

## به گزینی کاربری اراضی با رویکرد خدمات اکوسیستم به کمک برنامه-

### ریزی خطی

مریم سعیدصبائی<sup>۱\*</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲</sup>، رضا غریبی<sup>۳</sup>، الناز سعیدصبائی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشجوی کارشناسی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه خلیج فارس

۴. فارغ التحصیل مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علوم تحقیقات قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴)

#### چکیده:

در سال‌های اخیر اقداماتی جهت استفاده از سنجش خدمات اکوسیستم در بهینه‌یابی کاربری اراضی انجام شده است، به این معنی که به-گزینی کاربری‌ها در منطقه بر اساس مقادیر تغییر در خدمات اکوسیستمی انجام گیرد. مطالعه حاضر به صورت نمونه به بررسی چگونگی انجام به‌گزینی کاربری‌ها با توجه به تغییر در میزان فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب به عنوان دو مورد از خدمات اکوسیستم بر پایه برنامه‌ریزی خطی در واحدهای کاری سرزمین می‌پردازد. منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از شهرستان گرگان است. در این دیدگاه به انواع کاربری‌های به عنوان اکوسیستم‌های مختلف با قابلیت‌های متفاوت از نظر نگهداشت آب و حفظ خاک، توجه شده است. تابع هدف مورد استفاده در به‌گزینی بر اساس معیار فرسایش خاک نوشته شده و محدودیتی که در تقابل با آن است نیز میزان نگهداشت آب در هر یک از کاربری‌ها است. برای این منظور از سامانه پشتیبان مدیریت اراضی LUMASS استفاده شده است. در این مطالعه تخصیص بهینه کاربری‌ها در قالب دو سناریو انجام شد. در هر دو سناریو هدف آن بود که میزان فرسایش خاک کل منطقه نسبت به شرایط پیش از به-گزینی کاهش یابد. در سناریوی اول، هدف کاهش بیش از ۵۰ درصد در مقدار فرسایش خاک بدون هیچ محدودیتی در خصوص مساحت کاربری‌ها بود در سناریوی دوم تلاش شد که تا حد امکان مقدار مساحت کاربری کشاورزی در حد فعلی باقی بماند. نتایج نشان داد که در سناریوی اول و دوم به ترتیب کاهش ۶۱ درصدی و ۱۰ درصدی در میزان فرسایش خاک در مقایسه با شرایط قبل از به‌گزینی ایجاد می-شود. در هر صورت، انتخاب بهترین شکل به‌گزینی بستگی به رویکرد مدیریتی و شرایط کل منطقه دارد. این مسئله که حفظ، کاهش و یا افزایش کدام کاربری به نفع کل منطقه است و یا چه مقدار کاهش در فرسایش اراضی کل منطقه و یا هر تغییری در سایر معیارها، در تابع هدف باید مد نظر قرار گیرد، همگی مسائلی است که در نتیجه به‌گزینی تاثیرگذار است.

**کلید واژگان:** خدمات اکوسیستم، به‌گزینی کاربری اراضی، مدیریت زمین، برنامه‌ریزی خطی، سامانه پشتیبان مدیریت اراضی

(LUMASS)

## ۱. مقدمه

مقادیر تغییر در خدمات اکوسیستم، انجام گردد. تحقیقات Ausseil و همکاران در سال (2012) نمونه‌ای از این موارد است. به‌گزینی کاربری‌ها یا تخصیص بهینه کاربری‌ها در واقع مصداقی از تصمیم‌گیری چند معیاره است که تلاش می‌کند کاربری درست در مکان درست قرار گیرد. در دیدگاه بهینه‌یابی بر پایه خدمات اکوسیستمی، معیارها (اهداف) می‌تواند کاهش فرسایش خاک و یا کاهش انتقال نیترات از خاک به آب‌های جاری و ساکن پایین دست باشد و محدودیت‌ها نیز می‌تواند از نوع محدودیت اجرایی و یا محدودیت تخصیص باشد. محدودیت اجرایی در واقع حدی است که برای مقادیر خدمات اکوسیستم مانند میزان تولید گوشت، تولید چوب، نگهداشت آب، ایجاد زیستگاه و غیره در نظر گرفته می‌شود. محدودیت تخصیص مجموعه‌ای از شرایط اختصاصی است که برای مکان کاربری خاص در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال کاربری A نباید در منطقه X قرار گیرد. ماهیت چنین به‌گزینی مانند تمام مسائل بهینه‌یابی نیازمند استفاده از الگوریتم‌های موثر برای ایجاد موازنه بین کاربری‌های مختلف (به عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری) به کمک معیارها و محدودیت‌های مشخص است. در این بین برنامه‌ریزی خطی می‌تواند از جمله الگوریتم‌های مورد استفاده باشد.

استفاده از برنامه‌ریزی خطی در به‌گزینی کاربری اراضی در داخل نیز مورد توجه برخی از محققان بوده است. از جمله Jalili و همکاران (2006) در حوزه آبخیز بریموند کرمانشاه از مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مناسب‌ترین ترکیب

خدمات اکوسیستم به عنوان مجموعه‌ای از ارزش‌های قابل لمس در جامعه انسانی بیان می‌شود که در نتیجه کیفیت یا کمیتی از یک سرمایه طبیعی حاصل شده است (TEEB<sup>۱</sup>, 2010). امروزه، مسئله خدمات اکوسیستم و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. ارزش‌های مختلفی از جمله نقش تولیدکنندگی (مانند تولید غذا یا فیبر)، نقش تنظیم‌کنندگی (مانند تنظیم آب و هوا از طریق جذب کربن)، ارزش فرهنگی (مانند ارزش‌های تفریحی) و نیز ارزش‌هایی چون تأثیر در چرخش مواد غذایی را برای اکوسیستم‌ها ذکر می‌کنند (Ausseil et al., 2013). متأسفانه بسیاری از فعالیت‌های انسانی تنها در جستجوی توسعه اقتصادی هستند و توجهی به ارزش‌های ذکرشده در ارتباط با اکوسیستم‌ها ندارند. شاید بتوان گفت بیشترین تغییرات در مقادیر خدمات اکوسیستم به دلیل تغییرات بی‌مهابا و گسترده کاربری اراضی و عدم مدیریت صحیح زمین رخ داده است (Foley et al., 2005). به عنوان مثال، کاربری کشاورزی اگرچه تولید غذا را افزایش می‌دهد اما شرایط تخریب خاک را نیز فراهم می‌آورد. در سال‌های اخیر اقداماتی در جهت استفاده از سنجش‌های مربوط به خدمات اکوسیستم در به‌گزینی کاربری اراضی انجام شده است، به این معنی که به‌گزینی کاربری‌ها بر اساس

<sup>۱</sup>-The Economics of Ecosystems and Biodiversity

مدل به منظور ارتباط با سامانه اطلاعات جغرافیائی کدگذاری شدند. سه فاکتور نوع کاربری فعلی سرزمین، عدد واحد همگن اکولوژیک و عدد واحد همگن اقتصادی که بر پایه تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از پرسش‌نامه‌ها به دست آمده بود فاکتورهای تأثیرگذار در کدگذاری متغیرهای مدل بودند. لازم به ذکر است ضرایب متغیرهای مدل بر اساس درآمد خالص فعلی ناشی از کاربری‌ها تعیین شده و در ارزیابی تناسب سرزمین پس از استاندارد نمودن کلیه فاکتورهای تأثیرگذار در قالب نقشه‌های موضوعی از وزن‌گذاری به روش AHP و نیز روش میانگین‌گیری وزنی مرتب شده کمک گرفته شده است. آخرین مرحله تعیین‌کننده در وزن‌دهی به کاربری‌های مختلف در مدل میانگین‌گیری وزنی مرتب شده، تعیین وزن کاربری‌ها بر پایه مقایسه نسبی کاربری‌ها منطبق با درآمد خالص فعلی حاصل از آنها بوده است. در نهایت اختصاص زمین به کاربری‌های مختلف بر پایه رتبه‌بندی نهائی نقشه حاصل از روش میانگین‌گیری وزنی مرتب شده و نیز مقدار مساحت بهینه تعیین شده از روش برنامه‌ریزی خطی برای هر یک از کاربری‌ها به دست آمده است.

Ausseil و همکاران (2012) با توجه به رشد سریع تغییرات کاربری اراضی قرن اخیر در نیوزلند و از بین رفتن اکوسیستم‌های طبیعی در صدد ارزیابی موازنه بین اکوسیستم‌های طبیعی (شامل اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی) و اکوسیستم‌های مدیریت شده (کشاورزی و جنگلکاری) برآمدند تا از این طریق از میزان پایداری توسعه انسانی و تعادل در استفاده از منابع اطمینان پیدا کنند. از این رو استفاده از

کاربری اراضی شامل (باغ، کشت آبی، کشت دیم و مرتع) با رویکرد حداقل نمودن فرسایش خاک و حداکثر نمودن درآمد حاصل از زمین بهره‌گرفتند. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق شامل فرسایش ویژه و فرسایش کل خاک، همچنین درآمد خالص سالانه و کل حاصل از کاربری‌های مختلف بود. در تحقیقی دیگر Shamsi و همکاران (2010)

از برنامه‌ریزی خطی در تخصیص زمین به کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز کلیبرچای در آذربایجان غربی کمک گرفتند. در این تحقیق کوشش شده که از نتایج به دست آمده از حل مسئله بهینه‌یابی خطی در سامانه اطلاعات جغرافیائی استفاده شود. به عبارتی به نحوی سعی در مکانی نمودن بهینه‌یابی کاربری زمین با استفاده از برنامه‌ریزی خطی شده است. برای این منظور دو دسته از اطلاعات جمع‌آوری شده، دسته اول داده‌های مکانی است که شامل نقشه‌های موضوعی در ارتباط با خصوصیات فیزیکی و اکولوژیکی محل است. دسته دوم شامل اطلاعاتی راجع به فرآیند تولید در ارتباط با کاربری‌های موجود است که از طریق پرسش‌نامه باز از اهالی منطقه به دست آمده است. انواع کاربری اراضی، مواد، سرمایه و سود حاصل از کاربری‌های مختلف، هزینه انتقال کالاها، میزان اجاره زمین، دستمزد، تقاضا برای کار و بسیاری موارد دیگر از طریق این پرسش‌نامه‌ها به دست آمده است. ارزش خالص فعلی حاصل از سرمایه‌گذاری در زمین، سودی بود که در این تحقیق تلاش می‌شد در قالب تابع هدف به کمک مدل برنامه‌ریزی خطی حداکثر شود. به نظر می‌رسد برای حل این مدل از امکانات برنامه LINDO کمک گرفته شده است. متغیرهای

عنوان شکلی از خدمات اکوسیستم می‌پردازد. در این دیدگاه به کاربری‌های مختلف به عنوان اکوسیستم-های مختلفی که هر کدام دارای قابلیت نگهداشت آب متفاوت و نیز توانائی ایجاد مقادیر نسبی متفاوتی از فرسایش خاک برخوردار هستند، توجه شده است. تابع هدف مورد استفاده در به‌گزینی بر اساس معیار فرسایش خاک نوشته شده و محدودیتی که در تقابل با آن است نیز میزان نگهداشت آب در هر یک از کاربری‌ها است. می‌توان این هدف را به طور خلاصه به صورت زیر عنوان کرد (معادله ۱):

معادله (۱)

$$\text{Min } f(x) = c_j x$$

$c_j$  = معیار هزینه است (در اینجا همان اطلاعات مربوط به فرسایش خاک در واحدهای کاری سرزمین است)

$x$  = متغیر تصمیم‌گیری است (مساحت تعیین شده توسط تابع هدف برای هر یک از کاربری‌ها در واحدهای کاری سرزمین است)، به طوریکه (معادله ۲) برقرار باشد:

معادله (۲)

$A$  = اشاره به ضرایب فنی و اکولوژیکی دارد که بر اساس اطلاعات حاصل از نقشه محدودیت به دست می‌آیند. با توجه به آنکه تابع مورد بررسی یک تابع هزینه است از مقادیر قابلیت نگهداشت آب در واحدهای سرزمین به عنوان معیار محدودیت استفاده شده است.

خدمات اکوسیستم را در پیش گرفتند تا به مدیران منابع در به دست آوردن این تعادل یاری رسانند. خدمات اکوسیستمی مورد بررسی شامل (تولید غذا، فیبر، تولید آب، تنظیم جریان آب و تولید زیستگاه-های طبیعی بود) که در فرآیند به‌گزینی مورد بررسی قرار گرفت. میزان این خدمات به صورت مکانی به دست آمد و با توجه به تأثیر هر یک از کاربری‌ها بر هر یک از این خدمات، چگونگی تبدیل اکوسیستم-های طبیعی به اکوسیستم‌های مدیریت شده در جریان به‌گزینی کاربری‌ها بررسی شد. در این تحقیق از سامانه به‌گزینی ( $LUMASS^2$ ) با هدف حداکثر کردن تولید خدمات اکوسیستم استفاده شد. سامانه فوق یک برنامه منبع باز است که بر اساس تعدادی کتابخانه منبع باز قدرتمند دیگر در زمینه تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی و دیدارسازی پایه‌ریزی شده است (Herzig et al., 2013). در تخصیص بهینه کاربری اراضی به کمک این نرم‌افزار، مجموعه کاربری‌هایی که به سیمای سرزمین اختصاص می‌یابد به‌وسیله مجموعه‌ای از پلی‌گون‌ها معرفی می‌شود. فرایند به‌گزینی یا تخصیص بهینه از طریق یک یا تعداد بیشتری هدف عینی (به عنوان مثال کاهش فرسایش خاک) که در قالب معیار بیان می‌شود به سیستم معرفی می‌گردد.

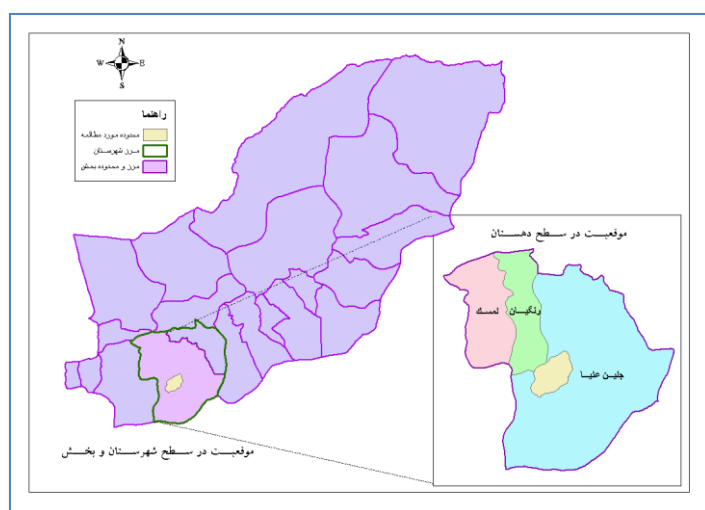
مطالعه حاضر به صورت نمونه به بررسی چگونگی انجام به‌گزینی کاربری‌ها بر پایه برنامه‌ریزی خطی در واحدهای کاری سرزمین با توجه به تغییر در میزان فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب به

در بخش مرکزی شهرستان گرگان و در دهستان جلین علیا، بین طول‌های جغرافیائی "۲۵ و ۲۴' و ۵۴° تا "۱۴ و ۳۰' و ۵۴° و نیز عرض‌های جغرافیائی "۵۵ و ۳۸' و ۳۶° تا "۵۲ و ۴۳' و ۳۶° واقع شده است. این محدوده مساحتی بالغ بر ۴۸۳۵ هکتار را شامل می‌شود که از این مقدار حدود ۴۷۳۳ هکتار آن را کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل تشکیل می‌دهد و حدود ۱۰۲ هکتار را نیز مناطق شهری در بر می‌گیرد. شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه را در سطح تقسیمات استان گلستان نشان می‌دهد.

سامانه پشتیبان مدیریت اراضی مورد استفاده در این مطالعه نرم‌افزار منبع باز LUMASS است که قابلیت انجام به‌گزینی خود را مرهون وجود نرم‌افزار منبع باز دیگری به نام LP\_SOLVE است. لازم به ذکر است سامانه LUMASS بر روی تمامی سیستم‌عامل‌های بر پایه لینوکس (توزیع‌های لینوکس) از جمله سیستم‌عامل اوبونتو قابل نصب و اجرا است. در این تحقیق از سیستم عامل ( ubuntu 12.10) استفاده شده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان گلستان

مرتع است. می‌توان گفت بدون احتساب مساحت اختصاص یافته به مناطق شهری باقیمانده اراضی منطقه بر حسب توان سرزمینی خود (نقشه حاصل از ارزیابی توان منطقه برای هر یک از کاربری‌ها) دارای قابلیت‌های متفاوتی برای هر یک از کاربری‌های کشاورزی، جنگل یا مرتع است. در واقع می‌توان گفت

هدف از این تحقیق همان‌طور که اشاره شد، تخصیص بهینه کاربری‌ها با توجه به میزان فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب بر پایه برنامه‌ریزی خطی در واحدهای کاری سرزمین است. کاربری‌های مورد بحث در این تحقیق که گویای اکوسیستم‌های مورد بررسی در این تحقیق هستند کشاورزی، جنگل و

استفاده در این تحقیق از نتایج طرح در حال انجام آمایش سرزمین سال ۱۳۹۲ استان گلستان مورد استفاده قرار گرفته است (Mahini et al., 2012).

## ۱،۲ تهیه نقشه پتانسیل فرسایش خاک برای هر

### کاربری

همان طور که گفته شد معیار اصلی تهیه نقشه خاک بر اساس مدل اصلاح شده فرسایش خاک RUSLE بوده است. پارامترهای مورد استفاده در این مدل شامل: ۱- توان فرسایش دهی باران، ۲- قابلیت فرسایش پذیری خاک، ۳ و ۴- شیب (طول و مقدار شیب)، ۵- استفاده فعلی از سرزمین و ۶- تأثیر عملیات حفاظتی در محل هستند که هر کدام از طریق ضرایبی به مدل معرفی می شوند (معادله ۳).

معادله (۳) - مدل راسل:

$$E = R * K * L * S * C * P$$

برای به دست آوردن پارامتر توان فرسایش دهی باران از معادله (۴) استفاده شده است (Alizadeh, 2003):

معادله (۴) - ضریب فرسایش دهی باران:

$$R = \frac{\text{میانگین بارندگی سالانه}}{2}$$

جدول (۱) میزان ضریب K را که ضریب قابلیت فرسایش پذیری خاک نامیده می شود، بر حسب بافت خاک و میزان کربن آلی آن نشان می دهد.

نقشه ارزیابی توان هر کاربری به عنوان نقشه پتانسیل هر یک از کاربری ها است به طوری که ارزش هر پیکسل در این نقشه ها قابلیت آن پیکسل از سرزمین را برای اختصاص یافتن به آن کاربری در صورتی که تنها همان کاربری در محل مد نظر و مورد تقاضا باشد نشان می دهد. با این نگاه مقایسه تغییر در میزان فرسایش خاک و نیز قابلیت نگهداشت آب در منطقه مورد مطالعه (در هر واحد کاری سرزمین و نیز در کل منطقه) در صورتی که فرض شود کل منطقه در هر مرحله تنها به یک کاربری بر اساس توان و پتانسیل خود اختصاص یافته است، معیار گزینش و اختصاص آن واحد کاری به کاربری یا کاربری های مشخص است. با این وصف نقشه های مورد استفاده در این مطالعه شامل نقشه ارزیابی توان سرزمین برای هر یک از کاربری های مورد مطالعه، نقشه فرسایش خاک برای هر یک از کاربری ها و نقشه قابلیت نگهداشت آب برای هر یک از کاربری ها است.

لازم به ذکر است معیار اصلی تهیه نقشه فرسایش خاک بر اساس مدل اصلاح شده فرسایش خاک RUSLE بوده است و از حجم رواناب به دست آمده از روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) (Alizadeh, 2003)، نیز به عنوان معیاری برای قابلیت نگهداشت آب استفاده شده است. برای این منظور به طور مشخص از نرم افزار L-THIA استفاده شده است. نقشه واحدهای کاری سرزمین نیز از ترکیب نقشه وکتوری شکل زمین و کاربری اراضی فعلی حاصل شده است.

نقشه های توان سرزمین برای کاربری های مورد

جدول ۱- محاسبه ضریب K (Stewart et al., 1975).

میزان درصد کربن آلی			نوع بافت خاک
۴	۲	>۰/۵	
۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۳۸	لوم
۰/۳۳	۰/۴۲	۰/۴۸	سیلتی لومی
۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۶۰	سیلتی
۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۷	شنی رسی لومی
۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۸	رسی لومی
۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۳۷	سیلتی رسی لومی
۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴	شنی رسی
۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۵	سیلتی رسی
۰/۱۳-۰/۲			رسی
۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	شنی

بین صفر تا یک متغیر است. بالاترین مقدار آن نشان-دهنده عدم وجود پوشش گیاهی و در نتیجه فرسایش بیشتر و پائین ترین مقدار آن به معنی حداکثر پوشش گیاهی و در نتیجه فرسایش حداقل و یا عدم وجود فرسایش است. روش های مختلفی برای محاسبه آن وجود دارد که از جمله آنها استفاده از شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی<sup>۳</sup> است. Renard و Freimund (1994) و De Jong (1994) معادله (۵) را برای محاسبه مقدار C پیشنهاد نمودند.

معادله (۵)

$$C = 0.431 - 0.805 NDVI$$

مقدار شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی از ۱- تا ۱+ تغییر می کند که ۱- نشان دهنده حداقل

ضرایب L و S (ضرایب طول و تندی شیب) با بهره گیری از نرم افزار نوشته شده توسط Van Remortel و همکاران (2004) به دست آمد. این نرم افزار در زبان C<sup>++</sup> نوشته شده است. بسته نرم-افزاری فوق که شامل فایل اجرایی و کد منبع آن است از طریق آدرس اینترنتی <http://www.iamg.org/iamg-publications> قابل دریافت است (تاریخ دریافت ۲۶ نوامبر ۲۰۱۵). نقشه پایه مورد استفاده برای به دست آوردن نقشه ضریب طول و تندی شیب، نقشه مدل رقومی ارتفاع زمین است که پس از انجام اصلاحات اولیه برای استفاده در نرم افزار فوق به قالب فایل های ASCII درآمد. خروجی این نرم افزار شامل ۱۶ فایل از پارامترهای مختلف مرتبط از جمله ضریب LS در قالب .dat است.

مقدار ضریب C یا ضریب پوشش گیاهی نیز

<sup>۳</sup>- NDVI

پوشش گیاهی و ۱+ نشان‌دهنده حداکثر پوشش گیاهی در محل است. بنابراین، اگر فرض شود پوشش گیاهی منطقه بر حسب توان و پتانسیل آن منطقه برای هر کاربری شکل گرفته باشد می‌توان بر اساس دامنه ارزش‌های نقشه ارزیابی توان مربوط به هر کاربری، برآوردی از شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی انجام داد و از این برآورد در محاسبه مقدار C استفاده نمود. جدول (۲) معادلات استفاده شده در محاسبه مقدار برآوردی شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی در صورت اختصاص یافتن کل منطقه به هر یک از کاربری‌ها بر اساس توان و پتانسیل محلی را نشان می‌دهد. مقدار X در این معادلات برابر توان بالقوه محل و مقدار Y برابر شاخص استاندارد شده برآوردی پوشش گیاهی است.

مقدار ضریب P نیز که ضریب عملیات حفاظتی نامیده می‌شود با فرض اینکه هیچگونه عملیات حفاظتی در محل صورت نمی‌گیرد برابر با یک در نظر گرفته شد. به این ترتیب، با اجرای مدل RUSLE در نهایت سه نقشه فرسایش خاک جداگانه برای سه کاربری کشاورزی، مرتع و جنگل به دست آمد. در نهایت ارزش میانگین فرسایش احتمالی خاک در واحدهای کاری سرزمین محاسبه شد و به صورت سه ستون مربوط به ارزش میانگین فرسایش خاک در صورت اختصاص یافتن هر واحد کاری به کاربری‌های کشاورزی، مرتع یا جنگل به نقشه واحدهای کاری سرزمین اضافه شد.

جدول ۲- معادلات برآورد شاخص استاندارد پوشش گیاهی بر پایه توان و پتانسیل محلی هر کاربری

Y	معادله استفاده شده برای کاربری کشاورزی
Y	معادله استفاده شده برای کاربری جنگل
Y	معادله استفاده شده برای کاربری مرتع

انجام محاسبات فوق نیاز به سه نوع داده اصلی شامل نقشه کاربری اراضی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک و اطلاعات بارندگی دارد. نقشه‌های مورد استفاده در این نرم‌افزار در قالب رستری و بر اساس کدبندی خاصی به کار برده می‌شود. هدف در این مرحله تعیین میزان حجم رواناب تولیدی با این فرض است که در هر زمان بر اساس توان منطقه تنها یک کاربری در محل وجود داشته باشد. بنابراین، بر پایه دامنه ارزش‌های نقشه ارزیابی توان هر کاربری،

## ۲,۲ محاسبه حجم رواناب به عنوان معیاری برای

### قابلیت نگهداشت آب

در این خصوص میزان حجم رواناب تولیدی به عنوان معیاری از میزان قابلیت نگهداشت آب در نظر گرفته شده است، به این معنی که تولید رواناب بیشتر در یک محل به معنی میزان قابلیت نگهداشت آب کمتر در آن محل است. برای محاسبه حجم رواناب از نرم‌افزار L-THIA استفاده شد. این نرم‌افزار برای



مناطق دارای قابلیت ایجاد هر کاربری مشخص شده و نقشه گروهای هیدرولوژیک خاک نیز بر به یک نقشه رستری مطابق با کدبندی خاص برنامه اساس کدهای موجود در جدول (۴) به نقشه رستری L-THIA تبدیل شد (جدول ۳). تبدیل شد.

جدول ۳- چگونگی کدبندی نقشه کاربری اراضی در برنامه L-THIA (Engle et al., 2005).

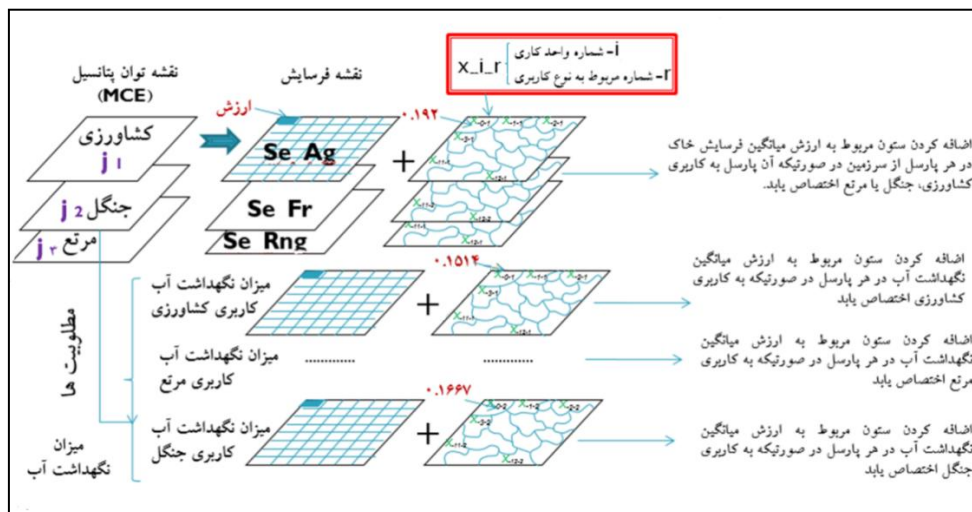
کد	نوع کاربری
3000	کشاورزی
5000	مناطق مسکونی کم تراکم
6000	مرتع
7000	جنگل

جدول ۴- چگونگی کدبندی نقشه گروهای هیدرولوژیک خاک در برنامه L-THIA (Engle et al., 2005).

کد	گروه‌های هیدرولوژیک خاک
۱	A
۲	B
۳	C

در نهایت به صورت معکوس مرتب شد. به این معنی که اگر اکنون واحد کاری X بیشترین حجم رواناب را دارد در مرتب کردن معکوس ارزش مربوط به کمترین حجم رواناب به عنوان معیاری از قابلیت نگهداشت آب در این واحد کاری به آن اختصاص یافت. به این ترتیب در نهایت سه ستون مربوط به قابلیت نگهداشت آب در صورت اختصاص یافتن کل منطقه به کاربری‌های کشاورزی، جنگل و مرتع در نقشه واحد های کاری سرزمین ایجاد شد. شکل (۲) به صورت خلاصه مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.

همچنین، در این مدل به داده‌های بارندگی ۳۰ سال نیاز بود که می بایست به صورت یک فایل متنی در قالب txt. در فرم خاصی به مدل معرفی می‌شد. داده‌های مورد استفاده در این بخش مربوط به ایستگاه هواشناسی فاضل‌آباد بوده که از نتایج تحقیقات Karimi و همکاران (۲۰۱۱) اتخاذ شده است. پس از تعیین نقشه حجم رواناب تولیدی هر کاربری، میانگین حجم رواناب در هر واحد سرزمین محاسبه شد. این مقدار در مقدار میانگین ارزش توان سرزمین برای هر کاربری در هر واحد کاری سرزمین ضرب و



شکل ۲- مراحل تهیه نقشه‌های پایه.

کاربری تعیین شدند. مقدار  $b_1$  نیز ظرفیت و حدی است که برای قابلیت نگهداشت آب در هر کاربری تعیین می‌شود. در این تحقیق این مقادیر از طریق فایل متنی فوق به سامانه LUMASS معرفی شد. همچنین، در این فایل می‌توان آن دسته از واحدهای کاری که دارای کاربری‌های خاصی هستند و نمی‌خواهیم در جریان محاسبات قرار گیرند را با تمهیداتی از محاسبات حذف نمود. این حالت به خصوص برای مناطق فعلی شهری که نمی‌خواهیم تغییری در موقعیت آنها صورت گیرد حائز اهمیت است.

در این مطالعه تخصیص بهینه کاربری‌ها در قالب دو سناریو انجام شد. در هر دو سناریو هدف آن بود که میزان فرسایش کل منطقه نسبت به شرایط پیش از به‌گزینی کاهش یابد. در سناریوی اول تخصیص بهینه کاربری‌ها با هدف کاهش بیش از ۵۰ درصدی فرسایش خاک در کل منطقه بدون هیچ محدودیتی

### ۳,۲ معرفی توابع هدف، معیارها و محدودیت‌ها

#### به سامانه LUMASS

مقادیر میانگین فرسایش و نگهداشت آب هر کاربری (کشاورزی، جنگل و مرتع) در هر واحد کاری سرزمین، به ترتیب ضرایب متغیرهای تصمیم‌گیری در تابع هدف و ضرایب فنی و اکولوژیکی در نامعادلات مربوط به محدودیت‌ها را تشکیل می‌دهند. اطلاعات فوق در قالب فایل متنی با پسوند .los به سامانه LUMASS معرفی می‌شوند. به طور معمول در برنامه‌ریزی خطی هر محدودیت معرفی شده به مدل شامل دو بخش اصلی، رابطه تابعی و عدد ثابت است که به وسیله یک علامت مساوی و یا نامساوی با هم ارتباط پیدا می‌کنند (به عنوان مثال  $a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \geq b_1$ ). مقادیر  $a_{1n}$  همان ضرایب فنی و اکولوژیکی هستند که از ستون‌های مربوط به میزان قابلیت نگهداشت آب برای هر

است به بعضی از واحدهای کاری بیش از یک کاربری اختصاص یابد. در این صورت در صد مساحت اختصاص یافته به هر کاربری توسط سامانه معرفی می‌شود.

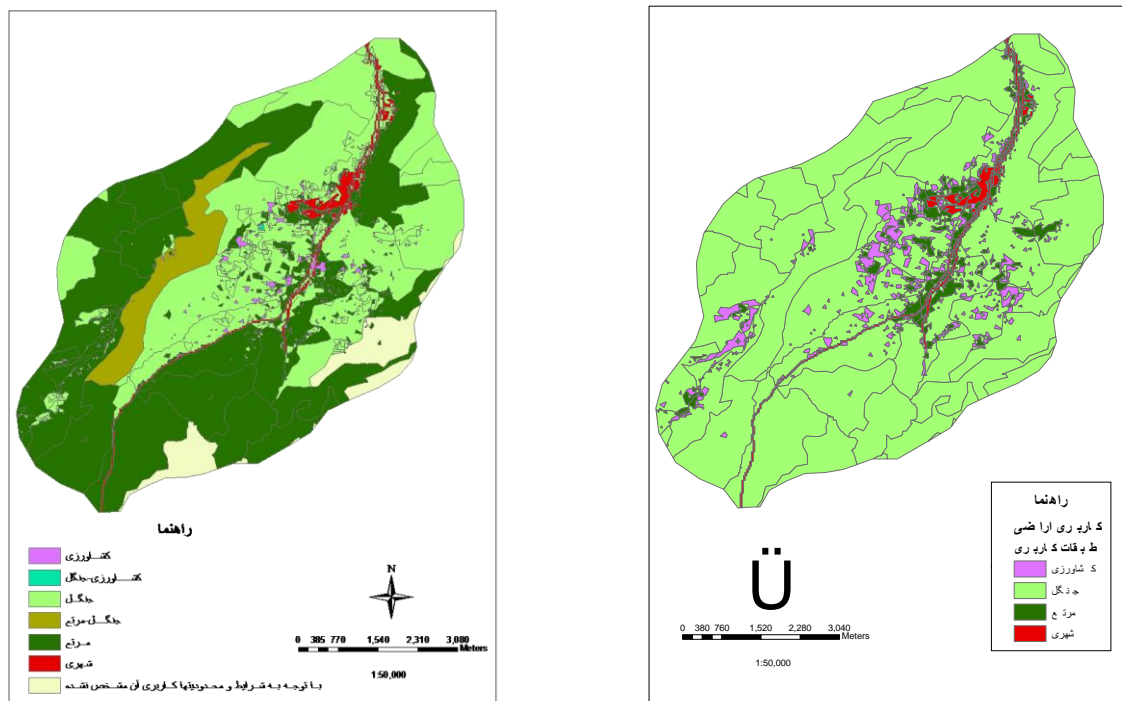
شکل (۴)، سمت چپ درصد مساحت اختصاص یافته به هر کاربری را قبل و بعد از به‌گزینی در سناریوی اول نشان می‌دهد. سمت راست نیز به مقایسه مقدار فرسایش خاک و قابلیت نگهداشت آب در کل منطقه قبل و بعد از به‌گزینی در سناریوی اول می‌پردازد.

شکل (۵) نقشه موقعیت کاربری‌ها را قبل (سمت چپ) و بعد (سمت راست) از به‌گزینی در سناریوی دوم و شکل (۶) درصد تغییرات کاربری‌ها قبل و بعد از به‌گزینی در سناریوی دوم (سمت چپ) و تغییرات میزان فرسایش و قابلیت نگهداشت آب در کل منطقه در این سناریو (سمت راست) را نشان می‌دهد.

در خصوص مساحت کاربری‌ها انجام شد. در سناریوی دوم تخصیص بهینه کاربری‌ها با هدف کاهش فرسایش خاک در شرایطی انجام شد که مقدار مساحت کاربری کشاورزی تا حد امکان در حد فعلی باقی بماند.

### ۳. نتایج

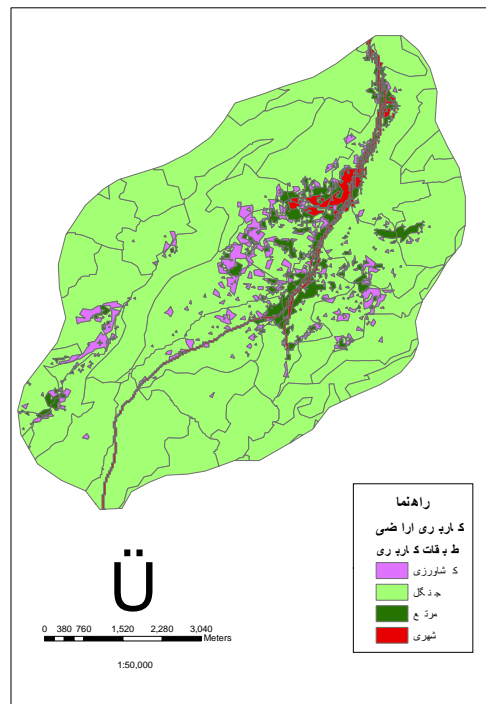
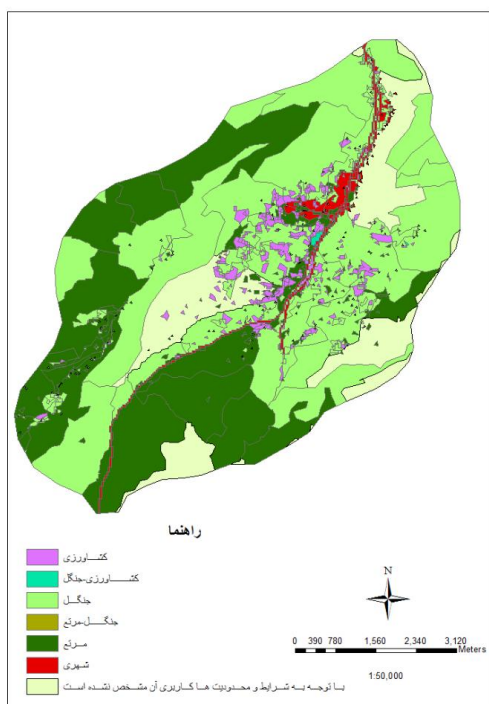
همانطور که پیش از این بیان شد متغیر تصمیم تابع هدف مطرح شده در سامانه LUMASS، مساحت کاربری‌ها در هر واحد کاری است. به این ترتیب خروجی مهم مورد انتظار این سامانه، سطح پیشنهادی هر یک از کاربری‌ها در هر واحد کاری است که به شکل جدول و نقشه ارائه می‌شود. شکل (۳) تغییر کاربری‌ها را قبل و بعد از اجرای مدل در سناریوی اول توسط سامانه LUMASS نشان می‌دهد. همانطور که در شکل شماره (۳) نیز مشخص است، در نقشه حاصل از به‌گزینی ممکن



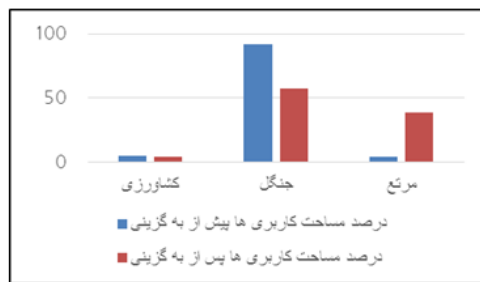
شکل ۳- موقعیت کاربری‌ها در سناریوی اول، قبل (سمت چپ) و بعد از به‌گزینی (سمت راست).



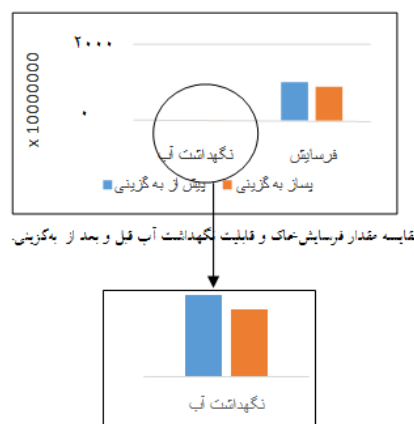
شکل ۴- درصد کاربری‌ها، تغییرات فرسایش و قابلیت نگهداشت آب قبل و بعد از به‌گزینی سناریوی ۱.



شکل ۵- موقعیت کاربری‌ها در سناریوی دوم قبل (سمت چپ) و بعد از به‌گزینی (سمت راست).



کاربری	درصد مساحت	
	قبل از به‌گزینی	بعد از به‌گزینی
کشاورزی	۴/۴۸	۱/۷۵
جنگل	۹۱/۸۲	۵۴/۵۵
مرتع	۳/۷۱	۴۳/۷۱



شکل ۶- درصد کاربری‌ها، تغییرات فرسایش و قابلیت نگهداشت آب قبل و بعد از به‌گزینی سناریوی ۲.

اختصاص یافته به کاربری مرتع نسبت به شرایط قبل از به‌گزینی ۴۰ درصد افزایش نشان می‌دهد، اما مساحت اختصاص یافته به کاربری کشاورزی و جنگل

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در سناریوی اول اگر چه میزان مساحت

هدف و محدودیت‌ها و مقادیری که برای آنها در نظر گرفته می‌شود، تعیین تکلیف برای برخی از اراضی منطقه امکان‌پذیر نیست. بنابراین، یافتن مقادیر سمت راست نامعادلات مربوط به محدودیت‌ها (که از طریق فایل متنی با پسوند .Ios. به سامانه معرفی می‌شود) که در اصطلاح ظرفیت‌های موجود برای دستیابی به هدف نامیده می‌شود و نیز مقادیر نهائی تابع هدف (در صورت تعیین) نیازمند بررسی بیشتری است.

در مقایسه با نتایج حاصل از تحقیقات پیشین، می‌توان گفت در اکثر مطالعات انجام شده رویکرد اقتصادی (حداکثر نمودن سود و درآمد حاصل از زمین) مهمترین انگیزه به کار رفته در به‌گزینی کاربری‌ها بوده است. اگر چه چنین نگاهی می‌تواند یکی از دلایل مهم انتخاب و گزینش کاربری‌ها در عرصه سرزمین باشد اما نمی‌تواند همواره به عنوان مهمترین عامل تلقی شود. وارد نمودن سایر جنبه‌ها و قابلیت‌های سرزمین در قالب خدمات اکوسیستم از جمله قابلیت نگهداشت آب، تولید غذا، پناه و زیستگاه‌های طبیعی، تولید خاک و یا جلوگیری از فرسایش آن، نقش کاربری‌های مختلف در پاکسازی هوا و موازات کربن و بسیاری موارد دیگر، رویکردی است که تحقیق حاضر سعی به شناساندن آن به منظور گنجاندن این نحوه نگاه در تحقیقات آتی در زمینه تخصیص بهینه کاربری‌ها دارد. همچنین مکانی نمودن تخصیص بهینه سرزمین همزمان با حداکثر و یا حداقل نمودن تابع هدف از جمله قابلیت‌های مهم برنامه معرفی شده فوق است. این همزمانی و یکپارچه نمودن اجرای مدل برنامه ریزی خطی در سامانه‌ای مکانی، نقطه قوتی است که در تحقیقات پیشین کمتر

بعد از به‌گزینی به ترتیب ۲/۷ و ۳۷/۲ در صد در مقایسه با شرایط قبل از به‌گزینی کاهش یافته است. با این حال میزان فرسایش خاک در کل منطقه بعد از به‌گزینی نسبت به شرایط قبل از به‌گزینی حدود ۶۱۵۰۰۰ تن، معادل حدود ۶۱ درصد کاهش نشان می‌دهد.

در سناریوی دوم میزان مساحت اختصاص یافته به کاربری کشاورزی تقریباً در حد قبل از به‌گزینی حفظ شده و تنها ۰/۶ درصد کاهش یافته و میزان مساحت اختصاص یافته به کاربری مرتع نیز حدود ۳۴ در صد افزایش یافته است اما میزان مساحت اختصاص یافته به کاربری جنگل حدود ۳۴ درصد کاهش یافته است. در این حالت میزان فرسایش خاک کل منطقه حدود ۹۴۰۰۰ تن یعنی تقریباً حدود ۱۰ درصد کاهش نشان می‌دهد.

در کنار نتایج به دست آمده، انتخاب بهترین شکل به‌گزینی بستگی به رویکرد مدیریتی منطقه دارد. این مسئله که حفظ و یا افزایش کدام کاربری به نفع کل منطقه است و یا هدف چه مقدار کاهش در فرسایش خاک منطقه و یا هر معیار دیگری که در تابع هدف است، همگی مسائلی است که در نتیجه به‌گزینی تأثیر گذار است. ضمن اینکه مسلم است دخالت معیارهای دیگری چون میزان درآمدزایی حاصل از اجرای کاربری‌های مختلف در منطقه و یا دیگر خدمات اکوسیستم در به‌گزینی لازم و ضروری است تا نتایج حاصل از آن را منطقی‌تر و مستندتر سازد. از دیگر مسائلی که به نظر می‌رسد نیاز به توجه بیشتری دارد و در شکل‌های (۳ و ۵) هم نشان داده شده است، این است که گاه با توجه به شرایط تابع

این مورد در کنار مزیت های بیشماری که به خصوص از نظر گسترش و بهبود مدل دارد، دشواری هائی برای استفاده از آن ایجاد می‌کند. استفاده از سامانه منبع باز (LUMASS) شاید به دلیل معرفی جدید، در ابتدای کار قرار دارد و کمتر از جانب محققان آزمون شده است. اگر چه «هرتزیگ»، برنامه نویسی این سامانه در تحقیقات متعدد از آن بهره برده است (Weeks *et al.*, 2014; Auseil *et al.*, 2012; ) (Herzig, 2008,2013) اما هنوز محققان بیشتری قابلیت های آن را مورد آزمون قرار نداده اند که شاید یکی از دلایل آن در کنار جدید بودن این سامانه، وابستگی آن به سیستم عامل لینوکس باشد که کمتر مورد استفاده کاربران است. با این حال به دلیل قابلیت مکانی این سامانه در تصمیم گیری چند هدفه و نیز فراهم بودن قابلیت ارتقاء آن به دلیل منبع باز بودن، بررسی بیشتر آن در تحقیقات آتی شایسته به نظر می رسد.

## References:

Alizadeh, A., (2003). Applied Hydrology Third ed., Publisher: AsetanGhodseRazavi. (in Persian)

Ausseil, A.-G.E., Dymond, J.R., Kirschbaum, M.U.F., Andrew, R.M., Parfitt, R.L., (2013). Assessment of the Multiple Ecosystem Services in New Zealand at the Catchment scale. Environmental Modelling and Software Journal. Vol. 43.

Ausseil, A.-G.E., Herzig, A., Dymond, J.R., (2012). Optimising Land use for Multiple Ecosystem Services Objectives: A case study in the Waitaki Catchment, New Zealand. International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixths

به آن پرداخته شده است. اگر چه همانطور که اشاره شد مدل معرفی شده در این تحقیق، تخصیص بهینه کاربری‌ها را در واحدهای سرزمین انجام می‌دهد. بدیهی است تقسیم‌بندی منطقه به واحدهای همگن می‌تواند یکی از نکات قابل بحث در این مدل باشد زیرا همگن‌سازی خود موجب از بین رفتن پاره‌ای از اطلاعات، ساده نمودن نحوه گزینش و به عبارتی نوعی پیش‌داوری و دستکاری در گزینش کاربری‌ها است. البته دلیل این امر را می‌توان در این واقعیت جستجو کرد که در گزینش رستری، تعداد واحدها و متغیرهای مورد بررسی بسیار زیاد خواهند بود. مدل برنامه‌ریزی خطی دارای محدودیت‌هایی در اجرا است که با افزایش تعداد متغیرها به روشنی این کمبود و محدودیت مشخص می‌شود. همچنین از دیگر مواردی که نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد محدودیت برنامه معرفی شده (LUMASS) از نظر قابلیت اجرا در سیستم عامل ویندوز است. برنامه فوق تنها در توزیع‌های لینوکس قابل اجرا است، از این رو شاید Biennial Meeting, Leipzig, Germany.

De Jong, S.M., (1994). Application of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies in a Mediterranean Environment. Utrecht: The Royal Dutch Geographical Society/ Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University.

Engle, B., Muthukrishnan, S., H, J., Pandey, Sh., Lim, K. J., Theller, L. (2005). L-THIA NPS. Purdue University

FallahShamsi, S R., (2010). Integrating Linear Programming And Analytical Hierarchical Processing in Raster-GIS to Optimize Land Use Pattern at Watershed Level. J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 14(2).

Foley, J.A., Defries, R., Anser, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. 2005. Global Consequences of Land use. *Science*. Vol. 309 (5734).

Herzig, Alexander., (2008). A GIS-based Module for the Multi-objective Optimization of Areal Resource Allocation. 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science, University of Girona, Spain.

Herzig, A., Ausseil, A., Dymond, J. (2013). Spatial Optimisation of Ecosystem Services. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.

Jalili, K H., Sadeghi, S. H. R., Nikkami, D., (2007). Land Use Optimization of Watershed for Soil Erosion Minimization Using Linear Programming (a Case Study of Brimvand Watershed, Kermanshah Province). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources Water and Soil Science*. Vol. 10(4). (in Persian).

Karimi, Sahebeh., M.S.C. Thesis. (2011). Mapping of Forest and rangeland Ecosystem Services in Golestan Province. Tehran University. (in Persian).

Renard, R.G., Freimund, Jeremy R., (1994). Using Monthly Precipitation data to estimate the R factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*. Vol. 157.

Salman Mahini, A., Shamanian, G., Khormali, F., Onagh, M., Vahed, S., Barani, H., Dehghani, A., MirKarimi, H., Najafinezhad, A., Sadoddin, A., Raghimi, M., Zare, A., Mehri, A., Kamyab, H., Momeni, I., Karimi, S., SaeedSabaee, M., Asadollahi, Z., Galdavi, S., Sedighi, E., Safarian, A., Saeidi, S., Sefidian S., Davar, L., Sheidaei., Naeimi, B., Abbasi., Jahanshahi, M., Gholami, N., (2012). Golestan Land use Planning (Current project).

Stewart, B. A., Woolhiser, D. A., Wischeneier, W. H., Caro, J. H., Freere, M. H., (1975). Control of Water Pollution from Cropland. Vol. I, Report EPA-600. US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

TEEB., (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Mainstreaming the Economics of Nature: a Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB.

Van Remortel, R., Maichle, R., Hickey, R., (2004). Computing the RUSLE LS Factor based on Array-based Slope Length Processing of Digital Elevation Data Using C++ Executable. *Computers and Geosciences* Vol. 30(9-11).

Weeks, Emily S., Mason, Norm., Ausseil, A A.-G.E., Herzig, Alexander., (2014). Chapter 1: Prioritising Land-Use Decisions for the Optimal Delivery of Ecosystem Services and Biodiversity Protection in Productive Landscapes. In Oscar Grillo (Ed). *Biodiversity- The dynamic Balance of the Planet* (378 pages). Publisher: InTech.



# Optimizing Land-use Allocation with respect to Ecosystem Services using Linear Programming

Maryam SaeedSabaee<sup>1\*</sup>, Rassoul SalmanMahiny<sup>2</sup>, Reza Gharibi<sup>3</sup>, Elnaz SaeedSabaee<sup>4</sup>

*1. Ph.D candidate in Environmental Science at Dept. of Environmental Science, Natural Resource Faculty, University of Gorgan, Iran*

*2. Assistant Professor, Dept. of Environmental Science, Natural Resource Faculty, University of Gorgan, Iran.*

*3. B. Sc. Student of Computer software engineering, Persian Gulf University, Iran*

*4. B. Sc in Computer software engineering, Qazvin Islamic Azad University, Iran*

Received: 3-Oct.-2014      Accepted: 3-Feb-2015

## Abstract

Nowadays, there is a growing interest in the issue of ecosystem services and the impact of human activities on them. Unfortunately, in many cases humans have followed economic development without paying due attention to ecosystem services. Hence, many negative changes in ecosystem services have been brought about by inappropriate land-use change and management practices. Parallel with these negative trends, quantifying and mapping ecosystem services and incorporating them into the land-use optimization process has also witnessed a lot of development. As such, ecosystem services have opened their way into the land-use planning and management process. This study attempts to examine how land-use allocation using linear programming can be enhanced with respect to soil erosion potential and water supply as two quintessential ecosystem services. The case study is located in a small part of Gorgan township. Land-use categories have been considered as different ecosystems with different capabilities for water supply and soil erosion control. The objective function used for the linear programming was based on soil erosion potential and water supply in each parcel of land. To implement the study, the land-use management support system (LUMASS) was used. The process was done in two scenarios to minimize the amount of soil erosion in comparison with the current situation. The aim of the first scenario of land-use allocation was a decrease of more than 50% in the amount of soil erosion without limiting the area of land-use categories. For the second scenario, we attempted to allocate land-use with the aim of keeping the area of agriculture as close as possible to its current coverage. Our results show that the amount of soil erosion in the first and the second scenario have respectively decreased by 61% and 10% in comparison with the non-optimized situation. However, the best configuration of the land-use depends on the management goals. In this context the primary concern is that which land-use categories must be kept, decreased or increased within the area to gain more overall benefit. Evidently, the desired decrease in soil erosion or appropriate changes in other criteria affect the results of land-use allocation.

**Key Words:** Ecosystem Services, Land-use Optimization, Land Management, Linear Programming, Land-use Management Support System (LUMASS).

---

\* Corresponding author: Tel: +98-9112308843,      E-mail: [sabaee.maryam1@gmail.com](mailto:sabaee.maryam1@gmail.com)