تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 4, Winter 2019 (IR-WRR)
۱۴۷-۱۶۳

اولویت‌بندی سناریوها در مدل مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان جهت پخش سیلاب، مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP (مطالعه موردی: آبخوان دشت خوی)

مهدی شفیعی[۱] و مهدی قنبرزاده لک[۲*]

چکیده

با بهره‌گیری از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مدل تصمیم‌ساز جهت تسهیل اولویت‌بندی سناریوهای تغذیه مصنوعی-پخش سیلاب، تهیه گردید و به‌عنوان مطالعه موردی، نتایج مدل در دشت خوی (دارای محدودیت برداشت منابع آب زیرزمینی)، بررسی شدند. تعداد شش سناریو در مرحله اول تحقیق براساس ۱۶ معیار فنی و روی‌هم‌گذاری لایه‌های GIS پیشنهاد شد. در مرحله دوم، افزون بر معیارهای فوق، کلیه پارامترهای مؤثر در چهار خوشه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی شدند و پس از تعیین ارتباطات موجود در شبکه تصمیم‌سازی مطابق با روش دیمتل، از نرم‌افزار SuperDecisions، استفاده شد. براساس نتایج رتبه‌بندی ANP، سناریوی شماره سه واقع در شمال‌غربی منطقه مورد مطالعه با وزن نرمال ۰/۱۷۵ به‌عنوان برترین سناریو معرفی شد. این سناریو در مرحله اول تحقیق نیز که اولویت‌بندی در آن براساس روش AHP صورت گرفته بود، در رتبه اول قرار می‌گیرد ولی اولویت سایر سناریوها در دو روش باهم متفاوت است. تأثیرگذاری عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و همچنین محدودیت ارتباطات داخلی در مدل AHP، عامل اصلی تفاوت در نتایج بوده است. تحلیل شبکه‌ای بدلیل در نظر گرفتن عواملی غیر از مسائل فنی، نسبت به روش AHP قابلیت بیشتری داشته و می‌توان مسائل پیچیده همچون گزینش مناطق مستعد را با استفاده از آن با دقت بالایی تحلیل نمود.

کلمات کلیدی: اولویت‌بندی، پخش سیلاب، تغذیه مصنوعی، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مکان‌یابی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۱۶

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.
۲- استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Prioritizing Artificial Groundwater Nourishing-Flood Spreading Scenarios, Based on Analytical Network Process (ANP) (Case Study: Khoy Plain Aquifer)

*M. Shafiei[1] and M. Ghanbarzadeh Lak[2]**

Abstract

Using ANP methodology, a decision-support model conducted to facilitate the prioritization of artificial nourishing-flood spreading scenarios. As a case study the Khoy plain (with limited groundwater resources) was selected. In the first phase, six scenarios were proposed based on 16 technical criteria and overlaying of GIS shape files. In the second phase, in addition to above-mentioned criteria, other effective parameters were classified into four technical, economic, social, and environmental clusters. After determining the effective connections in the decision-making network based on DEMATEL technique, SuperDecisions software was used. Based on the results of ANP ranking, scenario #3 located in the northwest of the studied area, with a normal weight of 0.175 was selected as the best scenario. The result of the first phase of this study, in which scenarios were prioritized based on AHP method, was the same for the first rank, although the order of other scenarios faced changes. This can be due to the impact of economic, social and environmental factors, as well as the limitation of internal communication in the AHP model. Network analysis has more capability than the AHP method, so complex issues can be addressed, such as the selection of susceptible areas for artificial nourishing-flood spreading.

Keywords: Prioritizing, Flood Spreading, Artificial Nourishing, Analytical Network Process (ANP), Site Selection.

Received: January 7, 2018
Accepted: June 6, 2018

1- M.Sc. Graduate of Civil Engineering, Engineering and Water Resources Management, Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran. Email: barsam20@yahoo.com
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. Email: m.ghanbarzadehlak@urmia.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

در مناطق با اقلیم خشک و نیمه خشک همچون ایران که متوسط بارش سالانه آن کمتر از یک سوم متوسط سالانه جهان است و از سوی دیگر به‌دلیل تنوع زمانی و مکانی بارش در نقاط مختلف کشور، آب‌های زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین منبع تأمین آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت، به‌شمار می‌روند (Teimouri and Bazrafshan, 2017; Nouri et al., 2017). همچنین محدودیت آب‌های سطحی و نبود آن در بسیاری از نقاط کشور باعث شده است از آب‌های زیرزمینی در سالیان اخیر استفاده‌های وسیع و ناپایدار به‌عمل آید (Javanmard et al., 2014). براساس پیش‌بینی‌های انجام شده، در سال ۲۰۲۵ ایران در زمره کشورهایی قرار خواهد گرفت که با کمبود آب مواجه می‌باشند (Zarghaami, 2005). بر این اساس و با توجه به برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و برهم خوردن تعادل بین تغذیه و مصرف آن در ایران و بسیاری از کشورهای جهان، (Beykzadeh et al., 2016) نگرانی‌ها در خصوص افت سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش ظرفیت مخازن آبخوان‌ها افزایش یافته و این امر منجر به توسعه تحقیقات و مطالعات در رابطه با تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی (آبخوانداری) در سالیان اخیر شده است (Bijani et al., 2017).

در نتیجه تحقیقات اخیر، طرح‌های تغذیه مصنوعی[۱] سفره‌های آب زیرزمینی به‌عنوان یک راه‌کار عملی و مؤثر در حفظ آبخوان‌ها مطرح شده است (Rahmani et al., 2015). تغذیه مصنوعی وارد کردن آب به داخل یک سازند نفوذپذیر با هدف تغذیه سفره آب زیرزمینی است، به‌گونه‌ای که استفاده مجدد از آن با رژیم و کیفیتی متفاوت، به‌وسیله ایجاد تأسیسات اضافی یا اعمال تغییراتی در شرایط طبیعی منطقه، قابل حصول باشد. تغذیه مستقیم سطحی یکی از مهم‌ترین روش‌های تغذیه مصنوعی بوده و روش پخش سیلاب[۲] از جمله شیوه‌های متداول اجرای این روش می‌باشد (Ohare et al., 1986).

روش پخش سیلاب یکی از ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی بوده و بزرگترین مزیت آن، هزینه نسبتاً پایین احداث و نگه‌داری واحدهای پخش سیلاب است. هدف این روش پخش آب بر روی یک منطقه نسبتاً بزرگ به‌صورت لایه‌ای نازک است که به‌طور آهسته حرکت می‌کند بدون آن‌که باعث فرسایش، بهم‌خوردگی و پخش ذرات خاک شود (Ministry of Water Resources, 2007). تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با تعادل‌بخشی بین میزان تغذیه و استخراج، می‌تواند سطح آب را تقریباً ثابت نگاه دارد، از این‌رو کاملاً آشکار است که تعیین مکان‌های مستعد اجرای این امر از اهمیت بسیاری برخوردار بوده و این اهمیت روز به روز بیشتر خواهد شد (Maleki et al., 2009; Vahabi, 2003).

تصمیم‌گیری چندمعیاره[۳] از مفاهیم مهم نظریه تصمیم و تحقیق در عملیات است و یکی از مهم‌ترین شاخه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصمیم‌گیری چندشاخصه[۴] می‌باشد. در بیان مفاهیم تصمیم‌گیری، معیار[۵] عاملی است که توسط آن عملکرد یک گزینه یا طرح، براساس اهداف مورد نظر ارزیابی می‌شود و شاخص‌ها[۶] زیرمجموعه‌ای از معیارها می‌باشند که به‌منظور سنجش کمّی عناصر تصمیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (Javidi Sabbaghian et al., 2017). یکی از روش‌های پُرکاربرد در تصمیم‌گیری چندشاخصه، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۷] (ANP) است. سطح آب زیرزمینی دشت خوی، در سالیان اخیر به‌دلیل برداشت بی‌رویه از این آبخوان، با افت شدیدی مواجه شده است و جزو دشت‌های ممنوعه کشور می‌باشد. بر این اساس با توجه به هدف اصلی تحقیق حاضر که تهیه مدلی جامع در تعیین مکان مناسب و دقیق به‌کارگیری روش پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد، می‌توان در پهنه‌های مناسب محدوده دشت خوی، سناریوهای پیشنهادی را براساس روش تصمیم‌گیری ANP رتبه‌بندی نمود و مناسب‌ترین سناریو با بیشترین ارجحیت را معرفی کرد.

مطالعات متعددی در زمینه تغذیه مصنوعی، تعیین مکان‌های مستعد و اولویت‌بندی آن‌ها و همچنین به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره صورت گرفته است. Razavi Toosi and Mohammadvali Samani (2014) به اولویت‌بندی اعمال روش‌های مدیریت منابع آب در تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور با استفاده از روش ANP و الگوریتم ترکیبی ANP و TOPSIS فازی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که تعیین وزن با استفاده از روش ANP، اختلاف بین گزینه‌ها را بهتر مدل می‌کند. در این تحقیق در روش TOPSIS فازی که وزن معیارها فقط براساس نظر تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌شود، تفاوت امتیاز برخی گزینه‌ها، علی‌رغم در نظر گرفتن معیارهای مختلف، به خوبی نمایان نشد. این امر به‌دلیل در نظر نگرفتن روابط شبکه‌ای بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری حادث شده است. در صورتی که تعیین وزن معیارها با استفاده از روش شبکه‌ای ANP و با در نظر گرفتن ارتباطات شبکه‌ای بین معیارها، به نتایج دقیق‌تری در تصمیم‌گیری منجر می‌شود و تفاوت امتیاز گزینه‌ها بهتر نشان داده خواهد شد. Afzali and Samani (2011) با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای ANP به مکان‌یابی و اولویت‌بندی محل‌های مناسب دفن مواد زاید جامد شهری شهر اصفهان با در نظر گرفتن اهمیت منابع آب

پرداخته‌اند. ایشان در این تحقیق با کاربرد ۷ معیار فاکتور و ۳ معیار محدودیت، نقشه محل‌های مناسب جهت دفن مواد زاید را استخراج نمودند. Samani and Delavar (2010) با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP و با در نظر گرفتن تعداد ۶ معیار، اولویت‌بندی ساختگاه‌های پیشنهادی برای احداث شبکه‌های پرورش میگو در سواحل جنوبی کشور را مورد بررسی قرار دادند. Sabuki et al. (2014) طی مطالعه‌ای از فناوری GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره برای امکان‌سنجی اجرای طرح تغذیه مصنوعی دشت قم، استفاده کردند. برای این منظور ابتدا معیارهای تأثیرگذار مشخص و با استفاده از روش AHP، ارزش‌گذاری و وزن‌دهی شدند. در این تحقیق مشخص شد معیار شیب زمین بیشترین وزن و معیار کاربری اراضی و هدایت الکتریکی (EC) کمترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. تصمیم‌گیری براساس معیارهای صرفاً فنی یعنی (شیب توپوگرافی، عمق سطح ایستابی، گرادیان هیدرولیکی، کیفیت آب، محیط غیراشباع، خاک و نفوذ سطحی، هدایت هیدرولیکی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری اراضی) و عدم دخالت معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، همچنین در نظر نگرفتن ارتباطات داخلی بین شاخص‌های تصمیم‌گیری، از جمله موارد نقص تحقیق اخیر بشمار می‌رود. Asgharipourdasht Bozorg et al. (2013) تحقیقی را در مورد انتخاب عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب با کاربرد روش AHP در محیط GIS برای منطقه آبید سربیشه گتوند واقع در شمال استان خوزستان انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داده است که عرصه‌هایی با تناسب بالا جهت اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی به روش پخش سیلاب اغلب در واحد ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ای و مناطق با شیب توپوگرافی کمتر از ۳ درصد قرار دارند. در مطالعه اخیر تنها هفت عامل (شیب، نفوذپذیری، کیفیت سیلاب، ضخامت آبرفت، قابلیت انتقال، تراکم زهکشی و کاربری اراضی) در قالب لایه‌های GIS آماده‌سازی شدند و با روش AHP وزن هر عامل محاسبه شد. Farajisabokbar et al. (2012) به تعیین عرصه‌های مناسب پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش‌های ANP و GIS، در دشت گربایگان فسا پرداخته‌اند. آن‌ها تنها تعداد هشت عامل را که دارای داده و نقشه‌های GIS بودند (شامل شیب، کیفیت آب، زمین‌شناسی، ضخامت آبرفت، کاربری اراضی، قابلیت انتقال، آبراهه و ژئومورفولوژی منطقه) در محیط GIS آماده‌سازی کرده و با استفاده از روش ANP وزن هر معیار را براساس نظرات کارشناسی تعیین کردند. پس از آن با استفاده از تکنیک GIS، کل محدوده پهنه‌بندی شد و نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مناطق کاملاً مناسب برای تغذیه مصنوعی آبخوان اغلب در نهشته‌های کواترنری Qt و واحدهای ژئومورفولوژیکی پدیمنتی و مخروط‌افکنه‌ای و مناطق با شیب کمتر از ۳ درصد واقع می‌شوند. همچنین نتایج حاصل حاکی از برآورده شدن همه معیارهای انتخابی در نواحی کاملاً مناسب و رضایت‌بخش بودن به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری ANP در تلفیق با GIS در ارزیابی سریع مناطق وسیع در زمینه انتخاب مکان‌های مناسب برای پخش سیلاب در تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها می‌باشد. Zakizadeh and Malekinezhad (2012) در تحقیقی سعی کردند با استفاده از GIS و مدل ریاضی بولین، مناسب‌ترین عرصه‌ها برای اجرای عملیات پخش سیلاب در حوزه آبخیز دشت ابراهیم‌آباد شهرستان مهریز را شناسایی نمایند. بدین منظور از داده‌های هفت پارامتر تأثیرگذار در محیط GIS استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برای مکان‌یابی پخش سیلاب، استفاده از منطق بولین دقیق نمی‌باشد. لذا یکی از مناسب‌ترین ابزارها، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره MADM در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. باید در نظر گرفت هر چه لایه‌های اطلاعاتی در داخل مدل افزایش یابد، دقت مدل نیز بیشتر خواهد شد.

بر این اساس، در اغلب مطالعات پیشین فرآیند انتخاب محل مناسب اجرای تغذیه مصنوعی آبخوان صرفاً برمبنای شاخص‌های فنی آن هم محدود به لایه‌های اطلاعاتی موجود در منطقه طرح بوده است و اثرگذاری سایر پارامترهای فنی نظیر امکان تملک زمین، حداقل مشکلات اجرایی، امکان کنترل سیلاب، عدم تعارض با طرح‌های توسعه‌ای در منطقه و سهولت دسترسی به منابع آب سطحی و نیز عوامل زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی، مد نظر قرار نگرفته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، تهیه مدلی جامع جهت اولویت‌بندی سناریوها در فرآیند مکان‌یابی مناطق مستعد پخش سیلاب جهت تغذیه مصنوعی آبخوان با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای ANP می‌باشد. به بیان دیگر، در این مرحله از تحقیق ضمن بهره‌گیری از نتایج مرحله قبلی، با استفاده از کلیه شاخص‌ها در قالب خوشه‌های فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، براساس روش ANP و در محیط نرم‌افزار SuperDecisions، عوامل تأثیرگذار بر نتیجه نهایی تصمیم و میزان حساسیت آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به این نکته که در مرحله اول تحقیق حاضر سناریوهای پیشنهادی براساس الگوی تلفیقی AHP و GIS اولویت‌بندی شده‌اند، در مقاله پیش‌رو نتایج دو روش AHP و ANP با جزئیات مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

۲- معرفی محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی خوی دارای آبخوانی به وسعت ۶۳۲/۸۱ کیلومترمربع است که در موقعیت جغرافیایی ′۱۵ و °۴۴ تا ′۱۲ و °۴۵ طول شرقی و ′۱۹ و °۳۸ تا ′۵۱ و °۳۸ عرض شمالی، در شمال استان

آذربایجان‌غربی واقع شده است. این منطقه یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز رودخانه ارس محسوب می‌شود (شکل ۱). خوی و فیرورق مهم‌ترین شهرهای واقع در این محدوده مطالعاتی هستند. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۱۵۰ متر بوده و براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه در گروه آب و هوایی نیمه‌خشک و براساس اقلیم‌نمای آمبرژه، از نوع خشک سرد محسوب می‌شود. میانگین بارندگی و تبخیر سالانه به‌ترتیب ۲۷۶/۷ و ۱۳۷۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد است. تغذیه منابع آب زیرزمینی از طریق بارش، آبیاری و توسط رودخانه‌های قطور، الند، قره‌سو و غازان‌چای و منابع آب زیرزمینی همجوار صورت می‌گیرد. براساس هیدروگراف واحد معرف آبخوان در درازمدت طی دوره ۲۵ ساله آبی از سال ۷۱-۷۰ لغایت ۹۵-۹۴، میزان افت این آبخوان ۶/۵ متر و افت متوسط سالانه ۰/۲۶ متر است. دشت خوی با توجه به افزایش بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی، فعالیت‌های کشاورزی و مصارف دیگر، بیلان منابع آبی منفی داشته و جزو دشت‌های ممنوعه کشور می‌باشد. مجموع پارامترهای تغذیه‌کننده آب زیرزمینی آبخوان خوی برابر ۳۱۶/۸۸ و مجموع عوامل تخلیه‌کننده ۳۲۵/۸۲ میلیون مترمکعب در سال بوده است. اضافه برداشت از مخزن آب زیرزمینی در این دوره برابر ۸/۹۴ میلیون مترمکعب به‌دست آمده است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- روند اجرای تحقیق

پژوهش حاضر با توجه به ماهیت و اهداف تحقیق از نوع تحقیقات کاربردی است و برحسب نحوه گردآوری داده‌ها، روش توصیفی تحلیلی و مقایسه تطبیقی و با استفاده از ابزار پرسش‌نامه و مشاهده (بهره‌گیری از داده‌های موجود از منطقه در قالب لایه‌های GIS - شاخص‌های ۱-۱ تا ۱-۴ مندرج در جدول ۱) می‌باشد. در زمینه جمع‌آوری اطلاعات نیز از منابع کتابخانه‌ای، اینترنت، مقالات، نشریات، مدارک و اسناد، پایان‌نامه‌ها و تحقیقات مرتبط با موضوع و همچنین از پرسش‌نامه به‌صورت ماتریس‌های زوجی استفاده شده است. در این پژوهش از نرم‌افزار SuperDecisions نسخه 2.4 جهت تحلیل و مدل‌سازی روش ANP و همچنین بسته MS Excel جهت تعیین آمارهای میانگین، انحراف از معیار و واریانس داده‌ها و نیز آماده‌سازی داده‌های مربوط به برخی از لایه‌های GIS، استفاده شده است.

به منظور تهیه مدل تصمیم‌ساز ANP، ابتدا معیارهای مختلف مطرح شده در تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار گرفت و پس از شناسایی معیارهای مستقل و تکمیل آن‌ها مطابق با نظرات کارشناسی، منطبق بر ماهیت داده‌ها، این معیارها در چهار خوشه اصلی ۱- فنی، ۲- زیست‌محیطی، ۳- اجتماعی و ۴- اقتصادی، دسته‌بندی شدند. در ادامه ساختار شبکه‌ای خوشه‌ها و عناصر موجود در هرکدام تهیه شد و ارتباطات موجود بین آن‌ها (داخلی بین عناصر یک خوشه، خارجی بین عناصر خوشه‌های مختلف، از بالا به پایین همانند روش AHP و از پایین به بالا که مختص روش ANP می‌باشد) تشکیل شد. فرآیند مربوط به مقایسات زوجی پس از طراحی و تکمیل پرسش‌نامه‌ها و تکمیل آن‌ها چه برمبنای تحلیل‌های GISای مرحله پیشین و چه توسط کارشناسان و متخصصین، پی‌گیری شد و کل مدل و اطلاعات مربوطه در محیط نرم‌افزار SuperDecisions وارد شده و تجزیه و تحلیل‌های متعاقب انجام شد. نتایج به‌صورت جدول سوپرماتریس وزن‌دهی نشده، سوپرماتریس وزن‌دار و سوپرماتریس حدی از نرم‌افزار فوق استخراج و ارائه شد. نهایتاً نتایج رتبه‌بندی و اولویت سناریوهای مطرح شده براساس روش ANP جهت تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب تعیین شد. نتایج مرحله اول تحقیق (اولویت‌بندی نتایج با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP) با نتایج مرحله دوم یعنی تحقیق حاضر (اولویت‌بندی براساس روش شبکه‌ای ANP) باهم مورد مقایسه قرار گرفته و برترین گزینه جهت اجرای پخش سیلاب در راستای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت خوی معرفی شد. سناریوهای پیشنهادی مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده و اطلاعات مربوطه در جدول ۲ آورده شده است.

فلوچارت مربوط به روند انجام تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، مرحله اول تحقیق (Phase I که با خط‌چین قرمز رنگ نشان داده شده است) به مکان‌یابی اولیه نقاط قابل قبول اجرای تغذیه مصنوعی براساس اطلاعات GISای موجود، طبقه‌بندی شاخص‌ها و تعیین وزن‌ها آن‌ها براساس روش AHP اختصاص داده شده و رتبه‌بندی سناریوهای خروجی از این مرحله، به کمک روش ANP در مرحله دوم، انجام شد.

۳-۲- فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

روش تحلیل شبکه‌ای که در سال ۱۹۹۶ توسط توماس ال. ساعتی[8] معرفی شده است، شکل کلی‌تر روش تحلیل سلسله مراتبی است (Saaty 1980, 1996, 2001). این روش یکی از بهترین و کامل‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP، هر موضوع و مسئله‌ای را به‌صورت شبکه‌ای از هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع‌بندی شده‌اند، در نظر می‌گیرد (Garcia melon, 2008). در صورت وجود ارتباط داخلی بین عناصر تشکیل‌دهنده ساختار شبکه، این روش پاسخ‌هایی به مراتب بهتر و دقیق‌تر از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره عرضه می‌کند.

Table 1- Unweighted Super Matrix (UWSM-part 1)

جدول ۱- سوپرماتریس وزن‌دهی نشده (بخش ۱)

		1-1			1-2								1-3			1-4	
		1-1-1	1-1-2	1-1-3	1-2-1	1-2-2	1-2-3	1-2-4	1-2-5	1-2-6	1-2-7	1-2-8	1-3-1	1-3-2	1-3-3	1-4-1	1-4-2
1-1-Sub-Criteria Hydrogeological	1-1-1- Thickness of Non-Saturated Alluvial Zone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-1-2- Aquifer Transfer Capability	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-1-3- Soil Texture and Surface Permeability	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2-Sub-Criteria Physical	1-2-1- Slope (Topography)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-2- Landuse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-3- Geomorphology	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-4- Geology	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-5- Distance from Waterways	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-6- Distance from Fault Zones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-7- Distance from Roads	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2-8- Distance from Wells, Springs, and Aqueducts	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-3-Sub-Criteria Climatic	1-3-1- Precipitation Rate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-3-2- Evapotranspiration Rate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-3-3- Average Temperature	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-4-Sub-Criteria Hydrological	1-4-1- Groundwater Quality (EC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-4-2- Groundwater Gradient	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1-Technical Criteria	1-1- Hydrogeological Properties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-2- Physical Properties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-3- Climatic Properties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-4- Hydrological properties	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-5- Land Acquisition	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-6- Min. Executive Issues	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-7- Flood Control	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-8- No conflict with Regional Development Plans	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1-9- Available Water Resources	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2-Environmental Criteria	2-1- Soil Erosion Potential	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-2- Effects on Protected Areas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-3- Effect on Vegetation of the Region	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-4- Effects on Wildlife	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-5- Effects on Habitats	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-6- Revitalization of Groundwater Resources with Critical Decline	1.000	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-7- Effects on the Quality of Water Resources in the Region	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-8- Effects on Existing Environmental Rights	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-Social Criteria	3-1- Acceptance of the Plan among the People	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-2- Development and Prosperity of the Agricultural Sector in the Region	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-3- Development of the Potential of Tourism in the Region	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-4- Reducing Tensions Associated with Water Exploitation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3-5- Increasing Public Awareness about Water Resource Crisis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-Economic Criteria	4-1- Design and Engineering Costs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4-2- Construction Costs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4-3- Operating and Maintenance Costs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4-4- Effects on Economic Development of the Region	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5-Alternatives	5-1 - Scenario 1	0.113	0.157	0.121	0.154	0.159	0.048	0.235	0.068	0.095	0.111	0.121	0.143	0.141	0.169	0.128	0.424
	5-2 - Scenario 2	0.249	0.160	0.182	0.066	0.205	0.238	0.088	0.091	0.048	0.222	0.182	0.154	0.151	0.174	0.189	0.157
	5-3 - Scenario 3	0.219	0.253	0.212	0.278	0.114	0.190	0.235	0.091	0.143	0.222	0.091	0.170	0.159	0.161	0.219	0.046
	5-4 - Scenario 4	0.196	0.087	0.242	0.185	0.114	0.143	0.147	0.273	0.190	0.111	0.152	0.177	0.178	0.165	0.198	0.035
	5-5 - Scenario 5	0.103	0.164	0.091	0.214	0.227	0.286	0.118	0.227	0.238	0.222	0.242	0.170	0.192	0.167	0.111	0.164
	5-6 - Scenario 6	0.120	0.179	0.152	0.103	0.182	0.095	0.176	0.250	0.286	0.111	0.212	0.186	0.180	0.165	0.155	0.173

Table 1- Unweighted Super Matrix (UWSM-part 2)

جدول ۱- سوپرماتریس وزن‌دهی نشده (بخش ۲)

		1									2								3					4				5					
		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	4-1	4-2	4-3	4-4	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
1-1	1-1-1	0.413	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.614	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.400	0.357	0.421	0.444	0.364	0.333
	1-1-2	0.327	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.429	0.211	0.222	0.364	0.389
	1-1-3	0.260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.267	0.214	0.368	0.333	0.273	0.278
1-2	1-2-1	0	0.305	0	0	0	0	0	0	0	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0	0	0	0.167	0.250	0.200	0	0.136	0.083	0.160	0.135	0.150	0.107
	1-2-2	0	0.211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0	0.250	0	0.083	0.200	0	0.136	0.167	0.080	0.077	0.150	0.125
	1-2-3	0	0.098	0	0	0	0	0	0	0	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.167	0.167	0.200	0	0.114	0.167	0.120	0.115	0.150	0.125
	1-2-4	0	0.078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.167	0	0	0.182	0.111	0.160	0.135	0.100	0.125
	1-2-5	0	0.210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.333	0	0	0.167	0.083	0.200	0	0.091	0.083	0.120	0.154	0.100	0.143
	1-2-6	0	0.043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.083	0	0	0.091	0.083	0.120	0.135	0.100	0.143
	1-2-7	0	0.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	0.333	0	0.750	0	0.083	0.200	0	0.114	0.167	0.120	0.135	0.100	0.107
	1-2-8	0	0.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0	0	0	0	0.083	0	0	0.136	0.139	0.120	0.115	0.150	0.125
1-3	1-3-1	0	0	0.550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300	0.250	0.333	0.333	0.286	0.348
	1-3-2	0	0	0.240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300	0.333	0.333	0.381	0.381	0.348
	1-3-3	0	0	0.210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.400	0.417	0.333	0.286	0.333	0.304
1-4	1-4-1	0	0	0	0.667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.429	0.800	0.800	0.250	0.400
	1-4-2	0	0	0	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.667	0.571	0.200	0.200	0.750	0.600
1	1-1	0	0	0	0	0	0	0.111	0	0.143	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.115	0.131	0.111	0.085	0.077
	1-2	0	0	0	0	0	0.263	0.444	0	0.357	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.115	0.115	0.111	0.136	0.077
	1-3	0	0	0	0	0	0.211	0.333	0	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.098	0.115	0.111	0.102	0.154
	1-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.098	0.098	0.095	0.085	0.077
	1-5	0	0	0	0	0	0.158	0.111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.138	0.131	0.098	0.079	0.136	0.115
	1-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.082	0.131	0.127	0.136	0.077
	1-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.429	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.115	0.131	0.127	0.085	0.115
	1-8	0	0	0	0	0	0.158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.138	0.115	0.066	0.111	0.102	0.154
	1-9	0	0	0	0	0	0.211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.571	0	0	0	0	0	0	0	0.103	0.131	0.115	0.127	0.136	0.154
2	2-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.176	0	0	0	0.136	0.364	0.042	0	0.048	0	0	0	0	0.105	0.108	0.150	0.192	0.133	0.133
	2-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.167	0	0.119	0	0	0	0	0.053	0.054	0.050	0.077	0.067	0.044
	2-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.429	0.235	0	0	0	0.136	0	0.167	0	0.119	0	0	0	0	0.105	0.108	0.150	0.192	0.133	0.133
	2-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.235	0	0	0	0.136	0	0.167	0	0.119	0	0	0	0	0.053	0.054	0.050	0.077	0.067	0.044
	2-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.429	0	0	0	0	0.136	0	0.167	0	0.119	0	0	0	0	0.053	0.054	0.050	0.077	0.067	0.044
	2-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.182	0.364	0.125	0.600	0.190	0	0	0	0	0.316	0.297	0.200	0.077	0.200	0.244
	2-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.143	0.147	0	0	0	0.159	0.182	0.167	0	0.143	0	0	0	0	0.158	0.162	0.175	0.154	0.167	0.178
	2-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.206	0	0	0	0.114	0.091	0	0.400	0.143	0	0	0	0	0.158	0.162	0.175	0.154	0.167	0.178
3	3-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	0.111	0.143	0.143	0.273	0.143
	3-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	0.667	0.667	0.667	0	0	0	0.182	0	0	0.500	0	0	0	0	0.75	0.300	0.111	0.286	0.286	0.091	0.286
	3-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.200	0.333	0.333	0.333	0	0	0	0.182	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.200	0.333	0.143	0.143	0.273	0.143
	3-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.273	0	0	0	0	0	0	0	0	0.300	0.111	0.286	0.286	0.091	0.286
	3-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.200	0	0	0	0	0	0	0.364	0	0	0.500	0	0	0	0	0	0.100	0.333	0.143	0.143	0.273	0.143
4	4-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
	4-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
	4-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
	4-4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250
5	5-1	0	0	0	0	0.217	0.087	0.056	0.278	0.053	0.077	0.167	0.111	0.167	0.111	0.300	0.167	0.167	0.125	0.188	0.105	0.188	0.105	0.158	0.158	0.133	0.188	0	0	0	0	0	0
	5-2	0	0	0	0	0.261	0.217	0.056	0.278	0.105	0.077	0.167	0.111	0.167	0.111	0.240	0.167	0.167	0.175	0.125	0.158	0.125	0.158	0.105	0.105	0.200	0.125	0	0	0	0	0	0
	5-3	0	0	0	0	0.130	0.217	0.278	0.056	0.105	0.346	0.167	0.333	0.167	0.333	0.120	0.167	0.167	0.150	0.250	0.211	0.250	0.211	0.211	0.211	0.200	0.250	0	0	0	0	0	0
	5-4	0	0	0	0	0.130	0.174	0.278	0.056	0.316	0.231	0.167	0.222	0.167	0.222	0.020	0.167	0.167	0.150	0.313	0.211	0.313	0.211	0.211	0.211	0.133	0.313	0	0	0	0	0	0
	5-5	0	0	0	0	0.174	0.217	0.167	0.167	0.211	0.192	0.167	0.111	0.167	0.111	0.060	0.167	0.167	0.200	0.063	0.158	0.063	0.158	0.184	0.184	0.200	0.063	0	0	0	0	0	0
	5-6	0	0	0	0	0.087	0.087	0.167	0.167	0.211	0.077	0.167	0.111	0.167	0.111	0.260	0.167	0.167	0.200	0.063	0.158	0.063	0.158	0.132	0.132	0.133	0.063	0	0	0	0	0	0

فرآیند تحلیل شبکه‌ای، روش جامع و قدرتمندی را برای تصمیم‌گیری دقیق با استفاده از اطلاعات تجربی و قضاوت‌های شخصی هر تصمیم‌گیرنده در اختیار نهاده و با فراهم کردن ساختاری برای سازمان‌دهی معیارهای متفاوت و ارزیابی اهمیت و ارجحیت هر یک از آن‌ها نسبت به گزینه‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری را تسهیل خواهد کرد (Ataei, 2016). روش تحلیل شبکه‌ای به تصمیم‌گیرنده اجازه ساخت یک شبکه به جای سلسله مراتب را می‌دهد. این امر امکان بررسی ارتباط داخلی بین عناصر را نیز ممکن می‌سازد. گره‌های موجود در این شبکه، معادل با معیارها یا گزینه‌ها می‌باشند و شاخه‌هایی که این گره‌ها را به هم متصل می‌کنند نیز معادل با درجه وابستگی آن‌ها به همدیگر می‌باشند. در واقع روش تحلیل شبکه تعمیمی از روش سلسله مراتب است و ساختار اساسی یک شبکه از تأثیر خوشه‌ها و گره‌هایی که در خوشه‌ها قرار دارند، تشکیل شده است. ارجحیت‌ها هم مانند روش سلسله مراتب با مقایسات زوجی تعیین می‌گردند.

تعیین روابط موجود در ساختار شبکه‌ای یا تعیین درجه وابستگی‌های متقابل بین معیارها با هم و گزینه‌ها، مهم‌ترین بخش در روش تحلیل شبکه است. ارتباط و وابستگی می‌تواند به شکل ارتباط سطوح مختلف شبکه به‌صورت خارجی یا داخلی باشد. اهمیت نسبی هر عضو از مجموعه در سطح مربوط به خود، مشابه روش تحلیل سلسله مراتبی به کمک مجموعه‌ای از مقایسه‌های زوجی تعیین می‌شود. در روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار سلسله مراتبی باید از بالا به پایین و به‌صورت خطی باشد (Asgharpour, 2015). چنان‌چه وابستگی‌ها دوطرفه بوده یعنی وزن معیارها به وزن گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها به وزن معیارها وابسته باشد، مسأله دیگر از حالت سلسله مراتبی خارج شده و تشکیل یک شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم با بازخورد[9] را می‌دهد که در این صورت برای محاسبه وزن عناصر نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله مراتبی استفاده کرد.

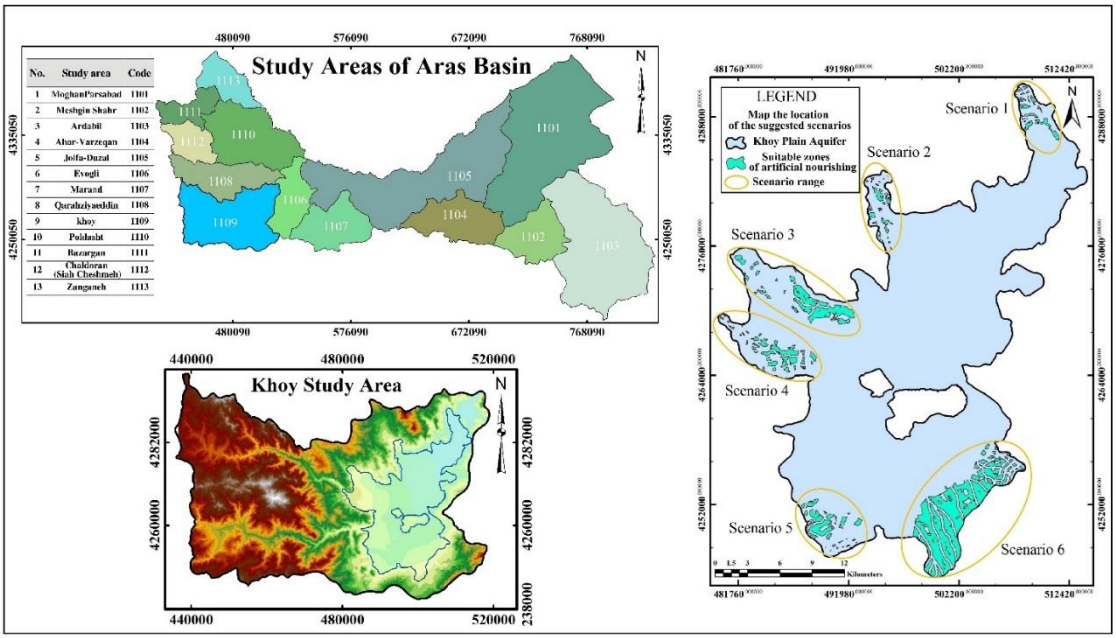


Fig. 1- The geographical location of the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Table 2- Information of the Proposed Scenarios

جدول ۲- اطلاعات مربوط به سناریوهای پیشنهادی

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Total Area of the Scenario (ha)	215	195	782	470	465	2,900
Average slope of topography (%)	1.85	3.81	1.37	1.56	1.48	2.83
Average Groundwater Gradient (%)	0.17	0.46	1.54	2.10	0.43	0.41
Average Thickness of Non- Saturated Alluvial Zone (m)	34	75	67	59	31	36
Average Electrical Conductivity (µSiemens/cm)	1,800	1,230	1,140	1,170	2,080	1,485
Average Aquifer Transmissivity (m^2/day)	990	1,010	1,600	550	1,035	1,130

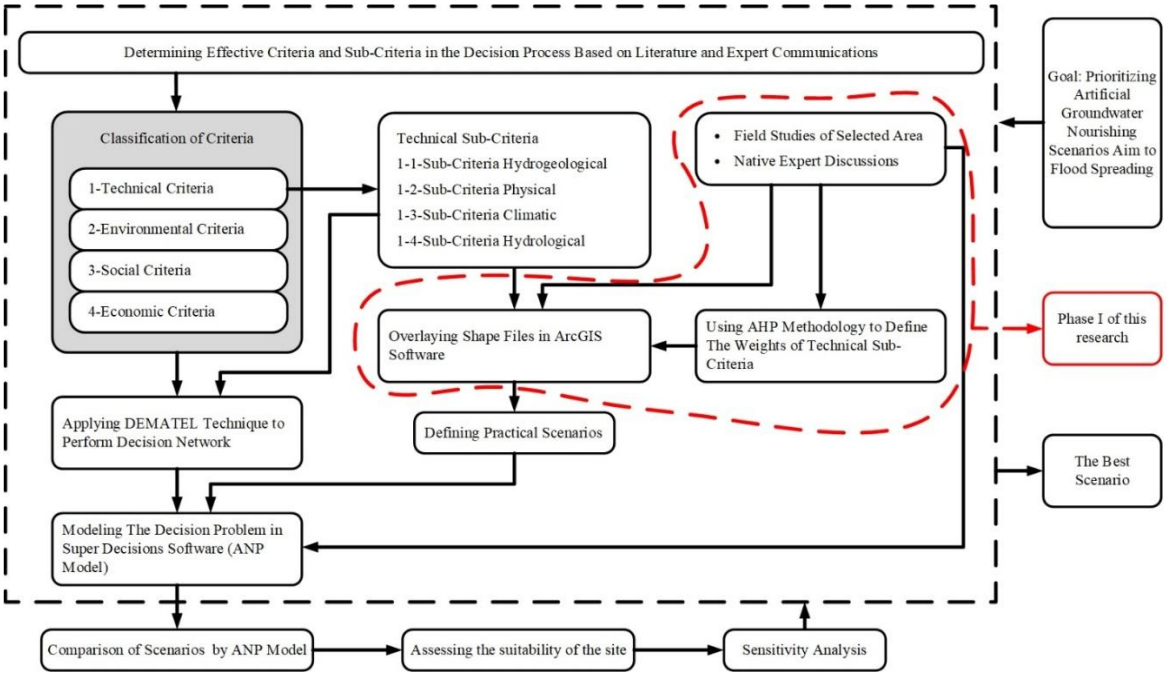


Fig. 2- The flowchart of process of conducting the research

شکل ۲- فلوچارت روند انجام تحقیق

در این حالت برای محاسبه وزن عناصر باید از تئوری شبکه‌ها استفاده نمود. تفاوت ماهوی میان یک ساختار سلسله مراتبی و یک ساختار شبکه‌ای در شکل ۳ نشان داده شده است. در توضیح لازم به‌ذکر است ساده‌ترین شبکه از تعدادی خوشه[۱۰] به همراه عناصر درون آن‌ها ساخته می‌شود. در مواردی که عناصر یک خوشه روی همه یا برخی از عناصر خوشه دیگر اثر گذارد یا از آن‌ها اثر پذیرد، ارتباطی بین دو خوشه ایجاد می‌شود که وابستگی بیرونی نام دارد. اگر عناصر یک خوشه روی برخی یا همه عناصر خوشه خودشان اثرگذار باشند، این ارتباط وابستگی درونی نام‌گذاری می‌شود. در شکل ۳ یالی که خوشه Cluster3 را به Cluster1 متصل کرده است بیانگر ارتباط بیرونی دوطرفه و حلقه‌ای که Cluster2 را به خودش متصل کرده است، بیانگر ارتباط درونی می‌باشد (Saaty, 2006). مراحل روش تحلیل شبکه‌ای به شرح زیر می‌باشد.

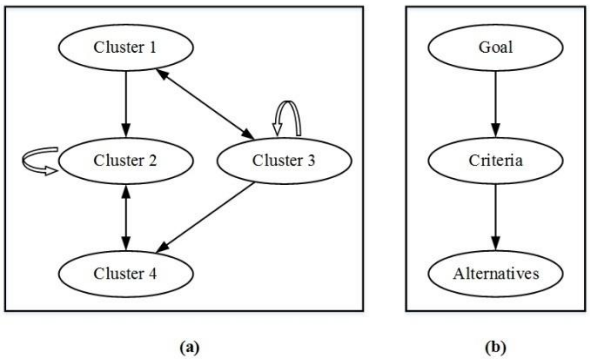


Fig. 3- Structure of a network (a) and a hierarchy (b) in decision-making process (Chung et al. 2005)

شکل ۳- ساختار شبکه‌ای (a) و سلسله مراتبی (b) در فرآیند تصمیم‌گیری (Chung et al. 2005)

۳-۲-۱- پیکربندی مدل و ساختار شبکه‌ای مسأله

مسأله مورد بررسی باید به شکل روشن تعریف شده و سپس اجزای آن در ساختاری منطقی و منظم به‌صورت شبکه‌ای با ارتباط‌های منطقی، تقسیم‌بندی شوند. این ساختار شبکه‌ای می‌تواند توسط تصمیم‌گیران و متخصصین که بر سیستم آگاهی دارند و از طریق روش‌هایی همچون بارش مغزی[۱۱] تعیین شود (Karimian and Haleh, 2010). نمونه‌ای از شبکه تصمیم مورد عمل در مقاله حاضر در جدول ۲ آورده شده است.

پیش از شروع تحلیل‌های مبتنی بر روش ANP، لازم است ارتباطات بین خوشه‌ها مورد بررسی دقیق قرار گرفته و ارتباطات ضعیف موجود در شبکه حذف گردند. همچنین در صورتی‌که ارتباط بین عناصر دو خوشه سهواً در شبکه تصمیم مدنظر قرار نگرفته باشد، می‌بایست به طریقی مشخص شده و وارد مدل شود. روش دیمتل[۱۲] روشی جامع براساس نظریه گراف‌ها ارائه می‌دهد و این امکان را فراهم می‌سازد تا مسائل و مدل‌های ساختاری را به‌صورت بصری تجزیه و تحلیل کرد. از آن‌جا که دیاگراف‌ها (گراف‌های جهت‌دار)، روابط و وابستگی میان عناصر یک سیستم را به تصویر می‌کشد، لذا دیمتل نیز مبتنی بر نمودارهایی است که می‌تواند عوامل درگیر را به دو گروه علت و معلول

تقسیم و روابط میان آن‌ها را به‌صورت یک مدل ساختاری قابل فهم بیان کند. روش دیمتل با بهره‌گیری از قضاوت‌های خبرگان در استخراج عوامل مؤثر در یک سیستم و ساختاردهی سیستماتیک به آن‌ها، از اصول نظریه گراف استفاده نموده و شبکه‌ای از عوامل موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد. علاوه بر آن در این روش روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل عناصر مشخص گردیده و شدت اثر این روابط به‌صورت امتیاز عددی بیان می‌شود. در ادامه روند محاسبات در روش دیمتل آورده شده است (Tzeng and Huang, 2011).

الف) محاسبه ماتریس متوسط

در صورت استفاده از h نفر کارشناس خبره جهت مشخص نمودن رابطه بین معیارها (n معیار)، هر کدام از ایشان یک ماتریس n×n از مقایسات زوجی را تهیه خواهند نمود. اگر این ماتریس را $x^{(k)}$ بنامیم، بنابراین با مجموعه‌ای از ماتریس‌های $x^{(1)},x^{(2)},\ldots,x^{(k)},\ldots,x^{(h)}$ مواجه خواهیم بود. هر کدام از درآیه‌های ماتریس $x^{(k)}$ را به‌صورت $x_{ij}^{(k)}$ نشان می‌دهیم. عناصر روی قطر اصلی این ماتریس‌ها صفر بوده و عموماً در ساخت آن از مقیاس صفر تا ۵ استفاده می‌کنند که عدد بالاتر بیانگر اثر بیشتر سطر بر ستون می‌باشد. ماتریس متوسط A به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد که در آن a_{ij} درآیه سطر i ام و ستون j ام از از ماتریس متوسط A می‌باشد.

$$A=[a_{ij}] \quad ; \quad a_{ij}=\frac{1}{h}\sum_{k=1}^{h} x_{ij}^{(k)} \qquad (۱)$$

ب) محاسبه ماتریس اولیه اثرات مستقیم نرمال شده

در این مرحله ماتریس D مطابق با رابطه ۲ محاسبه خواهد شد. در این ماتریس، هر عنصر d_{ij} بیانگر اثر مستقیم فاکتور (یا خوشه) x_i بر فاکتور x_j می‌باشد.

$$D = S\times A \quad ;$$
$$S = \min\left\{\frac{1}{\max_{1<i<n}\sum_{j=1}^{n}|a_{ij}|}, \frac{1}{\max_{1<j<n}\sum_{i=1}^{n}|a_{ij}|}\right\} \qquad (۲)$$

ج) محاسبه ماتریس ارتباطات نهایی

با به توان رساندن ماتریس D، به تدریج اثرات غیرمستقیم موجود در مسئله کم‌رنگ‌تر خواهند شد (کاهش تدریجی و ادامه‌دار اثرات غیرمستقیم مسائل طی توان‌های متوالی D یعنی D^2، D^3 و ... D^∞، به اثبات رسیده است (Tzeng and Huang, 2011)). بنابراین هر عنصر ماتریس ارتباطات نهایی T (یا t_{ij}) بیانگر کلیه اثرات مستقیم و غیرمستقیم صادر شده از فاکتور x_i بر فاکتور x_j خواهد بود.

$$\lim_{n\to\infty} D^m = [0]_{n\times n} \quad , \quad T=[t_{ij}] = \sum_{m=1}^{\infty} D^m = D(1-D)^{-1} \qquad (۳)$$

د) تعیین حد آستانه و تولید دیاگراف آثار

به‌منظور تبیین ارتباطات ساختاری بین فاکتورها در شرایطی که بخواهیم پیچیدگی سیستم را در حدود قابل قبول حفظ نماییم، لازم است مقدار حد آستانه تعیین گردد. بدین ترتیب می‌توان اثرات قابل صرف‌نظر کردن را در ماتریس T حذف نمود. بنابراین تنها آن دسته از اثرات که مقداری بالاتر از حد آستانه دارند، در نقشه ارتباطات وارد می‌شود. اگر حد آستانه بسیار پایین در نظر گرفته شود، نقشه مذکور بسیار پیچیده خواهد بود. علاوه بر آن، در شرایطی که حد آستانه بسیار دست بالا در نظر گرفته شود، بسیاری از فاکتورها حالت عدم ارتباط با سایرین را نشان خواهند داد و لذا هیچ ارتباط مستقیمی نخواهند داشت. نحوه تعیین حد آستانه در ادبیات فنی موضوع، استعلام از افراد خبره، بهره‌گیری از مقادیر پیشنهادی در سایر تحقیقات، استفاده از روش بارش مغزی، maximum mean deentropy (MMDE)، متوسط عناصر ماتریس T و حداکثر مقدار عناصر روی قطر اصلی ماتریس T، ذکر شده است (Si et al., 2018) که در تحقیق حاضر از متوسط عناصر ماتریس T بدین منظور استفاده شد.

۳-۲-۲- تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و تعیین بردارهای ارجحیت

مشابه روش تحلیل سلسله مراتبی، عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه به نسبت اهمیت‌شان نسبت به یک عامل کنترلی به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، همچنین خوشه‌ها نیز به نسبت میزان اهمیت آن‌ها در برآورده شدن هدف، با یکدیگر مقایسه خواهند گردید (Karimian and Haleh, 2010)، میزان اهمیت و ارجحیت معیارها و زیرمعیارها، با توجه به معیار کنترل و تعریف ساعتی در بازه ۱ الی ۹ توسط کارشناسان و متخصصین مورد سنجش قرار می‌گیرد. به‌طوری که عدد ۱ مشخص‌کننده اهمیت مساوی بین دو عنصر بوده و عدد ۹ اهمیت فوق‌العاده بیشتر یک عنصر در برابر عنصر دیگر را نشان می‌دهد. مقادیر متقابل نیز در مقایسات معکوس در نظر گرفته می‌شوند. لازم به‌ذکر است در مواردی که مقدار عددی کسب شده توسط گزینه‌ها از نقطه نظر یک شاخص معلوم باشد (نظیر ضخامت ناحیه غیراشباع سناریوها در این تحقیق)، می‌توان به‌راحتی مقایسات سناریوها را به‌صورت عدد کسری حاصل از تقسیم مقادیر موجود، در مدل وارد نمود.

پس از انجام کلیه مقایسات زوجی، به‌منظور بررسی سازگاری و خصوصاً قابل اعتمادبودن نظرات کارشناسی درج شده در مدل، ضریب ناسازگاری (I.R.)[۱۳] هر کدام از ماتریس‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. براساس پیشنهاد ساعتی، در صورتی که این ضریب کوچکتر از

۰/۱ باشد، سازگاری قضاوت‌ها مورد قبول است و در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر نمود. پس از کسب اطمینان از سازگار بودن قضاوت‌ها، وزن‌های عناصر مدل به‌دست خواهند آمد. برای محاسبه نرخ ناسازگاری (I.R) از دو پارامتر شاخص ناسازگاری (I.I.) و شاخص ناسازگاری تصادفی (R.I.I.) استفاده می‌شود. شاخص ناسازگاری از روابط (۴) و (۵) به‌دست می‌آید (Ataei, 2016; Marinoni, 2004):

$$I.I. = \frac{\lambda max - n}{n-1} \quad (۴)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{R.I.I.} \quad (۵)$$

که در آن λmax مقدار ویژه حداکثر ماتریس مقایسات زوجی مورد بررسی و n بُعد ماتریس یا تعداد گزینه‌ها/معیارها می‌باشد. محققین مقادیر شاخص ناسازگاری (I.I.) را برای ماتریس‌هایی که اعداد آن‌ها کاملاً تصادفی اختیار شده باشند، محاسبه نموده و تحت عنوان شاخص ناسازگاری تصادفی (R.I.I.) در جداولی ارائه نموده‌اند (Ataei, 2016; Marinoni, 2004). برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی، نرخ ناسازگاری (I.R)[۷] نامیده می‌شود که معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد (رابطه ۵).

به‌طور کلی، یک ماتریس مقایسه زوجی به شکل $A=[a_{ij}]_{n\times n}$ نشان داده می‌شود که در آن منظور از a_{ij}، اهمیت نسبی مؤلفه (شاخص یا گزینه) در سطر iام نسبت به ستون jام است. در این شرایط وزن عناصر ($W=[W_j]_{n\times 1}$) را می‌توان به‌کمک یکی از روش‌های بردار ویژه، روش پیشنهادی ساعتی، کمترین مربعات وزین شده، حداقل مربعات لگاریتمی، یا روش‌های تقریبی، محاسبه نمود (Ataei, 2016). البته در حالتی که ماتریس مقایسات زوجی سازگار باشد، محاسبه وزن‌ها از طریق نرمالیزه کردن عناصر هر ستون به سادگی قابل محاسبه خواهد بود.

۳-۲-۳- تشکیل سوپرماتریس وزن‌دهی نشده

وزن‌های محاسبه شده در مرحله قبل در قالب یک ماتریس بزرگ (سوپرماتریس وزن دهی نشده[۱۴]) مرتب می‌شوند (UWSM). شکل عمومی یک سوپرماتریس استاندارد در جدول ۳ نشان داده شده است (جهت تسهیل درک روابط موجود بین درآیه‌های مختلف سوپرماتریس، در این شکل نمای کلی از سوپرماتریس مورد عمل در تحقیق حاضر آورده شده است). اگر دسته i تأثیری بر دسته j نداشته باشد، آن‌گاه مقدار W_{ij} مساوی با صفر خواهد بود.

که در آن به‌عنوان مثال منظور از W_{kk}; k=1,2,3, … 9، ماتریس وزن‌های اکتسابی ناشی از ارتباطات داخلی خوشه‌ها می‌باشد (به‌عنوان نمونه $W_{5,5}$ بیانگر ارتباط شماره ۲۹ در شکل ۴ می‌باشد). به‌طور کلی در جدول ۳ منظور از $W_{K,L}$(K,L = 1,2, …,9 ; K≠L)، ماتریس وزن‌ها اکتسابی عناصر خوشه K از نقطه نظر هرکدام از عناصر خوشه L است (هرکدام از ستون‌های این ماتریس وزن حاصل از یک ماتریس مربعی مقایسات زوجی است). طوری‌که وزن عناصر خوشه زیست‌محیطی از منظر هرکدام از عناصر زیرخوشه ۱-۲- معیارهای فنی- فیزیکی (ارتباط شماره ۱۴ در شکل ۴) تحت عنوان $W_{6,2}$ آورده می‌شود. ردیف آخر در این شکل یعنی $W_{9,K}$ (K=1,2, … , 8) در واقع بیانگر وزن سناریوها از نقطه نظر خوشه‌ها و زیرخوشه‌های دخیل در امر تصمیم‌گیری می‌باشد (مشابه فرآیند AHP) و برعکس، ستون آخر سوپر ماتریس یعنی $W_{K,9}$ (K=1,2, … , 8) نیز ارتباطات معکوس (از پایین به بالا) سناریوها و خوشه‌ها را نشان می‌دهد (اثرگذاری سناریو بر وزن هر کدام از شاخص‌ها).

۳-۲-۴- تشکیل سوپرماتریس وزن‌دار شده

پس از محاسبه سوپرماتریس وزن‌دهی‌نشده، با ضرب نظیر به نظیر درآیه‌های آن در وزن هر کدام از خوشه‌ها (مطابق با ماتریس مقایسات زوجی تکمیل شده توسط متخصصان، متوسط وزن خوشه‌های فنی به‌همراه کلیه زیرمعیارهای آن، زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی به ترتیب معادل ۰/۳۷۵۰، ۰/۱۸۷۵، ۰/۱۲۵۰ و ۰/۳۱۲۵ می‌باشد)، سوپرماتریس وزن‌دارشده (WSM)[۱۵] تشکیل می‌شود. در این مرحله این ماتریس نرمال‌سازی می‌گردد، به‌طوری که، ستون‌های آن از بردارهای ویژه‌ای تشکیل می‌گردند که جمع هر یک از بردارها برابر واحد است. این فرآیند شبیه به زنجیره مارکوف است که در آن، جمع احتمالی تمام وضعیت‌ها برابر یک است (Saaty, 2005). ماتریس جدید، سوپرماتریس وزن‌دار شده یا ماتریس استوکاستیک نامیده می‌شود.

۳-۲-۵- محاسبه سوپرماتریس حدی

برای این منظور سوپرماتریس وزن‌دهی شده (WSM) مرحله قبل به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس به سمت عناصر یک بردار همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند (رابطه ۶). در این صورت سوپرماتریس حدی[۱۶] حاصل می‌گردد.

$$W = \lim_{k\to\infty}(WSM)^k \quad (۶)$$

۳-۲-۶- تعیین گزینه برتر

در آخرین مرحله با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپرماتریس حدی، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود. در این مرحله براساس وزن‌های به‌دست آمده از مرحله قبل، گزینه برتر تعیین خواهد شد.

۴- نتایج و تحلیل نتایج

۴-۱- الگوریتم ANP در مدل مکان‌یابی تغذیه مصنـــوعی جهت اولویت‌بندی سناریوهای پخش سیلاب

پس از تعیین معیارها و شاخص‌ها به‌منظور مکان‌یابی و اولویت‌بندی سناریوهای پیشنهادی (مطابق شکل ۱ و جدول ۲)، ضرایب اهمیت هر کدام از آن‌ها می‌بایست استخراج گردد. برای این منظور ابتدا لازم است تا ساختار مدل پیشنهادی ترسیم شود. در این پژوهش معیارها در چهار خوشه فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دسته‌بندی شده‌اند. در هر خوشه دسته‌ای از عناصر تأثیرگذار قرار دارند، به‌طوری که علاوه بر ارتباطات خارجی بین خوشه‌ها، ارتباط و وابستگی درونی خوشه‌ها نیز وجود دارد. در جدول ۴ ماتریس متوسط و ماتریس ارتباطات نهایی (به‌صورت سلول‌های رنگ شده روی ماتریس متوسط)، مورد بحث در روش دیمتل، آورده شده است. روند کار بدین صورت بوده است که پس از نظرسنجی از مجموعه کارشناسان شامل ۱۰ نفر از متخصصین مدیریت منابع آب در شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان‌غربی، ۵ نفر از کارشناسان محیط‌زیست از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان آذربایجان‌غربی، ۵ نفر از اساتید دانشگاهی و ۵ نفر از افراد شاغل در این زمینه و همچنین متخصصین GIS، نقطه نظرات طبق رابطه ۱ تجمیع گردید و پس از آن سایر مراحل روش دیمتل پی‌گیری شد. مقدار عددی حد آستانه معادل متوسط درآیه‌های ماتریس T در نظر گرفته شد (۰/۰۷۷۸). در جدول ۴ پس از تشکیل ماتریس ارتباطات نهایی و با در نظر گرفتن حد آستانه، ارتباطات نهایی به‌صورت سلول‌های رنگ شده مشخص شده است. لازم به‌ذکر است همین روند به‌منظور تعیین وجود بازخورد در خوشه‌ها انجام شد. مدل کلی و روابط بین مؤلفه‌ها در شکل ۴ و مدل ساختار شبکه‌ای با جزئیات کامل در محیط نرم‌افزار SuperDecisions در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، شبکه دارای سه بازخورد (ارتبـــاط درونـــی) در خـــوشـــه‌های ۱- فنـــی (ارتباط شماره ۲۹)، ۲- زیست‌محیطی (ارتباط ۳۰) و ۳- اجتماعی (ارتباط ۳۱) می‌باشد.

Table 3- The structure of a super matrix (Similar to that used in this research)
جدول ۳- ساختار یک سوپرماتریس (مشابه آن‌چه در این تحقیق موردعمل بوده است)

		1-1			1-2			1-3			1-4		1			2			3			4			5		
		1-1-1	…	1-1-3	1-2-1	…	1-2-8	1-3-1	…	1-3-3	1-4-1	1-4-2	1-1	…	1-9	2-1	…	2-8	3-1	…	3-5	4-1	…	4-4	5-1	…	5-6
1-1-Sub-Criteria: Hydrogeological	1-1-1 … 1-1-3	$W_{1,1}$			$W_{1,2}$			$W_{1,3}$			$W_{1,4}$		$W_{1,5}$			$W_{1,6}$			$W_{1,7}$			$W_{1,8}$			$W_{1,9}$		
1-2-Sub-Criteria: Physical	1-2-1 … 1-2-8	$W_{2,1}$			$W_{2,2}$			$W_{2,3}$			$W_{2,4}$		$W_{2,5}$			$W_{2,6}$			$W_{2,7}$			$W_{2,8}$			$W_{2,9}$		
1-3-Sub-Criteria: Climatic	1-3-1 … 1-3-3	$W_{3,1}$			$W_{3,2}$			$W_{3,3}$			$W_{3,4}$		$W_{3,5}$			$W_{3,6}$			$W_{3,7}$			$W_{3,8}$			$W_{3,9}$		
1-4-Sub-Criteria: Hydrological	1-4-1 1-4-2	$W_{4,1}$			$W_{4,2}$			$W_{4,3}$			$W_{4,4}$		$W_{4,5}$			$W_{4,6}$			$W_{4,7}$			$W_{4,8}$			$W_{4,9}$		
1-Technical Criteria	1-1 … 1-9	$W_{5,1}$			$W_{5,2}$			$W_{5,3}$			$W_{5,4}$		$W_{5,5}$			$W_{5,6}$			$W_{5,7}$			$W_{5,8}$			$W_{5,9}$		
2-Environmental Criteria	2-1 … 2-8	$W_{6,1}$			$W_{6,2}$			$W_{6,3}$			$W_{6,4}$		$W_{6,5}$			$W_{6,6}$			$W_{6,7}$			$W_{6,8}$			$W_{6,9}$		
3-Social Criteria	3-1 … 3-5	$W_{7,1}$			$W_{7,2}$			$W_{7,3}$			$W_{7,4}$		$W_{7,5}$			$W_{7,6}$			$W_{7,7}$			$W_{7,8}$			$W_{7,9}$		
4-Economic Criteria	4-1 … 4-4	$W_{8,1}$			$W_{8,2}$			$W_{8,3}$			$W_{8,4}$		$W_{8,5}$			$W_{8,6}$			$W_{8,7}$			$W_{8,8}$			$W_{8,9}$		
5-Alternatives	5-1 … 5-6	$W_{9,1}$			$W_{9,2}$			$W_{9,3}$			$W_{9,4}$		$W_{9,5}$			$W_{9,6}$			$W_{9,7}$			$W_{9,8}$			$W_{9,9}$		

Table 4- Average and full direct/indirect influence matrix

جدول ۴- ماتریس متوسط و ماتریس ارتباطات نهایی (به‌صورت هاشور خورده روی ماتریس متوسط)

	1-1	1-2	1-3	1-4	1	2	3	4	5
1-1-Sub-Criteria Hydrogeological	0	0	0	1.8	0	0	0	0.9	4.9
1-2-Sub-Criteria Physical	0	0	0	0.9	0	1.7	0	1.2	4.5
1-3-Sub-Criteria Climatic	0	0	0	1.1	0	0	0	1.1	4.7
1-4-Sub-Criteria Hydrological	0	0	0	0	0	0	0	0.2	4.6
1-Technical Criteria	4.8	3.9	3.7	3.1	0	0	0	0	5.0
2-Environmental Criteria	3.3	3.1	0	0	0	0	3.7	0	5.0
3-Social Criteria	0	3.9	0	0	3.1	4.2	0	0	4.6
4-Economic Criteria	0	4.2	0	0	0	0	3.5	0	4.8
5-Alternatives	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.5	4.2	4.7	0

در فرآیند مقایسه خوشه‌ها، یک خوشه به‌عنوان خوشه اصلی انتخاب شده و ارجحیت سایر خوشه‌هایی که با آن مرتبط هستند نسبت به هم و در مقایسه با خوشه اصلی انجام می‌شود. در پژوهش حاضر مقایسات زوجی بین خوشه‌ها به روش پرسش‌نامه‌ای صورت گرفته است البته در مواردی که مقایسات کمّی بین سناریوها از نظر شاخص‌ها (طبق تحلیل‌های GISای یا داده‌های میدانی) وجود داشت، از اعداد موجود بهره‌گیری شد. میزان ناسازگاری قضاوت‌های انجام شده برای مدل فوق برابر ۰/۰۱ به‌دست آمد که کمتر از ۰/۱ (پیشنهاد ساعتی) می‌باشد (Saaty 1980, 1996, 2005). سوپرماتریس وزن‌دهی نشده در جدول پیوست ۱ نشان داده شده است. با ضرب داده‌های وزن خوشه‌ها در سوپرماتریس وزن‌دهی نشده، سوپرماتریس وزنی و پس از نرمال‌سازی آن متعاقب به توان رساندنش، سوپرماتریس حدی حاصل می‌شود.

۴-۲- نتایج اولویت‌بندی براساس تحلیل شبکه‌ای ANP

جهت اولویت‌بندی سناریوهای پیشنهادی تغذیه مصنوعی برای پخش سیلاب از درآیه‌های یکی از ستون‌های ماتریس حدی نهایی استفاده می‌شود (چرا که در ماتریس حدی کلیه ستون‌ها به یک بردار همگرا شده‌اند). گزینه‌ای که ماکزیمم مقدار وزنی را به خود اختصاص داده باشد، به‌عنوان برترین گزینه تعیین می‌شود و سایر گزینه‌ها براساس مقادیر عددی کسب شده، اولویت‌بندی می‌شوند. علاوه بر آن، با تهیه سوپرماتریس حدی، وزن نهایی هر یک از پارامترها نیز به‌دست می‌آید. نتایج رتبه‌بندی سایت‌های پیشنهادی براساس روش ANP و خروجی نرم‌افزار SuperDecisions در شکل ۶ ارائه شده است. که بر این اساس، سناریوی شماره سه واقع در شمال غربی منطقه مورد مطالعه با مقدار وزن نرمال ۰/۱۷۵۴ مستعدترین منطقه برای پخش سیلاب در راستای تغذیه مصنوعی آبخوان دشت خوی تعیین شده است و سناریوی چهارم با وزن نرمال ۰/۱۶۰۱ در آخرین اولویت قرار دارد.

بنابراین ارجحیت و اولویت‌بندی سناریوها در مدل ANP به ترتیب سناریوهای شماره سه، یک، دو، پنج، شش و چهار خواهد بود.

۴-۳- مقایسه نتایج اولویت‌بندی سناریوهای تغذیه مصنوعی پخش سیلاب بر اساس روش‌های AHP و ANP

با توجه به اطلاعات شکل ۷ مشاهده می‌شود که در روش اول، اولویت‌بندی به روش AHP و فقط با در نظر گرفتن معیارهای فنی، ۱۶ پارامتر مورد استفاده در مرحله اول تحقیق (دارای لایه‌های GIS – زیرمعیارهای ۱-۱ تا ۱-۴ در جدول ۱)، ابتدا سناریوی شماره سه و پس از آن سناریوهای شماره چهار، دو، شش، پنج و یک به ترتیب اولویت قرار گرفته‌اند. اما در روش دوم (مدل مبتنی بر ANP)، ترتیب اولویت‌بندی سناریوها با در نظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و همچنین روابط بین خوشه‌ها و ارتباطات درونی، اندکی متفاوت از روش قبل خواهد بود. با توجه به امتیازات سناریوها حاصل از مدل ANP، سناریوی سوم دارای بیشترین ارجحیت بوده و ارجحیت سناریوهای شماره یک و چهار جابجا خواهد شد. با مقایسه نتایج نهایی هر دو روش، گزینه برتر، سناریوی شماره سه تعیین می‌گردد ولی اولویت‌های بعدی دچار تغییرات شده است. بنابراین می‌توان گفت که تصمیم‌گیری به روش مدل تحلیل شبکه‌ای ANP و با در نظر گرفتن کلیه شاخص‌ها و معیارهای مختلف، و در نظر گرفتن ارتباطات داخلی عناصر به‌عنوان یک مدل جامع می‌تواند باعث دستیابی به نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتر در مسائل و تصمیم‌گیری‌های پیچیده ازجمله مباحث مکان‌یابی و اولویت‌بندی شود.

دلیل اصلی برتری سناریوی شماره یک نسبت به سناریوی شماره چهار در تحلیل شبکه‌ای که باعث شده است با در نظر گرفتن کلیه معیارهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و ارتباطات داخلی عناصر، ترتیب

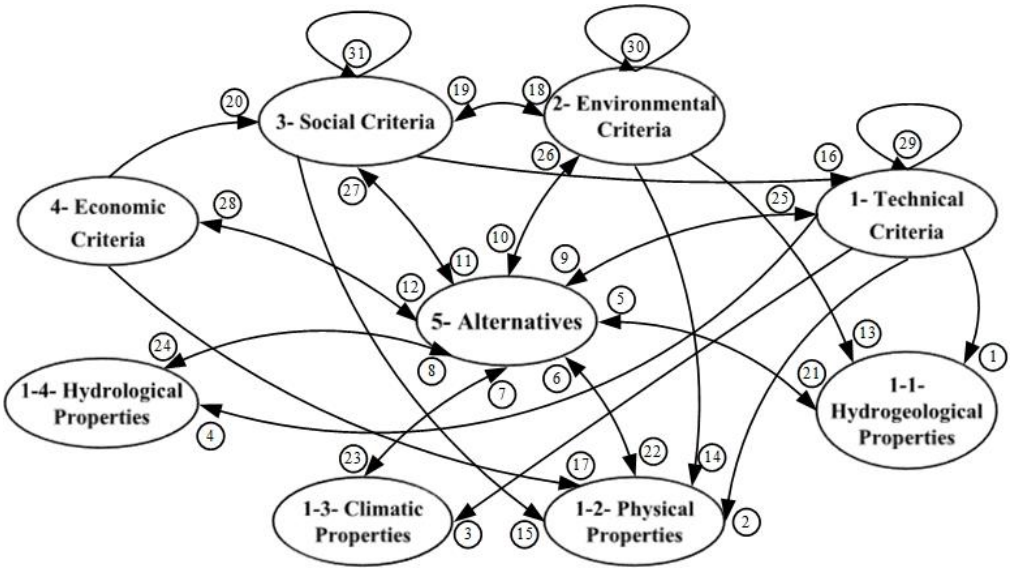


Fig. 4- The structure of the network model for artificial nourishing site selection

شکل ۴- ساختار مدل شبکه‌ای برای مکان‌یابی تغذیه مصنوعی

اولویت سناریوهای فوق در دو مدل AHP و ANP بسیار متفاوت باشد، را می‌توان در معیار میزان سطح آب زیرزمینی و همچنین میزان افت بحرانی آب در درازمدت دانست. به بیان دیگر، با توجه به هدف اصلی از عملیات تغذیه مصنوعی که جلوگیری از افت سطح آب زیرزمینی است و برای مناطق با افت بحرانی انجام می‌شود، ضروری است اقدامات مدیریت آبخوان در مناطق با خطر بالا (بحران زده) پیاده‌سازی شوند. از عوامل تأثیرگذار دیگر نیز به‌عنوان نمونه می‌توان به معیارهایی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی همچون نوع کاربری از لحاظ تملک زمین و حفظ فاصله از مناطق حفاظت شده زیست‌محیطی اشاره داشت.

سناریوی برتر یعنی سناریوی شماره سه از نظر معیار شیب توپوگرافی در شیبی مناسب و ملایم به‌طور متوسط کمتر از ۲ درصد و در پهنه‌هایی با ضخامت ناحیه غیراشباع کافی و مناسب جهت تغذیه با میانگین ۶۷ متر واقع شده است. این محل دارای ضریب قابلیت انتقال بالا (۱۶۰۰ مترمربع در روز)، کمترین هدایت الکتریکی (۱۱۴۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، یعنی کیفیت مناسب آب) بوده و در پهنه‌هایی با بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در درازمدت، قرار گرفته است. از نظر معیار زمین‌شناسی نیز به وسعت ۹۷ درصد در واحدهای کواترنری آبرفت‌های عهد حاضر (Qt1) و از نظر تیپ ژئومورفولوژی به وسعت ۹۴ درصد در پهنه‌های دشت‌های دامنه‌ای قرار دارد. در سناریوی شماره چهار مهم‌ترین عامل محدودکننده، عدم افت سطح آب زیرزمینی در درازمدت می‌باشد و دلیل آن می‌تواند قرار گرفتن محدوده این سناریو در ورودی رودخانه الند قلمداد شود. عامل محدودکننده دیگر سناریوی ۴ از نظر معیار ضریب قابلیت انتقال است که در محدوده این سناریو بسیار پایین و میانگین آن ۵۵۰ مترمربع در روز می‌باشد. همچنین میزان شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در این محدوده نسبت به سایر سناریوها بالاتر است و حدود ۲/۱ درصد می‌باشد. لازم به‌ذکر است با توجه به این‌که خروجی نرم افزار SuperDecisions در سه حالت وزن ایده‌آل، وزن نرمال شده و وزن خام قابل استخراج است، در شکل ۷ به‌منظور تسهیل مقایسات با خروجی روش AHP از وزن‌های نرمال شده بهره‌گیری شده است.

۵- خلاصه و جمع‌بندی

استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل شبکه‌ای ANP به‌دلیل در نظر گرفتن کلیه ارتباطات از بالا به پایین (مشابه با روش AHP)، از پایین به بالا (نظیر تأثیرگذاری سناریوها بر وزن معیارها)، روابط بین خوشه‌ای و بازخوردهای موجود در داخل هر خوشه، که در روش AHP امکان تعریف برخی از این روابط وجود ندارد، می‌تواند به نتایج دقیق‌تری در اولویت‌بندی سناریوهای تغذیه مصنوعی آبخوان به روش پخش سیلاب بیانجامد. بر این اساس، جهت رتبه‌بندی و تعیین اولویت سناریوها، در تحقیق حاضر از مدل ANP به‌عنوان ابزار تجزیه و تحلیل استفاده شد و به‌عنوان مطالعه موردی آبخوان دشت خوی مورد بررسی قرار گرفت. پس از شناسایی عوامل و معیارهای مهم و تأثیرگذار در مدل مکان‌یابی، مناطق مستعد تغذیه مصنوعی جهت پخش سیلاب، با استفاده از منابع موجود و همچنین نظرات کارشناسی، تعیین شد. براساس اهداف این پژوهش، همبستگی و ارتباطات داخلی و خارجی بین شاخص‌ها و معیارها تعیین و مدلی جامع برای تصمیم‌گیری در انتخاب سایت تغذیه مصنوعی پخش سیلاب ارائه شد.

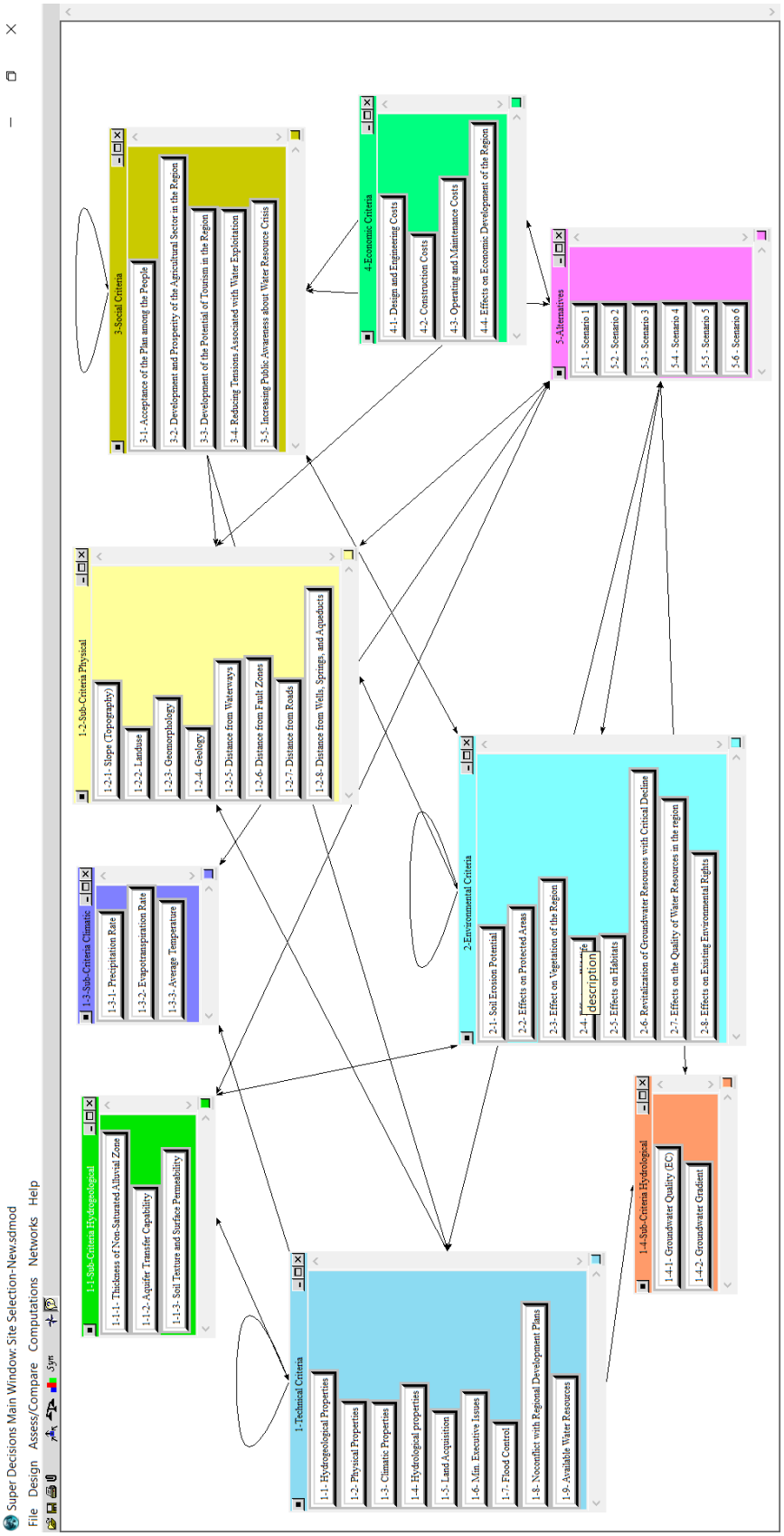


Fig. 5- The final structure of the ANP network model in the SuperDecisions software environment

شکل ۵- ساختار نهایی مدل شبکه‌ای ANP در محیط نرم‌افزار SuperDecisions

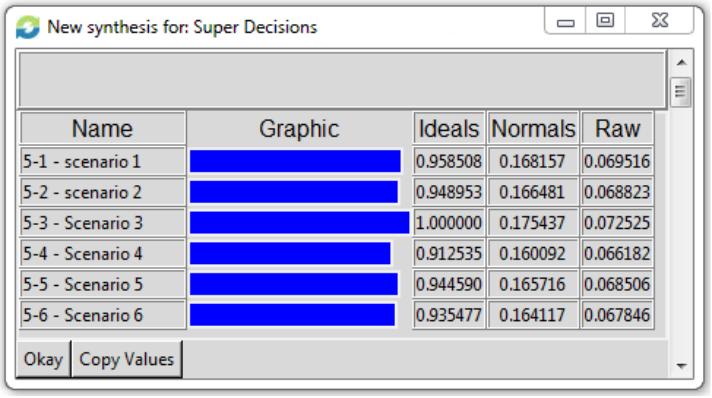
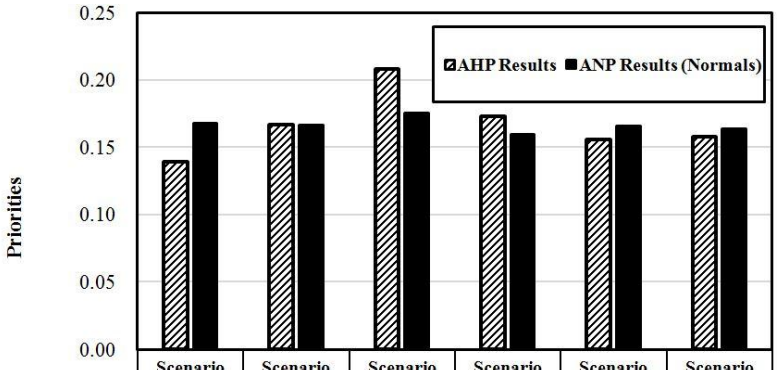


Fig. 6- Final diagram and weights of scenarios in the ANP model and SuperDecisions software

شکل ۶- نمودار و اوزان نهایی سناریوها در مدل ANP و نرم‌افزار SuperDecisions



	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
AHP Results	0.1392	0.1665	0.2078	0.1732	0.1555	0.1579
ANP Results (Normals)	0.1682	0.1665	0.1754	0.1601	0.1657	0.1641

Fig. 7- Comparison of AHP and ANP models result

شکل ۷- مقایسه نتایج خروجی مدل‌های AHP و ANP

پس از انجام مقایسات زوجی براساس روابط تعریف شده در مدل، وزن‌دهی معیارها در محیط نرم‌افزار SuperDecisions صورت پذیرفت. نهایتاً گزینه‌های پیشنهادی که در مرحله اول تحقیق، تعیین و ارائه شده بودند، مجدداً اولویت‌بندی شدند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که فرآیند تحلیل شبکه‌ای ضمن حفظ کلیه قابلیت‌های روش سلسله مراتبی از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری پارامترهای کمی و کیفی، قابلیت بررسی سازگاری قضاوت‌ها و امکان اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها، می‌تواند بر محدودیت اصلی آن، یعنی درنظر نگرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر تصمیم (یعنی ارتباطات داخلی بین عناصر) فائق آمده و ساختاری مناسب برای مدل مکان‌یابی تغذیه مصنوعی ایجاد نماید. پس می‌توان گفت فرآیند تحلیل شبکه‌ای بُعد دیگری از تصمیم‌گیری را موردنظر قرار می‌دهد که در روش AHP امکان‌پذیر نیست چرا که وابستگی‌های درونی در اکثر مسائل مربوط به مباحث تغذیه مصنوعی در مدل مکان‌یابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها وجود دارد.

براساس نتایج نهایی این پژوهش، سناریوی شماره سه با کسب بیشترین امتیاز، اولین اولویت در هر دو روش رتبه‌بندی AHP و ANP خواهد بود و به‌عنوان گزینه برتر در بین سناریوهای پیشنهادی منطقه مطالعاتی دشت خوی جهت پخش سیلاب در راستای اهداف تغذیه مصنوعی آبخوان معرفی می‌گردد. ولی ترتیب و اولویت سایر سناریوها در دو روش باهم اندکی متفاوت است و این می‌تواند به دلیل تأثیرگذاری عوامل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی و همچنین محدودیت ارتباطات داخلی در مدل AHP باشد. تحلیل شبکه‌ای قابلیت‌های بیشتری نسبت به روش AHP دارد به‌گونه‌ای که می‌توان مسائل حساس، پیچیده و دشوار همچون گزینش مناطق مستعد را با استفاده از آن انجام داد و در مواردی همچون مکان‌یابی تصمیم‌گیری را تسهیل نمود.

پی‌نوشت‌ها

1- Artificial Recharge
2- Flood Spreading
3- Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)
4- Multi-Attribute Decision-Making (MADM)
5- Criterion
6- Index (Attribute)
7- Analytical Network Process (ANP)
8- Thomas L. Saaty
9- Feedback
10- Cluster
11- Brain Storming
12- DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)
13- Inconsistency Ratio
14- Unweighted Super Matrix
15- Weighted Super Matrix
16- Limit Super Matrix

۶- مراجع

Afzali A, Samani MV (2011) Landfill site selection for municipal solid waste of Esfahan city using analytic network process considering the importance of water resources protection. Journal of Iran Water Resources Research 7(1):67-76 (In Persian)

Asgharipourdasht Bozorg N, Servati MR, Kardovani P, Shayan S (2013) Identification suitable areas of flood spreading for artificial recharge groundwater using AHP method in GIS environment case study: Abied Sarbishe of Gotvand. Quarterly Geographical Journal of Territory 10(38):93-108 (In Persian)

Asgharpour MJ (2015) Multiple criteria decision making. Tehran University Press, 399p (In Persian)

Ataei M (2016) Multi criteria decision making. Shahrood University of Technology Publication, 342p (In Persian)

Chung SH, Lee AH, Pearn WL (2005) Analytic Network Process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics 96(1):15-36

Beykzadeh E, Ziaei A, Ansari H, Lak R, Zaki M (2016) Comparing groundwater recharge in sprinkler and furrow irrigated farms using unsaturated zoom modeling. Iranian Journal of Soil and Water Research 47(1):147-158 (In Persian)

Bijani M, Moridi A, Majdzadeh Tabatabaie MR (2017) Investigation of well deepening effects on aquifer yeild using numerical model. Iran Water Resources Research 12(4):83-92 (In Persian)

Farajisabokbar HA, Nasiri H, Hamze M, Talebi S, Rafiei Y (2012) Identification of suitable areas for artificial groundwater recharge using integrated ANP and pair wise comparison methods in GIS environment case study: Garbaygan plain of Fasa. Journal of Geography and Environmental Planning 22(4):41-46

Garcia Melon M, Ferris Onate J, Aznar Bellver J, Aragones Beltran P, Poveda Bautista R (2008) Farmland appraisal based on the analytic network process. Journal of Global Optimization 42(2):143-155

Javanmard FZ, Mahdavi M, Malek MR, Keirkhah Zarkesh M.M (2014) Modeling of groundwater vulnerabilities uncertainty using GIS & Rough set. Iran Water Resources Research 10(1):26-28 (In Persian)

Javidi Sabbaghian R, Sharifi MB, Zarghami M, Nejadhashemi AP (2017) Developing a risk based multi attribute group decision making model for effective watershed management based on the combinational method of IOWA-CP case study: Mashhad plain. Iran Water Resources Research 13(1):1-19 (In Persian)

Karimian H, Haleh H (2010) Selecting the optimal approach for systems reliability improvement using analytic network process (ANP). International Journal of Industrial Engineering & Production Management 21(3):23-33 (In Persian)

Maleki A, Hesadi H, Naderian P (2009) Site selection of artificial recharge of Marg watershed aquifer. Geographical Research 24(1):53-78 (In Persian)

Ministry of Water Resources (2007) Manual on artificial recharge of groundwater. Government of India, 185p

Nouri M, Homaee M, Bannayan M (2017) Assessing reference evapotranspiration changes during the 21st century in some semi-arid regions of Iran. Iranian Journal of Soil and Water Research 48(2):241-252 (In Persian)

Ohare MP, Fairchild DM, Hajali PA, Canter LW (1986) Artificial recharge of groundwater. LEWIS PUBLISHERS, INC, CHELSEA, MI(USA)

Rahmani S, Ahmadi MM, Qaderi K (2015) Simulation optimization model for artificial groundwater recharge management using a treated wastewater. Journal of Iran Water Resources Research 11(1):91-96 (In Persian)

Razavi Toosi SL, Mohamadvali Samani J (2014) Watersheds management ranking using Analytical Network Process ANP and a hybrid algorithm based on ANP- fuzzy TOPSIS methods. Journal of Water and Irrigation Management (Journal of Agriculture) 3(2):75-90 (In Persian)

Saaty TL (1996) Decision making with dependence and feedback: The analytic network process (Vol. 4922). Pittsburgh: RWS Publications

art literature on methodologies and applications. Mathematical Problems in Engineering 2018:1-33

Teimouri F, Bazrafshan O (2017) Analysis of temporal distribution of rainfall in Iran over the past four decades. Geography and Development Iranian Journal 15(48):171-188 (In Persian)

Tzeng GH, Huang JJ (2011) Multiple attribute decision making: methods and applications. CRC press

Vahabi J (2003) Analysis of flood spreading systems and introducing research needs. Journal of Pajouhesh & Sazandegi (In Natural Resources) 16(60):22-29 (In Persian)

Zakizadeh F, Malekinezhad H (2012) Locating suitable areas for flood spreading using GIS and Boolean mathematical model. First International Conference on Rain Water Catchment Systems, 12-13 December, Agricultural Research and Training Center of Khorasan Razavi, Mashhad, 1-10 (In Persian)

Zarghami M (2005) Uncertain criteria in ranking inter basin water transfer projects in Iran. 73rd Annual Meeting of ICOLD, 1-6 May, Tehran, Iran (In Persian)

Saaty TL (2001) Making with dependence and feedback. 2nd ed., RWS Publication

Saaty TL (1980) The analytical hierarchy process: Planning priority setting resource allocation. RWS Publication, Pittsburgh

Saaty TL (2005) Theory and applications of analytic network process. Pittsburgh PA:RWS Publication, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh

Saaty TL, Vargas LG (2006) Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks. International Series in Operations Research and Management Science. Springer

Sabuki S, Kalantari N, Zarei M (2014) Locating of feasible artificial recharge sites using analytic hierarchy process AHP and GIS. 32nd National & the 1st International Geosciences Congress, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 16-19 February, Tehran Iran (In Persian)

Samani JMV, Delavar M (2010) Application of analytical network process ANP for prioritize shrimp culture sites. Journal of Iran Water Resources Research 6(2):46-56 (In Persian)

Si SL, You XY, Liu HC, Zhang P (2018) DEMATEL Technique: A systematic review of the state-of-the-