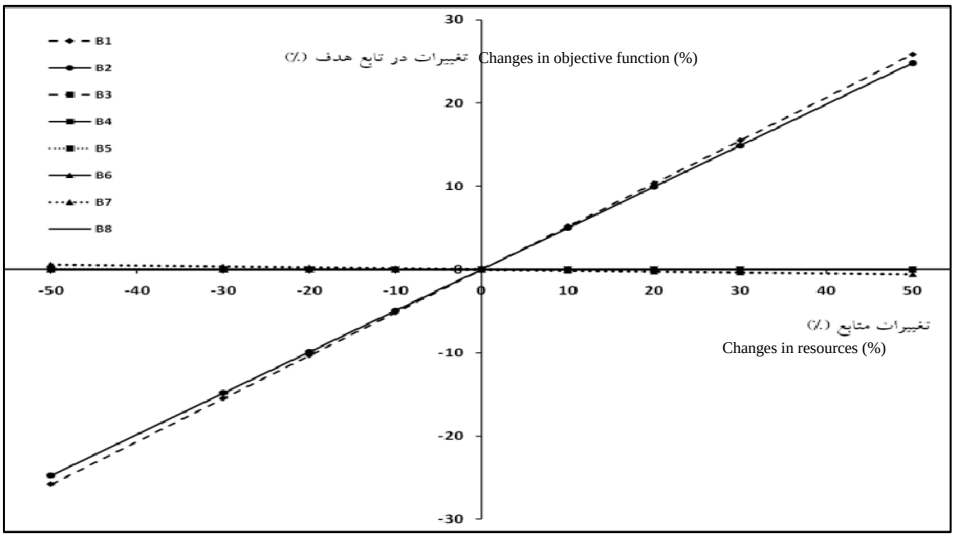
Table 3- Benefit of optimal crop areas distribution of agriculture and garden productions (Million Rials)

سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production		سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production	
87008.0	38.21	2277.1	X1	سناریوی ۲۵/۳۸ میلیون مترمکعب (Scenario25.35(MCM)	63826.0	38.21	1670.4	X1	سناریوی ۱۸/۸۷ میلیون مترمکعب (Scenario25.35(MCM)
184445.1	81.00	2277.1	X4		135302.4	81.00	1670.4	X4	
1504.3	21.96	68.5	X6		1504.3	21.96	68.5	X6	
283.2	47.20	6.0	X7		283.2	47.20	6.0	X7	
2419.8	74.00	32.7	X10		2419.8	74.00	32.7	X10	
51497.4	7.26	7093.3	X11		55902.0	7.26	7700.0	X11	
121295.4	17.10	7093.3	X13		131670.0	17.10	7700.0	X13	
سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production		سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production	
99223.7	38.21	2596.8	X1	سناریوی ۲۸/۸۱ میلیون مترمکعب (Scenario 25.35(MCM)	93106.3	38.21	2436.7	X1	سناریوی ۲۷/۰۹ میلیون مترمکعب (Scenario 27.09(MCM)
210340.8	81.00	2596.8	X4		197372.7	81.00	2436.7	X4	
1504.3	21.96	68.5	X6		1504.3	21.96	68.5	X6	
283.2	47.20	6.0	X7		283.2	47.20	6.0	X7	
2419.8	74.00	32.7	X10		2419.8	74.00	32.7	X10	
49176.3	7.26	6773.6	X11		50338.7	7.26	6933.7	X11	
115828.6	17.10	6773.6	X13		118566.3	17.10	6933.7	X13	
سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production		سود کل (Total benefit)	سود واحد سطح Benefit per area unit)	مساحت (ha) Area(ha)	محصول Production	
111439.5	38.21	2916.5	X1	سناریوی ۳۲/۲۴ میلیون مترمکعب (Scenario 32.24(MCM)	105352.6	38.21	2757.2	X1	سناریوی ۳۰/۵۳ میلیون مترمکعب (Scenario 30.53(MCM)
236236.5	81.00	2916.5	X4		223333.2	81.00	2757.2	X4	
1504.3	21.96	68.5	X6		1504.3	21.96	68.5	X6	
283.2	47.20	6.0	X7		283.2	47.20	6.0	X7	
2419.8	74.00	32.7	X10		2419.8	74.00	32.7	X10	
46856.0	7.26	6454.0	X11		24011.8	7.26	6613.2	X11	
110363.4	17.10	6454.0	X13		113085.7	17.10	6613.2	X13	



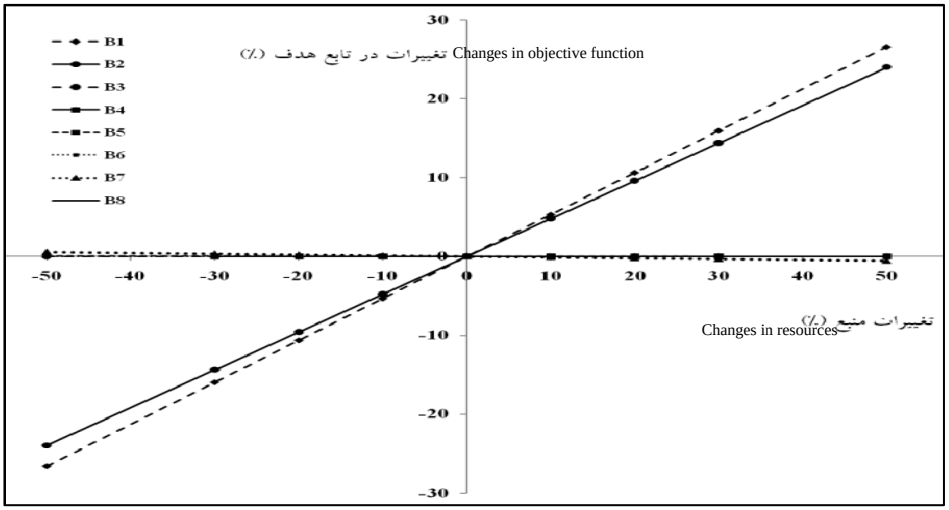
شکل ۲- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی۱

Figure 2- Sensetive analysis of action plan 1



شکل ۳- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی۲

Figure 3- Sensetive analysis of action plan 2

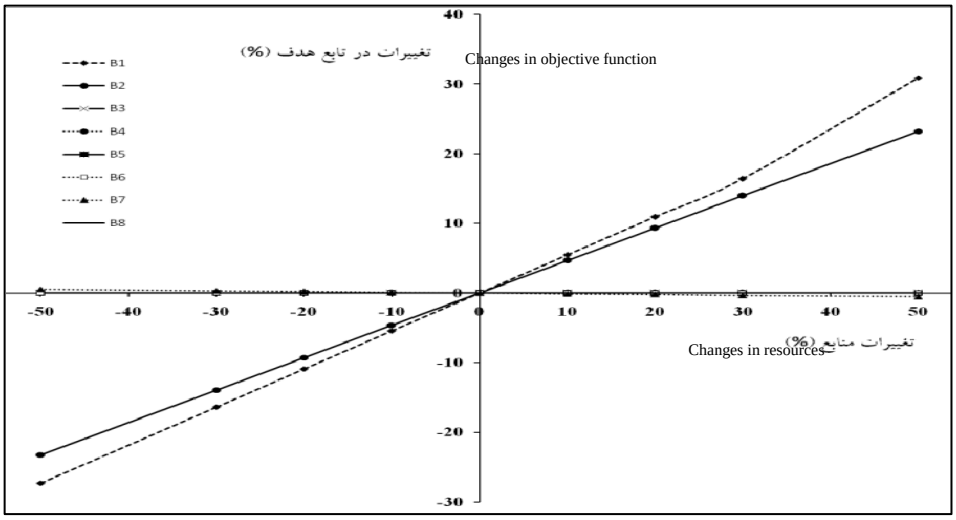


شکل ٤- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی۳

Figure 4- Sensetive analysis of action plan 3

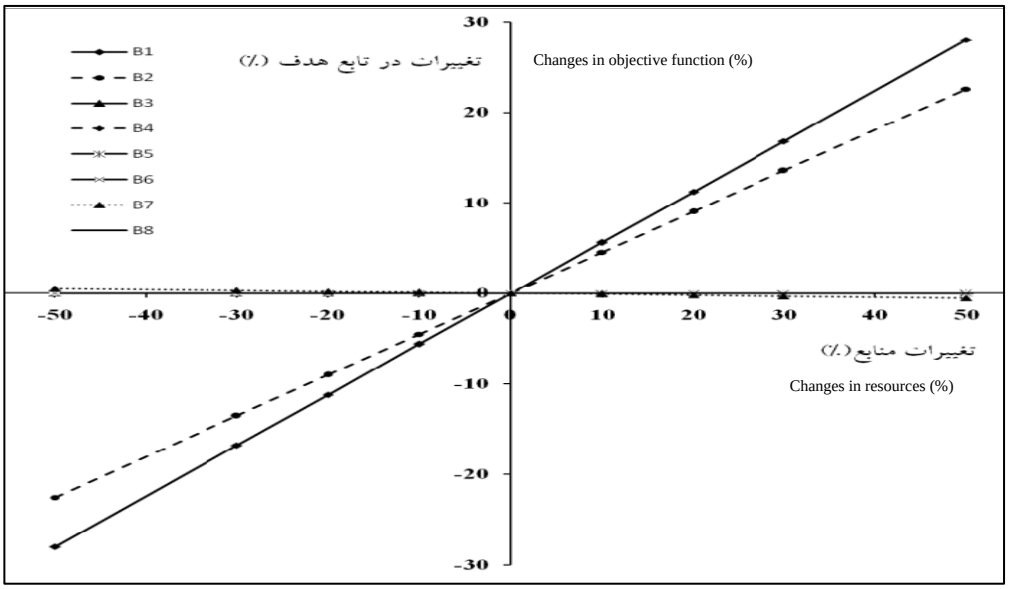
اما سطح کل اراضی تخصیص یافته نیز در رتبه دوم حساسیت قرار دارد در این خصوص هرچه سطح اراضی بیشتر باشد به یقین میزان سود حاصل بیشتر است دلیل این موضوع آن است که به‌رغم آنکه امکان کشت آبی وجود ندارد اما اختصاص زمین بیشتر سبب افزایش سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و در نتیجه افزایش سود تولید می شود و بالعکس در مورد کاهش سطح اراضی نیز این موضوع وجود دارد. پس از آن حساسیت کاهش و افزایش تابع بیشینه‌ساز سود به سطح اراضی یونجه‌کاری در منطقه است. با افزایش این سطح سود کاهش و با کاهش سطح اراضی زیر کشت یونجه سود افزایش می‌یابد. علت این امر نسبت نیاز آبی یونجه نسبت به افزایش سود تولید در واحد سطح است. بنابراین سناریوهای پیشنهادی جهت تعدیل روند افت سطح ایستابی آب زیرزمینی به شدت درآمد بهره برداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد که مولینا و همکاران (۱۴) نیز بر این مهم تأکید داشته‌اند. از طرفی بهینه سازی منابع موجود و تعیین سطح بهینه کشت در دشت اسلام آباد غرب، امکان افزایش ۱۹ تا ۵۵ درصدی سود حاصل از الگوی کشت موجود را فراهم می‌نماید که نتایج جلیلی و همکاران (۹) مبنی بر افزایش ۱۸/۶ درصدی سود حاصل از بهینه‌سازی را تأیید می‌نماید. نتایج این تحقیق با تحقیق صادقی و همکاران (۱۷) آنجا که بیان داشتند در تغییرات مقادیر پارامتر درمقابل تغییرات نسبی متغیرهای تصمیم گیری توسط برنامه‌نویسی بهینه سازی، تغییر برخی از تخصیص‌ها تأثیر بیشتری را در راه‌حل نهایی بهینه تولید شده ایجاد می‌کند و نیز نتایج محسنی ساروی و

همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که الگوی پیشنهادی بر اساس دیدگاه اقتصادی دارای برتری نسبی نسبت به دیدگاه های اجتماعی و زیست محیطی است همخوانی دارد. البته کم بودن میزان و درصد افزایش سود در مورد کشت یونجه مربوط به پایین بودن سطح کشت این محصول نسبت به کشت‌های دیگر است که علیرغم سود قابل قبول تأثیری زیادی در افزایش درصد سود کل منطقه ندارد.



شکل ۵- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی٤

Figure 5- Sensetive analysis of action plan 4

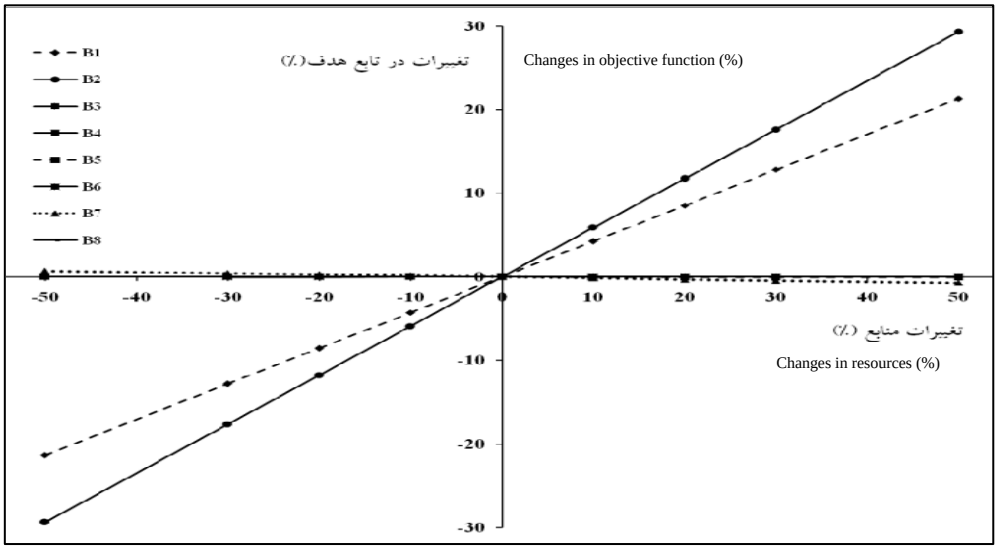


شکل ٦- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی٥

Figure 6- Sensetive analysis of action plan 5

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج پژوهش، در دشت اسلام‌آباد بیلان آب منفی است و هر ساله این وضعیت تشدید می‌گردد. بنابراین، محدودیت اصلی وجود منابع آبی است لذا در این دشت به منظور استفاده بهینه از منابع آب موجود در جهت تحقق اهداف بلند مدت مدیریت منابع آب و کاهش افت سالانه تراز آب زیرزمینی، اصلاح الگوی کشت موجود یک الزام است. از آنجا که برخی از محصولات الگوی کشت موجود در برنامه‌نویسی بهینه سازی حذف می‌گردند لذا به منظور حفظ تنوع محصولات برای حضور در الگوی کشت، معرفی گونه‌های جدید مانند کلزا و نظایر آن که با داشتن نیاز آبی کمتر سود بیشری را در اختیار کشاورزان قرار دهند مورد نیاز است که جلیلی و همکاران (۱۰) نیز بر این مهم تأکید نموده‌اند.



شکل ۷- آنالیز حساسیت برنامه عملیاتی٦

Figure 7- Sensetive analysis of action plan 6

تراز سطح آب زیرزمینی و مدیریت آن یک شاخص مؤثر در برنامه‌ریزی پایدار مدیریت منابع آب زیرزمینی است (۷). بنابراین، اعمال کنترل منطقی بر میزان برداشت منابع آب زیرزمینی و تحویل حجمی آب به بهره برداران مطابق برنامه توسعه‌ای بلند مدت منطقه می تواند زمینه‌ساز بهبود وضعیت آبخوان گردد. در پایان علیرغم تأکید بر توانمندی و کارآیی بالای مدل برنامه ریزی خطی در تحلیل وضعیت و بهینه سازی تخصیص منابع، پیشنهاد می گردد مطابق با شرایط حاکم در منطقه، از سایر روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی اعم از خطی یا غیر خطی و با بکارگیری نرم‌افزارهای بهینه‌ساز موجود، کارآیی آنها در حل مسائل پیچیده اکوسیستم‌های طبیعی ارزیابی و مدل‌های مناسب در این زمینه معرفی گردند.

منابع

1- Alcalá F.J., Martínez-Valderrama J., Robles-Marín P., Guerrera F., Martín-Martín M., Raffaelli G., and Asebriy L. 2015. A hydrological–economic model for sustainable groundwater use in sparse-data drylands: Application to the Amtoudi Oasis in southern Morocco, northern Sahara. Science of The Total Environment. 537:309–322.

2- Almaraz S.D.L., Marianne B., Catherine A.P., Ludovic M., and Serge D. 2015. Design of a multi-contaminant water allocation network using multi-objective optimization. Computer Aided Chemical Engineering. 37: 911–916.

3- Bozorg Haddad O., and Marino M.A. 2010. Optimum operation of wells in coastal aquifers. Proceedings of the ICE - Water Management. 164(3):135 –146.

4- Das B., Singh A., Panda S.N., and Yasuda H. 2015. Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. Land Use Policy. 42: 527-537.

5- Divakar L., Babel M.S., Perret S., Das G.A. 2013. Optimal water allocation model based on satisfaction and economic benefits. International Journal of Water. 7(4):363-381.

6- Fallah-Mehdipour E., Bozorg Haddad O., and Marino M.A. 2013. Prediction and simulation of monthly groundwater levels by genetic programming. Journal of Hydro-Environment Research. 7: 253-260.

7- Ganji Khorramdel N., Mohammadi K., and Monem M.J. 2008. Optimization of observation well network for the estimation of groundwater balance using double water table fluctuation method. Journal of Soil and Water. 22(2): 358-370.

8- Hassan-Esfahani L., Torres-Rua A., and McKee M. 2015. Assessment of optimal irrigation water allocation for pressurized irrigation system using water balance approach, learning machines, and remotely sensed data. Agricultural Water Management. 153: 42–50.

9- Jalili Kh., Sadeghi S.H.R., and Nikkami D. 2006. Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming. Journal of Science & Technology of Agriculture and Natural Resources. 10(4): 15-26.

10- Jalili Kh., Moradi H.R., and Bozorg Haddad O. 2015. Analysis of aquifer water level drawdown in Islamabad due to the allocation of groundwater resources. p. 499–509. In S.M. Tajbakhsh Fakhrabadi (ed.) Proceedings of Water

Harvesting and Watershed Management Congress. 18-19 Feb. 2015. Birjand University, Birjand, Iran.
11- Li M., and Guo P. 2014. A multi-objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. Applied Mathematical Modelling. 38(19–20): 4897–4911.
12- Mahdi-Moradi J., BozorgHaddad O., Karney M.A., and Marino B.W. 2007. Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas. Agricultural Water Management. 90: 149-19.
13- Mohammadrezapour Tabari M., Ebadi T., and Maknoon R. 2010. Development of a smart model for groundwater level prediction based on aquifer dynamic conditions. Journal of Water and Waste Water. 4: 70-80.
14- Molina J.L., Bromley J., Grcia-Arostegui J.L., Sullivan C., and Benavete J. 2010. Integrated water resources management of overexploited hydrological system using objected-oriented bayesian networks. Environmental Modeling & Software. 25(4): 383-397.
15- Nikkami D. 1999. Optimizing the management of soil erosion using GIS, Ph.D dissertation. Concordia University.108 pp.
16- Roozbahani R., Schreider S., and Abbasi B. 2015. Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. Environmental Modelling & Software. 64:18–30.
17- Sadeghi S.H.R., Jalili Kh., and Nikkami D. 2009. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy. 26(2009)186-193.
18- Sefelnasr A., Gossel W., and Wycisk P. 2015. Groundwater management options in an arid environment: The Nubian Sandstone Aquifer System, Eastern Sahara. Journal of Arid Environments. 122:46-58.
19- Vedula S., Mujumdar, P.P., and Sekhar G.C. 2004. Conjunctive use modeling for multicrop irrigation. Journal of Agricultural Water Management. 73: 193-221.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 2, May.-Jun. 2017, p. 372-385

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۶، ص. ۳۸۵-۳۷۲

Optimization of Land and Irrigation Water Allocation Based on Water Balance Approach Using Linear Programming

H.R. Moradi[1*] –K. Jalili[2] –O. Bozorg Hadad[3]

Received: 30-12-2015
Accepted: 17-01-2017

Introduction: The conflict between environmental protection and the economic development by different land uses within a watershed are challenges facing land use planners in many developing countries. Because of the growing demand for water, water resources optimization allocation management is at the forefront in formulating sustainable development policies for many countries. Conjunctive use of surface water and groundwater is being practiced in many regions of the world to bring more areas under irrigation, increase agricultural production and productivity, and also maintain overall system balance. Successful agricultural water management policies put the physical, hydro-geological, and socio-economic constraints on these integrated water supplies. Application of optimization approaches has been started since the human faced a low efficiency production of the system. Optimization of resource allocation is one of the proper strategies to achieve sustainable development and to reduce resource dissipation. So land and irrigation water allocation based on water balance approach is the aim of this research and this paper proposed an optimal land and water resource allocation model based on linear programming to Islamabad plain's irrigation areas.

Materials and Methods: The Islamabad plain aquifer is located in Seymareh watershed and 55 km of Kermanshah city in the Kermanshah Province; it comprises 19438 ha and extends between 33◦20 to 34◦24 N latitude and 46◦ 15to 46◦47 E longitude. Annual precipitation and annual temperature of study area are 445.1 mm and 12 ◦C respectively . The mean net benefit of irrigated wheat, sugar beet, corn, potato, irrigated chick-pea, alfalfa, vegetables, melon, tomato, fruit garden, dry wheat, dry barley, dry chick-pea and dry lentil were therefore calculated to be respectively some 38.21, 76.7, 34.39, 81.0, 16.98, 21.69, 47.2, 12.4, 61.4, 74.0, 7.26, 0.72, 17.1 and 10.9 Mir/ha and the objective functions of the benefit maximization problem in the Islamabad aquifer was formulated The problem was structuredin the study area to maximize economic return. The information and data required for defining constants and coefficients of objective Function and constraints, viz. Land availability, water availability/supply, present crop pattern, socio-economic conditions were extracted from the available comprehensive Hydrogeology, field studies and farmers viewpoints. A linear optimization problem has been formulated for the Islamabad plain to achieve sustainable development and optimal land allocation to crop pattern, then solved using the simplex method with the help of LINGO software packages and the optimal solution was ultimately determined. Three management scenarios and six action plan with resources accessibility, crop rotation, socio-economic constraints and nonnegative variables have analyzed and sensitivity analysis was done.

Results and Discussion: The results of the study verified that the linear optimization problem was successfully solved using the LINGO software program and the results led to maximize benefits in the Islamabad plain. The results also showed the successful linkage between economic aspects and environmental outcomes at an aquifer scale. Results show that in all scenarios sugar beet, corn, chick-pea, tomato and melon have been removed from the optimal cropping pattern. Wheat areas in two scenarios and five action plans have been increased. Benefit of optimization in management scenarios and in the entire optimal crop pattern was positive and increase from 19 to 55 percent. Sensitivity analysis showed that the change of some specific allocations would create much more impact on the final optimal solutions generated by the optimization programming.The results of sensitivity analyses also showed that the objective function was strongly susceptible to the constraint of water availability and total area of plain.

Conclusions: A benefit problem was formulated and then solved to maximize benefits using optimization of allocable land and irrigation water resources to 14 productions of present crop pattern within the Islamabad plain in Kermanshah province. The LINGO optimization software program was successfully applied and led to determine appropriate areas allotted to different crop. The results obtained during the study approved the applicability of optimization model in solving problems which sometimes conflicting each other. On the study

1 and 2- Associate Professor and Ph.D. Student of Watershed Management Engineering Department, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran Province
(*- Corresponding Author Email: hrmoradi@modares.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, University of Tehran

plain there appears a significant augmentation in profit from allocating the optimal cultivated areas. The approach could provide better information on where changes are required, how large the changes need to be, and how much the changes will benefit the people when improving. The conjunction of optimization techniques with other tools like geographical information system, genetic algorithm, fuzzy logic, artificial neuron networks and applying different softwares and simulation techniques are also suggested to be taken into account in further studies to draw ultimate necessary conclusions.

Keywords: Crop Pattern, LINGO Software, Simplex Method, Sustainable Development, West Islamabad