

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شماره ۱۰۹، بهار ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/AEAD.2020.296681.1075

الگوی پایداری در بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز حبله‌رود

امین ارجمندی^۱، سید ابوالقاسم مرتضوی^۲، صادق خلیلیان^۳، آرش زارع گاریزی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۱

چکیده

ترکیب مناسب کاربری اراضی از عوامل مهم در حفظ و پایداری منابع آب و خاک به‌ویژه در بستر حوضه‌های آبخیز است. در مطالعه حاضر، با در نظر گرفتن همزمان شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، نحوه بهره‌برداری بهینه و پایدار از اراضی حوضه آبخیز حبله‌رود بررسی شد. بدین منظور، از مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) و روش‌های

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(amin.arjomandi@modares.ac.ir)

۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(samortazavi@modares.ac.ir)

(khalil_s@modares.ac.ir)

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

(arash.zare@gau.ac.ir)

فرارته‌ای پرومتی (PROMETHEE) و الکتراه (ELECTRE) به‌عنوان دو نمونه از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده شد. داده‌های مورد نیاز در تعیین شاخص‌های زیست‌محیطی از جمله دما، بارش، رطوبت، تبخیر و تعرق برای یک دوره ۲۶ساله و داده‌های مربوط به شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی شامل هزینه تولید، درآمد ناخالص و میزان اشتغال در سال ۱۳۹۶ گردآوری شد. نتایج نشان داد که کاربری باغ در جنوب حوضه هم از لحاظ اقتصادی-اجتماعی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، در رتبه اول و کاربری مرتع در شمال حوضه در رتبه آخر انواع کاربری‌ها قرار دارند؛ همچنین، در کاربری‌های باغ در شمال حوضه و مرتع در جنوب حوضه، تضاد رتبه‌بندی چه از لحاظ شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی و چه از لحاظ شاخص‌های زیست‌محیطی مشاهده شد. از این‌رو، بر مبنای ارزیابی به‌دست آمده، پیشنهادهایی در راستای بهبود وضعیت و توسعه اراضی مورد مطالعه ارائه شد.

کلیدواژه‌ها: کاربری اراضی، مدل ارزیابی آب و خاک، مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)، حبله‌رود (حوضه آبخیز).

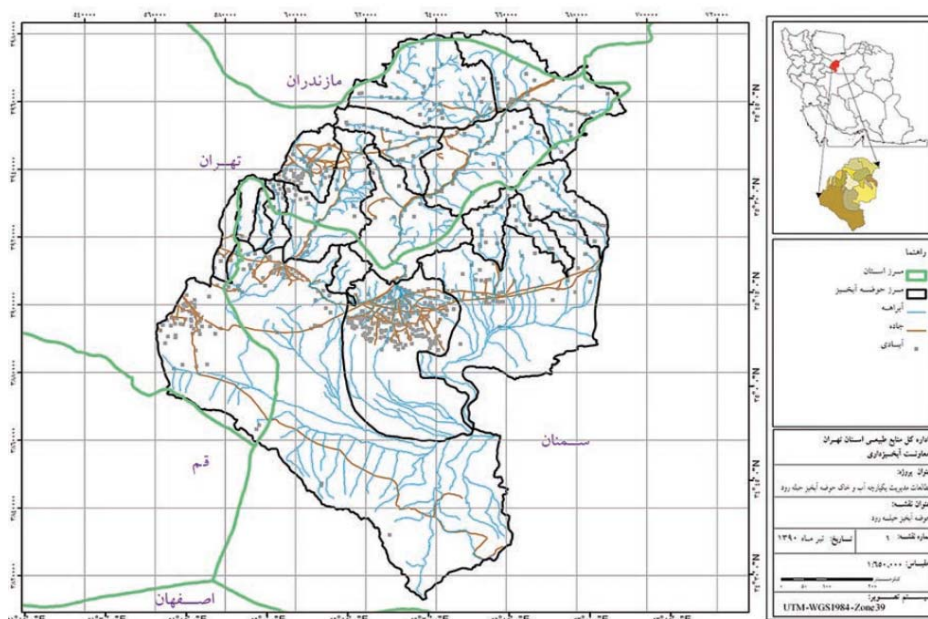
طبقه‌بندی JEL: C61, Q24, Q15, R14

مقدمه

حوضه آبخیز به‌عنوان یک سیستم پویا و یکپارچه اجتماعی، اقتصادی و زیست‌شناختی نقشی به‌سزا در رشد و شکوفایی اقتصاد روستا و کشاورزی ایفا می‌کند. در حال حاضر، اکثر حوضه‌های آبخیز کشورمان به شیوه‌های مختلف دچار تخریب و فرسایش است، به‌گونه‌ای که طی سه دهه اخیر، روند فرسایش آبی به‌شدت افزایش یافته و تقریباً به ۳ تا ۳/۵ برابر رسیده است (Khosroshahi, 2014). بنابراین، نیاز است تا با مدیریت علمی حوضه آبخیز، ضمن توجه به مسائل اقتصادی-اجتماعی، حفظ منابع زیست‌محیطی از جمله آب و خاک در این حوضه‌ها هم‌سو با توسعه پایدار و با اعمال مدیریت مسئولانه بر منابع مورد توجه قرار گیرد.

حوضه آبخیز حبله‌رود با وسعت بیش از ۱/۲۶ میلیون هکتار در محدوده استان‌های تهران و سمنان واقع شده است (شکل ۱). اقتصاد ساکنان این حوضه بیشتر بر پایه باغداری و زراعت استوار است. بخش‌های شمالی حوضه را مراتع سرسبزی تشکیل می‌دهد که ییلاق عشایر کوچنده محسوب می‌شود. بخش جنوبی در شهرستان‌های گرمسار و آرادان نیز محل اسکان این عشایر در دوره قشلاق است (Shahosseini, 2014). در این حوضه، رودخانه حبله‌رود مهم‌ترین رودخانه دائمی است که از ارتفاعات البرز مرکزی سرچشمه گرفته و وارد دشت گرمسار می‌شود. علاوه بر این، رودخانه‌های دلیچای، کیلان، نمرود و دره‌رود از شمال به جنوب جریان دارند.

این حوضه از سال ۱۳۷۶ به‌عنوان حوضه نمونه در راستای اجرای طرح مدیریت پایدار منابع آب و خاک انتخاب شده است. این طرح با استفاده از کمک و مشارکت مؤسسات وابسته به سازمان ملل از جمله سازمان خواربار و کشاورزی (FAO)، برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و نیز سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در دو مرحله به‌اجرا گذاشته شده است. با توجه به ویژگی‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی حوضه حبله‌رود و اجرای طرح‌هایی از این دست در منطقه، مطالعات بیشتر در زمینه پایش و ارزیابی اقدامات انجام‌شده و میزان دستیابی به اهداف اولیه و یا ارائه راهکارهای بهینه در راستای بهبود وضعیت منطقه ضروری می‌نماید.



شکل ۱- نقشه حوضه آبخیز حبله رود

وضعیت نه چندان مطلوب منابع طبیعی در حوضه آبخیز حبله رود، که نیازمند اقدامات حفاظتی، احیایی، اصلاحی و توسعه‌ای است، از یک سو، و وجود نیمی از روستاهای خالی از سکنه این منطقه (۳۲۰ روستا) به دلیل مهاجرت روستاییان و مشکلات منطقه در زمینه‌های زراعت، باغداری، دامداری، آب و خاک و ...، از سوی دیگر، نیاز به ارائه راهکارهای مناسب در راستای توسعه پایدار این حوضه را ضروری ساخته است (Kazemi et al., 2006). یکی از عوامل اصلی برهم‌زننده تعادل زیست‌بوم‌ها تغییر نابه‌جای پوشش و کاربری اراضی برای معرفی فعالیت‌هایی فراتر از توان طبیعی زمین است (Salman-Mahini et al., 2013). بر پایه یافته‌های مطالعه شفيعی (Shafiei, 2011)، اجرای طرح کاربری اراضی در این حوضه به شیوه کنونی به دلیل تخصیص نامناسب زمین برای کاربری زراعت و باغ مقرون به صرفه نیست؛ بخش مرتع نیز گرچه مقرون به صرفه است، اما دلیل آن هم استفاده بی‌رویه و اضافه بر ظرفیت مرتع است

که می‌تواند اثرات زیان‌باری بر مرتع داشته باشد. از این‌رو، مطالعه حاضر به دنبال ارائه راهکارهایی در راستای بهره‌برداری بهینه و پایدار از اراضی منطقه حبله‌رود است. باید توجه داشت که وجود ابعاد فنی، اجتماعی، کالبدی و بوم‌شناختی در روند برنامه‌ریزی حوضه آبخیز و روابط متقابل و پیچیده میان این اجزا تصمیم‌گیری در مورد نحوه مدیریت منابع آب و خاک را دشوار می‌سازد. افزون بر این، وجود ابعاد مختلف فعالیت کشاورزی و تأثیرات متقابل زیست‌محیطی نیاز به کاربرد روش‌های «تصمیم‌گیری چندمعیاره» (MCDM)^۱ در مورد نحوه تخصیص زمین به فعالیت‌های مختلف را ضروری می‌سازد. تصمیم‌گیری چندمعیاره مطالعه شیوه‌ها و روش‌هایی است که با بهره‌گیری از آنها می‌توان معیارهای چندگانه متضاد را به صورت صحیح در فرآیند برنامه‌ریزی مدیریتی به کار برد. در مطالعه حاضر، ابتدا از مدل «ابزار ارزیابی آب و خاک» (SWAT)^۲ با کمک نرم‌افزار تجزیه و تحلیل نقشه‌های ماهواره‌ای «سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی» (GIS)^۳ برای تعیین مقادیر مربوط به شاخص‌های زیست‌محیطی استفاده شد؛ همچنین، مقادیر مربوط به شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی از طریق مشاهدات میدانی و جمع‌آوری پرسشنامه به دست آمد. سپس، از طریق فرآیند «تصمیم‌گیری چندشاخصه» (MADM)^۴ به عنوان یک زیرمجموعه از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، بهینه‌سازی کاربری اراضی با توجه به شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که مطالعات گوناگون اعم از داخلی و خارجی از جنبه‌های مختلف به بررسی بهبود مدیریت منابع آب و خاک و از جمله استفاده بهینه از کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز مختلف پرداخته‌اند. مروری بر مطالعات صورت گرفته در حوزه تخصیص کاربری زمین نشان می‌دهد که در بیشتر مطالعات، از

-
1. Multi Criteria Decision Model
 2. Soil and Water Analysis Tool
 3. Geographic Information Systems
 4. Multi Attribute Decision Making

روش‌های «تصمیم‌گیری چندهدفه» (MODM)^۱ برای تخصیص مساحت کاربری‌ها و نتایج حاصل از آن استفاده شده است که در پی، پاره‌ای از آنها یادآوری می‌شود.

تقوی گرگی و همکاران (Taghavi Gorji et al., 2013) به تعیین مناسب‌ترین ترکیب کاربری اراضی برای کاهش وقوع سیلاب و بیشینه‌سازی سود در حوضه آبخیز کسلیان شهرستان سوادکوه پرداختند و به منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی، از مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که کاهش اراضی کشت دیم و افزایش اراضی جنگل بیشترین تأثیر را در افزایش سود و کاهش سیلاب در این حوضه داشته است.

شایگان و همکاران (Shaygan et al., 2012) به بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی با اهداف چندگانه در بخشی از حوضه طالقان پرداختند و بدین منظور، از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا (NSGA-II) با طراحی دو نوع عمل‌گر تقاطع یکنواخت (UC) و عمل‌گر تقاطع دوبعدی (TDC) استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر کاهش فرسایش خاک، میزان سوددهی کلی نیز افزایش یافته است.

رحمتی (Rahmati, 2015) نیز به بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی کشاورزی با سه کلاس اصلی کشاورزی آبی، دیم و مرتع در حوضه آبخیز عجب‌شیر در استان آذربایجان شرقی و در همسایگی با دریاچه ارومیه پرداخت. بدین منظور، از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه ژنتیک و مرتب‌سازی نامغلوب نسخه دوم (NSGA-II) استفاده شد؛ همچنین، به منظور مدل‌سازی شدت فرسایش، از مدل تعیین شدت فرسایش (EPM) و برای پهنه‌بندی تناسب اراضی منطقه نیز از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. نتایج نشان داد که الگوریتم NSGA-II توانایی لازم برای بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی کشاورزی را داراست.

1. Multi Objective Decision Making

سیسنروس و همکاران (Cisneros et al., 2011) به ارزیابی روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه با توجه به ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی حوضه آبخیز پامپاس آرژانتین پرداختند. آنها ابتدا معیارهای مختلف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را برآورد کرده و سپس، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه، اقدام به بهینه‌سازی شیوه‌های مختلف مدیریت منابع آب و خاک کردند. نتایج این مطالعه حاکی از بالا بودن میزان تأثیر شیوه‌های مدیریت منابع آب و خاک بر شاخص‌های زیست‌محیطی بود و تضاد شدید میان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی را در این حوضه تأیید می‌کرد.

کی و آلتیناکار (Qi and Altinakar, 2012)، در بهینه‌سازی چندهدفه کاربری اراضی «آبخیز آزمایشی گودوین کریک^۱» در شمال می‌سی‌سی‌پی در شرایط عدم حتمیت، برای هر سناریوی کاربری زمین، توابع چندهدفه را بر اساس مدل شبیه‌سازی حوضه آبخیز AnnAGNPS و مدل شبیه‌سازی شبکه کانال CCHE1D ایجاد کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که به کارگیری تحلیل عدم حتمیت در چارچوب بهینه‌سازی به‌سادگی امکان‌پذیر بوده و نسبت به سایر شیوه‌های تحلیل عدم حتمیت می‌تواند از پارامترهای متنوع‌تر استفاده کند.

گونفا و کومار (Gonfa and Kumar, 2015)، به‌منظور بهینه‌سازی کاربری زمین در حوضه آبخیز موجو^۲ در کشور اتیوپی، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خطی در قالب برنامه‌ریزی آرمانی ایجاد کردند. در این راستا، از دوشاخص میزان رسوب سالانه خاک که از شبیه‌سازی در مدل SWAT به‌دست آمد و میزان درآمد خالص هر واحد زمین در این منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که با حل مسئله بهینه‌سازی درآمد خالص ۲۹/۹۱ درصد افزایش و فرسایش خاک ۱۶/۱۴ درصد کاهش می‌یابد. همچنین، میزان زمین‌های جنگلی و زمین‌های کشاورزی آبی به‌گونه‌ای چشمگیر افزایش خواهد یافت.

1. Goodwin Creek Experimental Watershed

2. Mojo

ما و ژائو (Ma and Zhao, 2015) به بررسی تخصیص کاربری زمین با استفاده از مدل بهینه‌سازی ایمنی مصنوعی چندهدفه (MOAIM-LUA) در شهرستان آنلو^۱ در کشور چین پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که به کارگیری این شیوه، علاوه بر ارائه راه‌حل‌های بهتر نسبت به الگوریتم‌های قبلی، سبب بهبود شاخص‌های اجتماعی و زیست‌محیطی در منطقه مورد مطالعه می‌شود.

مطالعات کمتری با بهره‌گیری از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه نسبت به رویکرد چندهدفه در زمینه کاربری اراضی صورت گرفته است که از آن میان، می‌توان به برخی از مطالعات داخلی و خارجی اشاره کرد.

خیرخواه زرکش و همکاران (Kheirkhah Zarkesh et al., 2010) کاربرد مدل تحلیل سلسله‌مراتبی فضایی (SAHP) در تخصیص کاربری زمین در حوضه آبخیز طالقان را بررسی کردند و بدین منظور، با در نظر گرفتن کاربری‌های مختلف از جمله زمین‌های کشاورزی دیم و آبی، مراتع و زمین‌های شهری، از شاخص‌هایی مانند نوع خاک، آب‌وهوا، توپوگرافی، و پارامترهای اقتصادی-اجتماعی بهره‌گرفتند. نتایج نشان داد که بر اساس عوامل مختلف اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی، روش مورد استفاده در این مطالعه دارای قدرت بالا در انتخاب مکان و تخصیص زمین است.

پورخباز و همکاران (Pourkhabbaz et al., 2014)، با استفاده از عوامل بوم‌شناختی همچون عوامل کالبدی و زیستی و نیز پارامترهای اقتصادی-اجتماعی به‌عنوان معیارهای اصلی تأثیرگذار در کاربری کشاورزی، به تعیین نقاط مناسب برای کاربری کشاورزی در دشت تاکستان قزوین در ایران پرداختند. آنها نخست، با بهره‌گیری از روش‌های ANP و SAW، توان بوم‌شناختی کاربری کشاورزی را تعیین کردند؛ سپس، با استفاده از مدل تلفیقی VIKOR و AHP، گزینه‌های مناسب برای کاربری کشاورزی در این منطقه را مشخص کردند. نتایج مطالعه نشان داد که بخش‌های شمالی این منطقه برای کاربری کشاورزی مناسب نیستند؛

همچنین، به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌تواند ابزاری سودمند در تعیین کاربری کشاورزی به‌شمار آید.

آنتون و همکاران (Antón et al., 2016) روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گسسته در برنامه‌ریزی روش‌های حفاظت و کاربری زمین در زیرحوضه آبخیز لاکولاچا^۱ در آرژانتین را بررسی کردند. آنها با استفاده از مجموعه‌ای از روش‌های نظری تصمیم‌گیری (DTM) و همچنین، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره گسسته شامل روش‌های پرومتی (PROMETHEE)^۲، الکت্রে (ELECTRE)^۳ و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، به بررسی گزینه‌های مختلف حفاظت خاک و مدیریت هیدرولوژیک منطقه با توجه به معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی پرداختند و سرانجام، مجموعه‌ای از پیشنهادها را برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک در منطقه مورد مطالعه ارائه دادند.

همان‌گونه که گفته شد، در حوزه تخصیص کاربری زمین، بیشتر مطالعات از روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه برای تخصیص مساحت کاربری‌ها و نتایج حاصل از آن استفاده کرده و کمتر از رویکرد تصمیم‌گیری چندشاخصه به‌عنوان یک ابزار مهم تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه یا ترتیب گزینه‌های مناسب سود جسته‌اند. روش‌های MADM، بر پایه استدلال‌های ریاضی، بهترین گزینه تصمیم‌گیری از بین گزینه‌های موجود را با اولویت‌بندی آنها تعیین می‌کنند.

با توجه به نکات پیش‌گفته، مطالعه حاضر به‌دنبال ارائه راهکارهایی برای بهره‌برداری بهینه و پایدار از اراضی منطقه حبله‌رود با استفاده از ابزارهای موجود در سامانه‌های پشتیبانی تصمیم و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه است.

-
1. La Colacha
 2. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
 3. Elimination and Choice Translating Reality

مبانی نظری و روش تحقیق

ابتدا تأثیر کاربری‌های مختلف بر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی منتخب از طریق ارائه یک ماتریس ضرایب فنی تعیین شد. شاخص‌های منتخب مورد استفاده در تحقیق حاضر با توجه به شاخص‌های تعیین شده در برنامه پایش و ارزیابی طرح مدیریت پایدار حوضه حبله‌رود در نظر گرفته شد (Salman-Mahini et al., 2013). همچنین، گزینه‌های کاربری زمین در منطقه با توجه به وضعیت فعلی منطقه و نیز مطالعات صورت گرفته در راستای ارتقای شاخص‌های پایش‌شونده منابع آب و خاک که در طرح مدیریت پایدار منابع آب و خاک حبله‌رود به اجرا درآمده است، در نظر گرفته شد. در این راستا، از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) به منظور شبیه‌سازی مقدار روان‌آب ناشی از هر نوع کاربری زمین، شبیه‌سازی اثر فرسایش و شبیه‌سازی میزان رسوب‌دهی کاربری‌های مختلف زمین استفاده شد. در استخراج این شاخص‌ها، از داده‌های مورد نیاز شامل بارش، دما، رطوبت، تبخیر و تعرق و ... که به مدت ۲۶ سال جمع‌آوری شده است، استفاده شد. گردآوری داده‌های مربوط به اثرات شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی شامل هزینه تولید، درآمد ناخالص و میزان اشتغال نیز از طریق مطالعات انجام شده در این حوضه و مشاهدات میدانی از جمله تکمیل سی صد پرسشنامه در سال ۱۳۹۶ و از میان ۲۱۶ روستای منطقه پس از تعیین روستاهای خالی از سکنه و بر مبنای روستاهای بالای سه خانوار و از طریق روش نمونه‌گیری خوشه‌ای طبقه‌ای در طول مدت سه ماه صورت گرفت.

مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT)

ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) یک مدل جامع در مقیاس آبخیز است که توسط اداره تحقیقات کشاورزی ایالات متحده تهیه شده است. این مدل برای شبیه‌سازی حرکت آب، رسوب و آلاینده‌های شیمیایی - کشاورزی در سطح حوضه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی طراحی شده است (Neitsch et al., 2011). این مدل که قابلیت اجرا در محیط GIS را دارد، فرآیندهای

هیدرولوژیکی، فرسایش خاک، کیفیت آب، مدیریت مرتع و اثرات تغییر اقلیم را شبیه‌سازی می‌کند و یک ابزار توانمند در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. مدل SWAT نمونه‌ای از مدل‌های فیزیکی پایه است که با حل معادلات اساسی فیزیکی، به شبیه‌سازی فرآیندهای سیستم آبخیز می‌پردازد. واحد واکنش هیدرولوژیکی (HRU)^۱ کوچک‌ترین واحد کاری در مدل SWAT است، که از ترکیب نقشه‌های طبقات شیب، خاک و کاربری اراضی حاصل می‌شود. آب موجود در خاک، روان‌آب سطحی، رسوب و عناصر شیمیایی ابتدا برای هر HRU و سپس، برای هر زیرحوضه و در نهایت، برای کل حوضه آبخیز محاسبه می‌شود (Zare Garizi et al., 2016). جزئیات یا زیرمدل‌های SWAT در ارتباط با شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی شامل موارد متعدد است که در اینجا، تنها از دو مورد مرتبط با مطالعه حاضر استفاده شده است.

مدل روان‌آب سطحی

این بخش به شبیه‌سازی ارتفاع روان‌آب سطحی، حجم روان‌آب، و حداکثر روان‌آب می‌پردازد. شبیه‌سازی روان‌آب سطحی با روش اصلاح‌شده SCS (در صورت داشتن داده‌های بارش روزانه) یا روش گرین-امپت (در صورت در اختیار داشتن داده‌های بارش ساعتی) انجام می‌شود.

شبیه‌سازی انتقال رسوب و فرسایش خاک

شبیه‌سازی رسوب و فرسایش خاک در پایه زمانی روزانه با استفاده از «معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح‌شده» (MUSLE)^۲ به‌طور جداگانه برای هر HRU انجام می‌شود (Williams, 1975).

1. Hydrologic Response Unit
2. Modified Universal Soil Loss Equation

$$ssd = 11.8(Q_{surf} * q_{peak} * area_{HRU})^{0.56} * K * C * P * LS * CFRG \quad (1)$$

در رابطه بالا، Q_{surf} حجم روان آب سطحی، q_{peak} حداکثر نرخ روان آب، $area_{HRU}$ مساحت واحد واکنش هیدرولوژیک، K عامل فرسایش پذیری خاک، C عامل پوشش و مدیریت اراضی، P عامل اقدامات حفاظتی، LS عامل توپوگرافی و $CFRG$ عامل قطعات درشت است. در معادله MUSLE، عامل روان آب سطحی جایگزین عامل بارندگی شده است، یعنی، روان آب سطحی به عنوان عامل اصلی فرسایش در نظر گرفته می شود. تأخیر انتقال رسوب در سطح، رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی نیز در محاسبات لحاظ می شود (Neitsch et al., 2011).

مدل های تصمیم گیری چندشاخصه (MADM)

روش های چندشاخصه دارای شیوه های متنوع در مراحل مختلف تصمیم گیری است. در این روش ها، چندین گزینه بر اساس چندین معیار مختلف با هم مقایسه شده، بهترین گزینه یا ترتیب گزینه های مناسب انتخاب می شوند. روش های MADM بر پایه استدلال های ریاضی، بهترین گزینه تصمیم گیری از بین گزینه های موجود را با اولویت بندی آنها تعیین می کنند (Mohamadi Zanjirani et al., 2014). از میان روش های متعدد موجود، دو روش پرومتی (PROMETHEE) و الکتراه (ELECTRE) به عنوان مهم ترین و کاربردی ترین روش ها در میان طیف گسترده روش های چندشاخصه مورد توجه قرار گرفته اند (Amoushahi et al., 2015).

روش پرومتی (PROMETHEE)

این روش توسط برنس و همکاران (Brans et al., 1984) ارائه شد و برای ارزیابی و اولویت بندی گزینه های گسسته و انتخاب بهترین گزینه به کار می رود. در این روش که به روش ساختاریافته رتبه بندی ترجیحی برای غنی سازی ارزیابی ها معروف است، رتبه بندی گزینه ها با مقایسه زوجی گزینه ها در هر شاخص انجام می شود (Rezaei, 2014). به طور خلاصه، مهم ترین

نقاط قوت این روش سهولت استفاده برای کاربر، امکان تفسیر پارامترها (دسته‌بندی شاخص‌ها و گزینه‌ها)، پایداری نتایج در مقایسه با اغلب روش‌های دیگر، امکان تحلیل حساسیت به صورت ساده و سریع، امکان استفاده از طرح گرافیکی مدل‌سازی و امکان در نظر گرفتن محدودیت‌های مختلف در بهینه‌سازی تصمیم است. چارچوب مدل به طور خلاصه بدین شرح است: فرض کنید A مجموعه‌ای از گزینه‌هاست که باید از میان آنها انتخاب صورت گیرد. با فرض وجود K شاخص مؤثر در تصمیم‌گیری، برای هر گزینه $a \in A$ ، مقدار $f_j(a)$ نشان‌دهنده ارزش شاخص j ام در گزینه a است. بر این اساس، رتبه‌بندی در سه گام انجام می‌شود (Sharifi et al., 2011):

گام اول: تابع ترجیح P_j به هر کدام از شاخص‌های j اختصاص می‌یابد. مقدار $P_j(a,b)$ برای هر زوج گزینه محاسبه می‌شود. این مقدار بین صفر و یک متغیر است. اگر رابطه $f_j(a) = f_j(b)$ برقرار باشد، مقدار $P_j(a,b)$ برابر با صفر می‌شود. و با افزایش $f_j(b) - f_j(a)$ این مقدار افزایش می‌یابد و هنگامی که اختلاف به اندازه کافی زیاد شود، مقدار $P_j(a,b)$ هم به یک می‌رسد. شکل‌های مختلفی را می‌توان برای تابع P_j فرض کرد، که به وضعیت مدل‌سازی شاخص j ام بستگی دارد. روش پرومیتی شش نوع تابع ترجیح را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند. این کار با توجه به نوع و ماهیت شاخص‌های موجود و بسته به نظر تصمیم‌گیرنده و تحلیل‌گر و درک وی از رابطه بین گزینه‌ها و شاخص‌ها صورت می‌گیرد. البته برای هر شاخص f_j یک عامل وزن یعنی w_j نیز در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱- توابع تعمیم یافته روش پرومتی (PROMETHEE)

شرح	شکل	رابطه	پارامتر	نام	نوع
در صورتی که امتیازهای دو گزینه برابر باشند، هیچ تفاوتی وجود نخواهد داشت.		$p(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$	-	معیار عادی	۱
تا زمانی که تفاوت امتیازهای دو گزینه کمتر از Q باشد، هیچ تفاوتی وجود نخواهد داشت.		$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases}$	q	معیار بخشی (U شکل)	۲
با تغییر امتیازها در فاصله صفر تا P میزان اولویت به صورت خطی تغییر می کند. اگر تفاوت بیش از P باشد، گزینه مورد نظر کاملاً اولویت دارد.		$p(d) = \begin{cases} \frac{d}{p}, & d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	p	معیار V شکل (معیار خطی)	۳
اگر تفاوت امتیازهای دو گزینه کمتر از Q باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد. اگر بین دو مقدار Q و P باشد، یک برتری نسبی وجود دارد. اگر میزان تفاوت بیش از P باشد، اولویت کامل وجود دارد.		$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	q-p	معیار هم سطح	۴
اگر تفاوت امتیازهای دو گزینه کمتر از Q باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد. در فاصله Q و p، میزان اولویت به صورت خطی تغییر می کند. اگر میزان تفاوت بیش از P باشد، اولویت کامل وجود دارد.		$p(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-p}{p-q}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases}$	q-p	معیار V شکل با تاجیه بی تفاوتی	۵
با تفاوت میان امتیازهای گزینه ها، میزان اولویت بر طبق رابطه افزایش پیدا می کند.		$p(d) = 1 - e^{-d^2/2\sigma^2}$	σ	معیار گوسی	۶

مأخذ: یافته های پژوهش

گام دوم: میزان اولویت کلی $\pi(a,b)$ بدین ترتیب محاسبه می‌شود:

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad \text{و} \quad \pi(a,b) = \sum_{j=1}^k w_j p_j(a,b) \quad (2)$$

گام سوم: $\pi(a,b)$ نشان‌دهنده درجه اولویت گزینه a نسبت به گزینه b است. برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه a بر سایر گزینه‌ها، جریان رتبه‌بندی مثبت یا جریان خروجی محاسبه می‌شود:

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (3)$$

این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان، در حقیقت، قدرت گزینه a است. بزرگ‌ترین $\phi(a)$ به معنی بهترین گزینه است. میزان ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان ورودی یا جریان رتبه‌بندی منفی نامیده می‌شود، حاصل محاسبه زیر است:

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x,a) \quad (4)$$

این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت دارند. این جریان، در حقیقت، ضعف گزینه a است. کوچک‌ترین $\phi(a)$ نشان‌دهنده بهترین گزینه است. بنابراین، با داشتن و بررسی جداگانه دو جریان ϕ^+ و ϕ^- می‌توان یک رتبه‌بندی جزئی انجام داد (PROMETHEE I). برای انجام رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها (PROMETHEE II)، باید جریان خالص رتبه‌بندی را برای هر گزینه تعریف کرد:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (5)$$

رتبه‌بندی جزئی در PROMETHEE I به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & \phi^+(a) > \phi^+(b) \quad , \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) & (6) \\ (aP^+b) \quad \text{if} \quad & \phi^+(a) > \phi^+(b) \quad , \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ & \phi^+(a) = \phi^+(b) \quad , \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ (aI^+b) \quad \text{if} \quad & \phi^+(a) = \phi^+(b) \quad , \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ (aR^+b) \quad & \text{otherwise} \end{aligned}$$

در (aP^Ib) بیشترین قدرت a با کمترین ضعف آن همراه شده است، بدین معنی که گزینه a بر گزینه b برتری دارد. در (aI^Ib) ، هر دو جریان رتبه‌بندی مثبت و منفی برابرند. در (aR^Ib) ، بالاترین قدرت یک گزینه با کمترین ضعف گزینه دیگر همراه شده است. بنابراین، گزینه‌ها غیرقابل مقایسه‌اند. این وضعیت معمولاً وقتی اتفاق می‌افتد که گزینه a در مجموعه معیارهایی که گزینه b ضعف دارد، قوی است و در مقابل، گزینه b در سایر معیارها نسبت به گزینه a قوی‌تر است. در اینجا، باید گفت که گزینه‌ها غیرقابل مقایسه‌اند و روش قادر به رتبه‌بندی آنها نیست. البته تصمیم‌گیرنده می‌تواند با قضاوت خود رتبه‌بندی را انجام دهد.

رتبه‌بندی کامل در PROMETHEE II به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} (aP^Ib) & \text{ if } \phi(a) > \phi \\ (aI^Ib) & \text{ if } \phi(a) = \phi \end{aligned} \quad (7)$$

در این صورت تمامی گزینه‌ها قابل مقایسه خواهد بود (Rezaei, 2014).

روش الکترو (ELECTRE)

این روش یکی از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه و از دسته مدل‌های جبرانی است که در آنها، تبادل بین شاخص‌ها صورت می‌گیرد، بدین معنی که تغییر در یک شاخص توسط تغییری در جهت عکس در شاخص یا شاخص‌های دیگر جبران می‌شود. کاربرد این روش، که روش مجموعه‌های هماهنگ نیز نامیده می‌شود، بر مبنای مفهوم روابط غیررتبه‌ای است. اهمیت این شیوه نسبت به برخی روش‌های دیگر در ایجاد تعامل با تصمیم‌گیرنده است. به دیگر سخن، در روش‌های دیگر، پس از جمع‌آوری داده‌ها و وزن‌ها، تصمیم‌گیرنده هیچ ارتباطی با اطلاعات خروجی ندارد و اطلاعات به دست آمده ملاک تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند، در حالی که در این روش، تصمیم‌گیرنده در سه مرحله می‌تواند در شیوه تحلیل دخالت و تحلیل را جهت‌دهی کند (Sayadi et al., 2011). مراحل حل این مدل بدین شرح است:

الگوی پایداری در بهینه‌سازی کاربری اراضی در.....

قدم اول: ماتریس تصمیم‌گیری موجود را به یک ماتریس «بی‌مقیاس شده» تبدیل

می‌کنیم:

$$N_D = [n_{ij}] \quad \text{و} \quad n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (8)$$

که در آن، r_{ij} درایه‌های ماتریس تصمیم، n_{ij} درایه‌های ماتریس بی‌مقیاس شده و m تعداد گزینه‌هاست.

قدم دوم: ماتریس «بی‌مقیاس وزنی» را ایجاد می‌کنیم، با فرض اینکه بردار W ورودی

به الگوریتم است:

$$W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\} \quad (9)$$

$$\text{ماتریس بی‌مقیاس وزنی} = V = N_D * W_{m \times n} = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mj} & \dots & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

که در آن، N_D ماتریس امتیازات شاخص‌هاست که بی‌مقیاس و قابل مقایسه شده و $W_{m \times n}$ ماتریس قطری است که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر است.

قدم سوم: مجموعه هماهنگ^۱ و ناهماهنگ^۲ را برای هر زوج از گزینه‌های $k, l =$

$1, 2, \dots, m; l \neq k$ مشخص می‌کنیم. مجموعه شاخص‌های موجود $J = \{j | j=1, 2, \dots, n\}$ را به دو

زیرمجموعه متمایز هماهنگ (S_{kl}) و ناهماهنگ (D_{kl}) تقسیم می‌کنیم. مجموعه هماهنگ (S_{kl})

از گزینه‌های k و l مشتمل بر کلیه شاخص‌هایی است که k بر l به ازای آنها ترجیح دارد، یعنی:

$$S_{kl} = \{j | v_{kj} \geq v_{lj}\} \quad \text{و} \quad D_{kl} = \{j | v_{kj} < v_{lj}\} = J - S_{kl} \quad (11)$$

قدم چهارم: ماتریس هماهنگی را محاسبه می‌کنیم. معیار هماهنگی $(I_{k,l})$ بین k و l بدین

قرار است:

1. concordance

2. discordance

$$I_{k,l} = \sum_{j \in S_{kl}} w_j ; \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (12)$$

واضح است که $0 \leq I_{k,l} \leq 1$ خواهد بود و اهمیت نسبی k در رابطه با l را نشان می‌دهد. ماتریس نامتقارن هماهنگی (I) به صورت زیر است:

$$I = \begin{bmatrix} - & I_{1,2} & I_{1,3} & \dots & I_{1,m} \\ I_{2,1} & - & I_{2,3} & \dots & I_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I_{m,1} & I_{m,2} & \dots & I_{m,(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (13)$$

قدم پنجم: ماتریس ناهماهنگی را محاسبه می‌کنیم. معیار ناهماهنگی ($NI_{k,l}$) شدت بدتر بودن ارزیابی k در رابطه با l را نشان می‌دهد و با استفاده از عناصر ماتریس V (امتیازات وزنی) محاسبه می‌شود:

$$NI_{k,l} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |V_{kl} - V_{lj}|}{\max_{j \in J} |V_{kl} - V_{lj}|} \quad (14)$$

و ماتریس ناهماهنگی عبارت است از:

$$NI = \begin{bmatrix} - & NI_{1,2} & \dots & NI_{1,m} \\ NI_{2,1} & - & \dots & NI_{2,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ NI_{m,1} & \dots & NI_{m,(m-1)} & - \end{bmatrix} \quad (15)$$

اطلاعات موجود در I و NI با یکدیگر اختلاف دارند و مکمل یکدیگرند، به گونه‌ای که I منعکس کننده اوزان w_j از شاخص‌های هماهنگ و NI منعکس کننده بیشترین اختلاف نسبی از $V_j = n_{ij} * w_j$ به ازای شاخص‌های ناهماهنگ است.

قدم ششم: ماتریس هماهنگ مؤثر را مشخص می‌کنیم:

$$(16)$$

الگوی پایداری در بهینه‌سازی کاربری اراضی در.....

$$C = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m I_{kl}}{m(m-1)} \quad (\text{حد اقل آستانه})$$

و ماتریس هم‌هنگ مؤثر را به صورت زیر تشکیل می‌دهیم:

$$\begin{aligned} f_{kl} &= 0 \rightarrow I_{kl} < C \\ f_{kl} &= 1 \rightarrow I_{kl} \geq C \end{aligned} \quad \text{و} \quad (17)$$

قدم هفتم: ماتریس ناهم‌هنگ مؤثر را مشخص می‌کنیم:

$$D = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m NI_{kl}}{m(m-1)} \quad (\text{ارزش آستانه}) \quad (18)$$

و ماتریس ناهم‌هنگ مؤثر (G) را به صورت زیر تشکیل می‌دهیم:

$$g_{kl} = 1 \rightarrow NI_{kl} \leq D \quad \text{و} \quad g_{kl} = 0 \rightarrow NI_{kl} > D \quad (19)$$

قدم هشتم: ماتریس کلی و مؤثر را تشکیل می‌دهیم:

$$h_{kl} = f_{kl} * g_{kl} \quad (20)$$

قدم نهم: گزینه‌های کم‌جاذبه را حذف می‌کنیم؛ یعنی، هر ستونی از H که حداقل یک عنصر برابر با واحد داشته باشد، حذف می‌شود، زیرا آن ستون تحت تسلط ردیف یا ردیف‌هایی است (Ahmadi and Haj-Mohammad-Hosseini, 2014). این مراحل جزو روش الکترو اول (ELECTRE I) شناخته می‌شوند. این روش برای ساخت یک رتبه‌بندی بخشی^۱ و انتخاب مجموعه‌ای از گزینه‌های قابل قبول استفاده می‌شود. این مجموعه به عنوان یک زیرمجموعه از N گزینه موجود با عنوان مجموعه یا راه‌حل هسته^۲ شناخته می‌شود. برای رفع مشکل روش الکترو اول، به منظور رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها، روش الکترو دوم (ELECTRE II) توسط روی و برتیر (Roy and Bertier, 1973) ارائه شد. مراحل این روش تا مرحله هفتم

1. partial ordering
2. kernel

مانند روش الکترون اول است. در اینجا، به جای پیدا کردن یک مجموعه هسته، از دو رابطه رتبه‌بندی قوی و ضعیف برای رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود (Tzeng and Huang, 2011). بدین منظور، دو حد آستانه‌ای (C^*, D^*) و (C^-, D^-) تعیین می‌شوند. به عنوان آستانه هماهنگی و ناهماهنگی برای رابطه رتبه‌بندی قوی^۱ و (C^-, D^-) به عنوان آستانه هماهنگی و ناهماهنگی برای رابطه رتبه‌بندی ضعیف^۲ تعریف می‌شوند، به گونه‌ای که $C^- > C^*$ و $D^- < D^*$ است. در مرحله بعد، با تشکیل ماتریس تسلط نهایی، روابط رتبه‌بندی بر اساس دو قاعده زیر تعیین می‌شوند:

(۱) اگر $C(a,b) \geq C(b,a)$ و $C(a,b) \geq C^*$ ، $D(a,b) \leq D^*$ بر گزینه b برتری دارد.

(۲) اگر $C(a,b) \geq C(b,a)$ و $C(a,b) \geq C^-$ ، $D(a,b) \leq D^-$ بر گزینه b برتری دارد.

مقادیر (C^*, D^*) و (C^-, D^-) بین صفر و یک قرار دارند و توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شوند. هر چه مقدار C^* بالاتر و مقدار D^* پایین‌تر تعیین شود، امکان اینکه یک گزینه بر گزینه دیگر برتری یابد، سخت‌تر می‌شود (Wang, 2007). در نهایت، انجام فرآیند رتبه‌بندی از تلفیق دو حالت افزایشی و کاهششی در ماتریس تسلط نهایی صورت می‌پذیرد. در حالت افزایشی، گزینه‌ها از بدترین گزینه تا بهترین گزینه بر اساس ماتریس نهایی مرتب می‌شوند؛ به دیگر سخن، هر چه در ستون‌های ماتریس تسلط نهایی، نمادهای SF و sf بیشتری باشد، آن گزینه بیشتر مغلوب شده است. در حالت کاهششی، گزینه‌ها از بهترین گزینه تا بدترین گزینه بر اساس ماتریس نهایی مرتب می‌شوند؛ به دیگر سخن، هر چه در سطرهای ماتریس تسلط نهایی، نمادهای SF و sf بیشتری باشد، آن گزینه از تسلط بیشتری برخوردار است.

-
1. strong outranking relation
 2. weak outranking relation

روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۱ است که نخستین بار، از سوی توماس ال. ساعتی (Saaty, 1980) مطرح شد. این شیوه بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را تسهیل و بررسی سناریوهای مختلف را امکان‌پذیر می‌کنند؛ و افزون بر این، از یک مبنای نظری قوی برخوردار بوده و بر پایه اصول بدیهی استوار است. همچنین، روش AHP میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد، که از مزایای ممتاز آن در تصمیم‌گیری چندمعیاره است (Falahi and Gholinezhad, 2014). در اینجا، از این شیوه تنها به منظور سناریوسازی برای کاربری‌های زمین استفاده شد. در این راستا، با تهیه پرسشنامه جداگانه (پرسشنامه خبرگان) و جمع‌آوری اطلاعات با هدف دریافت نظرات نخبگان و کارشناسان مجری در طرح حبله‌رود، در قالب سه سناریوی اقتصادی، بی‌طرف و زیست‌محیطی اثرات هر سناریو در روش‌های پروموتی و الکتیره مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به شبیه‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی شامل روان‌آب (مترمکعب در هکتار در سال)، رسوب‌دهی (تن در هکتار در سال) و فرسایش خاک (تن در هکتار در سال) و همچنین، نتایج مربوط به شاخص‌های اقتصادی شامل متوسط درآمد سالانه هر هکتار (ده میلیون ریال) و متوسط هزینه یا سرمایه‌گذاری سالانه در هکتار (ده میلیون ریال) و شاخص اجتماعی شامل متوسط اشتغال سالانه هر هکتار (نفر-روز) در جدول ۲ آمده است.

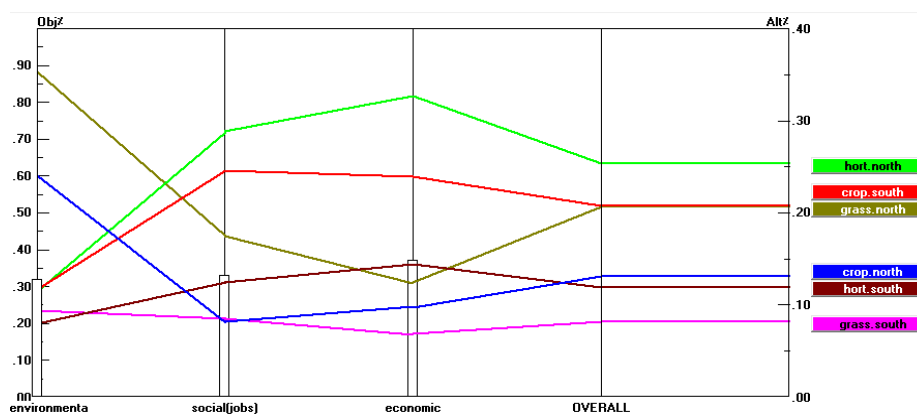
پس از تعیین جدول ۲ و پیش از برآورد نتایج روش‌های چندشاخصه، ابتدا به منظور تعیین سناریوهای مدیریتی مد نظر، نظرات کارشناسان حوضه آبخیز حبله‌رود از طریق طراحی

پرسشنامه خبرگان کسب شد. سپس، با استفاده از روش AHP و کاربرد نرم افزار expert choice وزن هر کدام از شاخص های مد نظر برآورد شد (شکل ۲).

جدول ۲- نتایج شبیه سازی مدل SWAT و نتایج جمع آوری اطلاعات پرسشنامه ها (ماتریس ضرایب فنی)

اجتماعی	اقتصادی		زیست محیطی			شاخص ها کاربری ها
	درآمد	هزینه	فرسایش	رسوب	روان آب	
اشتغال (نفر- روز در سال)	(ده میلیون ریال در هکتار در سال)	(ده میلیون ریال در هکتار در سال)	(تن در هکتار در سال)	(تن در هکتار در سال)	(مترمکعب در هکتار در سال)	
۴۱/۹۵	۱۱/۵۶	۷/۶۴	۲/۸۳	۲/۷۸	۴/۴۴	زراعی در شمال
۳۴/۴۰	۱۱/۶۵	۶/۱۷	۰/۹۴	۰/۵۸	۰/۶	زراعی در جنوب
۲۰۴/۵۲	۵۸/۶۹	۲۲/۵۴	۵/۸	۴/۳۴	۱۰/۶۹	باغی در شمال
۲۰۲/۵۹	۵۵/۷۵	۲۲/۰۴	۰/۳	۰/۸	۰/۴۸	باغی در جنوب
۷/۲۳	۲/۸۱	۰/۴۴	۲/۶۷	۲/۵۲	۱۳/۵۹	مرتع در شمال
۲/۳۲	۱/۹۵	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۵	۰/۱۱	مرتع در جنوب

مأخذ: یافته های پژوهش



شکل ۲- نمودار نتایج روش AHP

الگوی پایداری در بهینه‌سازی کاربری اراضی در.....

گرچه نتایج به دست آمده شامل رتبه‌بندی کاربری‌ها از نظر کارشناسان بوده، اما در مطالعه حاضر مد نظر نبوده است و تنها از وزن‌های اختصاص یافته به شاخص‌ها در تعیین سناریوی اول استفاده شد. همان‌گونه که در شکل نیز دیده می‌شود، بیشترین وزن مربوط به شاخص اقتصادی و کمترین وزن مربوط به شاخص زیست‌محیطی است، که نشانگر اولویت‌دهی کارشناسان به مسائل اقتصادی است. بنابراین، رتبه‌بندی به دست آمده صرفاً مبنای اقتصادی دارد و از این لحاظ، با توجه به شرایط منطقه، کاملاً منطقی است. بر همین اساس، با توجه به مطالعات آنتون و همکاران (Antón et al., 2016) و سیسنروس و همکاران (Cisneros et al., 2011) و به منظور مقایسه نتایج از لحاظ وجود یا عدم وجود تضاد میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی و امکان ارائه راهکارهای سیاستی، سایر سناریوها تعریف شدند، بدین صورت که در سناریوی دوم، وزن مساوی به تمامی شاخص‌ها و در سناریوی سوم، بیشترین وزن‌ها به شاخص‌های زیست‌محیطی اختصاص پیدا کرد (جدول ۳).

جدول ۳- وزن هر شاخص در سناریوها

روان آب	رسوب	فرسایش	هزینه	درآمد	اشتغال
سناریوی اول	۰/۱۰۲	۰/۰۵۹	۰/۱۵۳	۰/۱۴۲	۰/۳۲۳
سناریوی دوم	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶	۰/۱۶۶
سناریوی سوم	۰/۳۲۳	۰/۲۲۲	۰/۱۴۲	۰/۱۵۳	۰/۱۰۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پس از تعیین سناریوها، ابتدا مدل پرومتی مد نظر قرار گرفت. در اینجا، با توجه به مطالعه عموشاهی و همکاران (Amoushahi et al., 2015) و همچنین، نوع شاخص‌ها، از تابع ترجیح «V شکل با ناحیه بی تفاوتی» استفاده شد. در مرحله بعد، مقادیر آستانه بی تفاوتی و آستانه ترجیح (P) محاسبه شده، که نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- نتایج محاسبه مقادیر آستانه‌ای در روش پرومتی (PROMETHEE)

روان آب	رسوب	فرسایش	هزینه	درآمد	اشتغال
آستانه بی تفاوتی	۱	۱	۱/۷۱	۲۲/۶	۱
آستانه ترجیح (P)	۱۱/۴۵	۳/۴۳	۴/۱۹	۵۲/۱۱	۱۸۸/۸۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج جدول ۳، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر مبنای جریان رتبه‌بندی مثبت یا جریان خروجی (ϕ^+)، جریان ورودی یا جریان رتبه‌بندی منفی (ϕ^-) و جریان خالص رتبه‌بندی (ϕ) صورت گرفت، که نتایج آن در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- نتایج رتبه‌بندی در روش پرومتی (PROMETHEE)

Phi-	Phi+	Phi	سناریوی سوم	Phi	Phi+	Phi-	سناریوی دوم	Phi-	Phi+	Phi	سناریوی اول
۰/۰۷۲	۰/۳۷۴	۰/۳۰۱	مرتع جنوب	۰/۳۲۵	۰/۴۴۲	۰/۱۱۷	باغی جنوب	۰/۱۰۰	۰/۵۱۵	۰/۴۱۵	باغی جنوب
۰/۱۰۷	۰/۴۰۴	۰/۲۹۷	باغی جنوب	۰/۱۴۸	۰/۲۹۴	۰/۱۴۶	مرتع جنوب	۰/۳۳۲	۰/۴۰۹	۰/۰۷۹	باغی شمال
۰/۰۷۱	۰/۳۰۹	۰/۲۳۷	زراعی جنوب	۰/۱۰۶	۰/۲۳۵	۰/۱۳۰	زراعی جنوب	۰/۲۰۱	۰/۱۶۵	-۰/۰۳۶	زراعی جنوب
۰/۲۳۷	۰/۱۶۰	-۰/۰۷۷	زراعی شمال	-۰/۱۲۱	۰/۱۳۰	۰/۲۵۱	زراعی شمال	۰/۲۴۳	۰/۱۹۸	-۰/۰۴۶	مرتع جنوب
۰/۴۱۴	۰/۱۱۱	-۰/۳۰۳	مرتع شمال	-۰/۲۲۵	۰/۲۵۴	۰/۴۷۹	باغی شمال	۰/۲۶۳	۰/۱۱۳	-۰/۱۵۱	زراعی شمال
۰/۵۸۷	۰/۱۳۲	-۰/۴۵۵	باغی شمال	-۰/۲۳۱	۰/۱۱۷	۰/۳۴۹	مرتع شمال	۰/۳۵۶	۰/۰۹۶	-۰/۲۶۰	مرتع شمال

مأخذ: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در هر سه سناریو، زمین‌های باغی در جنوب حوضه در رده بالایی رتبه‌بندی قرار می‌گیرند، بدین معنی که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، اختصاص زمین به کاربری باغی در جنوب حوضه دارای توجیه بالاست؛ برعکس، زمین‌های مرتعی در شمال حوضه در رده پایین رتبه‌بندی قرار می‌گیرند، بدین معنی که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، باید تخصیص زمین به کاربری مرتع در شمال حوضه محدود شود. اولویت‌بندی تخصیص زمین در مورد سایر کاربری‌ها با توجه به رویکرد سیاست‌گذار مبنی بر اهمیت بیشتر به وضعیت اقتصادی و یا زیست‌محیطی منطقه متفاوت است؛ برای نمونه، در سناریوی اول که شاخص‌های اقتصادی از وزن و اهمیت بالاتری برخوردارند، کاربری باغی در شمال حوضه اولویت بالاتری پیدا می‌کند، در حالی که در سناریوی سوم که شاخص‌های زیست‌محیطی مد نظر است، کاربری باغ در شمال حوضه اولویت پایین پیدا می‌کند. همچنین، در مورد کاربری مرتع در جنوب حوضه، همین نوع اولویت‌بندی با شدت کمتر صورت گرفته است. کاربری زراعی چه در شمال حوضه و چه در جنوب حوضه در هر سه سناریو در اولویت‌های میانی قرار گرفته و کمتر از وزن‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تأثیر پذیرفته است.

الگوی پایداری در بهینه‌سازی کاربری اراضی در.....

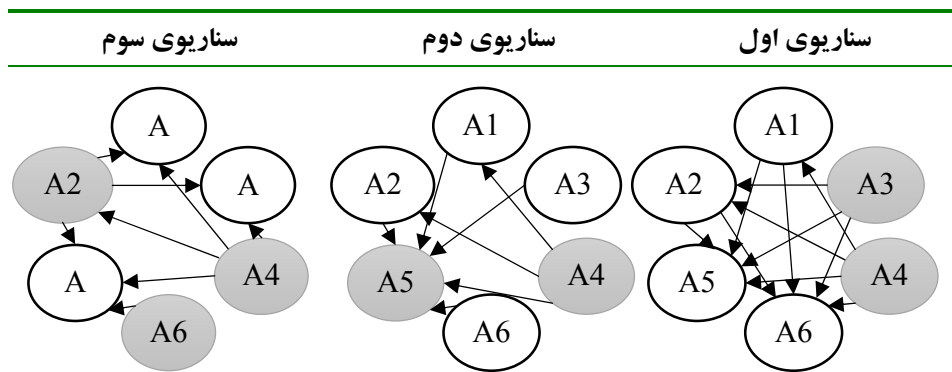
در روش الکتیره (ELECTRE)، ابتدا مقادیر شاخص هماهنگی (C) و شاخص ناهماهنگی (D) برای هر سه سناریو محاسبه شد (جدول ۶).

جدول ۶- نتایج محاسبه مقادیر شاخص‌های هماهنگی و ناهماهنگی در روش الکتیره (ELECTRE)

سناریوی سوم	سناریوی دوم	سناریوی اول	
۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	مقدار شاخص هماهنگی (C)
۰/۵۳	۰/۶۰	۰/۵۷	مقدار شاخص ناهماهنگی (D)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در مرحله بعد با توجه به این مقادیر، رتبه‌بندی مورد نظر صورت پذیرفت.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۳- نتایج روش الکتیره اول (ELECTRE I) در سه سناریو

شکل ۳ نتایج اجرای روش الکتیره اول (ELECTRE I) را به صورت نمودار نمایش می‌دهد که در آن، A1 زراعت شمال، A2 زراعت جنوب، A3 باغ شمال، A4 باغ جنوب، A5 مرتع شمال و A6 مرتع جنوب است. قسمت‌های پررنگ گزینه‌های منتخب یا راه‌حل هسته را نشان می‌دهند. در سناریوی اول، زمین باغی در جنوب حوضه در رتبه اول و زمین باغی در شمال حوضه در رتبه دوم قرار می‌گیرند. سایر گزینه‌ها در ادامه و بدون رتبه‌بندی قرار

می گیرند. در سناریوی دوم، زمین باغی در جنوب حوضه در رتبه اول و زمین مرتعی در شمال حوضه در رتبه آخر قرار می گیرند و سایر گزینه‌های میان این دو گزینه رتبه‌بندی نمی‌شوند. در سناریوی سوم نیز به ترتیب، زمین باغی، زمین زراعی و زمین مرتعی در جنوب حوضه در رتبه یک تا سه و سایر گزینه‌ها در ادامه و بدون رتبه‌بندی قرار می‌گیرند. با توجه به رتبه‌بندی جزئی (بخشی) در روش الکتراه اول و برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها، روش الکتراه دوم (ELECTRE II) اجرا شد. ابتدا مقادیر آستانه‌ای برای رتبه‌بندی ضعیف و قوی با توجه به نظر کارشناسان بدین صورت زیر تعیین شد:

$$D^* = 0.3, D^- = 0.4 \text{ و } C^* = 0.7, C^- = 0.6$$

سپس، ماتریس تسلط نهایی، با توجه به برتری قوی گزینه‌ها (با نماد SF) و برتری ضعیف گزینه‌ها (با نماد sf)، در هر سه سناریو تشکیل شد (جدول ۷).

جدول ۷- نتایج ماتریس تسلط نهایی گزینه‌ها در روش الکتراه دوم (ELECTRE II)

	سناریوی اول						سناریوی دوم						سناریوی سوم					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	-	0	0	0	sf	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
A2	0	-	0	0	SF	0	0	-	0	0	SF	0	SF	-	SF	0	SF	0
A3	0	0	-	0	sf	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0
A4	SF	SF	0	-	SF	0	SF	SF	0	-	SF	0	SF	SF	SF	-	SF	0
A5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0
A6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	sf	-	0	0	0	0	0	SF

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در نهایت، رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها انجام شد (جدول ۸).

جدول ۸- نتایج رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها در روش الکتراه دوم (ELECTRE II)

سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
A4>A3>A2=A1>A6>A5	A4>A6>A2=A3>A1>A5	A4>A6=A2>A1=A3>A5

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس نتایج جدول ۸، در سناریوی اول، زمین باغی در جنوب حوضه در رتبه اول، زمین باغی در شمال حوضه در رتبه دوم، زمین زراعی در شمال و جنوب حوضه در رتبه سوم، زمین مرتعی در جنوب در رتبه چهارم و زمین باغی در شمال حوضه در رتبه آخر رده‌بندی می‌شوند. در سناریوی دوم، زمین باغی در جنوب حوضه در رتبه اول، زمین مرتعی در جنوب

در رتبه دوم، زمین زراعی در جنوب و زمین باغی در شمال در رتبه سوم، زمین زراعی در شمال حوضه در رتبه چهارم و زمین مرتعی در شمال حوضه در رتبه آخر رده‌بندی می‌شوند. در سناریوی سوم نیز زمین باغی در جنوب در رتبه اول، زمین مرتعی و زمین زراعی در جنوب در رتبه دوم، زمین زراعی و باغی در شمال حوضه در رتبه سوم و در رده آخر زمین مرتعی در شمال حوضه قرار می‌گیرند. همان‌گونه که در جدول نتایج مشاهده می‌شود، در هر سه سناریو، زمین‌های باغی در جنوب حوضه در رده بالای رتبه‌بندی قرار می‌گیرند، بدین معنی که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، اختصاص زمین به کاربری باغی در جنوب حوضه دارای توجیه بالاست؛ برعکس، زمین‌های مرتعی در شمال حوضه در رده پایین رتبه‌بندی قرار می‌گیرند، بدین معنی که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست‌محیطی، باید تخصیص زمین به کاربری مرتع در شمال حوضه محدود شود. اولویت‌بندی تخصیص زمین در مورد سایر کاربری‌ها با توجه به رویکرد سیاست‌گذار مبنی بر دادن اهمیت بیشتر به وضعیت اقتصادی و یا زیست‌محیطی منطقه متفاوت است. در سناریوی اول که شاخص‌های اقتصادی از وزن و اهمیت بالاتری برخوردارند، کاربری باغی در شمال حوضه اولویت بالاتری پیدا می‌کند، در حالی که در سناریوی سوم که شاخص‌های زیست‌محیطی مد نظر است، کاربری باغ در شمال حوضه اولویت پایین پیدا می‌کند. همچنین، در مورد کاربری مرتع در جنوب حوضه، این نوع اولویت‌بندی با شدت کمتر صورت گرفته است. کاربری زراعی چه در شمال حوضه و چه در جنوب حوضه در هر سه سناریو در اولویت‌های میانی قرار گرفته و کمتر از وزن‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تأثیر پذیرفته است.

جمع‌بندی و پیشنهادها

مطالعه حاضر، با توجه به معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در حوضه آبخیز جله‌رود، به بررسی راه‌های تخصیص بهینه کاربری اراضی از طریق دو شیوه متداول در فرآیند تصمیم‌گیری چندشاخصه از منظر پایداری پرداخته است. هر دو روش نتایج تقریباً مشابه

ارائه دادند؛ گرچه به دلیل شیوه متفاوت محاسبه و مقادیر آستانه‌ای برآوردشده مختلف، تفاوت‌های جزئی هم مشاهده شده اما در مجموع، هر دو روش راه‌حل بهینه به دست آمده را تأیید کردند. بر این اساس، آنچه در وهله اول مشاهده می‌شود، رتبه بالای کاربری باغ در جنوب حوضه و رتبه پایین کاربری مرتع در شمال حوضه در هر سه سناریوی تعریف شده است. قرار گرفتن مراتع در جنوب حوضه در دشت‌هایی با شیب ملایم و بارندگی نسبتاً کم از منظر زیست‌محیطی و سود نسبتاً بالای فعالیت باغداری از منظر اقتصادی توجیه‌کننده نتیجه به دست آمده است. در مقابل، مراتع شمال حوضه، به دلیل نوع توپوگرافی منطقه و شیب تند زمین‌ها و بارندگی نسبتاً بالای منطقه، مستعد خسارات زیست‌محیطی بوده و از منظر اقتصادی نیز با توجه به مطالعه میدانی صورت گرفته، نسبت به سایر فعالیت‌های اقتصادی، سودآوری کمتری دارد. بنابراین، قرار گرفتن در رده آخر رتبه‌بندی کاملاً توجیه‌پذیر است. این نتیجه نشان‌دهنده توانایی بالای روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در تعیین کاربری مناسب اراضی است و از این‌رو، همسو با نتایج مطالعات خیرخواه زرکش و همکاران (Kheirkhah Zarkesh et al., 2010) و پورخباز و همکاران (Pourkhabbaz et al., 2014) است. رده‌بندی سایر گزینه‌ها گویای تضاد آشکار میان کاربری باغی در شمال حوضه و کاربری مرتع در جنوب حوضه از دو دیدگاه اقتصادی و زیست‌محیطی است؛ زمانی که بهبود شاخص اقتصادی مد نظر قرار می‌گیرد، باغداری در شمال حوضه در اولویت بالاتری قرار دارد، در حالی که در نظر گرفتن بهبود شرایط زیست‌محیطی رتبه این کاربری را در رده‌های پایین قرار می‌دهد. همین‌طور، کاربری مرتع در جنوب حوضه از منظر زیست‌محیطی دارای اولویت بالا در تخصیص زمین نسبت به سایر کاربری‌هاست، در حالی که از لحاظ اقتصادی، رتبه‌ای نسبتاً پایین را به خود اختصاص می‌دهد. این نتیجه ضمن تأیید تضاد میان شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، همسو با نتایج مطالعه سیسنروس و همکاران (Cisneros et al., 2011) است. با نظر گرفتن این نتایج و توجه بدین نکته که در حوضه آبخیز حله‌رود در طول سالیان متمادی، طرح‌های اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی مختلف اجرا شده و هم‌اکنون نیز در

حال اجراست، پیشنهاد می‌شود که با توجه به وضعیت زمین‌های مرتعی در شمال حوضه، اولویت کلیه طرح‌های اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی تا بهبود نسبی شرایط اقتصادی و زیست‌محیطی، در این قسمت از حوضه متمرکز شود. مشاهدات میدانی حاکی از وضعیت پویای تغییر کاربری اراضی به‌ویژه در جنوب حوضه و تمایل فعالان بخش کشاورزی در این زمینه است. از این رو، با توجه به نتایج به‌دست آمده، پیشنهاد می‌شود که امکانات و تسهیلات لازم در جهت‌دهی تغییر کاربری به سمت باغداری در جنوب حوضه فراهم شود؛ و همچنین، تضاد موجود میان اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی در کاربری‌های باغ در شمال و مرتع در جنوب حوضه در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای مورد توجه قرار گیرد. در نهایت، با توجه به ویژگی مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مبنی بر ارزیابی و انتخاب که در مطالعه حاضر استفاده شد، نیاز به برنامه‌ریزی و طراحی دقیق به‌منظور تعیین مقدار بهینه هر کاربری که از ویژگی مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه است، احساس می‌شود. از این رو، پیشنهاد می‌شود که در مراحل بعدی و در تکمیل مطالعه حاضر، از دیگر روش‌های گوناگون این مدل‌ها نیز استفاده شود.

منابع

1. Ahmadi, P. and Haj-Mohammad-Hosseini, M. (2014). Ranking the performance of private banks listed in Tehran stock exchange using the combined approach of FANP and multiple attribute decision making based on balanced scorecard. *Financial Engineering and Securities Management (Portfolio Management)*, 5(18): 57-79. (Persian)
2. Amoushahi, S., Nejadkoorki, F. and Pourebrahim, S. (2015). An investigation on PROMETHEE and ELECTRE outranking methods in environmental decision-making of oil and petrochemical industries. *Journal of Human and Environment*, 33: 17-35. (Persian)
3. Antón, J.M., Grau, J.B., Cisneros, J.M., Tarquis, A.M., Laguna, F.V., Cantero, J.J., . . . Sánchez, E. (2016). Discrete multi-criteria methods for lands use and conservation planning on La Colacha in Arroyos Menores (Río Cuarto, Province of Córdoba, Argentina). *Annuals Operations Research*, 245(1-2): 315-336.

4. Brans, J.P., Mareschal, B. and Vincke, P. (1984). PROMETHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis. *Operational Research*, 3: 447-490.
5. Cisneros, J.M., Grau, J.B., Antón, J.M., De Prada, J.D., Cantero, A. and Degioanni, A.J. (2011). Assessing multi-criteria approaches with environmental, economic and social attributes, weights and procedures: a case study in the Pampas, Argentina. *Agricultural Water Management*, 98(10): 1545-1556.
6. Falahi, E. and Gholinezhad, S. (2014). Identifying and ranking the effective factors on farmers' satisfaction of rice crop insurance in Mazandaran province; the application of analytical hierarchy process approach. *Journal of Agricultural Economics Research*, 6(1): 131-154. (Persian)
7. Gonfa, Z.B. and Kumar, D. (2015). Optimal land use planning in Mojo watershed with multi-objective linear programming. *American International Journal of Research in Humanities, Arts and Social Sciences*, 13(1): 10-17.
8. Kazemi, M., Sharifi, F. and Ziyadbakhsh, S. (2006). Identification and prioritization of local communities' suggestions for the development of soil and water resources: case study of Hablehroud Basin. Paper Presented at the Seminar on Planning of Participatory Development of Iran's Soil and Water, Semnan. (Persian)
9. Kheirkhah Zarkesh, M.M., Ghoddousi, J., Zaredar, N., Jafar-Soltani, M., Jafari, S. and Ghadirpour, A. (2010). Application of spatial analytical hierarchy process model in land use planning. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2): 970-975. (Persian)
10. Khosroshahi, M. (2014). Drought crisis, parade of desertification. *Journal of Forest and Range*, 100: 38-43. (Persian)
11. Ma, X. and Zhao, X. (2015). Land use allocation based on a multi-objective artificial immune optimization model: an application in Anlu County, China. *Sustainability*, 7(11): 15632-15651.
12. Mohamadi Zanjirani, D., Salimifard, K. and Yousefi Dehbidi, S. (2014). Performance evaluation of the most common techniques of multi-criteria decision making approach based on an approach to optimization. *Journal of Operational Research and Its Applications (Journal of Applied Mathematics)*, 11(1): 65-86. (Persian)

13. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2011). Soil Water Assessment Tool Theoretical Documentation version 2009. Texas: Water Resources Institute.
14. Pourkhabbaz, H.R., Javanmardi, S. and Sabokbar, H.A. (2014). Suitability analysis for determining potential agricultural land use by the multi-criteria decision making models of SAW and VIKOR-AHP (case study: Takestan-Qazvin Plain). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(5): 1005-1016. (Persian)
15. Qi, H. and Altinakar, M.S. (2012). Integrated watershed management with multi-objective land-use optimizations under uncertainty. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(3): 239-245.
16. Rahmati, P. (2015). Multi-objective optimization for land use allocation using NSGA-II (case study: Ajabshir Basin). Master Thesis in Remote Sensing and GIS, University of Tabriz. (Persian)
17. Rezaei, M. (2014). Evaluating the economic and institutional resilience of urban communities to natural disasters using PROMETHEE technique, case study: Tehran districts. *Emergency Management*, 27(3): 27-38. (Persian)
18. Roy, B. and Bertier, P. (1973). *La methode ELECTRE II—Une application au media planning*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
19. Saaty, T.L. (1980). *The analytical hierarchy process*. New York: McGraw Hill.
20. Salman-Mahini, A., Jazi, H., Karimipour, H., Azadeh, M., Kamyab, H., Zare Garizi, A., . . . Momeni, I. (2013). Assessment and evaluation of land for integrated management of Hablehroud Basin. Tehran: Pouneh Publications. (Persian)
21. Sayadi, A.R., Hayati, M. and Monjezi, M. (2011). Assessment, ranking and clustering of tunneling risks in Seymareh Dam using ELECTRE method. *Iranian Journal of Mining Engineering*, 6(11): 57-69. (Persian)
22. Shafiei, M. (2011). Economic and social situation of Hablehroud Plan. Tehran: Forestry, Range and Watershed Management Organization. (Persian)
23. Shahosseini, A. (2014). Documentation of native knowledge of Hablehroud Basin. Tehran: Omran Publications. (Persian)
24. Sharifi, R., Amirabadi, A. and Arfaa, E. (2011). Proposing a suitable signaling system using PROMETHEE method for Chabahar-Zahedan

- railway. *Journal of Transportation Engineering*, 2(4): 335-346. (Persian)
25. Shaygan, M., Alimohammadi Sarab, A. and Mansourian, A. (2012). Multi-objective optimization, approach for land use allocation using NSGA-II. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 4(2): 1-18. (Persian)
26. Taghavi Gorji, M., Vafakhah, M. and Gholami, S. (2013). Land use optimization in order to reduce flood (case study of Kasilian Basin). Paper Presented at the First National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran. (Persian)
27. Tzeng, G.-H. and Huang, J.-J. (2011). Multiple attribute decision making: methods and applications. Chapman and Hall/CRC.
28. Wang, X. (2007). Study of ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods and a proposed new MCDM method based on regret and rejoicing. MSc Thesis, Louisiana State University, USA.
29. Williams, J.R. (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, 40: 244-252.
30. Zare Garizi, A., Talebi, A. and Faramarzi, M. (2016). Identification and prioritization of critical watershed areas in terms of erosion and sedimentation using SWAT model. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 8(4): 350-361. (Persian)