

بهینه‌سازی مکانی با به‌کارگیری برنامه‌ریزی آرمانی،

نظریه بازی‌ها و GIS

فرزام هستی^{۱*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۲، رامتین جولایی^۳

۱. کارشناس ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. دانشیار، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. استادیار، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۴)

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بیان راهکارهایی برای بهینه‌سازی کاربری‌ها در فرایند آمایش سرزمین با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و حل تعارضات ایجادشده در فرایند آمایش سرزمین با نظریه بازی‌ها، در شهرستان‌های گرگان و کردکوی انجام گرفت. برای ۷ کاربری کلان منطقه مورد مطالعه، ارزیابی توان چندمتغیره انجام گرفت. سپس، فرایند MOLA، برای بهینه‌سازی اولیه اجرا شد. در بخش آمایش سرزمین ثانویه، بهینه‌سازی کاربری‌ها با روش برنامه‌ریزی خطی چندهدفه وارد فاز جدیدی از طریق توجه به نیازهای محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی شد. پارامترهای محیط‌زیستی نظیر کاهش رواناب، آلودگی غیرنقطه‌ای نیتروژن و فرسایش خاک به ترتیب، از مدل L-THIA و مدل RUSLE تهیه شدند. در ادامه کار، برای نهایی‌سازی مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، محدودیت‌های این مدل طراحی شد. به دلیل نیازهای متفاوت ذی‌نفعان محیط‌زیستی و اقتصادی-اجتماعی، دو گروه محدودیت طراحی شد که سبب ایجاد تعارض در ادامه روند اجرای آمایش سرزمین شد. در فاز سوم آمایش سرزمین نظریه بازی‌ها برای حل تعارض ایجادشده به‌کارگرفته شد. بازیکنان محیط‌زیستی و بازیکنان اقتصادی-اجتماعی در سه تکرار بازی کردند. در نهایت، بازیکنان محیط‌زیستی برنده، و آمایش سرزمین با محدودیت‌های محیط‌زیستی‌ها به کار خود ادامه داد. نتایج نشان‌دهنده تغییراتی در سطح کاربری‌ها است، به نحوی که بین گروه‌های ذی‌نفع تعادل ایجاد شده است.

کلیدواژگان

آمایش سرزمین، برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، سودبران، نظریه بازی‌ها.

* نویسنده مسئول، رایانامه: farzam.hasti@gmail.com

مقدمه

تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط، روزبه‌روز در حال افزایش است (Wang et al., 2012, p.47). مسائل تصمیم‌گیری مکانی مانند آمایش سرزمین برای کاهش آثار منفی انسان بر محیط نه تنها نیازمند روش‌های فنی است، بلکه ابعاد اقتصادی، اجتماعی، محیط زیستی و سیاسی را دربرمی‌گیرد (Eldrandaly, 2010, p.695). برنامه‌ریزی کاربری‌ها با دید بوم‌شناسی یا آمایش سرزمین تنها راه‌حل منطقی گسستن چرخه فقر جامعه و بحران‌های محیط زیستی و ایجاد بستری لازم برای نیل به توسعه پایدار است (Ramakrishna, 2003, p. 5).

فرایند تصمیم‌گیری در زمینه توسعه زمین را تقریباً می‌توان جزء فرایندهای پیچیده تعریف کرد (Alexander, 1965; Byrne, 2003; De Roo, 2004)، زیرا گروه‌های متفاوتی از ذی‌نفعان و بازیکنان درگیرند، تصمیم‌ها و عملکردهای متفاوتی در میان ذی‌نفعان وجود دارد و در نهایت، وابستگی متقابل در میان تصمیم‌گیری ذی‌نفعان وجود دارد که در آن تصمیم یک ذی‌نفع بر تصمیم سایر ذی‌نفعان تأثیر می‌گذارد (Samsura et al., 2010, p.567). تصمیم‌گیری در زمینه بهره‌برداری از منابع محیطی یک حوزه آبخیز به دلیل اشتراک این منابع باعث ایجاد مناقشات بین ذی‌نفعان حوزه می‌شود. ضوابط و معیارها به‌طور طبیعی با هم در تضاد بوده و تناسب‌پذیر نمی‌باشند و این تصمیم‌ها می‌تواند جدال‌آمیز باشد (Lee & Chang, 2005, p.222).

یک چالش عمده در جامعه پیشرفته، وجود راه‌حلی برای معماهای اجتماعی مانند استفاده محدود از منابع محیطی است که این محدودیت ناشی از ویژگی اشتراک و عمومیت این منابع است. از آنجا که بین فرایندهای محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی روابط متقابل پیچیده‌ای وجود دارد، برای هماهنگ‌سازی آن‌ها رویکرد مدیریت جامع منابع آبخیز ضرورت می‌یابد (Cai et al., 2003, p.7)، اما معمولاً معیارهای مدیریت با یکدیگر در تضاد بوده و هم‌راستا نمی‌باشند. بنابراین، تصمیم‌های اتخاذشده ممکن است مورد توافق همه ذی‌نفعان نباشد. در موضوعات مدیریت آبخیز، تضاد بین منافع اقتصادی حاصل از توسعه کاربری زمین (جنگل، کشاورزی، مسکونی، آبی‌پروری و نظیر آن)، اهداف اجتماعی و اهداف محیط‌زیستی آشکار شده است (Lund & Palmer, 1997, p.73).

هدف از این مطالعه بهینه‌سازی مکانی کاربری‌ها در فرایند آمایش سرزمین با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در شهرستان‌های گرگان و کردکوی، و تحلیل و بررسی رفتارهای ذی‌نفعان در ارتباط با مشارکت آن‌ها در فرایند آمایش سرزمین بر مبنای نظریه بازی‌ها به منظور مطرح کردن راه‌حل‌های منطقی و عملی برای تعارضات ایجادشده طی فرایند آمایش سرزمین است. برخی مطالعات انجام‌گرفته در زمینه کاربرد برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در فرایند بهینه‌سازی زمین و به‌کارگیری نظریه بازی‌ها در مدیریت منابع طبیعی به شرح زیر است:

از جمله مطالعات انجام‌گرفته در زمینه بهینه‌سازی کاربری اراضی با برنامه‌ریزی خطی می‌توان به کمیته‌سازی رواناب و رسوب‌دهی به کمک بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز جاجرود (اوجی و همکاران، ۱۳۹۲، ص ۱۸۳)، و بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آبخیز زاخرد در استان فارس با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی چندهدفه (آرمانی) (Shabani, 2010, p.85) اشاره کرد.

از جمله تحقیقات دیگر با به‌کارگیری نظریه بازی‌ها در مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست، می‌توان به تحقیقاتی به این شرح اشاره کرد: به‌کارگیری بازی‌های چانه‌زنی دوفره در مدیریت زباله (Karmperis et al., 2013, p.1290)، مطالعه موردی آبخیز مخزن سنگ ون در تایوان از مدلی چندمعیاره بر مبنای نظریه بازی، برای تعیین استراتژی مدیریتی (Lee, 2010, p.80)، و حل تعارضات موجود بر سر تخصیص آب و کاهش نیتروژن در پروژه انتقال آب جنوب به شمال چین با به‌کارگیری نظریه بازی‌ها (Wei et al., 2010, p.2499). کراچیان و همکاران (2010) با به‌کارگیری نظریه بازی فازی و با کاربرد نظریه چانه‌زنی رایبستین^۱ در مطالعه خود متدولوژی جدیدی را برای حل تضاد منافع بین استفاده از آب، تأمین آب و نهادهای حفاظت محیط‌زیست پیشنهاد کردند که مسئله استفاده مرتبط‌کننده آب سطحی و زیرزمینی را در پایتخت ایران- تهران، مورد توجه قرار می‌دهد. نتایج این مطالعات قابلیت متدولوژی پیشنهادشده را در حل تضاد میان ذی‌نفعان در استفاده مرتبط‌کننده منابع مشترک به‌وضوح نشان می‌دهند.

1. bargaining rubinstein

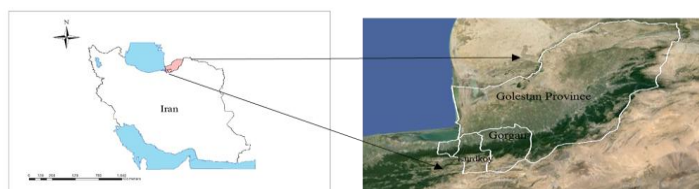
ذوقی و همکاران (۱۳۹۳) با هدف تحلیل راهبردی تعاملات ذی‌نفعان تغییر کاربری اراضی دارآباد تهران مدل گراف نظریه بازی‌ها در حل مناقشات به‌کارگرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد عامل اصلی تغییر کاربری اراضی منطقه، نبود شفافیت‌های قانونی و وجود بندها و تبصره‌های درباره تغییر کاربری اراضی، مشخص نبودن مسئولیت نظارتی و تصمیم‌گیری شورایی پیرامون تغییر کاربری اراضی است (ذوقی و همکاران، ۱۳۹۳، ص ۳۹۱).

مطالعه دیگر به‌کارگیری نظریه بازی‌ها برای حل مشکل تغییر کاربری اراضی آبخیز زیارت گرگان را بررسی کرده است. ابتدا اطلاعات مورد نیاز برای مدل بازی که شامل داده‌های کیفیت آب، سود ناخالص سالیانه برای هر کاربری، و مساحت هر کاربری در شرایط توان اکولوژیکی حوضه تهیه شد. سپس، یک بازی دونفره برای حل مشکل تغییر کاربری اراضی میان ذی‌نفعان این حوضه، طراحی شد. نتایج نشان داد تعادل نش در دور چهارم بازی، میان ذی‌نفعان ایجاد شد و سطوح کاربری‌های جنگل، کشاورزی، تفرج و سطح حفاظتی ساحل رودخانه ثابت باقی مانده و سطح کاربری مسکونی افزایش یافته است (دیللم، ۱۳۹۳، ص ۶).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان‌های گرگان و کردکوی به مساحت ۲۴۳۹۲۱ هکتار، واقع در استان گلستان (کشور ایران) است. شهرستان گرگان در $54^{\circ} 28' 48''$ طول شمالی و $36^{\circ} 49' 48''$ عرض شرقی، و شهرستان کردکوی در $54^{\circ} 6' 47.88''$ طول شمالی و $36^{\circ} 47' 30.12''$ عرض شرقی قرار گرفته‌اند. جمعیت شهرستان گرگان حدود ۴۶۲۴۵۵ نفر و جمعیت شهرستان کردکوی حدود ۷۰۲۴۴ نفر است (سال‌نامه آماری استان گلستان، ۱۳۹۰). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

بهینه‌سازی مکانی

در این مطالعه برای بهینه‌سازی اولیه کاربری‌ها در سطح منطقه، روش تخصیص کاربری چندهدفه (MOLA) به کار گرفته شد. برای این کار، ابتدا با توجه به ویژگی‌های اکولوژیکی منطقه، اهداف پژوهش، نظر کارشناسان و دیگر مطالعات انجام‌گرفته در منطقه کاربری‌های آبی‌پروری گرمابی، آبی‌پروری سردآبی، کشاورزی، جنگل‌داری، توسعه شهری و روستایی، حفاظت و مرتع‌داری برای جانمایی بهینه اولیه انتخاب شدند.

بعد از انتخاب کاربری‌ها، با مرور منابع و شناخت از منطقه مورد مطالعه داده‌های مربوط به هر کاربری از طریق داده‌های موجود و بازدید میدانی جمع‌آوری شد. سپس، این داده‌ها استانداردسازی و برای مرحله بعدی پژوهش آماده شد. در مرحله بعد با به‌کارگیری روش ارزیابی توان چندمعیاره (MCE) برای هر یک از کاربری‌ها نقشه مطلوبیت تهیه، و در نهایت، ماژول MOLA در نرم‌افزار IDRISI Selva اجرا شد. در فرایند MOLA براساس وزن و مساحت دلخواه داده‌شده به هر کاربری، ترکیبات مختلف بارها و بارها تکرار می‌شوند، تا در نهایت شروط مورد نظر را تأمین کنند و کاربری‌هایی به دست آید که براساس مدل بهینه اولیه طراحی شده، بهترین شرایط را داشته باشد (ایستمن^۱، ۱۳۹۰، ص ۳۲۴).

هدف پژوهش حاضر این است که کاربری‌ها با اهداف بالاتر در آمایش سرزمین بهینه شوند. بر این اساس، اهداف محیط زیستی و اهداف اقتصادی برای بهینه‌سازی کاربری‌های موجود در نظر گرفته شد. اهداف محیط زیستی شامل کمینه‌سازی احتمال عمق رواناب، کمینه‌سازی احتمال آلودگی غیرنقطه‌ای نیتروژن و کمینه‌سازی احتمال فرسایش خاک، همچنین، اهداف اقتصادی نظیر بیشینه‌سازی سود حاصل از هر کاربری، بیشینه‌سازی تعداد شغل ایجادشده در هر کاربری و کمینه‌سازی هزینه اولیه برای استقرار فعالیت در واحد سطح است. برای تحقق اهداف در نظر گرفته‌شده و ارتقای روش MOLA طی بهینه‌سازی مکانی کاربری‌ها روش برنامه‌ریزی آرمانی (برنامه‌ریزی خطی چندهدفه) در این مطالعه به کار گرفته شد.

1. Eastman

برنامه‌ریزی آرمانی

یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Max(or Min)} Z(x) &= [Z^1(x), Z^2(x), Z^3(x), \dots, Z^p(x)] & (1) \\ \text{s.t } g_j &\leq 0, & j = 1, 2, \dots, n \\ x_k &\geq 0, & k = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

که در اینجا $Z(x)$ ، یک تابع هدف است و $[Z^1(x), Z^2(x), Z^3(x), \dots, Z^p(x)]$ مجموعه‌ای از توابع هدف است $G_i(x)$ ، زامین تابع محدودیت و X_k, k ، زامین متغیر تصمیم است. برای نوشتن توابع هدف محیط زیستی و اقتصادی در نظر گرفته شده برای این تحقیق، ابتدا باید داده‌های محیط زیستی و اقتصادی مورد نیاز را تهیه کرد. برای به دست آوردن میزان احتمال عمق رواناب و آلودگی غیرنقطه‌ای نیتروژن هر کاربری روش ارزیابی درازمدت اثرات هیدرولوژیک (L-THIA) در نرم‌افزار ARC View به کار گرفته شد، همچنین، برای محاسبه میزان احتمال فرسایش خاک هر کاربری، مدل RUSLE در نرم‌افزار IDRISI Selva به کار گرفته شد. همچنین، برای تهیه اطلاعات تناسب و آمادگی اقتصادی مورد نیاز این بخش، نظیر سود کاربری زمین، اطلاعات آمایش استان گلستان در سال ۱۳۹۴ به کار گرفته شد. این اطلاعات به صورت کمی - کیفی در نتیجه وزن‌دهی توسط کارشناسان مربوط به هر حوزه تهیه می‌شود که فاقد واحد می‌باشند. جدول ۱ اطلاعات اقتصادی مربوط به هر کاربری برگرفته از طرح آمایش استان گلستان را نشان می‌دهد.

جدول ۱. اطلاعات اقتصادی هر کاربری

ردیف	کاربری	تعداد شغل تولیدشده به ازای واحد کاربری زمین	سود	هزینه اولیه برای استقرار فعالیت در واحد سطح
۱	کشاورزی	۴	۵	۷
۲	جنگل‌داری	۳	۷	۷
۳	مرتفع‌داری	۲	۴	۸
۴	توسعه شهری و روستایی	۱۰	۸	۳

ادامه جدول ۱. اطلاعات اقتصادی هر کاربری

ردیف	کاربری	تعداد شغل تولیدشده به ازای واحد کاربری زمین	سود	هزینه اولیه برای استقرار فعالیت در واحد سطح
۵	آبزی پروری گرمابی	۴	۷	۵
۶	آبزی پروری سرد آبی	۱۰	۸	۳
۷	حفاظت	۱	۳	۸

منبع: طرح آمایش استان گلستان، ۱۳۹۴

نظریه بازی‌ها

نظریه بازی‌ها شاخه‌ای از تجزیه و تحلیل‌های ریاضی است که برای مطالعه تصمیم‌گیری در شرایط تعارض و گاهی همکاری به کار گرفته می‌شود، این شرایط زمانی که دو یا چند تصمیم‌گیرنده (بازیکنان) اهداف متفاوت در یک سیستم تصمیم‌گیری یا منابع مشترک داشته باشند، پدیدار می‌شود (Mohammadi Limaiei, 2010, p.528). نظریه بازی‌ها یک فن برای آنالیز شرایطی است که در آن دو یا چند فرد در پی کسب نتیجه‌ای خاص از فعالیتی هستند که این نتیجه هم به راهبرد انتخاب‌شده از طرف خود فرد و هم به راهبرد انتخاب‌شده از سوی افراد دیگر بستگی دارد. در نظریه بازی‌ها به هر یک از طرفین درگیر در بازی، بازیکن گفته می‌شود. چون هر یک از بازیکنان به این نکته واقف‌اند که سیاست آن‌ها در بازی تحت تأثیر راهبرد دیگران و در عین حال تأثیرگذار بر راهبرد دیگران است، برای هر یک از تصمیم‌های خود باید همه راهبردهای ممکن توسط بازیکنان دیگر را بررسی کند. در چنین شرایطی نظریه بازی‌ها با ابزار ریاضیات کمک می‌کند تا با انتخاب راهبرد برتر به بهترین نتیجه ممکن دست یافته شود (عبدلی، ۱۳۹۱، ص ۲۵).

تقسیم‌بندی‌های گوناگونی از بازی‌ها وجود دارد. بازی‌ها را از لحاظ قالب می‌توان به دو شکل راهبردی یا نرمال و گسترده یا درختی تقسیم کرد. بازی‌های استراتژیک، فرم فشرده‌ای از یک بازی است که در آن بازیکنان به‌طور همزمان راهبرد (استراتژی) خود را انتخاب می‌کنند. بازی‌های شکل گسترده نیز می‌تواند مجموعه‌ای از بازی‌های نرمال باشد (عبدلی، ۱۳۹۱، ص ۲۵).

هر بازی شامل سه عنصر اصلی است:

- بازیکنان: بازیکن عاملی است که تصمیم‌هایی در بازی می‌گیرد.
- عمل‌ها: مجموعه‌ای از عمل‌ها که برای هر بازیکن تعریف می‌شود.
- تابع نتیجه نهایی یا ترجیحات: نتیجه‌ای است که هر بازیکن با توجه به قوانین و سناریوهای بازی، از تصمیم اتخاذشده خود خواهد گرفت (عبدلی، ۱۳۹۱، ص ۲۵). در مطالعه حاضر از بازی معمای زندانی (برآیند غیرصفر) که یکی از معروف‌ترین مثال‌های بازی‌های فرم نرمال است، ایده گرفته شد.

بازی آمایش سرزمین با تکرار اول

تعارض ایجادشده به این ترتیب است که هر بازیکن محدودیت‌های مربوط به خود را قبول دارد و با توجه به اهداف خود اقدام به طراحی محدودیت کرده است. با ایده‌گرفتن از بازی معمای زندانی و نظر کارشناسان بازی طراحی شد. در مرحله اول برای هر بازیکن هدف تعیین شد. هدف طراحی شده برای بازیکنان در بازی آمایش سرزمین با تکرار اول رعایت کردن محدودیت‌های طراحی شده آن‌ها است. به عبارت دیگر، انتخاب محدودیت‌های طراحی شده توسط آن‌ها درجه اهمیت بیشتری دارد. در مرحله بعد سناریوهای بازی برای هر بازیکنان با نظر کارشناسان و با توجه به هدف طراحی شده تعیین شد. سناریوی بازی آمایش سرزمین با تکرار اول به شرح زیر است:

- اگر محیط زیستی‌ها محدودیت‌های طراحی شده خود را انتخاب کنند و اقتصادی‌ها محدودیت‌های طراحی شده خود را انتخاب کند، محیط زیستی‌ها پنج امتیاز و اقتصادی‌ها پنج امتیاز خواهند گرفت.
- اگر اقتصادی‌ها محدودیت‌های طراحی شده خود، و محیط زیستی‌ها محدودیت‌های طراحی شده اقتصادی‌ها را انتخاب کنند، اقتصادی‌ها ده امتیاز و محیط‌زیستی‌ها سه امتیاز خواهند گرفت.
- اگر محیط‌زیستی‌ها محدودیت‌های طراحی شده خود، و اقتصادی‌ها محدودیت‌های طراحی شده محیط‌زیستی‌ها را انتخاب کنند، محیط زیستی‌ها ده امتیاز و اقتصادی‌ها سه امتیاز خواهند گرفت.

- اگر هر یک از بازیکنان محدودیت‌های طراحی شده توسط دیگری را انتخاب کنند هر یک، دو امتیاز خواهند گرفت.

در مرحله بعد مدل بازی طراحی شده در نرم‌افزار Gambit 13.1 اجرا شد و نتایج بازی که شامل تعادل نش بازی و مطلوبیت (امتیاز) به دست آمده برای هر بازیکن است، در نتیجه حل بازی مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد هر بازیکن محدودیت‌های مربوط به خود را انتخاب کرده است و تعارض مورد نظر هنوز پابرجاست، بنابراین، بازی وارد تکرار دوم می‌شود.

بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم

در فاز دوم بازی آمایش سرزمین، هدف را برای هر بازیکن در درجه اول رسیدن به اهداف محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی، و در درجه دوم انتخاب محدودیت‌های طراحی شده توسط بازیکنان قرار داده شد. برای این کار ابتدا توابع هدف محیط زیستی براساس محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط زیستی و محدودیت‌های طراحی شده توسط اقتصادی‌ها به‌طور مجزا در نرم‌افزار WINQSB اجرا شد. سپس، برای توابع اقتصادی و اجتماعی نیز همین کار انجام گرفت. در مرحله بعد، براساس نظر کارشناسی و با توجه به نتایج برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای توابع هدف (براساس محدودیت‌های طراحی شده هر بازیکن به صورت جدا)، سناریوهای بازی برای هر تصمیم بازیکنان طراحی شد که به شرح زیر است:

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت‌های طراحی شده خود، و بازیکن اقتصادی محدودیت‌های خود را انتخاب کنند، محیط زیستی‌ها شش امتیاز و اقتصادی‌ها شش امتیاز خواهند گرفت.

- اگر بازیکن اقتصادی محدودیت‌های طراحی شده خود، و بازیکن اقتصادی محدودیت‌های طراحی شده اقتصادی را انتخاب کنند، محیط‌زیستی چهار امتیاز و اقتصادی ده امتیاز می‌گیرد.

- اگر بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها، و بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده اقتصادی‌ها را انتخاب کنند، محیط‌زیستی دو امتیاز و بازیکن اقتصادی دو امتیاز می‌گیرد.

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده خود، و بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی را انتخاب کنند، محیط‌زیستی ده امتیاز و اقتصادی چهار امتیاز می‌گیرد.

بازیکنان با توجه به اهداف طراحی شده خود (نتایج برنامه‌ریزی خطی چندهدفه) و سناریوهای بازی به تصمیم‌گیری اقدام کردند و جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم تهیه شد. مدل بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم در نرم‌افزار Gambit 13.1 پیاده و اجرا شد. نتایج حل بازی، مطلوبیت بازیکنان در هر تصمیم و تعادل نش بازی به دست آمده شد. با توجه به ماهیت نظریه بازی‌ها (مفهوم تعادل نش)، در پیش‌بینی تصمیم‌های بازیکنان و نتایج حل بازی، هر بازیکن محدودیت‌های مربوط به خود را به‌عنوان تصمیم نهایی انتخاب می‌کند.

متأسفانه با توجه به نتیجه بازی، تعارض هنوز برطرف نشده است و ادامه روند آمایش سرزمین امکان‌پذیر نیست. بنابراین، به دلیل خاصیت نظریه بازی‌ها در چانه‌زنی و تکرار، بازی وارد فاز سوم خود شد.

بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم

در فاز سوم بازی آمایش سرزمین، بر خاصیت چانه‌زنی نظریه بازی‌ها بیشتر تأکید شد و هدف بازیکنان در تصمیم‌گیری، بر این اساس قرار داده شد. برای حل تعارض، هدف بازیکنان جلب رضایت طرف مقابل براساس مساحت‌ها و برآورده کردن نیازهای طرف مقابل قرار داده شد. برای این کار هر شش تابع هدف محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی با هم یک‌بار با محدودیت‌های طراحی شده محیط‌زیستی‌ها و در مرحله دیگر با محدودیت‌های طراحی شده اقتصادی‌ها در نرم‌افزار WINQSB اجرا شد. در مرحله بعد، براساس نتایج اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، هدف تعیین شده برای هر بازیکن و نظر کارشناسان، سناریوهای تصمیم‌گیری بازی طراحی شد که به شرح زیر است:

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده خود و بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده خود را انتخاب کند، محیط‌زیستی هشت امتیاز و اقتصادی سه امتیاز می‌گیرد.

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده توسط اقتصادی‌ها و بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده خود را انتخاب کنند، محیط زیستی دو امتیاز و اقتصادی سه امتیاز می‌گیرد.

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده خود و بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها را انتخاب کنند، محیط‌زیستی ده امتیاز و اقتصادی پنج امتیاز می‌گیرد.

- اگر بازیکن محیط‌زیستی محدودیت طراحی شده اقتصادی‌ها و بازیکن اقتصادی محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها را انتخاب کنند، محیط زیستی سه امتیاز و اقتصادی چهار امتیاز می‌گیرد.

بازیکنان با توجه به هدف طراحی شده آن‌ها که براساس نتایج حل توابع هدف برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و سناریوی‌های بازی است، تصمیم‌گیری کرده‌اند و جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم تهیه شد. مدل بازی در نرم‌افزار Gambit 13.1 اجرا و نتایج حل بازی ارائه شد. نتایج حل بازی آمایش سرزمین نشان می‌دهد تعادل نش در مرحله‌ای است که هر دو بازیکن محدودیت‌های طراحی شده مربوط به محیط زیستی‌ها را انتخاب می‌کنند. با چانه‌زنی بازیکنان و جلب رضایت همدیگر، نتیجه حاکی از حل تعارض به‌وجودآمده و ادامه روند آمایش سرزمین است. به این ترتیب بهینه‌سازی مکانی با محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط زیستی‌ها اجرا شد.

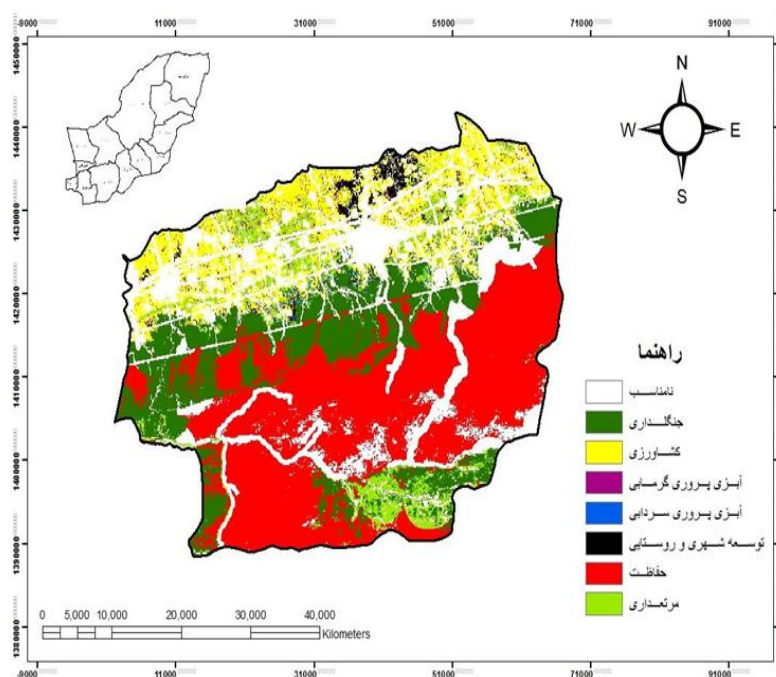
نتایج اجرای توابع هدف برنامه‌ریزی خطی چندهدفه براساس محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط زیستی‌ها در نرم‌افزار WINQSB، به صورت تغییر در مساحت‌های کاربری‌ها MOLA است. جدول تغییر مساحت‌های کاربری‌ها MOLA براساس نتایج اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه یا آرمانی تهیه شد. مقایسه مساحت‌های بهینه به‌دست‌آمده از خروجی نهایی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و نظریه بازی‌ها با مساحت‌های اولیه MOLA نشان می‌دهد، برای اختصاص کاربری‌ها براساس اهداف مورد نظر سطح کاربری‌ها بهینه نیست و باید مساحت بعضی از

کاربری‌ها تغییر یابد. مکان‌هایی را باید تغییر داد که برای کاربری اولیه کم‌ترین توان، و برای کاربری تبدیل‌شده بیشترین توان را داشته باشد. برای پیدا کردن این مناطق دستور Cross Tab و روی نقشه‌های MCE هر کاربری در نرم‌افزار IDRISI Selva به کار گرفته شد.

در مرحله بعد برای مکانی کردن این تغییر مساحت‌ها، و در بعضی از موارد کاهش تعارض‌های مکانی میان کاربری‌ها می‌توان فرایند MOLA را یک‌بار دیگر براساس مساحت‌های تغییر یافته از نتایج برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و نظریه بازی‌ها اجرا کرد.

نتایج

با اجرای ماژول MOLA در نرم‌افزار IDRISI Selva بهینه‌سازی اولیه منطقه مورد مطالعه به دست آمد که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. بهینه‌سازی اولیه با MOLA

جدول ۲ مقادیر احتمالی عمق رواناب و آلودگی غیرنقطه‌ای نیتروژن هر کاربری را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر احتمالی عمق رواناب هر کاربری با به‌کارگیری مدل LTHIA

کاربری	عمق رواناب (سانتی‌متر)	آلودگی غیرنقطه‌ای نیتروژن (کیلوگرم)
کشاورزی	۱۶۴۴٫۷	۶۵٫۱
جنگل‌داری	۷۵۴٫۳	۴٫۷
مرتع‌داری	۵۰۸٫۱	۳٫۱
توسعه شهری و روستایی	۲۱۹۷٫۷	۳۵٫۹
آبی‌پروری گرمایی	۰	۰
آبی‌پروری سردآبی	۰	۰
حفاظت	۵۰۸٫۱	۳٫۱

میانگین احتمال فرسایش به‌دست‌آمده با مدل RUSLE برای هر کاربری در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. میزان فرسایش احتمالی هر کاربری

ردیف	کاربری	میانگین فرسایش (تن در هکتار در سال)
۱	کشاورزی	۳٫۰۴
۲	جنگل‌داری	۰٫۳۹
۳	مرتع‌داری	۴٫۱
۴	توسعه شهری روستایی	۲٫۴
۵	آبی‌پروری گرمایی	۳٫۲
۶	آبی‌پروری سردآبی	۸٫۰۶
۷	حفاظت	۱٫۴

همه اطلاعات به‌دست‌آمده برای نوشتن توابع هدف در دامنه ۵۰ تا ۲۵۵ استانداردسازی و در نهایت، توابع هدف مربوط به هر بخش (محیط‌زیستی و اقتصادی) نوشته شد. جدول ۴ توابع هدف محیط‌زیستی و جدول ۵ توابع هدف اقتصادی-اجتماعی را نشان می‌دهد.

جدول ۴. توابع هدف محیط زیستی

ردیف	نوع تابع هدف	تابع هدف
۱	کمینه سازی عمق رواناب	$\text{Min} = 241aa + 50ac + 50aw + 255ad + 109ar + 109ap + 137ff + 109fp + 50cc + 241wa + 50ww + 255wd + 109wr + 255dd + 241ra + 50rc + 255rd + 109rr + 109rp + 137pf + 109pr + 109pp$
۲	کمینه سازی آلودگی غیر نقطه‌ای نیتروژن.	$\text{Min} = 255aa + 50ac + 50aw + 191ad + 62ar + 62ap + 69ff + 62fp + 50cc + 255wa + 50ww + 191wa + 62wr + 191dd + 255ra + 50rc + 191rd + 62rr + 62rp + 69pf + 62pr + 62pp$
۳	کمینه سازی فرسایش خاک.	$\text{Min} = 138aa + 255ac + 144aw + 119ad + 174ar + 88ap + 50ff + 88f + 255cc + 138wa + 144ww + 119wd + 174wr + 119dd + 138ra + 255rc + 119rd + 174rr + 88rp + 50pf + 174pr + 88pp$

جدول ۵. توابع هدف اقتصادی-اجتماعی

ردیف	نوع تابع هدف	تابع هدف
۱	بیشینه سازی تعداد شغل تولید شده به ازای واحد کاربری زمین.	$\text{Max} = 135aa + 255ac + 135aw + 255ad + 78ar + 100ap + 107ff + 100f + 255cc + 135wa + 135ww + 255wd + 78wr + 255dd + 135ra + 255rc + 255rd + 78rr + 100rp + 107pf + 78pr + 107pp + 50pp$
۲	بیشینه سازی سود کاربری.	$\text{Max} = 152aa + 255ac + 255aw + 255ad + 101ar + 100ap + 152ff + 100f + 255cc + 152wa + 255ww + 255wd + 101wr + 255dd + 152ra + 255rc + 255rd + 101rr + 100rp + 152pf + 101pr + 100pp$
۳	کمینه سازی هزینه اولیه برای استقرار فعالیت در واحد سطح.	$\text{Min} = 255aa + 100ac + 172aw + 100ad + 255ar + 255ap + 203ff + 255f + 100cc + 255wa + 172ww + 100wd + 255wr + 100dd + 255ra + 100rc + 100rd + 255rr + 255rp + 203pf + 255pr + 255pp$

در ادامه هر یک از گروه‌های محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی محدودیت‌های خود را طراحی کردند. هر گروه محدودیت‌های خود را برای ادامه روند برنامه‌ریزی خطی چندهدفه قبول دارد و محدودیت طرف مقابل را رد می‌کند. این تعارض ایجاد شده از ادامه روند آمایش سرزمین جلوگیری می‌کند و سبب توقف اجرای کار می‌شود. برای رفع تعارض ایجاد شده، نظریه بازی‌ها به کار گرفته شد. جدول ۶ محدودیت‌های طراحی شده هر گروه را نشان می‌دهد.

جدول ۶. محدودیت‌های طراحی‌شده هر گروه ذی‌نفع

ردیف	بازیکن	محدودیت‌ها
۱	محیط زیستی	<p>(۱): $aa+ac+aw+ad+ar+ap+ff+fp+cc+wa+ww+wd+wr+dd+ra+rc+rd+rr+rp+pf+pr+pp= ۸۹۵۰۰۰$ (۲): $Aa+ac+aw+ar+ap= ۲۸۵۰۰۰$; (۳): $Ff+fp= ۴۶۰۰۰۰$; (۴): $Wa+ww+wd+wr= ۳۰۰۰۰$</p> <p>(۵): $Pp+pf+pr= ۹۱۰۰۰۰$; (۶): $pp < ۸۱۰۰۰۰$; (۷): $pp > ۸۰۵۰۰۰$; (۸): $ff < ۴۰۰۰۰۰$; (۹): $ff > ۳۹۰۰۰۰$</p> <p>(۱۰): $cc < ۱۴۰۰۰۰$; (۱۱): $cc > ۱۲۰۰۰۰$; (۱۲): $pf+pr < ۱۰۰۰۰۰$; (۱۳): $pf+pr > ۹۰۰۰۰۰$; (۱۴): $aa < ۲۷۰۰۰۰$</p> <p>(۱۵): $aa > ۲۰۰۰۰۰$; (۱۶): $rr < ۱۶۰۰۰۰$; (۱۷): $rr > ۱۵۰۰۰۰$; (۱۸): $Ww < ۲۵۰۰۰۰$; (۱۹): $ww > ۲۰۰۰۰۰$</p> <p>(۲۰): $dd = ۳۰۰۰۰۰$; (۲۱): $ac < ۱۲۳۰۷$; (۲۲): $aw < ۶۰۰۰۰$; (۲۳): $ad < ۲۳۰۰۰۰$; (۲۴): $ar < ۵۱۰۰۰۰$</p> <p>(۲۵): $ap < ۴۵۰۰۰۰$; (۲۶): $fp < ۳۳۴۰۰۰$; (۲۷): $wa < ۶۰۰۰۰$; (۲۸): $wd < ۳۷۰۰۰۰$; (۲۹): $wr < ۶۰۰۰۰$</p> <p>(۳۰): $ra < ۵۱۲۰۰۰$; (۳۱): $rc < ۱۵۰۰۰۰$; (۳۲): $rd < ۲۴۳۰۰۰$; (۳۳): $rp < ۱۱۸۰۰۰$; (۳۴): $pf < ۳۳۴۰۰۰$</p> <p>(۳۵): $pr < ۱۱۸۰۰۰$</p> <p>(۱): $aa+ac+aw+ad+ar+ap+ff+fp+cc+wa+ww+wd+wr+dd+ra+rc+rd+rr+rp+pf+pr+pp= ۱۸۹۵۰۰۰$</p> <p>(۲): $Aa+ac+aw+ar+ap= ۲۸۵۰۰۰$; (۳): $Ff= ۴۶۰۰۰۰$; (۴): $Wa+ww+wd+wr= ۳۰۰۰۰$</p> <p>(۵): $Pp+pf+pr= ۹۱۰۰۰۰$; (۶): $Pf < ۱۰۰۰۰۰$; (۷): $pf > ۸۰۰۰۰۰$; (۸): $Pr < ۱۰۰۰۰۰$; (۹): $Pr > ۸۰۰۰۰۰$</p> <p>(۱۰): $Rr < ۱۳۵۰۰۰$; (۱۱): $Rr = ۱۳۰۰۰۰$; (۱۲): $Rc+rd+ra < ۳۰۰۰۰۰$; (۱۳): $Rc+rd+ra > ۲۵۰۰۰۰$</p> <p>(۱۴): $Ww = ۱۵۰۰۰۰$; (۱۵): $Wd < ۱۵۰۰۰۰$; (۱۶): $Cc = ۱۵۰۰۰۰$; (۱۷): $Aa = ۲۷۰۰۰۰$; (۱۸): $ac < ۱۲۳۰۷$</p> <p>(۱۹): $aw < ۶۰۰۰۰$; (۲۰): $ad < ۲۳۰۰۰۰$; (۲۱): $ar < ۵۱۲۰۰۰$; (۲۲): $ap < ۴۵۰۰۰۰$; (۲۳): $wa < ۶۰۰۰۰$</p> <p>(۲۴): $wd < ۳۷۰۰۰۰$; (۲۵): $wr < ۶۰۰۰۰$; (۲۶): $ra < ۵۱۲۰۰۰$; (۲۷): $rc < ۱۵۰۰۰۰$; (۲۸): $rd < ۲۴۳۰۰۰$</p> <p>(۲۹): $rp < ۱۱۸۰۰۰$; (۳۰): $pf < ۳۳۴۰۰۰$; (۳۱): $pr < ۱۱۸۰۰۰$</p>
۲	اقتصادی - اجتماعی	

در این محدودیت‌ها، A نشان‌دهنده کاربری کشاورزی، F کاربری جنگل‌داری، R کاربری مرتع‌داری، D کاربری توسعه شهری و روستایی، W کاربری آبی‌پروری گرمایی، C کاربری آبی‌پروری سردآبی، و P کاربری حفاظت است. سایر متغیرها نشان‌دهنده تبدیل یک کاربری به کاربری دیگر است. در محدودیت‌های محیط زیستی، محدودیت‌های شماره ۱ تا شماره ۵ مربوط به محدودیت‌های مساحتی است. محدودیت شماره ۱، محدودیت مربوط به مقدار مساحت (سلول) کل منطقه مورد مطالعه است. محدودیت شماره ۲ مناطقی باید به کشاورزی تبدیل شود که مساحت لازم (همان مساحت حاصل از MOLA) را داشته باشد، محدودیت شماره ۳ مناطقی باید به جنگل تبدیل شود که مساحت لازم (مساحت حاصل از MOLA) را داشته باشد، محدودیت شماره ۴ مناطقی باید به آبی‌پروری گرمایی تبدیل شود که مساحت لازم (مساحت

حاصل از MOLA) را داشته باشد، و محدودیت شماره ۵ مناطقی باید به حفاظت تبدیل شود که مساحت لازم (مساحت حاصل از MOLA) را داشته باشد، نشان می‌دهند. سایر محدودیت‌ها مربوط به محدودیت‌های محیط زیستی و محدودیت‌های فنی است.

در بخش محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی، محدودیت‌های شماره ۱، ۲، ۴ و ۵ مربوط به محدودیت‌های مساحتی، و سایر محدودیت‌ها مربوط به محدودیت‌های اقتصادی و اجتماعی، و محدودیت‌های فنی است.

ذی‌نفعان هر یک از محدودیت‌های طراحی شده توسط خود را، جهت ادامه آمایش سرزمین قبول دارند که سبب ایجاد تعارض در ادامه روند آمایش سرزمین شده است. برای رفع تعارض ایجادشده در روند آمایش سرزمین ماهیت نظریه بازی‌ها به کار گرفته شد. در این پژوهش از بازی معمای زندانی برای بازی آمایش سرزمین ایده گرفته شد. شکل ۳ جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار اول را نشان می‌دهد.

بازی آمایش سرزمین با تکرار اول			
بازیکنان		بازیکن محیط‌زیستی	
		محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی	محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی
بازیکن اقتصادی-اجتماعی	محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی	EN= ۵ EC= ۵ ۱	EN= ۳ EC= ۱۰ ۲
	محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی	EN= ۱۰ EC= ۳ ۳	EN= ۲ EC= ۲ ۴

شکل ۳. جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار اول

عناصر بازی آمایش سرزمین با تکرار اول به شرح زیر است:

Players = (EN, EC).

Action = (A1, B1).

Action profile = (A1,A1) , (A1,B1) , (B1,A1), (B1,B1)

Utility =

UEn= (A1,A1) = ۵ , UEc= (A1, A1)= ۵ (گام یک بازی)

گام دوم بازی) $UE_n = (A1, B1) = 3$, $UE_c = (A1, B1) = 10$

گام سوم بازی) $UE_n = (B1, A1) = 10$, $UE_c = (B1, A1) = 3$

گام چهارم بازی) $UE_n = (B1, B1) = 2$, $UE_c = (B1, B1) = 2$

در عناصر بازی، عمل A نشان‌دهنده انتخاب محدودیت طراحی شده خود، و عمل B نشان‌دهنده انتخاب محدودیت طراحی شده دیگر بازیکن است. عنصر سوم بازی همان پیامد (Payoff) هر بازیکن در هر مرحله بازی است. بعد از اجرای بازی در نرم‌افزار Gambit 13.1، مرحله یک بازی با عنوان تعادل نش بازی به دست آمد.

تعادل نش بیان می‌کند هر بازیکن عقلانی تصمیم می‌گیرد، به این معنا که هر بازیکن به دنبال بیشینه کردن سود خود است. به عبارت دیگر، نقطه تعادل نش، نقطه‌ای است که در آن هیچ بازیکنی (با فرض ثابت بودن بازی بقیه)، در صورت تغییر بازی خود، سود او بیشتر نشود.

در تکرار دوم بازی آزمایش سرزمین، هدف را برای هر بازیکن در درجه اول رسیدن به اهداف محیط زیستی و اقتصادی-اجتماعی، و در درجه دوم انتخاب محدودیت‌های طراحی شده توسط بازیکنان قرار داده شد. برای این کار ابتدا توابع هدف محیط زیستی براساس محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط زیستی و محدودیت‌های طراحی شده توسط اقتصادی-اجتماعی‌ها به صورت جدا در نرم‌افزار WINQSB اجرا شد. سپس، برای توابع اقتصادی و اجتماعی نیز همین کار انجام گرفت. جدول ۷ نتایج توابع هدف را در نرم‌افزار WINQSB نشان می‌دهد.

جدول ۷. نتایج توابع هدف، براساس محدودیت‌های طراحی شده

محدودیت محیط‌زیستی		محدودیت اقتصادی-اجتماعی	
۱۷۰۳۳۵۰۰۸	۱۶۳۰۶۲۰۰۰	کمینه‌سازی فرسایش	تابع هدف محیط
۲۶۱۹۴۴۹۹۲	۲۵۶۱۸۶۹۹۲	کمینه‌سازی حجم رواناب	زیستی
۱۷۵۴۵۵۰۰۸	۱۷۰۱۷۶۰۰۰	کمینه‌سازی آلودگی نیتروژن	تابع هدف اقتصادی-
۱۵۴۷۶۱۸۴۰	۱۴۲۴۰۱۸۴۰	بیشینه‌سازی کار تولیدشده	اجتماعی
۲۵۲۲۴۷۲۹۶	۲۵۱۵۵۲۳۰۴	بیشینه‌سازی سود کاربری	
۴۳۵۷۳۳۸۸۸	۴۳۷۸۰۳۹۰۴	کمینه‌سازی هزینه اولیه استقرار کاربری	

در مرحله بعد، بازیکنان با توجه به سناریوهای طراحی شده تصمیم‌گیری کردند. نتایج بازی حاکی از آن است که هر یک از بازیکنان محدودیت‌های طراحی شده خود را انتخاب کرده‌اند.

شکل ۴ جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم را نشان می‌دهد.

بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم			
بازیکنان		بازیکن محیط‌زیستی	
		محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی	محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی
بازیکن اقتصادی-اجتماعی	محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی	EN= ۶ EC= ۶ ۱	EN= ۴ EC= ۱۰ ۲
	محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی	EN= ۱۰ EC= ۴ ۳	EN= ۲ EC= ۲ ۴

شکل ۴. جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار دوم

در فاز سوم بازی آمایش سرزمین، هدف بازیکنان در جلب رضایت طرف مقابل براساس مساحت‌ها و برآورده کردن نیازهای طرف مقابل قرار داده شد. برای این کار هر شش تابع هدف محیط‌زیستی، و اقتصادی و اجتماعی با هم یک‌بار با محدودیت‌های طراحی شده محیط‌زیستی‌ها و در مرحله دیگر با محدودیت‌های طراحی شده اقتصادی‌ها در نرم‌افزار WINQSB اجرا شد. نتایج اجرای توابع هدف شش‌گانه در جدول ۸ بیان شده است.

جدول ۸. نتایج اجرای توابع هدف شش‌گانه در نرم‌افزار WINQSB

ردیف	تغییر مساحت‌ها براساس محدودیت‌های محیط‌زیستی	تغییر مساحت‌ها براساس محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی
۱	کشاورزی (۲۱۵۰۰۰ سلول)، کشاورزی به آبی‌پروری سردآبی (۱۲۳۰۷ سلول)، کشاورزی به آبی‌پروری گرمایی (۴۷۶۹۳ سلول)، کشاورزی به توسعه شهری و روستایی (۱۰۰۰۰ سلول)، جنگل‌داری (۴۰۰۰۰۰ سلول)، جنگل به حفاظت (۶۰۰۰۰ سلول)، آبی‌پروری سرد آبی (۱۵۰۰۰)، آبی‌پروری گرمایی (۲۰۰۰۰ سلول)، آبی‌پروری گرمایی به توسعه شهری و روستایی (۱۰۰۰۰ سلول)، توسعه شهری و روستایی (۳۰۰۰۰ سلول)، مرتع‌داری (۱۶۵۰۰۰ سلول)، حفاظت به جنگل‌داری (۱۰۰۰۰۰ سلول) و حفاظت (۸۱۰۰۰۰ سلول).	کشاورزی (۲۷۰۰۰۰ سلول)، کشاورزی به آبی‌پروری سردآبی (۱۲۳۰۷)، کشاورزی به آبی‌پروری گرمایی (۲۶۹۳ سلول)، جنگل‌داری (۴۶۰۰۰۰ سلول)، آبی‌پروری سردآبی (۱۵۰۰۰ سلول)، آبی‌پروری گرمایی (۱۵۰۰۰ سلول)، آبی‌پروری گرمایی به توسعه شهری و روستایی (۱۵۰۰۰ سلول)، توسعه شهری و روستایی (۳۰۰۰۰ سلول)، مرتع‌داری به توسعه شهری و روستایی (۲۵۰۰۰ سلول)، مرتع‌داری (۱۴۰۰۰۰ سلول)، حفاظت به جنگل‌داری (۱۰۰۰۰۰ سلول)، حفاظت به مرتع‌داری (۱۰۰۰۰۰ سلول) و حفاظت (۷۱۰۰۰۰ سلول).

شکل ۵ جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم را نشان می‌دهد.

بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم			
بازیکنان		بازیکن محیط زیستی	
		محدودیت طراحی شده محیط زیستی	محدودیت طراحی شده اقتصادی- اجتماعی
بازیکن اقتصادی- اجتماعی	محدودیت طراحی شده اقتصادی- اجتماعی	EN= ۸ EC= ۳	EN= ۲ EC= ۳
	محدودیت طراحی شده محیط زیستی	EN= ۱۰ EC= ۵	EN= ۳ EC= ۴

شکل ۵. جدول بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم

بعد از اجرای بازی در نرم‌افزار Gambit 13.1، مرحله سوم بازی با عنوان تعادل نش بازی به دست آمد. در این مرحله هر یک از بازیکنان محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط‌زیستی‌ها را انتخاب می‌کنند و پیامد (Payoff) بازیکن محیط‌زیستی ده و بازیکن اقتصادی و اجتماعی پنج است. با توجه به حل بازی بازیکن محیط‌زیستی برنده بازی اعلام می‌شود و با این نتیجه تعارض ایجاد شده حل و ادامه روند آمایش سرزمین امکان‌پذیر است. بر این اساس، آمایش سرزمین با محدودیت‌های طراحی شده توسط محیط‌زیستی‌ها ادامه می‌یابد.

برای مکانی‌کردن نتایج برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و نظریه بازی‌ها، مساحت‌های به دست آمده مطابق با جدول ۹ به عنوان مساحت‌های جدید MOLA در نظر گرفته شد. مقایسه مساحت‌های جدید MOLA با مساحت‌های آمایش سرزمین اولیه در جدول ۹ بیان شده است.

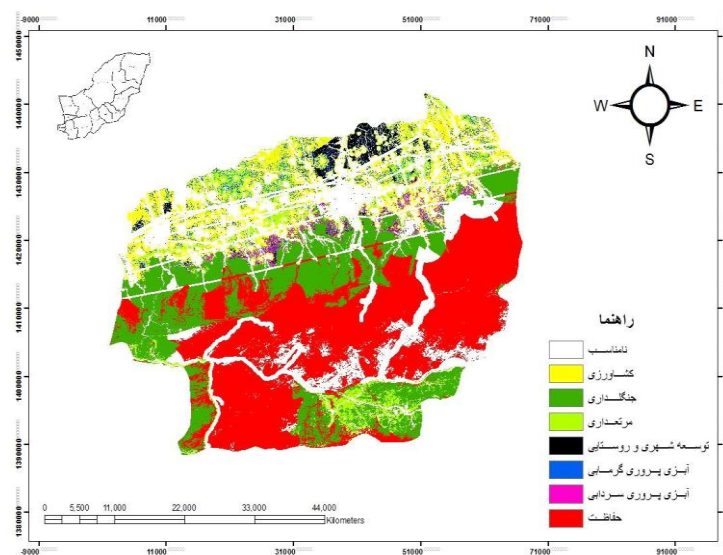
جدول ۹. مقایسه مساحت‌های جدید MOLA با مساحت‌های آمایش سرزمین اولیه

ردیف	کاربری	مساحت‌های جدید (سلول)	مساحت‌های قدیم (سلول)
۱	کشاورزی	۲۱۵۰۰۰	۲۸۵۰۰۰
۲	جنگل‌داری	۵۰۰۰۰۰	۴۶۰۰۰۰
۳	مرتع‌داری	۱۶۵۰۰۰	۱۶۵۰۰۰

ادامه جدول ۹. مقایسه مساحت‌های جدید MOLA با مساحت‌های آمایش سرزمین اولیه

ردیف	کاربری	مساحت‌های جدید (سلول)	مساحت‌های قدیم (سلول)
۴	توسعه شهری و روستایی	۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰
۵	آبی‌پروری گرمابی	۶۷۶۹۳	۳۰۰۰۰
۶	آبی‌پروری سردآبی	۲۷۳۰۷	۱۵۰۰۰
۷	حفاظت	۸۷۰۰۰۰	۹۱۰۰۰۰
جمع کل		۱۸۹۵۰۰۰	۱۸۹۵۰۰۰

با در دست داشتن مساحت‌های جدید، فرایند MOLA بار دیگر اجرا شد. نقشه تهیه شده، نقشه مکانی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و نظریه بازی‌ها است که در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشه نهایی آمایش سرزمین

بحث

در فاز سوم بازی آمایش سرزمین، بر خاصیت چانه‌زنی نظریه بازی‌ها بیشتر تأکید شد و هدف بازیکنان در تصمیم‌گیری، بر این اساس قرار داده شد. طبق جدول ۸ که نتایج اجرای توابع هدف

با هر یک از محدودیت‌های طراحی شده است، کارشناسان سناریوهای بازی را طراحی کردند. هر بازیکن باید در وهله اول به نیاز طرف مقابل براساس مساحت‌های خروجی از محدودیت‌های آن‌ها از محدودیت‌های خود دفاع کند.

با محدودیت محیط‌زیستی‌ها باید ۷۰۰۰۰ سلول از کاربری کشاورزی به کاربری‌های آبی‌پروری گرمابی و سردآبی و کاربری توسعه شهری روستایی اختصاص یابد. با این نتیجه به نیاز اقتصادی-اجتماعی‌ها مبتنی بر تولید کار، افزایش سود و کاهش هزینه اولیه استقرار هر کاربری توجه شده است. در حالی که با محدودیت‌های طراحی شده اقتصادی-اجتماعی‌ها ۱۵۰۰۰ سلول از کشاورزی باید به کاربری‌های آبی‌پروری سردآبی و گرمابی اختصاص یابد. محدودیت‌های محیط‌زیستی‌ها هم به نیاز اقتصادی‌ها توجه کرده است و سود و ایجاد شغل را با تغییر کاربری کشاورزی بیشتر خواهد، به‌جای اینکه از کاربری‌های جنگل‌داری و نظیر آن‌ها که نقش مناسبی در کاهش رواناب و فرسایش دارند، کاسته شود. همچنین، در وهله دوم با این تغییر در کاربری کشاورزی به نیاز محیط‌زیستی‌ها مبنی بر عدم کاهش کاربری‌هایی نظیر جنگل‌داری توجه شده است. با محدودیت محیط‌زیستی‌ها باید از کاربری جنگل‌داری حدود ۶۰۰۰۰ سلول به کاربری حفاظت اختصاص یابد. با این کار به جنبه‌های حفاظت از محیط زیست بیشتر توجه شده است؛ اما با محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی‌ها، کاربری جنگل‌داری دست‌نخورده باقی خواهد ماند. در نتیجه، به جنبه‌های اقتصادی حاصل از جنگل‌داری در مقابل توجه به نیازهای محیط‌زیستی طرف مقابل توجه بیشتری شده است. آبی‌پروری سردآبی در هر دو محدودیت بدون تغییر خواهد ماند. ۱۰۰۰۰ سلول از کاربری آبی‌پروری گرمابی بر اساس محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها باید به کاربری توسعه شهری و روستایی اختصاص یابد (توجه به جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی از طریق تغییر کاربری‌های اقتصادی). ۱۵۰۰۰ سلول این کاربری بر اساس محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی‌ها باید به کاربری توسعه شهری و روستایی تبدیل شود. کاربری توسعه شهری و روستایی در هر دو محدودیت بدون تغییر خواهد ماند. در محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها، کاربری مرتع‌داری به دلیل نقش آن در کاهش رواناب و

فرسایش در درجه اول، و همچنین، جنبه‌های اقتصادی آن نظیر تولید علوفه، چرای دام، زنبورداری و مواردی نظیر آن‌ها بدون تغییر باقی خواهد ماند. اما با محدودیت طراحی شده اقتصادی-اجتماعی‌ها، ۲۵۰۰۰ سلول از این کاربری باید به کاربری توسعه شهری و روستایی اختصاص یابد. بنابراین، به نیازهای طرف مقابل توجه کمتری شده است و بیشتر جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی مد نظر است. در نهایت، با محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها ۱۰۰۰۰۰ سلول از کاربری حفاظت به کاربری جنگل‌داری باید اختصاص یابد. با این اختصاص هم به جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی حاصل از کاربری جنگل‌داری توجه شده است، و هم به جنبه‌های محیط‌زیستی. کاربری جنگل‌داری سبب کاهش رواناب و فرسایش خواهد شد، و در درجه دوم مکانی مناسب برای حیات وحش خواهد بود. در طرف مقابل، باید ۲۰۰۰۰۰ سلول کاربری حفاظت به کاربری مرتع‌داری و کاربری جنگل‌داری اختصاص یابد. بنابراین، از مساحت کاربری حفاظت بیشتر کاسته خواهد شد، و به نیازهای طرف مقابل توجه کمتری شده است.

در مرحله اول بازی، هر بازیکن محدودیت‌های طراحی شده خود را انتخاب خواهند کرد. طبق قوانین طراحی شده بازی، بازیکن محیط‌زیستی ۸ امتیاز و بازیکن اقتصادی-اجتماعی ۳ امتیاز خواهد گرفت. با فرض اینکه بازیکن محیط‌زیستی بازی خود را تغییر نخواهد داد، اگر بازیکن اقتصادی-اجتماعی بخواید بازی خود را تغییر دهد و محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها را انتخاب کند (از مرحله اول به مرحله سوم بازی حرکت کند)، امتیاز او از ۳ امتیاز به ۵ امتیاز افزایش خواهد یافت. بنابراین، طبق تعریف تعادل نش مرحله اول بازی نمی‌تواند تعادل نش باشد. در مرحله سوم بازی، هر بازیکن محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها را انتخاب خواهد کرد. براساس سناریوهای بازی، بازیکن محیط‌زیستی ۱۰ امتیاز و بازیکن اقتصادی-اجتماعی ۵ امتیاز می‌گیرد. با فرض اینکه بازیکن محیط‌زیستی حاضر به تغییر بازی خود نیست، اگر بازیکن اقتصادی-اجتماعی بخواید بازی خود را تغییر دهد (از مرحله سوم بازی به مرحله اول حرکت کند)، امتیاز او از ۵ به ۳ کاهش خواهد یافت. بنابراین، حاضر به تغییر بازی خود نیست. همچنین، با فرض ثابت‌بودن بازی بازیکن اقتصادی-اجتماعی اگر بازیکن محیط‌زیستی بخواید بازی خود

را تغییر دهد و محدودیت اقتصادی- اجتماعی را انتخاب کند (از مرحله سوم بازی به مرحله چهارم بازی حرکت کند)، امتیاز او از ۱۰ به ۳ کاهش خواهد یافت، و بازیکن محیط‌زیستی هم حاضر به تغییر بازی خود نخواهد بود. طبق موارد گفته‌شده چون هیچ‌یک از بازیکنان حاضر به تغییر بازی خود نیستند، مرحله سوم بازی یک نقطه تعادل نش خواهد بود. مراحل دوم و چهارم طبق تعریف نش گفته‌شده نمی‌توانند تعادل نش باشند.

ترجیحات بازیکن محیط‌زیستی بر روی هر یک از خروجی‌ها در بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم به شرح زیر است:

- مرحله سوم < مرحله اول < مرحله چهارم < مرحله دوم.

ترجیحات بازیکن اقتصادی- اجتماعی بر روی هر یک از خروجی‌ها در بازی آمایش سرزمین با تکرار سوم به شرح زیر است:

- مرحله سوم < مرحله چهارم < مرحله اول < مرحله دوم.

با توجه به ترجیحات بازیکنان بر روی هر خروجی، معلوم است استراتژی محدودیت‌های طراحی شده محیط‌زیستی‌ها به عنوان یک عمل قویاً غالب است، زیرا هم به جنبه‌های محیط‌زیستی و هم به جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی (از طریق اقتصاد محیط زیست) توجه می‌کند و هم سبب عملی شدن فرایند آمایش سرزمین خواهد شد. عکس این عمل، یعنی استراتژی انتخاب محدودیت طراحی شده اقتصادی- اجتماعی‌ها به دلیل نارضایتی طرف مقابل و امتیاز کم آن در سناریوهای بازی به عنوان یک عمل قویاً مغلوب انتخاب می‌شود.

نتیجه

با توجه به اینکه خروجی بازی، انتخاب محدودیت طراحی شده محیط‌زیستی‌ها است، تعارض به‌وجودآمده در روند اجرایی آمایش سرزمین حل خواهد شد. در نهایت، برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با محدودیت‌های محیط‌زیستی‌ها دنبال شد و نتیجه آن در آمایش MOLA اعمال شد. نتایج نشان می‌دهد کاربری‌ها براساس توان منطقه به صورت صحیح جانمایی شده‌اند. مقایسه مساحت‌های بهینه خروجی مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و نظریه بازی‌ها با مساحت‌های

آمایش سرزمین اولیه (جدول ۶ مقایسه مساحت‌های جدید MOLA با مساحت‌های آمایش سرزمین اولیه) نشان می‌دهد سطح کاربری‌ها به‌منظور رسیدن به اهداف مورد نظر بهینه نبوده است. ۷۰۰۰۰ سلول از سطح کاربری کشاورزی کاسته شده است که می‌تواند نشان‌دهنده توجه مدل طراحی شده به اهداف محیط زیستی نظیر کاهش رواناب و فرسایش باشد. ۴۰۰۰۰ سلول به سطح کاربری جنگل‌داری افزوده شده است که توجه به نیازهای بخش محیط زیستی و همچنین بخش اقتصادی- اجتماعی در آن مشاهده می‌شود. سطح کاربری‌های آبی‌پروری گرمابی و سردآبی و همچنین، کاربری‌های توسعه شهری و روستایی افزایش یافته است، که بهینه‌سازی این کاربری‌ها برای اهداف اقتصادی- اجتماعی را گزارش می‌دهد. در نهایت، کاربری حفاظت ۴۰۰۰۰ سلول کم شده است که به کاربری جنگل‌داری اختصاص یافته است، از یک سو کاربری جنگل‌داری نقشی مهم در کاهش اهداف محیط زیستی مورد بررسی (کاهش عمق رواناب احتمالی و احتمال فرسایش) داشته، و از سوی دیگر، توجه به اهداف اقتصادی- اجتماعی در آن وجود دارد. با توجه به اهداف اقتصادی- اجتماعی مورد بررسی، مطلوبیت کاربری جنگل‌داری نسبت به کاربری حفاظت به مراتب بیشتر است و می‌توان به پیاده‌سازی جنبه‌های اقتصاد محیط زیستی در این بخش اقدام کرد یا کاربری با عنوان جنگل‌های حفاظتی به کاربری‌های MOLA اضافه شود.

منابع و مأخذ

۱. اوجی، محمدرحیم، نیک‌کامی، داوود، مهدیان، محمدحسین و محمودی، شهلا (۱۳۹۲). کمپنه‌سازی رواناب و رسوب‌دهی به کمک بهینه‌سازی کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز جاجرود). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۴، صفحات ۱۹۹-۱۸۳.
۲. دیلم، مینا (۱۳۹۳). امکان‌سنجی کاربرد نظریه بازی‌ها در حل مسئله تغییر کاربری اراضی آبخیز زیارت‌گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۳. ذوقی، محمود، صفایی، امیر و ملک‌محمدی، بهرام (۱۳۹۳). رهنمودهای تئوری بازی در تحلیل مناقشه تغییر کاربری اراضی (مطالعه موردی: اراضی محله دارآباد تهران). پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۴۰۷-۳۹۱.
۴. سلمان‌ماهینی، عبدالرسول، سعدالدین، امیر، جولایی، رامتین، محبوبی، محمدرضا و خوشفر، غلام‌رضا (۱۳۹۴). طرح آمایش استان گلستان تحلیل اقتصادی. استناداری گلستان، صفحات ۴۶۵-۱.
۵. ایستمن، ج. رونالد (۱۳۹۰). سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدرسی. ترجمه عبدالرسول سلمان‌ماهینی و حمیدرضا کامیاب، تهران: انتشارات مهر مهدیس.
۶. عبدلی، قهرمان (۱۳۹۱). نظریه بازی‌ها و کاربردهای آن (بازی‌های اطلاعات ناقص، تکاملی و همکارانه). تهران: انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی.

7. Alexander, C. (1965). A city is not a tree. *Architectural Forum*, 122(1), 58-61.
8. Byrne, D. (2003). Complexity theory and planning theory: a necessary encounter. *Planning Theory*, 2(3), 171-178.

9. Cai, X., McKinney, D.C. & Lasdon, L. (2003). An integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129, 4-17.
10. De Roo, G. (2004). Coping with the growing complexity of our physical environment: the search for new planning tools in the Netherlands. In: Sorensen, S. Marcotullio, P.J. Grant, J. (Eds.), *Towards Sustainable Cities; East Asian, North American and European Perspectives on Managing Urban Regions, Urban Planning and Environment*, Ashgate, Aldershot, pp. 161-175.
11. Eldrandaly, Kh. (2010). A GEP-based spatial decision support system for multisite land use allocation. *Applied Soft Computing*, 10, 694-702.
12. Karmperis, A.C., Aravossis, K., Tatsiopoulou, I.L. & Sotirchos, A. (2013). Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches. *Waste Management*, 33, 1290-1301.
13. Kerachian, R. Fallahnia, M. Bazargan-Lari, M.R. Mansoori, A. & SEDGHI, h. (2010). A fuzzy game theoretic approach for groundwater resources management, application of Rubinstein Bargaining Theory. *Journal of Resources Conservation and Recycling*, 54, 673-682.
14. Lee, C.S. & Chang, S.P. (2005). International fuzzy optimization for an economics an environmental balance in a river system. *Jornal of Water Research*, 39, 221-231.
15. Lee, C.S., Ynge, C.Y., Chang, S.P. & Lee. Y.C. (2010). Sustainable watershed management by fuzzy game optimization International Environment Modeling and Software Society (iEMSs). *International Congress on Environment Modeling and Software Modeling Environment's Sake*, Fifth Biennial Meeting Ottawa, Canada David A. Swayne, Wanhong Yang, A. A. Voinov, A. Rizzoli, T. Filatova (EDs).
16. Lund, J.R. & Palmer, R.N. (1997). Water resource system modeling for conflict resolution. *Journal of Water Resources Update*, 3(108), 70-82.
17. Mohammadi Limaie, S. (2010). Mixed strategy game theory, application in forest industry. *Journal of Forest Policy and Economics*, 12, 527-531.
18. Ramakrishna, N. (2003). Production system planning for natural resource conservation in a micro watershed. *Electronic Green Journal*, 18, 1-10.
19. Samsura, D., Ary A., Van der krabben, E. & Van Deemen, A.M.A. (2010). A game theory approach to the analysis of land and property development processes. *Land Use Policy*, 27, 564-578.
20. Shabani, M. (2010). Effect of optimizing land use on eroion and benefit of watershed: the case study of Zakhard watershed in Fars province, Iran. *The Nature of Geography*, 8, 83-98.
21. Wang, S.H., Huang, S.L. & Budd, W.W. (2012). Integrated ecosystem model for simulating land use allocation. *Ecological Modelling*, 227, 46-55.
22. Wei, S., Yang, H., Abbaspour, K., Mousavi, J. & Gnauck, A. (2010). Game theory based models to analyse water conflicts in the Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project in China. *Journal of Water Research*, 44, 2499-2516.