



تعیین مناطق مناسب اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری باران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: استان اصفهان)

هومن صادقی^۱، احمدرضا قاسمی^۲، محمدعلی نصر اصفهانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸

چکیده

تعیین مناطق مستعد جهت اجرای طرح‌های کوچک جمع‌آوری آب باران می‌تواند به بیشینه‌سازی استفاده و افزایش بهره‌وری آب باران کمک کند. در تحقیق حاضر، با استفاده از دو نوع مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره شامل مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مناطق مستعد جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران در استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از دو مدل از نظر آماری باهم مقایسه گردید. در این پژوهش، از متغیرهای بارش (بارش سالانه ۱۱۱ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی، تبخیرسنجی و باران‌سنجی)، شیب زمین، نفوذپذیری خاک، پوشش گیاهی، حاصلخیزی خاک، فاصله از شهر و روستا و فاصله از جاده استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر دو مدل شهرستان‌های خمینی‌شهر با حدود ۶۳ درصد و مبارکه با حدود ۵۵ درصد از اراضی، دارای بیشترین درصد مناطق مستعد (خوب و خیلی خوب) و شهرستان‌های آران و بیدگل (۴ درصد) و اردستان (۶ درصد) کمترین درصد مناطق مناسب جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران هستند. برای کل استان نیز بر اساس مدل‌های AHP و ANP به ترتیب حدود ۲۴/۸ و ۲۱/۸ درصد از اراضی در وضعیت خوب و خیلی خوب جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران قرار دارند. همچنین نتایج نشان داد که بر اساس هر دو روش AHP و ANP حدود ۷۶/۳ درصد از اراضی با شرایط خوب و خیلی خوب جهت احداث این سامانه‌ها در شهرستان‌های خشک و نیمه‌خشک و ۲۳/۷ درصد در مناطق نیمه‌مرطوب غرب و جنوب غرب استان قرار دارند. مقایسه آماری نتایج دو مدل نشان داد که تفاوت بین مساحت سطوح مستعد در سطح ۰/۰۱ معنی‌داری است. این تفاوت ناشی از نحوه اختصاص وزن به لایه‌های اطلاعاتی ورودی است.

واژه‌های کلیدی: سامانه استحصال باران، مدل تحلیل شبکه‌ای، مدل تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

مواجه می‌شوند. جمع‌آوری و ذخیره هر آبی، اعم از رواناب سطحی یا جریان جوی آب کوچک برای استفاده در آبیاری را جمع‌آوری آب باران گویند (Boers, 1994). در این روش بخشی از آب در زمین نفوذ داده می‌شود، این کار سبب می‌شود که آب در دسترس گیاه در زمین کشت شده به مقدار مورد نیاز گیاه نزدیک شده و در نتیجه تولید، اقتصادی گردد (Ovis et al., 2012). همچنین جمع‌آوری آب باران را برای کمک به تغذیه مصنوعی در سفره‌های آب زیر زمین که روند

در مناطق خشک، نیمه خشک و بیابانی مانند اکثر مناطق ایران کمبود بارندگی باعث می‌شود که گیاهان نتوانند به رشد مطلوب خود دست یابند. توزیع بارندگی در این مناطق عمدتاً غیر یکنواخت بوده و معمولاً بخش عمده آن در خارج از دوره نیاز گیاه به آب اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر بخش عمده‌ای از بارش به شکل تبخیر و رواناب از دسترس گیاه خارج شده در نتیجه گیاهان در مراحل رشد با دوره‌های خشکی و کم آبی

^۱دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهرکرد

^۲دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد

✉نویسنده مسئول: ghasemiar@yahoo.com

^۲استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه شهرکرد

نحوه ارجاع مقاله:

صادقی، ه.، قاسمی، ا. ر.، نصر اصفهانی، م. ع. ۱۴۰۲. تعیین مناطق مناسب اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری باران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (مطالعه موردی: استان اصفهان). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۱(۱)، ۱۷-۲۶. DOI: 10.22125/agmj.2023.340391.1135
Sadeghi, H., Ghasemi, A.R. Nasr Isfahani, M. A. 2023. Identification of suitable sites for small rainwater harvesting structures using multi-criteria decision-making models (Case study: Isfahan province). Journal of Agricultural Meteorology, 11(1), 17-26. DOI: 10.22125/agmj.2023.340391.1135

را از مهمترین عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی مناطق جمع‌آوری آب باران دانستند. (Saha et al., 2018) در پژوهشی با استفاده از دو روش AHP و ANP به شناسایی مناطق مستعد استحصال آب باران در مناطق مرکزی هند پرداختند. در تحقیقی برای شناسایی مناطق مناسب جمع‌آوری آب باران در مناطق مرکزی هند از تلفیق روش‌های AHP، GIS و R.S استفاده شد و نتایج نشان داد تلفیق این روش‌ها به خوبی توانایی شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران جهت تغذیه مصنوعی را دارد (Husen et al., 2020). Abshenasan et al., (2015) با محاسبه نیاز خالص آبیاری گیاهان در حوضه دوآبی کلات به بررسی روشی جهت تعیین مکان‌های مناسب برای جمع‌آوری آب باران پرداختند و نشان دادند که می‌توان ۴۶٪ به اراضی فاریاب حوضه افزود. Akbarpour et al., (2015) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم (DSS) مبتنی بر GIS به تعیین مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه آبخیز بیرجند پرداختند. آن‌ها از دو روش استفاده کردند که روش اول مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوضه و روش دوم بر اساس ظرفیت منطقه در تولید رواناب بود. در نهایت با توجه به وسعت منطقه نتیجه گرفتند که روش اول مناسب‌تر است. (Parandin et al., 2019) با استفاده از تکنیک AHP و روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) به برآورد آب باران قابل استحصال از بام‌های کرمانشاه برای آبیاری فضای سبز شهری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۵۸/۴ درصد از آب مورد نیاز فضای سبز شهری را می‌توان از این روش تأمین کرد. (Armin et al., 2020) با استفاده از تحلیل چند معیاره (MCE) و مدل هیدرولوژیکی HM به شناسایی مناطق مناسب استحصال آب باران در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. (Abkhizi et al., 2020) با استفاده از روش پوششی هاب با الگوریتم PR و GIS نشان دادند که شمال شمال‌غرب بیرجند با بافت شنی- سنگریزه ظرفیت بالایی برای جمع‌آوری آب باران دارد. (Darabi and Ildoromi, 2021) نیز با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و تحلیل شبکه‌ای ANP به شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه سیاه‌خور کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که معیارهای هیدرولوژی نسبت به معیارهای فیزیکی و توپوگرافی به ترتیب ۶/۴ و ۸/۵ و معیار فیزیکی ۳/۲

کاهش سطح آب دارند و همچنین سفره‌های زیرزمینی که تا حدی پر شده‌اند توصیه شده است (Raskar et al., 2020). در مناطقی که متوسط بارش سالیانه حداقل بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلیمتر باشد می‌توان از روش‌های جمع‌آوری آب باران برای کشت محصولات مختلف بهره برد. در شرایط طبیعی و به دلیل نوع بافت خاک، کل آب مورد نیاز گیاه، قابل ذخیره کردن در محیط ریشه نمی‌باشد. ولی چنانچه در هر هکتار، بخشی از آب باران در یک استخر و بخش دیگر در محیط ریشه ذخیره گردد، امکان توسعه سطح زیر کشت درختان در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران وجود خواهد داشت (Tahmasebi and Rajabi, 2006). اما شناسایی مکان‌های مناسب برای جمع‌آوری آب باران نیازمند بررسی دقیق روش‌ها و چارچوب فیزیکی یک منطقه است که عواملی مانند اقلیم، توپوگرافی، زمین شناسی، شبکه زهکشی، هیدروژئولوژی و هیدرولوژی را پوشش می‌دهد تا حداکثر بهره را از این سازه‌ها به دست آید (Kadam et al., 2017). انتخاب مناطق مستعد برای جمع‌آوری آب باران در مقیاس بزرگ نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. استفاده از تکنیک‌های جدید مانند سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) که روش‌هایی مانند مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تحلیل شبکه‌ای (ANP) را در بر دارند به همراه سامانه اطلاعات جغرافیایی کمک می‌کند در حداقل زمان ممکن به مکان‌یابی عرصه‌های مناسب برای جمع‌آوری آب باران پرداخت. این روش‌ها در مطالعات فراوانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Rajasekhar et al., 2020; Kadam et al., 2019). پژوهش‌های فراوانی در زمینه جمع‌آوری آب باران در دنیا و کشور انجام شده که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. (Oweis et al., 2012) جمع‌آوری آب باران را فرآیندی برای استحصال رواناب ناشی از بارش و ذخیره آن به منظور استفاده در مصارف مفید تعریف کردند. (Akter and Ahmad, 2015) تحقیقی به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب جمع‌آوری آب باران در بنگلادش را به روش AHP انجام دادند. آن‌ها چهار معیار مساحت پشت بام، شیب، تراکم زهکشی و ضریب رواناب را در نظر گرفتند و منطقه را به سه بخش خوب، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی کردند. (Pilak and Porporato, 2016) و Singh et al., (2017) ضریب رواناب، شیب و تراکم زهکشی

با توجه به بررسی منابع، هفت شاخص شامل بارندگی، شیب زمین (توپوگرافی)، نفوذپذیری خاک، حاصلخیزی خاک، نوع پوشش گیاهی، فاصله از جاده و فاصله از شهر یا روستا برای مکان‌یابی مناطق مستعد برای سطوح کوچک جمع‌آوری آب باران در استان اصفهان انتخاب شدند. به منظور لحاظ کردن تأثیر گذاری سطوح مختلف هر یک از معیارها در مکان‌یابی، ابتدا هر یک از معیارها به سطوح مختلفی تقسیم‌بندی و به هر قسمت وزن به خصوصی متناسب با تأثیرگذاری آن داده شد. وزن‌های داده شده بر اساس دو مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) تعیین و محاسبه گردید.

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است که برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد. این تکنیک بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد. جهت انجام مقایسات زوجی نیاز به تخصیص امتیازات عددی است که نشان دهنده ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است (جدول ۱).

Table 1- Scale of evaluation for the importance of variables

جدول ۱- مقیاس ارزیابی برای اهمیت متغیرها		
Explanation	Comparison status of i with j	Importance
The index i is of equal importance to j	the same meaning	1
The index i is slightly more important than j	weak dominance	3
The index i is more important than j	strong dominance	5
The index i has a much higher priority than j	demonstrated dominance	7
The index i is absolutely more important than j	absolute dominance	9
the intermediate values between the preferred values	mean value	8, 6, 4, 2

در مرحله بعد به کمک ماتریس مقایسه زوجی وزن نسبی بین شاخص‌ها به دست می‌آید و در انتها خطا و ناسازگاری در مقایسه شاخص‌ها که موجب مخدوش شدن محاسبات می‌شود بوسیله نرخ ناسازگاری^۱ مشخص (معادله ۱) و نشان

برابر بر معیار توپوگرافی ارجحیت دارد. شناسایی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران وابستگی شدیدی به خصوصیات فیزیوگرافیکی، محیط زیست، شرایط فنی و شرایط اقتصادی-اجتماعی هر منطقه دارد و نمی‌توان به سادگی به دیگر مناطق تعمیم داد (Winnaar et al., 2017). بنابراین هدف از این پژوهش تعیین مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران با استفاده از دو روش AHP و ANP در استان اصفهان می‌باشد. به دلیل اهمیت بارش به عنوان ورودی مؤثر بر مکان‌یابی در این تحقیق از حداکثر ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود با داده‌های مناسب در استان (۱۱۱ ایستگاه باران‌سنجی، تبخیرسنج، سینوپتیک و کلیماتولوژی) استفاده شد. همچنین به کمک روش‌های آماری تفاوت نتایج دو روش AHP و ANP مورد ارزیابی قرار گرفت.

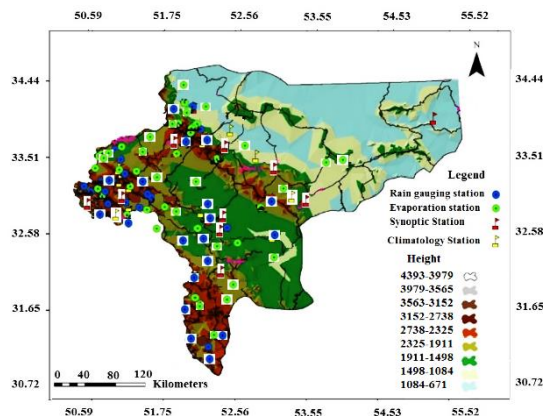
مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران واقع شده است. آب و هوای استان اصفهان به طور کلی معتدل خشک است، اما با توجه به تأثیر بادهای دوری و نزدیکی به منطقه کوهستانی غرب و دشت کویر در شرق و جنوب شرقی، می‌توان آب و هوای آن را به سه بخش آب و هوای بیابانی (شهرستان نائین، حوزه بیابانک و انارک تا شمال اردستان)، آب و هوای نیمه بیابانی (شهرستان اصفهان) و آب و هوای نیمه مرطوب سرد (غرب و جنوب غربی استان) تقسیم کرد.

عوامل مهم جهت مکان‌یابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران

فائو شش عامل کلیدی برای شناسایی مکان‌های جمع‌آوری آب باران ارائه کرده است که عبارتند از اقلیم (بارش)، هیدرولوژی (رابطه بارش-رواناب)، توپوگرافی (شیب)، زراعت (مشخصات محصول تولید شده با آب استحصال یافته)، خاک (بافت، ساختمان و عمق خاک) و مسائل سیاسی اجتماعی مانند تراکم جمعیت (FAO, 2003). در این پژوهش

¹ Inconsistency Ratio, IR



شکل ۱- ایستگاه‌های استفاده شده در تهیه نقشه همباران
Figure 1- Stations used in preparing isohyet map

اطلاعات دیگر مورد نیاز شامل نقشه رقومی ارتفاع (DEM) برای تهیه نقشه شیب، نقشه حاصلخیزی و پوشش گیاهی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰) استان اصفهان از سازمان جنگل‌ها و مراتع و نقشه توزیع خاک استان (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰) برای تهیه نقشه نفوذپذیری خاک از سازمان زمین‌شناسی تهیه گردید.

تعیین مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران

در انتها با توجه به تأثیر هر لایه در نتیجه نهایی، هر یک از لایه‌های ورودی نیز نسبت به یکدیگر وزن‌دهی شدند. وزن نهایی با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به ترتیب در نرم‌افزار Expert Choice و نرم‌افزار Super Decision محاسبه گردید. سپس با ترکیب لایه‌های وزن‌دار، برای هر دو روش نقشه مناطق مستعد سامانه‌های جمع‌آوری آب باران استخراج گردید.

نتایج و بحث

مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP

وزن‌های درون لایه‌ای

پس از وارد کردن مقایسه‌های زوجی در نرم‌افزار Expert Choice، وزن هر یک از لایه‌ها محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است. وزن‌دهی باید به صورتی باشد که ناسازگاری سامانه^۱ کمتر از ۰/۱ گردد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقدار ناسازگاری در تمام لایه‌ها کمتر از

می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسه‌ها اعتماد کرد (Saha et al., 2018).

$$IR = \frac{CI}{CR} \quad (۱)$$

که در آن، CI شاخص سازگاری (معادله ۲) و CR شاخص تصادفی است.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (۲)$$

که در آن، n تعداد گزینه‌های موجود در مسأله و $\lambda_{\max}$ میانگین عناصر برداری سازگاری است. شاخص تصادفی (CR) نیز از جدول مربوطه (Mehregan, 2020) استخراج می‌شود و نسبت سازگاری ۰/۱ یا کمتر مناسب بودن سازگاری در مقایسات را بیان می‌کند.

مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرآیند تحلیل شبکه‌ای یکی از جدیدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این مدل بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و "شبکه" را جایگزین "سلسله مراتب" کرده است (Godsipur, 2005). در این مدل برای تعیین وزن‌ها از نرم‌افزار Super Decision استفاده گردید. معیارها در سه خوشه شامل معیارهای توپوگرافیک و مورفولوژیک، معیارهای هیدرولوژیک و سایر معیارها قرار گرفتند. سپس هر یک از این خوشه‌ها با توجه به زیرمعیارهایی که برای مکانیابی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران دارد طبقه‌بندی شد. جزییات بیشتر دو مدل AHP و ANP در (Kasiri et al., 2020)، (Egdermezhad et al., 2021) و (Tabatabaei et al., 2020) ارائه شده است.

بارش

مهمترین شاخص جهت مکان‌یابی مناطق مستعد برای جمع‌آوری آب باران میزان بارش است. برای تهیه نقشه همباران از آمار بارش سالانه ۱۱۱ ایستگاه شامل ۲۵ ایستگاه سینوپتیک-کلیما‌تولوژی و ۸۶ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی استفاده شد. به دلیل اهمیت پارامتر بارش از تمامی داده‌های موجود هر ایستگاه منتهی به سال ۲۰۱۸ با طول دوره آماری ۵ تا ۶۵ سال استفاده شد. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

¹ Inconsistency

آن‌ها دارد و در نتیجه وزن بیشتری دریافت کرده‌اند. مراتع متراکم به دلیل آنکه که از پوشش گیاهی مناسبی برخوردار هستند و اجرای این روش‌ها تأثیر چندانی در افزایش پوشش گیاهی آن‌ها ندارد، بنابراین در این مطالعه لحاظ نشده‌اند. با استفاده از روش‌های جمع‌آوری آب باران می‌توان تراکم جنگل‌های غیرمتراکم را بهبود بخشید به همین دلیل وزن بیشتری نسبت به مراتع و جنگل‌های نیمه متراکم دریافت کرده‌اند. از نظر حاصلخیزی نیز بطور کلی زمین‌هایی که نوع خاک آن‌ها امکان کشت را بدهد استعداد بیشتری جهت اجرای سامانه‌های جمع‌آوری آب باران دارند. بنابراین هرچه خاک‌ها حاصلخیزتر باشند وزن بیشتری خواهند داشت (شکل ۲ د). با توجه به اینکه بهره‌برداری و نگهداری پروژه‌های جمع‌آوری آب باران بایستی توسط مردم بومی هر منطقه انجام گیرد، لذا فاصله از شهر یا روستا (شکل ۲ ر) و همچنین فاصله از جاده (شکل ۲ ز) در دسترسی راحت‌تر بهره‌برداران به طرح‌های جمع‌آوری آب باران تأثیرگذار است. بنابراین با افزایش فاصله (برحسب کیلومتر) وزن شاخص کاهش می‌یابد.

وزن‌های بین لایه‌ای

در این بخش وزن لایه‌های شش‌گانه مؤثر در جمع‌آوری آب باران که در نرم‌افزار Expert Choice، محاسبه شده‌اند در شکل ۳ ارائه شده است. مقدار ناسازگاری نیز در این حالت معادل ۰/۰۵ به دست آمده که کمتر از ۰/۱ و کاملاً قابل قبول است. همانگونه که در شکل ۳ نیز نمایش داده شده است بالاترین وزن را لایه بارش به خود اختصاص داده که با لایه دوم نیز فاصله زیادی دارد. قطعاً در استحصال آب باران، میزان بارش مؤثرترین شاخص است، لذا تعلق بیشترین وزن به این لایه امری طبیعی است. بعد از بارش حاصلخیزی و نفوذ قرار دارند که اولی در رشد گیاه و دومی در تأمین آب مورد نیاز گیاه نقش دارند. قطعاً حاصلخیزی نسبت به ذخیره آب در خاک ارجح می‌باشد؛ زیرا بدون وجود خاک حاصلخیز صرف هزینه برای ذخیره‌سازی آب در خاک معقول نخواهد بود.

۰/۱ است. کمترین مقدار وزن مربوط به بارش‌های کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر و بیشترین مقدار مربوط به بارش‌های بیشتر از ۱۷۵ میلی‌متر است. میزان ناسازگاری نیز معادل ۰/۰۲ به دست آمده که قابل قبول است (شکل ۲ الف). در بین طبقات شیب (شکل ۲ ب) نیز کمترین وزن مربوط به شیب‌های بیشتر از ۳۰ درصد است که دلیل آن هم افزایش رواناب و خارج شدن آب از منطقه مورد نظر جهت ذخیره سازی آب در خاک است. مناسب‌ترین شیب برای اجرای این روش‌ها شیب ۵ تا ۱۰ درصد است (AliKhassi, 2010) که بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است. از نظر نفوذپذیری نیز بیشترین مقدار وزن را خاک‌های با نفوذ پذیری متوسط به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲ ج). خاک‌هایی که سرعت نفوذ بالایی دارند (خاک‌های سبک) به دلیل ظرفیت پایین نگهداری رطوبت برای اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران مناسب نیستند. خاک‌های با بافت سنگین نیز به دلیل اینکه آب ذخیره شده در پروفیل خاک به سختی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، برای اجرای این سامانه‌ها مناسب نیستند. بنابراین خاک‌های با بافت متوسط به دلیل اینکه بیشترین توانایی را برای نگهداشت آب در خاک دارند، برای اجرای سطوح آبیگر کوچک مناسب می‌باشند. وزن‌های محاسبه شده برای شاخص پوشش گیاهی (شکل ۲ د) نشان می‌دهد بیشترین وزن را اراضی دیم^۱ به خود اختصاص داده‌اند، این اراضی به دلیل اینکه سال‌های متمادی در آن‌ها کشت انجام شده (نشان دهنده حاصلخیزی مناسب آن‌ها است) به شدت پتانسیل اجرای سامانه‌های جمع‌آوری آب باران را دارند. مراتع غیرمتراکم^۲، جنگل‌های غیرمتراکم^۳، مراتع نیمه‌متراکم^۴ و جنگل‌های نیمه‌متراکم^۵ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. میزان ناسازگاری در این شاخص نیز ۰/۰۴ و کاملاً قابل قبول به دست آمده است. مراتع غیرتراکم به علت پوشش گیاهی کمتر نسبت به مراتع نیمه‌متراکم، ضریب رواناب بالاتری دارند بنابراین اجرای روش‌های جمع‌آوری آب باران تأثیر بیشتری در جهت افزایش سطح پوشش گیاهی در

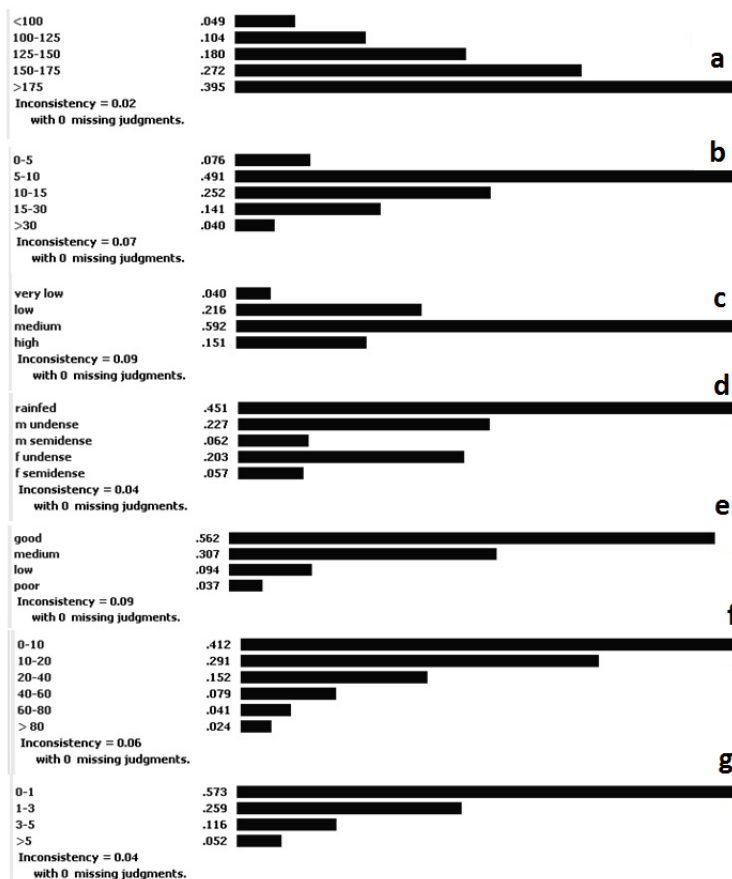
^۴ m semidens

^۵ f semidense

^۱ rainfed

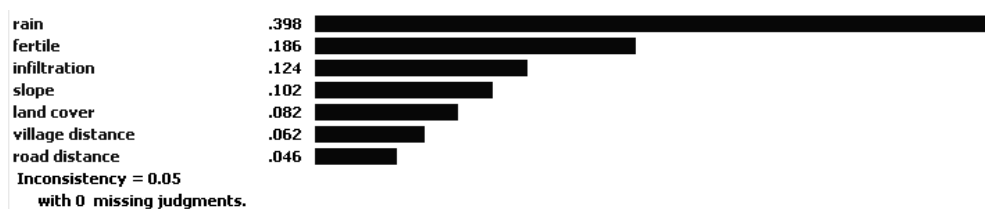
^۲ m undense

^۳ f undense



شکل ۲- وزن‌های محاسبه شده برای ۷ شاخص مورد بررسی به روش مدل AHP (الف: بارش، ب: شیب، ج: نفوذپذیری، د: پوشش گیاهی، ذ: حاصلخیزی، ر: فاصله از شهر و روستا، ز: فاصله از جاده)

Figure 2- Calculated weights for the 7 studied indices by AHP (a: rainfall, b: slope, c: permeability, d: vegetation, e: fertility, f: distance from city and village, g: distance from road)

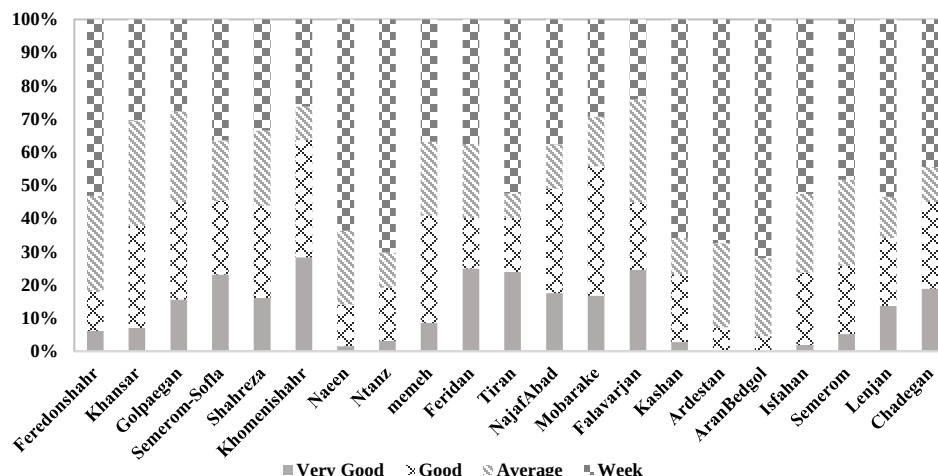


شکل ۳- وزن‌های بین لایه‌ای محاسبه شده به روش مدل تحلیل سلسله مراتبی

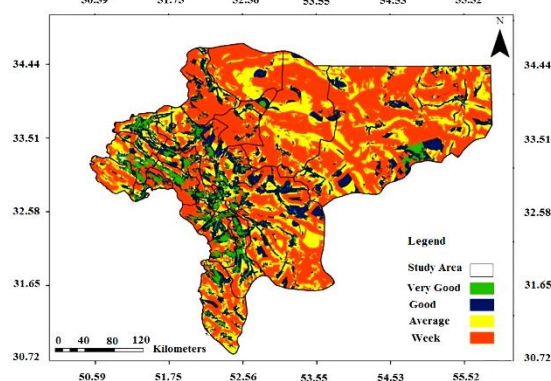
Figure 3- Interlayer weights calculated by Analytical Hierarchy Process

درصد مناطق مستعد (خوب و خیلی خوب) جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران می‌باشند. در مقابل شهرستان‌های آران و بیدگل (۴ درصد) و اردستان (۶ درصد) کمترین درصد مناطق مستعد را دارا می‌باشند که با توجه به کویری بودن این مناطق، نتایج منطقی می‌باشد. در مجموع تنها ۴/۸ درصد از اراضی استان در وضعیت خیلی خوب و ۲۰ درصد در وضعیت خوب قرار دارند.

در انتها به منظور تعیین مقدار نهایی وزن (وزن تلفیقی) هر یک از اجزاء لایه‌ها، وزن اجزاء درون لایه (شکل ۲) در وزن بین لایه (شکل ۳) ضرب و بر اساس آن درصد (شکل ۴) و نقشه پهنه‌های مناطق مستعد جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران به تفکیک شهرستان‌ها (شکل ۵) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شهرستان‌های خمینی‌شهر (۶۲ درصد) و مبارکه (۵۵ درصد) دارای بیشترین



شکل ۴- درصد مناطق مستعد جمع آوری آب باران به تفکیک شهرستان به روش مدل تصمیم‌گیری AHP
Figure 4- Percentage of areas prone to rainwater collection by city by AHP decision method

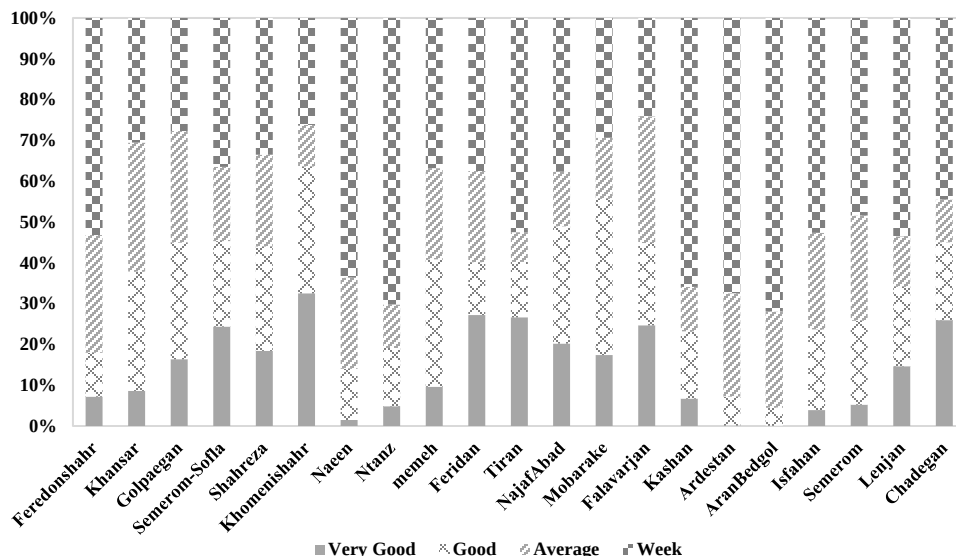


شکل ۵- پهنه‌بندی مناطق مستعد جمع آوری آب باران به روش مدل تحلیل سلسله مراتبی
Figure 5- Zoning of areas prone to rainwater harvesting by Analytic Hierarchy Process

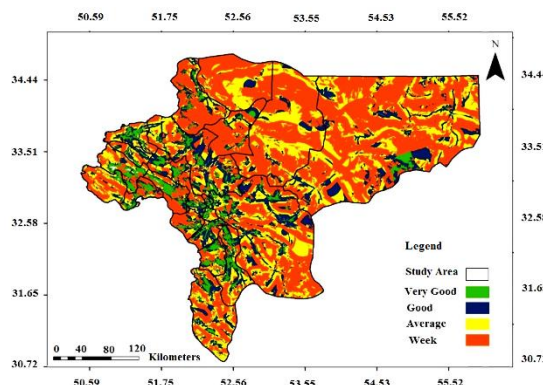
درصد در وضعیت خوب قرار دارند که درمقایسه با روش AHP اراضی با وضعیت خیلی خوب ۱ درصد بیشتر و اراضی با وضعیت خوب ۴ درصد کاهش یافته‌اند. در مجموع بر اساس روش AHP حدود ۲۴/۸ درصد از اراضی استان جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران مناسب هستند. درحالی‌که بر اساس روش ANP حدود ۲۱/۸ درصد از اراضی استان چنین شرایط را دارا می‌باشند. نتایج پهنه‌بندی مناطق مستعد جمع‌آوری آب باران به روش مدل ANP (شکل ۷) نشان می‌دهد بیشترین تمرکز مناطق مساعد جهت اجرای چنین سامانه‌هایی در مناطق غربی و جنوبی استان قرار دارند.

مدل تصمیم‌گیری شبکه‌ای ANP

شکل ۶ مناطق مستعد جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران به روش مدل ANP را نشان می‌دهد که شهرستان‌های خمینی‌شهر با ۶۳ درصد و مبارکه با ۵۵ درصد از اراضی، دارای بیشترین درصد مناطق مستعد (خوب و خیلی خوب) جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران و شهرستان‌های آران و بیدگل (۴ درصد) و اردستان (۶ درصد) کمترین درصد مناطق مستعد را دارند. نتایج این روش با نتایج روش AHP تقریباً یکسان است. بر اساس این روش نیز ۵/۸ درصد از اراضی استان در وضعیت خیلی خوب و ۱۶



شکل ۶- درصد مناطق مستعد جمع آوری آب باران به تفکیک شهرستان به روش مدل تصمیم گیری ANP
Figure 6- Percentage of areas prone to rainwater collection by city by ANP decision method



شکل ۷- پهنه بندی مناطق مستعد جمع آوری آب باران به روش مدل تحلیل شبکه ای (ANP)
Figure 7- Zoning of areas prone to rainwater harvesting by Analytic Network Process (ANP)

وضعیت متوسط و ضعیف تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد بین دو روش مشاهده نگردید.

Table 2 - T-test results for comparing ANP and AHP models

جدول ۲- نتایج آزمون t برای مقایسه دو مدل ANP و AHP

Week	Moderate	Good	Very Good
0.984 ^{ns}	0.956 ^{ns}	0.0052 ^{**}	0.0053 ^{**}

** معنی دار در سطح ۰/۰۱ و ns غیر معنی دار

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل شده از دو مدل ANP و AHP می توان گفت که شهرستان های خمینی شهر و مبارکه بر

مقایسه آماری نتایج مدل های ANP و AHP

جهت مقایسه آماری نتایج حاصل از دو مدل ANP و AHP، بین سطوح به دست آمده برای هر وضعیت برای دو روش مورد بررسی آزمون t دوطرفه اجرا و معنی داری نتایج مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بین سطوح مستعد جهت احداث سامانه های کوچک جمع آوری آب باران برای دو وضعیت خیلی خوب و خوب تفاوت معنی داری بین خروجی دو مدل ANP و AHP وجود دارد. این تفاوت در سطح معنی داری ۰/۰۱ معنی دار می باشد، در حالیکه برای دو

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه شهرکرد که امکانات و هزینه لازم برای انجام این پژوهش را فراهم کرد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Abkhizi, Kh., Khosravi, H., Khalighi, Sh., Moghaddamnia, A., Talebiniya, M. 2020. Suitable site selection for rainwater harvesting for drinking and agricultural purposes using Hub Coating Problem (PR Algorithm). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 14(49), 83-92. (In Farsi)
- Abshenasan, Z., Khodashenas, R., Alizadeh, A., Davary, K., Akbari, M. 2015. Determination of the proper location for collecting runoff in a basin (Case study: Doaby Kalat basin). *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 49(14), 83-92. (In Farsi)
- Akbarpour, A., Sadeghi, Sh., Foroughifar, H., Shahidi, A. 2015. Comparison of methods for locating suitable sites for rainwater harvesting using DSS based on GIS. *Journal of Geography and Development*, 39 (13), 164-147. (In Farsi)
- Akter, A., Ahmad, S. 2015. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. *Journal of Hydrology*, 528(1), 84-93.
- Alikhassi, A. 2010. Locating areas for water harvesting in Tehran province using GIS, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran. (In Farsi)
- Armin, M., Khiri, A., Ghorbaninia. 2020. Identification of suitable sites for construction of rainwater harvesting systems using MCA-HM method in GIS environment (Case study: Ab Bahareh nomadic ecosystem in Kohgiluyeh and Boyerahmad province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3) 596-616. (In Farsi)
- Boers, M. 1994. Rainwater harvesting in arid and semi arid zones. Publication 55, ILRI, Wageningen, The Netherlands, 133.
- Darabi, F., Ildoromi, A. 2021. Determination of effective factors in locating runoff-prone areas and rainwater extraction of Kermanshah Siahkhor watershed. *Hydro-geomorphology*, 8(28), 1-18. (In Farsi)
- Egdernezhad, A., Ebrahimipak, N., Mohammadi, H., Ghorbani, Z., Ahmadee, M. 2021. Zoning of

اساس هر دو روش دارای بیشترین سطح مستعد (اراضی با وضعیت خوب و خیلی خوب) جهت احداث سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران می‌باشد. همچنین اغلب نواحی غربی و جنوبی استان شامل شهرستان‌های فریدن، تیران، خمینی‌شهر، فلاورجان و سمیرم براساس هر دو روش ANP و AHP دارای بیشترین اراضی با وضعیت خیلی خوب جهت اجرای این سامانه‌ها هستند. هرچه به سمت نواحی خشک‌تر استان حرکت کنیم نواحی دارای بیشترین سطح غیرمستعد برای جمع‌آوری آب باران افزایش می‌یابند. نتایج نشان داد عملکرد دو روش مورد استفاده در برخی گروه‌ها (وضعیت متوسط و ضعیف) مشابه و در برخی (وضعیت خوب و خیلی خوب) متفاوت است. با توجه به اینکه در مدل AHP وزن نهایی بر اساس ضرب ساده اهمیت هر عنصر در خوشه بالای خود به دست می‌آید اما در تکنیک ANP با محاسبه سوپرماتریس حد وزن نهایی عناصر به دست می‌آید (Habibi, 2022)، می‌تواند استنباط نمود که مدل ANP توانایی تعیین دقیق‌تر وزن‌ها را دارد. سطح کل اراضی مستعد (خیلی خوب و خوب) استان جهت اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری آب باران در مدل تحلیل شبکه‌ای ۲۱/۸ درصد و در مدل تحلیل سلسله مراتبی بیشتر و معادل ۲۴/۸ درصد به دست آمد. این میزان تفاوت از نظر آماری در سطح معنی‌دار ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد. این تفاوت ناشی از میزان وزن اختصاص یافته در هر روش برای لایه‌های اطلاعاتی ورودی به ویژه بارش است. تفکیک نتایج برای مناطق خشک و نیمه‌خشک استان با مناطق نیمه‌مرطوب نشان می‌دهد که بر اساس هر دو روش مورد بررسی حدود ۷۶/۳ درصد از مجموع مناطق با شرایط خوب و خیلی خوب جهت احداث سامانه‌های کوچک استحصال آب باران در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیمه شرقی و مرکزی (شهرستان‌های اصفهان، خمینی‌شهر، نجف‌آباد، شهرضا، نائین، نطنز، مبارکه، فلاورجان، کاشان، اردستان، آران و بیدگل و لنجان) و ۲۳/۷ درصد در مناطق نیمه مرطوب غرب و جنوب غرب استان (شهرستان‌های فریدونشهر، خوانسار، گلپایگان، سمیرم، سمیرم سفلی، تیران، فریدن و چادگان) قرار دارند.

- Parandin, M., Zolfaghari, H., Fathnia, A. 2019. Rainwater harvesting from Kermanshah City roofs and recognizing the suitable places for water saving to irrigate urban green spaces. *Natural Geography Research*, 51 (3), 496-483. (In Farsi)
- Pilak, N., Porporato, A. 2016. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. *Journal of Hydrology*, 541(1), 1340-1347.
- Rajasekhar, M., Gadhiraju, S., Kadam, A., Bhagat, V. 2020. Identification of groundwater recharge-based potential rainwater harvesting sites for sustainable development of a semiarid region of southern India using geospatial, AHP, and SCS-CN approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(24), <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4996-6>.
- Raskar, T. Gaikwad, H. Kadekar, O. Umrikar, B. 2020. Impact Assessment of Water Harvesting Structures in Micro-Watersheds of Nira River Basin. *Hydrospatial Analysis*, 3(2), 72-89.
- Saha, A. Patil, M. Karwariya, S. Pingale, S. Azmi, S. Goyal, V., Rathore, D. 2018. Identification of potential sites for water harvesting structures using geospatial techniques and multi-criteria decision analysis. *Remote Sensing and Spatial Information Scienc*, 5(1), 329-334.
- Singh, L., Jha, M., Chowdary, V. 2017. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of cleaner production*, 142(4), 1436-1456.
- Tahmasebi, R. Rajabi, R. 2006. Water harvesting in natural areas, a solution to address water scarcity in arid and semi-arid regions. *Journal of Geography and Development*, 4(7), 23-42. (In Farsi)
- Winnaar, G., Jewitt, G., Horan M. 2007. A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 32(15), 1058-1067.
- mokhtaran plain's groundwater for irrigation using analytical network process (ANP). *Journal of Environment Science and Technology*, 23(6). 33-46. (In Farsi)
- FAO, 2003. Land and water digital media series, Training course on RWH (CD-ROM). Planning of water harvesting schemes, Unit 22. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, FAO.
- Godsipur, S.H. 2005. Decision making and information management. Amir Kabir University of Technology Publishing Center, 232 p. (In Farsi)
- Habibi, A. Afridi, S. 2022. Multiple Attribute Decision Making, Naron Publications, 250. (In Farsi)
- Husen, S., Khamitkar, S., Bhalchandra, P., Tamsekar, P., Kulkarni, G., Hambarde, K. 2020. Prediction of artificial water recharge sites using fusion of RS, GIS, AHP and GA Technologies. *Advances in Data Science and Management*, 37(1), 387-394.
- Kadam, A., Kale, S., Umrikar, N., Sankhua, N., Pawar, N. 2017. Identifying possible locations to construct soil-water conservation structures by using hydro-geological and geospatial analysis. *Hydrospatial Anal*, 1(1), 18-27.
- Kadam, A., Karnewar, A., Bhavana, U., Sankhua R. 2019. Hydrological response-based watershed prioritization in semiarid, basaltic region of western India using frequency ratio, fuzzy logic and AHP method. *Environ Dev Sustain*, 21(4), 1809-1833.
- Kasiri, Z., Habibnejad, M., Roshan, H. 2020. Groundwater resources potential based on geographic information system and remote sensing using analytic network process (Case Study: Naz Sari Plain). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 31(77), 103-120. (In Farsi)
- Mehregan, M.R. 2020. Advanced operations research. University book press, Second edition, 536. (In Farsi)
- Oweis, T., Prinz, D., Hachum, A.Y. 2012. Water Harvesting for Agriculture in the Dry Area. ICARDA, CRC Press, 76.



Identification of suitable sites for small rainwater harvesting structures using multi-criteria decision-making models (Case study: Isfahan province)

H. Sadeghi¹, A. R. Ghasemi^{2*}, M. A. Nasr Isfahani³

Received: 03/05/2022

Accepted: 27/02/2023

Abstract

Identifying potential sites for small rainwater harvesting can help to improve crop water productivity especially rainfed cropping systems. In present study, suitable areas for creating small rainwater collection systems in Isfahan province were determined using multi-criteria decision-making models including hierarchical analysis process and network analysis process. The selected variables were annual rainfall (111 synoptic, climatology, evaporation and rain gauging stations), land slope, soil permeability, vegetation cover, soil fertility, distance from city and village and distance from road. The results showed that in both AHP and ANP methods, Khomeni-Shahr region with about 63% and Mobarake with about 55% of area, have the largest suitable coverage (good and very good condition) for the small rainfall collection systems construction and Aran and Bidgol (4%) and Ardestan (6%) have the lowest percentage of suitable areas, respectively. For the entire province, according to the AHP and ANP methods, about 24.8 and 21.8% of the lands are categorized as good and very good class for the creating small rainwater harvesting systems, respectively. The results also indicated that for both AHP and ANP methods, about 76.3% of lands with good and very good conditions for the construction of these systems are located in dry and semi-arid areas and 23.7% in semi-humid areas. The statistical comparison between the two approaches showed a significant difference between the provided suitable zones for constructing these systems at 0.01 level. The difference may be attributed to assigned weight of input layers.

Keywords: Hierarchical Analytic Model, Analytical Network Process, Rainwater Harvesting



¹ M. Sc. Graduate, Department of Water Engineering, University Shahrekord, Iran

² Associate Professor, Department of Water Engineering, University Shahrekord, Iran

(*Corresponding Author Email Address: ghasemiar@yahoo.com)

³ Assistant Professor, Department of Water Engineering University Shahrekord, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

صادقی، ه.، قاسمی، ا. ر.، نصر اصفهانی، م. ع. ۱۴۰۲. تعیین مناطق مناسب اجرای سامانه‌های کوچک جمع‌آوری باران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری

چند معیاره (مطالعه موردی: استان اصفهان). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۱(۱)، ۱۷-۲۶. DOI: 10.22125/agmj.2023.340391.1135

Sadeghi, H., Ghasemi, A.R. Nasr Isfahani, M. A. 2023. Identification of suitable sites for small rainwater harvesting structures using multi-criteria decision-making models (Case study: Isfahan province). Journal of Agricultural Meteorology, 11(1), 17-26. DOI: 10.22125/agmj.2023.340391.1135