

## استفاده از حل‌کننده CPLEX در به‌گزینی کاربری اراضی شهرستان گرگان

مریم سعیدصباغی<sup>۱\*</sup>، رسول سلمان‌ماهینی<sup>۲</sup>، سید محمد شهرآئینی<sup>۳</sup>، سید حامد میرکریمی<sup>۴</sup>، نورالدین دبیری<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گلستان، گرگان، ایران  
rassoulmahiny@gmail.com
۲. دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گلستان، گرگان، ایران  
shahraeini@gmail.com
۳. استادیار، گروه برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران  
mirkarimi.hamed@gmail.com
۴. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گلستان، گرگان، ایران  
n.dabiri@gu.ac.ir
۵. استادیار، گروه صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۹

### چکیده

بررسی اهداف مختلف در فرایند برنامه‌ریزی محیط‌زیست، هر چند موجب ارتقاء نتایج حاصل از آن شده، بر پیچیدگی آن نیز افزوده است. در این راستا برنامه‌ریزی خطی یکی از روش‌های حل مسئله از گزینه‌های مورد توجه تصمیم‌گیران است. از آنجا که این روش مکانمند نیست، به‌کارگیری آن در مسائل تصمیم‌گیری مکانی مانند آمایش باید به روش مناسب در ترکیب با سامانه اطلاعات جغرافیایی مد نظر قرار گیرد. محدودیت اصلی این روش رشد نمائی زمان حل مسئله در راستای افزایش تعداد متغیرهای تصمیم است. تحقیق حاضر در صدد است با کمک حل‌کننده CPLEX دستیابی به پاسخ را در یک مسئله آمایش در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (به‌طور مشخص صفر و یک) و با هدف به‌گزینی چهار کاربری کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه در شهرستان گرگان مورد توجه قرار دهد. در این راستا سه هدف، کاهش هزینه اختصاص، هزینه تبدیل زمین و افزایش تراکم بررسی شده است. برای مقابله با شرایط افزایش نمائی زمان حل مسئله، از آزادسازی مسئله عدد صحیح و تبدیل آن به شکل کلاسیک کمک گرفته شده است. رتبه‌بندی خاص پاسخ‌های تصمیم دیگر ترفندی است که برای حل مسئله استفاده شده است. اگر چه این نتایج، بهینگی محض را تضمین نمی‌کند ولی پاسخ‌ها بسیار نزدیک به روش دقیق برنامه‌ریزی خطی خواهند بود.

### کلیدواژه

آمایش سرزمین، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی ریاضی، به‌گزینی، حل‌کننده CPLEX.

### ۱. سرآغاز

روشنی اثبات شده است (Wood, 1999; Selman, 2000). برکسی پوشیده نیست که استفاده مناسب از سرزمین که در بهترین حالت در جریان برنامه‌ریزی سرزمین حاصل می‌شود، اساس حرکت در جهت توسعه پایدار و حفظ محیط‌زیست است (RCEP<sup>1</sup>, 2002). هر قطعه از سرزمین ممکن است برای ایجاد یک یا تعدادی از تولیدات یا خدمات مناسب باشد، اما در حالت کلی نمی‌تواند هم‌زمان به بیش از یک نوع استفاده اختصاص داده شود. در این

افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به زمین به‌عنوان محل اصلی ذخیره منابع مورد نیاز انسان و نیز جایگاه سکونت او باعث ایجاد مشکلات بسیاری در محیط‌زیست شده است. فرسایش خاک، سیل، کاهش ذخایر زیستی و تخریب منابع زمین برای نسل‌های آینده از جمله این موارد است (Li & Liu, 2008; Leccese et al, 2000). رابطه بین برنامه‌ریزی سرزمین (آمایش سرزمین) و حفاظت از محیط‌زیست به

طبیعی، به منظور حفظ پایداری در بیشتر گونه‌ها و کاهش اثر حاشیه‌ای مورد اقبال بیشتری است (Williams & Reville 1996; Saunders et al., 1991; Didham, 1998; Walmseley et al., 1999; Siitonen et al., 2003). جنگل‌داری، محدوده‌های متراکم‌تر موجب کاهش آثار منفی فعالیت‌های الواربرداری می‌شود (Bettinger & Sessions, 2003). در مدیریت شهری، گسترش بی‌قید و بیش از اندازه شهر به دلیل ایجاد ناکارآمدی در توزیع منابع، خدمات و انرژی، امری منفی تلقی می‌شود (Cao & Huang, 2010). به همین اندازه در برنامه‌ریزی سرزمین نیز که از نمایی کلی‌تر به کاربری‌های ذکر شده می‌نگرد، در صورتی که واحدهای مجاور تا آنجا که ممکن است کاربری مشابهی داشته باشند، مدیریت آن‌ها تسهیل می‌شود. با این وصف، در انتخاب گزینه‌های کاربری نیاز به بررسی بیشتری است تا در ساماندهی نهایی آن‌ها، محدودیت‌های مرتبط با شکل، از جمله تراکم<sup>۴</sup> و پیوستگی کاربری‌های مجاور لحاظ شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. نگاهی به استفاده از برنامه‌ریزی خطی در

#### مدیریت زمین

در زمینه ساماندهی کاربری اراضی که در زمره مسائل بهینه‌سازی مکانی قرار دارد، مطالعات زیادی انجام شده و در بسیاری از آن‌ها از برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است (Campbell et al., 1992). برنامه‌ریزی ریاضی طیف گسترده‌ای از روش‌ها شامل برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی را شامل می‌شود. برنامه‌ریزی خطی از جمله الگوریتم‌های دقیق محسوب می‌شود که یکی از مباحث عمده در به‌کارگیری آن‌ها، زمان انجام محاسبات و محدودیت‌های سیستم در اداره محاسبات است. این موضوع به‌خصوص در هنگام استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح بسیار چالش‌برانگیز و محدودکننده است. از اواخر دهه ۱۹۵۰ که برنامه‌ریزی خطی با تلاش‌های

راستا، برنامه‌ریزی سرزمین تعیین‌کننده نوع استفاده از سرزمین است. برنامه‌ریزی سرزمین در حقیقت فرایند تصمیم‌گیری درباره اختصاص فعالیت‌ها از میان مجموعه‌ای از فعالیت‌ها یا کاربری‌های مختلف و معمولاً متعارض به واحد خاصی از سرزمین است که در جریان آن نه تنها نوع و وسعت کاربری بلکه محل آن در سرزمین نیز مشخص می‌شود (Stewart et al. 2004). در واقع، برنامه‌ریزی سرزمین، نوعی تصمیم‌گیری است که معیارهای مختلفی در آن اثرگذار هستند. شاید بتوان تقسیم‌بندی کلی برای انواع معیارهای مورد استفاده ارائه داد، اما در جزئیات ممکن است این معیارها برحسب نوع کاربری و مکان مورد مطالعه متفاوت باشند. شاید به همین دلیل و نیز این واقعیت که یکی از گزینه‌هایی که باید درباره آن تصمیم‌گیری شود مکان کاربری‌ها است، موجب شده است که برنامه‌ریزی سرزمین را تصمیم‌گیری وابسته به مکان<sup>۲</sup> گویند (OWC<sup>3</sup>, 2013).

در جریان برنامه‌ریزی سرزمین، معمولاً منطقه مورد مطالعه در چارچوب رستری مدل می‌شود به طوری که سلول‌های این نقشه رستری به منزله واحدهای سرزمینی هستند که درباره نوع کاربری اختصاص یافته به هر کدام باید تصمیم‌گیری شود (Chen et al., 2009). معیار غالب و همیشگی در برنامه‌ریزی سرزمین را نقشه‌های مطلوبیت سرزمین تشکیل می‌دهند. این نقشه‌ها که برای هر کاربری مورد تصمیم‌گیری به‌طور مجزا تهیه می‌شوند، حاصل ترکیب معیارهای مختلفی هستند که هر کدام به‌صورت نقشه‌های موضوعی مجزا درآمده، در نهایت استاندارد شده و روی هم‌گذاری شده‌اند (Eastman et al., 1993). با این حال، معیار مطلوبیت سرزمین به تنهایی برای تصمیم‌گیری، ساماندهی و به‌گزینی کاربری‌ها مناسب نیست (Brookes, 1997). بدون دخالت محدودیت‌های دیگر، نتیجه معمولاً به‌صورت الگویی پراکنده از کاربری‌ها در منطقه خواهد بود (Yeh & Li, 1998). پراکندگی مشکلاتی را در مدیریت سرزمین ایجاد می‌کند. شکل متراکم‌تر در طراحی ذخایر

مورد مطالعه را متناسب با مساحت به دست آمده از روش سیمپلکس از بقیه مناطق مجزا کرد و به یک کاربری اختصاص داد. پیشنهاد دوم، اضافه کردن متغیر مکانی به عنوان متغیر تصمیم صفر و یک<sup>۵</sup> و ایجاد مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک بود. از آنجا که تعداد متغیرهای تصمیم در این حالت بسیار زیاد می‌شد، عملاً دستیابی به پاسخ مسئله در زمان مورد قبول غیرممکن بود و در نتیجه با توجه به محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی خطی در وسعت پژوهش مورد نظر، پیشنهاد نخست به کار گرفته شد. به تدریج با ظهور روش‌های مختلف حل مسائل برنامه‌ریزی خطی و نیز ارتقاء حافظه و قابلیت‌های دیگر سیستم‌های کامپیوتری، گروهی از محققان استفاده از برنامه‌ریزی خطی را در مسئله تخصیص بهینه کاربری زمین بررسی کردند (Aerts et al., 2003). آن‌ها با یاری گرفتن از برنامه‌ریزی صفر و یک، متغیرهای مکانی را به‌طور مستقیم وارد تابع برنامه‌ریزی خطی کردند. نکته بارز پژوهش آن‌ها توجه به حداکثر کردن فشردگی مکانی کاربری‌ها در مدل بود. آن‌ها در صدد برآمدند تا فاکتوری از دسته سنج‌های سیمای سرزمین یعنی فشردگی و تا حد امکان کنار هم بودن پیکسل‌های مربوط به یک نوع کاربری را به کمک برنامه‌ریزی خطی صفر و یک بررسی کنند. نتیجه به دست آمده آن بود که مدل فوق‌قادر به به‌گزینی منطقه‌ای تا وسعت  $50 \times 50$  پیکسل است. در تحقیقی دیگر در نیوزلند، به‌گزینی کاربری اراضی با هدف ایجاد تعادل بین میزان توسعه و استفاده از منابع و با نگرش خدمات اکوسیستم مطالعه شد (Ausseil et al., 2012). آن‌ها در این پژوهش از سامانه منبع باز LUMASS بهره گرفتند (Herzig, 2008). این سامانه در محیط سیستم عامل اوبونتو از توزیع‌های لینوکس قابل اجرا است. سامانه فوق‌قدرت بهینه‌یابی خود را مدیون کتابخانه Ipsolve است و بر پایه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی عمل می‌کند. در پژوهش مورد نظر، متغیرهای مکانی شامل پلی‌گون‌های کاربری می‌شد که هر یک حاوی اطلاعاتی در زمینه

دنتزیک (۱۹۶۳) به‌عنوان فن ریاضی معرفی شد، تا به امروز، از این فن در حیطه مدیریت منابع طبیعی بهره‌های فراوانی برده شده است. اما از آنجا که برنامه‌ریزی خطی ماهیتاً فنی مکانی محسوب نمی‌شود (Chuvieco, 1993)، مطالعاتی که به‌خصوص تا قبل از سال ۱۹۹۳ در مورد استفاده از آن در مباحث مدیریت منابع صورت گرفته کمتر به بحث مکان و ورود آن در مباحث به‌گزینی می‌پردازد. از جمله این دسته از مطالعات می‌توان به استفاده از برنامه‌ریزی خطی در مدیریت حمل‌ونقل (Horton & Wittick, 1969; Little & Worten, 1972; Newnham, 1975)، ایجاد جاده‌های جنگلی (Boughton, 1967)، جنگل‌کاری و بازسازی جنگل‌ها (Buongiorno & Teeguaden, 1973)، تجزیه و تحلیل استراتژی غذادهمی پرندگان شکاری (Craig et al., 1979)، ارزیابی مدیریت حیات وحش برای کنترل جمعیت‌های گوزن (Davis, 1967) و برنامه‌ریزی تعداد بازدیدکنندگان از پارک (Saitta & Schmedemann, 1972) اشاره کرد. نخستین کوشش‌ها در خصوص استفاده از ویژگی مکان در به‌گزینی کاربری اراضی ضمن انجام مطالعه‌ای با عنوان «ترکیب برنامه‌ریزی خطی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی کاربری اراضی»، در ارتباط با حل مسئله بیکاری کارگران در منطقه‌ای در اسپانیا آغاز شد (Chuvieco, 1993). چوویکو در این پژوهش از سامانه اطلاعات جغرافیایی و روی هم‌گذاری نقشه‌های موضوعی مختلف برای دستیابی به اطلاعات اولیه استفاده کرد. سپس حل تابع برنامه‌ریزی خطی را بدون توجه به متغیرهای مکانی در خارج از سامانه اطلاعات جغرافیایی به کمک روش سیمپلکس انجام داد. نتایج به دست آمده شامل مساحتی بود که باید به هر کدام از کاربری‌های مورد بررسی اختصاص می‌یافت اما مکان آن کاربری‌ها را نشان نمی‌داد. بنابراین، او دو پیشنهاد برای تعیین مکان هر یک از کاربری‌ها ارائه داد. نخستین پیشنهاد، استفاده از گزینه‌ای کمکی برای مثال میزان دسترسی به محلی ویژه یا کیفیت زیبایی منظر بود که با توجه به آن بتوان از روی نقشه بخشی از وسعت منطقه

متغیرهای تصمیم و با الهام از تفکر نهفته در الگوریتم MOLA، به انجام به‌گزینی کاربری اراضی پردازد، به‌نحوی که پاسخ به دست آمده تا حد امکان به پاسخ بهینه قطعی نزدیک باشد. در این راستا سه هدف حداقل کردن هزینه اختصاص زمین به کاربری‌ها، حداکثر کردن تراکم و فشردگی کاربری‌های مشابه به یکدیگر و حداقل کردن هزینه تبدیل زمین از کاربری فعلی به کاربری احتمالی دنبال می‌شود.

## ۲.۲. الگوریتم MOLA در نرم‌افزار ایدرسی

نقشه‌های ورودی در این الگوریتم، نقشه‌های مطلوبیت سرزمین برای هر کاربری مورد مطالعه هستند. مساحت هدف برای هر کاربری نیز قبل از حل به الگوریتم معرفی می‌شود. الگوریتم MOLA برای انجام به‌گزینی کاربری اراضی، نخست به رتبه‌بندی نقشه مطلوبیت سرزمین برای هر هدف (در اینجا نوع کاربری) می‌پردازد. سپس، سلول‌هایی که بالاترین امتیاز را دارند به‌طور موقت به آن فعالیت اختصاص می‌یابند. تضاد، زمانی پیش می‌آید که به یک سلول چند کاربری اختصاص یابد. در این هنگام سلول، به کاربری اختصاص می‌یابد که امتیاز آن نزدیک‌تر به نقطه ایدئال آن هدف باشد. نقطه ایدئال بالاترین امتیاز نقشه مطلوبیت پس از استانداردسازی است. به این ترتیب سلولی که بالاترین امتیاز بعدی را در هر هدف داشته باشد، به آن هدف اختصاص پیدا می‌کند تا زمانی که محدودیت مربوط به سطح (یعنی تعداد سلول‌های هدف و پیش‌فرض در نظر گرفته شده برای اختصاص به هر کاربری) تأمین شود (Cromley & Hanink, 1999).

با این وصف چنین الگوریتمی، بیشترین کارآمدی خود را زمانی دارد که بین امتیازهای تعلق گرفته به یک سلول در کاربری‌های مختلف، همبستگی معکوس وجود داشته باشد. در صورتی که بین امتیازهای تعلق گرفته به یک سلول در کاربری‌های مختلف همبستگی مثبت وجود داشته باشد، بیشترین تضاد حاصل می‌شود. در حقیقت، در چنین

خدمات اکوسیستم و هزینه اختصاص یافتن کاربری‌ها به آن پلی‌گون در صورت انجام، می‌شد. بهترین کاربری همراه با مساحت آن برای هر پلی‌گون از طریق تحلیل‌گر خطی ذکر شده حل و نتیجه در قالب جدولی به موقعیت پلی‌گون‌ها مرتبط می‌شد. آن‌ها در این پژوهش به سازگاری و هماهنگی بین کاربری‌های مجاور نپرداختند. همچنین از آنجا که قضاوت درباره پلی‌گون‌ها صورت می‌گرفت، همواره مناطقی از محدوده مورد بررسی با توجه به محدودیت‌های معرفی شده در مسئله، ممکن بود، تعیین تکلیف نشوند.

شایان ذکر است به‌رغم اینکه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، مدل‌هایی دقیق محسوب می‌شوند که بهینه بودن پاسخ به دست آمده از اجرای خود را تضمین می‌کنند اما به دلیل محدودیت‌هایی که مدل برنامه‌ریزی خطی به لحاظ زمان حل و محدودیت‌های محاسباتی دارد، الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری مورد توجه قرار گرفته‌اند (Xiao et al., 2007). پاسخ حاصل از این الگوریتم‌ها نزدیک به حالت بهینه است، اما هرگز بهینگی را تضمین نمی‌کند. در واقع هدف استفاده از این نوع الگوریتم‌ها بهره‌گیری از تعادل بین کیفیت راه حل و شدت بار محاسباتی است (Laarhoven & Aarts, 1987). در ارائه این الگوریتم‌ها، سعی آن است، تا آنجا که می‌توان پاسخ را به حالت بهینه قطعی نزدیک کرد که ممکن است هرگز محاسبه‌شدنی نباشد. از جمله الگوریتم‌های ابتکاری متداولی که در برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین به گستردگی به کار گرفته شده، الگوریتم MOLA است که ابزار آن در سامانه اطلاعات جغرافیایی IDRISI گنجانده شده است (Eastman, 1995). در کنار مزیت‌های مهم این الگوریتم به لحاظ زمان حل کوتاه و کاربرپسند بودن، الگوریتم فوق دارای محدودیت‌هایی است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. پژوهش حاضر در صدد است با تکیه بیشتر به حل مدل از طریق الگوریتم دقیق برنامه‌ریزی خطی، با آزادسازی مدل خطی عدد صحیح از قید صحیح بودن

خواهند بود (Bosch & Trick, 2013). با این وصف، شکل استاندارد مدل بیشینه برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به صورت رابطه ۱ عنوان کرد (Steuer, 1986):

$$\text{Max } \sum C_i x \quad (1)$$

به طوری که (رابطه ۲):

$$x \in B, B = \{x \in \mathbb{R}^n : Ax \leq b, x \geq 0\} \quad (2)$$

$$0, b \in \mathbb{R}^m, A \in \mathbb{R}^{m \times n}$$

$C_i$  اشاره به امتیاز متغیر تصمیم  $x$  بر حسب معیار  $i$  دارد. به عبارتی، در یک مسئله برنامه‌ریزی سرزمین، اگر  $x$  نشان‌دهنده تصمیمی مرتبط با یک واحد سرزمین خاص باشد،  $C_i$  امتیاز مربوط به معیار  $i$  (به عنوان مثال معیار مطلوبیت زمین) در آن واحد سرزمینی خاص است که در تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گرفته است. متغیر  $n$  نشان‌دهنده تعداد متغیرهای تصمیم است که در یک مسئله برنامه‌ریزی سرزمین با چارچوب رستری، برابر حاصل ضرب تعداد واحدهای سرزمین یا همان تعداد سلول‌های نقشه مورد مطالعه در تعداد منابع مورد بررسی (انواع کاربری‌ها) است. زمانی که چند هدف در یک مسئله برنامه‌ریزی خطی مورد توجه است، هر هدف به صورت ترکیبی خطی از بردار مربوط به متغیرهای تصمیم  $x$  در بردار  $C_i$  بیان می‌شود (Steuer, 1986). همچنین، اغلب مسائل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای حل به کمک جمع وزنی به مسائل تک هدفه تبدیل می‌شوند (Steuer 1986; Collete & Siarry 2003; Ehr Gott 2005). متغیر  $B$  اشاره به مجموعه راه‌حل‌های ممکن دارد که به وسیله  $m$  محدودیت معرفی شده در مسئله، محدود و مشخص شده است. متغیر  $A$  نشان‌دهنده ماتریسی در ابعاد  $m \times n$  است که به عنوان ماتریس ضرایب فنی یا اجرایی نامیده می‌شود که ضرب آن در بردار متغیرهای  $x$  نشان‌دهنده چگونگی تأثیر ویژگی خاص از نحوه تخصیص منابع به متغیر  $x$  است (رابطه ۳).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

مقادیر متغیر  $x$  می‌تواند اعدادی اعشاری یا صحیح

حالتی، نگرانی عمده این احتمال است که راه‌حل نهایی بدی حاصل شود زیرا در این روش تنها هزینه مستقیم مربوط به سلول‌های در تضادی که بالاترین امتیاز را دارند، بررسی می‌شود. با این حال، اگر در مرحله‌ای سلول‌هایی با امتیاز مطلوبیت کمتر به یک کاربری اختصاص یابند، هزینه مجموع سیستم خیلی بیشتر کاهش پیدا می‌کند (Cromley & Hanink, 1999). از دیگر مشکلات مطرح در این الگوریتم عدم توجه به توزیع مکانی کاربری‌ها و مجاورت کاربری‌های مشابه تا حد امکان به یکدیگر است (Sante- Riveira et al., 2007).

### ۳.۲. برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی که اساس بسیاری از فرایندهای تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهد یکی از روش‌هایی است که در ترکیب با سامانه اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی سرزمین نیز استفاده شده است (Chuvieco, 1993; Arthur & Nalle, 1997). متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و تابع هدف عناصر اصلی برنامه‌ریزی خطی را تشکیل می‌دهند که به صورت معادلات یا نامعادلات خطی بیان می‌شوند. متغیرهای تصمیم که پرسش مسئله‌اند، تصمیماتی هستند که به صورت مقادیر عددی در پایان اجرای مدل برآورد می‌شوند. مقادیر فوق در جریان محاسبات ریاضی از میان مجموعه‌ای از اعداد حقیقی که فضای ممکن تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند، انتخاب می‌شوند. در حقیقت فضای نامحدود تصمیم به کمک محدودیت‌ها که در قالب نامعادلات خطی بیان می‌شوند، محدود شده و فضای ممکن تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهند. در نهایت، تابع هدف، که تابعی خطی از متغیرهای تصمیم است، مشخص می‌کند که کدام یک از مقادیر ممکن تخصیص یافته به متغیرها، بهینه بوده و بهینگی کل سیستم (برآورد تابع هدف) را به صورت مقداری عددی بیان می‌کند. مطلوبیت یا عدم مطلوبیت کمیت یا کمیت‌های مورد بررسی موجب تعریف تابع هدف به صورت تابعی بیشینه ساز یا کمینه ساز

و کران از آن برای حل مسائل عدد صحیح بهره می‌گیرد، آزاد کردن<sup>۱۳</sup> مسئله از قید سخت صحیح بودن متغیرهای تصمیم است. چنین مسئله‌ای را مسئله برنامه‌ریزی خطی آزاد شده می‌نامند که به صورت یک مسئله عدد صحیح معمول حل می‌شود. حقیقتی که این آزادسازی را مجاز می‌سازد این است که فضای ممکن تصمیم‌گیری مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح زیرمجموعه‌ای از فضای ممکن تصمیم‌گیری مسئله خطی آزاد شده است و مهم‌تر آنکه مقدار بهینه مسئله خطی آزاد شده کران بالای مقدار بهینه یک مسئله عدد صحیح بیشینه یا کران پایین مقدار بهینه یک مسئله عدد صحیح کمینه است (Chawla, 2015). به این ترتیب همواره اختلافی بین مقدار بهینه مسئله عدد صحیح و مقدار بهینه مسئله خطی آزاد شده آن وجود دارد (فاصله صحیح<sup>۱۴</sup>). کمتر کردن این فاصله از نکات مورد توجه در ارائه روش‌های حل مسائل عدد صحیح بوده که در بسیاری از نرم‌افزارهای مرتبط به کار گرفته شده است. به عبارتی، پاسخ مسئله خطی آزاد شده راهنما و معیار خوبی برای انتخاب بهترین پاسخ به دست آمده در زیر مسائل کوچکتر مسئله اصلی است به نحوی که این پاسخ صحیح بوده و در عین حال در داخل فضای ممکن تصمیم‌گیری قرار گرفته باشد. روش شاخه و کران به منظور به کار بستن این دو تدبیر از ساختار درختی<sup>۱۵</sup> متشکل از زیر مسئله‌های کوچک‌تر که گره<sup>۱۶</sup> نامیده می‌شوند، بهره می‌گیرد. این ساختار درختی در هر سطح و مرحله از تشکیل خود، به روزرسانی می‌شود. به عبارتی، در هر سطح یا مرحله به بررسی مقدار تابع هدف در آن سطح پرداخته و بهترین وضعیت خود را به عنوان مقدار بهینه مسئله تا به آن لحظه و به عنوان معیار مقایسه در سطوح پایین‌تر بعدی برمی‌گزیند.

متأسفانه در روش شاخه و کران، اگر تعداد  $n$  متغیر تصمیم وجود داشته باشد، تعداد  $2^n$  زیر مسئله باید تشکیل شود. همین مسئله موجب رشد نمایی زمان حل مسئله با افزایش ابعاد مسئله خواهد شد. به همین دلیل، اصلاحاتی

(مجموعه اعداد حقیقی) باشد. اما اگر شرایط مسئله ایجاب کند، می‌توان این محدوده انتخاب را تنگ‌تر کرد، به این نحو که متغیرهای تصمیم را محدود به اعداد صحیح فضای ممکن تصمیم‌گیری کرد. در این حالت مسئله به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح بیان می‌شود. این قید به ظاهر ساده، حل مدل را با مشکلات زیادی مواجه می‌کند که موجب می‌شود دو مدل کاملاً مشابه که تنها در این قید متفاوت هستند، زمان حل بسیار متفاوتی از هم داشته باشند (Bosch & Trick, 2013). در مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح، تمام متغیرهای تصمیم یا برخی از آن‌ها می‌توانند از نوع عدد صحیح باشند. گاهی نیز اعداد صحیح تنها محدود به اعداد صفر و یک می‌شوند که چنین مسائلی را مسائل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک گویند.

شایان ذکر است که برنامه‌ریزی خطی از جمله الگوریتم‌های دقیق<sup>۷</sup> است که در حالت پایه، پاسخ بهینه را از طریق بررسی همه پاسخ‌های ممکن به دست می‌آورد<sup>۸</sup>. اما با افزایش تعداد متغیرهای تصمیم و رشد نمایی تعداد پاسخ‌های مورد بررسی، یافتن پاسخ بهینه در زمان متصور و مشخص، به خصوص در مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرممکن به نظر می‌رسد. از این رو، روش‌های مختلفی برای حل چنین مسائلی پیشنهاد شده است. یکی از متداول‌ترین این روش‌ها، روش شاخه و کران<sup>۹</sup> است که بر پایه شمارش انتخابی<sup>۱۰</sup> عمل می‌کند. این روش که نخستین بار توسط لند و دوینگ در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد شد برگرفته از رهیافت «تقسیم و غلبه»<sup>۱۱</sup> است (Bixby et al., 1999; McCarl et al., 2011). در این روش یک مسئله بزرگ برای حل به مسائل کوچکتر تقسیم می‌شود که در صورتی که حل شوند، پاسخ مسئله اصلی از روی ترکیب پاسخ مسائل کوچکتر به دست می‌آید. در غیر این صورت مسائل کوچکتر باز به مسائل کوچکتر دیگر تقسیم می‌شوند. روش تقسیم و غلبه یک روش بالا به پایین<sup>۱۲</sup> است یعنی پاسخ یک مسئله بزرگ و سطح بالا با رفتن به سطوح پایین و حل مسائل کوچکتر حاصل می‌شود. اهرم مهم دیگری که روش شاخه

صورتی که به آن اختصاص نیابد برابر با صفر خواهد بود (Aerts et al., 2003). در مسائل تخصیص بهینه کاربری‌ها معمولاً سطح هدفی در منطقه برای هر نوع کاربری در نظر گرفته می‌شود. در اینجا متغیر  $A_k$  برای نشان دادن سطح در نظر گرفته شده برای هر کاربری انتخاب شده است. این پژوهش به دنبال آن است که سه هدف حداقل کردن هزینه اختصاص کاربری به قطعه‌ای از سرزمین، حداکثر کردن تراکم لکه‌ها (فشرده‌گی) و حداقل کردن هزینه تبدیل زمین را در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی در مسئله به‌گزینی بررسی کند. از این رو مدل فوق به صورت روابط ۶-۱۳ تعریف شد (Williams, 2002; Aerts et al., 2003; Stewart et al., 2004; Motamed, 2012).

(۶)

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & G1 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q C_{ijk} X_{ijk} - \\ & G2 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q Y_{ijk} + \\ & G3 \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q S_{ijk} X_{ijk} \quad \forall G1 + \\ & G2 + G3 = 1 \end{aligned}$$

به طوری که:

(۷)

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} = 1$$

(۸)

$$\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q X_{ijk} = A_k$$

(۹)

$$\forall k = 1, \dots, K \quad i = 1, \dots, P \quad j = 1, \dots, Q$$

(۱۰)

$$Y_{ijk} \leq 4 X_{ijk}$$

(۱۱)

$$Y_{ijk} \leq X_{i-1jk} + X_{i+1jk} + X_{ij-1k} + X_{ij+1k}$$

(۱۲)

$$Y_{ijk} \leq X_{i-1jk} + X_{i+1jk} + X_{ij-1k} + X_{ij+1k} - 4(1 - X_{ijk})$$

(۱۳)

$$Y_{ijk} \geq 0$$

$X_{ijk}$  نشان دهنده متغیر تصمیم صفر و ۱ است به این معنی که در صورتی که کاربری  $k$  به سلول  $(i, j)$  تعلق بگیرد، مقدار این متغیر ۱ و در صورتی که به آن تعلق نگیرد مقدار این متغیر برای کاربری  $k$  برابر ۰ است.  $C_{ijk}$  گویای

بر این روش صورت گرفته و روش دیگری به نام روش شاخه و برش<sup>۱۷</sup> به وجود آمده که برای سرعت بخشیدن به زمان حل مسئله از طریق اضافه کردن محدودیت‌های اضافی به مسئله اصلی، به حذف بخش‌هایی از ناحیه ممکن بدون حذف مقادیر صحیح می‌پردازد (McCarl et al., 2011). این روش از جمله روش‌هایی است که در حل‌کننده CPLEX نرم‌افزار GAMS برای حل مسائل عدد صحیح گنجانده شده است.

## ۴.۲. شرح مدل برنامه‌ریزی خطی به‌گزینی کاربری اراضی

مسئله تخصیص بهینه کاربری اراضی (آمایش سرزمین) در صورتی که به‌عنوان مسئله کمینه‌ساز در نظر گرفته شود مانند هر مسئله‌ای از این نوع می‌تواند به صورت رابطه ۴ تعریف شود (Dorigo & Stutzle, 2004):

(۴)

$$\Pi = (S, \Omega, f)$$

$k$  مجموعه راه‌حل‌های ممکن؛  $f$  تابع هدف و  $\Omega$  مجموعه محدودیت‌ها است. این مسئله در پی راه‌حل بهینه  $(i_{opt})$  به صورتی است که  $i_{opt} \in S$  بوده و شرایط رابطه ۵ در آن صدق کند (Aerts et al., 2003):

(۵)

$$f(i_{opt}) \leq f(i) \quad \forall i \in S$$

اگر منطقه مورد مطالعه را ماتریسی با ردیف و  $Q$  ستون در نظر بگیریم، بر سر تصاحب هر سلول این ماتریس، رقابت و تعارضی بین کاربری‌ها وجود دارد، به طوری که  $k=1, \dots, K$  نشان‌دهنده انواع کاربری‌ها است. مسلم است که هر سلول تنها به وسیله یک نوع کاربری می‌تواند اشغال شود. در بیان ریاضی این گفتار، نیاز به معرفی متغیری ( $X_{ijk}$ ) است که مقدار آن نشان‌دهنده اختصاص یا عدم اختصاص سلول  $(i, j)$  به کاربری  $k$  باشد.  $X_{ijk}$  در حقیقت متغیر باینری است که مقدار آن برای کاربری  $k$  در صورتی که به سلول  $(i, j)$  اختصاص یابد برابر ۱ و در

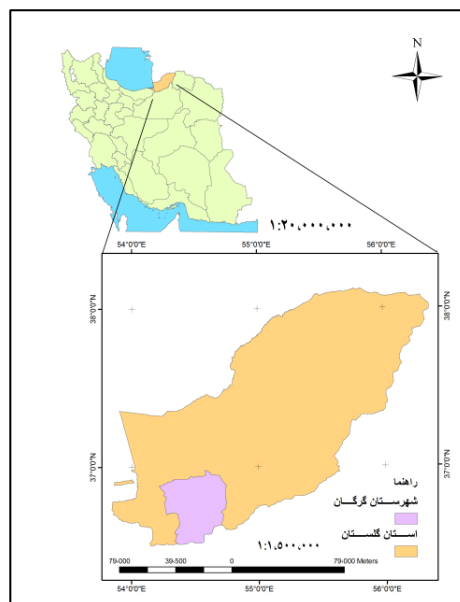
محیط‌زیستی برای هر کاربری از جمله (شیب، ارتفاع، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، بافت، هدایت الکتریکی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، دما، بارندگی، تبخیر، عمق آب زیرزمینی، فاصله از شهر، منابع آب، جاده و بسیاری صفات دیگر) حاصل شده است (سلیمان ماهینی و همکاران، ۲۰۱۲). شایان ذکر است، در جریان ایجاد نقشه‌ها، هر یک از معیارها کمی‌سازی شده و به‌صورت نقشه در آمدند. سپس، استاندارد شده و به کمک وزن‌هایی که بر پایه مقایسه زوجی و فرایند سلسله مراتبی (AHP) حاصل شد به کمک فرایند ترکیب خطی وزنی در نرم‌افزار ایدرسی ترکیب شدند.

کل منطقه مورد بررسی در اندازه تفکیک ۱۵۰ متر، ماتریسی در ابعاد (۳۴۷×۳۱۷) را شامل می‌شود. برای اینکه نقشه‌های MCE، معیاری از هزینه اختصاص زمین به هر کاربری باشد، ارزش نقشه‌ها معکوس شد. چهار نقشه تهیه شده، که متغیر  $G_{ijk}$  در نظر گرفته شد در واقع هزینه متقبل شده در صورت اختصاص کاربری خاص به هر قطعه از سرزمین را به صورت معیاری عددی در دامنه‌ای از صفر تا ۲۵۵ نشان می‌داد. هر یک از این نقشه‌ها در نقشه محدودیت مربوط به کاربری خود ضرب شد. ورودی‌های دیگر مدل را نقشه‌های مربوط به هزینه تبدیل زمین تشکیل می‌دادند. در این پژوهش هزینه تبدیل زمین بر اساس نظر کارشناسی تهیه شده است. برای این منظور هزینه تبدیل زمین بر پایه ارزش‌هایی در دامنه صفر تا ۱ در قالب ماتریس تبدیل تهیه شد (جدول ۱). در این ماتریس ارزش صفر به معنی تبدیل آسان، به عبارتی عدم تبدیل یا تقبل هزینه برای تبدیل و ارزش ۱ به معنی پرداخت هزینه زیاد در تغییر کاربری است. در نهایت نقشه‌های هزینه تبدیل زمین تهیه شده برای هر کاربری نیز در نقشه محدودیت مربوط به آن کاربری ضرب شد. در این پژوهش از نرم‌افزار GAMS نسخه ۲۴٫۱ برای انجام تحلیل‌های خطی استفاده شده است. برای این کار، هر یک از نقشه‌های هزینه و نیز هزینه تبدیل زمین ضرب شده در محدودیت‌ها

هزینه‌ای است که برای اختصاص قطعه زمین متناسب با سلول  $i$  و  $j$  به کاربری نوع  $k$  نیاز است. متغیر  $S_{ijk}$  نشان‌دهنده هزینه تبدیل زمین از کاربری فعلی به کاربری نوع  $K$  است. متغیر  $Y_{ijk}$ ، متغیر صحیحی است که به منظور در نظر گرفتن فشردگی، به تابع معرفی شده است. چگونگی تعریف و حدود بالا و پایین این متغیر که بر پایه توجه به همسایگی‌های هر سلول است، در معادلات ۱۰-۱۳ بیان شده است. شایان ذکر است در این پژوهش هزینه تبدیل زمین بر اساس نظر کارشناسانه تهیه شده است.

## ۵.۲. محدوده مورد مطالعه و شرح اجرا

نقشه‌های پایه مورد استفاده برای به‌گزینی شامل نقشه‌های MCE (نقشه‌های مطلوبیت سرزمین) مربوط به کاربری‌های مهم کشاورزی، جنگل، مرتع و توسعه شهری شهرستان گرگان است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

دامنه ارزش هر یک از نقشه‌ها [۰ ۲۵۵] است، به‌نحوی که صفر کمترین و ۲۵۵ بالاترین مطلوبیت سرزمین برای کاربری مربوط محسوب می‌شود. نقشه‌های فوق با بهره از معیارهای مختلف اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و



جداگانه‌ای که در هنگام پیاده‌سازی مدل، معرفی می‌شود، ارائه می‌شود. تمامی نتایج و بسیاری اطلاعات زمان اجرا، از جمله مقادیر بهینه تابع هدف در هر تکرار، تعداد تکرارها، ممکن یا ناممکن بودن پاسخ مسئله و مقدار بهینه نهایی به دست آمده در فایلی با پسوند log ذخیره می‌شود. مقادیر نهایی به دست آمده برای متغیر  $X_{ijk}$  پس از اجرا ارقامی در بازه [۰ ۱] بودند. باید توجه کرد که همه پاسخ‌های صفر به دست آمده در برنامه‌ریزی خطی آزاد شده<sup>۱۸</sup>، در برنامه‌ریزی عدد صحیح نیز صفر و مقادیر ۱ به دست آمده بسیار به‌ندرت در فرم برنامه‌ریزی عدد صحیح، مقدار صفر خواهند گرفت (Podnar, 2003). پس از این مرحله مقادیر متغیر  $X_{ij}$  هر کاربر به صورت ماتریس‌های مجزا وارد نرم‌افزار MATLAB شده و اصلاح شد (شکل ۲).

به‌صورت فایل‌های اکسل و در قالب خاص مورد استفاده در این نرم‌افزار در آمده و وارد نرم‌افزار فوق شدند. نرم‌افزار GAMS از محیط برنامه‌نویسی نسبتاً ساده‌ای برخوردار است. معادلات ۶-۱۳ بیان شده در مرحله قبل در این نرم‌افزار پیاده‌سازی شده و در فایلی با پسوند gms. برای اجرا ذخیره شدند. جدول ۲ مساحت هدف در نظر گرفته شده برای هر کاربری را نشان می‌دهد. برای حل مدل، قید صحیح، از مدل حذف و حل آن به‌صورت مسئله برنامه‌ریزی خطی معمول دنبال شد. اجرای مدل به کمک حل‌کننده CPLEX و روش شاخه و برش انجام گرفت. شایان ذکر است مقادیر  $G1, G2, G3$  به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۰/۲ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شده است.

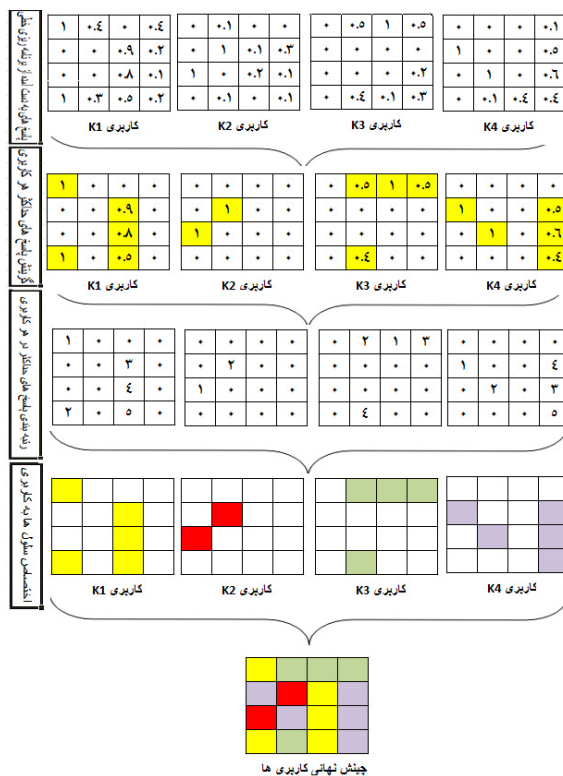
یکی از خروجی‌های مهم نرم‌افزار GAMS فایلی اکسل است که در آن مقدار بهینه تابع هدف، و مقادیر متغیرهای مجهول مربوط به هر کاربری در آن در صفحات

جدول ۱. ماتریس هزینه تبدیل کاربری‌های مختلف به یکدیگر

کاربری آینده				
توسعه	مرتع‌داری	جنگل‌داری	کشاورزی	کاربری فعلی
۱	۰/۳	۱	۰	کشاورزی
۱	۰/۴	۰	۰/۶	جنگل‌داری
۱	۰	۱	۰/۳	مرتع‌داری
۰	۰/۹	۱	۱	توسعه

جدول ۲. مساحت هدف در نظر گرفته شده برای هر کاربری پیش از اجرای مدل

مساحت هدف		کاربری
برحسب کیلومتر مربع	برحسب سلول	
۲۷۹/۷۵	۱۲۴۰۰	کشاورزی
۲۹۴/۵۲	۱۳۰۵۵	جنگل
۷۳/۶۱	۳۲۶۳	توسعه شهری
۸۸/۳۵	۳۹۱۶	مرتع



شکل ۲. چگونگی گزینش نهایی کاربری‌ها پس از اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی

این مجموعه صورت می‌گرفت. با این حال ممکن بود تعداد سلول‌های هدف (سطح هدف در نظر گرفته شده برای هر کاربری قبل از اجرای مدل) هر کاربری متفاوت با تعداد سلول‌های دارای مقادیر حداکثر در هر کاربری باشد. در این پژوهش بین این دو تعداد، مقدار کمتر، ملاک گزینش قرار گرفت.

### ۳. نتایج

همان‌طور که اشاره شد، پاسخ متغیرهای تصمیم مسئله (سطح اختصاص یافته در هر سلول به هر کاربری)، یکی از خروجی‌های مهم اجرای مدل در نرم‌افزار GAMS را تشکیل می‌دهد. این خروجی، به دلیل آزادسازی مسئله از قید صحیح، در بازه [۰ ۱] است. حال آنکه در حالت معمول یک سلول به بیش از یک کاربری نمی‌تواند اختصاص یابد. به این ترتیب با بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم‌افزار MATLAB، آن کاربری که مقدار مساحت حداکثر را در هر سلول به خود اختصاص می‌داد مشخص شد.

در حقیقت، از این مرحله به بعد از آنجا که بر اساس پاسخ‌های به دست آمده برای متغیرهای  $X_{ij}$  کاربری‌های مختلف که در بازه صفر و یک بودند، یک سلول (عنصر) ماتریس یا به عبارتی یک قطعه از سرزمین هم‌زمان به چند کاربری اختصاص می‌یافت. کاربری که بالاترین مقدار (مساحت) را در هر سلول به خود اختصاص داده بود همراه با مقدار محاسبه شده برای آن تعیین شد. با انجام این عمل در نهایت ۴ ماتریس مربوط به چهار کاربری حاصل شد که در آن‌ها به هر سلول تنها مقادیر حداکثر اختصاص یافته بود. سپس سلول‌های هر ماتریس (کاربری برحسب مقادیر) خود رتبه‌بندی شدند (شکل ۲). اگرچه بر اساس شکل ۲، سلول‌هایی که دارای مقادیر ۱ بودند، رتبه‌های مختلفی به آنان تعلق می‌گرفت، اما چون تعداد این چنین سلول‌هایی کمتر از سطح هدفی بود که باید از هر کاربری گزینش می‌شد، این امر مشکلی در گزینش ایجاد نمی‌کرد. پس از رتبه‌بندی، تعداد سلول‌های حداکثر در هر کاربری محاسبه شد. گزینش در هر کاربری باید از

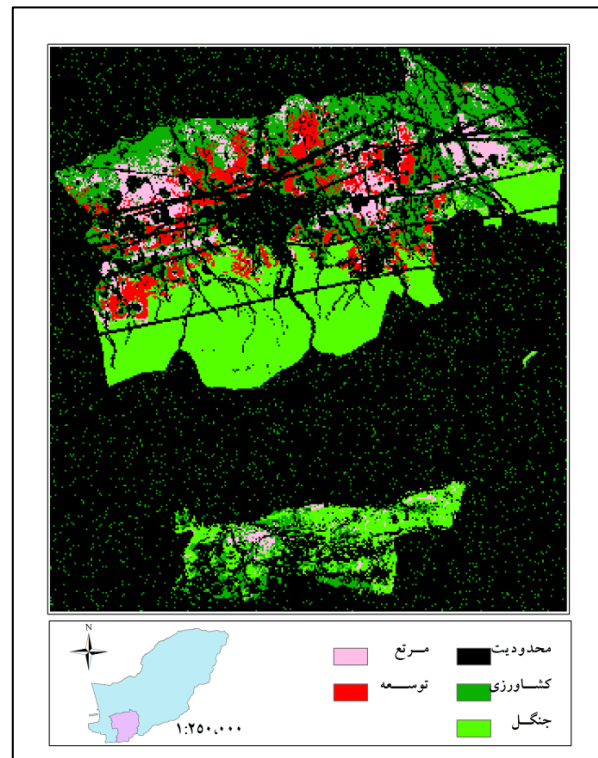
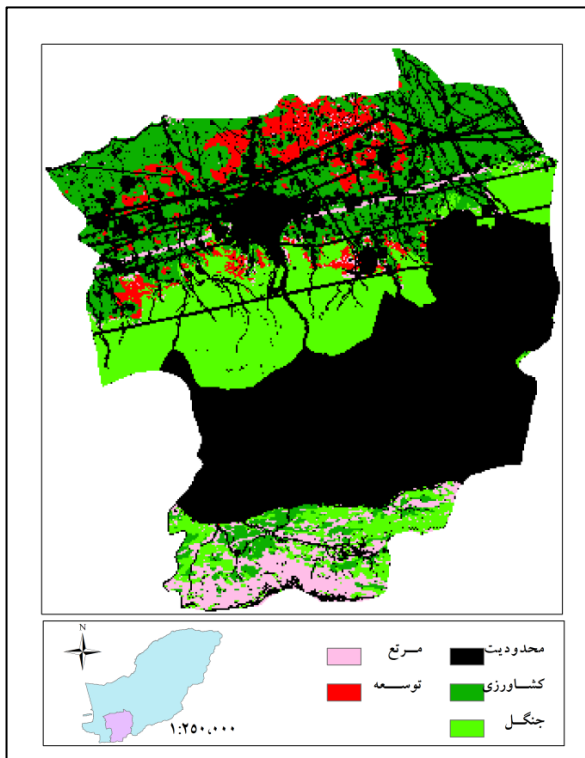
مطالعه پس از اجرای مدل ارائه شده نشان می‌دهد. همچنین، برای فراهم آورد امکان مقایسه، نتیجه به‌گزینی با الگوریتم MOLA که گزینش را بر پایه رتبه‌بندی با در نظر گرفتن معیار فاصله تا نقطه ایدئال انجام می‌دهد، در شکل ۳ آمده است.

جدول ۴. مساحت کاربری‌ها در نقشه به‌گزینی شده حاصل از الگوریتم MOLA را نشان می‌دهد.

سپس، ماتریس مقادیر حداکثر در هر کاربری رتبه‌بندی شد و در نهایت گزینش نهایی صورت گرفت. پیش از این اشاره شد که ممکن بود تعداد سلول‌های هدف (سطح هدف در نظر گرفته شده برای هر کاربری قبل از اجرای مدل) هر کاربری متفاوت با تعداد سلول‌های دارای مقادیر حداکثر در هر کاربری باشد. در این پژوهش، بین این دو تعداد، مقدار کمتر، ملاک گزینش قرار گرفت (جدول ۳). شکل ۳، نقشه به‌گزینی کاربری‌ها را در منطقه مورد

جدول ۳. مقایسه مساحت هدف در نظر گرفته شده پیش از اجرای مدل و مساحت به دست آمده پس از اجرای مدل خطی

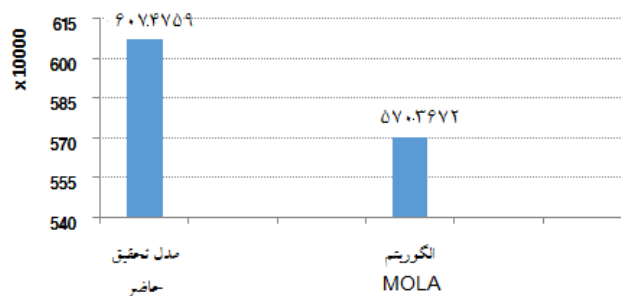
کاربری	هدف		خروجی مدل		نهایی در نظر گرفته شده		میزان انحراف
	برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع	برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع	برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع	
کشاورزی	۱۲۴۰۰	۲۷۹/۷۵	۱۲۴۶۷	۲۷۹/۷۵	۱۲۴۰۰	۲۷۹/۷۵	۰
جنگل	۱۳۰۵۵	۲۹۴/۵۲	۱۳۰۵۹	۲۹۴/۵۲	۱۳۰۵۵	۲۹۴/۵۲	۰
توسعه شهری	۳۲۶۳	۷۳/۱۶	۳۲۲۵	۷۳/۱۶	۳۲۲۵	۷۲/۷۶	۳۸
مرتع	۳۹۱۶	۸۸/۳۵	۳۸۸۳	۸۸/۳۵	۳۸۸۳	۸۷/۶	۳۳
مجموع							۷۱



شکل ۳. نقشه به‌گزینی حاصل از الگوریتم MOLA (سمت راست) و برنامه‌ریزی خطی و تقریب پس از آن (سمت چپ)

جدول ۴. مقایسه مساحت هدف در نظر گرفته شده پیش از اجرای MOLA و مساحت به دست آمده پس از اجرای مدل

مساحت					کاربری
میزان انحراف	خروجی مدل	هدف			
برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع	برحسب سلول	برحسب کیلومتر مربع	برحسب سلول	
۵۴	۲۷۹/۳۱	۱۲۳۴۶	۲۷۹/۷۵	۱۲۴۰۰	کشاورزی
۱۵	۲۹۵/۰۱	۱۳۰۴۰	۲۹۴/۵۲	۱۳۰۵۵	جنگل
۰	۷۳/۸۲	۳۲۶۳	۷۳/۶۱	۳۲۶۳	توسعه شهری
۹۷	۸۶/۴	۳۸۱۹	۸۸/۳۵	۳۹۱۶	مرتع
۱۶۶					مجموع



■ مجموع مطلوبیت کاربری های پس از به گزینی

مقایسه مجموع امتیاز به گزینی بر پایه ارزش مطلوبیت کاربری های مختلف

نتیجه الگوریتم MOLA	نتیجه برنامه ریزی خطی و تقریب نهایی
۵۷۰۲۶۷۲	۶۰۷۴۷۵۹

شکل ۴. مقایسه مجموع مطلوبیت نتایج به گزینی توسط دو مدل تحقیق

به گزینی و میزان انحراف از سطوح هدف در نظر گرفته شده پیش از اجرای مدل. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، پراکندگی کاربری‌ها در نتایج حاصل از تقریب برنامه‌ریزی خطی در مقایسه با الگوریتم MOLA بسیار کمتر است که البته این امر به دلیل توجه به همسایگی‌ها و تشابه بین آن‌ها از نظر نوع کاربری و وارد کردن تابع فشردگی در مدل خطی است. مقایسه مجموع امتیاز مربوط به مطلوبیت کاربری‌ها پس از به گزینی (شکل ۴) نیز به خوبی نشان می‌دهد که بر اساس معیار ارزشی (۲۵۵-۰) در نظر گرفته شده، میزان مطلوبیت مدل خطی

شکل ۴، نتایج دو مدل پیشنهادی در این تحقیق و الگوریتم MOLA را بر اساس میزان مجموع مطلوبیت نهایی کاربری‌های گزینش شده در منطقه با هم مقایسه می‌کند (شایان ذکر است آن‌چنان‌که پیش از گفته شد، حداکثر ارزش مطلوبیت سلول‌ها ۲۵۵ و حداقل آن صفر در نظر گرفته شده است).

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

از یک منظر، در مقایسه دو الگوریتم فوق‌سه محور اصلی وجود دارد: میزان پراکندگی کاربری‌های مشابه به گزینی شده در منطقه، مجموع امتیاز مطلوبیت کاربری‌ها پس از

پرداختن به این الگوریتم را همچنان جذاب و کاربردی سازد. هم‌راستا با گفتار بیان شده، تحقیق اخیر سعی داشته استفاده از برنامه‌ریزی خطی را در برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین به گونه‌ای کاربردی‌تر مورد بررسی قرار دهد. از موارد قابل تأمل در این تحقیق که جای بررسی بیشتری دارد، فراهم آوردن امکان بهره‌گیری مستقیم از برنامه‌ریزی خطی در داخل محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی است به‌نحوی که هر دو دارای محیط کاربری مشترکی باشند چیزی همانند ابزار الگوریتم MOLA در داخل محیط سامانه ایدرسی. بررسی بیشتر در این زمینه باعث سرعت در تحلیل‌ها و آسانی بهره‌گیری از آن توسط کارشناس خواهد بود.

#### یادداشت‌ها

1. royal commission on environmental pollution
2. place-based decision making
3. oldman watershed Council
4. compactness
5. binary
6. near-optimal solution
7. exact
8. complete enumeration
9. branch and bound
10. selective enumeration
11. divide and conquer
12. top to down
13. relaxation
14. integrality gap
15. tree structure
16. node
17. cutting plane
18. LP relaxation

حدود ۳۷۰۰۰ واحد بهتر از نتیجه حاصل از الگوریتم MOLA است. ستون میزان انحراف موجود در جداول ۳ و ۴ به خوبی نشان می‌دهد که هر دو الگوریتم نتوانسته‌اند به‌طور کامل دستیابی به سطح هدف پیش فرض در نظر گرفته را تحقق بخشند، با این حال میزان انحراف در الگوریتم خطی کمتر از MOLA است.

اگر این واقعیت را بپذیریم که برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین کلید اصلی توسعه پایدار است، به این باور خواهیم رسید که آمایش سرزمین برای انسانی که همواره در جستجوی توسعه، کشف منابع و تصاحب سرزمین‌های پیرامونی است، امری لازم و ضروری تلقی می‌شود. آنچه برنامه‌ریزی سرزمین را قدرتمندتر و کاربردی‌تر می‌کند، توجه به جوانب بیشتر درگیر در تصمیم‌گیری و نگاه همه جانبه‌تر به گروه‌ها و منابع درگیر و اثرپذیر است. این امر در نهایت، خود موجب پذیرش بیشتر نتایج آمایش و هم‌زمان برآورده شدن رسالت آن خواهد شد. با این حال، هر چه جوانب بیشتری در نظر گرفته شود، پیچیدگی تصمیم‌گیری نیز افزایش خواهد یافت. استفاده از الگوریتم‌ها راهی برای فائق آمدن بر این پیچیدگی‌ها و در عین حال استقبال از آن‌ها است. اگر چه برنامه‌ریزی خطی به دلیل محدودیت‌های نشئت گرفته از ماهیت دستیابی به راه‌حل، کمتر از الگوریتم‌های ابتکاری در تصمیم‌گیری و به‌گزینی مکانی سرزمین مورد توجه بوده است اما یکی از نقاط قوت این الگوریتم دستیابی به پاسخ قطعی و تکرار شدنی است. این نقطه قوت به همراه سادگی تعریف توابع در آن، شاید به تنهایی آن اندازه اهمیت داشته باشند که

#### منابع

سلمان ماهینی، ع. و همکاران. مطالعات آمایش استان گلستان، ۱۳۹۱-۱۳۹۴ (استاندارداری استان گلستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان).

Aerts, J.C.J.H., Eisinger, E., Heuvelink, G.B.M. and Stewart, T.J., 2003. Using Linear Integer Programming for Multi-Site Land- Use Allocation. *J. Geographical Analysis*. 35(2): 148-169.

Arthur, J.L. and Nalle, D.J. 1997. Clarification on the use of linear programming and GIS for land-use modelling. *J. International Journal of Geographical Information Science*. 11(4): 397-402

Ausseil, A.G.E., Herzig, A. and Dymond, J.R., 2012. Optimising Land Use for Multiple Ecosystem Services Objectives: A

- Case Study in the Waitaki Catchment, New Zealand. J. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). Leipzig, Germany.
- Bettinger, P. and Sessions, J. 2003. Spatial forest planning: to adopt, or not to adopt? J. Forestry. 101(2): 24-29
- Bixby, E.R., Fenelon, M., Gu, Z., Rothberg, E. and Wunderling, R. 1999. MIP: Theory and Practice-Closing the Gap. in Powell, M.J.D. and Scholtes, S. (Eds). System Modelling and Optimization: Methods, Theory and Applications. 19th IFIP TC7 Conference on System Modelling and Optimization, Cambridge, UK, Kluwer Academic Publisher: 19-49
- Bosch, R. and Trick, M. 2013. "Integer Programming" in Burke, E. K., and Kendall, G. (Eds)."Search Methodologies". J. Springer Science and Business Media. Business and Economics: 716 P.
- Boughton, W.C. 1967. Planning the construction of forest roads by linear programming. J. Australian Forestry. 3: 111-120
- Brookes, C.J., 1997. A parameterized region-growing program for site allocation on raster suitability maps. J. Geographical Information Science. 11: 375-396
- Buongiorno, J. and Teeguarden, D. 1973. An economic model for selecting Douglas-fir reforestation projects. J. Hilgardia. 42(3): 35-120
- Cao, K. and Huang, B., 2010. 'Comparison of spatial compactness evaluation methods for simple genetic algorithm based land use planning optimization problem. Proceedings of the Joint International Conference on Theory, Data Handling and Modelling in GeoSpatial Information Science. 38(2):26-28
- Chawla, S. 2015. CS787: Advanced Algorithm (Lecture 10: LP Relaxation and Rounding). Computer Science Department, University of Wisconsin-Madison. Retrieved from <http://pages.cs.wisc.edu/~shuchi/courses/787-F07/>
- Chen, Y., Li, X., Liu, X. and Liu., Y. 2009. An agent-based model for optimal land allocation (AgentLA) with a contiguity constraint. J. Geographical Information Science. 24 (8): 1269-1288
- Chuvieco, E., 1993. Integration of linear programming and GIS for land-use modelling. J. Geographical Information Systems 7(1): 71-83
- Collette, Y. and Siarry, P. 2003. Multi Objective Optimization: Principals and Case Studies. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 293P
- Craig, R.B., DeAngelis, D.L. and Dixon, K. R. 1979. Long- and short-term dynamic optimization models with application to the feeding strategy of the loggerhead shrike. J. The American Naturalist. 113(1):31-51
- Cromely, R.G. and Hanink, D.M., 1999. Coupling land use allocation models with raster GIS. J. Geographic Systems. 1: 137-153.
- Davis, L.S. 1967. Dynamic Programming for Deer Management Planning. J. Wildlife Management. 31: 667-679.
- Didham, R.K., 1998. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. J. Oecologia. 116(3): 397-406.
- Dorigo, M. and Stutzle, T., 2004. Ant colony optimization. The MIT press, Cambridge: 305 P.
- Eastman, J.R.W. Jin, Kyem, P. and Toledano, J. 1995. Raster Procedures for Multi Objective Land-Use Planning. J. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 61: 539-547
- Ehrgott, M., 2005. Multicriteria Optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 328 P.
- Herzig, A., 2008. A GIS-based Module for the Multi-objective Optimization of Areal Resource Allocation. 11th the AGILE International Conference on Geographic Information Science, University of Girona, Spain.
- Horton, F.E. and Wittick, R. I. 1969. A spatial model for examining the journey to work in a planning context. J. Professional Geographer. 21: pp. 223-226.
- Laarhoven, P.J.M. and Aarts, E.H.L. 1987. Simulated annealing: Theory and applications. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company: 187P
- Leccese, M. and McCormick, K. (Eds). 2000. Charter of the new urbanism. New York: McGraw-Hill. 194P
- Li, X. and Liu, X., 2008. Embedding sustainable development strategies in agent-based models for use as a planning tool. J. Geographical Information Science. 22:21-45
- Little, R.L. and Wooten, T.E. 1972. Product optimization of a log concentration yard by linear programming. Department of Forestry, Clemson University, Clemson, SC. Forest Research Series: 24P.

- McCarl, B.A. and Spreen, T. H. 2011. Applied mathematical programming using algebraic systems. Texas A and M University: 567 P
- Motamed, H., Ghafory-Ashtiany, M. and Amini-Hosseini, K. 2012. An Earthquake Risk-Sensitive Model for Spatial Land-use Allocation. 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa, Portugal.
- Newnham, R.M. 1975. LOGPLAN: A model for planning logging operations. Canadian Forestry Services, Forest Management Institute, Ottawa, Ontario. Information rep. FMRX-77
- Oldman Watershed Council. 2013. Landscape patterns environmental quality analysis. Retrieved from [http:// www.plainsandprairiepotholescc.org/research-project/landscape-patternsenvironmental-quality-analysis/](http://www.plainsandprairiepotholescc.org/research-project/landscape-patternsenvironmental-quality-analysis/)
- Podnar, H., 2003. Genetic algorithm for network cost minimization using threshold based discounting. J. Applied Mathematics and Decision Science.7(4): pp.207-228.
- RCEP. 2002. Environmental Planning: Twenty-third Report HMSO. Royal Commission on Environmental Pollution, London.
- Saitta, W.W. and Schmedemann, J.W. 1972. New Dimensions in Park Management through Linear Programming. J. Leisure Research. 4: 333-340
- Sante-Riveira, I., Boullon-Magan, M., Crecente-Maseda, R. and Miranda-Barros, D. 2007. Algorithm based on simulated annealing for land use allocation. J. Computers and Ceosciences.34: pp. 259-268
- Saunders, D.A., Hobbs, R. J. and Margules, C.R., 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. J. Conservation Biology.5(1): pp.18-32.
- Selman, P. 2000. "Environmental Planning: The Conservation and Development of Biophysical Resources". Secon Edition" Sage Publications Ltd. London: 320 P
- Siitonen, P., Tanskanen, A. and Lehtinen, A. 2003. Selecting forest reserves with a multi objective spatial algorithm. J. Environmental Science and Policy. 6: 301-309
- Steuer, R. E., 1986. Multiple criteria optimization: theory, computation and application. New York: Wiley: 546 P.
- Stewart, T.J., Janssen, R. and Herwijnen, M. v., 2004. A genetic algorithm approach to multi objective land use planning, J. Computer and Operation Research.31(14): 2293-2313.
- Walmsley, A.J., Walker, D.H., Mallawaarachchi, T. and Lewis, A., 1999. Integration of spatial land use allocation and economic optimization models for decision support. In. MODSIM 99: International Congress on Modelling and Simulation: Modelling and Simulation Society of Australia.
- Williams, J. C. 2002. A Zero-One Programming Model for Contiguous Land Acquisition. J. Geographical Analysis.34(4): pp.330-349
- Williams, J.C. and ReVelle, C.S.1998. Reserve assembla e of critical areas: a zero-one programming approach. J. European Journal of Operational Research. 104(3):497-509.
- Wood, C. 1999. Encironmental Planning in Cullingworth J. B. (Ed). "British Planning: 50 Years of Uraban and Regional Policy". Athlone Press, London: 320 P
- Xiao, N., Bennett, D.A. and Armstrong, M.P. 2007. Interactive evolutionary approaches to multi objective spatial decision making: A synthetic review. J. Computers, Environment and Urban Systems. 31: 232-252
- Yeh, A.G.O. and Li, X., 1998. Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS. J. Geographical Information Science. 12:169-189