نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۰، شماره ۳، ۱۳۹۷، صفحات ۴۳۲-۴۴۵

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 10, Issue 3, 2018, Pages 432-445
DOI: 10.22092/ijwmse.2017.107186.1168

کاربرد مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز زِمکان

سهراب مرادی*[1] و سلیمان محمدی لیمائی[2]

[1] استادیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور و [2] دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

چکیده

این پژوهش با هدف امکان‌سنجی کاربرد مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها برای ایجاد توازن بین دغدغه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز زِمکان واقع در غرب استان کرمانشاه و برای کمک به امر تصمیم‌گیری، انجام گرفت. هدف دوگانه مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها به حداقل رساندن اثرات تخریبی روی محیط زیست (میزان فرسایش و رسوب کمتر) و به حداکثر رساندن میزان درآمد اقتصادی (ارزش خالص فعلی بیشتر) حاصل از کاربری‌های مختلف می‌باشد. برای آگاهی از انواع کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 و برای نشان دادن مساحت کاربری‌ها از ابزار GIS بهره گرفته شده است. در این پژوهش حامیان و طرفداران حفاظت از محیط زیست و جنگل‌ها به‌عنوان بازیگر زیست محیطی (بازیگر یک) و کاربران حوزه آبخیز زمکان به‌عنوان بازیگر اقتصادی (بازیگر دو) انتخاب شدند. در این مطالعه استفاده از نظریه بازی‌ها، بهینه‌سازی چندمنظوره و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز زمکان برای ایجاد توازن توسعه اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی استفاده شد. نتایج مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها نشان داد که بعد از چند دور چانه‌زنی و تعدیل اهداف بین بازیگران تعادل نَش ایجاد می‌شود. در بازه تعادل نش، میانگین فرسایش و رسوب برای بازیگر زیست محیطی از ۴۲۹۶ تا ۴۳۰۰ هزار مترمکعب در سال و ارزش خالص فعلی برای بازیگر اقتصادی از ۴۷۰۵۰ تا ۴۷۰۶۸ میلیارد ریال در سال متغیر است. تعادل نش در مقایسه با پراکندگی بهینه پارتو که نتیجه مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک) می‌باشد، راه‌حل‌های رضایت‌بخش‌تری را بر اساس اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان ارائه نمود. نتایج بیانگر این است که مدل نظریه بازی‌ها در بسیاری دیگر از مسائل مربوط به مدیریت محیطی نیز کاربرد دارد. پژوهش‌های آینده می‌تواند روی بسط دادن یک هدف سوم به‌عنوان مثال دغدغه‌های اجتماعی متمرکز شود و به جای بازی‌های دو هدفه از بازی‌های سه هدفه استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: استان کرمانشاه، بهینه پارتو، تحلیل تناقض، تعادل نش، نظریه بازی‌ها

مقدمه

در مسائل اجتماعی، اقتصادی، صنعتی، زیست محیطی و غیره پدیده‌هایی فراروی تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار می‌گیرد که ماهیتی چند هدفی دارند و تصمیم‌های اتخاذ شده از سوی برنامه‌ریزان بر تصمیم‌های سایر افراد تأثیر می‌گذارد. در مسائل

* مسئول مکاتبات: moradi_4@pnu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مربوط به مدیریت حوزه‌های آبخیز نیز، تضاد بین منافع اقتصادی ناشی از توسعه کاربری اراضی (زراعت چوب، توسعه اراضی کشاورزی و فعالیت‌های تفریحی) و اهداف زیست محیطی (کاهش اوتریفیکاسیون (انباشتگی خوراک آبی) و حفاظت از آب و خاک) آشکار و واضح است (Lund و Palmer، ۱۹۹۷).

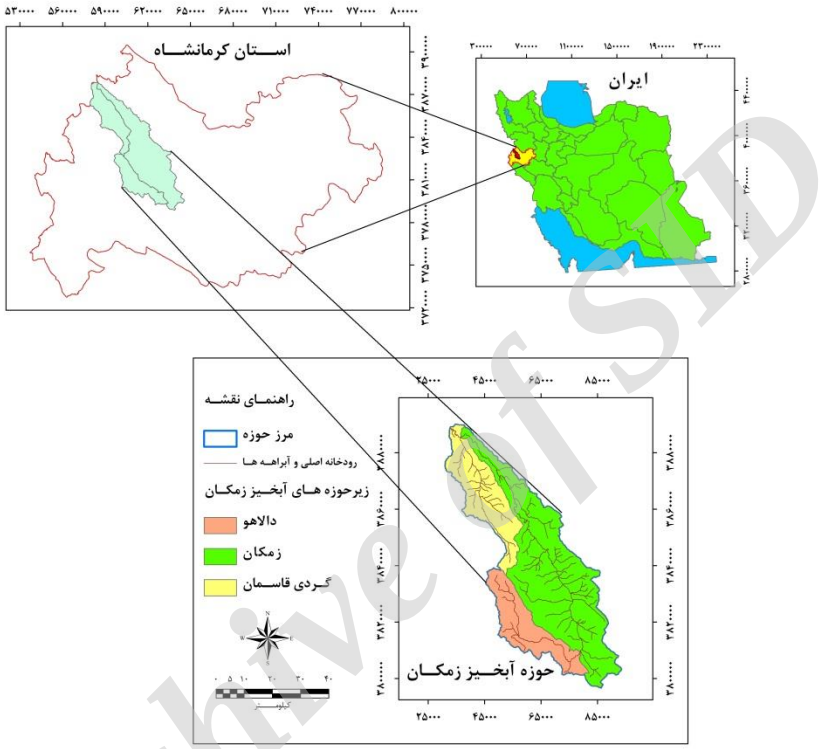
تضاد و تعارض در رویکرد زیست محیطی و حفاظتی سیاست‌گذاران، مدیران، نهادهای مدیریتی دولتی و غیردولتی حوزه‌های آبخیز زاگرس، در مقابل رویکرد اقتصادی مردمان محلی و جنگل‌نشینان این حوضه‌ها باعث شده است که اغلب تصمیم‌گیرندگان برای دستیابی به تعادل میان اهداف متعارض فوق، سعی در به‌دست آوردن راه‌حلی توافقی بکنند. به‌عبارت دیگر، باید میان افزایش سود اقتصادی و کاهش تأثیرات منفی زیست محیطی، توازن برقرار شود. در این شرایط که اهداف در تضاد با یکدیگرند، بهبود در یک هدف به قیمت از دست دادن هدف دیگر (Raquel و همکاران، ۲۰۰۷) یا کاهش احتمال دستیابی به آن، به‌دست می‌آید. از جمله روش‌هایی که به تجزیه و تحلیل این گونه مسائل موقعیت‌های در تعارض می‌پردازند، مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها است. نظریه بازی‌ها علم مطالعه تعارض‌ها (تضاد منافع) و همکاری‌ها میان بازیکنان عاقل است (Abdoli، ۲۰۱۴) و ابزاری توانمند در تعیین نقاط تعادل تصمیم‌گیران است و به‌منظور تجزیه و تحلیل مواردی استفاده می‌شود که دو فرد یا بیشتر، ملزم به تصمیم‌گیری در شرایطی هستند که تصمیم هر یک از طرفین بر پیامد طرف دیگر تأثیرگذار است (Navidi و همکاران، ۲۰۱۱). نظریه بازی‌ها، که Von Neumann و Morgenstern (۱۹۴۴) پیشگام آن بوده‌اند، در زمینه‌های گوناگون، از جمله اقتصاد (Camerer، ۱۹۹۷) و علوم اجتماعی (Myerson، ۱۹۹۲) کاربرد دارد. همچنین، در مدیریت منابع آب (Parrachino و همکاران، ۲۰۰۶a,b؛ Carraro، ۲۰۰۷؛ Sobuhi، ۲۰۱۰؛ Homayounfar، ۲۰۱۰)، تعیین میزان برداشت بهینه از سفره‌های آب زیرزمینی (Mazandarani Zadeh، ۲۰۱۰؛ Poorzand، ۲۰۱۱)، بازار چوب (Mohammadi Limaei، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷)، بازار کاغذ (Mohammadi Limaei، ۲۰۱۰)، مدیریت جنگل (Rodrigues، ۲۰۰۹؛ Shahi، ۲۰۰۷) و مدیریت حوزه آبخیز (Lee، ۲۰۱۲؛ Deylam، ۲۰۱۴؛ Ucler و همکاران، ۲۰۱۵؛ Thompson و همکاران، ۲۰۱۶) استفاده شده است. با این حال، در کشور ایران، تا کنون پژوهشی در مورد یکپارچه‌سازی نظریه بازی‌ها، بهینه‌سازی چندمنظوره، و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ارتباط با مدیریت بهینه حوزه‌های آبخیز زاگرس برای ایجاد توازن توسعه اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی استفاده نشده است. از نقطه نظر اقتصادی، اراضی موجود در یک حوزه آبخیز باید به کاربری‌های مختلف اختصاص پیدا کند، تا درآمد حداکثری حاصل شود. از سوی دیگر از نقطه نظر زیست‌محیطی، اراضی حوزه آبخیز نباید بیشتر از ظرفیت برد مربوطه خود بهره‌برداری شوند. راهکار مطلوب مدیریت حوزه آبخیز اختصاص انواع مختلف کاربری اراضی است به گونه‌ای که میزان فرسایش و رسوب حاصل از کاربری‌های مختلف به حداقل و درآمد اقتصادی کاربری‌های مختلف حداکثر شود (Lee و همکاران، ۲۰۱۰). از آن‌جایی که مدیریت حوزه‌های آبخیز نیازمند آگاهی از انواع کاربری‌های اراضی می‌باشد، ابزار GIS می‌تواند برای نشان دادن مساحت کاربری‌ها و سازماندهی فضایی داده‌های جغرافیایی الگوهای کاربری اراضی در یک حوزه آبخیز، مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش سعی شده است با در نظر گرفتن رویکردهای اقتصادی و زیست‌محیطی در حوزه آبخیز زمکان واقع در غرب استان کرمانشاه و ایجاد توازن میان آن‌ها یک ایده نوین تحقیقاتی به اجرا درآید و تلاش شده است تا با استفاده از فنون کلاسیک (مدل ریاضی) و تعیین کاربری‌های مختلف در منطقه مورد پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نیز بهره‌گیری از ابزار GIS دستیابی به اهداف پژوهش امکان‌پذیر شود و مشخص شود که مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها در ارتباط با اهداف طراحی شده تا چه حد کارایی دارد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند برای گسترش استفاده از نظریه بازی‌ها در مدیریت حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز زمکان با مساحت ۲۳۳۸ کیلومتر مربع و محیط ۳۱۴ کیلومتر، یکی از بزرگ‌ترین حوزه‌های آبخیز استان کرمانشاه می‌باشد (شکل ۱) و از سه زیرحوضه با نام‌های زمکان، گِردی قاسمان و دالاهو تشکیل شده است که رودخانه اصلی آن با نام زِمکان با طول ۱۲۵ کیلومتر کل مساحت حوضه را زهکشی می‌نماید (Moradi و همکاران، ۲۰۱۵). از لحاظ وضعیت آب و هوایی در منطقه نیمه‌مرطوب معتدل واقع شده است و منشأ عمده بارندگی‌های آن کوهستانی است. میانگین ریزش‌های جوی سالیانه آن برابر ۴۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه برابر ۱۵/۸ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد پژوهش در کشور ایران و استان کرمانشاه

مدل‌های مورد استفاده در پژوهش

مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک): مسئله بهینه‌سازی چندهدفه برخواسته از روش‌های تصمیم‌گیری در دنیای واقعی است که شخص تصمیم‌گیرنده با مجموعه‌ای از اهداف و معیارهای متضاد و متعارض روبروست. در این گونه مسائل بر خلاف مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و به‌خاطر وجود چند هدف متعارض به جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. در واقع در مسئله بهینه‌سازی چندهدفه به جای یک تابع هدف، چندین تابع هدف باید به‌صورت همزمان بهینه شوند. در چنین شرایطی معمولا مسئله دارای بیش از یک جواب بهینه خواهد بود که به آن‌ها جواب‌های بهینه پارتو گفته می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی چند هدفه کلاسیک به‌صورت زیر است.

$$\begin{aligned} &\text{Max } Z(x)=\left[Z_1(x), Z_2(x), .., Z_p(x)\right] \\ &st. \quad g_j(x)\le 0. \quad j=1,2,...,m \\ &\quad x_k \ge 0. \quad k=1,2,...,n \end{aligned} \qquad (۱)$$

که در آن، $Z(x)$ تابع هدف و $\left[Z_1(x), Z_2(x), .., Z_p(x)\right]$ مجموعه‌ای از p تابع هدف می‌باشد. $g_j(x)$ تابع محدودیت jام و x_k متغیر تصمیم kام می‌باشد (Lee، ۲۰۱۲). تابع هدف رابطه‌ای است ریاضی، که بر حسب متغیرهای تصمیم نوشته می‌شود و هدف مسئله را بیان می‌کند و تصمیم گیرنده به کمک تکنیک‌های شناخته شده مختلف، سعی در بیشینه‌سازی (Maximize) و یا کمینه‌سازی

Archive of SID

www.SID.ir

(Minimize) تابع هدف دارد. متغیرهای تصمیم، مجهولات مسئله هستند و هدف تصمیم‌گیرنده یافتن مجموعه‌ای از مقادیر برای متغیرهای مجهول مسئله است، به‌طوری که بتواند جوابی بهینه برای مسئله مورد نظر ارائه دهد. محدودیت‌ها نیز موانع و قیودی هستند که در مسئله وجود دارند و معمولا به‌صورت نامعادله بیان می‌شوند و نشانگر حداقل یا حداکثر شرایط مطلوب بـرای اعمال روی تابع هدف هستند.

هدف دوگانه این مدل به حداقل رساندن (کمینه‌سازی) اثرات تخریبی روی محیط زیست (میزان فرسایش و رسوب کمتر) و به حداکثر رساندن (بیشینه‌سازی) میزان درآمد اقتصادی حاصل از کاربری‌های مختلف منطقه مورد پژوهش می‌باشد. بنابراین، توابع هدف مدل برنامه‌ریزی دوهدفه به‌صورت زیر است.

$$\begin{aligned} &Min\,EnvP = Z_1(x) \\ &Max\,EcoD = Z_2(x) \end{aligned} \qquad (۲)$$

بعد از تعیین توابع هدف و طراحی و فرموله کردن مسئله با استفاده از محدودیت‌های مناسب، مجموعه جواب‌های پارتو (نامغلوب) مسئله با استفاده از نرم‌افزار Lingo 13 به‌دست آمد. روش‌های مختلفی برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه وجود دارد که در این پژوهش از روش حدی[1] استفاده شد. روش حدی یکی از روش‌های مرسوم در بهینه‌سازی توابع چندهدفه می‌باشد. هدف اصلی این روش، تبدیل یک مسئله چندهدفه به یک رشته از مسائل تک‌هدفه می‌باشد. در این روش یکی از اهداف به دلخواه به‌عنوان هدف اصلی انتخاب شده و دیگر اهداف، به‌صورت قید به مسئله افزوده می‌شوند.

مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها: مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها در شرایطی مطرح می‌شود که دو تصمیم‌گیرنده (بازیگر) دارای اهداف متضادی باشند. بازیگران ممکن است افراد، بنگاه‌ها، دولت‌ها و ... باشند. تصمیم هر بازیگر به‌منظور پیگیری منافع خود و حصول بهترین پیامد بر تصمیم بازیگر دیگر تأثیر می‌گذارد و لذا، استراتژی (راهبرد)های هر بازیگر انتخاب رفتارهای موجود و پیش‌روی آن بازیگر بر اساس اطلاعاتی خواهد بود که از طریق کانال‌های مختلف نسبت به حریف به‌دست آورده است و می‌تواند از بین آن‌ها یکی را انتخاب کند. راهبرد انتخاب شده هر بازیگر منجر به حصول پیامد و بازده‌ای برای خود و بازیگر دیگر خواهد شد که ممکن است طرفین از آن رضایت داشته باشند و یا برای رسیدن به نقطه تعادل با هم به چانه‌زنی بپردازند. بنابراین، هر بازی دارای عناصر تشکیل دهنده بازی شامل بازیگران[2]، اقدام‌ها یا استراتژی‌ها[3]، پیامدها[4] و اطلاعات[5] می‌باشد.

به‌منظور به‌کارگیری مدل نظریه بازی‌ها برای مسئله دوهدفه تعادل زیست محیطی–اقتصادی، دو گروه از ذی‌نفعان محیط زیست، به‌عنوان دو بازیگر انتخاب شدند. حامیان و طرفداران حفاظت از محیط زیست و جنگل‌ها (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، سازمان حفاظت محیط زیست، سازمان‌های مردم نهاد و ...) به‌عنوان بازیگر زیست‌محیطی (بازیگر ۱) و کاربران حوزه‌های آبخیز زاگرس (مردمان محلی، ذی‌نفعان، جنگل‌نشینان و ...) به‌عنوان بازیگر اقتصادی (بازیگر ۲) در نظر گرفته شدند.

در ابتدا، هر بازیگر از دامنه حداقل و حداکثر ارزش مورد انتظار خود با تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی اهداف فردی به‌طور جداگانه آگاهی می‌یابد که فاصله مذاکراتی و یا پیامد تجزیه و تحلیل نظریه بازی‌ها نام دارد. بنابراین، می‌توان معادلات زیر را برای هر بازیگر به‌صورت زیر نوشت.

برای بازیگر ۱:

$$EnvP_{\min} \le EnvP = Z_1(x) \le EnvP_{\max} \qquad (۳)$$

برای بازیگر ۲:

$$EcoD_{\min} \le EcoD = Z_2(x) \le EcoD_{\max} \qquad (۴)$$

نتایج اولیه مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها برای هر بازیگر شامل جفتی از مقادیر شبیه‌سازی شده $Z_1(x)$ و $Z_2(x)$ می‌باشد. از آن‌جایی که دامنه مقادیر مشخص است دور اول چانه‌زنی شروع شده و هر بازیگر مقادیر هدف خود $\mathrm{Env\,P}_{min}$ یا EcoD_{max} را به‌ترتیب تحت عنوان $\mathrm{Env\,P}_{goal}$ و EcoD_{goal} تنظیم می‌کند، مقدار هدف هر بازیگر به‌عنوان محدودیتی برای طرف دیگر در معادلات زیر محسوب می‌شود.

[1] The constrained method

[2] Players
[3] Actions
[4] Pay-off
[5] Information

Archive of SID
www.SID.ir

استراتژی بازیگر ۱:

$$\begin{aligned} &Min\ EnvD = Z_1(x) \\ &s.t.\ g_j(x) \le 0, \quad j = 1,2,...,m \\ &Z_2(x) \ge EcoD_{goal} \\ &x_k \ge 0, \quad k = 1,2,...,n \end{aligned} \qquad (۵)$$

استراتژی بازیگر ۲:

$$\begin{aligned} &Max\ EcoD = Z_2(x) \\ &s.t.\ g_j(x) \le 0, \quad j = 1,2,...,m \\ &Z_1(x) \le EnvP_{goal} \\ &x_k \ge 0, \quad k = 1,2,...,n \end{aligned} \qquad (۶)$$

در دور اول چانه‌زنی، هر بازیگر مقادیر هدف خود را خیلی نزدیک به $EnvP_{min}$ یا $EcoD_{max}$ تنظیم خواهد کرد تا پیامدهای آن را مشاهده کند. همان‌طور که انتظار می‌رود، نتایج برای هیچ کدام از بازیگران رضایت‌بخش نخواهد بود، لذا، دو بازیگر شروع به چانه‌زنی و مشاجره خواهند کرد و مجددا مقادیر هدف خود را تنظیم می‌نمایند. به این صورت که هر بازیگر مقدار هدف خود را تعدیل خواهد نمود. یعنی بازیگر ۱ دغدغه‌های زیست‌محیطی خود را کم خواهد نمود و بازیگر ۲ توقعات خود را نسبت به درآمد اقتصادی پائین خواهد آورد. طبیعی است بعد از چند دور فرایند چانه‌زنی و گفتگو اختلاف بین اهداف تجدید نظر شده و نتایج مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها واگرایی کمتری خواهد داشت. فرایند چانه‌زنی تا حصول راه حل نهایی ادامه خواهد داشت و آن‌جایی است که نتیجه حل معادله از طریق نرم‌افزار لینگو برای بازیگر زیست محیطی اندکی کمتر از هدف بازتنظیم شده و برای بازیگر اقتصادی اندکی بیشتر است (استراتژی ۴–۱ و ۴–۲ در شکل ۳) و به‌صورت نامساوی‌های زیر نشان داده می‌شود.

بازیگر ۱ $$EnvP^* \le EnvP_{goal} \qquad (۷)$$

بازیگر ۲ $$EcoD^* \ge EcoD_{goal} \qquad (۸)$$

اعداد به‌دست آمده برای $EnvP^*$ و $EcoD^*$ به‌عنوان تعادل نش خوانده می‌شود (Osborne و Rubinstein، ۱۹۹۴؛ Gibbons، ۱۹۹۷). خروجی حاصل از تعادل نش، حالت پایدار یک تعامل استراتژیک را نشان می‌دهد به گونه‌ای که اگر بازیکنان بر اساس تعادل نش رفتار کنند، هیچ‌گونه انگیزه‌ای برای انحراف و انتخاب اقدام‌های دیگر ندارند (Navidi و همکاران، ۲۰۱۱). فرایند حل معادلات تئوری بازی‌ها در این پژوهش، با استفاده از نرم‌افزار Lingo 13 و روش بهینه‌سازی خطی انجام گرفت.

کاربری اراضی: برای شناسایی کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 سنجنده‌های LissIII و LissIV سال ۲۰۰۸ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استفاده شد. ابتدا لازم بود که پیش‌پردازش‌های مناسب جهت آماده کردن تصاویر انجام شود. به‌منظور بررسی خطاها و ناهنجاری‌های هندسی و رادیومتری به‌صورت کیفی، نمایش تصاویر با بزرگ‌نمایی زیاد به‌صورت تک باند و همچنین، ترکیب‌های رنگی مناسب بر روی صفحه نمایش رایانه انجام شد. به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه، تصحیح هندسی ضمن رفع خطای جابه‌جایی ناشی از پستی و بلندی تصاویر انجام شد. برای این منظور، تعداد ۳۰ نقطه کنترل مناسب با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و همچنین، مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شد. جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، روش طبقه‌بندی نظارت نشده بر روی تصاویر اعمال شد. در این روش ابتدا طبقه‌بندی بدون معرفی نمونه‌های تعلیمی انجام می‌شود و سپس طبقات تشکیل شده به کاربری‌های مناسب اختصاص داده می‌شود. برای اختصاص پلی‌گون‌های تشکیل شده در طبقه‌بندی به کاربری‌های مناسب نیاز به اطلاعات مفید از منطقه می‌باشد. به همین منظور، با استفاده از عملیات صحرایی و با توجه به طبقات کاربری اراضی حدود ۴۰۰ نقطه از کاربری‌های مختلف تعیین و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شدند. نمونه‌ها جهت تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و اختصاص پلی‌گون‌ها به طبقات مناسب استفاده شدند. در نهایت تفسیر بصری تصویر رنگی IRS-P6 و باند پانکروماتیک آن با کمک نقاط کنترل زمینی (کلید تفسیر) انجام و واحدهای کاربری مختلف در محیط GIS تفکیک شدند. پس از طبقه‌بندی نیاز بود که صحت نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی شود. بنابراین، تعداد ۵۲۰ نقطه کنترل زمینی به‌صورت تصادفی و از طبقات مختلف به گونه‌ای که پراکنش مناسبی داشته باشند، برداشت شد. نقشه نهایی با نقاط کنترل زمینی (نقشه واقعیت زمینی) ارزیابی صحت شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مساحت کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز زمکان

نوع کاربری اراضی	متغیر	مساحت (هکتار)	نوع کاربری اراضی	متغیر	مساحت (هکتار)
جنگل انبوه	x_1	۶۰۱	اراضی کشاورزی دیم	x_7	۳۰۵۱۶
جنگل نیمه‌انبوه	x_2	۳۶۸۶۸	روستایی	x_8	۴۲۴
جنگل تنک	x_3	۵۹۴۴۶	شهری	x_9	۱۳۴
مرتع نیمه‌متراکم	x_4	۳۰۶۳۹	منابع آبی	x_{10}	۸۴
مرتع کم تراکم	x_5	۶۲۳۶۱	اراضی بدون پوشش	x_{11}	۳۱۰۰
اراضی کشاورزی آبی	x_6	۹۵۷۰			

صحت کلی و ضریب کاپا به‌ترتیب در این مطالعه به میزان ۸۸ درصد و ۰/۹۲ به‌دست آمد. پس از این مرحله و اطمینان از صحت نقشه‌ها، نقشه نهایی وارد محیط GIS شده و مساحت کاربری‌ها استخراج شدند. کاربری‌های اراضی به‌وسیله متغیرهایی از X_1 تا X_{11} نامگذاری شدند. جدول ۱، انواع کاربری و مساحت هر کدام از آن‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد.

فرسایش و رسوب و ارزش خالص فعلی کاربری اراضی: از آن‌جا که یکی مهمترین شاخص‌های حفاظت از محیط زیست، کنترل فرسایش خاک است، در این پژوهش فرسایش خاک به ازای هر کاربری به‌عنوان کمیت واحد حفاظت از محیط زیست (بازیگر ۱) و درآمد اقتصادی حاصل از کاربری‌های مختلف به‌عنوان کمیت واحد اقتصادی (بازیگر ۲) انتخاب شد.

برای محاسبه فرسایش و رسوب به ازای کاربری‌های مختلف از مدل EPM استفاده شد (جدول ۲). از بین روش‌ها و مدل‌های ارایه شده تجربی مختلف، کاربرد مدل تجربی EPM مورد توجه کارشناسان و محققان داخلی است. به‌طوری که کارایی استفاده از آن در حوزه‌های آبخیز کشور به اثبات رسیده است و مطالعات انجام شده دلالت بر قابل قبول بودن نتایج مدل EPM دارد (Sadeghi، ۱۹۹۳؛ Refahi و Nematti، ۱۹۹۵؛ Sokouti Oskoee و همکاران، ۲۰۰۱؛ Tangestani، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶؛ Rastgou و همکاران، ۲۰۰۶).

برای محاسبه درآمد اقتصادی کاربری‌های مختلف، شاخص ارزش خالص فعلی (NPV[1]) برای زمان بی‌نهایت هر هکتار کاربری اراضی محاسبه شد (جدول ۲). ارزش خالص فعلی، مجموع کنونی سودهای خالص سالانه در واحد سطح (رانت اقتصادی) یک هکتار زمین تا بی‌نهایت حاصل از تولید یک محصول معین است و محاسبه آن تا بی‌نهایت با این فرض صورت می‌گیرد که درآمدها و هزینه‌ها به‌طور پیوسته و با نرخ تورم ثابت سالانه تا بی‌نهایت ادامه می‌یابند. ارزش خالص فعلی هر هکتار مرتع از روی محاسبه ارزش علوفه تولیدی و قابل استحصال آن، هر هکتار جنگل از روی محاسبه ارزش محصولات غیرچوبی[2]، هر هکتار اراضی کشاورزی از روی متوسط عملکرد سالیانه آن و اراضی مسکونی با استفاده از پارامترهای قیمت واحدهای مسکونی و اجاره بهای آن‌ها محاسبه شد. ارزش خالص فعلی اراضی بدون پوشش و منابع آب به‌دلیل عدم ارائه ارزش اقتصادی مستقیم برای ساکنان حوزه آبخیز زمکان و عدم استفاده کشاورزی از آن، صفر در نظر گرفته شد.

محدودیت‌های کاربری اراضی: مقادیر میانگین فرسایش و رسوب در واحد سطح (برای بازیگر ۱، حفاظت محیط زیست EnvP) و ارزش خالص فعلی (برای بازیگر ۲، توسعه اقتصادی EcoD) برای کاربری‌های حوزه آبخیز زمکان به‌عنوان ضرایب دو تابع هدف (حداقل میزان فرسایش و رسوب و حداکثر ارزش خالص فعلی)، مجموعه محدودیت‌ها و مقادیر عددی محدودیت‌ها در جدول ۳ لیست شده‌اند.

محدودیت‌های مربوط به انواع کاربری‌های اراضی بدین شرح می‌باشد. ۱) مقدار اراضی موجود: حداکثر سطح مجاز برای توسعه انواع کاربری زمین در حوزه آبخیز، ۲) سطح جنگل: حداقل و حداکثر سطح جنگل مورد نیاز برای هدف حفاظت از منابع طبیعی، ۳) سطح مرتع: حداقل و حداکثر سطح اراضی مرتعی حوزه آبخیز

[1] Net Present Value

[2] رویش سالیانه خیلی پائین درختان در جنگل‌های زاگرس به‌دلیل شرایط نامساعد آب و هوایی، باعث شده است که بهره‌برداری قانونی چوب از این جنگل‌ها صورت نگیرد و این جنگل‌ها نقش حفاظتی (حفاظت از آب و خاک) داشته باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

(با در نظر گرفتن این محدودیت امکان کم شدن مراتع نسبت به وضعیت فعلی وجود ندارد، لکن امکان تبدیل شدن مراتع کم تراکم به مراتع نیمه‌متراکم بوجود می‌آید)، ۴) سطح کشاورزی: حداقل و حداکثر سطح زمین کشاورزی حوزه آبخیز، ۵) سطح مسکونی: حداقل و حداکثر سطح برای توسعه مناطق مسکونی شهری و روستایی حوزه آبخیز، ۶) سطح منابع آبی (رودخانه و مخزن سد در حال آبگیری): حداقل و حداکثر سطح منابع آبی حوزه آبخیز، ۷) سطح اراضی بدون پوشش: حداکثر سطح اراضی بدون پوشش حوزه آبخیز، ۸) ظرفیت فرسایش: حداکثر فرسایش موجود در سطح حوزه آبخیز (میانگین فرسایش هر کاربری (مترمکعب در هکتار در سال) به‌عنوان ضریب هر متغیر در نظر گرفته شده است و با ضرب آن در مساحت هر کابری ظرفیت فرسایش حوزه آبخیز حاصل شده است، ۹) مثبت بودن: شرط مورد نیاز برای همه متغیرهای تصمیم.

نتایج و بحث

مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک): نتایج مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک) در حوزه آبخیز زمکان با متوسط نرخ واقعی بهره ۷/۴ درصد در جدول ۴ و نمودار آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نقاط بهینه پارتو به ازای مقادیر ۴۲۸۳ و ۴۳۱۳ هزار مترمکعب در سال میانگین فرسایش و رسوب و ۴۷۰۰۰ و ۴۷۱۲۰ میلیارد ریال ارزش خالص فعلی برای تابع هدف حداقل ($Min\ Z_1(x)$) و مقادیر ۴۲۸۰ و ۴۳۱۰ هزار مترمکعب در سال میانگین فرسایش و رسوب و ۴۶۹۸۷ و ۴۷۱۰۸ میلیارد ریال ارزش خالص فعلی برای تابع هدف حداکثر ($Max\ Z_2(x)$) حاصل شده است. اعداد بهینه پارتو حاصل حل مدل بهینه‌سازی چندهدفه سنتی با استفاده از نرم‌افزار Lingo 13 و روش حدی است که بر اساس آن یکی از اهداف به دلخواه به‌عنوان هدف اصلی انتخاب شده و دیگری، به‌صورت قید به مسئله افزوده شده است.

مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها: ابتدا دامنه حداقل و حداکثر ارزش مورد انتظار هر بازیگر با تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی اهداف فردی به‌طور جداگانه مشخص شد. نتایج اولیه مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها برای هر بازیگر شامل جفتی از مقادیر شبیه‌سازی شده $z_1(x)$ و $z_2(x)$ می‌باشد که در جدول ۵ آورده شده است. از آن‌جایی که دامنه مقادیر مشخص است و بازیگران از مقادیر اولیه رضایت ندارند (مقدار فرسایش و رسوب بیشتر از حد انتظار و مقدار ارزش خالص فعلی کمتر از حد انتظار است)، دور اول چانه‌زنی شروع شده و هر بازیگر مقادیر هدف خود $EnvP_{min}$ یا $EcoD_{max}$ را به‌ترتیب تحت عنوان $EnvP_{goal}$ و $EcoD_{goal}$ تنظیم می‌کند که بر اساس دورهای مختلف چانه‌زنی مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها مساحت‌های مختلفی از کاربری‌های گوناگون حوزه آبخیز را ارائه می‌نماید و این فرایند تا رسیدن به تعادل نش ادامه می‌یابد که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۲- میانگین فرسایش و رسوب و ارزش خالص فعلی کاربری‌های حوزه آبخیز زمکان

نوع کاربری اراضی	میانگین فرسایش و رسوب (مترمکعب در هکتار در سال)	ارزش خالص فعلی (NPV) (۱۰۶ ریال در هکتار در سال)
جنگل انبوه	۱۸/۲۴	۳۵/۴۹
جنگل نیمه‌انبوه	۲۳/۳۴	۲۲/۸۱
جنگل تنک	۱۹/۹۳	۹/۷۰
مرتع نیمه‌متراکم	۱۹/۷۵	۱۱/۷۶
مرتع کم تراکم	۱۸/۷۸	۷/۸۴
اراضی کشاورزی آبی	۱۶/۸۵	۳۵۷/۰۸
اراضی کشاورزی دیم	۲۲/۰۴	۷۸/۶۵
اراضی مسکونی شهری	۱۶/۱۵	۱۵۸۲۳۴/۴۷
اراضی مسکونی روستایی	۱۶/۷۵	۱۴۳۵۴/۵۴
منابع آبی	۲۵/۳	۰
اراضی بدون پوشش	۲۵/۱۱	۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- توابع هدف و مجموعه محدودیت‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز زمکان

شماره	تابع	اجزاء مدل
۱۱	$MinZ_1(x)=18.24x_1+23.34x_2+19.93x_3+19.75x_4+18.78x_5+16.85x_6+22.04x_7+16.15x_8+16.75x_9+25.3x_{10}+25.11x_{11}$	توابع هدف حداقل فرسایش و رسوب
۱۲	$MaxZ_2(x)=35.49x_1+22.81x_2+9.70x_3+11.76x_4+7.84x_5+357.08x_6+78.65x_7+158234.47x_8+14354.54x_9+0x_{10}+0x_{11}$	حداکثر ارزش خالص فعلی
۱۳	$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}=233743$	محدودیت‌ها مساحت کل حوزه آبخیز
۱۴	$x_1+x_2+x_3\geq 96915$	سطح جنگل
۱۵	$x_4+x_5\geq 93000$	سطح مرتع
۱۶	$x_6+x_7\geq 40086$	سطح اراضی کشاورزی
۱۷	$x_8=134$	سطح مسکونی شهری
۱۸	$x_9=424$	سطح مسکونی روستایی
۱۹	$x_{10}\geq 84$	سطح منابع آبی
۲۰	$x_{11}\leq 3100$	سطح اراضی بدون پوشش
۲۱	$x_1,x_2,x_3,x_4,x_5,x_6,x_7,x_8,x_9,x_{10},x_{11}\geq 0$	مثبت بودن
۲۲	$24.35x_1+28.76x_2+25.35x_3+24.73x_4+23.20x_5+22.46x_6+26.01x_7+21.40x_8+22.25x_9+34.61x_{10}+27.24x_{11}\leq 5894708$	ظرفیت فرسایش

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، بعد از دور چهارم بازی تابع هدف زیست‌محیطی (میانگین فرسایش و رسوب) مقداری برابر با $z_1(x)$=۴۲۹۶ هزار مترمکعب در سال حاصل می‌کند که کاملا با تابع هدف بازتنظیم شده $z_1(x)_{goal}$=۴۳۰۰ نزدیک شده و اختلاف اندکی دارد. در واقع هدف مطلوب بازیگر زیست‌محیطی در دور چهارم چانه‌زنی و بعد از تعدیل اهداف برای رسیدن به تعادل، ۴۳۰۰ هزار مترمکعب در سال می‌باشد. لکن با استراتژی که بازیگر اقتصادی اتخاذ می‌کند، حصول دقیق ۴۳۰۰ هزار مترمکعب در سال مقدور نخواهد شد و به مقدار ۴۲۹۶ که اختلاف اندکی با مقدار مطلوب آن دارد، رضایت خواهد داد. همچنین، تابع هدف اقتصادی (ارزش خالص فعلی) در دور چهارم مقداری برابر با $z_2(x)$=۴۷۰۶۸ میلیارد ریال در سال حاصل می‌کند که کاملاً با تابع هدف بازتنظیم شده $z_2(x)_{goal}$=۴۷۰۵۰ نزدیک شده و اختلاف اندکی دارد. به‌عبارتی در دور چهارم مذاکره تعادل نش (شکل ۳) حاصل شده است.

استراتژی و هدف اولیه: دامنه‌های اولیه مربوط به $EnvP$ و $EcoI$ در هر دو هدف به شرح زیر می‌باشد.

برای بازیکن یک (محیط زیستی)

$$۴۲۵۳ \leq EnvP \leq ۴۳۴۳ \qquad (۲۳)$$

برای بازیکن دو (اقتصادی)

$$۴۶۸۷۹ \leq EcoD \leq ۴۷۲۴۴ \qquad (۲۴)$$

استراتژی هر بازیکن مطابق روابط (۲۳) و (۲۴) تنظیم شده و در جدول ۵ نشان داده شده است. هدف اولیه برای بازیکن محیط زیستی $EnvP_{\min}=$ ۴۲۵۳ می‌باشد و از طریق حل مدل با استفاده نرم‌افزار Lingo 13 و استفاده از روش حدی با در نظر گرفتن کمترین

Archive of SID

www.SID.ir

درآمد اقتصادی به‌عنوان یکی از محدودیت‌ها حاصل می‌شود. همچنین، هدف اولیه برای بازیکن اقتصادی برابر $EcoD_{max}$ =۴۷۲۴۴ می‌باشد که از طریق حل مدل با استفاده نرم‌افزار Lingo 13 و استفاده از روش حدی با در نظر گرفتن بیشترین میانگین فرسایش و رسوب به‌عنوان یکی از محدودیت‌ها حاصل می‌شود. لازم به ذکر است که ۰–۱ در ستون اول جدول ۵ مربوط به مرحله ابتدایی برای بازیکن یک (محیط زیستی) و ۰–۲ موقعیت مرحله ابتدایی بازیکن دو (اقتصادی) را نشان می‌دهد. $EnvP_{max}$ =۴۳۴۳ که برای بازیکن محیط زیستی به‌دست آمده است، بسیار بیشتر از هدف اولیه آن یعنی ۴۲۵۳ هزار مترمکعب فرسایش و رسوب در سال است و مقدار متناظر آن ۴۶۸۷۹ = $EcoD_{min}$، بسیار کمتر از مقدار مطلوب آن یعنی ۴۷۲۴۴ میلیارد ریال ارزش خالص فعلی در سال است.

فرایندهای چانه‌زنی: از آن‌جا که اهداف اولیه هر یک از بازیکنان با مقدار مطلوب بازیکن مقابل سازگاری و هم‌خوانی ندارد، وارد یک فرایند چانه‌زنی می‌شوند. در طی این فرایند، بازیکنان سطح اهداف اولیه مربوط به خود را پائین می‌آورند. بازیکن محیط زیستی با افزایش اندکی در میزان فرسایش و رسوب، از دغدغه‌های محیط زیستی خود می‌کاهد و بازیکن اقتصادی با کاهش اندکی از ارزش خالص فعلی خود، توقعات اقتصادی بالای خود را پائین می‌آورد. میزان افزایش در میانگین فرسایش و رسوب یا کاهش در ارزش خالص فعلی در هر دور چانه‌زنی از تقسیم اختلاف حداقل و حداکثر میانگین فرسایش و رسوب یا ارزش خالص فعلی به تعداد دورهای منطقی چانه‌زنی که توسط کارشناسان تشخیص داده می‌شود (معمولا سه یا چهار دور)، حاصل می‌شود.

در طی اولین دور فرایند چانه‌زنی، بازیکن یک دغدغه‌های محیطی خود را با کمی افزایش در میانگین فرسایش و رسوب (از ۴۲۵۳ به ۴۲۶۰ هزار مترمکعب در سال) کاهش می‌دهد و بازیکن دو نیز هدف اقتصادی خود را تقلیل می‌دهد (از ۴۷۲۴۴ به ۴۷۲۰۰ میلیارد ریال در سال). بعد از دور اول چانه‌زنی‌ها، به‌دلیل نزدیک بودن هر دو هدف به اهداف اولیه، هیچ کدام از بازیکن‌ها از هدف تعدیل شده دیگری راضی نیست. بنابراین، دورهای بعدی چانه‌زنی برای تنظیم مجدد مقادیر هدف هر بازیکن ادامه می‌یابد (جدول ۵). بعد از هر دور چانه‌زنی، تفاوت بین هدف هر بازیکن با نتایج واقعی او کاهش می‌یابد. به‌طور خلاصه، پنج استراتژی بازیکن یک برای حفاظت محیطی منجر به افزایش میانگین فرسایش و رسوب از ۴۲۵۳ به ۴۳۰۰ هزار مترمکعب در سال می‌شود و در مورد بازیکن دو دورهای چانه‌زنی کاهش ارزش خالص فعلی از ۴۷۲۴۴ به ۴۷۰۵۰ میلیارد ریال در سال را به دنبال دارد.

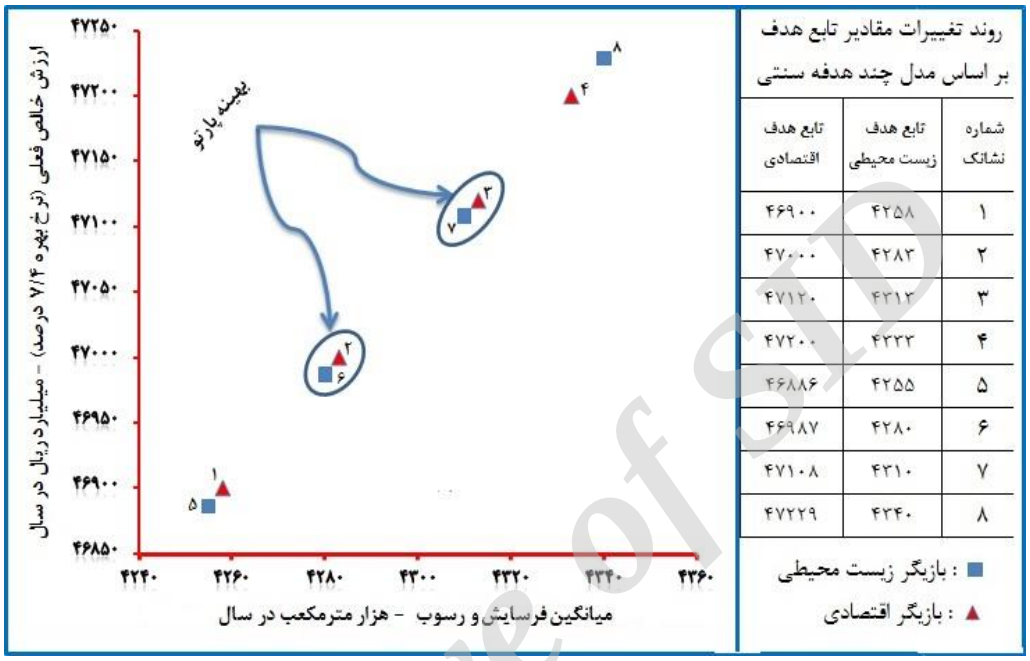
موازنه (تعادل) نَش: بعد از دور چهارم چانه‌زنی، مقدار $EnvP$ اندکی کمتر از هدف بازتنظیم شده می‌باشد، در حالی‌که مقدار $EcoD$ کمی بیشتر است. هر دو بازیکن اکنون از نتایج راضی هستند و بنابراین، به موازنه (تعادل) نش دست یافته‌اند (معادله‌های ۷ و ۸).

نتایج هر دور از چانه‌زنی‌ها در شکل ۳ خلاصه شده است. محدوده تعادل نش برای $EnvP$ از ۴۲۹۶ تا ۴۳۰۰ هزار مترمکعب در سال و برای $EcoD$ از ۴۷۰۵۰ تا ۴۷۰۶۸ میلیارد ریال در سال متغیر است. ملاحظه می‌شود، نواحی مسکونی شهری و روستایی (متغیر تصمیم X_8 و X_9) و منابع آبی (متغیر تصمیم X_{10}) به‌دلیل اعمال محدودیت مدل بدون تغییر باقی مانده‌اند. اراضی کشاورزی حداکثر مساحت خود را حفظ کرده‌اند با این تفسیر که اراضی کشاورزی دیم (متغیر تصمیم X_7) به‌دلیل میانگین فرسایش و رسوب بالا و ارزش خالص فعلی کمتر کاملا حذف و مساحت آن به اراضی کشاورزی آبی (متغیر تصمیم X_6) اختصاص یافته است. اراضی جنگلی نیز حداکثر مساحت خود را حفظ کرده‌اند، لکن اراضی جنگل نیمه‌انبوه (X_2) و جنگل تنک (X_3) کاملاً حذف و به اراضی جنگلی انبوه (X_1) با ارزش خالص فعلی بالا و میانگین فرسایش و رسوب پائین اختصاص یافته‌اند. اراضی مرتعی حداکثر مساحت خود را حفظ کرده‌اند، لکن قسمتی از اراضی مرتع کم تراکم (X_5) به‌منظور تبدیل مراتع کم‌بازده به مراتع مناسب‌تر از طریق اعمال سیاست‌های مدیریتی به مراتع نیمه‌متراکم (X_4) اختصاص یافته‌اند. اراضی بدون پوشش (X_{11}) نیز به‌دلیل میزان فرسایش و رسوب بالا و فقدان ارزش خالص فعلی در طول دور اول چانه‌زنی‌ها از فرایند خذف شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

مقادیر متغیرهای تصمیم به‌دست آمده (مساحت کاربری‌های مختلف) با برقراری تعادل نش مقادیر بهینه نهایی می‌باشند. بدین معنی که اگر سطح کاربری‌ها در حوضه مورد پژوهش در محدوده مقادیر به‌دست آمده قرار داشته باشد، میانگین فرسایش و رسوب و ارزش خالص فعلی حاصل از کاربری‌های مختلف در حالت تعادل قرار داشته و هیچ یک از دو بازیکن متضرر نخواهد شد و تمایلی به تغییر وضعیت به‌دست آمده نخواهند داشت. به‌عبارتی دیگر، سطح کاربری‌ها با وضعیت ارائه شده به‌وسیله تئوری بازی‌ها، سطح بهینه‌ای می‌باشد که می‌تواند مورد استفاده سازمان‌های برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه‌های آبخیز قرار گیرد.

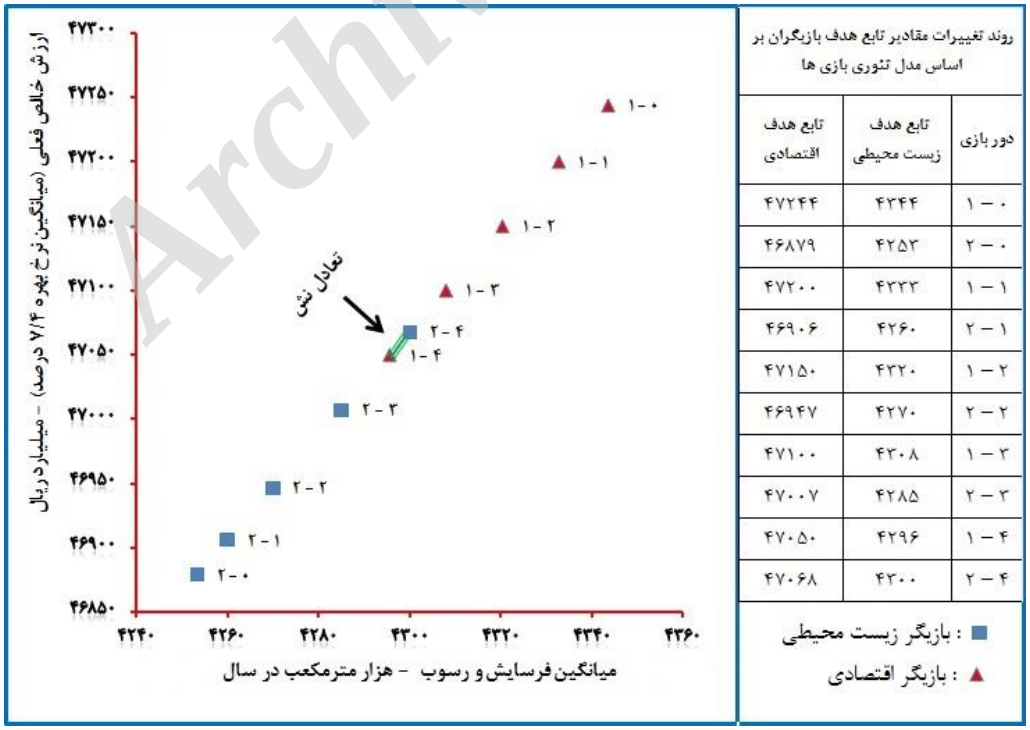


روند تغییرات مقادیر تابع هدف بر اساس مدل چند هدفه سنتی

شماره نشانک	تابع هدف زیست محیطی	تابع هدف اقتصادی
۱	۴۲۵۸	۴۶۹۰۰
۲	۴۲۸۳	۴۷۰۰۰
۳	۴۳۱۳	۴۷۱۲۰
۴	۴۳۳۳	۴۷۲۰۰
۵	۴۲۵۵	۴۶۸۸۶
۶	۴۲۸۰	۴۶۹۸۷
۷	۴۳۱۰	۴۷۱۰۸
۸	۴۳۴۰	۴۷۲۲۹

■ : بازیگر زیست محیطی
▲ : بازیگر اقتصادی

شکل ۲- نمودار نتایج مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک) حوزه آبخیز زمکان



روند تغییرات مقادیر تابع هدف بازیگران بر اساس مدل تئوری بازی ها

دور بازی	تابع هدف زیست محیطی	تابع هدف اقتصادی
۱ – ۰	۴۳۴۴	۴۷۲۴۴
۲ – ۰	۴۲۵۳	۴۶۸۷۹
۱ – ۱	۴۳۳۳	۴۷۲۰۰
۲ – ۱	۴۲۶۰	۴۶۹۰۶
۱ – ۲	۴۳۲۰	۴۷۱۵۰
۲ – ۲	۴۲۷۰	۴۶۹۴۷
۱ – ۳	۴۳۰۸	۴۷۱۰۰
۲ – ۳	۴۲۸۵	۴۷۰۰۷
۱ – ۴	۴۲۹۶	۴۷۰۵۰
۲ – ۴	۴۳۰۰	۴۷۰۶۸

■ : بازیگر زیست محیطی
▲ : بازیگر اقتصادی

شکل ۳- نمودار روند تغییرات مقدار تابع هدف در نظریه بازی‌ها و رسیدن به تعادل نش

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- نتایج مدل چندهدفه سنتی (کلاسیک) در حوزه آبخیز زمکان

توابع هدف	محدودیت‌ها	Z_1 (هزار مترمکعب)	Z_2 (میلیارد ریال)	راه حل (مساحت متغیرهای تصمیم بر حسب هکتار است)										
				X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
$Min\ Z_1(x)$	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_2(x) \geq$ ۴۶۹۰۰	۴۲۵۸	۴۶۹۰۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۵۲۹۷	۸۷۷۰۳	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_2(x) \geq$ ۴۷۰۰۰	۴۲۸۳	۴۷۰۰۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۳۰۸۰۸	۶۲۱۹۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_2(x) \geq$ ۴۷۱۲۰	۴۳۱۳	۴۷۱۲۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۶۱۴۲۰	۳۱۵۸۰	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_2(x) \geq$ ۴۷۲۰۰	۴۳۳۳	۴۷۲۰۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۸۱۸۲۸	۱۱۱۷۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
$Max\ Z_2(x)$	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_1(x) \leq$ ۴۲۵۵	۴۲۵۵	۴۶۸۸۶	۹۶۹۱۵	۰	۰	۱۷۰۶	۹۱۲۹۴	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_1(x) \leq$ ۴۲۸۰	۴۲۸۰	۴۶۹۸۷	۹۶۹۱۵	۰	۰	۲۷۴۷۹	۶۵۵۲۱	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_1(x) \leq$ ۴۳۱۰	۴۳۱۰	۴۷۱۰۸	۹۶۹۱۵	۰	۰	۵۸۴۰۷	۳۴۵۹۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	محدودیت ۱۳ تا ۲۲ و $Z_1(x) \leq$ ۴۳۴۰	۴۳۴۰	۴۷۲۲۹	۹۶۹۱۵	۰	۰	۸۹۳۳۵	۳۶۶۵	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰

جدول ۵- فرآیند بازی مدل چند هدفه نظریه بازی‌ها در حوزه آبخیز زمکان

دور بازی		هدف	Z_1 (هزار مترمکعب)	Z_2 (میلیارد ریال)	راه حل (مساحت متغیرهای تصمیم بر حسب هکتار است)										
					X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
مقدماتی	۱ - ۰		۴۲۵۳	۴۶۸۷۹	۹۶۹۱۵	۰	۰	۰	۹۳۰۰۰	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	۲ – ۰		۴۳۴۳	۴۷۲۴۴	۹۶۹۱۵	۰	۰	۹۳۰۰۰	۰	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
دور اول	۱ - ۱	$Z_1 =$ ۴۲۶۰	۴۳۳۳	۴۷۲۰۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۸۱۸۲۸	۱۱۱۷۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	۲ - ۱	$Z_2 =$ ۴۷۲۰۰	۴۲۶۰	۴۶۹۰۶	۹۶۹۱۵	۰	۰	۶۸۶۱	۸۶۱۳۹	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
دور دوم	۱ - ۲	$Z_1 =$ ۴۲۷۰	۴۳۲۰	۴۷۱۵۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۶۹۰۷۳	۲۳۹۲۷	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	۲ - ۲	$Z_2 =$ ۴۷۱۵۰	۴۲۷۰	۴۶۹۴۶	۹۶۹۱۵	۰	۰	۱۷۱۷۰	۷۵۸۳۰	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
دور سوم	۱ - ۳	$Z_1 =$ ۴۲۸۵	۴۳۰۸	۴۷۱۰۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۵۶۳۱۸	۳۶۶۸۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	۲ - ۳	$Z_2 =$ ۴۷۱۰۰	۴۲۸۵	۴۷۰۰۷	۹۶۹۱۵	۰	۰	۳۲۶۳۴	۶۰۳۶۶	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
دور چهارم	۱ - ۴	$Z_1 =$ ۴۳۰۰	۴۲۹۶	۴۷۰۵۰	۹۶۹۱۵	۰	۰	۴۳۵۶۳	۴۹۴۳۷	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰
	۲ - ۴	$Z_2 =$ ۴۷۰۵۰	۴۳۰۰	۴۷۰۶۸	۹۶۹۱۵	۰	۰	۴۸۰۹۸	۴۴۹۰۲	۴۳۱۸۶	۰	۱۳۴	۴۲۴	۸۴	۰

جنگل انبوه (x_1)، جنگل نیمه انبوه (x_2)، جنگل تنک (x_3)، مرتع نیمه‌متراکم (x_4)، مرتع کم‌متراکم (x_5)، اراضی کشاورزی آبی (x_6)، اراضی کشاورزی دیم (x_7)، روستایی (x_8)، شهری (x_9)، منابع آبی (x_{10})، اراضی کشاورزی دیم (x_{11})

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، استفاده از نظریه بازی‌ها، بهینه‌سازی چندمنظوره و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت حوزه آبخیز زمکان برای ایجاد توازن توسعه اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی استفاده شد. در مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها، تعادل نش شرایطی آسان را برای کاربران (زیست‌محیطی و اقتصادی) فراهم می‌کند که بر اساس آن می‌توانند گزینه‌ای را انتخاب کرده و تصمیم‌گیری کنند. محدودیت دامنه پذیرفته شده در تعادل نش می‌تواند یاری‌گر کاربران در اتخاذ تصمیمات سخت باشد، با این آگاهی که می‌توانند هم با دغدغه‌های محیطی و هم با رشد اقتصادی خود را تطبیق دهند. آن‌گونه که Madani (۲۰۱۰) بیان می‌کند، نتایج نظریه بازی‌ها می‌تواند رفتار بازیکنان برای حل مشکلات مربوط به تصمیم‌گیری چندمنظوره را بهتر توصیف کند. علاوه بر این، هر بازیکن می‌تواند با بهینه کردن اهداف خود، بر روی آن اهداف تمرکز کند (معادله‌های ۵ و ۶) و بهتر به درک این موضوع بپردازد که اهداف دیگران تا چه حد و چگونه می‌تواند اهداف آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد.

در این پژوهش، نتایج مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها با نتایج حاصل شده در تحلیل‌های چندمنظوره سنتی مقایسه شد. جدول نتایج مدل چندهدفه سنتی (جدول ۴) نشان می‌دهد که تابع هدف حداقل کردن میانگین فرسایش و رسوب تحت تأثیر محدودیت تابع هدف دیگر یعنی به حداکثر رساندن ارزش خالص فعلی قرار دارد و برعکس. در این پژوهش، هشت راه‌حل از تجزیه و تحلیل‌های چندمنظوره سنتی یعنی راه‌حل‌های بهینه پارتو به‌دست آمد (جدول ۴). این موارد در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. راه‌حل‌های بهینه پارتو نسبت به راه‌حل‌های مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها از پراکندگی بیشتری برخوردارند. بنابراین، انتخاب آن برای کاربران دشوار خواهد بود (شکل ۲).

باید خاطر نشان کرد که ۱) کاربری‌های مختلف اراضی که در رویکرد مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها (X_2، X_3، X_7 و X_{11}) حذف شده‌اند، در رویکرد مدل چندهدفه سنتی نیز حذف شده‌اند، ۲) فعالیت‌های مختلف کاربری‌های اراضی به‌طور معنی‌داری هم $EnvP$ و هم $EcoD$ را تحت تأثیر قرار دادند، ۳) متغیر تصمیم X_4 (مرتع نیمه‌متراکم) با افزایش مقادیر محدودیت، روند افزاینده را در هر دو تابع هدف حداقل و حداکثر داشت و برای متغیر تصمیم X_5 (مرتع کم تراکم) عکس این حالت اتفاق افتاد، ۴) انتخاب‌های نامحدودی برای مسئله مورد نظر وجود دارد و این نکته بسیار حائز اهمیت است، چرا که فرایند گزینش را برای کابران مشکل می‌سازد. محیط گرایان و کاربران زیست‌محیطی متمایل به انتخاب گزینه‌هایی با میزان فرسایش و رسوب کمتر هستند (نقاط پائین و سمت چپ در شکل ۲). برعکس، اقتصادگرایان و کاربران اقتصادی به انتخاب راه‌حلی با میزان درآمد اقتصادی بالاتر می‌پردازند (نقاط بالا و سمت راست در شکل ۲).

مقایسه مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها و روش چندهدفه سنتی (کلاسیک) نشان می‌دهد که ارقام موجود در تعادل نش با بهینه پارتو متفاوت است. این موضوع توسط Carraro و همکاران (۲۰۰۷)، Madani (۲۰۱۰) و Lee (۲۰۱۲) نیز اشاره شده است. مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها بر روی هدف یک بازیکن متمرکز است نه تمام اهداف سیستم (به‌طور مثال معادله (۵) برای بازیکن یک و معادله (۶) برای بازیکن دو). دغدغه اصلی هر بازیکن، به حداکثر رساندن منافع خود (میانگین فرسایش و رسوب پائین‌تر یا ارزش خالص فعلی بالاتر) در بازی استراتژیک است (Osborne و Rubinstein، ۱۹۹۴؛ Von Neumann و Morgenstern، ۱۹۴۴). مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها می‌تواند همانندسازی‌های واقع گرایانه بیشتری را مربوط به رفتار علایق محور کاربران مورد حمایت قرار دهد. علاوه بر این، مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها می‌تواند در ارائه بینش‌های برنامه‌ریزی و خط مشی مفید واقع شود. روش چندمنظوره سنتی (کلاسیک) روی به حداقل رساندن میانگین فرسایش و رسوب و به حداکثر رساندن ارزش خالص فعلی برای یک سیستم متمرکز است و در این شیوه مشکل تحت عنوان مسئله تصمیم‌گیری واحد حل می‌شود. علاوه بر این، روش چندهدفه سنتی مشکلات مربوط به مدیریت آبخیز را از نقطه نظر بهینه‌سازی فرموله می‌کند و ویژگی‌های قیاسی که حداقل فرسایش و رسوب و حداکثر ارزش خالص فعلی هستند، را مشخص می‌نماید. با این وجود

Archive of SID

www.SID.ir

این نتایج ممکن است که اجرایی و از لحاظ اجتماعی قابل قبول نباشد و نتواند منجر به اجرای گزینه راه‌کاری شود (Madani، ۲۰۱۰). در مقابل، مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها از یک چارچوب چانه‌زنی غیرتعاونی بهره می‌گیرد که در یافتن راه‌حل‌هایی قابل قبول از لحاظ سیاسی و اجتماعی می‌تواند یاری‌گر باشد (Carraro و همکاران، ۲۰۰۷).

روش چندهدفه سنتی (کلاسیک) مجموعه‌های مختلفی از بهینه پارتو را ارائه می‌نماید (شکل ۲)، اما راه‌حل‌ها تنها زمانی قابل استفاده می‌باشند که تصمیم‌گیرندگان هیچ پیش‌داوری در خصوص تقابل محیط با اقتصاد برای کاربران نداشته باشند. از سوی دیگر مدل چندمنظوره نظریه بازی‌ها پس از چند دور چانه‌زنی که در آن بازیکنان برای اهداف خود متمرکز بودند، موازنه نش را ارائه می‌دهد. موازنه نش دامنه‌ای محدود از گزینه‌ها را ارائه می‌کند. بنابراین، برای کاربران بسیار آسان‌تر است که از میان دامنه‌ای محدود از گزینه‌ها که بتواند بین $EnvP$ و $EcoD$ موازنه برقرار کند، به انتخاب بپردازند.

نتایج مدل‌سازی، نشان از یک سبک سنگین کردن‌های پیچیده‌ای بین اهداف حفاظت محیطی و توسعه اقتصادی دارد. راه‌حل‌ها بر اساس مدل‌های تئوری بازی‌ها منعکس‌کننده سازگاری بین حداکثر ارزش خالص فعلی و حداقل میانگین فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز می‌باشد. به‌عبارتی، امکان استفاده از مدل چندهدفه نظریه بازی‌ها جهت حل تعارض میان کاربران زیست‌محیطی و اقتصادی در حوزه آبخیز زمکان فراهم شد و با استفاده از تعیین تعادل نش امکان تصمیم‌گیری در مدیریت منطقه زاگرس بوجود آمد. نتایج بیانگر این است که این مدل در بسیاری دیگر از مسائل مربوط به مدیریت محیطی نیز کاربرد دارد لکن محدودیت‌هایی نیز در امکان استفاده از فرضیات مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه و تئوری بازی‌ها وجود دارد که ممکن است در شرایط عملی و واقعی کاملاً صادق نباشند. لذا، پیشنهاد می‌شود در ادامه این پژوهش، روشی بر مبنای نظریه بازی‌ها ارائه شود که تعیین سطح کاربری‌های مختلف را به‌صورت نقشه کاربری اراضی ارائه دهد و پژوهش‌های بیشتر نیز می‌تواند روی بسط دادن یک هدف سوم به‌عنوان مثال دغدغه‌های اجتماعی متمرکز شوند و به جای بازی‌های دوهدفه از بازی‌های سه‌هدفه استفاده شود.

منابع مورد استفاده

1. Abdoli, Gh. 2014. Game theory and its applications (static and dynamic games of complete information). Tehran, Jahad Daneshgahi Press, 454 pages (in Persian).
2. Camerer, C.F. 1997. Progress in behavioral game theory. Journal of Economic Perspectives, 11: 167–188.
3. Carraro, C., C. Marchiori and A. Sgobbi. 2007. Negotiating on water: Insights from non-cooperative bargaining theory. Environ. Journal of Development Economics, 12: 329–349.
4. Deylam, M. 2014. Feasibility of application of game theory to solve the problem of land use change Ziarat watershed. MSc Thesis, Gorgan University, 102 pages (in Persian).
5. Gibbons, R. 1997. An introduction to applicable game theory. Journal of Economic Perspectives, 11: 127–149.
6. Homayounfar, M., A. Ganji, D. Khalili and A.A. Mousavi. 2010. A Model for reservoir operation based on the game theory. Journal of Iran-Water Resources Research, 6(2): 14 – 26 (in Persian).
7. Lee, C.S. 2012. Multi-objective game theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. Chemosphere, 87(6): 608–613.
8. Lee, C.S., C.Y. Yang, S.P. Chang and Y.C. Lee. 2010. Sustainable watershed management by fuzzy game optimization, international Environmental Modelling and Software society (iEMSs). International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada.
9. Lund, J.R. and R.N. Palmer. 1997. Water resource system modeling for conflict resolution. Water Resources, 3(108): 70–82.
10. Madani, K. 2010. Game theory and water resources. Journal of Hydrology, 381: 225–238.
11. Mazandarani Zadeh, H., A. Ghaheri and GH. Abdoli. 2010. A conflict resolution model among municipal and agricultural users by game theory for sustainable operation of a common aquifer. Quarterly Eqtesad-E Keshavarzi Va Towse'e, 17(4): 77–102 (in Persian).

Archive of SID

www.SID.ir

12. Mohammadi Limaei, S. 2006. Economically optimal values and decisions in iranian forest management. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea, Sweden. No. 2006: 91.
13. Mohammadi Limaei, S. 2007. A game theory approach to the sawn wood and pulpwood markets in the north of Iran, Caspian. Journal of Environmental Sciences, 5: 1–10.
14. Mohammadi Limaei, S. 2010. Mixed strategy game theory, application in forest industry. Forest Policy and Economics, 12: 527–531.
15. Moradi, S., S. Mohammadi Limaei, M. khanmohamadi and P. Lohmander. 2015. Estimation of erosion and sediment yield with EPM model in Zemkan basin using GIS. Environmental Erosion Research Journal, 5(1): 13-26 (in Persian).
16. Myerson, R.B. 1992. On the value of game theory in social science. Rationality and Society: SAGE Journals, 4: 62–73.
17. Navidi, H.R., S. Ketabchi and M. Messi Bidgoli. 2011. An introduction to game theory. Tehran, Shahed University Press, 348 pages (in Persian).
18. Osborne, M. and A. Rubinstein. 1994. A course of game theory. MIT Press, Cambridge, MA.
19. Parrachino, I., A. Dinar and F. Patrone. 2006a. Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 3. Application to water resources. World Bank Policy Research Working Paper No. 4074, WPS4074, Washington, DC.
20. Parrachino, I., S. Zara and F. Patrone. 2006b. Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 1. Basic Theory. World Bank Policy Research Working Paper No. 4072, WPS4072, Washington, DC.
21. Poorzand, F. and M. Zibaei. 2011. Application of game theory for the optimal groundwater extraction in Firozabad plain. Economics and Agriculture Journal, 5(4): 1–24 (in Persian).
22. Raquel, S., F. Szidarovszky, E.Jr. Coppola and A. Rajano. 2007. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. Journal of Environmental Management, 54: 560-571.
23. Rastgou, S., B. Ghahraman, H. Sanaei Nejad, K. Davari and S.R. Khodashenas. 2006. Estimation of erosion and sediment in the Tangh Konesht basin by PSIAC and EPM models using by GIS. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 10: 91-105 (in Persian).
24. Refahi, H.G. and M.R. Nematti. 1995. Using EPM model on study of erodibility and sediment yield in the Taleghan basin. Iran Agriculture Science, 26: 32-45 (in Persian).
25. Rodrigues, A., H. Koeppl, H. Ohtsuki and A. Satake. 2009. A game theoretical model of deforestation in human–environment relationships. Journal of Theoretical Biology, 258: 127–134.
26. Sadeghi, S.H.R. 1993. Comparison of some erosion potential and sediment yield assessment models in Ozon-Dareh sub-catchment. Proceedings of the National Conference on Land Use Planning, Tehran, Iran, pp. 41-75 (in Persian).
27. Shahi, C. and S. Kant. 2007. An evolutionary game-theoretic approach to the strategies of community members under Joint Forest Management regime. Forest Policy and Economics, 9: 763–775.
28. Sobuhi, M. and E. Mojarad. 2010. Application of game theory for groundwater resources management of Atrak. Journal of Economics and Agriculture Development, 24(1): 1–12 (in Persian).
29. Sokouti Oskoee, R., I. Broshkeh, J. Godoosi and M. Arabkhedri. 2001. Evaluation of efficiency of MPSIAC model in estimation of sedimentation five basins of Western Azarbaijan Province. Journal of Research and Construction, 14: 35–37 (in Persian).
30. Tangestani, M.H. 2001. Integrating geographic information system in erosion and sediment yield applications using the Erosion Potential Method (EPM). Proceedings of the 9th Annual Conference of the GIS Research UK, Eds.: D.B. Kinder and G. Higgs, 18-20 April, University of Glamorgan, Wales.
31. Tangestani, M.H. 2006. Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment. Afzar Catchment, Fars Province, Iran. Asian Journal of Earth Sciences, 27: 585–597.
32. Thompson, L.O., A.B. Leoneti, R.B. Alcantara and E.C. Pires. 2016. Using game theory to assess multi-company strategies in watershed management, Ambiente and Agua-An Interdisciplinary. Journal of Applied Science, 11(3): 535–547.
33. Ucler, N., G. Onkal Engin, H.G. Kocken, and M.S. Oncel. 2015. Game theory and fuzzy programming approaches for bi-objective optimization of reservoir watershed management: a case study in Namazgah reservoir. Environmental Science and Pollution Research, 22(9): 6546–6558.
34. Von Neumann, J. and O. Morgenstern. 1944. Theory of games and economic behavior. Princeton University Press, Princeton, NJ, 625 pages.

Archive of SID

www.SID.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2017.107186.1168

Application of multi-objective game-theory model for the purpose of land use optimization of Zemkan basin

Sohrab Moradi*[1] and Soleiman Mohammadi Limaei[2]
[1]Assistant Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Iran and [2]Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Iran

Received: 05 August 2016 Accepted: 15 March 2017

Abstract

This study was carried out with the aim of feasibility evaluation of the application of multi-objective game-theory model for settling balance between economic and environmental concerns in land use optimization as well as to facilitate the respective decision-makings in Zemkan basin, located in the west of Kermanshah Province. The bi-objectives of multi-objective game-theory model are minimizing the destructive effects on the environment (less erosion and sediments) and maximizing the economical incomes resulted from different land uses (more net present value). The IRS-P6 Satellite images were used for recognition of different land uses and the areas of these land uses were determined using GIS tools. In this study, the environmentalists (player 1) and Zemkan basin users (player 2) were selected as environmental and economical players, respectively. In this study, an integration of game theory, multi-objective optimization and geographic information system was used in land use optimization of Zemkan basin in order to set balance between economic development and environmental effects. The results of multi-objective game-theory model indicated that after several rounds of bargaining and moderating the objectives between players, Nash equilibrium would be resulted. Within Nash equilibrium limits, the mean of erosion and sediment ranges from 4296 to 4300 thousands m^3 per year and net present value, also ranges from 47050 to 47068 million Rials for economic player. Comparing with Pareto optimality, which is the result of classical multi- objective model, Nash equilibrium offered more satisfactory solutions based on decision makers' priorities. The results also suggest that the game theory model can be applied in many other issues concerning environmental management. The future researches may concentrate on developing a third objective like social concerns so that three-objective games would be applied instead of bi-objective ones.

Key words: Land use optimization, Game theory, Conflict analysis, Pareto optimal, Nash equilibrium

* Corresponding author: moradi_4@pnu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir