

بهینه‌سازی کاربری اراضی بر اساس منابع آب مصرفی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی

(مطالعه موردی: شهرستان یزد)

- ۱- رضوان اسدی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه یزد
rezvanasadi76@yahoo.com
- ۲- حسین ملکی‌نژاد، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد
- ۳- احمد فتاحی، استادیار منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۸

پذیرش: ۱۳۹۳/۰۸/۱۹

چکیده

بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز با توجه به منابع محدود آب، یکی از روش‌های مدیریتی مناسب جهت رسیدن به پایداری بیشتر می‌باشد. هدف از این پژوهش، تعیین کاربری بهینه اراضی شهرستان یزد، با توجه به شرایط فعلی برداشت آب است. مصرف کنندگان اصلی آب شهرستان، بخش‌های کشاورزی، فضای سبز، خانگی و صنایع هستند. سفره آب زیرزمینی تأمین کننده اصلی نیاز آب سالانه در منطقه است. مساحت کاربری های کشاورزی، فضای سبز، مسکونی، صنعتی در سال ۱۳۹۰ به ترتیب ۷۲۱۲/۳، ۸۰۴/۳، ۳۵۲۵/۳ و ۳۳۵/۸ هکتار بوده است. برنامه‌نویسی در محیط نرم افزار لیندو انجام گرفت. تابع هدف برای مسأله به صورت کمینه کردن میزان آب اختصاصی در واحد سطح هر کاربری تعریف گردید. محدودیت‌های مورد بررسی به دو دسته محدودیت‌های مربوط به مساحت کاربری‌ها و محدودیت‌های مربوط به آب مورد نیاز هر کاربری تقسیم شدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مساحت‌های فعلی کاربری‌ها، با توجه به آب مصرفی در آنها بهینه نیستند. در صورتی که راندمان‌های فعلی مصرف آب در مقادیر آب تخصیصی به کاربری‌ها بخصوص راندمان فعلی آبیاری لحاظ گردد، مساحت بعضی از کاربری‌ها به خصوص بخش کشاورزی، برای رفع تنش آبی وارده بر گیاهان تا ۴۰٪ کمتر از مساحت‌های موجود این کاربری‌ها در شهرستان کاهش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: برنامه ریزی خطی، بهینه سازی، کاربری اراضی، لیندو

مقدمه

یکی از مشکلات بشر در آستانه قرن ۲۱، بحران زیست محیطی و تخریب منابع طبیعی است. منابع موجود به لحاظ محدودیت بشر را به چاره اندیشی برای مبارزه با این روند وادار نموده است. بنابراین جهت بهره‌برداری با صرفه اقتصادی و مستمر از سرزمین، مدیریت منابع، لازم و ضروری است (Ebrahimi, 2001). در این راستا توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی یکی از یافته‌های انسان در دهه اخیر می‌باشد (Hasanzadeh, 2001) که آن را استفاده موثر از منابع موجود بدون آسیب رساندن به دارایی‌ها و منابع نسل های آینده تعریف نموده‌اند

Clark, 1996). برای دستیابی به این توسعه در بخش منابع طبیعی و کشاورزی، مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مناسب کاربری اراضی لازم است (Molhotra, 1980). کاربری اراضی و میزان آب مصرفی و نوع مصرف بر روی واحدهای مختلف زمین را می‌توان با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی بهینه کرد. از این‌رو با استفاده از مفهوم بهینه‌سازی که در واقع دستیابی به مناسب ترین مقدار خروجی یک سامانه با توجه به محدودیت های حاکم بر آن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی منابع آب و خاک یکی از راهکارهای مناسب برای حفاظت از این منابع

تحقیق حاکی از آن است که با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، می‌توان به طور مؤثری در منطقه مورد مطالعه سناریوهای بهینه و یا نزدیک به بهینه با توجه به اهداف مورد نظر ارائه نمود.

Niknami, 2012، مطالعه‌ای را جهت تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به منظور کاهش اثرات سوء مانند فرسایش خاک و ارتقاء درآمد ساکنین حوزه‌های آبخیز جاجرود در استان تهران، خارستان در استان فارس و ابوالعباس در استان خوزستان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و با مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفی مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در حوزه‌های مورد بررسی سطح کاربری‌های فعلی جهت کاهش میزان فرسایش، رواناب و هدر روی عناصر غذایی و افزایش درآمد ساکنین حوزه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر نمایند.

از آنجایی که در مناطق خشک و بیابانی، اهمیت وجود آب محسوس‌تر است، در این مطالعه به بهینه‌سازی کاربری اراضی شهرستان یزد با توجه به منابع آب تخصیصی به آنها پرداخته شده است تا وضعیت فعلی کاربری‌های مختلف و تنش و یا عدم تنش آبی وارده بر آنها تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

شهرستان یزد با مساحت حدود ۲۴۷۹ کیلومتر مربع در بخش مرکزی استان بین عرض‌های جغرافیایی ۴۰° تا ۳۱° و طول جغرافیایی ۱۰° تا ۵۴°، در دره‌ای وسیع و خشک و محصور بین رشته کوه‌های شیرکوه و خراق قرار گرفته است. این شهرستان از شمال به شهرستان اردکان و از شرق به شهرستان بافق و از جنوب به شهرستان تفت و از غرب به استان اصفهان محدود گشته است. بر اساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۰، شهرستان یزد از دو بخش مرکزی و زارچ، ۴ شهر با نام‌های حمیدیا، شاهده، زارچ و یزد و ۴ دهستان محمد آباد، فهرج، فجر و اله آباد تشکیل شده است.

است که به مدیران آبخیز و تصمیم‌گیران این اختیار را می‌دهد تا از بین گزینه‌های مختلف کاربری اراضی، بهترین تصمیم را اتخاذ کنند (Riede, 2003).

بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد کاربرد برنامه ریزی خطی در راستای بهینه‌سازی مدیریت منابع در حوزه‌های آبخیز به ندرت مورد استفاده قرار گرفته است که در این میان می‌توان به تحقیقات زیر اشاره نمود:

Jaleli et al., 2006، مطالعاتی را در حوزه آبخیز بریموند در شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه به منظور تعیین مناسب‌ترین کاربری اراضی شامل باغ، کشت آبی، کشت دیم و مرتع، جهت کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود با برنامه‌ریزی خطی انجام داده‌اند. نتایج به‌دست آمده از تحقیق، ضمن معرفی کاربری بهینه اراضی حوزه آبخیز بریموند، میزان کاهش فرسایش خاک را برابر با ۷/۷۸ درصد ارائه نمود.

Moghadasi et al., 2008، به مقایسه تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی از جمله برنامه‌ریزی خطی هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی با حداکثرسازی درآمد پرداخته‌اند. بدین منظور دوره خشکسالی سال‌های آبی ۷۸-۱۳۷۷ تا ۸۰-۱۳۷۹ در شبکه آبیاری زاینده رود اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل برتری روش برنامه‌ریزی خطی و سپس هوش جمعی را نشان داد.

Yunhao et al., 2008، مطالعه‌ای برای تعیین الگوی کاربری بهینه در مناطق تحت کشاورزی چین انجام دادند. در این مطالعه برای بهینه‌سازی کاربری اراضی از مدل ICLUE (بهبود کاربری اراضی و اثرات آن) استفاده شد که در آن جنبه‌های اقتصادی و فیزیکی در نظر گرفته شده بود. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که ICLUE می‌تواند به صورت بهینه، کاربری‌های مناسبی را در منطقه مورد مطالعه ارائه دهد و اطلاعات مفیدی را برای بهبود وضعیت زیست محیطی ایجاد نماید.

Kai coa et al., 2012، از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در منطقه‌ای در پکن چین استفاده کردند که در آن هم جنبه‌های اقتصادی و هم عوامل زیست محیطی، اجتماعی از جمله تولید ناخالص، ویژگی‌های زمین‌شناسی و ... در نظر گرفته شد. نتایج این

۸۶٪ به بخش کشاورزی، ۷٪ بخش شرب و بهداشت و ۷٪ به بخش صنعت شهرستان اختصاص یافته است.

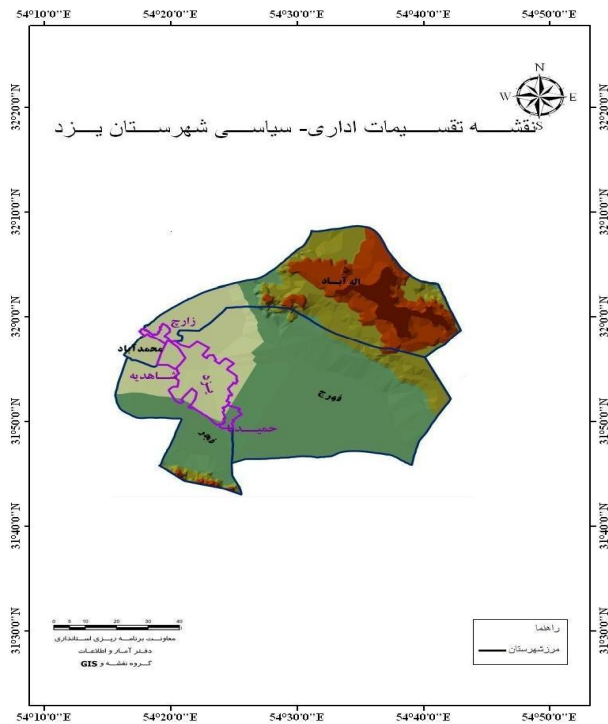
معرفی مدل

روش سیمپلکس یا به طور دقیق‌تر الگوریتم سیمپلکس شیوه‌ای برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی با n متغیر است. الگوریتم سیمپلکس در حقیقت فرایند حلی قدم به قدم و تکراری است که در آن یک رویه سیستماتیک آن قدر تکرار می‌شود تا سرانجام به جواب مطلوب برسد (Karamoz & Krachyan, 2002). با توجه به گسترش علم و فن‌آوری، همچنین پارامترهای متعدد دخیل، به جای انجام مراحل به صورت دستی می‌توان از نرم افزارهای مناسبی که در این رابطه گسترش یافته‌اند استفاده نمود که از جمله این نرم افزارها می‌توان به نرم افزار لیندو^۱، تورا^۲، کیواس‌بی^۳ و غیره اشاره نمود.

در این تحقیق برای مدل نویسی، نرم افزار لیندو مورد استفاده قرار گرفته است. لیندو ابزاری ساده برای بهره‌گیری از قدرت برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی در فرموله کردن مسائل خیلی بزرگ به صورت مختصر و تجزیه و تحلیل آنهاست. برای به کارگیری برنامه‌ریزی خطی به عنوان یک روش ریاضی برای حل مسائل به یکسری اطلاعات اولیه نیاز است که این اطلاعات در مجموعه ورودی‌ها به صورت زیر دسته بندی می‌شود:

متغیرهای تصمیم: متغیرها عموماً بیانگر مواد خام، کیفیت عوامل دخیل در عملیات، میزان دارایی‌ها، منابع و اشکال متغیرها هستند. متغیرهای تصمیم را با حروف لاتین مانند X ، Y و Z نشان می‌دهند.

تابع هدف: هدف ترکیب موزونی از متغیرها برای رسیدن به حد بهینه است. تابع هدف، رابطه‌ای است ریاضی که بر حسب متغیرهای تصمیم نوشته می‌شود و هدف مسأله را بیان می‌کند و تصمیم‌گیرنده به کمک تکنیک‌های شناخته شده مختلف، سعی در حداکثر نمودن^۴ یا حداقل نمودن^۵ تابع هدف دارد (Karamoz & Krachyan, 2002).



شکل ۱- نقشه تقسیمات اداری- سیاسی شهرستان یزد

از آنجایی که در این پژوهش به بهینه کردن کاربری‌ها با توجه به آب مصرفی آنها توجه شده است لذا به تشریح کاربری‌هایی که عمده مصرف کننده آب شهرستان هستند پرداخته می‌شود که شامل بخش‌های کشاورزی، فضای سبز، مسکونی و صنعتی است. مساحت این کاربری‌ها به ترتیبی که گفته شد برابر است با $۸۰۴/۳$ ، $۷۲۱۲/۳$ ، $۳۳۵/۸$ ، $۳۵۲۵/۳$.

برای بخش صنعتی، بخش‌های بهره‌برداری شده ۴ واحد شامل شهرک صنعتی، فولاد آلیاژی، منطقه ویژه اقتصادی و صنایع لاستیک مورد بررسی قرار گرفته است.

منابع تأمین کننده آب شهرستان

شهرستان از لحاظ منابع سطحی بسیار ضعیف است در نتیجه، منابع آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی را در تأمین آب شهرستان خواهند داشت. منابع تأمین کننده آب زیرزمینی شهرستان در سال ۱۳۹۰ از ۵۳۷ حلقه چاه با حجم تخلیه $۹۹/۴۲$ میلیون مترمکعب و ۱۰ قنات با حجم تخلیه $۶/۳۵$ میلیون متر مکعب تشکیل شده است. مجموع آب زیر زمینی برداشت شده در سال آبی ۹۱-۱۳۹۰ برابر $۱۰۵/۷۷$ میلیون متر مکعب بوده است که از این مقدار

۱- LINDO

۲- TORA

۳- QSB

۴- Maximize

۵- Minimize

۱- کشاورزی (A) ۲- فضای سبز (E) ۳- مسکونی (U) ۴- صنعتی (I)

طریقه نوشتن تابع هدف برای مسأله

تابع هدف برای مسأله به صورت مینیمم کردن میزان آب اختصاصی در واحد سطح هر کاربری تعریف شده است. مقادیر مساحت کاربری‌ها و حجم آب تخصیصی به آنها بر اساس محاسبات انجام گرفته بر روی داده‌های شرکت آب منطقه‌ای شهرستان یزد، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مساحت کاربری‌ها و حجم آب اختصاصی به آنها

نام کاربری‌ها	کشاورزی	فضای سبز	مسکونی	صنعتی
مساحت (ha)	۷۲۱۲/۳	۸۰۴/۳	۳۵۲۵/۳	۳۳۵/۸
حجم آب تخصیصی (m ³)	۸۴۲۳۱۸۷۶	۱۰۴۸۹۷۴۹	۴۱۵۸۳۴۴۸	۵۲۸۲۹۳۰
حجم آب به ازای واحد سطح کاربری (m ³ /ha)	۱۱۶۷۸/۹۲	۱۳۰۴۲/۰۸۶	۱۱۷۹۵/۷	۱۵۷۳۲/۳۷

برآورد آب مورد نیاز بخش کشاورزی

برای تعیین آب مورد نیاز بخش کشاورزی از فرمول‌ها و نرم‌افزارهای متعددی می‌توان استفاده کرد. اساس کار اغلب نرم‌افزارها روش فائو- پنمن - مانیتیت می‌باشد. از جمله نرم‌افزارهای پر کاربرد در محاسبه نیاز آبی گیاهان نرم‌افزارهای کراپ‌وات^۱، اپتی‌نت^۲ و نت‌وات^۳ هستند. برای محاسبه آب مورد نیاز گیاهان لازم است که ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) برآورد شود. تبخیر- تعرق یک سطح بدون کمبود آب، تبخیر- تعرق گیاه (سطح) مرجع یا تبخیر- تعرق نامیده شده و با ET_o نشان داده می‌شود. پارامترهای هواشناسی تنها عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق گیاه مرجع می‌باشند. بعد از برآورد تبخیر و تعرق مرجع لازم است که ضریب گیاهی (K_c) در مقدار به دست آمده اعمال گردد تا نیاز آبی گیاه به دست آید (Farshi, et al. 1997).

در این پژوهش از نرم‌افزار وات‌نت استفاده شده است. این نرم‌افزار نیاز آبی گیاهان مختلف را برای دشت‌های

محدودیت‌ها: یکسری محدودیت‌ها در ترکیب‌های متنوعی از متغیرها هستند و تعداد آنها متناسب با نوع مسأله است. قیود با علامت \geq یا \leq مشخص می‌شوند.

تعیین متغیرهای تصمیم مسأله

برای انجام بهینه‌سازی کاربری اراضی شهرستان با توجه به میزان آب اختصاصی به آنها چهار کاربری که عمده مصرف کننده آب هستند در نظر گرفته و هر کاربری با یک حرف لاتین نام‌گذاری شد.

شکل کلی تابع هدف در رابطه ۱ آمده است:

$$\text{Min } (11678.92 A + 13042.086 E + 11795.7 U + 15732.37 I) \quad (1)$$

طریقه نوشتن محدودیت‌ها

برای اجرای مدل، هشت محدودیت در نظر گرفته شده است. چهار محدودیت اول مربوط به مساحت مورد استفاده کاربری‌های مورد مطالعه و چهار محدودیت دوم مربوط به آب مورد نیاز و آب تخصیص یافته به کاربری‌های تحت بررسی است. طرف چپ چهار محدودیت اول نوع کاربری‌ها و طرف راست آنها مساحت هر کاربری در شهرستان قرار گرفته است. طرف چپ چهار محدودیت دوم میزان آب مورد نیاز هر کاربری به ازای واحد سطح آن کاربری و طرف راست آنها کل آب تخصیصی برای هر کاربری با اعمال راندمان‌های آن بخش قرار گرفته است. با توجه به این که در طرف چپ چهار محدودیت دوم آب مورد نیاز هر بخش نسبت به واحد سطح کاربری‌ها قرار گرفته است، لازم است که آب مورد نیاز برای کاربری‌های تحت بررسی محاسبه گردد.

۱- CROPWAT

۲- OPTIWAT

۳- NETWAT

گزارش‌های سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرستان مشخص شد که برای بخش فضای سبز و با شرایط ترکیب گیاهان چمنی و درختچه‌ای یک ضریب گیاهی متوسط در نظر گرفته می‌شود که بین ۰/۸ تا ۰/۹ متغیر است (Water supply scheme of landscaping Yazd,) 2011).

میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی در ماه‌های مختلف سال برای بخش فضای سبز در جدول ۲ آمده است.

برای برآورد آب مورد نیاز در این بخش لازم است که مقادیر به دست آمده ضریب گیاهی در تبخیر و تعرق مرجع اعمال شود، و در نهایت مساحت فضای سبز در آن ضرب شود. عدد به دست آمده حجم آب مورد نیاز بخش فضای سبز بر حسب متر مکعب به دست خواهد داد.

تعیین آب مورد نیاز بخش خانگی

آبی که به بخش خانگی اختصاص می‌یابد عمدتاً به مصرف شرب و بهداشت خواهد رسید. بر اساس مطالعات انجام گرفته و گزارش‌های مختلف موجود در کتاب‌های مربوط به مصرف آب، سرانه آب مورد نیاز هر فرد در روز برابر با ۱۵۰ لیتر می‌باشد (Mostafaepour & et al,) 2010). برای تبدیل این عدد به متر مکعب در سال از رابطه ۲ استفاده شده است:

$$\frac{150 \times 365}{1000} = 54.75 \quad (2)$$

تعیین آب مورد نیاز بخش صنعت

صنایع مختلف نیازمند حجم آب متفاوتی هستند و تعیین میزان آب مورد نیاز صنایع مختلف کاری بس دشوار و زمان‌بر است. بررسی‌های انجام گرفته در رابطه با صنایع نشان از مصرف تقریباً بهینه آب در این بخش دارد گرچه ممکن است که در بخش‌هایی از آن تلفاتی نیز دیده شود. از این رو در این پژوهش میزان آب مورد نیاز صنایع برابر با، آب اختصاص یافته به آنها با کسر راندمان انتقال، در نظر گرفته شده است.

جدول ۳ مقادیر آب مورد نیاز در واحد سطح کاربری‌ها را نشان می‌دهد.

موجود در هر استان برآورد می‌نماید. طرح نیاز خالص آبیاری محصولات باغی و زراعی ایران از مجموعه طرح‌های پروژه ملی بهینه‌سازی مصرف آب کشاورزی ایران می‌باشد که توسط سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی انجام شده است.

در این طرح از داده‌های مربوط به تاریخ کاشت و برداشت و طول دوره رشد محصولات زراعی و باغی و ضرایب گیاهی آنها بر اساس مطالعات صحرائی انجام شده بر روی کلیه دشت‌های کشاورزی کشور (۶۲۰ دشت) استفاده شده است. برای محاسبات نیاز آبی، روش فائو-پنمن-مانتیت در دوره‌های ده روزه و ماهانه به کار گرفته شده است که در نتیجه تبخیر و تعرق، باران مؤثر و نیاز خالص آبیاری در هر دوره، ماه و فصل زراعی محاسبه شده است.

تعیین آب مورد نیاز بخش فضای سبز

تعیین آب مورد نیاز بخش کشاورزی به دلیل مشخص بودن گیاهان و سطح زیر کشت هرکدام قابل انجام است. در بخش فضای سبز گونه‌ها در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و تفکیک آنها از هم و برآورد سطح زیر کشت هر گیاه تقریباً غیر ممکن است. بنابراین تا به حال نرم‌افزاری که بتواند آب مورد نیاز این بخش را برآورد نماید به طور خاص طراحی نشده است. در این پژوهش برای تعیین آب مورد نیاز این بخش بدین صورت عمل شد که ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از نرم افزار کراپ وات، برآورد گردید. کراپ وات، یک سیستم پشتیبان است که توسط بخش آب و خاک سازمان فائو برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری ایجاد شده است (Farshi & et al.) 1997).

تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ویژگی‌های اقلیمی و هواشناسی تحت بررسی بستگی دارد که از جمله این پارامترها می‌توان به دمای کمینه، دمای بیشینه، سرعت باد، رطوبت هوا و ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف سال نام برد. در این مطالعه از آمار هواشناسی و اقلیمی ۱۰ ساله (۹۰-۱۳۸۰) شهرستان یزد استفاده و متوسط هر پارامتر برای دوره مورد مطالعه برآورد گردید که در جدول ۲ آمده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته و بررسی

جدول ۲- مشخصات اقلیمی شهرستان یزد در ماه‌های مختلف دوره آماری ۹۰-۱۳۸۰ و تبخیر و تعرق مرجع (مأخذ: سازمان هواشناسی استان یزد)

ماه	ET ₀ mm/day	K _c	باران مؤثر (mm)	ساعات آفتابی hr	سرعت باد km/day	رطوبت %	دمای بیشینه °C	دمای کمینه °C
فروردین	۳/۸	۰/۸۱	۴/۵	۸/۳	۱۰۷	۳۰	۲۵/۶	۱۲/۱
اردیبهشت	۴/۸	۰/۸۳	۲/۴	۹/۶	۱۲۲	۲۳	۳۲/۱	۱۸
خرداد	۶	۰/۸۵	۰	۱۱/۲	۱۲۰	۱۵	۳۲/۸	۲۳/۴
تیر	۶/۵	۰/۹	۰	۱۰/۹	۱۱۷	۱۴	۳۳/۶	۲۶/۷
مرداد	۶	۰/۹	۰	۱۱/۴	۱۱۰	۱۴	۳۹/۱	۲۴/۱
شهریور	۴/۸	۰/۹	۰	۱۰/۷	۹۹	۱۷	۳۵/۹	۲۰/۷
مهر	۳/۴	۰/۸۸	۰/۵	۱۰	۷۵	۲۱	۳۰/۹	۱۵/۵
آبان	۲/۱	۰/۸۶	۱/۳	۸/۱	۷۶	۳۶	۲۳	۸/۹
آذر	۱/۵	۰/۸۳	۷/۵	۶/۹	۷۰	۴۷	۱۶	۳
دی	۱/۳	۰/۸	۱۰/۱	۷/۲	۶۴	۴۸	۱۲/۸	۰/۲
بهمن	۱/۸	۰/۸	۷/۶	۷/۳	۸۴	۴۷	۱۵	۱/۹
اسفند	۲/۵	۰/۸	۹/۵	۸/۳	۹۰	۳۰	۲۱/۵	۷

جدول ۳- مقادیر آب مورد نیاز و مساحت کاربری های مورد بررسی

نوع کاربری	کشاورزی	فضای سبز	مناطق مسکونی(خانگی)	صنعتی
آب مورد نیاز (m ³)	۵۸۳۶۶۸۵۸	۸۳۲۲۳۳۳/۳۹	۳۱۹۰۱۸۳۹/۵	۴۳۰۵۵۸۷/۹۵
مساحت کاربری (ha)	۷۲۱۲/۳	۸۰۴/۳	۳۵۲۵/۳	۳۳۵/۸
آب مورد نیاز واحد سطح کاربری (m ³ /ha)	۸۰۹۲/۶۸	۱۰۳۴۷/۳	۹۰۴۹/۳۹	۱۲۸۲۱/۸

برای نوشتن محدودیت‌ها لازم است که راندمان کل هر بخش در حجم آب تخصیصی به آن بخش اعمال شود.

راندمان آبیاری در بخش کشاورزی

بر اساس یک تعریف ساده راندمان کلی یک سیستم آبیاری (Ei) که به آن راندمان آبیاری نیز گفته شود. درصدی از مقدار آب تأمین شده برای مزرعه است که بتواند مفید واقع گردد (Hasheminia, 2003).

به طور کلی راندمان آبیاری در ایران به دلیل روش‌های نامناسب آبیاری (عمدتاً غرقابی) و کیفیت نامناسب آب و ... کم است، به خصوص این که این راندمان در مناطق پر آب کشور کمتر نیز می شود. بر اساس مطالعات انجام گرفته و گزارش‌های جهاد کشاورزی استان و پایان‌نامه‌هایی با موضوع تعیین راندمان آبیاری، نشان داده شده است که راندمان آبیاری در استان یزد نسبت به استان‌های پر آب کشور، تقریباً بالاتر است و این راندمان در محدوده

دشت یزد - اردکان به ۴۲٪ می‌رسد (Mostafavi, 2000). در صورت حفظ این راندمان، میزان آبی که لازم است تا نیاز واقعی گیاهان را فراهم کند از فرمول زیر به دست می آید:

آب مورد نیاز

۷۴۲

(۳)

که برابر است با ۱۳۸۹۶۸۷۰۹ متر مکعب. از این رو، حجم آب لازم برای تأمین نیاز گیاهان کمتر از آب اختصاص یافته با اعمال راندمان به این بخش است، لذا بایستی محدودیت اول که مربوط به کاربری کشاورزی است به صورت کمتر مساوی در نظر گرفته شود. رابطه ۴ این محدودیت را نشان می‌دهد.

$$A \leq 7212.3$$

(۴)

اعمال راندمان در بخش فضای سبز

برای بخش فضای سبز نیز همانند بخش کشاورزی می‌توان راندمان آبیاری در نظر گرفت. سطح وسیعی از فضای سبز شهرستان با استفاده از روش‌های غرقابی آبیاری می‌شوند. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های بارانی و قطره‌ای متداول‌تر شده است. بر اساس گزارش‌های سازمان پارک‌ها و فضای سبز راندمان آبیاری بخش فضای سبز در استان حدود ۵۰٪ می‌باشد (Water supply scheme of landscaping Yazd, 2011). حجم آب بخش فضای سبز با اعمال راندمان موجود ۵۰٪ برابر با ۴۶۸۴۷۳۶ متر مکعب به دست می‌آید که این مقدار، از آب مورد نیاز گیاهان کمتر است. رابطه ۵ محدودیت کاربری فضای سبز را به صورت کوچکتر مساوی نشان می‌دهد.

$$E \leq 804.3 \quad (5)$$

اعمال راندمان در بخش خانگی (مسکونی)

در این بخش نیز همانند بخش‌های قبلی می‌توان راندمان را دخیل نمود. بر اساس گزارش‌های سازمان آب و فاضلاب استان، میزان هدر رفت آب در شبکه‌های انتقال و توزیع آب برابر با ۱۸/۵٪ می‌باشد در نتیجه می‌توان راندمان انتقال را محاسبه نمود که برابر با ۸۱/۵٪ خواهد شد. در صورت اعمال روش‌های مناسب، مدیریت و تعمیر و بازنگری تأسیسات و شبکه‌ها می‌توان راندمان را در این بخش بالاتر برد. همچنین گزارش‌های شرکت آب و فاضلاب نشان می‌دهد که سرانه مصرف هر فرد در شهرستان (به طور متوسط در سال ۱۳۹۰) حدود ۱۶۰ لیتر در روز است در حالی که متوسط آب مورد نیاز هر فرد در روز برابر با ۱۵۰ لیتر در روز می‌باشد، در نتیجه می‌توان راندمان مصرف را نیز برای این بخش برآورد کرد که تقریباً برابر با ۹۴٪ خواهد بود.

با اعمال این مقادیر در حجم آب تخصیصی به این بخش، حجم آبی که به طور مؤثر مورد استفاده واقع می‌شود برابر با ۳۱۹۰۳۴۶۳ متر مکعب می‌باشد. از آنجایی که این مقدار اندکی بیش از حجم آب مورد نیاز است می‌توان محدودیت کاربری برای این بخش به صورت بزرگ‌تر مساوی نوشت که در رابطه ۶ نشان داده شده است:

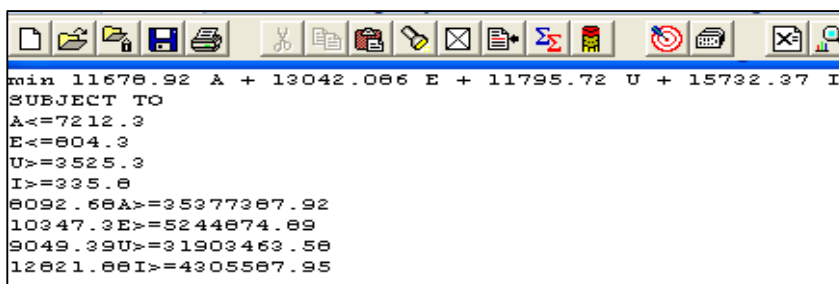
$$U \geq 3535.3 \quad (6)$$

اعمال راندمان در بخش صنعت

در این بخش نیز همانند کاربری خانگی (مسکونی) راندمان انتقال برابر با ۸۱/۵٪ است. از آنجایی که در بخش صنعت تعیین راندمان مصرف با مشکلاتی همراه و وقت‌گیر است و قبلاً نیز گفته شد، راندمان مصرف آب در محاسبات دخیل نشده است و چون آب مورد نیاز در این بخش برابر با آب تخصیصی به آنها با اعمال راندمان انتقال در نظر گرفته شده است لازم است محدودیت کاربری اراضی به صورت بزرگ‌تر مساوی نوشته شود که رابطه ۷ محدودیت این بخش را بیان می‌کند:

$$I \geq 335.8 \quad (7)$$

اگر راندمان مصرف در صنایع مشخص باشد و در مقادیر حجم آب اعمال گردد ممکن است که حجم آب مورد نیاز بیش از آب تخصیصی شود، در نتیجه بایستی محدودیت کاربری را به صورت کوچک‌تر مساوی نوشت. فرم کلی محدودیت‌ها در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲- تابع هدف و محدودیت‌ها در شرایط فعلی و راندمان‌های موجود

نتیجه‌گیری و بحث

نتایج خروجی مدل

بعد از نوشتن محدودیت‌ها و تابع هدف در صورتی که خطایی از لحاظ نوشتاری در آنها وجود نداشته باشد نرم‌افزار شروع به حل مسأله می‌کند. صفحه گزارش نتایج در چند بخش طبقه‌بندی شده است که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است. قسمت اول جواب شامل ۴ بخش است:

بخش اول تعداد تکرارهای مدل برای رسیدن به جواب بهینه و بخش دوم مقدار بهینه تابع هدف^۱ را نشان می‌دهد. بخش سوم از سه ستون تشکیل شده است. ستون اول نام متغیرهای مورد بررسی و ستون دوم نشان‌دهنده مقادیر بهینه برای هر یک از متغیرهای مورد بررسی با توجه به محدودیت‌های نوشته شده است. ستون سوم شامل هزینه‌های کاهشی^۲ است که نمایانگر ضریب متغیر در سطر صفر جدول بهینه است آنچه مشخص است این که هزینه کاهشی متغیر پایه بایستی برابر صفر باشد.

بخش چهارم در ۳ ستون طبقه بندی شده است. ستون اول شماره سطر هر محدودیت و ستون دوم مقادیر متغیرهای کاهشی یا افزایشی^۳ برای رسیدن به مقدار بهینه را تعیین می‌کند به عبارتی کمبود یا مازاد محدودیت مورد بررسی برای رسیدن به مقدار بهینه‌اش را نشان می‌دهد (مقدار متغیر کمکی و اصلی در جدول بهینه).

ستون سوم نمایانگر قیمت سایه‌ای^۴ محدودیت‌هاست. قیمت سایه‌ای مقداری است که اگر سمت راست محدودیت، یک واحد اضافه شود، به آن اندازه جواب بهینه، بهبود می‌یابد (با فرض این که این تغییرات باعث از دست رفتن پایه بهینه فعلی نمی‌شوند). اگر بعد از یک تغییر در طرف راست محدودیت، پایه فعلی دیگر بهینه نماند، قیمت‌های سایه محدودیت‌ها ممکن است تغییر کند.

آنالیز حساسیت مدل (قسمت دوم خروجی)

تحلیل حساسیت عبارتست از تحلیل و بررسی چگونگی تغییر پارامترهای یک مدل برنامه‌ریزی خطی و ارزیابی تأثیر آن در جواب بهینه. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که ضرایب تابع تا چه میزان می‌توانند افزایش یا کاهش یابند بدون این که پایه بهینه مسئله (مجموعه متغیرهای غیر صفر) عوض شود.

در گزارش، حداکثر افزایش مجاز و حداکثر کاهش مجاز برای پارامترها نشان داده می‌شود، یعنی پارامترهای ما به چه میزان می‌توانند افزایش و کاهش پیدا کنند، به طوری که جواب‌ها همچنان بهینه باقی بماند. تحلیل حساسیت شامل دو بخش است، یکی مربوط به ضرایب تابع هدف و دیگری مربوط به محدودیت‌ها، که در هر کدام به تفکیک مقدار واقعی و مقادیر کاهش و افزایش قید شده است.

بخش اول از قسمت دوم، آنالیز حساسیت ضرایب تابع هدف را نشان می‌دهد که از چهار ستون تشکیل شده است. ستون اول، نام متغیرهای مورد آنالیز و ستون دوم، ضرایب متغیرها در تابع هدف را نشان می‌دهد. ستون سوم، میزان افزایش قابل قبول و ستون چهارم، میزان کاهش قابل قبول ضرایب تابع هدف را بیان می‌کند. می‌توان گفت که ستون سوم و چهارم، یک بازه قابل قبولی برای تغییر ضرایب تابع هدف تعیین می‌کنند که تغییرات در این بازه، فرم کلی تابع را بر هم نخواهد زد و مقادیر بهینه را تغییر نخواهد داد، تنها تغییری که ایجاد خواهد شد، تغییر در مقدار کل جواب بهینه است، چرا که با تغییر ضرایب، مقادیر بهینه کاربری‌های به دست آمده در ضرایب جدید ضرب خواهند شد و جواب نهایی تغییر خواهد کرد. بخش دوم، آنالیز حساسیت مقادیر سمت راست محدودیت‌ها را نشان می‌دهد به این مفهوم که این مقادیر تا چه حد امکان افزایش یا کاهش برایشان وجود دارد بدون این که قیمت‌های سایه‌ای به دست آمده را تغییر دهند. تغییر در قیمت سایه‌ای باعث تغییر در جواب بهینه خواهد شد (Sadeghean, 2011).

۱- Object value

۲- Reduced cost

۳- Slack or surplus

۴- Dual prices

نتایج مدل بهینه‌سازی کاربری‌ها با توجه به منابع آب تخصیصی به آنها:

در شکل ۳ گزارش نتایج به دست آمده از اجرای مدل در شرایط برداشت فعلی با راندمان‌های موجود نشان داده شده است.

هزینه کاهشی برای تمامی متغیرها برابر با صفر شده است که نشان‌دهنده وارد شدن در جواب بهینه است. همان‌طور که قبلاً نیز ذکر گردید با ورود به جواب بهینه هزینه کاهشی هر متغیر پایه برابر با صفر خواهد شد. در قسمت بعدی از خروجی مشاهده می‌شود که هر سطر با شماره‌ای مشخص شده و نتایج دو پارامتر متغیر کاهشی-افزایشی و قیمت سایه‌ای آمده است.

نتایج بخش متغیر کاهشی-افزایشی (متغیر کمکی) مدل
نتایج این بخش در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- نتایج بخش متغیرهای کاهشی-افزایشی و قیمت سایه‌ای شماره محدودیت متغیر کاهشی- قیمت سایه‌ای (m³)

افزایشی (ha)	قیمت سایه‌ای (m ³)	شماره محدودیت
۰	۲۸۴۰/۷۷	۱
۰	۲۹۷/۴۲	۲
۰	۰/۱۸	۳
۰	۰	۴
-۱/۴۴	۰	۵
-۱/۲۶	۰	۶
-۱/۳۰۳	۰	۷
-۱/۲۳	۰	۸

شکل ۳- خروجی بهینه‌سازی در شرایط برداشت فعلی با راندمان‌های موجود

با توجه به جواب بهینه به دست آمده برای بخش کشاورزی که معادل ۴۳۷۱/۵۳ هکتار است، متغیر کاهشی-افزایشی برای این محدودیت برابر ۲۸۴۰/۷۷ هکتار برآورد شده است، به این مفهوم که نسبت به مساحت اولیه و با توجه به سایر محدودیت‌ها و میزان آب موجود با توجه به راندمان فعلی در این بخش، لازم است که ۲۸۴۰/۷۷ هکتار از مقدار اولیه کسر گردد، یعنی برای رسیدن به حالت بهینه مقداری مساحت اضافه وجود دارد، به عبارتی این عدد نمایانگر متغیر کمکی است که به نامعادله اضافه می‌گردد تا به معادله تبدیل شود.

محدودیت دوم بر اساس مساحت موجود کاربری بخش فضای سبز نوشته شده است. با توجه به جواب بهینه برای این بخش که معادل ۵۰۶/۸۸ هکتار می‌باشد، مقدار مازادی برابر با ۲۹۷/۴۲ هکتار نسبت به مساحت اولیه وجود دارد که با توجه به میزان آب موجود در این بخش

مقدار بهینه تابع هدف برای این مسئله ۱۰۴۵۳۴۱۰۰ متر مکعب به دست آمده است. تعداد تکرارهای مدل برای رسیدن به جواب بهینه در این مسئله برابر با ۵ تکرار است. مقادیر بهینه برای متغیرها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- مقادیر بهینه به دست آمده برای کاربری‌ها

نام متغیر	مقدار بهینه (ha)	هزینه کاهشی (ha)
A	۴۳۷۱/۵۳	۰
E	۵۰۶/۸۸	۰
U	۳۵۲۵/۴۸	۰
I	۳۳۵/۸	۰

مساحت بخش کشاورزی ۴۳۷۱/۵۳، بخش فضای سبز ۵۰۶/۸۸، بخش مسکونی ۳۵۲۵/۴۸ و مساحت بخش صنعت ۳۳۵/۸ هکتار برآورد گردید.

به موجودی منابع این محدودیت‌ها (RHS) در جواب بهینه تغییری به وجود نخواهد آمد.

از آنجایی که برای محدودیت‌های پنجم تا هشتم قیمت سایه‌ای منفی به دست آمده است و تابع هدف به صورت حداقل کردن آب تعریف شده است در نتیجه بهبود در تابع هدف بر اساس این محدودیت‌ها به صورت معکوس است و میزان مصرف آب را به اندازه قیمت سایه‌ای افزایش می‌دهد، در صورتی که این اعداد مثبت بودند میزان مصرف آب، به اندازه قیمت سایه‌ای تعریف شده در هر کاربری کاهش می‌یافت.

قیمت سایه‌ای محدودیت پنجم برابر با $1/44$ - است این بدان معناست که در صورت اضافه شدن یک واحد به منبع آب بخش کشاورزی، مصرف آب به دست آمده در جواب بهینه، به اندازه $1/44$ واحد افزایش می‌یابد.

قیمت سایه‌ای محدودیت ششم برابر با $1/26$ - است یعنی در صورتی که به منبع آب موجود بخش فضای سبز یک واحد اضافه گردد مصرف آب بهینه به میزان $1/26$ واحد افزایش می‌یابد.

قیمت سایه‌ای محدودیت هفتم و هشتم به ترتیب برابر با $1/303$ - و $1/22$ - است که همانند موارد قبلی تفسیر می‌شود. محدودیت هفتم برای بخش خانگی (مسکونی) و محدودیت هشتم مربوط به بخش صنعتی است.

تحلیل نتایج آنالیز حساسیت مدل نویسی (برداشت و راندمان فعلی)

آنالیز ضرایب تابع هدف

نتایج بخش آنالیز حساسیت ضرایب مدل، در جدول ۶ آمده است.

با اعمال راندمان فعلی، لازم است از مقدار اولیه کسر گردد تا حالت بهینه برقرار شود. مقدار متغیر کاهش‌ی - افزایشی برای محدودیت سوم $0/18$ برآورد گردیده است. با توجه به مساحت بهینه به دست آمده در این بخش که معادل $3525/48$ هکتار است، کسری معادل $0/18$ هکتار در این بخش وجود دارد که با توجه به آب موجود، با اعمال راندمان فعلی در این بخش می‌تواند به مقدار اولیه اضافه شود تا به مقدار بهینه‌اش برسد.

با توجه به این که مقدار بهینه برای بخش صنعت $335/8$ هکتار به دست آمده است در نتیجه مقدار کاهش‌ی - افزایشی برای این محدودیت برابر صفر است. دلیل این امر برابر گرفتن حجم آب تخصیصی با اعمال راندمان در این بخش با آب مورد نیاز است. در صورتی که اگر حجم آب مورد نیاز بیش از آب تخصیصی باشد لازم است که مساحت اولیه کسر گردد و بر عکس آن نیز برای موقعی که حجم مورد نیاز کمتر از آب تخصیصی با اعمال راندمان فعلی باشد، صادق است. مقدار متغیر کمکی برای محدودیت‌های پنجم تا هشتم که بیانگر میزان آب مورد نیاز به ازای سطح هر کاربری نسبت به کل آب موجود با اعمال مقادیر راندمان هستند برابر با صفر است.

نتایج بخش قیمت سایه‌ای

قیمت سایه‌ای همان طور که قبلاً نیز ذکر گردید مقداری است که اگر سمت راست محدودیت، یک واحد اضافه شود، به آن اندازه جواب بهینه، بهبود می‌یابد. طرف راست محدودیت‌ها با نماد RHS مشخص شده است. قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌های اول تا چهارم به دلیل وجود مقادیر مازاد و یا کسری در جواب بهینه برابر صفر است در واقع این بیانگر این مسأله است که با اضافه کردن

جدول ۶- نتایج آنالیز حساسیت مقادیر تابع هدف مدل در حالت اول

نام متغیر	ضرایب تابع هدف (m^3/ha)	مقدار افزایش ضریب (m^3/ha)	مقدار کاهش ضریب (m^3/ha)
A	۱۱۶۹۷/۹۲	بی نهایت	۱۱۶۹۷/۹۲
E	۱۳۰۴۲/۰۸	بی نهایت	۱۳۰۴۲/۰۸
U	۱۱۷۹۵/۷۲	بی نهایت	۱۱۷۹۵/۷۲
I	۱۵۷۳۲/۳۷	بی نهایت	۱۵۷۳۲/۳۷

(بین ۰ تا ∞)، داشته باشد بدون این که در ترکیب بهینه اولیه تغییری ایجاد شود، به شرط ثابت بودن بقیه ضرایب. ضرایب تابع هدف در بخش مسکونی و صنعتی نیز همانند دو ضریب قبلی، می‌توانند تا بی‌نهایت افزایش و کاهش بی‌اندازه ضریب موجود این کاربری‌ها در تابع هدف (بین ۰ تا ∞) داشته باشند.

آنالیز حساسیت مقایسه سمت راست محدودیت‌ها

در این بخش بازه قابل قبولی، برای تغییر مقادیر سمت راست محدودیت‌ها تعریف شده است. نتایج آنالیز حساسیت مقادیر سمت راست مدل در جدول ۷ آمده است.

دامنه قابل قبول تغییرات ضرایب تابع هدف برای کاربری‌های مختلف به شرح زیر است:

ضریب کاربری کشاورزی در تابع هدف که برابر با $۱۱۶۷۸/۹۲$ متر مکعب در هکتار است، می‌تواند افزایشی تا بی‌نهایت و کاهشی تا $۱۱۶۷۸/۹۲$ متر مکعب در واحد سطح (بین ۰ تا ∞) داشته باشد، که در صورت ثابت بودن بقیه ضرایب و مقادیر سمت راست محدودیت‌ها ترکیب بهینه قبلی برای کاربری‌ها تکرار خواهد شد.

ضریب تابع هدف در بخش فضای سبز که برابر با $۱۳۰۴۲/۰۸$ متر مکعب در هکتار است می‌تواند افزایشی تا بی‌نهایت و کاهشی تا $۱۳۰۴۲/۰۸$ متر مکعب در هر هکتار

جدول ۷- نتایج آنالیز حساسیت مقادیر سمت راست بهینه‌سازی

شماره محدودیت	مقدار سمت راست محدودیت (ha)	مقدار افزایش منبع سمت راست محدودیت (ha)	مقدار کاهش منبع سمت راست محدودیت (ha)
۱	۷۲۱۲/۳	بی‌نهایت	۲۸۴۰/۷۷
۲	۸۰۴/۳	بی‌نهایت	۲۹۷/۴۲
۳	۳۵۲۵/۳	۰/۱۸	بی‌نهایت
۴	۳۳۵/۸	۰	بی‌نهایت
	(m^3)	(m^3)	(m^3)
۵	۳۵۳۷۷۳۸	۲۲۹۸۹۴۴۸	۳۵۳۷۷۳۸۸
۶	۵۲۴۴۸۷۵	۳۰۷۷۴۵۸/۵	۵۲۴۴۸۷۵
۷	۳۱۹۰۳۴۶۴	بی‌نهایت	۱۶۴۹/۴۳
۸	۴۳۰۵۵۸۸	بی‌نهایت	۰/۶۹

RHS = منبع سمت راست محدودیت‌ها.

(بازه $۵۰۶/۸۸$ تا ∞ هکتار)، بدون این که در قیمت سایه‌ای محدودیت‌ها تغییری ایجاد شود. قیمت سایه‌ای این محدودیت نیز صفر است پس تغییر در بازه تعریف شده جواب بهینه را تغییر نخواهد داد.

RHS محدودیت سوم، مساحت کل موجود بخش مسکونی را نشان می‌دهد که به این منبع می‌تواند تا $۰/۱۸$ هکتار افزوده گردد و یا آن را تا بی‌نهایت کاهش داد و چون مقادیر منفی برای مساحت تعریف شده نیست، حداکثر مقداری که مساحت کاربری می‌تواند کاهش یابد برابر با $۳۵۲۵/۴۸$ هکتار است (بازه ۰ تا $۳۵۲۵/۴۸$ هکتار)، بدون این که قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها را تغییر

RHS محدودیت اول، مساحت کل اراضی باغی و زراعی تحت کشت بخش کشاورزی را نشان می‌دهد که از این منبع تا $۲۸۴۰/۷۷$ هکتار می‌تواند کاسته شود. میزان افزایش سطح برای این منبع تا بی‌نهایت تعیین گردیده است، (بازه $۴۳۷۱/۳$ تا ∞ هکتار) بدون این که قیمت سایه‌ای محدودیت‌ها را تغییر دهد و چون قیمت سایه‌ای این محدودیت برابر صفر است، تغییر در این بازه تأثیری در جواب بهینه نخواهد داشت. تغییر در قیمت سایه‌ای می‌تواند پایه بهینه مساله را تغییر دهد.

RHS محدودیت دوم، مساحت کل بخش فضای سبز موجود شهرستان را نشان می‌دهد که از این منبع می‌تواند تا $۲۹۷/۴۲$ هکتار کاسته شود و یا تا بی‌نهایت افزایش یابد

محدودیت در بازه مجاز، مصرف آب را به این اندازه افزایش می‌دهد.

RHS محدودیت هشتم میزان کل آب اختصاصی با اعمال راندمان، در واحدهای صنعتی مورد بررسی را نشان می‌دهد که می‌تواند افزایشی تا بی‌نهایت داشته باشد و از این منبع می‌توان تا $0/69$ متر مکعب کسر نمود (بازه 4305588 تا ∞ متر مکعب)، بدون این که قیمت سایه‌ای محدودیت‌ها را تغییر دهد اما مصرف آب بهینه کل را تغییر خواهد داد.

نمایش گرافیکی مدل

از آنجایی که در این مسأله بیش از دو متغیر وجود دارد در نتیجه نمی‌توان منطقه بهینه را بر روی یک دستگاه مختصات عادی نشان داد. برای ترسیم منطقه جواب، متغیرها به صورت دو به دو با یکدیگر در نظر گرفته می‌شوند. مدل نویسی به طور مجدد در محیط نرم‌افزار وین کیواس بی^۱ انجام گرفت. این نرم افزار، برخی از توانایی‌های لیندو را داراست؛ از جمله ویژگی‌های شاخص این نرم افزار، نمایش گرافیکی محدودیت هاست. منطقه جواب برای هر دو متغیر به صورت تفکیک شده در شکل‌های ۴ تا ۹ نشان داده شده است. متغیرهای C_1 تا C_8 ، محدودیت‌های مورد بررسی را برای هر کاربری به ترتیبی که قبلاً گفته شد نشان می‌دهد.

قسمت هاشور خورده نشان دهنده منطقه جواب است. منطقه جواب از محل اتصال محدودیت‌های نوشته شده برای دو کاربری مورد بررسی تشکیل شده است که برای مدل‌های نوشته شده به صورت چهار ضلعی است. نقطه بهینه می‌تواند هر کدام از رئوس این چهار ضلعی باشد. از آنجایی که تابع هدف مساله به صورت مینیماز کردن آب تعریف شده است، لازم است که مقادیر به دست آمده برای هر گوشه در تابع هدف جاگذاری گردد. در نهایت مقداری که از همه کمتر بود به عنوان جواب بهینه انتخاب می‌شود، که در این گراف‌ها پایین‌ترین گوشه، نقطه جواب بهینه است و با رنگ سفید نشان داده شده است. C_1 ، C_2 ، C_3 ، C_4 محدودیت‌های مربوط به مساحت کاربری‌های کشاورزی، فضای سبز و مسکونی و صنعتی هستند و C_5 ، C_6 ، C_7 ، C_8

دهد. قیمت سایه‌ای این محدودیت برابر صفر است و تغییر در این بازه باعث تغییر در جواب بهینه نخواهد شد.

RHS محدودیت چهارم، مساحت کل بخش بهره‌برداری شده چهار واحد صنعتی را نشان می‌دهد می‌تواند کاهش تا بی‌نهایت نسبت به مساحت اولیه این کاربری داشته باشد، توضیح بخش قبل در اینجا نیز صدق می‌کند، یعنی حداکثر مقداری که مساحت این بخش می‌تواند کاهش یابد برابر با $335/8$ هکتار است و میزان افزایش به دست آمده برای این منبع برابر با صفر است. تغییر در بازه تعریف شده برای این محدودیت یعنی بین 0 تا $335/8$ هکتار به دلیل قیمت سایه‌ای صفر، تغییری در جواب بهینه کل نخواهد داشت.

RHS محدودیت پنجم، میزان کل آب اختصاص یافته با اعمال راندمان در بخش کشاورزی را نشان می‌دهد که می‌تواند به این منبع تا 22989448 متر مکعب افزوده گردد و تا 35377388 متر مکعب از آن کاسته شود (بازه 0 تا 58366836 متر مکعب)، بدون این که قیمت‌های سایه‌ای محدودیت‌ها را تغییر دهد. قیمت سایه‌ای این محدودیت برابر $1/44$ - است، در نتیجه به ازای هر واحد که در این بازه به منبع اضافه شود، مصرف آب بهینه به اندازه $1/44$ واحد افزایش می‌یابد در نتیجه جواب بهینه کل تغییر خواهد کرد.

RHS محدودیت ششم میزان کل آب اختصاصی با اعمال راندمان در بخش فضای سبز را نشان می‌دهد که می‌تواند تا 3077458 متر مکعب به آن افزوده گردد و تا 5244875 متر مکعب از آن کاسته شود (بازه 0 تا 8322333 متر مکعب)، (بدون ایجاد تغییر در قیمت سایه‌ای). قیمت سایه‌ای این محدودیت برابر با $1/26$ - است در نتیجه به ازای هر واحد مازاد به منبع در بازه تعیین شده مصرف آب را به اندازه قیمت سایه‌ای اش افزایش می‌دهد.

RHS محدودیت هفتم میزان کل آب اختصاصی به بخش خانگی (مسکونی) با اعمال راندمان را نشان می‌دهد که می‌تواند افزایشی تا بی‌نهایت داشته باشد و از این منبع می‌توان تا $1649/43$ متر مکعب کسر نمود (بین $31901814/57$ تا ∞ متر مکعب)، (بدون ایجاد تغییر در قیمت سایه‌ای). قیمت سایه‌ای این محدودیت برابر با $1/3$ - است که در نتیجه اضافه کردن هر واحد به منبع آب این

را ذخیره نمود و به کاربری‌هایی که نیاز اساسی‌تری دارند مانند بخش شرب و بهداشت تخصیص داد. مساحت بخش مسکونی تقریباً برابر با مساحت موجود این بخش در شهرستان برآورد گردید. در صورتی که بتوان هدر رفت آب در شبکه‌های انتقال را کاهش داد، کاربران بیشتری می‌توانند از حجم آب مازاد به دست آمده استفاده کنند. مساحت بخش صنعتی، برابر با مساحت موجود این کاربری برآورد گردید. دلیل این امر برابر در نظر گرفتن آب مورد نیاز با آب مصرفی با اعمال راندمان انتقال در این بخش است. در صورتی که راندمان مصرف واحدهای صنعتی، وارد محاسبات گردد و آب مورد نیاز بیش از آب مصرفی به دست آید، مساحت بهینه این کاربری کمتر از مساحت موجود به دست خواهد آمد.

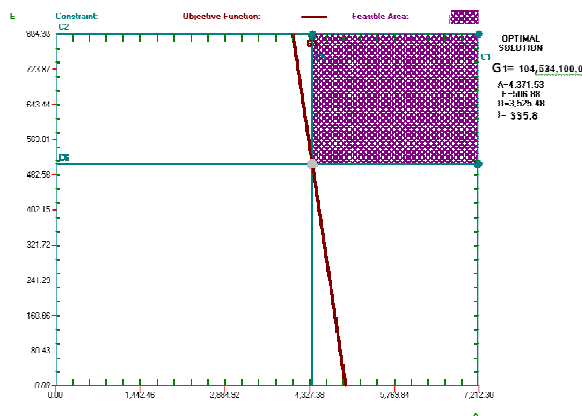
با توجه به این که سالانه از سطح آب سفره‌های زیر زمینی کاسته می‌شود، لازم است که بهره‌برداری‌ها بر اساس شرایط تعادل صورت پذیرد. برای حفظ مساحت‌های موجود لازم است کارایی آب در هر بخش بالاتر رفته و یا در صورتی که راندمان‌های برداشت فعلی آب هم‌چنان ادامه یابد، برای رفع تنش وارده بر هر بخش، مساحت‌های اضافی باید کسر گردد که چندان منطقی به نظر نمی‌رسد. آنالیز حساسیت، بازه‌ای را برای تغییر ضرایب تابع هدف و منابع سمت راست هر محدودیت تعیین می‌کند، که تغییر در این بازه پایه بهینه مسأله را بر هم نخواهد زد، و در صورتی که در سال‌های بعدی تغییرات حجم آب مصرفی در کاربری‌ها، در این بازه باشد می‌توان از این مدل بهره برد.

محدودیت‌های مربوط به آب مورد نیاز و آب تخصیصی به کاربری‌های مورد بررسی هستند.

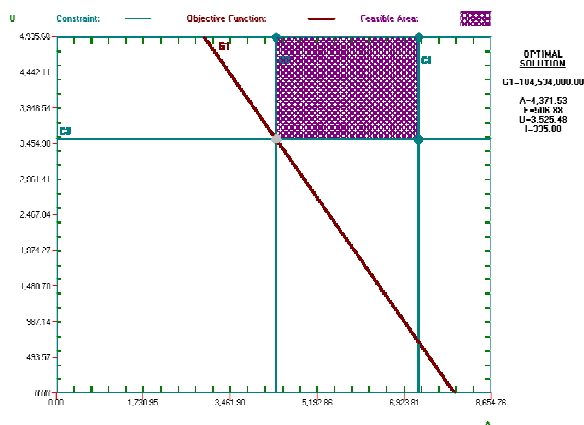
نتیجه‌گیری

برای دستیابی به این توسعه در بخش منابع طبیعی و کشاورزی، مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مناسب کاربری اراضی لازم است. بر اساس تابع هدف و محدودیت‌هایی که نوشته شد مساحت بهینه برای کاربری‌ها تعیین گردید و بازه قابل قبولی برای تغییر منابع مورد استفاده تعریف شد. مساحت به دست آمده بخش کشاورزی، کمتر از مساحت تحت کشت موجود در شهرستان برآورد گردید. با توجه به این که محدودیت مربوط به این کاربری، بر اساس حجم آب مورد نیاز در واحد سطح و حجم آب تخصیصی به این بخش نوشته شده است، در نتیجه کسری مساحت نسبت به حالت فعلی، نشان از تنش آبی وارده بر گیاهان دارد، یعنی با توجه به راندمان فعلی برداشت آب تنها می‌توان مساحت بهینه به دست آمده را مورد کشت قرار داد و مازاد آن تنش آبی را افزایش خواهد داد.

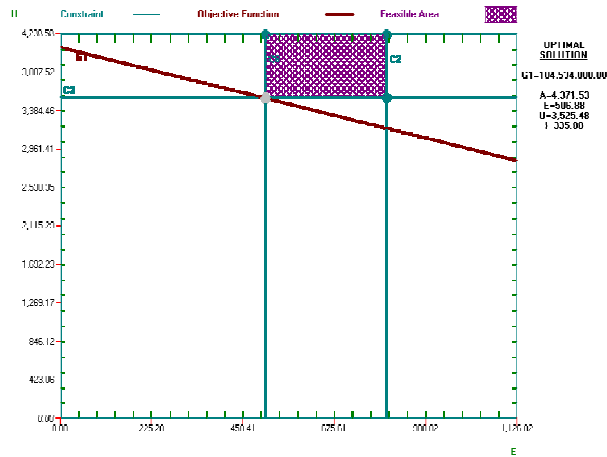
مساحت‌های به دست آمده بخش فضای سبز، نیز کمتر از مساحت موجود این کاربری در شهرستان برآورد گردید. موارد گفته شده در بخش کشاورزی برای این بخش نیز صدق می‌کند، یعنی این کمبود نشان از تنش آبی شدید وارده به گیاهان فضای سبز دارد. در صورتی که بتوان راندمان آبیاری را در این دو بخش افزایش داد علاوه بر حفظ مساحت‌های موجود می‌توان در صورت نیاز به افزایش سطح این کاربری‌ها پرداخت و یا مقدار زیادی آب



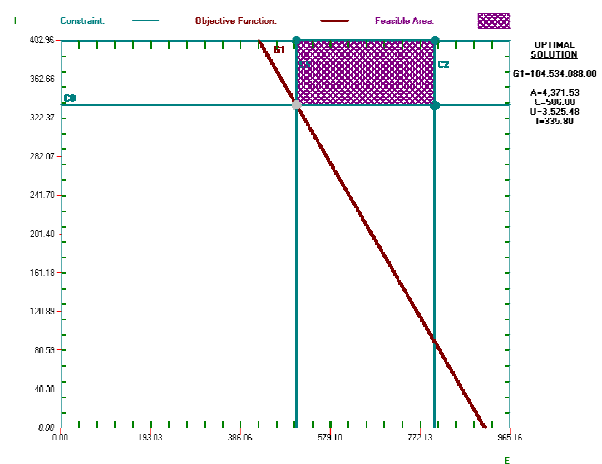
شکل ۵ - نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری کشاورزی و فضای سبز



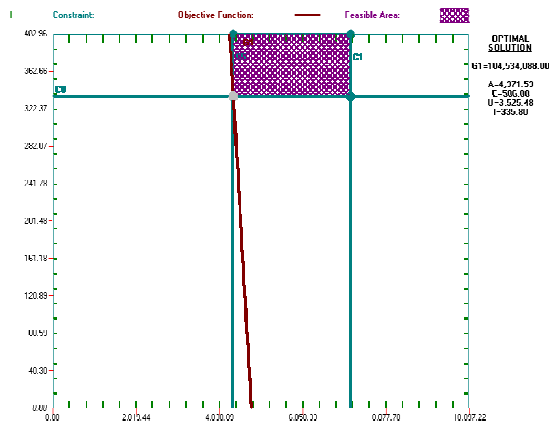
شکل ۴ - نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری کشاورزی و مسکونی



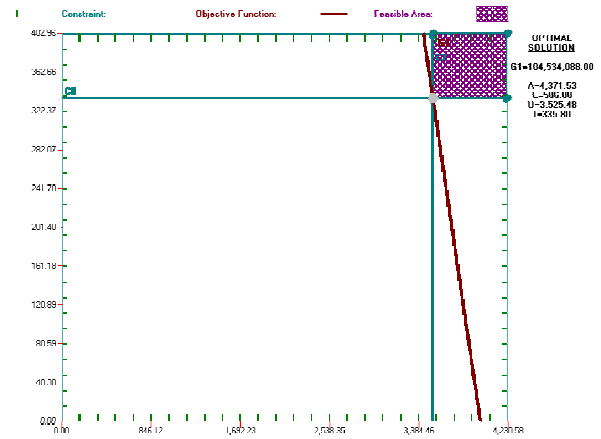
شکل ۷- نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری فضای سبز و صنعتی



شکل ۶- نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری فضای سبز و مسکونی



شکل ۹- نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری کشاورزی و صنعتی



شکل ۸- نمایش گرافیکی محدودیت‌ها و منطقه جواب کاربری صنعتی و مسکونی

References

- [1] Clark, D. (1996). The future urban world. *Global City* 46 (5): 582.
- [2] Ebrahimi, M. (2001). Evaluation of four empirical model for estimating sediment basin Valley Ghanbar Le Parsabad. Abstracts of the National Conference of land management, soil erosion, Sustainable Development Arak. (in farsi).
- [3] Farshi, A., Shariati, m., jarollahi, R.M, ghaemi, M., shahabifar, M., tolae, M. (1997). An estimate of water requirements of main field crops and orchards in iran. Vol 1 & 2: field crops, Agricultural Extension and Education. (in farsi).
- [4] Hashemina, S. M. (2004). Water Management in agriculture. Ferdowsi univ. press, 535 p. (in farsi).
- [5] Hasanzadeh, M. (2001). Role in informing effective land management, soil erosion and sustainable development. Proceedings of the National Conference of land, soil erosion, Sustainable Development, pp. -93-85, Arak. (in farsi).
- [6] Jalili, Kh. & Sadeghi, Nik Kami, (2006), Optimization of land use in the watershed to minimize soil erosion using linear programming, case study Brymvd Watershed, in Kermanshah, Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, year I, No. IV (a). (in farsi).

- [7] karamoz, M.R., Krachyan, R. (2003). Water resources planning and quality management systems, central Amir Kabir University Tehran Polytechnic publication.
- [8] Kai, C., Bo, H., Shaowen W., Hui, L. (2012), Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm, Computers, Environment and Urban Systems, 36: 257–269.
- [9] Molhotra, R.C. (1980). Environmental management, integrated rural development. PP: 61-170.
- [10] Mostafavi, S.A. (2000). Assessment of agricultural water use Efficiency in yazd-Ardakan subbasin press, 90 p. (in farsi).
- [11] Riedel, C. (2003). Optimizing Land Use Planning for Mountainous Regions using LP and GIS towards Sustainability. Journal of Soil Conservation. USA, 34(1): 121-124.
- [12] Mehregan, M. (2002), Operations Research (linear programming and its applications). Fourteenth Printing. Publishing academic books. (in farsi).
- [13] Moghadasi, M. Morid, S. Araghinezhad, Sh. (2008), Optimize the allocation of water using nonlinear programming, collective intelligence and genetic algorithms (case studies), Journal of Water Resources, Fourth year 3. 1-13. (in farsi).
- [14] Mostafaepour, A. Soltani gerd faramarzi, M. Ataei yazdi, M. (2010), Optimization of water use in the industrial, agricultural and domestic. First Printing. Tehran Sobhan publication. (in farsi).
- [15] Niknami, D. (2012), The use of mathematical models in watershed management. Proceedings of the Eighth National Conference on Watershed Management, Lorestan University. (In farsi).
- [16] Sadegean, R. (2011), Lingo scripting language model. First Printing. Publishing Ali Sina University. (In farsi).
- [17] Yunhao, C., Xiaobing, L., Wei, S., Yi, L., (2008), Simulating the optimal land-use pattern in the farming-pastoral transitional zone of Northern China, Computers, Environment and Urban Systems, 32: 407–41.
- [18] Water supply scheme of landscaping Yazd, (2011). Report of the Working Group approved a provincial regulation, water Halil. Yazd, the parks and green spaces. (in farsi).

Optimization of Land Use based on Water Resources by using Linear Programming (Case Study: Yazd City)

- 1- R. Asadi*, Watershed Management, Yazd University
rezvanasadi76@yahoo.com
- 2- H. Malekinezhad, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University
- 3- A. Fatahi, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Ardakan University

Received: 28 May 2014

Accepted: 10 Nov 2014

Abstract

Optimization of land use in watersheds, due to limited water resources, is one the appropriate management practices to achieve more sustainability. The purpose of this study, according to the water current situation of water removal from the aquifer, is to determine the optimal use of land in Yazd city. Agriculture, landscaping, households and industries sections are the main water consumers of the city water. Underground water is the main resource the annual demand of the region. The areas under agriculture, landscaping, residential, industrial uses, in 2011, were respectively, 7212.3, 804.3, 3525.3 and 335.8 hectares. Programming was done in Lindo software. The objective function was defined to minimize amount of water per unit area for each type of use. Two categories of limitations were defined, that contains the limitations relating to the area of land and limitations of water demand for each user. The results show, considering of available water, the current areas of land under different uses are not optimal. To removal water stress imposed on plants and according to the available water, efficiency especially for the irrigation, some land uses areas should be decreased to 40 % less than existing agricultural areas of the city.

Keywords: linear programming, optimization, land use, Lindo.