

## اولویت بندی زیرحوضه های شهرستان گرگان برای کاربری کشاورزی دیم با استفاده از روش های تصمیم گیری چندشاخصه (MADM) و GIS

هادی رحیمی<sup>۱\*</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲</sup>، حمیدرضا کامیاب<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشجوی دکتری محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۱۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۶)

### چکیده

در این پژوهش که با هدف اولویت بندی زیرحوضه های شهرستان گرگان برای کشاورزی دیم انجام شده است، پس از شناسایی و نرمال سازی شاخص ها در محیط GIS اقدام به اولویت بندی زیرحوضه ها شد. روش های علمی استفاده شده در این پژوهش، ELECTRE، TOPSIS و SAW بود، که از جمله روش های تصمیم گیری چندشاخصه اند. از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای وزن دهی به شاخص ها در نرم افزار Expert Choice استفاده شد. ابتدا در قالب روش های ELECTRE، TOPSIS، SAW و به کمک نرم افزار EXCEL، اولویت بندی زیرحوضه ها انجام شد. هر کدام از روش ها با توجه به رویکرد خود رتبه بندی متفاوتی ارائه دادند. در ادامه برای رفع تعارض بین نتایج سه روش، با استفاده از روش ادغام (Copeland) رتبه بندی انجام شد. با توجه به تفاوت رتبه بندی ها در سه روش، با استفاده از تحلیل های آماری (ضریب همبستگی اسپیرمن) رابطه معناداری بین روش های اولویت بندی مشخص شد. همچنین ضریب همبستگی بین نتایج رتبه بندی به دست آمده از روش ادغام و روش های تصمیم گیری محاسبه شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۱ با توجه به سه روش یادشده در اولویت یک تا چهار با هم یکسان بودند و بیشترین توان برای کشاورزی دیم نسبت به باقی زیرحوضه ها را داشتند. همچنین نتایج ضریب همبستگی نشان داد با توجه به داده های استفاده شده، نتایج روش SAW در رتبه اول، روش ELECTRE در رتبه دوم و روش TOPSIS در رتبه سوم مطلوبیت اولویت بندی زیرحوضه های شهرستان گرگان برای کاربری کشاورزی دیم قرار دارند. با توجه به تجزیه و تحلیل های انجام شده، بهترین اولویت بندی بین گزینه ها برای کشاورزی دیم، استفاده از روش ادغام است.

**کلیدواژگان:** تصمیم گیری چندشاخصه، ضریب همبستگی اسپیرمن، ELECTRE، TOPSIS، SAW، Copeland.

## ۱. مقدمه

بی‌شک از جمله چالش‌های بزرگ پیش روی انسان قرن بیست و یکم کاهش بیش از اندازه منابع طبیعی است که همراه با پاره‌ای دیگر از عوامل چون رشد فزاینده جمعیت، افزایش آلودگی‌ها، نارسایی توزیع متعادل منابع، رشد صنعتی و اقتصادی در حال ایجاد بحران جهانی‌اند (Mirmohamadi, 2007). الگوی نامناسب استفاده از سرزمین و تغییرات شدید در کاربری زمین سبب پیدایش بحران‌های محیط زیستی از جمله تخریب و آلودگی منابع آب و خاک، پیشروی رو به گسترش بیابان‌ها، فرسایش خاک، شور و اسیدی شدن آن، تهی شدن منابع و کاهش تنوع زیستی و استعداد و توانایی بهره‌وری سرزمین شده است که با خروج از مدار توسعه پایدار، فعالیت‌های تولیدی نه فقط نسل‌های آینده بلکه نسل فعلی را نیز به شدت تحت تأثیر قرار داده است (Zahedipour et al., 2005).

سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری براساس نیاز به استفاده از منابع حوضه آبخیز ایجاد شده‌اند تا آلودگی‌های ناشی از این استفاده‌ها را کنترل کنند، بنابراین استفاده از تخصص‌های مختلف در تحلیل تصمیم‌ها و برنامه‌نویسی برای ساخت یک سامانه پشتیبان از تصمیم بسیار ضروری است (Westerwelt, 2001). این قاعده تصمیم‌گیری است که چگونگی آرایش بهتر گزینه‌ها و تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب گزینه دارای ارجحیت را مشخص می‌کند. داده‌ها و اطلاعات مربوط به گزینه‌ها و اولویت‌های تصمیم‌گیران به کمک قاعده تصمیم‌گیری با هم ترکیب و در قالب برآورد کلی از گزینه‌ها مطرح می‌شوند (Malczewski, 2006). اولویت‌بندی، در اجرای پروژه‌های منابع طبیعی امر بسیار مهم و ضروری است و به تصمیم‌گیران اجازه خواهد داد تا مناسب‌ترین استراتژی‌های مدیریتی و پایدار را در درازمدت اجرا کنند (Zandi et al., 2013).

تصمیم‌گیری مؤثر نیاز دارد که تصمیم‌گیران امکان موفقیت روش‌های اصلاحی مختلف را در حوضه آبخیز بررسی و آن‌ها را اولویت‌بندی کنند

(Lamy, 2001). روش‌های MCDM از دهه ۱۹۸۰ به بعد کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف مهندسی و مدیریت داشته‌اند. از آن جمله می‌توان به کاربرد آن‌ها در طراحی شبکه مترو، مدیریت جامع آبخیز، برنامه‌ریزی سیستم جامع منابع آب و مدیریت منابع آب اشاره کرد (Kholghi, 2002). همراه با مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدیریت آبخیز، توسعه سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)<sup>۱</sup>، وجود بانک‌های اطلاعاتی و سامانه مدیریتی آن‌ها و همچنین مدل‌های شبیه‌سازی جامع فرایندهای حوضه آبخیز ذهنیت بسیار ملموسی در این زمینه تولید کرده‌اند. یکی از نکات مهمی که در برنامه‌ریزی کلان نباید از آن غافل شد، اهمیت کشاورزی است، چراکه اگر قرار است توسعه‌ای انجام گیرد و خود مستمر باشد، باید به صورت بارز از بخش کشاورزی آغاز شود (Asayesh, 2003).

در این پژوهش، شهرستان گرگان که شرایط مساعد کشاورزی دارد، مطالعه شده است. کشاورزی در این منطقه همواره براساس تجربه و سلیقه کشاورزان انجام شده است و تقریباً استعداد و توان واقعی منطقه تا کنون مطالعه و بررسی جدی نشده است. انتخاب بهترین موقعیت و در این زمینه بهترین مکان‌ها برای سرمایه‌گذاری همواره از مهم‌ترین وظایف برنامه‌ریزان بوده است، بنابراین، فنون متعدد از طرف برنامه‌ریزان به منظور انتخاب بهترین موقعیت و اولویت‌بندی استفاده شده است. در این مقاله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)<sup>۳</sup> به طور خلاصه بازگو می‌شود و از بین آن‌ها روش‌هایی که کارایی بهتری در اولویت‌بندی داشته باشند، انتخاب و در مورد زیرحوضه‌های شهرستان گرگان استفاده می‌شوند. از کارآمدترین روش‌ها ELECTRE، SAW و TOPSIS هستند که امکان رده‌بندی یا انتخاب گزینه‌ها با توجه به معیارهای کمی و کیفی مؤثر در گزینش را فراهم می‌آورند. این

1. Geographical Information System  
2. Remote Sensing  
3. Multi Criteria Decision Making

تا  $۵۴^{\circ} ۴۵'$  طول شرقی و  $۳۶^{\circ} ۴۴'$  تا  $۳۶^{\circ} ۵۸'$  عرض شمالی با مساحت حدود  $۱۰۸۸۸۳$  هکتار در استان گلستان قرار دارد (شکل ۱).

## ۲.۲. داده‌های استفاده‌شده

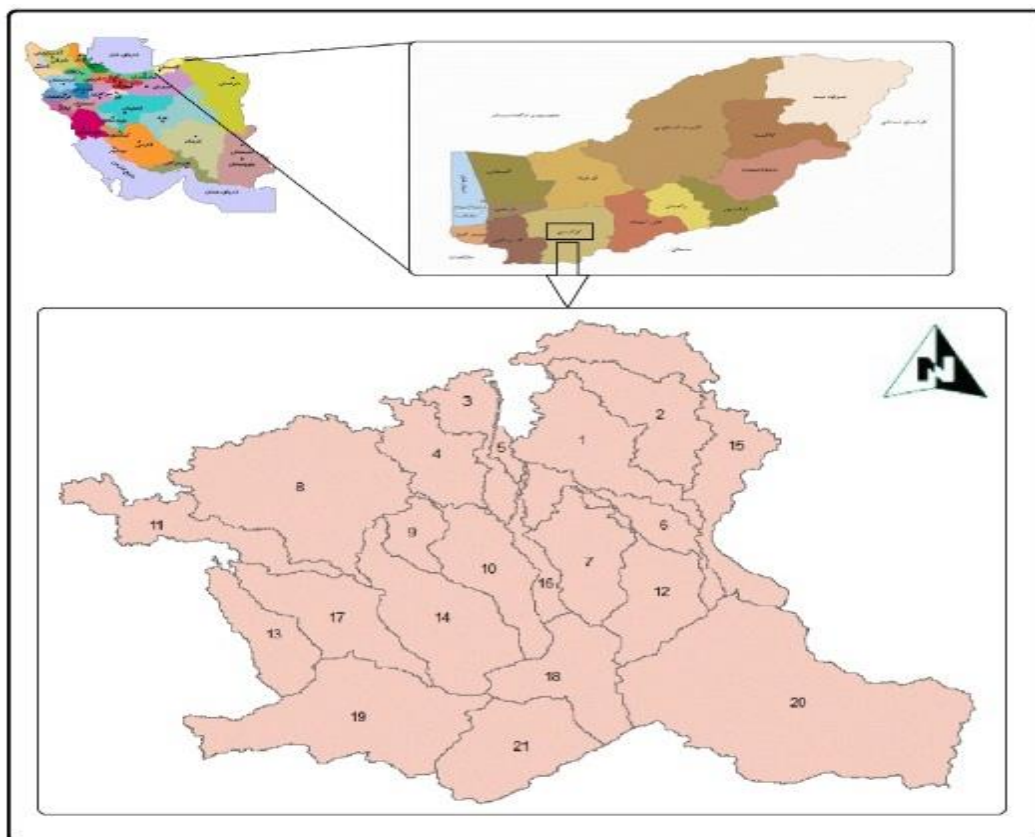
برنامه‌ریزی برای هر نوع کاری نیازمند داشتن اطلاعات مربوط به آن کار است که در مورد برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین نیز صادق است (Makhdoum *et al.*, 2011). در سطوح مختلف طراحی و برنامه‌ریزی از سطح ملی تا سطح محلی نیاز به داده‌های منابع طبیعی وجود دارد (Baily, 2006). استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای اختصاص منابع به‌شدت در حال فزونی است. مراحل مربوط به ایجاد و اصلاح داده‌ها در نرم‌افزار ایدریسی کلیمانجارو صورت گرفت.

پژوهش با اهداف اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان برای کاربری کشاورزی با توجه به علم ریاضیات و بهینه‌سازی و همچنین ارائه بهترین روش برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها انجام شده است تا براساس آن بخش‌های اجرایی بتوانند با در نظر گرفتن شرایط حاکم، به ترتیب اولویت زیرحوضه‌ها، برنامه‌ریزی و مدیریت لازم را انجام دهند.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. موقعیت منطقه مطالعه‌شده

در این پژوهش از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM)<sup>۱</sup> برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان برای کاربری کشاورزی دیم استفاده شد. شهر گرگان از شهرهای بخش شمالی دامنه ارتفاعات البرز ایران از  $۱۰^{\circ} ۵۴'$



شکل ۱. منطقه مطالعه‌شده

با افزایش مقادیر آن‌ها مطلوبیت زیرحوضه برای کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. شاخص‌های شیب، تراکم پوشش گیاهی، حاصل‌خیزی خاک و دما در این دسته قرار گرفتند و دسته دوم شاخص‌هایی‌اند که با افزایش مقدار آن‌ها مطلوبیت زیرحوضه برای کشاورزی کاهش پیدا می‌کند. شاخص‌های فرسایش، فاصله از منابع آب، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از جاده در دسته دوم قرار گرفتند. داده‌های مربوط به هشت شاخص، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات نقشه‌ای مربوط به منطقه مطالعه‌شده در نرم‌افزار ایدریسی کلیمانجارو استخراج شدند (جدول ۱).

در این پژوهش از هشت پارامتر شیب (نسبت مساحت شیب زیر ۱۲ درصد به کل مساحت زیرحوضه)، تراکم پوشش گیاهی (میانگین زیرحوضه)، حاصل‌خیزی خاک (نسبت مساحت حاصل‌خیز متوسط و خوب به کل مساحت زیرحوضه)، دما (میانگین زیرحوضه)، فرسایش (میانگین زیرحوضه)، فاصله از منابع آب (میانگین زیرحوضه)، فاصله از مناطق مسکونی (میانگین زیرحوضه) و فاصله از جاده (میانگین زیرحوضه) براساس اهمیت آن‌ها از نظر کارشناسان استفاده شد. شاخص‌ها با توجه به تأثیر و اهمیت آن‌ها در رسیدن به هدف اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول شاخص‌هایی‌اند که

جدول ۱. داده‌های استفاده‌شده برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان برای کشاورزی دیم

زیرحوضه	شیب	حاصل‌خیزی خاک	دما	تراکم پوشش گیاهی	فرسایش‌پذیری	فاصله از جاده	فاصله از منابع آب	فاصله از مناطق مسکونی
۱	۷۰/۱۹۸۰	۶۶/۱۱۶۳	۱۷/۴۱	۷۶۲۱	۷۴	۰/۶۳۰۷	۱/۳۲۲۱	۱/۳۴۱۹
۲	۵۶/۴۹۱۷	۴۵/۹۶۰۵	۱۷/۵۱	۷۹۵۳	۱۱۰	۰/۷۶۹۱	۰/۹۵۷۷	۱/۲۸۶۶
۳	۸۰/۰۴۸۳	۸۲/۷۴۸۲	۱۷/۵۶	۷۱۰۷	۸۳	۰/۳۲۰۹	۰/۶۷۲۱	۰/۷۶۲۴
۴	۸۲/۰۷۰۷	۹۸/۷۶۷۹	۱۷/۵۷	۷۲۲۰	۷۳	۰/۵۳۹۳	۱/۰۲۹۵	۰/۷۶۷۵
۵	۷۵/۸۰۴۱	۹۹/۱۲۸۵	۱۷/۵۲	۷۱۶۰	۸۱	۰/۱۱۲۳	۰/۱۷۷۶	۰/۱۳۳۲
۶	۷۲/۴۶۳۰	۹۳/۱۳۷۸	۱۶/۶۷	۷۳۲۴	۶۶	۰/۳۱۷۲	۰/۴۹۷۰	۰/۶۴۰۹
۷	۳۶/۵۹۶۳	۹۸/۷۷۹۹	۱۶/۰۸	۷۷۱۹	۷۰	۰/۹۳۰۱	۱/۲۰۱۳	۰/۸۸۹۷
۸	۸۲/۵۳۲۲	۹۶/۳۳۳۷	۱۷/۵۳	۷۸۷۷	۷۳	۰/۸۴۷۴	۲/۴۶۷۳	۲/۴۰۱۷
۹	۵۱/۸۹۳۳	۹۹/۹۶۷۱	۱۶/۸۷	۶۶۸۰	۱۱۱	۰/۲۸۱۰	۰/۴۰۳۷	۰/۲۸۴۱
۱۰	۳۴/۶۹۶۳	۹۹/۹۹۱۵	۱۵/۸۱	۷۰۵۶	۸۸	۰/۵۰۵۵	۰/۸۹۲۵	۰/۷۷۶۷
۱۱	۸۲/۶۹۳۲	۸۴/۰۰۹۰	۱۷/۵۸	۷۷۵۲	۶۴	۰/۴۴۲۹	۱/۰۴۳۵	۰/۷۵۴۰
۱۲	۲۲/۹۰۸۳	۹۶/۳۹۱۷	۱۴/۵۸	۸۳۲۵	۵۴	۱/۰۳۰۵	۱/۵۵۶۲	۱/۴۲۵۴
۱۳	۳۴/۵۹۳۴	۹۹/۹۹۰۹	۱۵/۱۲	۸۵۷۳	۵۰	۰/۸۳۱۸	۱/۱۲۷۷	۰/۸۴۰۷
۱۴	۲۵/۵۷۸۴	۹۹/۹۹۸۰	۱۴/۴۲	۸۸۰۷	۲۰	۱/۰۰۶۱	۲/۲۰۵۵	۲/۷۵۷۰
۱۵	۶۹/۴۵۶۶	۷۱/۷۶۶۳	۱۷/۰۶	۷۹۵۷	۶۶	۰/۷۳۹۳	۱/۵۴۲۹	۱/۹۴۳۰
۱۶	۴۵/۵۳۵۹	۹۹/۹۷۶۰	۱۵/۸۲	۶۹۵۰	۴۶	۰/۲۰۳۶	۰/۳۷۲۵	۰/۲۵۰۹
۱۷	۳۶/۴۰۶۱	۹۹/۹۹۴۸	۱۵/۶۹	۸۳۱۹	۷۵	۱/۰۴۳۰	۱/۳۸۸۰	۱/۳۴۴۰
۱۸	۲/۵۲۱۸	۹۹/۹۷۹۷	۱۰/۹۴	۸۷۶۳	۱۷	۱/۴۳۳۳	۱/۴۵۴۹	۱/۳۰۹۴
۱۹	۹/۶۷۷۱	۹۹/۹۸۹۲	۹/۱۹	۸۰۶۶	۳۲	۴/۹۳۴۳	۵/۱۲۵۹	۵/۱۳۵۱
۲۰	۳/۱۵۲۰	۹۹/۷۰۲۰	۸/۷۷	۸۰۸۵	۴۳	۵/۶۹۴۳	۶/۶۱۶۱	۹/۱۶۵۳
۲۱	۳/۱۴۰۰	۹۹/۹۸۴۴	۷/۸۴	۷۳۹۸	۳۳	۲/۳۰۱۵	۲/۶۰۸۲	۲/۶۷۳۰

## ۳.۲. روش پژوهش

شاخص‌های دیگر در تصمیم‌گیری مؤثر است.

۲.۳.۲. روش TOPSIS<sup>۲</sup>

مدل تاپسیس به‌منزله یک روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود. این روش در سال ۱۹۹۲ توسط چن و هوانگ با ارجاع به کتاب هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ مطرح شده است (Serafim & Gwo-Hshing, 2004).

الگوریتم تاپسیس یک فن تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی بسیار قوی برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از طریق شبیه‌کردن به جواب ایده‌آل است که به نوع فن وزن‌دهی، حساسیت بسیار کمی دارد و پاسخ‌های حاصل از آن تغییر عمیقی نمی‌کند. در این روش، گزینه انتخاب شده بایستی کوتاه‌ترین فاصله را از جواب ایده‌آل و دورترین فاصله را از ناکارآمدترین جواب داشته باشد. به‌طور خلاصه ماتریس  $n \times m$  تصمیم‌گیری که  $m$  گزینه و  $n$  معیار دارد، ارزیابی می‌شود (Lolachi, 2005). به‌طور خلاصه فن تاپسیس مراحل زیر را دارد:

## ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری

- تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به ماتریس بدون مقیاس:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (1)$$

- ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزنی:

برای این کار ماتریس ایجاد شده در مرحله پیشین در وزن هر کدام از معیارها ضرب می‌شود تا ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار به دست آید.

- مشخص کردن راه حل ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی:

در این مرحله، بزرگ‌ترین مقدار هر شاخص به‌منزله ایده‌آل مثبت و کمترین مقدار هر شاخص به‌منزله ایده‌آل منفی تعیین می‌شود.

## ۱.۳.۲. فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

بسیاری از تصمیم‌ها معیارهای گوناگون کمی و کیفی‌اند که در پاره‌ای از مواقع در تعارض با یکدیگرند، این نوع تصمیم‌گیری را تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌نامند (Momeni & Esmaelian, 2006).

مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

۱. مدل‌های چندهدفه (MODM)؛

۲. مدل‌های چندشاخصه (MADM).

مدل‌های چندهدفه به‌منظور طراحی و جست‌وجو به‌کار می‌رود و اصولاً مدل‌های فرایندمدارند. در این مدل‌ها معیارها توسط اهداف تعریف و تعداد گزینه‌های ممکن نامحدود است. مدل‌های چندشاخصه به‌منظور ارزیابی و انتخاب به‌کار رفته‌اند و اصولاً مدل‌های نتیجه‌مدارند. در این مدل معیارها توسط صفات تعریف و تعداد گزینه‌های ممکن محدود است. بهترین گزینه در یک مدل MCDM یک گزینه فرضی خواهد بود که ارجح‌ترین ارزش مطلوبیت از هر معیار موجود را تأمین می‌کند (Asgharpour, 2011). روش‌های مختلفی برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری چندشاخصه ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را به دو دسته روش‌های جبرانی (TOPSIS, SAW, ELECTRE) و غیرجبرانی (روش رضایت‌بخش عام، روش رضایت‌بخش خاص، روش تسلط و روش ترتیبی اولویتی) تفکیک کرد. مدل‌های جبرانی دربرگیرنده روش‌هایی است که مبادله بین شاخص‌ها در آن‌ها مجاز است. به‌طور مثال تغییر (احتمالاً کوچک) در یک شاخص می‌تواند توسط تغییری مخالف در شاخصی دیگر جبران شود. مدل غیرجبرانی شامل روش‌هایی است که در آن‌ها مبادله در بین شاخص‌ها مجاز نیست. از این‌رو ضعف در یک شاخص توسط شاخص‌های دیگر جبران نمی‌شود (Fathali & Mirjalali, F.S., 2009). بنابراین، در این روش‌ها هر شاخص مستقل از

2. Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution

1. Multiple Objective Decision Making

$$\begin{aligned}
 A^+ &= \{(\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^-, \dots, v_n^+\} \\
 A^- &= \{(\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \\
 J &= \{j = 1, 2, \dots, n | j \in \text{benefit}\} \\
 J' &= \{j = 1, 2, \dots, n | j \in \text{Cost}\}
 \end{aligned} \tag{۲}$$

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم به ماتریس بی‌مقیاس (Tille & Dumont, 2003)؛ روش‌های مختلفی برای بی‌واحد کردن وجود دارد، اما در روش الکترا معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود (Tille & Dumont, 2003).

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\left(\sum_{i=1}^m a_{ij}^2\right)^{\frac{1}{2}}} \tag{۵}$$

گام دوم: تشکیل ماتریس بی‌مقیاس وزن دار؛

$$V = ND.Wn \tag{۶}$$

که  $w$  ماتریس قطری وزن شاخص‌هاست که تنها عناصر اصلی آن غیر صفر است و  $v$ ، ماتریس بی‌مقیاس وزنی است.

گام سوم: تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف؛

در این مرحله تمامی گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها، ارزیابی می‌شود و مجموعه‌های موافق و مخالف تشکیل می‌شود.

اگر معیار مورد نظر، جنبه مثبت داشته باشد:

$$S_{ke} = \{j | vkj \geq vej\} \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{۷}$$

اگر معیار مورد نظر، جنبه منفی داشته باشد:

$$S_{ke} = \{j | vkj < vej\} \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{۸}$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس موافق و مخالف؛ ماتریس موافق، یک ماتریس مربع  $m \times m$  است که قطر آن فاقد عنصر است. سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان شاخص‌های متعلق به مجموعه موافق حاصل می‌شود.

$$C_{ke} = \frac{\sum_j w_j \in S_{ke}}{\sum_j w_j} = 1 \tag{۹}$$

به دست آوردن اندازه فاصله‌ها: این مرحله به کمک مرحله پنجم فاصله هر یک از گزینه‌ها از جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی مربوط به هر شاخص مسئله، محاسبه می‌شود.

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{1/2}; i = 1, 2, \dots, m \tag{۳}$$

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{1/2}; i = 1, 2, \dots, m$$

• محاسبه نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل:

$$cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{(d_{i+} + d_{i-})}; 0 \leq cl_{i+} \leq 1; i = 1, 2, \dots, m \tag{۴}$$

• رتبه‌بندی گزینه‌ها: در نهایت گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی رتبه‌بندی می‌شوند (Chou, 2000).

### ۳.۳.۲ روش ELECTRE<sup>۱</sup>

روش الکترا توسط بنایون<sup>۲</sup>، ارائه شد و سپس وان دلفت<sup>۳</sup>، نیجکامپ<sup>۴</sup>، روی<sup>۵</sup> و همکارانش آن را توسعه داده و در روش الکترا از مفهوم تسلط به صورت ضمنی استفاده می‌شود. در این روش گزینه‌ها به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و گزینه‌های مسلط و ضعیف (غالب و مغلوب) شناسایی و سپس گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شوند (Roy, 1991). اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره،  $n$  معیار و  $m$  گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش الکترا مراحل زیر باید انجام شود:

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم به ماتریس

1. Elimination et Choice Translating Reality
2. Benayoun
3. Van Delft
4. Nijkamp
5. Roy

توسط گزینه‌های دیگر را دارد. گزینه‌ای باید انتخاب شود که بیشتر از آن که مغلوب شود، تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد (Ataei, 2008). در واقع گزینه ارجح گزینه‌ای است که کمترین عدد ۱ در ستون را داشته باشد (Mirfakhredini, 2010).

#### ۴.۳.۲. روش SAW<sup>۱</sup>

مدل مجموع ساده وزنی (SAW) یکی از روش‌های ساده تصمیم‌گیری چندشاخصه است، به طوری که با محاسبه وزن‌های شاخص‌ها (W)، می‌توان مناسب‌ترین گزینه را (A\*) محاسبه کرد. در واقع این روش همان میانگین موزون است که اعداد درون ماتریس را به منزله عناصری که میانگینشان محاسبه شده است و وزن شاخص‌ها را به منزله وزن این اعداد در نظر می‌گیرد. بنابراین، لازم است از روشی برای بی‌مقیاس‌سازی استفاده کرد که شاخص‌ها را هم‌جهت سازد. فرض به کارگیری این روش بر استقلال ارجحیت و مجزای بودن آثار شاخص‌ها از یکدیگر است.

$$A^* = \left\{ A_i \left| \max \frac{\sum w_j r_{ij}}{\sum w_j} \right. \right\} \quad (14)$$

#### ۵.۳.۲. روش Copeland

تصمیم‌گیران در تصمیم‌گیری، گاهی از چند روش استفاده می‌کنند. امکان دارد با استفاده از روش‌های مختلف MADM به نتایج متفاوت از هم دست یابند. در این حالت برای پیدا کردن جوابی که نتایج روش‌های مختلف را در خود جای دهد، از روش‌های ادغام استفاده می‌شود. از روش‌های ادغام می‌توان روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپلند را نام برد (Momeni, 2006). در این پژوهش برای ادغام نتایج روش‌های MADM از روش کپلند استفاده شد. این روش براساس ماتریس مقایسات زوجی بنا شده است. در این

ماتریس مخالف نیز یک ماتریس مربع  $m \times m$  است که قطر آن فاقد عنصر است و سایر عناصر این ماتریس از ماتریس بی‌مقیاس شده موزون به دست می‌آید.

$$d_{ke} = \frac{\max_{j \in I_{ke}} |v_{kj} - v_{ej}|}{\max_{j \in I} |v_{kj} - v_{ej}|} \quad (10)$$

اطلاعات موجود در ماتریس موافق تفاوت‌های عمده‌ای با اطلاعات موجود در ماتریس مخالف دارد و در واقع این اطلاعات مکمل یکدیگرند. تفاوت میان وزن‌ها به وسیله ماتریس موافق حاصل می‌شود، حال آنکه تفاوت میان مقادیر مشخص شده به وسیله ماتریس مخالف به دست می‌آید.

گام پنجم: محاسبه ماتریس موافق مؤثر؛

$$\bar{c} = \sum_{k=1}^m \sum_{e=1, e \neq k}^m \frac{c_{ke}}{m(m-1)} f_{ke} = \begin{cases} \bullet c_{ke} \geq \bar{c} \\ \bullet c_{ke} < \bar{c} \end{cases} \quad (11)$$

گام ششم: محاسبه ماتریس مخالف؛

$$\bar{d} = \sum_{k=1}^m \sum_{e=1, e \neq k}^m \frac{d_{ke}}{m(m-1)} g_{ke} = \begin{cases} \bullet d_{ke} > \bar{d} \\ \bullet d_{ke} \leq \bar{d} \end{cases} \quad (12)$$

گام هفتم: مشخص کردن ماتریس کلی مؤثر؛

ماتریس تسلط نهایی H از ضرب تک‌تک درایه‌های ماتریس تسلط موافق F در ماتریس تسلط مخالف حاصل می‌شود.

$$h_{ke} = f_{ke} \cdot g_{ke} \quad (13)$$

گام هشتم: حذف کردن گزینه‌های با رضایت کمتر و انتخاب بهترین گزینه.

ماتریس تسلط نهایی H ترجیحات جزئی گزینه‌ها را بیان می‌کند. به طور مثال، اگر مقدار  $h_{ke}$  برابر یک باشد بدین معناست که برتری گزینه K بر گزینه e در هر حالت موافق و مخالف قابل قبول است (برتری آن از حد آستانه موافقت بیشتر و مخالفت و یا ضعف آن نیز از حد آستانه مخالفت کمتر است) ولی هنوز گزینه K بخت مسلط شدن

1. Simple Additive Weighted

### ۶.۳.۲. تعیین وزن هر یک از شاخص‌ها

وزن، اهمیت نسبی هر شاخص را بیان می‌کند. در بیشتر مسائل MADM نیاز به داشتن اهمیت نسبی شاخص‌ها که نرمال شده‌اند وجود دارد. وزن‌های مربوط به شاخص‌ها می‌تواند مستقیماً توسط تصمیم‌گیرنده و یا به کمک روش‌های علمی موجود به معیارها تخصیص داده شود. یکی از روش‌های وزن‌دهی، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)<sup>۱</sup> است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد. روش AHP یکی از روش‌های شناخته‌شده تصمیم‌گیری چندشاخصه است که در حوضه‌های مختلف کاربردی استقبال شده است (Saaty, 1995). در AHP ارزیابی به صورت مقایسه جفتی انجام می‌گیرد و براساس جدول استاندارد ساعتی به آن‌ها امتیازدهی عددی تخصیص داده می‌شود (Hwang & Yoon, 1955). در این پژوهش برای تعیین وزن شاخص‌ها از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است (جدول ۲).

جدول ۲. وزن شاخص‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش AHP

معیار	شیب	حاصل‌خیزی خاک	دما	تراکم پوشش گیاهی	فرسایش	فاصله از جاده	فاصله از منابع آب	فاصله از مناطق مسکونی
وزن	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۵

رتبه‌بندی به روش TOPSIS زیرحوضه ۶ در اولویت اول، زیرحوضه ۵ در اولویت دوم، زیرحوضه ۳ در اولویت سوم و زیرحوضه ۱۱ در اولویت چهارم تا آخر قرار می‌گیرند. زیرحوضه‌های با رتبه بالاتر، بیشترین نزدیکی به جواب ایده‌آل را داشتند که نشان‌دهنده تأثیر زیاد شاخص‌ها در برتری زیرحوضه‌ها بود. نتایج اولویت‌بندی به روش SAW به این صورت بود که زیرحوضه ۵ در اولویت اول، زیرحوضه ۶ در اولویت دوم، زیرحوضه ۴ در اولویت سوم تا آخر قرار می‌گیرند. نتایج به‌دست‌آمده از روش ELECTRE نشان می‌دهد که زیرحوضه ۵ در اولویت اول، زیرحوضه ۴ در

روش نه‌تنها تعداد بردها بلکه تعداد باخت‌ها را هم برای هر گزینه محاسبه می‌کند. در روش Copeland ماتریس زوجی مقایسه‌ای براساس تعداد گزینه‌ها شکل می‌گیرد و در این مرحله دوه‌دو گزینه‌ها از نظر رتبه کسب‌شده در روش‌های تصمیم‌گیری با هم مقایسه می‌شوند. یعنی نتایج رتبه‌بندی به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، به صورت جفتی با هم مقایسه می‌شوند. اگر گزینه‌ای از نظر برد ارجحیت داشت، در درایه زوجی مقایسه‌ای M گذاشته می‌شود و اگر عکس این حالت بود در درایه زوجی مقایسه‌ای X جایگزین می‌شود. تعداد Mها در ستون‌ها جمع شده و در زیر هر ستون نوشته می‌شود. امتیاز هر گزینه براساس تفاضل تعداد بردها و باخت‌ها به دست می‌آید. در این مرحله اختلاف مجموع سطر و ستون مشخص را به دست می‌آید و براساس اختلاف بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین مرتب و رتبه هر گزینه مشخص می‌شود (Ahmadpour et al., 2009).

### ۳. نتایج

تصمیم‌گیری با مسائلی از قبیل شناسایی، دسته‌بندی و انتخاب سروکار دارد و در شرایط نامطمئن باید از روش‌های تصمیم‌گیری استفاده شود. از آنجاکه تمام روش‌های MADM با رویکرد و فرضیه‌های خود به مدل‌سازی و حل مسئله می‌پردازند. بنابراین، این امر طبیعی و قابل پیش‌بینی است که جواب‌های به‌دست‌آمده نیز متفاوت باشند. از آنجاکه چگونگی دستیابی به نتایج رتبه‌بندی و ارائه مراحل هر کدام از روش‌ها در این پژوهش نمی‌گنجد، بنابراین به خلاصه‌ای از نتایج پرداخته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از



### ۱.۳. ادغام نتایج روش‌های تصمیم‌گیری

همان‌طور که در مرحله قبل مشاهده شد به‌کارگیری روش‌های متفاوت چندشاخصه‌ای، به رتبه‌بندی متفاوتی از گزینه‌های رقیب منجر شده است، بنابراین در این مرحله برای رسیدن به اجماع و نیز رتبه‌بندی جامع‌تر گزینه‌ها، از روش ترکیب Copeland یاری گرفته شد (جدول ۴).

اولویت دوم، زیرحوضه‌های ۶ و ۱۱ هر دو در اولویت سوم تا آخر قرار می‌گیرند. با توجه به رویکرد روش ELECTRE زیرحوضه‌ها رقابت بیشتری داشتند و در بعضی موارد به دلیل داشتن حد آستانه (کمتر یا بیشتر)، تعدادی از زیرحوضه‌ها رتبه یکسانی داشتند که این حالت در TOPSIS و SAW دیده نمی‌شود (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج رتبه‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان با استفاده از روش‌های ELECTRE، SAW، TOPSIS

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
TOPSIS	۷	۱۰	۳	۵	۲	۱	۱۴	۱۳	۹	۱۲	۴	۱۶	۱۱	۱۷	۸	۶	۱۵	۱۸	۲۰	۲۱	۱۹
ELECTRE	۶	۱۱	۵	۲	۱	۳	۱۰	۹	۹	۱۲	۳	۱۴	۷	۱۲	۸	۴	۱۲	۱۴	۱۵	۱۶	۱۵
SAW	۸	۱۵	۵	۳	۱	۲	۱۱	۱۰	۷	۱۳	۴	۱۵	۱۱	۱۷	۹	۶	۱۴	۱۸	۲۰	۲۱	۱۹

جدول ۴. نتایج ادغام روش‌های رتبه‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان با استفاده از روش Copeland

زیرحوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
تعداد برد	۱۴	۸	۱۶	۱۸	۲۰	۱۹	۹	۱۰	۱۲	۷	۱۷	۵	۱۱	۴	۱۲	۱۵	۶	۳	۱	۰	۲
تعداد باخت	۶	۱۲	۴	۲	۰	۱	۱۱	۱۰	۷	۱۳	۳	۱۵	۹	۱۶	۷	۵	۱۴	۱۷	۱۹	۲۰	۱۸
اختلاف	۸	-۴	۱۲	۱۶	۲۰	۱۸	-۲	۰	۵	-۶	۱۴	-۱۰	۲	-۱۲	۵	۱۰	-۸	-۱۴	-۱۸	-۲۰	-۱۶
رتبه	۷	۱۲	۵	۳	۱	۲	۱۱	۱۰	۸	۱۳	۴	۱۵	۹	۱۶	۸	۶	۱۴	۱۷	۱۹	۲۰	۱۸

### ۲.۳. محاسبه ضریب همبستگی

با توجه به اینکه رتبه‌بندی با استفاده از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری، جواب‌های متفاوت دارد. در این پژوهش سه دسته جواب متفاوت به دست آمده است، بنابراین باید بررسی شود که آیا تفاوت رتبه‌بندی‌های ارائه‌شده معنادار است یا خیر؟ از آزمون‌های آماری برای پاسخ به این سؤال استفاده می‌شود. از آنجاکه نوع داده‌ها رتبه‌ای بودند، از ضریب همبستگی اسپیرمن برای مشخص کردن اندازه ارتباط بین جواب‌ها استفاده شد. برای به‌دست‌آوردن نتیجه آزمون اسپیرمن، فرض صفر نبود رابطه همبستگی بین روش‌های رتبه‌بندی و فرض مقابل وجود رابطه همبستگی بین روش‌ها مشخص شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، ضریب همبستگی اسپیرمن بین دو روش TOPSIS و ELECTRE معادل ۰/۹۵۲، SAW و TOPSIS

معادل ۰/۹۵۸، ELECTRE و SAW معادل ۰/۹۶۶ به دست آمد که هر سه مورد نشان‌دهنده رابطه معنادار بین روش‌های تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. همچنین ضریب همبستگی بین روش Copeland و روش‌های رتبه‌بندی محاسبه شد. ضریب همبستگی بین Copeland و TOPSIS معادل ۰/۹۷۴، Copeland و ELECTRE معادل ۰/۹۸۲، SAW و Copeland معادل ۰/۹۸۵ به دست آمد که نشان‌دهنده رابطه معنادار بین آن‌ها بود.

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه در زمینه‌های مختلف به‌طور وسیع استفاده می‌شوند. روش‌های ریاضی برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری، اگرچه جواب

زیرحوضه‌ها تکرار شد. تفاوت مبانی الگوریتم روش‌های استفاده‌شده در این پژوهش، منجر به تفاوت نتایج شد که از طریق آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن تفاوت معناداری آن‌ها بررسی شد. همچنین ضریب همبستگی بین روش‌ها و ادغام آن‌ها صورت گرفت. با استناد به آزمون ضریب همبستگی و ادغام روش‌های رتبه‌بندی می‌توان دریافت که اولویت‌بندی به‌دست‌آمده از هر سه روش شباهت و نزدیکی زیادی با هم دارند. اما به‌صورت دقیق‌تر می‌توان گفت که با توجه به داده‌های استفاده‌شده، به‌ترتیب روش SAW در رتبه اول، روش ELECTRE در رتبه دوم و روش TOPSIS در رتبه سوم مطلوبیت اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان برای کاربری کشاورزی قرار دارند. رتبه‌بندی به‌دست‌آمده از ادغام روش‌های SAW، ELECTRE و TOPSIS نشان داد که به‌دلیل ارتباط معنادار زیاد با هر سه روش، می‌تواند مبنای اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها قرار گیرد.

با توجه به نتایج می‌توان گفت که مدیران و تصمیم‌گیران برای پیاده‌کردن استراتژی‌ها و فعالیت‌های کشاورزی دیم همگام با توسعه پایدار و به حداقل رساندن تخریب محیط زیست به رتبه‌بندی به‌دست‌آمده از ادغام روش‌های رتبه‌بندی استناد کنند و برای اجرای برنامه‌های مدیریتی توسعه کشاورزی در سطح حوضه و زیرحوضه، از اولویت‌بندی‌های حاصل از این پژوهش استفاده کنند.

بهینه‌ها را ارائه می‌دهند، هر کدام از روش‌ها در شرایط و فرض‌های مربوط به خود از توانایی تصمیم‌گیری برخوردارند. هر کدام از روش‌ها نقاط قوت و ضعف دارند. در این پژوهش چگونگی به‌کارگیری روش‌های TOPSIS، ELECTRE و SAW در خصوص رتبه‌بندی زیرحوضه‌های شهرستان گرگان بررسی شد. با توجه به وزن شاخص شیب می‌توان گفت که تأثیر زیادی در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها داشته است و این تأثیر در سه روش یادشده مشاهده شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱۱ که در بخش جنوبی منطقه مطالعه‌شده قرار دارند، با توجه به سه روش یادشده در اولویت بین یک تا چهار با هم یکسان بودند و بیشترین توان برای کشاورزی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها داشتند. همچنین زیرحوضه‌های ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ که در بخش‌های شمالی منطقه قرار دارند کمترین توان برای کشاورزی را دارند و می‌توان گفت به‌دلیل شیب بالا و قرارگرفتن در مناطق دوردست و کوهستانی نسبت به سایر زیرحوضه‌ها در اولویت کمتری قرار می‌گیرند. پیش‌بینی می‌شود زیرحوضه‌های یادشده برای حفاظت در مرتبه اول یا سایر توسعه‌ها با توجه به توان مناطق، مناسب باشند که نیاز به پژوهش‌های بعدی دارد. در روش ELECTRE به‌دلیل داشتن حد آستانه، تعدادی از زیرحوضه‌ها رتبه یکسان داشتند که دلیل آن رقابت زیاد بین زیرحوضه‌های دارای رتبه یکسان بود. یکسان‌بودن رتبه در روش‌های TOPSIS و SAW مشاهده نشد. با توجه به الگوریتم روش Copeland، یکسان‌شدن برخی

## REFERENCES

- Ahmadpour, A., Akbarpour Shirazi, M., Razavi Amiri, Z. 2009. using Multi-Attribute Decision Making Models in stock selection (accepted medicinal corporation in exchange valuable card of Tehran. Journal of exchange valuable card, 5, 5-38p. (in Persian)
- Asayesh, h., 2003. Principles and methods of regional planning. Payam nour press. 30p. (in Persian)
- Asgharpour, M. J., 2011. Multi-criteria decision making. University of Tehran Press. 398p. (in Persian)
- Ataei, M., 2008. Selecting alumina-cement plant location by ELECTRE approach. International Journal of Engineering Science and Technology, Iran, 19, 9, 55-63p. (in Persian)
- Baily, R.G., 2006. Ecosystem Geography. Translated: Mahini, A.S., Moje sabz Publications, Tehran. 301p. (in Persian)

6. Chou, T., lin, W., lin, C., chou, W., haung, P., 2004. Application of the Prommethee technique to determine depression outlet location and flow direction in DEM. *Journal of Hydrology*, 287, 49-61p.
7. Fathali, j., Mirjalali, F.S., 2009. Semnan Airport location using TOPSIS method and central location. *Journal of Transportation Research*, Tehran, 4, 341-350p. (in Persian)
8. Hwang C.L., Yoon K.P., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*. Hwang, ching and sun, Yoon kwang, "Multiple Attribute Decision Making", Berlin: Springer varlag. London, Sage Publications.
9. Kholghi, M., 2002. Application of MCDM in the priority sub-watershed approach to flood control. *Journal of Natural resources of iran*, 55, 4, 479-489. (in Persian)
10. Lamy, F., Bolte, B., Santelmannm, M., Smith, C., 2001. Development and Evaluation of Multiple-objective Decision-making Methods for Watershed Management Planning. *Journal of American Water Resources Association*, 38, 517-529p.
11. Lolachi, M., 2005. TOPSIS algorithm to select the best depot repair centers. M.S.C thesis, university of Elm o Sanat, Tehran. (in Persian)
12. Makhdoum, M., Darvishsefat, A. A., Jafarzadeh, H., Makhdoum, A., 2011. *Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System*. University of Tehran Press. 304p. (in Persian)
13. Malczewski, J., 2006. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Translated by: Parhizkar, A., Gilandeh, A.G. Samt Publication, Tehran, 334p. (in Persian)
14. Mirfakhredini, H., 2010. Identify and prioritize the factors affecting health care quality improvement techniques using multi-criteria decision-making (MADM) (Case Study: Yazd health centers). *Journal of Health Management*, Tehran, 43, 52-61p. (in Persian)
15. Mirmohamadi, S.M., 2007. Land use planning and economic security concerns. Research Institute of Economy policy, Tehran, 276p. (in Persian)
16. Momeni, M., 2006. *New Topics in Operation Research*. Publications university of Tehran. (in Persian)
17. Momeni, M., Esmaelian, M., 2006. Application of multi-criteria decision-making (MCDM) process simulation uncertainty. *Journal of Modares*, 10, 4, 231-251p. (in Persian)
18. Roy, B., 1991. *The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods*. Theory and Decision, Paris, 31, 49-73p.
19. Saaty, T.L., 1995, Transport planning with multiple criteria: The analytic hierarchy process applications and progress review, *J. Adv. Transp.* 29,1, 81-126 p.
20. Serafim, O., Gwo-Hshiung, T., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational research*, 156, 445-455p.
21. Tille, M., Dumont, A.G., 2003. *Methods of Multicriteria Decision Analysis Within the Road Projects like an Element of the Sustainability*, 3<sup>rd</sup> Swiss Transport Research Conference, March 19-21.
22. Westerwelt, J. D., 2001. *Simulation modelling for watershed management*. Springer Veerlag N.Y, 191p.
23. Zahedipour, H., Fatahi, M., mirdavoudi, H., 2005. Investigate the distribution and habitat characteristics of turpentine in Province Markazi. *Journal of Forest and Poplar Research*, 13, 1 9-14p. (in Persian)
24. Zandi, j., Solaimani, K., Habibnezhad roshan, M., 2013. Priority areas of soil erosion control techniques using a multi-criteria evaluation and GIS. *Geography and Development*, 31, 93-106. (in Persian)