مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
جلد ۲۱ شماره ۱، صفحه ۱۵۲– ۱۳۵ (۱۴۰۲)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfrpr.2023.361728.1575
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350859.1402.21.1.8.9

# بهبود فرایند تخصیص کاربری زمین با تأکید بر پتانسیل عرضه خدمات اکوسیستم در حوزه آبخیز قره‌سو

فروغ‌السادات حبیبی[۱]، حمیدرضا کامیاب[۲*] و مژگان‌السادات عظیمی[۳]

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران. پست‌الکترونیک: kamyab.hr@gmail.com

۳- دانشیار، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۳

## چکیده

توسعه مناطق انسانی و فعالیت‌های بشر در طی زمان موجب تقاضا برای منابع طبیعی ازجمله استفاده از خدمات اکوسیستم و به‌دنبال آن تغییر کاربری زمین می‌شود. ازآنجایی‌که فرایند تخصیص کاربری موجب ارتباط بین محیط طبیعی و منابع انسانی می‌شود، رقابت میان کاربری‌هایی که در تعارض هستند در این فرایند از اهمیت بالایی برخوردار است. ابزارهای مختلفی برای رفع تعارض میان کاربری‌ها و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین استفاده می‌شوند. مدل CLUMONDO ابزاری است که با دخالت دادن خدمات اکوسیستمی متنوع در تخصیص و تغییر کاربری‌ها، به شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و پوشش زمین می‌پردازد. در این پژوهش، از این مدل برای پیش‌بینی میزان تغییرات تقاضا برای کاربری‌های اصلی حوزه آبخیز قره‌سو، برای دوره زمانی ۱۰ ساله (۱۴۱۰-۱۴۰۰) استفاده شد. متغیرهای شیب، جهت، ارتفاع، تعداد سلول شهری در همسایگی ۷*۷، دما، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از شهر و فاصله از جاده در این مدل استفاده شد. برای بهینه‌سازی در یک سناریو افزایش پتانسیل ترسیب کربن و افزایش مناطقی برای سکنی گزیدن به‌صورت همزمان بررسی شد. تجزیه‌وتحلیل نتایج با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Terrset و Arc GIS انجام شد. نتایج نشان داد، برای بهبود خدمات اکوسیستم در ۱۰ سال آینده (۱۴۱۰) کاربری انسان‌ساخت و جنگل متراکم روند افزایشی و اراضی جنگلی نیمه‌متراکم و کشاورزی به‌دلیل تبدیل به کاربری‌های دیگر کاهش یافته است. این مطالعه نشان داد که می‌توان تلفیقی از خدمات متنوع و گاهی متضاد را در کنار هم به گونه‌ای برآورد کرد که نیازهای انسانی نیز برآورده شود.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه‌سازی، ترسیب کربن، سکونتگاه انسانی، خدمات اکوسیستم، مدل CLUMONDO

## مقدمه

کاربری زمین شامل فعالیت‌هایی است که طی آن زمین برای هدفی خاص، توسط مردم مورد استفاده قرار می‌گیرد. تغییر کاربری زمین به معنی تغییر در کارکرد یک نوع خاصی از کاربری زمین (تغییر کیفی) و تغییر در ابعاد مکانی و وسعت آن کاربری (تغییر کمی) است (Dadashpour *et al*., 2015). با افزایش تقاضا برای کالاها و خدمات اکوسیستم این تغییرات ایجاد می‌شود. این تغییرات بر محیط‌زیست (مانند آلودگی آب و خاک)، رشد اقتصادی و ابعاد اجتماعی (مانند کیفیت زندگی و بهداشت) مؤثر است (Khalaji., 2021). با در نظر گرفتن محدودیت منابع محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی به‌منظور استفاده پایدار از زمین، بایستی برنامه‌ریزی در سطوح مختلف انجام شود (Sedighi *et al*., 2020). طی فرایند برنامه‌ریزی کاربری زمین تخصیص

کاربری‌ها یا فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، شهری، مراتع و غیره به واحدهای مشخص و معین در زمین دارای مقیاس فضایی معین انجام می‌شود (Jale Rajabi *et al.*, 2020). تغییر کاربری و پوشش زمین که بیشتر به‌دلیل فعالیت‌های انسانی است، باعث کاهش خدمات اکوسیستم نیز می‌شود (Kamyab & Shabani., 2019). تأمین تقاضای خدمات اکوسیستم، گاهی توسط چندین نوع کاربری فراهم می‌شود یا بعکس، یک نوع کاربری برای تأمین چندین تقاضا دخالت دارد. مدل‌سازی فرایند تخصیص کاربری زمین، فرایندی است که طی آن مناطق مناسب برای هر نوع کاربری با توجه به پتانسیل منطقه و میزان مساحت مورد نیاز برای هر طبقه کاربری زمین تخصیص داده خواهد شد. البته محاسبه میزان مساحت تخصیص‌یافته به هر کاربری در عمده مطالعات تخصیص کاربری زمین، بر تغییرات گذشته استوار است (مانند تحلیل زنجیره مارکوف). با توجه به نقش مهم میزان تغییر مساحت هر کاربری در بهینه‌سازی فرایند تخصیص، برای رفع نیازهای انسانی، در این پژوهش از رویکرد مبتنی بر خدمات اکوسیستم برای بررسی اثرهای تقاضا و مساحت مورد نیاز برای تخصیص استفاده شده است. بدین منظور، فرایند تخصیص کاربری زمین با تأکید بر خدمات اکوسیستم در حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از مدل CLUMONDO (The Conversion of Land Use on Mondial scale) اجرا شده است. نکته اصلی در استفاده از این مدل، دخالت دادن مفهوم خدمات اکوسیستم در محاسبه میزان مساحت مورد نیاز برای تخصیص کاربری‌ها است. مدل CLUMONDO با دخالت دادن میزان و کمیت تغییر در مساحت هر کاربری در بهینه‌سازی تغییر کاربری زمین برای رفع نیازهای انسانی مدلی است که به شبیه‌سازی تغییرات زمین با ترکیب چند کارکردی سیستم زمین می‌پردازد و این مدل را از ابزارهای دیگر متمایز می‌کند. دلیل تمایز هم در این نکته است که در سایر نرم‌افزارهای مشابه، تعیین کمّیت تغییرات به‌صورت مستقل انجام می‌شود. مدلی از خانواده مدل‌های CLUE است که نسخه‌های مختلف آن در مطالعات متعدد استفاده شده است. به‌عنوان نمونه، Sarparast و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات کاربری اراضی در تایباد–باخرز برای دو دوره (۱۹۷۷–۲۰۰۱، ۲۰۰۱–۲۰۱۶) با استفاده از مدل CLUE-S پرداختند. همچنین، در مطالعه Lagrosa IV و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییر کاربری زمین در حوزه آبخیز شهری تامپا در فلوریدا با استفاده از مدل DYNA-CLUE پرداخته شد.

تأثیر تغییرات کاربری خدمات اکوسیستم نیز با استفاده از مدل‌های CLUE بررسی شده است. نمونه‌ای از این مطالعات و خدمات مورد بررسی، در مطالعه Zare و همکاران (۲۰۱۷) با هدف بررسی اثر تغییر کاربری زمین روی فرسایش خاک در شمال ایران و در حوزه آبخیز کاسیلیان و تأثیر این تغییرات بر فرسایش خاک بررسی شده است. از مدل ترکیبی Markov-CLUE-S نیز در مطالعه Wenbo و همکاران (۲۰۲۰) برای بررسی اثرهای تغییر کاربری بر ذخیره کربن در چین استفاده شده است. Lamichhane و Shakya (۲۰۱۹) به بررسی تغییر کاربری و پوشش زمین و اثر آن بر آب‌های زیرزمینی در دره کاتماندو نپال با استفاده از مدل CLUE-S به مطالعه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر خدمات اکوسیستم نگهداشت خاک و تولید مواد غذایی در ووهان چین پرداختند. استفاده از مدل CLUMONDO نیز در مطالعه Zhu و همکاران (۲۰۲۰) با هدف بررسی الگوی کاربری زمین و خدمات اکوسیستم با توجه به سناریوهای مختلف در منطقه هورقین شمال چین برای سال ۲۰۲۵ انجام شده است. در این مطالعه، تغییرات کاربری زمین در رابطه با امنیت غذایی، تولید دام و نیازهای مدیریت باد و ماسه بررسی شده است.

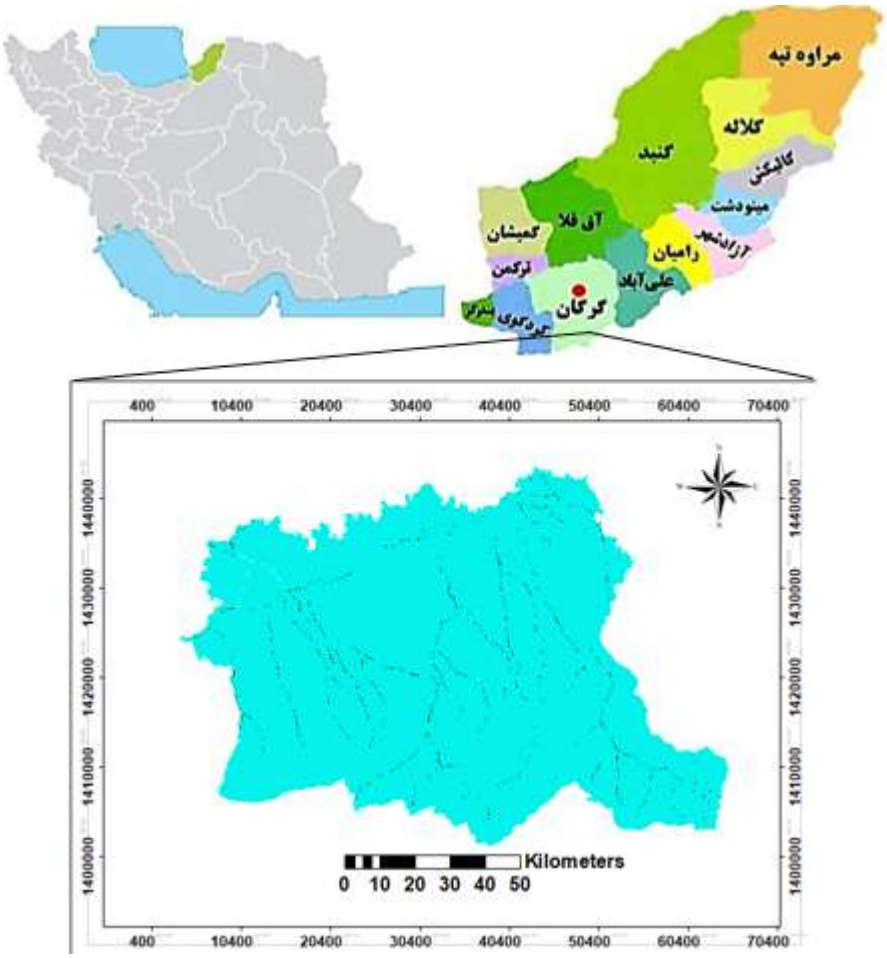
با توجه به مطالب ارائه‌شده هدف از این تحقیق، بهبود فرایند تخصیص کاربری زمین با تأکید بر خدمات اکوسیستم در حوزه آبخیز قره‌سو با استفاده از مدل CLUMONDO است. با توجه به اینکه هر کاربری یک یا چند خدمت اکوسیستم فراهم می‌کند و به‌منظور افزایش ترسیب کربن و مناطقی برای سکنی‌گزینی به‌عنوان دو خدمت اکوسیستم

اساسی در جهت تأمین نیاز انسانی از دو سناریو استفاده شد. در سناریوی اول از دو خدمت تنظیمی اکوسیستم، افزایش پتانسیل ترسیب کربن و افزایش مناطق انسان‌ساخت به‌صورت همزمان شبیه‌سازی برای منطقه مطالعاتی انجام شد. در سناریوی دوم، دو خدمت اکوسیستم به‌صورت مجزا در شبیه‌سازی استفاده شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قره‌سو با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه و ۹۲ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۳ دقیقه و ۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۲ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲۲ ثانیه، دارای مساحت ۱۶۱۳۴۹ هکتار است (شکل ۱). شهرستان گرگان به‌عنوان مرکز استان گلستان در این حوزه قرار دارد. غالب فعالیت در مناطق روستایی شهرستان مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است و از مهمترین فعالیت‌های اقتصادی شهرستان می‌باشد که به‌صورت سالانه نزدیک به هفتاد هزار هکتار از اراضی شهرستان به کشت محصولات زراعی دیم و آبی اختصاص می‌یابد (Amar-golestanmporg, 2019).

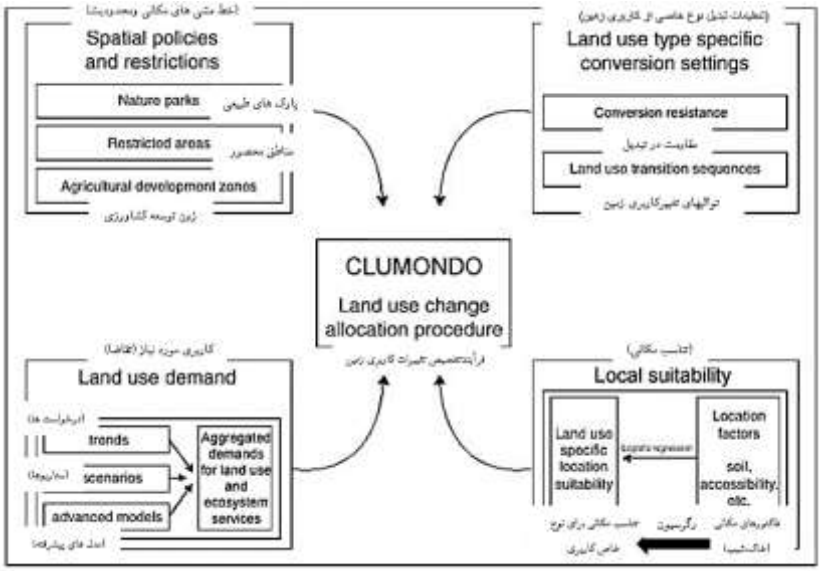



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

**Figure 1. Geographical location of the study area**

**روش تحقیق**

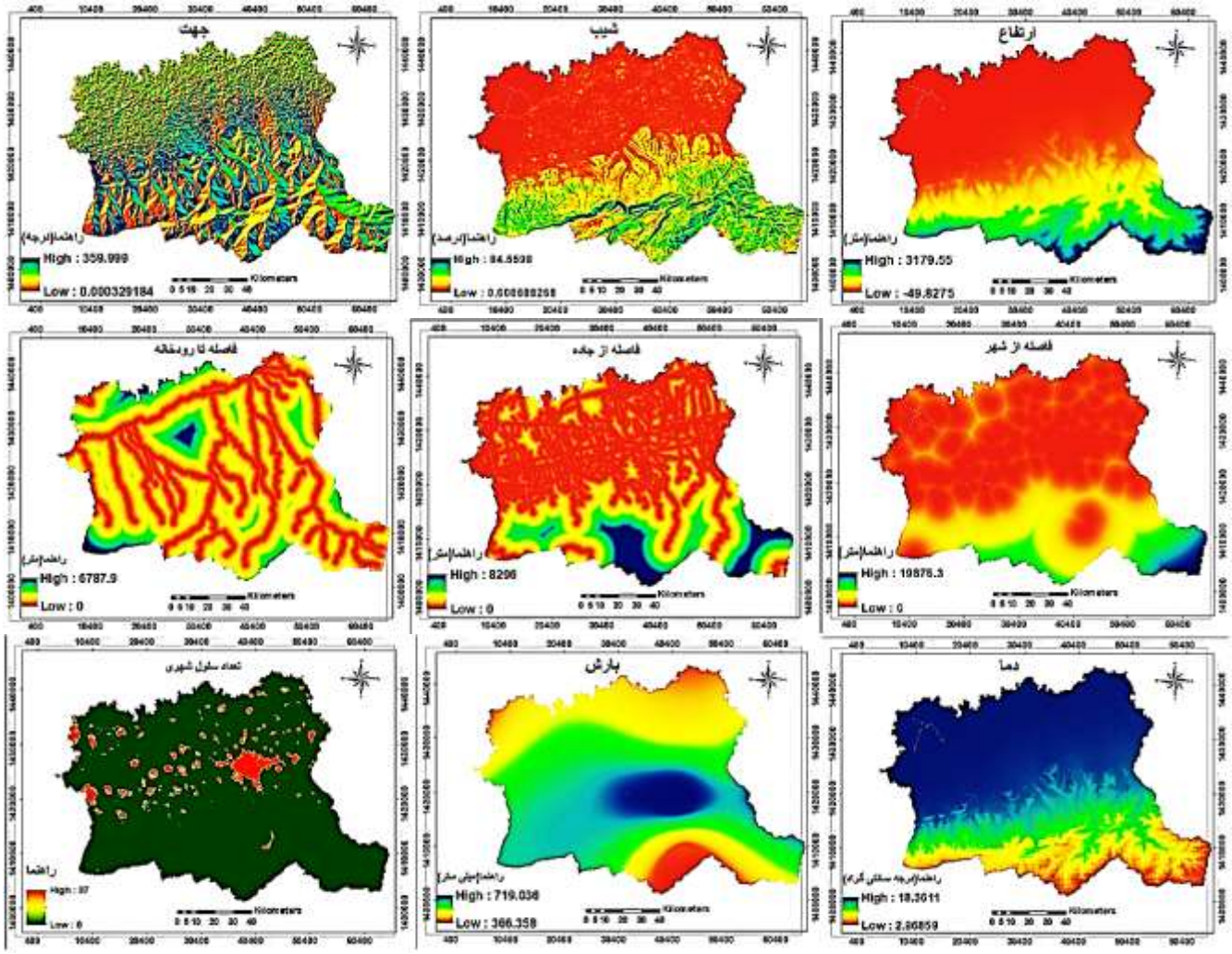
CLUMONDO به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات در سطح زمین و تغییر در شدت استفاده از زمین طراحی شده است و می‌تواند تخصیص را بر مبنای خدمات متنوع حاصل از یک یا چند کاربری تشریح کند. فرایند تخصیص کاربری در این مدل دارای دو بعد اساسی است. در بعد اول (تقاضای غیرمکانی) که برای برآورد میزان تغییر کاربری مطلوب در نظر گرفته شده است، از رویکرد مبتنی بر خدمات اکوسیستم استفاده می‌شود (Van Vliet & Verburg, 2018). این نحوه تخصیص، ویژگی و وجه تمایز این مدل با سایر مدل‌هاست. در بیشتر مدل‌های تغییر کاربری، روند تغییرات گذشته به‌عنوان الگوی تغییرات در آینده در نظر گرفته شده است. اما در این مدل، رویکرد کمّی‌سازی مساحت تغییرات، مبتنی بر دستیابی به خدمات اکوسیستم منتخب در منطقه است. بعد دوم فرایند تخصیص، شامل تخصیص مکانی کاربری‌ها (تخصیص صریح مکانی) براساس تناسب مناطق برای هر کاربری است. برای دستیابی به میزان تناسب هر منطقه، برای هر کاربری از روش رگرسیون لجستیک استفاده شده است. در این مدل، تغییرات براساس روابط کمی تجربی بین کاربری زمین و عوامل محرک آن به همراه مدل‌سازی رقابت بین انواع مختلف کاربری زمین به‌صورت پویاست. فرایند تخصیص کاربری با استفاده از مدل CLUMONDO در شکل (۲) نشان داده شده است.




**شکل ۲- فرایند تخصیص کاربری زمین در CLUMONDO**

**Figure 2. Land use allocation process in CLUMONDO**

برای اجرای رگرسیون لجستیک برای هر طبقه کاربری، از ۹ متغیر شامل شیب، جهت، ارتفاع، تعداد سلول شهری در همسایگی ۷*۷ هر سلول شهری در شبکه رستری، دما، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از شهر و فاصله از جاده استفاده شده است (شکل ۳). لایه‌های شیب و جهت از مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) استخراج شده است. با استفاده از نقشه کاربری زمین منطقه (Ranjbar & Kamyab, 2021) و انجام به‌روزرسانی کاربری‌ها در منطقه، نقشه کاربری سال ۱۴۰۰ منطقه تهیه گردید. متغیرهای فاصله از جاده، رودخانه و شهر با استفاده از محاسبه فاصله اقلیدسی و تابع Distance در محیط GIS از نقشه کاربری زمین تهیه شد. با استفاده از توابع تحلیل بافت و بر مبنای سلول‌های شهری سال ۱۴۰۰ منطقه، نقشه تعداد سلول‌های شهری در هر پنجره تحلیلی ۷*۷ تهیه شد. با استفاده از درون‌یابی خطوط هم‌دما و هم‌بارش از دو متغیر دما و بارش استفاده گردید.

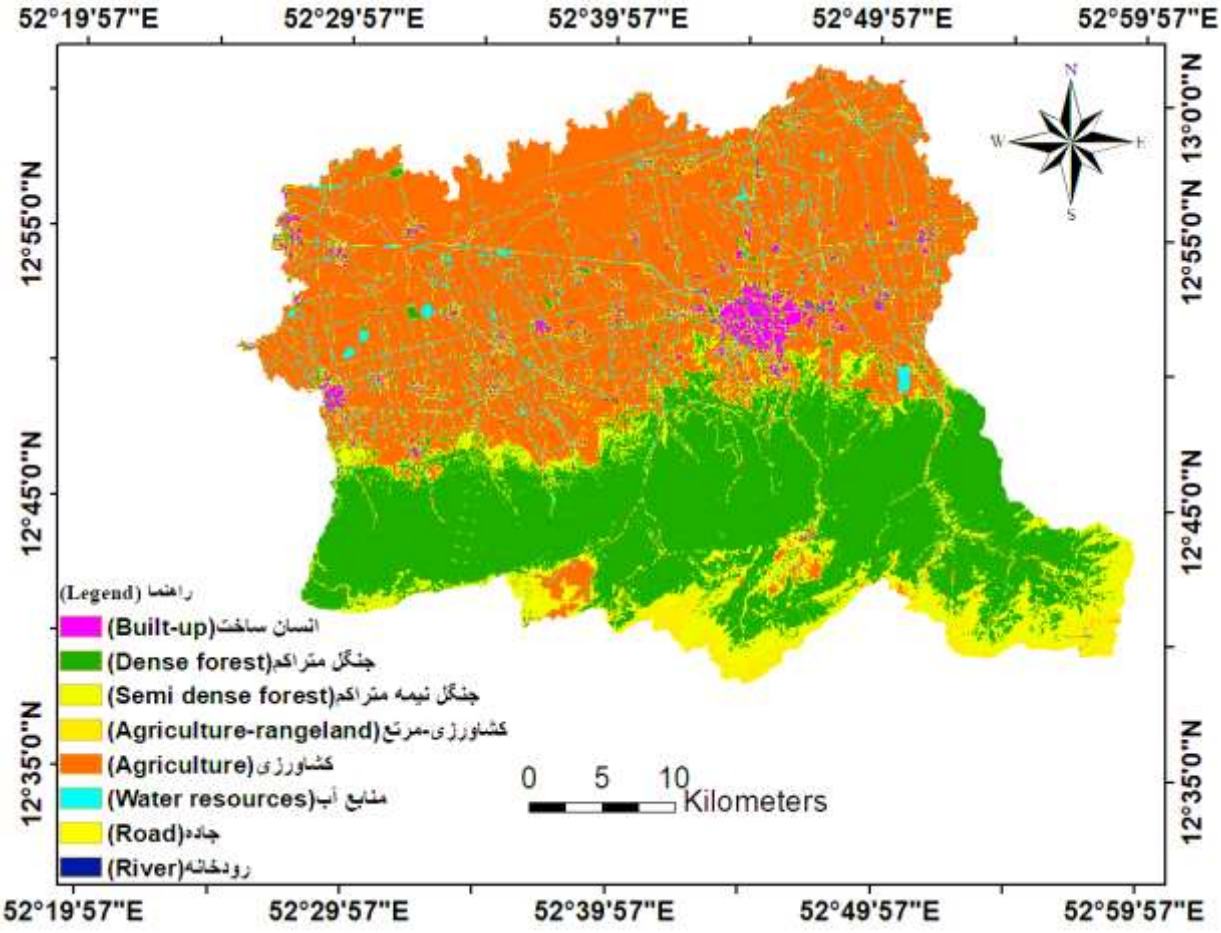



شکل ۳- نقشه متغیرهای مورد استفاده در مدل رگرسیون لجستیک

**Figure 3. Map of the variables used in the logistic regression model**

برای هر کاربری و با توجه به معناداری ضریب متغیرها، انتخاب پارامترهای رگرسیون (متغیرهای انتخابی) انجام شده است. براین‌اساس، تعداد، تنوع و ضرایب متغیرها برای هر کاربری متفاوت است. مدت شبیه‌سازی در این مطالعه برای ۱۰ سال (۱۴۱۰-۱۴۰۰) در نظر گرفته شده است. سال ۱۴۰۰ به‌عنوان سال پایه (شکل ۴) و سال ۱۴۱۰ به‌عنوان سال پایان شبیه‌سازی استفاده شد.

با توجه به جدول ۱ بیشترین وسعت پوشش اراضی در منطقه مطالعاتی در سال ۱۴۰۰، اراضی کشاورزی با مساحت ۴۸/۲۱ درصد است. بعد از آن، جنگل متراکم و نیمه‌متراکم با ۴۲/۲۸ درصد در جایگاه دوم قرار دارند.




**شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال پایه (۱۴۰۰)**

**Figure 4. Land use map of the base year (2020)**

برای دخالت دادن خدمات اکوسیستم جهت تخصیص کاربری، میزان مساحت لازم برای تغییر کاربری براساس افزایش دو خدمت اکوسیستم (ترسیب کربن و سکونتگاه انسانی) تعریف شد. از نیازهای اساسی اجرای مدل در بخش خدمات اکوسیستم، استخراج ضرایب خدمات براساس هر طبقه کاربری زمین است. ارتباط بین خدمات اکوسیستم، همچنین طبقات مختلف کاربری اراضی با استفاده از ضرایب خدمات برای هر طبقه انجام می‌شود. جدول ۲ ضرایب مورد استفاده برای محاسبه خدمات منتخب را نشان می‌دهد (Kamyab., 2021). براساس ضرایب فقط کاربری انسان‌ساخت قادر به تأمین تقاضای خدمت سکونتگاه انسانی است. از میان پنج کاربری که در تأمین تقاضای خدمت ترسیب کربن دخالت دارند، کاربری جنگل متراکم و انسان‌ساخت به‌ترتیب از بیشترین و کمترین میزان برخوردارند.

**جدول ۱- مساحت اراضی کاربری سال ۱۴۰۰**

**Table 1. The area of land use in 2020**

| کاربری<br>**Landuse** | مساحت بر حسب هکتار<br>**Area (hr)** | درصد مساحت از کل<br>**Area (%)** |
|---|---|---|
| انسان‌ساخت<br>Man-made | 5241.86 | 3.24 |
| جنگل متراکم<br>Dense forest | 54853.13 | 33.98 |
| جنگل نیمه‌متراکم<br>Semi dense forest | 13408.76 | 8.30 |
| کشاورزی-مرتع<br>Agriculture-Pasture | 3364.01 | 2.08 |
| کشاورزی<br>Agriculture | 77833.49 | 48.21 |
| منابع آب<br>Water resources | 538.25 | 0.33 |
| جاده<br>Road | 4796.06 | 2.97 |
| رودخانه<br>River | 1391.73 | 0.86 |

**جدول ۲- ضرایب خدمات اکوسیستم (Kamyab, 2021)**

**Table 2. Coefficients of ecosystem services**

| کاربری<br>**Land use** | مناطق برای سکنی گزیدن (نفر در سلول)<br>**Built-Up (People)** | ترسیب کربن (تن در هر سلول)<br>**Carbon sequestration (Ton)** |
|---|---|---|
| انسان‌ساخت<br>Built-Up | 9.47 | 0.15 |
| جنگل متراکم<br>Dense forest | - | 13 |
| جنگل نیمه‌متراکم<br>Semi dense forest | - | 9.8 |
| مرتع- کشاورزی<br>Agriculture-Pasture | - | 4.5 |
| کشاورزی<br>Agriculture | - | 1.9 |
| منابع آب<br>Water resources | - | - |
| جاده<br>Road | - | - |
| رودخانه<br>River | - | - |

براساس ضرایب جدول ۲، میزان کلی خدمات ترسیب کربن و سکونتگاه انسانی براساس لایه کاربری زمین سال ۱۴۰۰ و ضرب ضرایب در میزان مساحت کاربری‌ها استخراج گردید. طی یک دوره ۱۰ ساله و براساس یک سناریوی افزایشی (افزایش پتانسیل ترسیب کربن در منطقه)، افزایش سکونتگاه انسانی با توجه به رشد جمعیت در منطقه و نیاز به ساخت‌وساز جدید، از تقاضای خدمات جدول ۳ استفاده شد. اعداد جدول براساس مجموع ضرایب هر خدمت و میزان مساحت خدمت به دست آمده است. به‌عبارت‌دیگر، مجموع خدمات حاصل از هر طبقه کاربری در منطقه است.

**جدول ۳- میزان تقاضا برای هر سال**

**Table 3- The amount of demand for each year**

| خدمت اکوسیستم (Ecosystem services) / سال (Year) | ترسیب کربن (بر حسب میلیون تن) Carbon sequestration (million tons) | سکونتگاه انسانی (بر حسب جمعیت) Built-Up (People) |
|---|---|---|
| سال پایه (۱۴۰۰) The base year (2020) | 10.9075 | 536324 |
| سال پایه (۱۴۰۵) Year (2025) | 10.9087 | 536449 |
| سال پایان شبیه‌سازی (۱۴۱۰) The last year of simulation (2030) | 10.9100 | 536700 |

**جدول ۴- ماتریس تبدیل هر کاربری**

**Table 4- Conversion matrix of each user**

| کاربری Land use | انسان‌ساخت Man-made | جنگل متراکم Dense forest | جنگل نیمه‌متراکم Semi dense forest | کشاورزی- مرتع Agriculture-Pasture | کشاورزی Agriculture | منابع آب Water resources |
|---|---|---|---|---|---|---|
| انسان‌ساخت Man-made | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| جنگل متراکم Dense forest | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| جنگل نیمه‌متراکم Semi dense forest | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| کشاورزی- مرتع Agriculture-Pasture | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| کشاورزی | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Agriculture** منابع آب **Water resources** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

توجه به مدیریت و تغییرات کاربری از نکات قابل توجه در فرایند تخصیص کاربری است. بدین منظور، می‌توان با اختصاص ضرایب تغییرات، روند تغییرات را مدیریت کرد. با استفاده از ماتریس تبدیل کاربری زمین در مدل CLUMONDO این امکان فراهم می‌شود که با توجه به تعامل و ویژگی زمانی بین کاربری‌ها، تبدیل مجاز و غیرمجاز کاربری‌ها کنترل شود. عدد صفر نشان‌دهنده تبدیل غیرمجاز کاربری (برای نمونه، منابع آبی قابلیت تبدیل به کاربری دیگر را ندارند) و عدد یک تبدیل مجاز کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. ماتریس تبدیل کاربری زمین از سال پایه تا سال ۱۴۱۰ در جدول ۴ نشان داده شده است. تمام تحلیل‌های آماری رگرسیونی نیز در نرم‌افزار CLUMONDO انجام شده است.

## نتایج و بحث

فرایند تخصیص کاربری با استفاده از مدل CLUMONDO دارای دو بعد تخصیص غیرمکانی (بر مبنای خدمات اکوسیستم) و تخصیص مکانی (براساس احتمال تغییر بر مبنای مدل رگرسیون لجستیک) است. به‌منظور شبیه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از مدل CLUMONDO، ابتدا میزان تقاضای هر سال برای هر خدمت با استفاده از جدول ضرایب اکوسیستمی استخراج می‌شود. برای محاسبه تقاضای کاربری برای دوره ۱۰ ساله (۱۴۱۰-۱۴۰۰) کمّیت تغییرات براساس تحلیل‌های تجربی و روابط بین خدمات اکوسیستم و تعداد سلول هر کاربری در طی این دوره مشخص شده است. تخصیص کاربری در این مدل با توجه به میزان تقاضا تغییر می‌کند، تاآنجایی‌که با میزان تقاضای مد نظر برابر شود (بعد غیرمکانی). استفاده از رگرسیون لجستیک این امکان را فراهم می‌کند تا مدل فرایند تخصیص را براساس قابلیت‌های سرزمینی انجام دهد. در رگرسیون لجستیک، متغیر وابسته یک متغیر دوگانه است که برای هر طبقه کاربری به‌صورت مستقل اجرا می‌شود. با استفاده از تحلیل رگرسیون لجستیک، رابطه رگرسیونی مناسب برای هر طبقه کاربری برای تخصیص استخراج شد. ضرایب ثابت و متغیر حاصل از رابطه رگرسیونی پس از بررسی همبستگی بین متغیرها، همچنین بررسی هم‌راستایی چندگانه، در جدول ۵ نشان داده شده است. از نه متغیر وابسته استفاده‌شده در معادلات رگرسیون لجستیک، تنها به متغیرهای مؤثر و معنادار برای هر طبقه کاربری در جدول ۵ اشاره شده است.

شش متغیر مستقل در رابطه رگرسیونی کاربری انسان‌ساخت انتخاب شده است. سه متغیر فاصله از جاده، فاصله از مناطق انسان‌ساخت و تعداد سلول شهری نیز ضریب معناداری آنها بالای ۰/۰۵ درصد بوده است و به‌همین دلیل از رابطه حذف شدند. از میان شش فاکتور منتخب، توسعه مناطق انسان‌ساخت با متغیرهای بارش و جهت رابطه مستقیم دارد. به‌عبارتی مناطقی که دارای بارش و جهت بیشتری هستند، مناطق انسان‌ساخت در آن نواحی گسترش می‌یابند. با چهار متغیر دما، فاصله تا رودخانه، ارتفاع و شیب رابطه معکوس دارد. بارش و دما به‌ترتیب از بیشترین ضرایب مثبت و منفی برخوردارند. این ضرایب نشان می‌دهد، مناطقی که دارای بارش بیشتر و دمای کمتری هستند اثر بیشتری را در گسترش نواحی انسان‌ساخت دارند. اراضی جنگلی متراکم با دو فاکتور بارش و شیب رابطه مستقیم دارد. در نواحی دارای میزان بارش و شیب بیشتر، اراضی جنگلی متراکم تمرکز دارند. این مناطق با پنج متغیر تعداد سلول شهری، فاصله تا رودخانه، دما، ارتفاع و جهت رابطه معکوس دارد. شیب و دما به‌ترتیب بیشترین میزان ضرایب مثبت و منفی را دارند. به‌عبارتی مناطق دارای شیب بیشتر و دمای کمتر نیز بر تمرکز این کاربری اثر بیشتری می‌گذارند. اراضی جنگلی نیمه‌متراکم با سه متغیر دما، بارش و ارتفاع رابطه مستقیم دارند. با افزایش این سه متغیر در ناحیه مطالعاتی، اراضی جنگلی نیمه‌متراکم افزایش می‌یابند. از میان هفت فاکتور منتخب در رابطه رگرسیونی اراضی کشاورزی-

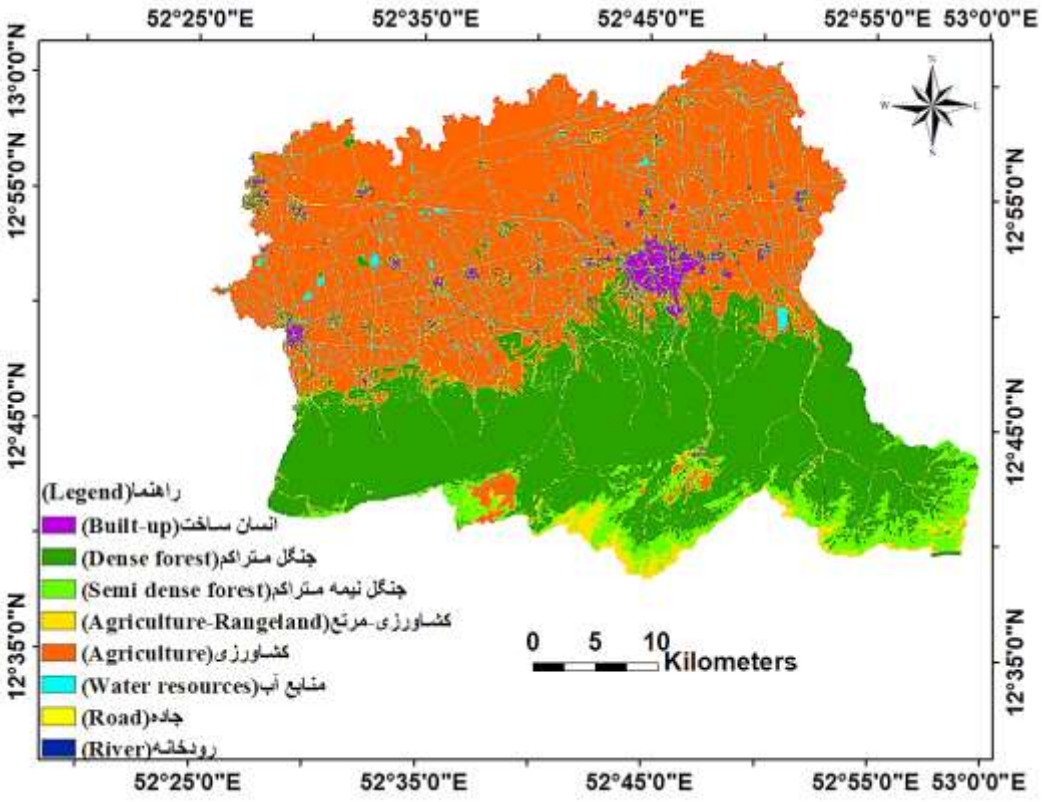
مرتع، تعداد سلول شهری و ارتفاع دارای رابطه مستقیم هستند. پنج متغیر فاصله تا رودخانه، دما، بارش، جهت و شیب دارای رابطه معکوس هستند. در مناطقی که تعداد سلول شهری تمرکز بیشتری دارد و دما در آن نواحی کمتر است بر پراکنش این اراضی مؤثرتر هستند. اراضی کشاورزی با دو فاکتور فاصله تا رودخانه و دما رابطه مستقیم دارد. دو متغیر ارتفاع و جهت دارای ضریب معناداری بالای ۰/۰۵ درصد بوده است و از رابطه رگرسیونی حذف شدند.

**جدول ۵- ضرایب رگرسیون و متغیرها برای هر کاربری زمین**

**Table 5- Regression coefficients and variables for each landuse**

| کاربری<br>Land use | ضریب ثابت<br>constant coefficient | ضریب متغیر<br>**Variable coefficient** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| انسان‌ساخت<br>Man-made | 60.45 | دما<br>Temperature | -3.70 | ارتفاع<br>Altitude | -0.01 |
| | | بارش<br>Precipitation | 0.004 | شیب<br>Slope | -0.2 |
| | | فاصله تا رودخانه<br>Distance to the river | -0.0001 | جهت<br>Aspect | 0.0003 |
| جنگل متراکم<br>Dense forest | 29.46 | تعداد سلول شهری<br>Number of urban cells | -0.37 | ارتفاع<br>Altitude | -0.01 |
| | | فاصله تا رودخانه<br>Distance to the river | -0.0001 | شیب<br>Slope | 0.2 |
| | | دما<br>Temperature | -2.26 | جهت<br>Aspect | -0.0005 |
| | | بارش<br>Precipitation | 0.01 | – | – |
| جنگل نیمه‌متراکم<br>Semi dense forest | -7.02 | تعداد سلول شهری<br>Number of urban cells | -0.12 | ارتفاع<br>Altitude | 0.002 |
| | | فاصله تا رودخانه<br>Distance to the river | -0.0002 | شیب<br>Slope | -0.02 |
| | | دما<br>Temperature | 0.1 | جهت<br>Aspect | 0.0007 |
| | | بارش<br>Precipitation | 0.001 | – | – |
| کشاورزی- مرتع<br>Agriculture-Pasture | 5.92 | تعداد سلول شهری<br>Number of urban cells | 0.1 | ارتفاع<br>Altitude | 0.0008 |
| | | فاصله تا رودخانه | -9.97e-005 | شیب | -0.1 |

| کاربری Land use | ضریب ثابت constant coefficient | ضریب متغیر Variable coefficient | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | دما Temperature | -0.69 | جهت Aspect | -0.002 |
| | | بارش Precipitation | -0.004 | – | – |
| کشاورزی Agriculture | 2.83 | تعداد سلول شهری Number of urban cells | -0.16 | دما Temperature | 0.21 |
| | | فاصله تا رودخانه Distance to the river | 0.0002 | بارش Precipitation | -0.007 |
| | | فاصله از جاده Distance to the road | -0.0004 | شیب Slope | -0.22 |




شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۰

**Figure 5. Land use map of 2030**

مدل براساس خدمات منتخب و ضرایب رگرسیونی اجرا و نتایج تخصیص برای سال ۱۴۱۰ (شکل ۵) پیش‌بینی شد. در نقشه پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۱۰، میزان خدمت ترسیب کربن از ۱۰/۹۰۷۵ میلیون تن در سال ۱۴۰۰ به ۱۰/۹۱۰۰ میلیون تن در سال ۱۴۱۰ افزایش یافته است. این افزایش در خدمت سکونتگاه انسانی نیز رخ داده است و این خدمت از ۵۳۶۳۲۴ نفر در سال ۱۴۰۰ به ۵۳۶۷۰۰ نفر در سال ۱۴۱۰ رسیده است (براساس جمعیت مناطق موجود در مرز حوزه). بعد از شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی توسط مدل CLUMONDO میزان تغییرات در طی دوره ۱۰ ساله و براساس نقشه سال ۱۴۰۰ و سال ۱۴۱۰ بررسی شده است (شکل ۶). ذکر این نکته لازم است که این تغییرات، تغییرات مطلوب برای دستیابی به اهداف پیش‌بینی‌شده خدمات اکوسیستمی را نشان می‌دهد و متفاوت با تغییرات طبیعی مورد نظر است. بنابراین، بررسی صحت این نتایج مبتنی بر درستی فرایند مدل‌سازی است و مقایسه نتایج با نتایج مدل‌سازی تغییرات واقعی کاربری در این مطالعه انجام نشده است.

**جدول ۶- مساحت اراضی کاربری سال ۱۴۱۰**

**Table 6- Area of land use in 2030**

| کاربری<br>**Land use** | مساحت بر حسب هکتار<br>**Area (hr)** | درصد مساحت از کل<br>**Area (%)** |
|---|---|---|
| **انسان‌ساخت**<br>Man-made | 5363.08 | 3.32 |
| جنگل متراکم<br>Dense forest | 59568.01 | 36.90 |
| جنگل نیمه‌متراکم<br>Semi dense forest | 10126.69 | 6.27 |
| کشاورزی-مرتع<br>Agriculture-Pasture | 2796.33 | 1.73 |
| کشاورزی<br>Agriculture | 76523.90 | 47.40 |
| منابع آب<br>Water resources | 861.51 | 0.53 |

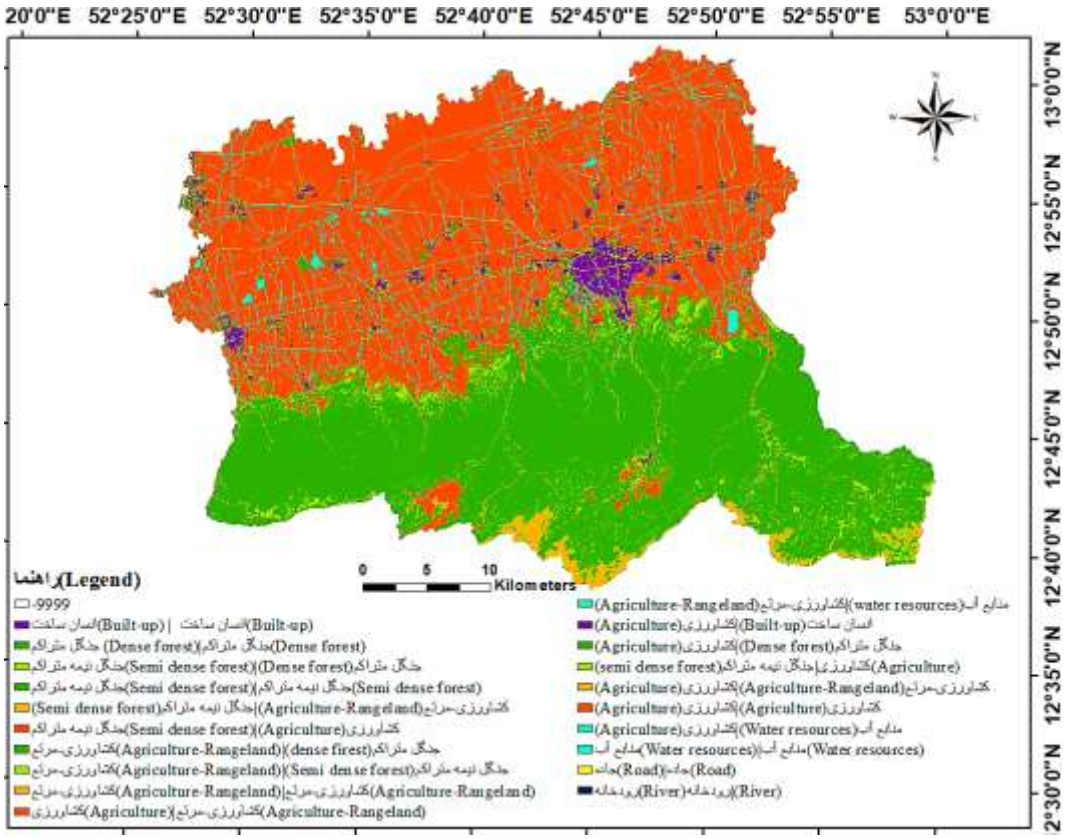
با توجه به جدول ۶ و براساس ماتریس ترتیب تبدیل، کاربری جنگل متراکم، اراضی انسان‌ساخت، منابع آب، جاده و رودخانه یا قابلیت تبدیل به کاربری‌های دیگر را ندارند (مانند جاده و رودخانه)، یا مجاز به تغییر نیستند (مانند جنگل)، به همین دلیل مساحت جنگل متراکم طی مدت شبیه‌سازی به میزان ۲/۹۲ درصد افزایش یافته است. مساحت اراضی جنگلی نیمه‌متراکم ۲/۰۳ درصد کاهش یافته است. مساحت مناطق انسان‌ساخت با توجه به افزایش جمعیت ۰/۰۷ درصد افزایش یافته است. مساحت اراضی کشاورزی نیز ۰/۸۱ درصد کاهش یافته است.

| | انسان ساخت (Built-up) | جنگل متراکم (Dense forest) | جنگل نیمه متراکم (Semi dense forest) | کشاورزی-مرتع (Agriculture-Rangeland) | کشاورزی (Agriculture) | منابع آب (Water resources) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1400 | 5241.86 | 54853.13 | 13408.76 | 3364.01 | 77833.49 | 538.25 |
| 1410 | 5363.08 | 59568.01 | 10126.69 | 2796.33 | 76523.9 | 861.51 |

شکل ۶- مساحت کاربری اراضی سال ۱۴۱۰-۱۴۰۰

**Figure 6. Land use area in 2020-2030**

با توجه به محدودیت‌های اعمال‌شده برای کاربری انسان‌ساخت، جنگل متراکم و منابع آبی، هیچ تغییری در تبدیل این کاربری‌ها ایجاد نشده است (شکل ۷). جدول ۶ نشان می‌دهد که برای تأمین تقاضای مورد نیاز برای خدمت ترسیب کربن و افزایش سکونتگاه انسانی، تبدیل کاربری جنگل نیمه‌متراکم به جنگل متراکم در حدود ۲۶۵۳/۵۳ هکتار است و تبدیل کاربری جنگل نیمه‌متراکم به کاربری کشاورزی- مرتع در حدود ۰/۰۹ هکتار است. بنابراین، برنامه‌ریزی در جهت این نوع تغییر می‌تواند در دستیابی به اهداف خدمات اکوسیستمی مطلوب باشد.




شکل ۷- نقشه تبدیل کاربری اراضی سال ۱۴۱۰-۱۴۰۰

**Figure 7. Land use conversion map in 2020-2030**

براساس شکل ۷، تبدیل جنگل نیمه‌متراکم به جنگل متراکم با ۲۶۵۳/۵۳ هکتار بیشترین میزان مساحت تبدیل کاربری را دارد. تبدیل اراضی جنگلی نیمه‌متراکم به اراضی کشاورزی- مرتع با ۰/۰۹ هکتار کمترین میزان مساحت تبدیل کاربری را دارد. با توجه به جدول ۷ تغییرات مساحت کاربری‌ها برای سال اول (۱۴۰۰) و دهم (۱۴۱۰) نشان می‌دهد که کاربری جنگل متراکم با مساحت ۴۷۱۴/۸۷ هکتار بیشترین میزان تغییرپذیری را دارد و بیشتر این تغییرات مربوط به تبدیل کاربری جنگل نیمه‌متراکم با مساحت ۲۶۵۳/۵۳ هکتار و بعد از آن کاربری کشاورزی با مساحتی برابر ۱۸۲۳/۶۲ هکتار است. دومین کاربری با تغییرپذیری بالا، جنگل نیمه‌متراکم با مساحت ۳۲۸۲/۰۶ هکتار می‌باشد، بیشتر این تغییرات مربوط به تبدیل کاربری کشاورزی- مرتع با ۳۶۶/۰۳ هکتار است. کاربری انسان‌ساخت با مساحت ۱۲۱/۲۲ هکتار کمترین میزان تغییرپذیری را نسبت به بقیه کاربری‌ها دارد. ذکر این نکته لازم است که این تغییرات برای دستیابی به اهداف تعیین‌شده از طریق ارائه خدمات اکوسیستمی است و ممکن است با تغییرات پیش‌بینی شده در منطقه متفاوت باشد. دلیل این اتفاق نیز به این نکته برمی‌گردد که رفتار جوامع انسانی به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تغییرات کاربری در هر منطقه در بیشتر موارد منطبق با نگاه خدمات اکوسیستمی نیست.

**جدول ۷- میزان تغییرات مساحت کاربری بر حسب هکتار سال ۱۴۱۰-۱۴۰۰**

**Table 7- The amount of changes in the land use area in terms of hectares in 2020-2030**

| ۱۴۰۰-۱۴۱۰ (2020-2030) | انسان ساخت Man-made | جنگل متراکم Dense forest | جنگل نیمه‌متراکم Semi dense forest | کشاورزی- مرتع Agriculture-Pasture | کشاورزی Agriculture | منابع آب Water resources | مجموع Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| انسان‌ساخت Man-made | 5241.86 | – | – | – | – | – | 5241.86 |
| جنگل متراکم Dense forest | – | 54853.13 | – | – | – | – | 54853.13 |
| جنگل نیمه‌متراکم Semi dense forest | – | 2653.53 | 9747.03 | 0.09 | 1008.09 | – | 13408.76 |
| کشاورزی- مرتع Agriculture-Pasture | – | 237.71 | 366.03 | 2744.47 | 11.07 | 4.73 | 3364.01 |
| کشاورزی Agriculture | 121.22 | 1823.62 | 13.62 | 51.76 | 75504.73 | 318.52 | 77833.49 |
| منابع آب Water resources | – | – | – | – | – | 538.25 | 538.25 |
| مجموع Total | 5363.08 | 59568.01 | 10126.69 | 2796.33 | 76523.90 | 861.51 | – |
| میزان تغییرات Changes rate | 121.22 | 4714.87 | 3282.06 | 567.68 | 1309.59 | 323.25 | – |

با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده در زمینه خدمات اکوسیستم مانند ترسیب کربن، برای نمونه، Jahandar و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی اثرهای توسعه شهری بر الگوهای مکانی- زمانی خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن در نوار ساحلی شهر بندرعباس از منطقه بوستانو با نرم‌افزار InVEST پرداختند. نتایج نشان داد، بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه مناطق بایر و مرتع است و روند کاهشی داشته است و کاربری‌های انسان‌ساخت، پهنه‌های آبی و کشاورزی افزایش یافتند. ترسیب کربن در طی بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ از ۳۷۴۱۳۲۱/۰۸ تن به ۳۷۶۳۶۹۵/۹۲ تن رسیده است. با رشد زمین‌های کشاورزی ۲۲۳۷۴/۸۲ تن افزایش داشته است. Gharibi و همکاران (۲۰۲۱) قابلیت فضای سبز شهر همدان در فراهم کردن ترسیب کربن را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد، شهر همدان دارای پتانسیل ذخیره و ترسیب ۴۷۰۳۱۲ تن کربن توسط خاک در کاربری پارک نسبت به سایر کاربری‌ها است، همچنین، ایجاد فضاهای سبز به‌عنوان یک گزینه برای کاهش کربن موجود در اتمسفر باید مورد توجه قرار گیرد. Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی توان ترسیب کربن خاک در انواع کاربری اراضی اکوسیستم در حوزه آبخیز میدان اسفراین پرداختند. نتایج نشان داد، ترسیب کربن در خاک اکوسیستم مرتع طبیعی با ۴۴/۱۴ تن در هکتار از بیشترین میزان برخوردار است و تبدیل دیم‌زارهای کم‌بازده به مرتع دست‌کاشت باعث افزایش معنی‌دار کربن خاک از ۲۶/۴۷ به ۴۰/۹۵ تن در هکتار شده است. Javadi Tabalvendani و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی نقش کاربری‌های مختلف در میزان ترسیب کربن خاک در حوزه آبخیز نومه‌رود شهرستان نور پرداختند. نتایج نشان داد، مقدار ترسیب کربن خاک در کل سطح حوزه آبخیز نومه‌رود بیشتر از ۳۱۱۴۷۳ تن بوده است. Fadaei و همکاران (۲۰۲۰) به مدل‌سازی خدمت ترسیب کربن براساس تغییرات پوشش و کاربری سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار InVEST در منطقه حفاظت‌شده جهان‌نما پرداختند. نتایج نشان می‌دهد، با توجه به تغییرات گذشته اراضی جنگلی و مرتع کاهش یافته است و در سال ۲۰۳۶ میزان ترسیب کربن ۴۰۰۸۵۹ تن کاهش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان می‌دهد، برای برآورد نیازهای خدمات اکوسیستمی، همچنین دستیابی به میزان بالاتر ترسیب کربن، همچنین برآورد نیاز به سکونتگاه انسانی در منطقه، کاربری‌های انسان‌ساخت و جنگل متراکم روند افزایشی داشته است که با پژوهش Jahandari و همکاران (۲۰۲۳) همپوشانی دارد. میزان ضرایب ترسیب کربن برای دو کاربری نشان می‌دهد که کاربری جنگل‌ها و انسان‌ساخت به‌ترتیب از بیشترین و کمترین ضریب برخوردار است. به‌منظور فراهم کردن میزان تقاضای ترسیب کربن در طی دوره ۱۰ ساله فضاهای سبز شهری، جنگل‌ها در حوزه آبخیز قره‌سو نقش بسزایی دارند و با پژوهش Gharibi و همکاران (۲۰۲۱) همسوست. کاربری مرتع- کشاورزی و کشاورزی هم در ترسیب کربن نقش دارند و بعد از جنگل‌ها در اولویت دوم و سوم قرار دارند و با بررسی Mahmoudi و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. میزان تقاضا برای ترسیب کربن در این مطالعه روند افزایشی دارد که با مطالعه Javadi Tabalvendani و همکاران (۲۰۱۱) همپوشانی دارد.

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، می‌توان از مدل CLUMONDO در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز قره‌سو به‌منظور مدیریت منابع طبیعی و بهینه‌سازی خدمات اکوسیستمی منتخب استفاده کرد. افزون بر آن، مساحت کاربری اراضی روند افزایشی و کاهشی داشته است. به‌طوری‌که به‌منظور تأمین تقاضای افزایش سکونتگاه انسانی و کاهش ترسیب کربن، کاربری انسان‌ساخت (شهر) به میزان ۱۲۱/۲۲ هکتار با تبدیل کاربری کشاورزی به انسان‌ساخت روند افزایشی داشته است. جنگل متراکم با کاهش کاربری‌های جنگل نیمه‌متراکم، کشاورزی- مرتع و کشاورزی روند افزایشی داشته است. جنگل نیمه‌متراکم و کشاورزی- مرتع با توجه به نتایج، نسبت به سال ۱۴۰۰ روند کاهشی داشته است. با توسعه

مناطق انسان‌ساخت و افزایش جمعیت موجب تخریب اراضی کشاورزی در طی دوره زمانی ۱۴۱۰-۱۴۰۰ شده است. با توجه به تبدیل اراضی جنگل نیمه‌متراکم و کشاورزی- مرتع به کشاورزی نیز کاربری کشاورزی با ۱۳۰۹/۵۹ هکتار روند کاهشی داشته است. آنچه که باید در تفسیر نتایج این مطالعه مدنظر قرار گیرد این است که این نتایج نشان‌دهنده تغییرات مطلوب در منطقه برای دستیابی به دو هدف مبتنی بر خدمات اکوسیستمی است. افزودن خدمات دیگر به مدل می‌تواند خروجی مدل را کمی تغییر دهد. ضمن آنکه این نتایج متفاوت با خروجی برخی دیگر از مدل‌های تغییر کاربری زمین (مانند مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل شبکه خودکار، یا سایر مدل‌ها) است. زیرا در آن مدل‌ها تغییرات کاربری برای آینده براساس تغییرات گذشته پیش‌بینی می‌شود که بیشتر مبتنی بر شبیه‌ساز رفتار انسانی است. اما این مدل، تغییرات مطلوب در منطقه را برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار بهینه‌سازی می‌کند.

با توجه به اینکه مدل‌سازی تخصیص و تغییر کاربری زمین موجب درک فرایند شهرنشینی می‌شوند، درنتیجه مدل‌سازی به‌منظور ارزیابی و تحلیل روند تغییر کاربری زمین و دلایل آن نیز کاربرد دارد. افزون بر آن، با توجه به سناریوهای مختلف می‌توان آینده محتمل را نیز مورد بررسی قرار داد و به مدیران و سیاست‌گذاران در زمینه آگاهی از نحوه تخصیص کاربری‌ها و استفاده پایدار از زمین نیز کمک کرد (Ebrahimnia *et al.*, 2009). تغییر کاربری زمین اثرهای مخرب زیادی بر سیمای سرزمین، آب، خاک و تمامی فرایندهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی دارد و با در نظر گرفتن محدودیت منابع محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی، به‌منظور استفاده پایدار از زمین، باید برنامه‌ریزی در سطوح مختلف انجام شود (Sedighi *et al.*, 2020). به‌منظور مدیریت پایدار سرزمین در برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، می‌توان از یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم استفاده کرد (Abdollahi *et al.*, 2021). افزون بر آن، با استفاده از سناریوهای متفاوت و خدمات اکوسیستم متعدد می‌توان به اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی و آمایش سرزمین دست یافت. به گونه‌ای که علاوه‌بر تأمین نیازهای انسانی، خدمات غیرمستقیم مرتبط با رفاه انسانی نیز دیده شود و در برنامه‌ریزی سرزمین مورد استفاده قرار گیرد. آنچه که در این مطالعه استفاده شده است، تلفیق دو خدمت گاهی متضاد (افزایش سکونتگاه انسانی برای رشد جمعیت و افزایش مناطق طبیعی برای حذف و حتی افزایش ترسیب کربن) است.

## منابع مورد استفاده

-Abdollahi, S., Ildoromi, A., Salman Mahini, A. and Fakheran, S., 2021. Evaluating Spatial Patterns of Ecosystem Services based on a Comparative Approach on Spatial Statistics in the Central Part of Isfahan Province. Geography and Environmental Sustainability, 11(38): 41-54 (In Persian).

-Dadashpour, H., Kheirodin, R., Yaghobkhani, M. and Chamani, B., 2015. Modeling Tehran Land Use Changes by Using the Moland Model. journal of regional planning, 4(16): 49-64 (In Persian).

-Ebrahimnia, V., Rasouli, M. and Zandieh, S., 2009. Land use Allocation Methods and Models. Armanshahr, 2(2): 9-22 (In Persian).

-Fadaei, E., Mirsanjari, M.M. and Amiri, M.J., 2020. Modeling of Ecosystem Services based on Land Cover Change and Land Use Using InVEST Software in Jahannama Conservation Area (Case: Carbon Sequestration Ecosystem Service). Town and Country Planning, 12(1): 153-173 (In Persian).

-Gharibi, Sh., Shayesteh, K. and Atteian, B., 2021. The Capability of Urban Green Spaces in providing Carbon Sequestration Ecosystem Services. Geography and Sustainability of Environment, 11(3): 61-80 (In Persian). https://amar.golestanmporg.ir

-Jale Rajabi, P., Ahmadian, R. and Zarabadi, Z., 2020. Modeling Urban Land Use Allocation using Spatial Justice Approach Based on the Multi-Objective Optimization Methods. Motaleate Shahri, 9(36): 41-54 (In Persian).

-Javadi Tabalvendani, M.R., Zehtabiyan, GH.R., Ahmadi, H., Ayobi, SH., Jafari, M. and Alizadeh, M., 2011. The Role of Diffrent Land Use on The Soil Carbon Sequestration (Case Study: Noumeh Roud Watershed, Nour Province). Natural Ecosystems of Iran, 1(2): 146-154 (In Persian).

-Jahandari, J., Hejazi, R., Jozi, S.A. and Moradi, A., 2023. Impacts of urban expansion on spatio-temporal patterns of carbon storage ecosystem service in Bandar Abbas Watershed using InVEST software. Water and Soil Management and Modeling (WSMM), 2(4): 91-106 (In Persian).

-Kamyab, H. and Shabani, N., 2019. The impact of land

-Sarparast, M., Ownegh, M. and Sepehr, A., 2020. Investigation the driving forces of land-use change in northeastern Iran: Causes and effects. (2020). Remote Sensing Applications: Society and Environment, 19: 100348.

-Sedighi, E., Salmanmahini, A., Mirkarimi, S., Daliri, H. and Fath, B., 2020. Identification and Analysis of Key Drivers of Change in Regional Land Use Planning based on Foresight Approach in Gorgan Township. Town and Country Planning, 11(2): 205-233 (In Persian).

-Van Vliet, J. and Verburg, P.H., 2018. A short presentation of CLUMondo. In amacho Olmedo, M., Paegelow, M., Mas, JF., Escobar, F. (eds) Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Cham, pp. 485-492.

-Wenbo, Z., Jingjing, Z., Yaoping, C. and Lianqi, Z., 2020. Ecosystem carbon storage under different scenarios of land use change in Qihe catchment, China. J. Geogr. Sci., 30(9): 1507-1522.

-Zare, M., Nazari Samani, A.A., Mohammady, M., Salmani, H. and Bazrafshan, J., 2017. Investigating effects of land use Change Scenarios on Soil Erosion using CLUE-s and Rusle models. International Journal of Environmental Science and Technology, 14: 1905-1918.

-Zhu, W., Gao, Y., Zhang, H. and Liu, L., 2020. Optimization of the land use pattern in Horqin Sandy Land by using the CLUMondo model and Bayesian belief network. Science of the Total Environment, 739(15): 1339929.

use/land cover change on ecosystem services in Golestan Province. Environmental Sciences, 17(2): 44-57 (In Persian).

-Kamyab, H., 2021. Economic valuation of natural resources of Kordestan province based on ecosystem services mapping. Research Report. Kordestan general directorate of environment. pp. 140-152. (In Persian)

-Kamyab, H. and Asadolahi, Z., 2021. Modeling and Sensitivity Analysis of REDD Project to Reduce CO2 Emissions (Case Study: Hyrcanian Forests, Golestan Province). Journal of Natural Environment, 74(1): 111-124. (In Persian)

-Khalaji, S., 2021. Effects of land use change on land use planning. Spatial Locational Researches, 3(19): 5-18 (In Persian).

-Lagrosa IV, J.J., Zipperer, W.C. and Andreu, M.G., 2018. Projecting Land-Use and Land Cover Change in a Subtropical Urban Watershed. Urban Science, 2(1): 11.

-Lamichhane, S. and Shakya, N.M., 2019. Alteration of groundwater recharge areas due to land use/cover change in Kathmandu Valley, Nepal. Journal of Hydrology: Regional Studies, 26: 100635.

-Mahmoudi, E., Mahdavi, M. and Javadi, M.R., 2013. Soil Carbon Sequestration Potential of Land Use Types of The Ecosystem (Case Study: Maydan Watershed, Esfaraten, Northern khorasan). Natural Ecosystems of Iran, 3(3): 100-113 (In Persian).

-Ranjbar, S. and Kamyab, H., 2021. Assessing the spatial heterogeneity in ecological quality using remote sensing (Case Study: Gharesoo Watershed). Geography and Environmental Hazardsh, 9(36): 143-159 (In Persian).

# Improving land use allocation process with an emphasis on ecosystem service supply potential in the Qareh-Sou watershed

**F.S. Habibi[1], H.R. Kamyab[2*] and M.S. Azimi[3]**

1- Master of Science graduated, Environmental Sciences and Engineering, Environmental Assessment and Land use planning, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran
2*- Corresponding Author, Assistant prof., Department of Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran. E-mail: kamyab.hr@gmail.com
3- Associate Prof., Department of Rangeland Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran

Received: 11.03.2023 Accepted: 03.06.2023

**Abstract**

Over time, the development of human settlements and activities has led to an increasing demand for natural resources, including ecosystem services, which subsequently drives changes in land use. As the process of land allocation establishes a link between the natural environment and human resources, the competition among conflicting land uses becomes significantly important in this context. Various tools are employed to address conflicts among land uses and simulate changes in land use. The CLUMONDO model is one such tool that employs various ecosystem services in the allocation and transformation of land uses, allowing for the simulation of land use changes and land cover. In this research, the CLUMONDO model was utilized to predict the extent of changes in demand for major land uses within the Qareh-Sou watershed over a 10-year period (2020-2030). Variables such as slope, aspect, elevation, the number of neighboring urban cells in a 7x7 grid., temperature, precipitation, distance from rivers, distance from urban areas, and distance from roads were incorporated into the model. An optimization approach was implemented to simultaneously enhance carbon sequestration capacity and designate additional residential areas in a specific scenario. The analysis of results was conducted using Idrisi Terrset and ArcGIS software. The findings indicated that over the next 10 years (2020-2030), land use changes for constructed areas and dense forests followed an increasing trend, while semi-dense forests and agricultural lands experienced a decrease due to their conversion into other land uses. This transformation was aimed at enhancing ecosystem services. This study showcases the possibility of harmonizing diverse, and at times conflicting, services in a way that also addresses human needs.

**Keywords:** Optimization, carbon sequestration, human settlement, ecosystem services, CLUMONDO model.