هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲۳، سال ششم، تابستان ۱۳۹۹، صص ۲۳۳-۲۰۹
Hydrogeomorphology, Vol. 6, No. 23, Summer 2020, pp (209-233)

تحلیل و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مناطق روستایی شهرستان درمیان، خراسان جنوبی

محمدجواد وحیدی[*1]، رسول میرعباسی نجف‌آبادی[2]، محسن احمدی[3]

۱- استادیار مهندسی علوم خاک، گروه زراعت، اصلاح نبات و علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه بیرجند

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی علوم خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه بیرجند

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۳ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش در خاک و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از آن در اراضی روستایی اطلاعات با ارزشی در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان جهت حفاظت از خاک قرار می‌دهد. شهرستان درمیان از مراکز مهم کشاورزی استان خراسان جنوبی می‌باشد و بیشتر مساحت آن در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفته است، لذا در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین- بدترین و روش ویکور به منظور تحلیل و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق روستایی شهرستان درمیان ارائه شده است. ساختار این روش بدین صورت است که در ابتدا به کمک روش بهترین- بدترین، وزن معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده از ادبیات تحقیق به کمک نظر خبرگان و محاسبات موجود در روش مذکور تعیین شده و سپس به منظور رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش، از روش ویکور استفاده می‌شود. نتایج نشان داد که عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در منطقه شامل ۵ معیار: زیست محیطی (با زیرمعیارهای: از بین رفتن پوشش گیاهی، جریان‌های آب سطحی، حجم رواناب‌ها و تخریب زیست‌بوم)، اقلیمی (با زیرمعیارهای: خشکسالی، آتش‌سوزی، بارندگی و شیب زمین)، فنی (با زیرمعیارهای: پایداری خاکدانه، ظرفیت نفوذ آب و عمق خاک)، شیمیایی (با زیرمعیارهای: ذرات رس و مقدار کربن آلی خاک) و اجتماعی (با زیرمعیارهای: عدم استفاده از کودهای دامی و چرای بی‌رویه دام) می‌باشد. معیار فنی با امتیاز ۰/۲۹۳ دارای بالاترین رتبه و معیار شیمیایی با امتیاز ۰/۰۸۵ دارای کمترین امتیاز است. در اولویت‌بندی نهایی روش‌های جلوگیری از بروز فرسایش نیز بیوچار و تزریق مواد آلی در رتبه‌های اول و دوم و باران مصنوعی در پایین‌ترین رتبه قرار دارد. انتظار می‌رود که استفاده از نتایج این تحقیق بتواند به عنوان یک ابزار مناسب جهت اتخاذ تصمیمات نهایی برای مدیران به کار رود.

کلمات کلیدی: رتبه‌بندی، روش ویکور، فرسایش خاک، شهرستان درمیان، استان خراسان جنوبی

* (نویسنده‌ی مسئول) **E-mail:**m.jvdi@birjand.ac.ir

www.SID.ir

۱- مقدمه

فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در سراسر جهان است (لال[1]، ۲۰۱۹: ۲). فرسایش خاک تأثیرات محیطی و ضررهای اقتصادی بسیار زیادی بر محصولات کشاورزی و ظرفیت مخازن سدها می‌گذارد و این موضوع به طور مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و آلودگی آب اثرگذار است (ایساکا و اشرف[2]، ۲۰۱۷: ۳). روش‌های مختلفی برای کنترل فرسایش خاک وجود دارد؛ از جمله روش‌هایی که در قاره آسیا بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان به خاکورزی خلاف شیب، مالچ‌پاشی، کشت مخلوط، افزودن کود آلی و دامی، کشت چمن، تراس‌بندی و کشت روی خطوط کنتور اشاره نمود (بگوم نصیر احمد[3] و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۰۴؛ یاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۰۴). بررسی و تحلیل عوامل مؤثر بر ایجاد فرسایش در خاک و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از آن در زمین‌های روستایی دارای اهمیت بسیار زیادی در حیطه علم مهندسی خاک است. این موضوع زمانی اهمیتی دو چندان می‌یابد که در صورت انتخاب نامناسب روش جلوگیری از فرسایش، مشکلاتی بسیاری از جمله، تحمیل هزینه و عدم اطمینان کشاورزان به روش‌های علمی ایجاد می‌شود (دارابی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۰۰). بنابراین نیاز است که به منظور انتخاب مناسب روش‌های جلوگیری از فرسایش از روش‌های علمی و البته طبق نظر خبرگان و کارشناسان مربوطه استفاده شود. موضوع مهم دیگر، استفاده از معیارها و زیرمعیارهای مناسب جهت حصول پاسخ‌های نهایی است. در حقیقت اگر روش مطالعه به طور مناسب انتخاب گردد اما معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده دارای کیفیت مطلوب نباشند، نتایج قابل اطمینان نبوده و خروجی نهایی باعث ایجاد انحراف در تصمیم-گیری نهایی می‌شود. لذا ضروری است که تمامی معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده از ادبیات تحقیق استخراج و توسط کارشناسان صحت‌سنجی شود. شهرستان درمیان دارای اراضی مستعد زراعی و باغی و از مراکز مهم کشاورزی استان خراسان جنوبی می‌باشد. بر

1- Lal
2- Issaka and Ashraf
3- Begum Nasir Ahmad

www.SID.ir

اساس تحقیقات انجام شده در منطقه، ۵/۳ درصد از کل منطقه در کلاس بسیار شدید بیابان‌زایی، ۹۳/۳ درصد در کلاس شدید بیابان‌زایی و ۱/۴ درصد در کلاس متوسط از نظر شدت بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند (پروانه، ۱۳۸۸: ۱۵۰). در تحقیق حاضر، از رویکردی ترکیبی مبتنی بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌منظور شناسایی و رتبه‌بندی معیارهای مرتبط با مسأله تحقیق استفاده شده است. روش‌های مختلفی برای تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] (MCDM) وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تکنیک‌های ساو[2] (SAW)، سی‌اف[3] (CF)، ویکور[4] (VIKOR)، تاپسیس[5] (TOPSIS)، آنتروپی و تحلیل سلسله مراتبی[6] (AHP) اشاره نمود. از آنجا که بیشتر مطالعات نشان داده نتایج تکنیک ویکور دارای درصد و شدت تغییرات کمتری است و از اعتبار بیشتری برخوردار می‌باشد (نظم‌فر و پادروندی، ۱۳۹۴: ۳۶؛ کیم و آهن[7]، ۲۰۱۹: ۱۲۶؛ شجاعی و همکاران[8]، ۲۰۲۰: ۴)؛ لذا در مطالعه‌ی حاضر نیز این تکنیک مورد استفاده قرار گرفت. عرب‌عامری[9] و همکاران (۲۰۱۸: ۱۳۸۵) در مطالعه‌ای، مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس، ویکور، ساو و سی‌اف را برای اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌های آبخیز قائم‌شهر با استفاده از تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتریک و نقشه‌برداری، مقایسه کردند و نشان دادند که در مدل‌های تاپسیس و سی‌اف، زیرحوضه‌ی شماره ۳۰ به عنوان مستعدترین زیرحوضه برای فرسایش محسوب می‌شود. به طور کلی پارامترهای مورفومتریک برای شناسایی مناطق مستعد به فرسایش راندمان بالایی داشت و همچنین روش ویکور از دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به مدل‌های تاپسیس، ساو و سی‌اف برخوردار بود. کشتکار و همکاران (۱۳۹۶: ۱۳۳) مطالعه‌ای را با هدف اولویت‌بندی گزینه‌های مدیریت بیولوژیک حوضه‌ی

1- Multiple Criteria Decision Making
2- Simple Additive Weighing
3- Compound Factor
4- VlseKriterijumska optimizacija I Kompromisno Resenje (means: multi-criteria optimization and compromise solution)
5- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
6- Analytical Hierarchy Process
7- Kim and Ahn
8- Shojaei
9- Arab Ameri

www.SID.ir

آبخیز دلیچای (در راستای جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ منابع آب و خاک) با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره انجام دادند. با بررسی شرایط حوضه و لحاظ نمودن ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیک، چهار فعالیت مدیریت بیولوژیک تعیین و ۱۶ سناریوی مدیریتی در منطقه تدوین گردید. سپس با استفاده از روش AHP وزن معیارها تعیین و در نهایت با استفاده از مدل تاپسیس، بهترین گزینه مدیریتی، تعیین گردید. نتایج نشان داد که معیارهای اجتماعی، اکولوژیک، اقتصادی و فیزیکی به ترتیب در اولویت‌های اول تا چهارم و سناریوی شماره ۱۰ که شامل فعالیت‌های مدیریت چرا و کپه‌کاری بود، به عنوان برترین سناریو و اولویت اول تعیین گردید. ولویچ و همکاران[1] (۲۰۱۵: ۳۱۷)، مطالعه‌ای را با هدف اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر فرسایش خاک در حوضه‌ی رودخانه تاپیسدرسکا[2]، واقع در شمال صربستان، با استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره انجام و نشان دادند که ارتباط مستقیمی بین رتبه‌بندی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی و روش تاپسیس وجود دارد. ژانگ[3] و همکاران (۲۰۲۰: ۱۳۳۱) در مطالعه‌ای مناطق اولویت‌دار را برای برنامه‌ریزی حفاظت آب و خاک با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره[4] (MCDA) در حوضه‌ی رودخانه زینشوی[5] چین شناسایی کردند. در این راستا، شش شاخص ارزیابی شامل درجه شیب، بارش، NDVI[6]، کاربری اراضی، بافت خاک و جهت شیب انتخاب شد. سپس برای ارزیابی خطر فرسایش خاک از MCDA استفاده گردید. نتایج نشان داد که در هنگام برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های حفاظت از خاک و آب باید به شیب اراضی کشاورزی و علفزارها بیشتر توجه شود. اسدی و همکاران (۱۳۹۴: ۹۸) در مطالعه‌ای اقدامات آبخیزداری در حوزه‌ی آبخیز زیدشت طالقان را با استفاده از روش تاپسیس اولویت‌بندی کردند. در این تحقیق ده شاخص حفاظت خاک، فرسایش و رسوب، تنوع گونه‌ای، کلاس سنی، ترکیب گیاهی، گیاهان سمی، تولید علوفه، ظرفیت چرا، کمیت

1- Vulević
2- Topčiderska
3- Zhang
4- Multi Criteria Decision Analysis
5- Xinshui
6- Normalized Difference Vegetation Index

www.SID.ir

آب، تبخیر- تعرق اندازه‌گیری گردید و سپس جهت اولویت‌بندی اقدامات آبخیزداری با توجه به شاخص‌ها از روش تاپسیس و نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل استفاده شد.

از آنجا که روش‌های اجرایی در پروژه‌های کشاورزی از اهمیت زیادی در ارزیابی و مدیریت پایدار زمین برخوردار است، معیارهای شناسایی‌شده در انتخاب روش‌های جلوگیری از فرسایش با توجه به عوامل تأثیرگذار در این زمینه تعیین و انتخاب می‌گردد. سپس با استفاده از نظرات خبرگان این حوزه و تدوین یک پرسشنامه علمی معیارهای مورد نظر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین- بدترین[1] (BWM) وزن‌دهی و با استفاده از روش ویکور، رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌شود تا بر اساس عوامل مؤثر بر فرسایش خاک بهترین شیوه‌ی پیشگیری از فرسایش انتخاب و معرفی شده و با منابع موجود و شیوه‌های موجود در دنیا مقایسه گردد.

با توجه به اهمیت شهرستان درمیان از نظر تولیدات زراعی و باغی و فرسایش شدیدی که در مناطق روستایی آن تولیدات و منابع طبیعی را تهدید می‌نماید، مطالعه حاضر با هدف تحلیل و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک با استفاده از نظر خبرگان و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مناطق روستایی این شهرستان انجام شده است.

۲- مواد و روش

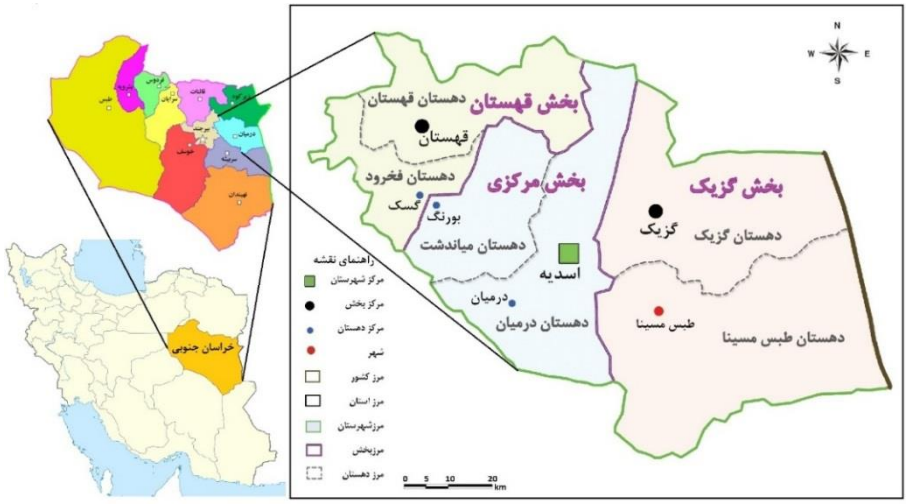
- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان درمیان به مرکزیت شهر اسدیه، یکی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی است. این شهرستان با وسعت ۵۷۹۷ کیلومتر مربع در موقعیت جغرافیائی ′۵۹ و °۲۸ تا ′۶۰ و °۴۷ طول شرقی و ′۳۲ و °۳۲ تا ′۳۳ و °۲۱ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). آب و هوای شهرستان در زمستان سرد و در تابستان گرم و خشک است. یکی از ویژگی‌های اقلیمی این شهرستان، وزش طوفان‌های شدید در فصل تابستان است که در مناطق شرقی بر شدت آن افزوده می‌شود. میانگین بارش سالانه در ایستگاه اسدیه برابر

1- Best– Worst Method

www.SID.ir

۱۴۹ میلی‌متر است، اما در مناطق مرتفع میزان بارش بیشتر بوده و در برخی نواحی به ۴۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد (بی‌نام، ۱۳۹۲: ۵).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان جنوبی
Fig (1): Location of the study area in Iran and the province of South Khorasan

- روش تحقیق

این تحقیق از لحاظ نوع هدف کاربردی و از لحاظ جمع‌آوری داده‌ها از نوع توصیفی پیمایشی است. پیمایشی به این دلیل که در این تحقیق پرسشنامه‌ای جهت تحلیل عوامل مؤثر فرسایش خاک و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک در اراضی کشاورزی طراحی شده است. با توجه به اینکه در مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره باید بر اساس یک سری معیارها تصمیم بهینه در فضای سه‌بعدی گرفته شود، لذا فرضیه و به دنبال آن آزمون فرضی در این پژوهش مطرح نیست. جهت تحلیل یک سیستم چندمعیاره باید عناصر آن را به‌خوبی شناخت و آن‌ها را به‌طور دقیق تعریف کرد و سپس به مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آن پرداخت. در این رویکرد در ابتدا به کمک روش بهترین-بدترین، وزن معیارها و زیرمعیارهای شناسایی شده از ادبیات تحقیق به کمک نظر خبرگان و محاسبات موجود در روش مذکور تعیین شده و سپس به منظور رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از

www.SID.ir

فرسایش، از روش ویکور استفاده می‌شود. البته باید توجه داشت که طبق مرور ادبیات بررسی شده، تاکنون روش‌های بسیاری جهت رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک ارائه شده است. اما معمولاً این روش‌ها به دلیل وجود سطح دخالت زیاد تصمیم‌گیرنده در تولید پاسخ‌های نهایی دارای سطح عدم اطمینان نسبی هستند. این در حالی است که روش بهترین- بدترین دارای رویکردی بسیار قوی در تعیین وزن معیارها نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری است (رضایی[1]، ۲۰۱۶: ۱۲۶)؛ چراکه این روش به دلیل استفاده از یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌تواند به‌طور بسیار دقیقی وزن معیارها را تعیین کند.

در واقع در تعیین وزن این معیارها به جزء پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط خبرگان هیچ دخالتی از طرف کاربر انجام نمی‌شود (رضایی، ۲۰۱۵: ۵۳). به همین دلیل می‌توان به اوزان به‌دست‌آمده تا حد قابل قبولی اطمینان کرد. همچنین روش ویکور دارای استواری بسیار بالایی در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه معیارها است (ژانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۱: ۱۳۳۹). جامعه آماری این تحقیق از لحاظ نظری مدیران و تصمیم‌گیرندگان اصلی مشغول در حوضه‌ی توسعه کشاورزی هستند.

روش بهترین- بدترین: این روش یکی از روش‌های قدرتمند در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به منظور به دست آوردن اوزان گزینه‌ها و معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی، ۲۰۱۶: ۱۲۶). این روش ضعف‌های روش‌های مبتنی بر مقایسات زوجی (به عنوان مثال AHP و ANP[3]) از قبیل عدم سازگاری را جبران می‌کند. علاوه بر این، تعداد مقایسات زوجی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تنها با انجام مقایسات مرجعی کاهش می‌دهد. در سال‌های اخیر روش بهترین- بدترین توسط محققان بسیاری جهت تعیین اوزان و رتبه‌بندی گزینه‌ها در حوزه‌های مختلف به کار گرفته شده است. به‌طور کلی ساختار روش بهترین- بدترین شامل مراحل زیر است:

1- Rezaei
2- Zhang
3- Analytic Network Process

www.SID.ir

گام ۱. ایجاد سیستم معیار تصمیم: سیستم معیار تصمیم شامل مجموعه معیارهای شناسایی‌شده از طریق مرور ادبیات و نظرات خبرگان است و به صورت $\{c_1. c_2. \dots . c_n\}$ در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر معیارهای تصمیم می‌تواند بازتاب عملکرد گزینه‌های مختلف باشد.

گام ۲. تعیین بهترین و بدترین از بین معیارهای اصلی و همچنین زیرمعیارها: براساس سیستم معیار تصمیم، بهترین و بدترین معیار بایستی توسط تصمیم‌گیرندگان شناسایی شوند. بهترین معیار با نماد c_B و بدترین معیار نیز با نماد w_B نشان داده می‌شوند.

گام ۳. انجام مقایسات مرجعی برای بهترین معیار: در این گام به تعیین اولویت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با به‌کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹ براساس مقیاس کلامی پرداخته می‌شود. نتایج این بردار به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

رابطه‌ی (۱) $$A_B = (a_{B1}. a_{B2}. \dots . a_{Bn})$$

به‌طوری‌که a_{Bj} اولویت مربوط به بهترین معیار انتخاب شده B نسبت به هر معیار j را نشان می‌دهد. واضح است که $a_{BB} = 1$.

گام ۴. انجام مقایسات مرجعی برای بدترین معیار: به طور مشابه با به‌کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹، اولویت تمام معیارها نسبت به بدترین معیار انتخاب شده محاسبه می‌شود. نتایج این بردار به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

رابطه‌ی (۲) $$A_w = (a_{1W}. a_{2W}. \dots . a_{nW})^T$$

به‌طوری‌که a_{jW} اولویت هر معیار j را نسبت به بدترین معیار انتخاب شده W نشان می‌دهد.

واضح است که $a_{WW} = 1$.

گام ۵. تعیین اوزان بهینه $(W_1^*. W_2^*. \dots . W_n^*)$: در این گام به منظور دستیابی به اوزان بهینه معیارها بایستی بیشترین اختلاف مطلق $\{|w_B - a_{Bj}w_j| و |w_j - a_{jW}w_W|\}$ برای تمام j ها کمینه شود که به صورت مسئله بهینه‌سازی زیر فرمول‌بندی شده است.

رابطه‌ی (۳) $$\min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j| و |w_j - a_{jW}w_W|\}$$

S. t.

www.SID.ir

$$\sum_{j} w_j = 1$$
$$w_j \geq 0;\ \text{for all j}$$

رابطه‌ی (۳) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

رابطه‌ی (۴)

$$\min \xi^L$$
$$\text{S. t.}$$
$$\left|w_B - a_{Bj} w_j\right| \leq \xi^L;\ \text{for all j}$$
$$\left|w_j - a_{jW} w_W\right| \leq \xi^L;\ \text{for all j}$$
$$\sum_{j} w_j = 1$$
$$w_j \geq 0;\ \text{for all j}$$

رابطه‌ی (۴) خطی و دارای جواب منحصر به فرد است. از این رو با حل این مدل اوزان بهینه $(w_1^*. w_2^*. \ldots . w_n^*)$ و مقدار بهینه ξ^{L*} نتیجه خواهد شد. برای رابطه فوق مقادیر نزدیک به صفر ξ^{L*} نشان‌دهنده‌ی سطح بالای سازگاری است (رضایی، ۲۰۱۶: ۱۲۶).

روش ویکور: تکنیک ویکور یک روش رتبه‌بندی سازشی است و اغلب در شرایط داشتن معیارهای مختلف متعارض مورد استفاده قرار می‌گیرد (اوپریکویچ[1]، ۱۹۹۸: ۵). این روش یک راه‌حل سازشی مبتنی بر "نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل و توافق دوجانبه از طریق امتیازات" ایجاد می‌کند. این روش به‌طور گسترده توسط محققان بسیاری (عرب‌عامری و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۴۰۰؛ گوپتا[2]، ۲۰۱۸: ۴۷؛ اوپریکویچ و تزنگ[3]، ۲۰۰۴: ۴۴۵؛ ولویچ و همکاران، ۲۰۱۵: ۳۱۷؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۰۷؛ خیرگو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۳؛ صفرعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۶۶) جهت رتبه‌بندی گزینه‌ها به کار گرفته شده است. این روش از نرمال‌سازی خطی استفاده می‌کند که یک تابع جمع‌کننده را مشخص می‌کند که فاصله را از راه‌حل ایده‌آل نشان می‌دهد. این شاخص رتبه‌بندی شامل جمع‌آوری تمام معیارها، اهمیت نسبی معیارها و تعادل بین رضایت جمعی و فردی است. ضمناً بهترین گزینه توسط ویکور نزدیکترین راه‌حل ایده‌آل است (اوپریکویچ و تزنگ، ۲۰۰۴: ۴۵۳).

1- Opricovic
2- Gupta
3- Opricovic and Tzeng

www.SID.ir

تکنیک ویکور یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره توافقی است که کارایی زیادی در حل مسائل گسسته دارد (صفرعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۴۷).

در مواقعی که تصمیم‌گیرنده قادر به بیان ترجیحات خود نیست کارایی روش ویکور آشکارتر می‌شود (خیرگو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۶). لذا این روش از راه‌حل‌های توافقی و سازشی برای حل مسائل بهره می‌برد.

مراحل اجرای روش ویکور به شرح زیر است (گوپتا، ۲۰۱۸: ۴۷):

گام ۱: به دست آوردن ماتریس زوجی برای هر گزینه به‌طوری‌که هر معیار با استفاده از مقیاس کلامی ارزیابی می‌شود.

گام ۲: محاسبه‌ی ماتریس تصمیم میانگین با استفاده از رابطه‌ی (۵).

$$f_{ij} = \frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k} x_{ij}^{t} \qquad i = 1.2. \ldots . m;\ \ j = 1.2. \ldots . n$$ رابطه‌ی (۵)

که در آن، x_{ij}^{t} ارزش گزینه iام نسبت به معیار jام توسط خبره tام است.

گام ۳: محاسبه‌ی مقادیر بهترین f_j^* و بدترین f_j^- برای تمام معیارها با استفاده از روابط زیر:

$$f_j^* = \max f_{ij} \qquad i = 1.2. \ldots . m;\ \ j = 1.2. \ldots . n$$ رابطه‌ی (۶)

$$f_j^- = \min f_{ij} \qquad i = 1.2. \ldots . m;\ \ j = 1.2. \ldots . n$$ رابطه‌ی (۷)

که در آن، f_j^* نشان‌دهنده‌ی راه‌حل ایده‌آل مثبت و f_j^- نشان‌دهنده‌ی راه‌حل ایده‌آل منفی برای معیار jام است.

گام ۴: محاسبه‌ی مقادیر S_i و R_i برای $i = 1.2. \ldots . m$ با استفاده از روابط (۸) و (۹).

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}$$ رابطه‌ی (۸)

$$R_i = \max\left[w_j \frac{(f_j^* - f_{ij})}{(f_j^* - f_j^-)}\right]$$ رابطه‌ی (۹)

به‌طوری‌که S_i نشان‌دهنده‌ی فاصله گزینه iام از راه‌حل ایده‌آل مثبت و R_i بیانگر فاصله‌ی گزینه iام از راه‌حل ایده‌آل منفی و w_j نیز نشان‌دهنده‌ی اوزان فاکتورهای به‌دست‌آمده از طریق تجزیه و تحلیل روش بهترین-بدترین فازی است.

www.SID.ir

گام ۵: محاسبه‌ی مقدار Q_i براساس رابطه‌ی (۱۰).

رابطه‌ی (۱۰) $$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right] + (1-v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$$

به‌طوری‌که $S^- = max_i\, S_i.\ S^* = min_i\, S_i$ و $R^- = \max_i R_i.\ R^* = \min_i R_i$ و پارامتر v نیز به‌عنوان وزنی برای استراتژی حداکثر مطلوبیت گروهی معرفی می‌شود که در این پژوهش برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

گام ۶: رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از مقادیر Q_i.

گام ۷: گزینه‌ها بر اساس کمینه مقادیر به‌دست‌آمده Q_i رتبه‌بندی می‌شوند، به‌طوری‌که دو شرط زیر هم‌زمان برقرار گردد:

شرط اول (ویژگی پذیرش): گزینه A^1 انتخاب می‌شود اگر $Q(A^2) - Q(A^1) \geq 1/m - 1$ به‌طوری‌که A^2 گزینه ایست که در رتبه دوم قرار گرفته و m نیز برابر با تعداد کل گزینه‌ها است.

شرط دوم (ثبات پذیرش در تصمیم‌گیری): A^1 همچنین بایستی رتبه‌ی اول را براساس مقادیر S_i و/یا R_i به دست آورد.

گام ۸: گزینه‌ای که کمترین مقدار در Q_i را داشته باشد در رتبه نخست قرار می‌گیرد.

۳-یافته‌ها و بحث

در جدول (۱)، معیارها و زیر معیارهای مورد نظر جهت استفاده در تحقیق (که بر اساس بررسی ادبیات تحقیق به دست آمده است) ارائه شده است.

به‌منظور دستیابی به نتایج معتبر از یک روش اجماعی بهره گرفته شد؛ به‌طوری‌که برای جمع‌آوری اطلاعات کمیته‌ای از خبرگان و کارشناسان برای شرکت در جلسات دعوت به عمل آمد و از آن‌ها خواسته شد که عملکرد گزینه‌ها را نسبت به معیارهای ارائه‌شده در جدول (۱) با استفاده از مقیاس‌های ذکرشده در جدول (۲) مورد ارزیابی قرار دهند. اعضای این کمیته شامل نـخبگان با تجربه در حوزه‌ی توسعه کشاورزی بود که سابقه‌ی انجام طرح‌های اجرایی و مطالعاتی در منطقه‌ی مورد مطالعه داشتند و اطلاعات آنها در جدول (۳) ارائه شده است.

www.SID.ir

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۲۳، سال ششم، تابستان ۱۳۹۹، صص ۲۳۳-۲۰۹
Hydrogeomorphology, Vol. 6, No. 23, Summer 2020, pp (209-233)

جدول (۱): معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار بر فرسایش خاک
Table (1): Criteria and sub-criteria affecting soil erosion

زیرمعیار	معیار	زیرمعیار	معیار
پایداری خاکدانه	فنی	از بین رفتن پوشش گیاهی	زیست محیطی
ظرفیت نفوذ آب		جریان‌های آب سطحی	
عمق خاک		حجم رواناب‌ها	
ذرات رس	شیمیایی	تخریب زیست بوم	
مقدار کربن آلی خاک		خشکسالی	اقلیمی
عدم استفاده از کودهای دامی	اجتماعی	آتش سوزی	
چرای بی رویه دام		بارندگی	
		شیب زمین	

۳-۱- محاسبه‌ی اوزان معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین

از میان تمام معیارها بهترین و بدترین معیار توسط خبرگان از طریق توافق متقابل انتخاب شد. اولویت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها توسط خبرگان براساس مقیاس ارائه‌شده در جدول (۲) نتیجه می‌شود، همچنین اولویت سایر معیارها با بدترین معیار نیز تعیین می‌شود.

جدول (۲): مقیاس کلامی برای مقایسه‌ی زوجی روش بهترین-بدترین و تکنیک‌های ویکور
Table (2): Verbal scale for pairwise comparison of best-worst methods and Victor techniques

مقیاس برای روش بهترین-بدترین								
Extremely Imp.	Very strongly to extremely Imp.	Very strongly Imp.	Strongly to very strongly Imp.	Strongly Imp.	Moderately to strongly Imp.	Moderately Imp.	Equal to moderately Imp.	Equally Imp.
9	8	7	6	5	4	3	2	1

مقیاس برای تکنیک‌های ویکور		
درجه اهمیت برای معیار اثر مثبت	درجه اهمیت برای معیار با اثر منفی	عبارات کلامی
1	5	Least Imp.
2	4	Moderately Imp.
3	3	Strongly Imp.
4	2	Very Strongly Imp.
5	1	Extremely Imp.

P.S. Imp. = Important

www.SID.ir

جدول (۳): اطلاعات کارشناسان و تحلیل‌گران

Table (3): Information of experts and analysts

ردیف	تحصیلات	سابقه فعالیت	تعداد پروژه‌های انجام‌شده (اجرایی و مطالعاتی)
۱	دکترای تخصصی	۱۶ سال	۹ طرح اجرایی و ۱۴ پروژه مطالعاتی
۲	دکترای تخصصی	۱۲ سال	۵ طرح اجرایی و ۸ پروژه مطالعاتی
۳	دکترای تخصصی	۸ سال	۴ طرح اجرایی و ۷ پروژه مطالعاتی
۴	کارشناسی ارشد	۱۱ سال	۵ طرح اجرایی و ۶ پروژه مطالعاتی
۵	کارشناسی ارشد	۹ سال	۳ طرح اجرایی و ۷ پروژه مطالعاتی
۶	کارشناسی ارشد	۷ سال	۲ طرح اجرایی و ۴ پروژه مطالعاتی
۷	کارشناسی ارشد	۷ سال	۲ طرح اجرایی و ۳ پروژه مطالعاتی
۸	کارشناسی ارشد	۶ سال	۲ طرح اجرایی و ۲ پروژه مطالعاتی
۹	کارشناسی ارشد	۵ سال	۲ طرح اجرایی و ۲ پروژه مطالعاتی
۱۰	کارشناسی ارشد	۴ سال	۱ طرح اجرایی و ۲ پروژه مطالعاتی

درجه‌ی اولویت برای معیارهای اصلی (زیست محیطی، اقلیمی، فنی، شیمیایی و اجتماعی) در جدول (۴) نشان داده شده است (در قسمت اول جدول، مقایسه‌ی بین بهترین معیار با سایر معیارها و در قسمت دوم، مقایسه‌ی سایر معیارها با بدترین معیار به صورت همزمان گزارش شده است).

جدول (۴): مقایسه‌ی زوجی بین معیارهای اصلی توسط ده خبره

Table (4): Binary comparison between the main criteria by ten experts

خبرگان	بهترین نسبت به سایر	زیست محیطی	اقلیمی	فنی	شیمیایی	اجتماعی
۱	فنی	۶	۸	۱	۹	۷
۲	زیست محیطی	۱	۴	۲	۴	۹
۳	زیست محیطی	۱	۷	۸	۶	۹
۴	فنی	۶	۲	۱	۳	۹
۵	زیست محیطی	۱	۲	۲	۹	۳
۶	زیست محیطی	۱	۲	۲	۹	۳
۷	اقلیمی	۲	۱	۲	۹	۳
۸	اقلیمی	۵	۱	۷	۹	۴
۹	فنی	۷	۸	۱	۷	۹
۱۰	اقلیمی	۸	۱	۶	۷	۹

www.SID.ir

ادامه‌ی جدول (۴): مقایسه‌ی زوجی بین معیارهای اصلی توسط ده خبره

Countinue Table (4): Binary comparison between the main criteria by ten experts

سایر معیارها نسبت به دیگران	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی	شیمیایی
زیست محیطی	۲	۹	۹	۴	۱	۹	۷	۴	۲	۲
اقلیمی	۳	۵	۲	۷	۶	۶	۹	۹	۲	۱
فنی	۹	۷	۳	۹	۷	۷	۶	۳	۱	۳
شیمیایی	۱	۵	۳	۷	۹	۱	۱	۱	۳	۳
اجتماعی	۳	۱	۱	۱	۶	۷	۶	۴	۹	۹

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های روش بهترین-بدترین، اوزان مربوط به معیارها و زیرمعیارها از حل رابطه‌ی (۴) با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS نسخه ۲۴/۳ و با به‌کارگیری حل‌کننده‌ی BARON به دست آمد. بعد از دستیابی به درجه‌ی اولویت برای تمام معیارها، اوزان محلی بهینه‌شده با به‌کارگیری رابطه‌ی (۴) حاصل می‌شوند، در ادامه اوزان محلی بهینه برای معیارهای اصلی و همچنین ضریب سازگاری[1] به دست‌آمده در جدول (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود معیار "فنی" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۲۹۳) نسبت به سایر معیارها است. همچنین معیار "شیمیایی" نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۰۸۵) در بین تمام معیارها است. با توجه به اینکه $\xi^{L^*} = 0.080$ نتایج از سازگاری بسیار بالایی برخوردار است چراکه این مقدار به صفر نزدیک است. به طریق مشابه برای هر یک از معیارهای اصلی نیز اولویت بهترین زیرمعیار نسبت به سایر زیرمعیارها، اولویت سایر زیرمعیارها با بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی نتیجه‌شده در جدول (۵) نشان داده شده است.

1- Adjustment coefficient

www.SID.ir

جدول (۵): اوزان محلی بهینه برای معیارهای اصلی

Table (5): Optimal local weights for the main criteria

خبرگان	زیست محیطی	اقلیمی	فنی	شیمیایی	اجتماعی	ξ
۱	۰/۱۲۰	۰/۰۹۰	۰/۶۲۸	۰/۰۶۰	۰/۱۰۳	۰/۰۹
۲	۰/۴۴۲	۰/۱۲۹	۰/۲۵۹	۰/۱۲۹	۰/۰۴۱	۰/۰۷۵
۳	۰/۶۲۸	۰/۱۰۳	۰/۰۹۰	۰/۱۲۰	۰/۰۶	۰/۰۹
۴	۰/۰۸۸	۰/۲۶۳	۰/۴۳۵	۰/۱۷۶	۰/۰۳۸	۰/۰۹۲
۵	۰/۳۷۸	۰/۲۲۰	۰/۲۲۰	۰/۰۳۵	۰/۱۴۷	۰/۰۶۳
۶	۰/۳۷	۰/۲۲۴	۰/۲۲۴	۰/۰۳۲	۰/۱۴۹	۰/۰۷۸
۷	۰/۲۲۰	۰/۳۷۸	۰/۲۲۰	۰/۰۳۵	۰/۱۴۷	۰/۰۶۳
۸	۰/۱۲۹	۰/۵۶۳	۰/۰۹۲	۰/۰۵۳	۰/۱۶۲	۰/۰۸۴
۹	۰/۱۰۳	۰/۰۹	۰/۶۴۱	۰/۱۰۳	۰/۰۶۲	۰/۰۸۳
۱۰	۰/۰۸۹	۰/۶۳۰	۰/۱۱۹	۰/۱۰۲	۰/۰۶۱	۰/۰۸۱
میانگین وزن محلی	۰/۲۵۷	۰/۲۶۹	۰/۲۹۳	۰/۰۸۵	۰/۰۹۷	۰/۰۸۰

جدول (۶): اوزان محلی بهینه برای زیرمعیارهای بعد زیست محیطی

Table (6): Optimal local weights for environmental dimension sub-criteria

خبرگان	از بین رفتن پوشش گیاهی	جریان‌های آب سطحی	حجم رواناب‌ها	تخریب زیست بوم	ξ
۱	۰/۷۱۴	۰/۱۱۷	۰/۰۶۸	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲
۲	۰/۶۲۵	۰/۰۶۱	۰/۱۷۴	۰/۱۳۹	۰/۰۷۲
۳	۰/۰۵۸	۰/۱۵۷	۰/۱۳۱	۰/۶۵۴	۰/۱۳۲
۴	۰/۱۵۲	۰/۱۲۶	۰/۰۶۲	۰/۶۶۰	۰/۰۹۸
۵	۰/۵۶۴	۰/۱۶۵	۰/۰۵۲	۰/۲۲۰	۰/۰۹۵
۶	۰/۲۷۶	۰/۴۹۲	۰/۰۴۸	۰/۱۸۴	۰/۰۶۰
۷	۰/۲۵۳	۰/۲۵۳	۰/۰۴۴	۰/۴۵۱	۰/۰۵۵
۸	۰/۱۸۵	۰/۶۳۳	۰/۰۵۸	۰/۱۲۴	۰/۱۰۹
۹	۰/۷۱۴	۰/۱۱۷	۰/۰۶۸	۰/۱۰۲	۰/۱۰۲
۱۰	۰/۰۷	۰/۰۹۳	۰/۱۴۹	۰/۶۸۷	۰/۰۶۰
میانگین وزن محلی	**۰/۳۶۱**	**۰/۲۲۱**	**۰/۰۸۵**	**۰/۳۹۵**	**۰/۰۸۹**

www.SID.ir

در جدول (۶) بردارهای زوجی بهترین و بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی برای زیرمعیارهای بعد "زیست محیطی" به ترتیب نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول (۶) نتیجه می‌شود زیرمعیار "تخریب زیست‌بوم" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۳۹۵) نسبت به سایر زیرمعیارها است. همچنین زیرمعیار "حجم رواناب‌ها" نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۰۸۵) در بین تمام زیرمعیارها است.

در جدول (۷) بردارهای زوجی بهترین و بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی برای زیرمعیارهای بعد "اقلیمی" به ترتیب نشان داده شده است. همان‌طور که از جدول (۷) نتیجه می‌شود زیرمعیار "خشکسالی" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۶۷۴) در بین تمام زیرمعیارها است. همچنین زیرمعیار "بارندگی" نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۰۷۸) در بین تمام زیرمعیارها است. در جدول (۸) بردارهای زوجی بهترین و بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی برای زیرمعیارهای بعد "فنی" به ترتیب نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۸) مشاهده می‌شود، زیرمعیار "عمق خاک" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۷۴۸) در بین تمام زیرمعیارها است. همچنین زیرمعیار "پایداری خاکدانه" نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۱۱۷) در بین تمام زیرمعیارها است.

جدول (۷): اوزان محلی بهینه برای زیرمعیارهای بعد اقلیمی

Table (7): Optimal local weights for climate dimension sub-criteria

خبرگان	خشکسالی	آتش‌سوزی	بارندگی	ژ
۱	۰/۸۰۸	۰/۰۸۳	۰/۱۰۸	۰/۰۵۸
۲	۰/۷۵۲	۰/۱۸۱	۰/۰۶۷	۰/۱۵۲
۳	۰/۷۷۷	۰/۱۵۲	۰/۰۷۱	۰/۱۳۴
۴	۰/۷۷۷	۰/۱۵۲	۰/۰۷۱	۰/۱۳۴
۵	۰/۷۷۲	۰/۲۱۱	۰/۰۶۷	۰/۱۲۲
۶	۰/۵۹۷	۰/۳۴۷	۰/۰۵۶	۰/۰۹۷
۷	۰/۶۰۹	۰/۳۲۸	۰/۰۶۳	۰/۰۴۷
۸	۰/۰۸۳	۰/۷۹۶	۰/۱۲۰	۰/۰۴۶
۹	۰/۸۰۸	۰/۱۰۸	۰/۰۸۳	۰/۰۵۸
۱۰	۰/۷۵۵	۰/۱۷۳	۰/۰۷۱	۰/۱۱۲
میانگین وزن محلی	۰/۶۷۴	۰/۲۵۳	۰/۰۷۸	۰/۰۹۶

www.SID.ir

جدول (۸): اوزان محلی بهینه برای زیرمعیارهای بعد فنی
Table (8): Optimal local weights for technical dimension sub-criteria

ξ	عمق خاک	ظرفیت نفوذ آب	پایداری خاکدانه	خبرگان
۰/۰۵۸	۰/۸۰۸	۰/۱۰۸	۰/۰۸۳	۱
۰/۱۰۳	۰/۷۹۵	۰/۰۷۷	۰/۱۲۸	۲
۰/۰۵۸	۰/۸۰۸	۰/۱۰۸	۰/۰۸۳	۳
۰/۰۸۷	۰/۷۷۹	۰/۱۴۴	۰/۰۷۷	۴
۰/۱۱۳	۰/۶۷۵	۰/۲۶۲	۰/۰۶۲	۵
۰/۰۷۴	۰/۶۰۳	۰/۰۵۹	۰/۳۳۸	۶
۰/۰۷۴	۰/۶۰۳	۰/۳۳۸	۰/۰۵۹	۷
۰/۰۵۸	۰/۸۰۸	۰/۰۸۳	۰/۱۰۸	۸
۰/۰۴۶	۰/۷۹۶	۰/۰۸۳	۰/۱۲۰	۹
۰/۰۵۸	۰/۸۰۸	۰/۰۸۳	۰/۱۰۸	۱۰
۰/۰۷۳	**۰/۷۴۸**	**۰/۱۳۵**	**۰/۱۱۷**	**میانگین وزن محلی**

جدول (۹): اوزان محلی بهینه برای زیرمعیارهای بعد شیمیایی
Table (9): Optimal local weights for chemical dimension sub-criteria

ξ	مقدار کربن آلی خاک	ذرات رس	خبرگان
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۱
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۲
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۳
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۴
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۵
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۶
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۷
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۸
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۹
۰/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۱۰
۰/۰۰۰	**۰/۱۰۰**	**۰/۹۰۰**	**میانگین وزن محلی**

بردارهای زوجی بهترین و بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی برای زیرمعیارهای بعد "شیمیایی" به ترتیب در جدول (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که

www.SID.ir

در جدول (۹) مشاهده می‌شود، زیرمعیار "ذرات رس" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۹۰) نسبت به سایر زیرمعیارها است. همچنین زیرمعیار "مقدار کربن آلی خاک" نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۱۰) در بین تمام زیرمعیارها است.

در جدول (۱۰) بردارهای زوجی بهترین و بدترین زیرمعیار و همچنین متوسط اوزان محلی برای زیرمعیارهای بعد "اجتماعی" به ترتیب نشان داده شده است. همانطور که از جدول (۱۰) مشاهده می‌شود زیرمعیار "عدم استفاده از کودهای دامی" دارای بیشترین وزن محلی (۰/۶۶۰) نسبت به سایر زیرمعیارها است. همچنین زیرمعیار "چرای بی رویه دام" نیز دارای کـمترین وزن محلی (۰/۳۴۰) در بین تمام زیرمعیارها است. بر اساس جمع‌بندی ارائه شده در جدول (۱۱)، سه معیار مهم در ارزیابی معیارهای مهم در فرسایش خاک عبارتند از: "فنی"، "اقلیمی" و "زیست محیطی". به طریق مشابه دو معیاری که کمترین میزان اهمیت را به دست آورده‌اند نیز عبارتند از: "اجتماعی" و "شیمیایی".

جدول (۱۰): اوزان محلی بهینه برای زیرمعیارهای بعد اجتماعی

Table (10): Optimal local weights for social dimension sub-criteria

خبرگان	عدم استفاده از کودهای دامی	چرای بی رویه دام	ξ
۱	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۲	۰/۹۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۰
۳	۰/۹۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۰
۴	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۵	۰/۹۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۰۰
۶	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۷	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۸	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۹	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
۱۰	۰/۱۰۰	۰/۹۰۰	۰/۰۰۰
میانگین وزن محلی	**۰/۳۴۰**	**۰/۶۶۰**	**۰/۰۰۰**

www.SID.ir

جدول (۱۱): اوزان و رتبه‌بندی معیارهای اصلی و زیرمعیارها
Table (11): Weights and ranking of main criteria and sub-criteria

معیارهای اصلی	وزن معیارهای اصلی	زیرمعیارها	وزن زیرمعیارها	وزن نهایی
زیست محیطی	۰/۲۵۷	از بین رفتن پوشش گیاهی	۰/۳۶۱	۰/۰۹۳
		جریان‌های آب سطحی	۰/۲۲۱	۰/۰۵۷
		حجم رواناب‌ها	۰/۰۸۵	۰/۰۲۲
		تخریب زیست بوم	۰/۳۹۵	۰/۱۰۲
اقلیمی	۰/۲۶۹	خشکسالی	۰/۶۷۴	۰/۱۸۱
		آتش سوزی	۰/۲۵۳	۰/۰۶۸
		بارندگی	۰/۰۷۸	۰/۰۲۱
فنی	۰/۲۹۳	پایداری خاکدانه	۰/۱۱۷	۰/۰۳۴
		ظرفیت نفوذ آب	۰/۱۳۵	۰/۰۴۰
		عمق خاک	۰/۷۴۸	۰/۲۱۹
شیمیایی	۰/۰۸۵	ذرات رس	۰/۹۰۰	۰/۰۷۷
		مقدار کربن آلی خاک	۰/۱۰۰	۰/۰۰۹
اجتماعی	۰/۰۹۷	عدم استفاده از کودهای دامی	۰/۳۴۰	۰/۰۳۳
		چرای بی رویه دام	۰/۶۶۰	۰/۰۶۴

۳-۲- اولویت‌بندی روش‌های جلوگیری از فرسایش با استفاده از روش ویکور

بعد از دستیابی به اوزان معیارها، در گام بعد روش‌های جلوگیری از فرسایش بر اساس اوزان این فاکتورها و با استفاده از روش ویکور اولویت‌بندی می‌شوند. با به‌کارگیری مقیاس کلامی ارائه‌شده در جدول (۲)، تمام خبرگان به‌منظور ارزیابی گزینه‌ها نسبت به این معیارها به‌صورت جداگانه مورد پرسش قرار گرفتند. پس از دستیابی به درجه‌ی اولویت هر خبره، در گام بعد میانگین درجات محاسبه شده و ماتریس تصمیم میانگین مطابق با جدول (۱۲) نتیجه شده است. در جدول (۱۳)، مقادیر بیشینه و کمینه معیارها گزارش شده است. در گام بعد بیشینه و کمینه مقادیر معیارها با استفاده از روابط ۶ و ۷ به دست‌آمده است. علاوه بر این، با به‌کارگیری روابط ۸، ۹ و ۱۰ مقادیر S، R و Q محاسبه شدند که در جدول (۱۴) آورده شده‌اند. گزینه‌ها بر اساس مقادیر Q اولویت‌بندی شده و گزینه‌ای که کمترین مقدار Q را دارا باشد، به‌عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود، به‌طوری‌که دو شرط

www.SID.ir

اشاره‌شده در گام (۷) روش ویکور در نظر گرفته شود. با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده "بیوچار" در رتبه‌ی اول قرار گرفته زیرا کمترین مقدار Q را با لحاظ $v = 0.5$ داراست. در جدول (۱۵)، رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقادیر S، R و Q ارائه شده است.

جدول (۱۲): میانگین امتیازات گزینه‌ها

Table (12): Average scores of options

	از بین رفتن پوشش گیاهی	جریان‌های آب سطحی	حجم رواناب‌ها	تخریب زیست بوم	خشکسالی	آتش سوزی	بارندگی	پایداری خاکدانه	ظرفیت نفوذ آب	عمق خاک	ذرات رس	مقدار کربن آلی خاک	عدم استفاده از کودهای دامی	چرای بی رویه دام
بیوچار	۳/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۵	۳/۰	۳/۰	۵/۰	۳/۵	۳/۵	۲/۵	۲/۵	۲/۵	۳/۵	۲/۰
تزریق مواد آلی به خاک	۴/۰	۳/۵	۲/۵	۴/۰	۳/۰	۳/۰	۵/۰	۳/۵	۳/۵	۳/۰	۳/۰	۳/۲	۲/۵	۱/۵
باران مصنوعی	۴/۵	۳/۵	۳/۰	۴/۵	۴/۰	۳/۵	۵/۰	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۰	۳/۵	۲/۵	۱/۵
ایجاد سد	۴/۵	۳/۰	۳/۰	۳/۵	۳/۰	۳/۵	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰	۳/۵	۲/۵	۱/۵
کاشت طاق	۲/۵	۱/۰	۱/۵	۱/۵	۴/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۵	۱/۰	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۲/۰	۲/۵

جدول (۱۳): بیشینه و کمینه مقادیر معیارها

Table (13): Maximum and minimum values of criteria

f_j^*	۲/۵۰۰	۱/۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۵۰۰	۳/۰۰۰	۲/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۵۰۰	۱/۵۰۰	۲/۰۰۰	۱/۵۰۰
f_j^-	۴/۵۰۰	۳/۵۰۰	۳/۰۰۰	۴/۵۰۰	۴/۰۰۰	۳/۵۰۰	۵/۰۰۰	۳/۵۰۰	۳/۵۰۰	۳/۵۰۰	۴/۰۰۰	۳/۵۰۰	۳/۵۰۰	۲/۵۰۰
$(f_j^- - f_j^*)$	۲/۰۰۰	۲/۵۰۰	۱/۵۰۰	۳/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۵۰۰	۴/۰۰۰	۲/۰۰۰	۲/۵۰۰	۲/۰۰۰	۲/۵۰۰	۲/۰۰۰	۱/۵۰۰	۱/۰۰۰

جدول (۱۴): مقادیر S، R و Q برای گزینه‌ها

Table (14): The S, R and Q values for options

	بیوچار	تزریق کود و مواد آلی به خاک	باران مصنوعی	ایجاد سد	کاشت طاق
S	۰/۲۴۵	۰/۶۲۶	۰/۹۰۳	۰/۵۹۶	۰/۵۱۴
R	۰/۱۸۱	۰/۱۶۴	۰/۲۱۹	۰/۱۶۴	۰/۱۱۰
Q	۰/۳۱۸	۰/۵۱۴	۰/۹۰۴	۰/۴۹۴	۰/۲۳۶
		$S^- = 0.245$		$R^- = 0.110$	
		$S^* = 0.903$		$R^* = 0.219$	

www.SID.ir

جدول (۱۵): رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس مقادیر S، R و Q
Table (15): Ranking options based on the S, R and Q values

	S	اولویت‌بندی	R	اولویت‌بندی	Q	اولویت‌بندی نهایی
بیوچار	۰/۵۱۴	۲	۰/۱۰۹۵۰۰	۱	۰/۲۰۴	۱
تزریق مواد آلی به خاک	۰/۵۹۶	۳	۰/۱۶۴۲۵۰	۲	۰/۵۱۷	۳
باران مصنوعی	۰/۹۰۳	۵	۰/۲۱۹۰۰۰	۵	۱/۰۰۰	۵
ایجاد سد	۰/۶۲۶	۴	۰/۱۶۴۲۵۰	۳	۰/۵۳۹	۴
کاشت طاق	۰/۲۴۵	۱	۰/۱۸۱۰۰۰	۴	۰/۳۲۶	۲

به‌طورکلی رتبه‌بندی نهایی روش‌های جلوگیری از فرسایش با استفاده از روش ویکور نشان می‌دهد که "بیوچار" و "کاشت طاق" در رتبه‌های اول و دوم و "باران مصنوعی" در پایین‌ترین رتبه قرار دارد. کشتکار و همکاران (۱۳۹۶: ۱۳۳) نیز که مطالعه‌ای را با هدف الویت‌بندی گزینه‌های مدیریت بیولوژیک حوضه‌ی آبخیز دلیچای با استفاده از MCDM انجام دادند، چهار فعالیت مدیریت بیولوژیک را تعیین و ۱۶ سناریوی مدیریتی در منطقه تدوین کردند. همچنین معیارهای اجتماعی، اکولوژیک، اقتصادی و فیزیکی به ترتیب در اولویت‌های اول تا چهارم و سناریو شماره‌ی ۱۰ که شامل فعالیت‌های مدیریت چرا و کپه‌کاری بود، به عنوان برترین سناریو و الویت اول تعیین گردید. در مطالعه‌ی ولویچ و همکاران (۲۰۱۵: ۳۱۷) که مناطق آسیب‌پذیر فرسایش خاک در حوضه رودخانه تاپیسدرسکا، واقع در شمال صربستان را با استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره اولویت‌بندی کردند، آسیب‌پذیرترین زیرحوضه‌ها به دلیل وجود معنی‌دار اراضی قابل کشت و بسیار پرشیب تعیین شدند و بنابراین اولویت حفاظت داشتند. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸: ۱۳۸۵) نیز نشان دادند که پارامترهای مورفومتریک برای شناسایی مناطق مستعد به فرسایش زیرحوضه‌های آبخیز قائم‌شهر راندمان بالایی دارد و روش ویکور از دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به مدل‌های تاپسیس، ساو و سی‌اف برخوردار است. همچنین ژانگ و همکاران (۲۰۲۰: ۱۳۳۱) که در مطالعه‌ای مناطق اولویت‌دار را برای برنامه‌ریزی حفاظت آب و خاک با استفاده از MCDA در حوضه‌ی رودخانه زینشوی چین شناسایی کردند، شش شاخص ارزیابی شامل درجه شیب، بارش، NDVI، کاربری اراضی، بافت خاک و جهت شیب را

www.SID.ir

انتخاب و گزارش کردند که در هنگام برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های حفاظت از خاک و آب باید به شیب اراضی کشاورزی و علفزارها بیشتر توجه شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک رویکرد جدید ترکیبی مبتنی بر روش بهترین-بدترین و تکنیک ویکور جهت شناسایی عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک و رتبه‌بندی روش‌های جلوگیری از آن براساس نظر خبرگان و کارشناسان حوزه‌ی توسعه‌ی کشاورزی ارائه شده است. ساختار اجرایی تحقیق بر مبنای سه فاز عملیاتی تدوین شده است. در فاز اول معیارها و زیرمعیارها از ادبیات تحقیق استخراج و توسط خبرگان صحه‌گذاری شد. همچنین روش‌های بالقوه جهت جلوگیری از فرسایش خاک نیز توسط خبرگان تعیین شده و در نهایت داده‌های مورد نیاز جهت حل مسأله در قالب پرسشنامه‌های طراحی‌شده جمع‌آوری گردید. در فاز دوم با به‌کارگیری روش بهترین-بدترین وزن مربوط به هریک از معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده سه زیرمعیار مهم در ارزیابی روش‌های جلوگیری از فرسایش عبارتند از "فنی"، "اقلیمی" و "زیست‌محیطی". سپس (در فاز سوم) با به‌کارگیری از روش ویکور رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها انجام شده است. بر این اساس در روش ویکور سه گزینه‌ی برتر به ترتیب عبارتند از "بیوچار"، "کاشت طاق" و "تزریق کود و مواد آلی". با توجه اینکه توسعه‌ی زیرساخت‌هایی به منظور استفاده از روش‌های علمی جهت انتخاب روش‌های جلوگیری از فرسایش خاک در مناطق روستایی یکی از عوامل مؤثر در توسعه علم کشاورزی در کشور می‌باشد، بنابراین مطالعات در این حوزه باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور پیشنهاد می‌شود معیارهای جدیدی متناسب با شرایط محیطی و فنی در مناطق مختلف کشور با استفاده از نظر خبرگان مورد بررسی قرار گیرد. همچنین جهت گسترش ابعاد موضوعی پژوهش به‌کارگیری روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره و انجام مقایسات جهت ارزیابی کارایی آن‌ها پیشنهاد می‌گردد.

قدردانی

نویسندگان مقاله از دانشگاه بیرجند و سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

www.SID.ir

۵-منابع

Anonymous, (2013). *Detailed executive studies of Darmian city*, Ministry of Jihad Agriculture, Forests and Watershed Management Organization, General Department of Natural Resources of South Khorasan, 5 P.

Arab Ameri, A., Pourghasemi, H.R., & Cerda, A. (2018). Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, *Science of the Total Environment*, 613-614, 1385-1400.

Asadi, O., Rostamikhalaj, M., Mohseni Saravi, M., & Sour A., (2016). Prioritizing of watershed management planning using TOPSIS method in the watershed (Case study: Zydasht-Taleghan), *Journal of Water and Soil Science*, 6(12), 98-107.

Begum Nasir Ahmad, N., Syabeera Nasir Ahmad, N., Syabeera Begum Mustafa, F., Begham Muhammad Yusoff, S.Y., & Didams, G. (2020). A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8, 103-115.

Darabi, M., Gharehdaghy, H., & Nejabat, M. (2018). Evaluation of watershed projects performance on erosion and sediment transport in Sivand Dam Watershed, Fars Province, Iran, *Journal of Hydrogeomorphology*, 14, 199-218.

Gupta, H. (2018). Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR, *Journal of Air Transport Management*, 68, 35-47.

Imani, B., Yazdani, M.H., & Rohipour, S. (2018). A feasibility study of the establishment of industries in Ardabil, *Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning*, 3(4), 183-207.

Issaka, S., & Ashraf, M.A. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 1-11.

Keshtkar, A., Mohammadkhan, S., Houshmandi, R., & Dalfardi, S. (2017). Prioritizing determination of watershed biological management options using multi-criteria decision making techniques (Case study: Delichay Catchment), *Journal of Water and Soil Science*, 21(3), 133-147.

www.SID.ir

Kheirgoo, M., Nourbakhsh, I., & Mohammadi, A. (2016). Evaluating and prioritizing the dimensions of quality of educational services based on SERVQUAL model using the combined AHP-VIKOR approach studied by Imam Ali University, *Military Management Quarterly*, 61, 113-134.

Kim, H.H., & Ahn, B.S. (2019). Extended VIKOR method using incomplete criteria weights. *Applied Mathematical Modelling*, 126, 124-132.

Lal, R. (2019). Managing soils for resolving the conflict between agriculture and nature: The hard talk, *European Journal of Soil Science*, 71(1), 1-9.

Nazmfar, H., & Padarvandy, B. (2015). Comparative analysis of the application of multi-criteria analysis (MCDM) (Case study: Lorestan Province), *Journal of Regional Planning*, 17, 31-44.

Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*, PhD Thesis in Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, 302 p.

Opricovic, S., & Tzeng, G.H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455.

Parvaneh, H. (2009). *Evaluation of the Current Situation of Desertification in South Khorasan Using Madalus Method-Tabas Messina Region-Darmian city*, Master Thesis in Natural Resources Engineering, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, 150 p.

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method, *Omega*, 53, 49-57.

Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model, *Omega*, 64, 126-130.

Safaralizadeh, E., Mokhtary, R., & Hoseinzadeh, R. (2015). An analyze cities of Fars Province inequalities with using Vikor model, *Quarterly Urban-Regional Studies and Research*, 26, 145-166.

Shojaei, P., Bordbar, N., Ghanbarzadegan, A., Najibi, M., & Bastani, P. (2020). Ranking of Iranian provinces based on healthcare infrastructures: before and after implementation of Health Transformation Plan. *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 18(4).

www.SID.ir

Vulević, T., Dragović, N., Kostadinov, S., Simić, S.B., & Milovanović, I. (2015). Prioritization of soil erosion vulnerable areas using multi-criteria analysis methods, *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(1), 317–323.

Yari, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., & Taghizadeh, R. (2020). The effects of land use change on surface runoff in a part of Ghareh-su Watershed in Ardabil, *Journal of Hydrogeomorphology*, 21, 203-225.

Zhang, H., Zhang, J., Zhang, S., Yu, C., Sun, R., Wang, D., Zhu, C., & Zhang, J. (2020). Identification of priority areas for soil and water conservation planning based on multi-criteria decision analysis using Choquet Integral, *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 17(4), 1331.

Zhang, S.F., Liu, S.Y., & Zhai, R.H. (2011). An extended GRA method for MCDM with interval-valued triangular fuzzy assessments and unknown weights. *Computers & Industrial Engineering*, 61(4), 1336-1341.

www.SID.ir