

## مطالعه مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران در مناطق خشک با استفاده از روش TOPSIS؛ مطالعه موردی دشت انارک

زهرا تحویلی<sup>۱</sup>، آرش ملکیان<sup>۲</sup>، حسن خسروی<sup>۳</sup>، شهرام خلیقی سیگارودی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳

### چکیده

استحصال آب باران یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت بهره‌برداری از آب برای مقابله با کم‌آبی می‌باشد که با توجه به نیاز روزافزون کشور به آب، امری اجتناب‌ناپذیر است. اولین مرحله در راستای مدیریت منابع آب باران، شناخت پتانسیل آب باران است. تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) نیز به‌عنوان یک ابزار مهم در تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع طبیعی و به‌طور ویژه مدیریت منابع آب شناخته شده است. در این پژوهش به‌منظور شناسایی شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شد. معیارهای موردنظر از جمله تناسب باهدف، دقت و سهولت دسترسی، میزان پذیرش در جوامع محلی، هزینه و زمان برای تصمیم‌گیری انتخاب شدند و وزن هر یک از معیارها با بهره‌گیری از روش آنتروپی‌شانون به دست آمد. ۳۱ شاخص برای تصمیم‌گیری انتخاب شدند و وزن هر یک از آنها با بهره‌گیری از روش تاپسیس (TOPSIS) محاسبه و اولویت‌بندی شدند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد در میان شاخص‌های رتبه‌بندی شده، شاخص‌های نفوذپذیری خاک با وزن ۰/۸۲۰، بافت خاک با وزن ۰/۸۱۰، هدایت الکتریکی خاک با وزن ۰/۸۰۶، عمق خاک با وزن ۰/۷۱۰، کیفیت آب با وزن ۰/۶۵۰، درصد پوشش با وزن ۰/۶۱۶، متوسط بارش سالانه با وزن ۰/۶۱۵ و افت سطح آب زیرزمینی با وزن ۰/۵۱۷ به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها برای استحصال آب باران در اولویت قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب باران، آنتروپی‌شانون، تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS، دشت انارک، مکان‌یابی پتانسیل.

۱ کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۰۹۱۳۸۰۰۸۳۲۶، zahra.tahvili@ut.ac.ir

۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۰۹۱۲۴۶۸۴۵۸۷، malekian@ut.ac.ir

۳ استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۰۹۱۲۸۴۴۶۳۵۸، hakhosravi@ut.ac.ir (مسئول مکاتبه)

۴ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۰۹۱۲۲۷۲۷۷۵۲، khalighi@ut.ac.ir

## مقدمه

امروزه در جگان، ۲/۸ میلیارد نفر با کمبود آب روبه‌رو هستند و برآوردها حاکی از این است که تا سال ۲۰۲۵، دوسوم جمعیت جهان با مشکل کمبود آب مواجه خواهد شد. این وضعیت برای کشورهایمانند ایران که هم‌اکنون نیز با مشکل کم‌آبی مواجه است، می‌تواند بسیار نگران‌کننده باشد (زهتابیان و همکاران، ۲۰۱۰). واقع‌شدن ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جغرافیایی، شرایطی را ایجاد کرده که هرساله موضوع آب و کم و کیف آن یکی از نگرانی‌های عمده مسئولان و مردم کشورمان است.

با افزایش رو به رشد جمعیت کشور و بالا رفتن سطح بهداشت و با توجه به پیشروی جهان به سمت خشک‌سالی نیاز به آب نیز افزایش می‌یابد. از طرف دیگر رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز به مواد غذایی، تخریب منابع آب‌و خاک و نابسامانی محیط‌زیست را سبب شده است (غفوری، ۱۳۸۷). علاوه بر این، شرایط اقلیمی و جغرافیایی کشور، نشانگر عدم توزیع مناسب منابع آب و تمرکز جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم، به طوری که اگر میانگین بارندگی سالیانه در سطح کره زمین را که حدود ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود با متوسط بارندگی سالیانه ایران که تقریباً رقمی معادل ۲۵۵ میلی‌متر است، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران حتی کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست (فرح پور<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲؛ فتح‌آبادی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

علاوه بر این زمان و پراکنش ریزش‌های جوی و محل ریزش آن با نیاز بخش کشاورزی که مصرف‌کننده اصلی آب در کشور می‌باشد، مطابقت ندارد. از سوی دیگر نیاز فزاینده به آب در ایران موجب بهره‌برداری بی‌رویه و به هم خوردن تعادل طبیعی منابع آب شده است. استحصال نزولات جوی به‌عنوان راهبردی نه‌تنها برای توسعه منابع آب سطحی

بلکه برای توسعه منابع آب زیرزمینی نیز به شمار می‌رود. استحصال آب باران یکی از تکنیک‌های مدیریت بهره‌برداری از آب باران برای مقابله با کم‌آبی می‌باشد که در مناطق مواجه با کمبود آب به‌سرعت در حال توسعه می‌باشد. برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب یکی از زیرمجموعه‌های مدیریت منابع طبیعی است که در زمینه تصمیم‌گیری، ارتباط زیادی با تصمیم‌گیری‌های چند معیاره دارد (Romero and Rehman, 1987).

همچنین شناسایی شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی و تعیین مکان‌های مناسب با استفاده از داده‌های موجود می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی داشته باشد. امروزه تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره<sup>۳</sup> (MCDA) نیز به‌عنوان یک ابزار مهم در زمینه تصمیم‌گیری‌های مدیریت منابع طبیعی و به‌طور ویژه مدیریت منابع آب شناخته‌شده است (Sadeghiravesh et al., 2012). در انتخاب شاخص‌های مؤثر در تعیین مکان مناسب استحصال آب باران باید به ویژگی‌هایی از قبیل مقدار بارندگی و نحوه توزیع آن، توپوگرافی زمین، نوع خاک، عمق خاک و عوامل اقتصادی و اجتماعی هر منطقه توجه جدی نمود.

تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه کاربرد شیوه‌های تصمیم‌گیری در علوم منابع طبیعی انجام شده است اما از این میان مطالعات کمی در زمینه بهره‌گیری از این روش‌ها در مورد استحصال آب باران انجام شده، که می‌توان به انتخاب معیارها و شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران با روش AHP (Prasad et al., 2014)، انتخاب شاخص‌های مؤثر برای شناسایی محل‌های دارای پتانسیل برای جمع‌آوری آب باران با استفاده از سامانه‌های تصمیم‌گیری (Mbilinya et al., 2007) و انتخاب معیارهای مناسب برای تشخیص مکان‌های مناسب استحصال آب باران با استفاده از سامانه

1 - Farah pour

2 - Fathabadi

شهر نائین و از شرق به راه آهن تهران - بندرعباس محدود می‌شود. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در استان اصفهان نشان می‌دهد.

### روش پژوهش

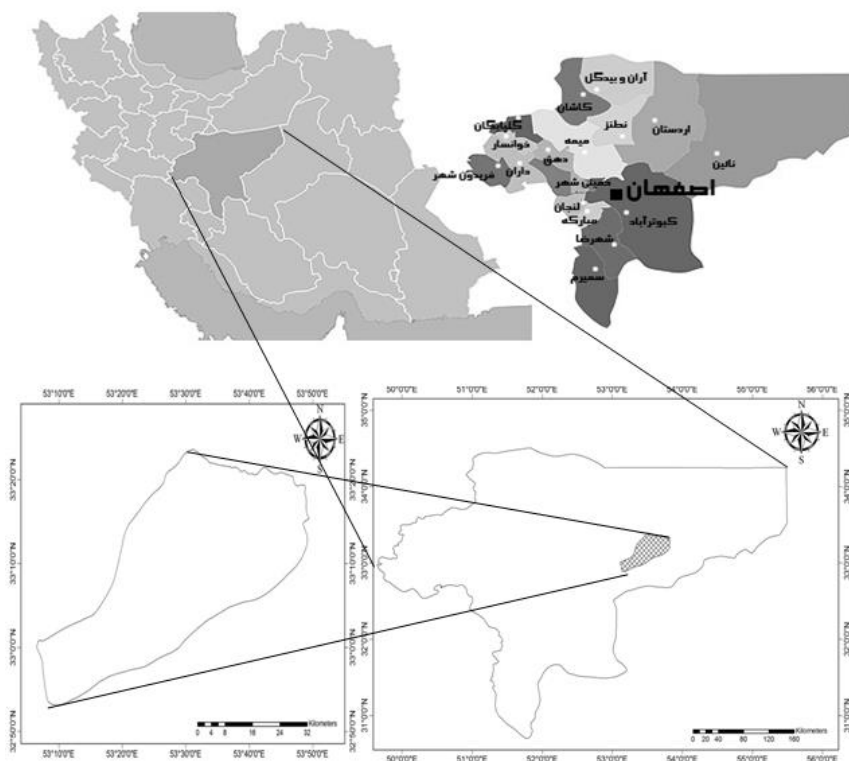
برای شناخت و دستیابی به مناسب‌ترین شاخص‌ها از نقطه نظرات کارشناسان بهره گرفته شد. فهرستی از شاخص‌ها بر اساس نظر کارشناسان تهیه شد و سپس با توجه به نقش هر شاخص دسته‌بندی گردید. انتخاب مجموعه شاخص‌های مورد استفاده برای مکان‌یابی پتانسیل استحصال باران بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه در پروژه‌های مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران و آب زیرزمینی در جهان و مطالعات انجام گرفته در ایران انجام گرفته است. به منظور تعیین بااهمیت‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی منطقه، پرسشنامه‌ای متشکل از شاخص‌های انتخابی طراحی و بین کارشناسان توزیع شد و از متخصصان درخواست شد که اهمیت و اولویت هر شاخص را با توجه به ۵ معیار شامل تناسب باهدف، سهولت وقت، میزان پذیرش در جوامع محلی، هزینه و زمان بر اساس طیف لیکرت (یکی از رایج‌ترین مقیاس‌های اندازه‌گیری در تحقیقاتی است که بر اساس پرسشنامه انجام می‌گیرد) در مقیاس ۱ الی ۵ برآورد کنند. سپس با تجزیه و تحلیل کلیه پرسشنامه‌ها با استفاده از آنتروپی شانون وزن معیارهای ارزیابی این شاخص‌ها محاسبه و با استفاده از روش TOPSIS اولویت‌بندی شاخص‌ها انجام گردید.

اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (محمدحامد<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳) اشاره کرد. هدف اصلی از این مطالعه، بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS برای تعیین و اولویت‌بندی مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر ای مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران تحت یک مطالعه موردی در دشت انارک است تا در مباحث مدیریتی منابع آب منطقه بکار گرفته شود.

### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در فاصله ۵ کیلومتری جنوب انارک و حدود ۲۰۰ کیلومتری اصفهان به طرف شرق قرار دارد. حوزه آبخیز انارک با وسعت ۸۳۰۰ هکتار بین مختصات جغرافیایی ۰۰° ۵۰' ۳۲" تا ۰۰° ۲۰' ۰۰" عرض شمالی و ۰۰° ۱۰' ۵۳" تا ۰۰° ۵۰' ۵۳" طول شرقی در بخش مرکزی فلات ایران و زون ۳۹ واقع شده است. محدوده مطالعاتی انارک یک منطقه کوهستانی است. حداکثر ارتفاع حوزه معادل ۲۴۵۸ متر و حداقل ارتفاع حوزه برابر ۱۳۰۰ متر در نقطه خروجی آبراهه اصلی در سمت شمال آن می‌باشد. متوسط ارتفاع وزنی حوزه برابر ۱۸۷۸ متر برآورد شده است. بارندگی اندک و آب‌وهوای گرم و خشک چهره اصلی اقلیم محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهد. شیب متوسط حوزه ۱۵ درصد است. میانگین سالانه ریزش‌های جوی در ارتفاع متوسط حوزه معادل ۱۱۵ میلی‌متر بوده که این میزان بارندگی به‌طور عمده به‌صورت باران نازل شده و ریزش برف در این منطقه بسیار ناچیز است. اقلیم حوزه مطالعاتی با توجه به شرایط آب‌وهوای حاکم بران از نوع خشک گرم می‌باشد. این محدوده از شمال به ۶ کیلومتری سمت چپ جاده آسفالت نائین - انارک دشت چاه پارس، از جنوب به ۴ کیلومتری سمت راست جاده آسفالت نائین - انارک، از غرب به ۲۵ کیلومتری شمال شرقی



شکل (۱): نقشه جغرافیایی موقعیت منطقه مورد مطالعه

معیار را در اختیار شرکت‌کنندگان قرار می‌دهد تا بر اساس معیارها و پاسخ‌های چندگانه، میزان گرایش خود را مشخص می‌کنند. معمولاً در پرسشنامه‌ها بر اساس مقیاس لیکرت از حالت پنج‌گانه ذکر شده استفاده می‌شود (جدول ۱).

### جدول طیف لیکرت

یکی از رایج‌ترین مقیاس‌های اندازه‌گیری در تحقیقاتی است که بر اساس پرسشنامه انجام می‌شود و توسط لیکرت (۱۹۰۳-۱۹۸۱) ابداع شده است (Sdeghiravesh et al., ۲۰۱۴). در این مقیاس یا طیف محقق با توجه به موضوع تحقیق خود، تعدادی

جدول (۱): مقیاس طیف لیکرت

۵	۴	۳	۲	۱
خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	بسیار کم

اهمیت نسبی شاخص‌ها نسبت به یکدیگر را مشخص نمائیم. در این پژوهش، از روش آنتروپی شانون به‌عنوان یکی از معروف‌ترین روش‌های محاسبه اوزان شاخص‌ها، استفاده شده است. این روش که برگرفته شده از تئوری اطلاعات می‌باشد اولین بار توسط کلود آل شانون ارائه شد. آنتروپی معیار سنجش بی‌نظمی

### محاسبه وزن معیارها با استفاده از آنتروپی شانون

در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره و بخصوص مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه، داشتن و دانستن اوزان نسبی شاخص‌های موجود، گام مؤثری در فرایند حل مسئله بوده و مورد نیاز است، بنابراین بایستی

سال هفتم • شماره بیست و هفتم • بهار ۱۳۹۶

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$

۵- محاسبه وزن شاخص‌ها با استفاده از رابطه ۴:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (۴)$$

در این مرحله، شاخص‌هایی که دارای وزن بیشتر هستند، نسبت به دیگر شاخص‌ها اهمیت بیشتری دارند و تأثیر آن‌ها در میزان توسعه‌یافتگی استان‌های کشور، نسبت به دیگر شاخص‌ها بیشتر است.

### اولویت‌بندی شاخص‌ها براساس معیارهای انتخابی و روش TOPSIS

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره راهکاری مناسب برای حل این‌گونه مسائل است. در واقع با استفاده از این روش با توجه به معیارهای مختلف تصمیم‌گیری، می‌توان بهترین گزینه یا گزینه‌ها را از بین گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری انتخاب نمود. به طوری که تصمیم‌گیرنده مسئول است گزینه‌ها را اولویت‌بندی کند و بر اساس هدف، راه‌حل مشخصی را برحسب اولویت بیان کند (آذر و رجب زاده، ۱۳۸۱؛ اصغرپور، ۱۳۸۹).

در اینجا به شرح مدل TOPSIS که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است پرداخته می‌شود: روش TOPSIS یکی از مطمئن‌ترین روش‌های علمی و مدیریتی فن تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری می‌باشد، این روش می‌تواند با در نظر گرفتن تمامی جوانب از جمله جنس معیارها، اولویت و وزن معیارها نسبت به یکدیگر و .. گزینه‌ها را نسبت به یکدیگر سنجیده و آن‌ها را به شیوه عقلانی ردیف نماید. در این روش بردار وزن‌ها شاخص‌ها به‌عنوان ورودی و رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شود (شماعی و موسیوند، ۱۳۹۰؛ رامشت و همکاران، ۱۳۹۰).

### مراحل استفاده از روش TOPSIS

۱- تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس (بدون مقیاس) با استفاده از رابطه (۵):

در یک سیستم است (آذر، ۱۳۸۰؛ سلیمانی و Zarepishesh Soleimani, 2009) و در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم قطعیت به طوری که (Pi) بیان شده است.

مراحل به کارگیری روش آنتروپی شانون عبارتند از (اصغرپور، ۱۳۸۷):

۱- تشکیل ماتریس داده‌ها: در این مرحله، پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط، ماتریسی تشکیل می‌شود که سطرهای آن را معیارها و ستون‌های آن را شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش تشکیل می‌دهد. جدول (۲) این ماتریس‌ها را نشان می‌دهد که بیانگر معیار  $i$  ام، شاخص  $j$  ام می‌باشد

جدول (۲): ماتریس داده‌ها

شاخص گزینه	$x1$	$x2$	...	$xn$
A1	r11	r12	...	r1n
A2	r21	r22	...	r2n
:	:	:	:	:
A3	rm1	rm2	...	Rmn

۲- محاسبه ماتریس  $P_{ij}$ : پس از تهیه ماتریس داده‌های اولیه، با توجه به اینکه شاخص‌های مختلف ممکن است مقیاس‌های متفاوتی داشته باشند، باید شاخص‌های مورد استفاده فاقد مقیاس شوند. بی‌مقیاس‌سازی، با توجه به رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (۱)$$

۳- محاسبه آنتروپی شاخص  $j$  ام ( $E_j$ ) با استفاده از رابطه ۲:

$$E_j = -K \sum [p_{ij} \ln p_{ij}] \quad (۲)$$

۴- محاسبه نبود اطمینان یا درجه انحراف ( $d_j$ ) از اطلاعات به دست آمده شاخص  $j$  ام:

ملاحظه می‌شود که چنانچه  $A_i = A +$  گردد آنگاه  $d_i = 0$  بوده و خواهیم داشت:  $cli = 1$  و در صورتی که  $A_i = A -$  شود آنگاه  $d_i = 0$  بوده و  $cli = 0$  خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه  $A_i$  به راه حل ایده آل ( $A +$ ) نزدیکتر باشد، ارزش  $cli +$  به واحد نزدیکتر خواهد بود.

۶- رتبه‌بندی گزینه‌ها: بر اساس ترتیب نزولی  $cli +$  می‌توان گزینه‌های موجود از مساله مفروض را رتبه‌بندی نمود.

پس از رتبه‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها توسط نرم‌افزار تاپسیس از بین ۳۱ شاخص موجود در شرایط منطقه مطالعاتی ۸ شاخص با اهمیت‌تر و موثرتر برای مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران انتخاب شد.

## نتایج

### محاسبه وزن معیارهای ارزیابی شاخص‌ها با استفاده از آنترویی شانون

با توجه به اینکه در مسائل تصمیم‌گیری ممکن است چندین معیار وجود داشته باشد که اهمیت نسبی آن‌ها متفاوت است. از این رو به هر یک از معیارها یک وزنی داده می‌شود. به طوری که مجموع وزن‌های معیارها برابر یک گردد این وزن‌ها در واقع اهمیت نسبی و درجه ارجحیت هر معیار را نسبت به سایر معیارها برای تصمیم‌گیری مورد نظر نشان می‌دهد. برای ارزیابی وزن‌های روش‌های مختلفی وجود دارد. در این پژوهش از روش آنترویی شانون جهت وزن دهی معیارها استفاده گردید.

برای نمونه برای محاسبه وزن‌ها معیار تناسب باهدف بر اساس آنترویی شانون این‌گونه عمل شد. ابتدا بر اساس ماتریس تصمیم‌گیری که در این پژوهش میانگین نمرات داده شده به شاخص‌ها بر اساس معیارها در منطقه مورد مطالعه است، محاسبات وزن با استفاده از جدول (۳) صورت گرفته است.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (5)$$

۲- ایجاد ماتریس (بی مقیاس) وزین با مفروض بودن بردار  $W$  به عنوان ورودی به الگوریتم. طبق رابطه (۶).

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$$

$$w = N_D \cdot W_{n \times n} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{1j} & V_{1n} \\ V_{21} & V_{22} & V_{2j} & V_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{m1} & V_{m2} & V_{mj} & V_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

به طوری که ND ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن (بی مقیاس) و قابل مقایسه شده است و  $W_{n \times n}$  ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن غیر صفر است.

۳- مشخص کردن راه حل ایده آل مثبت و منفی برای گزینه ایده آل ( $A +$ ) و ایده آل منفی ( $A -$ ) به صورت رابطه‌های زیر تعریف می‌شود:

$$A^+ = \{(\max_{j \in J} v_{ij} | j \in J), (\min_{j \in J'} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (7)$$

$$A^- = \{(\min_{j \in J} v_{ij} | j \in J), (\max_{j \in J'} v_{ij} | j \in J') | i = 1, 2, \dots, m\} \quad (8)$$

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n | j \in \text{benefit}\}$$

$$J' = \{j = 1, 2, \dots, n | j \in \text{Cost}\}$$

۴- محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

فاصله گزینه  $A_i$  باید ایده آل‌ها با استفاده از روش اقلیدسی مطابق رابطه‌های (۹) و (۱۰) است.

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+) \right\} \cdot 0.5 ; i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-) \right\} \cdot 0.5 ; i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

۵- محاسبه نزدیکی نسبی  $A_i$  به راه حل ایده آل. این نزدیکی نسبی را به صورت رابطه (۱۱) تعریف می‌کنیم

$$C_{i+} = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} ; 0 \leq cli + \leq 1 ; i = 1, 2, \dots, m$$

(۱۱)

جدول (۳): میانگین امتیازات داده شده به شاخص‌ها به عنوان ماتریس تصمیم‌گیری

شاخص	ویژگی	تناسب باهدف	سهولت و دقت	میزان پذیرش جوامع محلی	هزینه	زمان
عمق خاک (cm)	۳/۶	۳/۵	۲/۶	۱/۴	۳/۴	
درصد موادآلی در خاک	۳/۴	۳/۱	۲/۴	۳/۸	۳/۴	
نفوذپذیری خاک	۴/۲	۳/۶	۳/۳	۴/۲	۴	
زهکشی خاک (mm/h)	۴/۲	۳/۳	۳/۲	۴	۳/۶	
بافت خاک	۳/۴	۱/۴	۳/۵	۳/۷	۳/۶	
هدایت الکتریکی عصاره خاک (ds/m)	۳/۴	۳/۸	۳/۸	۴/۲	۳/۵	
تیپ گیاهی	۲/۸	۳/۲	۲/۹	۳	۳/۱	
وضعیت مرتع	۳/۵	۳/۷	۳/۴	۲/۳	۲/۸	
درصد پوشش گیاهی	۳/۸	۳/۷	۳/۵	۳/۳	۳/۲	
متوسط درازمدت بارش سالانه (mm)	۴/۷	۴/۵	۳/۴	۲/۹	۳/۱	
متوسط بارندگی ماهانه (mm)	۴/۷	۳/۴	۳/۹	۲/۷	۲/۹	
مجموع بارش‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌متر	۴/۶	۳/۴	۳/۸	۲/۹	۳	
تبخیر (mm/month)	۴/۶	۳/۷	۳/۷	۳/۴	۳/۶	
درصدشیب	۴/۵	۴/۴	۳/۴	۲/۷	۱/۸	
جهت	۳/۷	۱/۴	۲/۹	۱/۲	۲/۲	
ناهمواری (شاخص کمی TPI)	۳/۹	۳/۸	۲/۸	۲/۴	۱/۲	
تراکم زهکشی (1/km)	۴	۳/۶	۲/۵	۲/۳	۲/۲	
رتبه آبراهه (بارتبه بندی شرو)	۳/۲	۳/۵	۱/۲	۲/۴	۲/۲	
کیفیت آب	۳/۴	۳/۴	۳/۵	۳/۳	۳/۳	
ضریب رواناب	۱/۴	۳/۷	۲/۹	۲/۸	۲/۸	
ضخامت آبرفت (عمق لایه نفوذ ناپذیر) (m)	۳/۹	۲/۷	۲/۹	۲/۷	۲/۸	
مقدار دبی (m <sup>3</sup> /s)	۴/۲	۲/۵	۲/۹	۲/۸	۲/۶	
افت سطح آب زیرزمینی (cm/yr)	۳/۸	۳/۶	۳	۳/۱	۳	
قابلیت انتقال آب زیرزمینی (m <sup>2</sup> /s)	۳/۶	۲/۸	۲/۷	۲/۳	۳/۲	
تراکم گسل (خطواره)	۳/۳	۳/۱	۲	۲/۵	۲/۲	
جنس سازند	۴/۲	۳/۶	۲/۹	۲/۴	۱/۹	
کاربری اراضی	۱/۴	۳/۱	۳	۳/۱	۲/۶	
توجه به مشارکت مردمی	۳/۹	۲/۹	۳/۴	۲/۹	۳	
تراکم جمعیت	۲/۹	۲/۹	۲/۶	۲	۱/۹	
فاصله از جاده (m)	۳/۲	۳	۲/۹	۲/۲	۱/۸	
دوری و نزدیکی منابع آب (m)	۳/۴	۳/۳	۲/۶	۲/۵	۱/۷	

مرحله اول: با استفاده از این ماتریس از رابطه (۱۲)

مقدار P برای تمامی شاخص‌ها و معیارها به دست

آورده می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

(۱۲)

$$P_{11} = \frac{۳.۶}{۱۳.۸} = ۰.۲۹$$

نتایج مرحله اول برای معیار اول در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از مرحله اول در روش آنتروپی شانون

A <sub>15</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	شاخص معیار اول
۰/۰۳۰	۰/۰۳۴	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۳۸	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۲۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	P
A <sub>31</sub>	A <sub>30</sub>	A <sub>29</sub>	A <sub>28</sub>	A <sub>27</sub>	A <sub>26</sub>	A <sub>25</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>20</sub>	A <sub>19</sub>	A <sub>18</sub>	A <sub>17</sub>	شاخص معیار اول
۰/۰۳۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۳	۰/۰۳۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۰۲۷	۰/۰۲۹	۰/۰۳۱	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۲۶	۰/۰۳۲	P

مرحله سوم: در این مرحله مقدار عدم اطمینان d به دست آمد جدول (۶).

جدول (۶): نتایج مرحله سوم در روش آنتروپی شانون

جمع	D <sub>5</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D
۰/۱۴۸	۰/۰۴۵	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۱-E

مرحله چهارم: اکنون وزن‌های معیارها با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (15)$$

$$W_1 = \frac{0.21}{0.148} = 0.141$$

نتایج مرحله چهارم در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول (۷): نتایج مرحله چهارم در روش آنتروپی شانون

W <sub>5</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>1</sub>
۰/۳۰۶	۰/۲۴۳	۰/۱۸۲	۰/۱۲۸	۰/۱۴۱

دارای بالاترین وزن و بعدازآن هزینه دارای بیشترین اهمیت می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که معیار زمان با وزن ۰/۳۰۶ دارای بیشترین اهمیت می‌باشد، بعدازآن معیار هزینه با وزن ۰/۲۴۳ در درجه دوم اهمیت قرار دارد و همچنین معیار میزان پذیرش در جوامع محلی با وزن

مرحله دوم: در این مرحله با استفاده از رابطه  $E_j = -K \sum [P_{ij} \ln P_{ij}]$  مقدار اطمینان را برای E به دست می‌آید:

$$E_1 = -0.291 [0.31 \ln(0.31) + 0.20 \ln(0.20)] = 0.381 \quad (13)$$

مقدار K مطابق رابطه (۱۴) به دست آمد.

$$K = \frac{1}{\ln(m) - \ln(r)} \quad (14)$$

$$\frac{1}{2.33} = 0.291$$

نتایج مرحله دوم در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): نتایج مرحله دوم در روش آنتروپی شانون

E <sub>5</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>
۰/۹۵۴	۰/۹۶۳	۰/۹۷۳	۰/۹۸۱	۰/۹۷۹

بدین ترتیب وزن تمامی معیارها محاسبه شد.

نتایج محاسبه وزن نسبی معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون

نتایج حاصل از وزن دهی با کمک روش آنتروپی شانون در جدول (۷) قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در میان این ۵ معیار، معیار زمان



زیر نشان می‌دهد. علامت مساوی بین شاخص‌ها نشان‌دهنده‌ی وزن‌های مساوی شاخص‌ها می‌باشد.

نفوذپذیری خاک- بافت خاک- هدایت الکتریکی خاک- عمق خاک- کیفیت آب- درصد پوشش- متوسط بارش سالانه- متوسط بارش ماهانه- تبخیر- قابلیت انتقال آب زیرزمینی- افت سطح آب زیرزمینی= وضعیت مرتع- توجه به مشارکت مردمی- تیپ گیاهی- ضریب رواناب- دوری و نزدیکی منابع آب- زهکشی خاک= کاربری اراضی- درصد مواد آلی- ضخامت آبرفت- درصد شیب- مقدار دبی- جهت ارتفاع- جنس سازند- ترکم زهکشی- رتبه آبراهه- تراکم گسل- فاصله از جاده- بارش‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر- تراکم جمعیت.

شاخص‌های نفوذپذیری خاک با وزن ۰/۸۲۰، بافت خاک با وزن ۰/۸۱۰، هدایت الکتریکی خاک با وزن ۰/۸۰۶، عمق خاک با وزن ۰/۷۱۰، کیفیت آب با وزن ۰/۶۵۰، درصد پوشش با وزن ۰/۶۱۶، متوسط بارش سالانه با وزن ۰/۶۱۵ و افت سطح آب زیرزمینی با وزن ۰/۵۱۷ دارای بالاترین امتیاز هستند. این شاخص‌ها از جهت اینکه بیشترین نزدیکی نسبی را در رتبه‌بندی به دست آورده‌اند، دارای بیشترین اهمیت هستند.

۰/۱۸۲ در درجه سوم اهمیت قرار دارد و بعدازآن به ترتیب معیارهای تناسب باهدف و سهولت و دقت با وزن‌های ۰/۱۴۱ و ۰/۱۲۸ قرار دادند. بنابراین با توجه به این نتایج در بررسی و انتخاب شاخص‌های مناسب استحصال آب باران، معیارهای مذکور برای ارائه یک سامانه جامع و مناسب شاخص‌ها برای ارزیابی یک منطقه حائز اهمیت است، که البته ممکن است با توجه به عوامل و مناطق مختلف معیارهای متنوع‌تری مورد استفاده قرار گیرند و اهمیت آن‌ها متفاوت باشد.

### نتایج اولویت‌بندی شاخص‌های پتانسیل

#### استحصال آب باران با استفاده از روش TOPSIS

در این پژوهش به منظور انتخاب موثرترین شاخص‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها براساس ۵ معیار گفته شده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه مدل تاپسیس استفاده گردید (جدول ۸). پس از رتبه‌بندی گزینه‌ها توسط نرم‌افزار تاپسیس از بین این ۳۱ شاخص ۸ شاخص با اهمیت‌تر و موثرتر برای استحصال آب باران انتخاب و در چهارگروه اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و هیدرولوژی تقسیم‌بندی شدند. نتایج حاصل از مدل TOPSIS ترتیب رتبه‌بندی شاخص‌ها از بالاترین رتبه تا کمترین رتبه را به صورت

جدول (۸): نتایج حاصل از رتبه‌بندی تاپسیس

معیارها	تناسب با هدف	سهولت و دقت	میزان پذیرش در جوامع محلی	هزینه	زمان	
اهمیت	۰,۱۴۱	۰,۱۲۸	۰,۱۸۲	۰,۲۴۳	۰,۳۰۶	امتیاز
عمق خاک	۳,۶	۳,۵	۲,۶	۴,۱	۳,۸	۰,۷۱۰
درصد مواد آلی	۳,۴	۳,۱	۲,۴	۳,۸	۳,۴	۰,۴۰۴
نفوذپذیری خاک	۴,۲	۳,۶	۳,۳	۴,۲	۴	۰,۸۲۰
زهکشی خاک	۴,۲	۳,۳	۳,۲	۴	۳,۶	۰,۴۲۶
بافت خاک	۴,۲	۴,۱	۳,۵	۳,۷	۳,۶	۰,۸۱۰
هدایت الکتریکی عصاره خاک	۴,۳	۳,۸	۳,۸	۴,۲	۳,۵	۰,۸۰۶
تیپ گیاهی	۲,۸	۳,۲	۲,۹	۳	۳,۱	۰,۴۸۴
وضعیت مرتع	۳,۵	۳,۷	۳,۴	۳,۳	۲,۸	۰,۵۱۷
درصد پوشش	۳,۸	۳,۷	۳,۵	۳,۳	۳,۲	۰,۶۱۶
متوسط دراز مدت سالانه بارش	۴,۷	۴,۵	۴,۳	۲,۹	۳,۱	۰,۶۱۵
میانگین بارندگی ماهانه	۴,۷	۴,۳	۳,۹	۲,۷	۲,۹	۰,۵۲۱
مجموع بارش های بیشتر از ده میلی متر	۴,۶	۴,۳	۳,۸	۲,۹	۳	۰,۱۱۸
تبخیر	۴,۶	۳,۷	۳,۷	۳,۴	۳,۶	۰,۴۲۸
درصد شیب	۴,۵	۴,۴	۴,۳	۲,۷	۱,۸	۰,۳۹۰
جهت	۳,۷	۴,۱	۲,۹	۲,۱	۲,۲	۰,۲۵۰
ارتفاع	۳,۹	۳,۸	۲,۸	۲,۴	۲,۱	۰,۲۴۲
تراکم زهکشی	۴	۳,۶	۲,۵	۲,۳	۲,۲	۰,۲۲۶
رتبه آبراهه	۳,۲	۳,۵	۲,۱	۲,۴	۲,۲	۰,۱۸۰
کیفیت آب	۴,۳	۳,۴	۳,۵	۳,۳	۳,۳	۰,۶۵۰
ضریب رواناب	۴,۱	۳,۷	۲,۹	۲,۸	۲,۸	۰,۴۳۳
ضخامت آبرفت	۳,۹	۲,۷	۲,۹	۲,۷	۲,۶	۰,۳۹۳
مقدار دبی	۴,۲	۳,۵	۲,۹	۲,۸	۳	۰,۳۸۳
افت سطح آب زیرزمینی	۳,۸	۳,۶	۳	۳,۱	۳,۲	۰,۵۱۷
مقدار آب زیرزمینی	۳,۶	۲,۸	۲,۷	۳,۲	۲,۲	۰,۵۲۴
تراکم گسل	۳,۳	۳,۱	۲	۲,۵	۱,۹	۰,۱۸۰
جنس سازند	۴,۲	۳,۶	۲,۹	۲,۴	۲,۶	۰,۲۳۱
کاربری اراضی	۴,۱	۳,۱	۳	۳,۱	۳	۰,۴۲۶
توجه به مشارکت مردم	۳,۹	۲,۹	۳,۴	۲,۹	۱,۹	۰,۵۰۸
تراکم جمعیت	۲,۹	۲,۹	۲,۶	۲	۱,۹	۰,۱۰۷
فاصله از جاده	۳,۲	۳	۲,۹	۲,۲	۱,۸	۰,۱۵۴
دوری و نزدیکی منابع آب	۴,۳	۳,۳	۳,۶	۲,۵	۲,۷	۰,۴۲۹

به منظور بررسی موضوعات مرتبط با برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای روش مفید و مناسبی می‌باشد.

به منظور تعیین شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران دشت انارک از معیارهای تناسب باهدف، سهولت و دقت، میزان پذیرش در جوامع محلی، هزینه و زمان استفاده شد. همچنین از ۳۱ شاخص بهره گرفته شد که شاخص‌های بافت خاک، عمق خاک، نفوذپذیری خاک، هدایت الکتریکی خاک، درصد پوشش گیاهی، متوسط بارش سالانه، کیفیت آب و افت سطح آب زیرزمینی با نظر کارشناسان و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپ سیس برای مکان‌یابی انتخاب شدند.

استفاده از روش تاپسیس در پژوهش‌های انجام‌گرفته، نشان می‌دهد مدل مذکور روشی انعطاف‌پذیر و مقرون‌به‌صرفه است و ابزاری برای معرفی، انتخاب و وزن دهی شاخص‌ها در مطالعات مختلف به منظور بررسی‌های بیشتر محسوب می‌شود و در مواجهه با تصمیمات مدیریتی پیچیده کارآمد و مفید است. در تایید این مطلب خیرخواه (۱۳۸۷) نیز در تحقیقی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه نطنز استفاده نمود. وی به این نتیجه رسید که بکارگیری سامانه تصمیم‌گیری موجب تسهیل، کاهش هزینه و زمان و افزایش دقت در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی شده است. همچنین مولینا و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی که در اسپانیا بر روی مدیریت منابع آب انجام دادند، از روش‌های تصمیم‌گیری بهره گرفتند. آن‌ها در تحقیق خود به بررسی فاکتورهای هیدرولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی پرداختند. ایشان در نهایت به این نتیجه رسیدند که استفاده از این سامانه تصمیم‌گیری برای تعیین مکان سودمندترین و کم سودترین منطقه آبیاری در حوزه مورد مطالعه، سامانه مناسب و کارآمد است.

پارامتر خاک به‌عنوان لایه سطحی زمین بستر اجرای پروژه‌ها و محل استقرار گیاهان محسوب می‌شود (ولنتین، ۱۹۷۱). خاک یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر استحصال آب باران است. در این پژوهش نیز به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر تعیین گردید و

انتخاب نهایی شاخص‌ها براساس وزن و دسته‌بندی در چهار گروه اقلیم، خاک، پوشش و هیدرولوژی

پس از رتبه‌بندی شاخص‌ها بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده توسط روش TOPSIS از بین این ۳۱ شاخص ۸ شاخص بااهمیت و در اولویت با توجه به وجود آن شاخص در شرایط منطقه انتخاب شد و به ترتیب در چهار گروه اقلیم، خاک، پوشش و هیدرولوژی دسته‌بندی گردید که در جدول (۹) قابل مشاهده است:

جدول (۹): دسته‌بندی شاخص‌ها

خاک	اقلیم	پوشش	هیدرولوژی
عمق خاک	متوسط بارش سالانه	درصد پوشش	کیفیت آب
نفوذپذیری	-	-	افت سطح آب زیرزمینی
بافت	-	-	-
هدایت الکتریکی	-	-	-

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه دشت انارک جزء مناطق خشک فلات مرکزی ایران به شمار می‌آید، تأمین آب جهت مصارف مختلف از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین در این منطقه استحصال آب باران امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. تشخیص شاخص‌های مؤثر در تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب باران می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی داشته باشد. این کار با استفاده از روش‌های سنتی کاری پیچیده، زمان‌بر و پرهزینه و همراه با خطا و اشتباه می‌باشد. در این راستا استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره موجب تسهیل، کاهش هزینه و زمان و افزایش دقت نتایج می‌گردد. در تایید این مطلب، زبردست (۱۳۸۴)، در پژوهشی در مورد کاربرد تکنیک سامانه تصمیم‌گیری چندمعیاره در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، گزارش نموده است که این روش با توجه به سادگی، انعطاف‌پذیری، امکان به‌کارگیری معیارهای کمی و کیفی به‌طور هم‌زمان و نیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

تشخیص مکان‌های مناسب استحصال آب باران معرفی کرده است.

نتایج حاصل از مکان‌یابی پتانسیل استحصال آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک با بهره‌گیری از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS نشان داد که از میان ۳۱ شاخص مورد بررسی شاخص‌های نفوذپذیری خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی، عمق خاک، کیفیت آب، درصد پوشش، متوسط بارش سالانه و افت سطح آب زیرزمینی به ترتیب مؤثرترین شاخص‌ها برای استحصال آب باران هستند که در پروژه‌های استحصال آب باران باید در اولویت قرار گیرد.

خصوصیات خاک از جمله نفوذپذیری خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی و عمق خاک بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. در مطالعات نامی (۱۳۹۲) و موبلینی و همکاران (۲۰۰۷) خصوصیات خاک به‌عنوان عامل مؤثر در استحصال آب باران انتخاب شدند.

در منطقه مورد مطالعه بافت خاک شنی- شنی لومی است و هدایت الکتریکی خاک نیز در اکثر قسمت‌های دشت بالا می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه شاخص خاک در استحصال آب باران بسیار مؤثر است، خاک منطقه مطالعاتی برای استحصال آب باران زیاد مناسب نیست.

پارامتر بارش از مهم‌ترین مؤلفه‌های تأثیرگذار بر تعیین مکان مناسب استحصال آب باران است که در این پژوهش جز پارامترهای مهم معرفی شده است. مناطق دارای بارندگی بیشتر، پتانسیل استحصال آب باران بیشتری دارند و بالعکس.

پارامتر کیفیت آب نیز از عوامل تأثیرگذار در استحصال آب باران است که در این پژوهش شاخص مهمی در نظر گرفته شده است. کیفیت آب دشت متوسط است و مناطقی که کیفیت آب مناسبی دارند دارای پتانسیل استحصال آب باران بیشتری هستند.

پارامتر افت سطح آب زیرزمینی از پارامترهای مهم در تشخیص مکان مناسب استحصال آب باران می‌باشد. سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی موردنظر برای پروژه‌های استحصال آب باران باید در حدی باشد که تغذیه آن باعث زهدار شدن اراضی و یا ایجاد مشکل برای رشد و نمو گیاهان نگردد. در این تحقیق نیز افت سطح آب زیرزمینی به‌عنوان یک شاخص بااهمیت در نظر گرفته شد. در مطالعه‌ای خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۰) نیز این شاخص را مهم معرفی کرده‌اند. پارامتر پوشش گیاهی هم در تعیین مناطق مناسب استحصال آب باران اهمیت دارد. منطقه‌ای که پوشش گیاهی آن کم باشد، برای استحصال آب باران مناسب‌تر است. در این پژوهش پوشش گیاهی عامل مهمی در نظر گرفته شده است. دشت انارک دارای پوشش گیاهی کم است و برای استحصال آب باران مناسب می‌باشد. حامد (۲۰۱۳) در مطالعه خود پوشش گیاهی را عامل تأثیرگذاری در

## منابع

- اصغر پور، م. ج. ۱۳۸۹، تصمیم گیری چند معیاره، چاپ هشتم، تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۴۰۰ صفحه
- آذر، ع. و ع. رجب زاده. تصمیم گیری کاربردی (رویکرد MADM)، انتشارات نگاه دانش، ۱۳۸۱، ۱۸۶ صفحه.
- آذر، ع. ۱۳۸۰. بسط و توسعه روش آنترپوی شانون برای پردازش داده ها در تحلیل محتوی. فصلنامه علوم انسانی دانشگاه الزهراء(س)، سال یازدهم، شماره ۳۷ و ۳۸. صفحات ۱ تا ۱۸
- آذر، ع. و ع. ا. معماریانی. ۱۳۸۲. «AHP تکنیکی نوین برای تصمیم گیری گروهی». مجله دانش مدیریت، شماره ۲۸، صفحه ۳۲-۲۲.
- خاشعی سیوکی، ع.، ق. بیژن و م. کوچک زاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). پژوهش آب ایران، سال پنجم، شماره نهم، صص ۱۸۰-۱۷۱.
- خیرخواه زرکش، م.، ح. ناصری، م. داوودی و ه. سلامی. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان های مناسب احداث سد زیرزمینی مطالعه موردی: دامنه شمالی کوه های کرکس - نطنز. پژوهش و سازندگی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۹۳-۱۰۱.
- رامشت، م.، ح. ع. ر.، عرب عامری. ۱۳۹۰، اولویت بندی نواحی شهری به منظور تأسیس ایستگاه های آتش نشانی با استفاده از دو روش تخصیص خطی و TOPSIS و با کمک تکنیک GIS (مطالعه موردی: شهر ماکو)، مجله علمی تخصصی برنامه ریزی فضایی، سال اول، شماره اول، صص ۱۶-۱.
- زبردست، ا. و ع. محمدی. ۱۳۸۴. مکانیابی مراکز امداد رسانی در شرایط وقوع زلزله با استفاده از سامانه GIS و روش های تصمیم گیری چندمعیاره. هنرهای زیبا، دوره ۲۱، شماره ۲۱، صص ۱۶-۵.
- سپهر، ع.، م. اختصاصی و ع. المدرسی. ۱۳۹۱. ایجاد سامانه شاخص های بیابان زایی بر اساس DPSIR (بهره گیری از روش فازی -تاپسیس)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۳، شماره ۱، صص ۸۹-۳۵.
- شماعی، ع.، ج. موسیوند، ۱۳۹۰، سطح بندی شهرستانهای استان اصفهان از لحاظ زیرساختهای گردشگری با استفاده از مدل AHP و TOPSIS مطالعات و پژوهشهای شهری و منطقهای، سال سوم، شماره دهم، صص ۴۰-۲۳
- غفوری، س. ۱۳۸۷. توسعه و مدیریت منابع آب در ایران جهت مقابله با خشکسالی ها، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- نامی، م. ح. ۱۳۹۲. شناسایی مکان های طبیعی مناسب جمع آوری نزولات آسمانی با استفاده از سامانه جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۰، شماره ۳، صص ۶۶-۵۵.
- نسترن، م.، ف. ابولحسنی و م. ایزدی. ۱۳۸۹. کاربرد تکنیک تاپسیس در تحلیل و اولویت بندی توسعه پایدار مناطق شهری (مطالعه موردی: مناطق شهری اصفهان)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۱، شماره ۲، صص ۱۰۰-۸۳.
- Farah pour, M. 2002. A planning support system for rangeland allocation in Iran. PhD thesis, Wageningen University, ITC Netherlands, 186PP.
- Fathabadi, H., H., Gholami, A., Salajegue, H. Azanivand and H. KHosravi, 2009. Drought forecasting using neural network and stochastic models. Advances in Natural and Applied Sciences, 3:137-146.
- Mohammad Hameed, M. 2013. Water harvesting in Erbil Governorate, Kurdistan region Iraq Detection of suitable sites using Geographic Information System and Remote Sensing. PhD Thesis, Lund University Publication.

Mbilinyi, B. P., S. D., Tumbo, H. F., Mahoo, E. M., Senkondo, and N. Hatibu. 2007. Indigenous knowledge as decision support tool in rainwater harvesting.

Molina, J. L., J. L. Bromley, J. Garcia-Arostegui, C. Sullivan and J. Benavente. 2010. Integrated water resources management of overexploited hydrological system using objected-oriented Bayesian network. *Environml Modeling & Software*, 25(4): 383-397.

Prasad, H. C., P., Bhalla, and S., Palria. Site Suitability Analysis of Water Harvesting Structures Using Remote Sensing and GIS – A Case Study of Pisangan Watershed, Ajmer District, Rajasthan, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-8, 1471-1482

Romero, C. and T. Rehman. 1987. Natural resource management and the use of multiple criteria decision making techniques: A review. *European Review of agricultural Economics*. 14(1): 61-89.

Sadeghiravesh. M., Gh.Zehtabian. and H. Khosravi, (2014). Application of AHP and ELECTERE models for assessment of de\_desertification alternatives. *Desert*. 19(2): 141\_153.

Sadeghi Ravesh, M. H., G., Zehtabian, H. Ahmadi, and H.Khosravi. 2012, “Using analytic hierarchy process method and ordering technique to assess de-desertification alternatives. Case study: Khezrabad, Yazd, IRAN”, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 7, pp. 51 – 60

Soleimani-damaneh, M. and M. Zarepisheh. 2009. Shannon entropy combining the efficiency results of different DEA models: Method and application, *Expert System with Applications*, 36(3):5146-5150

Vallentine, J. F. 1971. Range development and improvements. Brigham Young University Press, Provo, UT. 615p.

Zehtabian, G., Khosravi, H., Ghodsi, M., 2010. High Demand in a Land of Water Scarcity:

Iran. Chapter 5. Springer, Netherlands, pp. 75–86.

## Rain water harvesting potential locating in arid regions using TOPSIS ;Case study Nain Plain

Z. Tahvili<sup>1</sup>, A. Malekian<sup>2</sup>, H. Khosravi<sup>3</sup>, S. Khalighi Sigaroudi<sup>4</sup>

### Abstract

Rain water harvesting is one of the most significant water utilization management techniques to cope with water scarcity. Recognizing the potential of rain water is the first step in rain water management. The multi criteria decision analysis (MCDA) is known as an important tool in natural resources management particularly in water management. In this research, multi-criteria decision-making approach and geographic information system (GIS) were used to identify the areas with rainwater harvesting potential. The criteria including suitability for purpose, accuracy and ease of access, acceptance in the local communities, the cost and time were selected, and the weight of each criterion was calculated by using the Shannon entropy method. Totally, 31 indicators were selected for decision making and the weight each index was calculated and prioritized using TOPSIS. The results show that among the ranked indices, soil permeability has the highest weight (0.820) and the soil texture show the second order with the weight of 0.810, while the average annual rainfall and groundwater levels with the weights of 0.615 and 0.517 indicate the lower priority for rain water harvesting.

**Keywords:** Shannon entropy, Identification, Potential, Rain water harvesting, Decision Making, TOPSIS, Anarak plain.

---

<sup>1</sup>. M.Sc. Expert in Combating Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

<sup>2</sup>. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

<sup>3</sup>. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

<sup>4</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran