



## مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۰

صفحه‌های ۵۵۹-۵۴۱

DOI: 10.22059/jwim.2021.327850.906

مقاله پژوهشی:

### ارزیابی عملکرد شبکه پایش کیفی رودخانه‌های کشور

نسرین خدامرادی وطن<sup>۱</sup>، مهدی مظاهری<sup>۲</sup>، جمال محمدولی سامانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳. استاد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

#### چکیده

نظام پایش در یک کشور جزو موضوع‌های اساسی آن کشور است. فرایند نظارت با در نظر گرفتن شاخص‌های مدیریتی و فنی، اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در نظام پایش محقق می‌شود. در پایش بلندمدت انجام ارزیابی، آسیب‌شناسی و بهینه‌سازی به‌صورت متوالی منجر به مدیریت صحیح داده‌های خروجی، کارآمدی سیستم و سبب کاهش هزینه‌ها می‌شود. در این پژوهش، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی عملکرد شبکه پایش کیفی رودخانه‌های کشور با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، استفاده شده است. در این پژوهش کل ایستگاه‌های کیفی رودخانه‌های کشور با چهار معیار اصلی اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، مدیریتی و فنی در نظر گرفته شده است. وزن معیارها توسط کارشناسان خبره مشخص شده‌اند. وزن گزینه‌ها با استفاده از استانداردهای ریاضیات و روش فرایند تحلیل شبکه‌ای محاسبه شده است. روش فرایند تحلیل شبکه‌ای به‌منظور اصلاح روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و براساس تکنیک سوپر ماتریس‌ها ارائه گردیده است. در نهایت، نتایج روش با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای، نسبت سازگاری و آنالیز حساسیت کنترل شد. بیش‌ترین چالش‌ها در معیار مدیریتی و فنی، سپس معیار زیست‌محیطی و سلامت آب مهم تلقی شده‌است و نهایتاً معیارهای بعدی اقتصادی و اجتماعی به‌دست آمده‌است. در معیار مدیریتی و فنی در ایستگاه‌های پایش آب، زیرمعیار کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها، در معیار اجتماعی زیرمعیار پارامترهای کیفیت آب، در معیار اقتصادی زیرمعیار تشخیص آلودگی و در معیار زیست‌محیطی زیرمعیار بهینه‌سازی شبکه نظارت در زمان و مکان خاص بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده است.

**کلیدواژه‌ها:** ایستگاه‌های کیفی رودخانه‌ای، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش فرایند تحلیل شبکه‌ای، سوپر ماتریس‌ها.

## Evaluation of the performance of river water quality monitoring stations of Iran

Nasrin Khodamoradi Vatan<sup>1</sup>, Mehdi Mazaheri<sup>2</sup>, Jamal Mohammad Vali Samani<sup>3</sup>

1. Master Student of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Associate Professor of Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3. Professor of Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: July 31, 2021

Accepted: October 04, 2021

#### Abstract

One of the basic issues of that country is monitoring system. The monitoring process is carried out by considering the managerial and technical, social, economic and environmental indicators in the monitoring system. Consecutive assessment, pathology and optimization in long-term monitoring; Leads to proper management of output data, system efficiency and reduces costs. In this study, multi-criteria decision making methods have been used to evaluate the performance of the quality monitoring network of the country's rivers by considering various criteria. In this study, the total quality stations of the country's rivers with four main criteria including: economic, social, environmental, managerial and technical have been considered. The weight of the criteria is determined by experts. The weight of the options is calculated using mathematical standards and the network analysis process method. The network analysis process method is proposed in order to modify the hierarchical analysis process method based on the technique of sup matrices. Finally, the results of the method were controlled using the network analysis process method, compatibility ratio and sensitivity analysis. Most of the challenges in the managerial and technical criteria, then the environmental and water health criteria are considered important, and finally the next economic and social criteria are obtained. In the managerial and technical criteria in water monitoring stations, the sub-criterion of data quality control and assurance, in the social criterion sub-criterion of water quality parameters, in the economic criterion sub-criterion of pollution detection and in the environmental criterion sub-criterion of optimization of monitoring network at specific time and place.

**Keywords:** Monitoring system, Multi-criteria decision making methods, Network analysis process method, Qualitative river stations, Super matrix.

## مقدمه

محلول، ارتوفسفات، قلیایی، شوری، منیزیم، کلسیم، کربن، رنگ و ... که این پارامترها بر تغییرات کیفیت آب در رودخانه‌ها تأثیرگذار می‌باشند. در ایران ایستگاه‌های پایش شبکه‌ای کیفیت رودخانه‌ها توسط وزارت نیرو در نقاط مختلف کشور تأسیس و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، که در این ایستگاه‌ها عواملی چون دبی، کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب تعیین می‌شود. جدول (۱) تقسیم‌بندی پروژه‌های منابع آب سطحی شبکه‌ای است که در سایت منابع آب کشور موجود می‌باشد و براساس استان‌های کشور تعداد حوضه‌های تحت پوشش، تعداد رودخانه‌ها، تعداد ایستگاه‌ها و تعداد ایستگاه‌های مبنا هر استان را نشان می‌دهد.

در کشورهای توسعه‌یافته پژوهش‌های فراوانی در زمینه شبکه پایش کیفیت رودخانه‌ها و به روش‌های گوناگون تحلیلی، آماری و ... انجام شده است. در ادامه به منتخبی از پژوهش‌ها اشاره خواهیم نمود.

از موضوعات مهم در پایش، استخراج داده‌هایی با حداقل خطا، تجزیه و تحلیل درست در ایستگاه‌های کیفیت رودخانه‌ای است. کشور ایران در زمینه پایش در سال‌های اخیر گام‌های مؤثری برداشته است. لذا در این زمینه مطالعه‌ای با دید همه جانبه به زیرساخت‌ها، بحث مدیریت، محیط‌زیست، وضعیت اقتصادی و پذیرش اجتماعی باید صورت گیرد تا جایگاه ایستگاه‌های ایران بررسی شود. کیفیت آب نیز از شاخص‌های دیگر شبکه پایش است و هم‌چنین یکی از دغدغه‌های زیست‌محیطی، آلودگی آب‌های سطحی با منابع خارجی یا رواناب‌های آب و طوفان و تخلیه‌های آب‌های زیرزمینی، می‌باشد.

وظیفه ایستگاه‌ها، کنترل کیفیت آب سطحی رودخانه‌ها است. ایستگاه‌ها وظیفه تعیین و ثبت پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را دارند. پارامترهای مهم در ایستگاه‌ها عبارتند از نیتروژن، نترات

**Table 1. Specification of Iranian hydrometric stations**

Row	State	River	Area	Station	Base station
1	Tehran	61	3	55	2
2	Markazy	25	2	25	
3	Gilan	110	3	111	11
4	Mazandran	80	2	82	
5	East Azarbaijan	67	3	72	
6	West Azarbaijan	83	3	75	
7	Kermanshah	85	2	52	
8	Khozestan	164	3	161	6
9	Fars	217	6	197	
10	Kerman	173		164	
11	Khorasan	89	3	93	22
12	Esfahan	60	4	58	
13	Sistan and Baluchestan	35		35	
14	Kordestan	46		46	
15	Hamedan	35		33	
16	Chaharmahal Bakhtiari	38	2	40	
17	Lorestan	37	2	39	
18	Ilam	34	3	34	
19	Kohkiluyeh and Boyer Ahmad	16	2	16	
20	Boshehr	17		17	
21	Zanjan	33	2	32	
22	Semnan	21	2	20	
23	Yazd	22		30	1
24	Hormozgan	59		59	
25	Ardabil	45	2	44	
26	Golestan	69	2	65	
27	Qom	13		13	
28	Qazvin	56		59	
29	North Khorasan	22	2	21	
30	south Khorasan	17	2	22	

جهانی<sup>۷</sup>، سازمان هواشناسی جهانی<sup>۸</sup>، مواد غذایی سازمان ملل و سازمان کشاورزی<sup>۹</sup>، آموزشی، علمی و سازمان ملل، سازمان فرهنگی (یونسکو) ارائه شده، پژوهش نمود. در نهایت فعالیت‌های ملی به سبب تأثیرگذاری آن‌ها نسبت به یکدیگر در کشورهای جهان، تقویت و متحد بوده و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یک دستورالعمل جامع در حیطه نظارت و پایش کیفی رودخانه‌ها استفاده نمود (Report *et al.*, 2015).

در پژوهش Bhardwaj (2005) با استفاده از برنامه جمعی نظارت بر کیفیت آب، پژوهشی در این زمینه برای منابع ملی آبی هند آغاز نمود. محدودیت‌های منابع ملی آبی هند عبارتند از ۱- پایداری زیرساخت‌ها، ۲- منابع از نظر مالی و همچنین نیروی انسانی ناکافی هستند، ۳- سفر به مسافت‌های طولانی برای نظارت و بررسی حفظ نمونه‌ها، در شرایط آب‌وهوایی گرم و سرد بر نتایج اثر منفی می‌گذارد، ۴- نتایج تحلیل نیاز به اعتبارسنجی و صحت‌سنجی عمیق دارد (Bhardwaj, 2005).

در پژوهش Cude (2001) جهت طراحی برنامه جمعی نظارت بر کیفیت آب<sup>۱۰</sup> تشکیل دادند تا اولویت‌های جهانی تعیین شود و نتایج آن نشان داد که دستورالعمل‌ها باید جهت تأکید بیشتر در ارزیابی و روند کیفیت آب بر تفسیر مسائل وابسته به آن صورت گیرد (Cude, 2001).

در شورای وزیران کانادا، Ranjbar Jafarabadi *et al.* (2015) با استفاده از شاخص کیفیت آب محیط زیست پژوهش کردند و یک شاخص کیفیت آب آشامیدنی کارآمد به‌دست آوردند. این مطالعه با ارزیابی کیفیت منبع آب آشامیدنی در جوامع روستایی صورت گرفت که در نهایت شاخص‌هایی را به‌دست آوردند که سبب مشخص نمودن شاخص‌های مهم و تأثیرگذار کیفیت آب محیط‌زیست و کیفیت آب آشامیدنی گردید (Ranjbar Jafarabadi *et al.*, 2015).

در پژوهش Ying (2005) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۳</sup> و روش تحلیل عامل اصلی<sup>۴</sup>، نظارت بر کیفیت آب‌های سطحی رودخانه‌ها را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش به این نتیجه رسیده است که پارامترهایی نظیر کل کربن آلی، نیتروژن کل، نیترات و نیترات محلول، ارتو فسفات، قلیایی، شوری، منیزیم و کلسیم از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی تغییرات کیفیت آب در رودخانه می‌باشد (Ying, 2005).

در پژوهش Perkins & Underwood (2000) با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل فاکتورهای اصلی الگوهای نوسان آب منطقه مطالعه شده را به‌دست آوردند و با بررسی الگوهای به‌دست آمده به این نتیجه رسیدند که می‌توان از این الگوها برای صحت‌سنجی و کنترل برخی از داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح منطقه موردنظر استفاده نمود (Perkins & Underwood, 2000).

در پژوهش Gangopadhyay *et al.* (2001) با استفاده از تکنیک‌های تحلیل فاکتورهای اصلی وجود ایستگاه‌های نظارت و ارتباط آن با تغییرات پویا و غیرمنتظره را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جهت پیش‌بینی تغییرات پویا، ایستگاه‌های نظارت نقش مهم و اساسی را دارند و باعث ایجاد اثرات قابل قبول و مفید در پایش کیفی ایستگاه‌ها می‌شود (Gangopadhyay *et al.*, 2001).

هم‌چنین Report *et al.* (2012) از شاخص کیفیت آب محیط زیست برای توصیف کیفیت آب منبع آشامیدنی استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص کیفیت آب محیط زیست وسیله‌ای برای نظارت، برقراری ارتباط و درک کیفیت آب منبع را فراهم می‌نماید (Report *et al.*, 2012).

Report *et al.* (2015) با استفاده از برنامه جمعی نظارت<sup>۵</sup> که توسط سازمان ملل متحد<sup>۶</sup>، سازمان بهداشت

در پژوهش Weihrich (1982) سازمان بهداشت جهانی کنترل کیفیت تحلیلی را که به عنوان سنگ بنای قابل اعتماد داده‌ها شناخته شده است، تعیین نموده است. از جمله اهداف بلندمدت عنوان شده در بخش ارزیابی کیفیت آب به دولت‌ها، جامعه علمی و مردم باید گوشزد شود و همچنین در مورد کیفیت آب‌های شیرین جهان و تأثیر آن بر سلامت انسان‌ها، بهداشت اکوسیستم آبی و سایر نگرانی‌های زیست‌محیطی جهت آگاهی داشتن و همچنین لزوم ارائه این پژوهش‌ها به جامعه علمی و اطلاعات عمومی در مورد انتقال مواد شیمیایی و سمی، مواد مغذی و آلاینده‌های دیگر از حوضه را در بخش مهمی خاطر نشان نموده است (Weihrich, 1982).

در پژوهش Solak (2007) معتقدند که نظارت بر کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های دیتوم، در ترکیه هر روز با اهمیت‌تر می‌شود. این بررسی به‌ویژه براساس آثار پریگیل و همکاران تهیه شده است. این شاخص‌ها را با استفاده از یک برنامه کامپیوتری به نام Omidia آنالیز شده‌است که به کمک آن ۱۷ شاخص مختلف دیتوم قابل محاسبه است. علاوه بر این، مقادیر تنوع و یکنواختی را محاسبه می‌کند و همچنین شامل چهار مقیاس واجد شرایط زیست‌محیطی است. بیش‌تر شاخص‌های دیتوم‌ها براساس میانگین وزنی معادله زلینکا- مروان (۱۹۶۱) است (Solak, 2007).

در پژوهش Antonie & Durate (1997) درباره روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> پژوهشی انجام داد. این روش از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. طبق پژوهش‌های انجام‌گرفته، این روش را فاقد چهارچوب صحیح ریاضی دانست زیرا عدم در نظر گرفتن ارتباطات درونی و شبکه‌ای موجود بین معیارها و زیرمعیارها می‌باشد. در این روش امکان ارتباط با معیارهای ستون پایین‌تر با معیارهای ستون بالاتر وجود ندارد. بنابراین

پژوهش Noori et al. (2010) جهت تعیین ایستگاه‌های نظارتی اصلی و غیر اصلی با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای رودخانه کارون، انجام شد. همچنین از تجزیه و تحلیل همبستگی متعارف برای تعیین رابطه بین پارامترهای کیفیت فیزیکی و شیمیایی کیفیت آب استفاده شد. پژوهش‌های بیش‌تر نشان داد که همه پارامترهای کیفیت آب مهم هستند (Noori et al, 2010).

پژوهش Noori et al. (2012) با عنوان تجزیه و تحلیل شیمیایی داده‌های کیفیت آب‌های سطحی برای رودخانه گرگانرود، انجام شد. ارزیابی زمانی و مکانی تغییرات کیفیت آب و در نهایت شناسایی ایستگاه‌ها و پارامترهای نظارتی که در ارزیابی تغییرات سالانه کیفیت آب در رودخانه بسیار مهم هستند. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تکنیک‌های PCA و PFA نشان داد که همه ایستگاه‌های نظارتی در توضیح تنوع سالانه مجموعه داده‌ها مهم هستند (Noori et al., 2012).

طبق پژوهش Evangelos (2000) هدف نهایی روش دستورالعمل نظارت بر کیفیت آب ملی و بین‌المللی پشتیبانی از مدیریت منطقی محیط جهان است، درحالی‌که پوشش جغرافیایی نظارت در حال گسترش می‌باشد، اما مناطق وسیعی از جهان نیز وجود دارد که اطلاعات مربوط به کیفیت محیط‌زیست برای تحلیل جهانی در آن‌ها وجود داشته باشد. یکی از این برنامه‌ها، برنامه جمعی نظارت بر کیفیت آب بوده که دامنه و هدف این فعالیت با توجه به نیازهای فوری این داده‌ها برای مدیریت کیفیت آب و همچنین الزامات داده‌های جهانی استفاده شده است. روش نظارت بر کیفیت آب برای طراحی شبکه، با استفاده از نمونه‌گیری و روش‌های تحلیلی، برای پردازش داده‌ها می‌باشد که در سراسر جهان ارائه شده‌است (Evangelos, 2000).

نظرات فردی به تصمیم‌گیری‌های گروهی ارتقا یافته است. یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که اولین بار توسط Thomas Saaty (1980) مطرح شد. فرایند AHP ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر می‌سازد (Antonie & Durate, 1997). این روش با استفاده از یک شبکه سیستمی، شاخص‌های مختلف و ضوابط و معیارهای چندگانه با ساختارهای چندسطحی اولویت‌دار را برای رتبه‌بندی یا تعیین اهمیت گزینه‌های مختلف یک فرایند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌دهد (Aragones *et al.*, 2006). توانایی در تجزیه و تحلیل یک مسأله تصمیم‌گیری با یک ساختار رده‌ای زیربنای اساسی در استفاده از روش AHP است (Satty, 1999). لازمه داشتن یک ساختار رده‌ای این است که ارجحیت ممکن از یک سطح موجود بستگی به عناصر سطوح پایین‌تر نداشته و از آن‌ها مستقل باشد در غیر این صورت سیستم تصمیم‌گیری موجود غیر رده‌ای و بازخور تلقی می‌شود و کاربرد روش AHP مورد شک واقع خواهد شد (Satty & Luis, 2006). با توجه به طیف وسیع سیستم‌های تصمیم‌گیری بازخور، به‌منظور اصلاح روش AHP روشی موسوم به فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) براساس تکنیک سوپرماتریس‌ها ارائه شد. این روش قادر است برای مسائل پیچیده با ساختار غیر رده‌ای به کار رود و از مزایای عمده آن امکان در نظر گرفتن ارتباط متقابل سطوح مختلف تصمیم نسبت به هم و همچنین ارتباط داخلی معیارهای تصمیم در یک سطح می‌باشد (Khan & Faisal, 2007). لذا علت گرایش اکثر پژوهش‌گران و مدیران به روش ANP در مقایسه با AHP قابلیت‌های منحصر به فرد روش ANP است. لذا شبکه پایش کشور نیاز به تمهیدات اساسی دارد. برای هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی در عرصه منابع آب در موارد

برای تصمیم‌گیری سیستم‌های پیچیده مناسب نمی‌باشد (Antonie & Durate, 1997).

در پژوهش Noori *et al.* (2007) با استفاده از تکنیک‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور، ایستگاه‌های پایش کیفی آب بخشی از رودخانه کارون ارزیابی شد. همچنین مطالعه مشابه جهت تعیین متغیرهای کیفی اصلی از فرعی در این ایستگاه‌ها انجام گرفت. Noori *et al.* (2007) معتقدند که برای این پژوهش، برای حذف ایستگاه‌های فرعی تعیین شده و تغییر مکان آن، باید مطالعات بیشتری با مدت زمان آماری طولانی‌تر انجام گیرد.

Razavi Tusi & Samani (2013) در مقاله‌ای با عنوان اولویت‌بندی مدیریتی تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور با استفاده از الگوریتم ترکیبی جدید براساس (ANP) و روش‌های فرایند تحلیل شبکه‌ای<sup>۱</sup> فازی با اشاره بر این‌که آب از محورهای اصلی توسعه پایدار و رکن اصلی آمایش سرزمین است، خاطر نشان نمود که راهبردهای توسعه بلندمدت منابع آب کشور، راهنمای مناسبی برای تدوین برنامه‌های مدیریت حوضه‌های آبریز کشور است در عین حال با ایجاد هم‌پیوندی در عرصه‌های مدیریت فرابخشی آب، موجب بهره‌برداری بهینه از منابع آب کشور خواهد شد (Razavi Tusi & Samani, 2013). در این راستا استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ای<sup>۱۱</sup> به‌منظور انتخاب گزینه‌های برتر امری سودمند تلقی می‌شود. روش‌های متعددی به‌منظور اولویت‌بندی گزینه‌های در قالب مدل‌های MADM ارائه شده است. با توجه به این‌که بیش از شش دهه از ارائه اولین روش‌های تعیین اولویت‌ها یا گزینه‌های برتر در طرح‌ها، برنامه‌ها و بخش‌های مختلف اقتصادی می‌گذرد. طی این مدت روش‌های مورد استفاده روند تکاملی داشته و از محاسبه‌های صرف عوامل کمی به سوی عوامل کیفی و از

زیست‌محیطی دانستن پارامترهای کیفی رودخانه‌ها ضروری است. متأسفانه طبق جستجوهای انجام شده در زمینه اطلاعات ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ای، اطلاعات ثبت‌شده ایران قابل استناد نمی‌باشد، پس باید پژوهشی جهت تعیین جایگاه فعلی ایستگاه‌های ایران صورت گیرد. در جهت تحقق اهداف مطالعه نیز می‌توان با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نقاط چالش‌های شبکه پایش کیفی ایران را استخراج نمود. به‌طورکلی مقاصد و غایت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها، جهت برداشت و ثبت اطلاعات قابل استناد می‌باشد، لیک این ایستگاه‌ها براساس دستورالعمل دقیق و بررسی شده احداث می‌شود. ولی برای احداث

ایستگاه‌های پایش ایران دستورالعمل دقیق و ثبت‌شده‌ای لحاظ نشده است. این در حالی است که در کشورهای هم‌چون امریکا، آلمان، کانادا، آسیای میانه و ... اطلاعات آنلاین استخراج می‌شود و صحت اطمینان از داده‌های ثبت‌شده نیز کنترل می‌شود. هم‌چنین با توجه به اهمیت شبکه پایش کیفی آب و روابط شبکه‌ای بین معیارها و زیرمعیارها و هم‌چنین توانمندی‌های منحصربه‌فرد فرایند تحلیل شبکه‌ای، مطالعه حاضر تلاشی در جهت کاربرد روش ANP به‌منظور ارزیابی عملکرد شبکه پایش آب و تعیین جایگاه‌ها و هم‌چنین اولویت‌بندی آن‌ها از این حیث می‌باشد. جدول (۲) خلاصه پژوهش‌های اشاره‌شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

**Table 2. Summary of the research mentioned**

Researchers	Year of research	Research topic
Wehrlich, H	1982	"The towns matrix: A tool for situational analysis"
Saaty, T. L	1996	Decision making with dependence and feedback: The analytic network process, rws publications pittsburgh
Antonie, S., & Durate S	1997	Stochastic judgment in the AHP: the measurements of rank reversal, decision science
Saaty, T.L.	1999	fundamentals of the analytic network process
Evangelos, T	2000	"Ph.D. multi- criteriadecision making": Theory and applications
Perkins, R.G., Underwood, G.J.C	2000	"Gradients of chlorophyll and water chemistry a long an eutrophic reservoir with determination of the limit in g nutrient by in situ nutrient addition.
Cude, C	2001	Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness
Gangopadhyay, S., Gupta, A.D., Nachabe, M.H	2001	"Evaluation of ground water monitoring network by principal component analysis
Bhardwaj, R	2005	MScientist "C" central pollution control board, India. "Water quality monitoring in india- achievements and constraints"
Ying, O	2005	"Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis"
Saaty, T.L., & Luis G. Vargas	2006	Decision making with the analytic network process, springer science, New York, USA.
Saaty.T. L., & Vargas, L. G.	2006	The analytic hierarchy process: wash criteria should not be ignored. International journal of management and decision making
Aragones P., Aznar J., Ferries J., & Garica M.	2006	Valuation of urban industrial land: an analytical network process approach, European journal of operation research
Solak, C.N., Fehér, G., Barlas, M. and Pabuçcu, K	2007	Use of epilithic diatoms to evaluate water quality of Akçay Stream (Büyük Menderes River) in Mugla/Turkey. Archiv Für Hydrobiologie Suppl.
Khan, S. and Faisal, M. N	2007	An analytical network process model for municipal solid waste disposal option, Waste management
Noori R. Kerachian, R., Darban, A.K., Shakibaenia, A	2007	Assessment of importance of water quality monitoring stations using principal components analysis and factor analysis: a case study of the Karoon river.
Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A.R., Baghvand, A., Taati Zadeh, H	2010	Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set.
Evaluation report unda project	2012	"water quality in central asia" united nations economic commision for erope in cooperation with the regional environmental centre centre for central asia (CAREC).
Noori, R., Karbassi, A., Khakpour, A., Shahbazbegian, M., Mohammadi Khalf Badam, H., Vesali-Naseh, M	2012	Chemometric analysis of surface water quality data: Case study of the Gorganrud River Basin, Iran.
Razavi Tusi, S.L., Mohammavali Samani, J	2013	Management Prioritization of a number of catchments in the country using a new hybrid algorithm based on (ANP) TOPSIS-ANP fuzzy network analysis process methods. (In Persian)
Guidance manual for optimizing water quality monitoring program design	2015	Guidance manual for optimizing water quality monitoring program design, Canadian council of ministers of the environment.
Ranjbar Jafarabadi, A., Maşoodi, M., Sharifiniya, M., Riyahi Bakhtiyari, A	2015	"Integrated river quality management by CCME WQI as an effective tool to characterize surface water source pollution"(Case study: Karun River, Iran)

## مواد و روش‌ها

### مبانی تئوری روش ANP

روش ANP پس از برپایی یک ساختار غیر رده‌ای و تعیین ارتباط منطقی بین سطوح مختلف تصمیم، ساختار موجود به N زیرمجموعه ( $S_1, S_2, \dots, S_N$ ) تقسیم شده و سپس از طریق مقایسات زوجی، ماتریس قضاوت برای سیستم بازخور تشکیل می‌شود. بدین منظور ابتدا لازم است با مقایسه دو به دو معیارها، ماتریس مقایسات زوجی تشکیل شود. سپس به منظور بررسی سازگاری و قابلیت اعتماد تصمیم‌ها، نسبت سازگاری (CR) هر ماتریس با توجه به رابطه ارائه‌شده توسط Saaty (1970) مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

که در آن CI شاخص سازگاری ماتریس مقایسه زوجی بوده و با استفاده از بزرگ‌ترین مقدار بردار ویژه ( $\lambda_{max}$ ) و بعد آن (n)، توسط رابطه (2) برآورد می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

پارامتر RI تحت عنوان شاخص تصادفی نیز از جدول (3) استخراج می‌شود. بنابراین در صورتی که  $CR \leq 10\%$  باشد، معیار سازگاری حاصل شده است، در غیر این صورت لازم است که در مقایسه زوجی معیارها بازنگری شود.

پس از اطمینان از نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی، وزن هر عنصر در هر زیرگروه تعیین می‌شود. تکنیک بردار ویژه از جمله روش‌های مناسب در این زمینه می‌باشد که در این صورت وزن هر عنصر از طریق معادله زیر تعیین می‌شود:

$$w_i = \frac{1}{\lambda_{max}} \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

که در آن  $\lambda_{xam}$  بزرگ‌ترین مقدار بردار ویژه و  $a_{ji}$  درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی می‌باشند و سرانجام ماتریس نهایی برای مقایسات از کلیه زیرمجموعه‌ها با هر یک از زیرمجموعه‌های دیگر معروف به سوپرماتریس به صورت زیر تشکیل می‌شود:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & & W_{2N} \\ & & & \\ W_{N1} & W_{N2} & & W_{NN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ارجحیت نهایی برای هر عنصر از هر زیرگروه بر طبق استدلال Saaty که براساس پروسه‌های مارکوف استوار است از طریق حد زیر قابل بیان می‌باشد:

$$W_C = \lim_{l \rightarrow \infty} w^{2l+l} \quad (5)$$

در این صورت عناصر سوپرماتریس به سمت یک مقدار واحد همگرا شده که مقادیر آن‌ها در هر سطر از سوپرماتریس برابر خواهد بود. بدین ترتیب اولویت‌بندی گزینه‌ها از مقایسه و مرتب‌سازی مقادیر ماتریس  $W_C$  در هر ستون مقدور می‌باشد (Saaty & Luis, 2006).

کاربرد اساسی روش ANP تعیین اولویت و رتبه‌بندی مجموعه معیارها و تعیین اولویت و انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های موجود می‌باشد. در شکل (1) تفاوت بین ساختار شبکه‌ای و ساختار سلسله‌مراتبی نشان داده شده است.

هدف این پژوهش ارزیابی عملکرد شبکه پایش کیفی کل کشور می‌باشد. برای این ارزیابی از چهار معیار اصلی اقتصادی (Ec)، اجتماعی (S)، زیست‌محیطی (En)، مدیریتی و فنی (M) و زیرمعیارهای مشخص شده که هر زیرمعیار در جدول‌های (4)، (5)، (6) و (7) نشان داده شده است.

Table 3. RI parameters called random index

(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

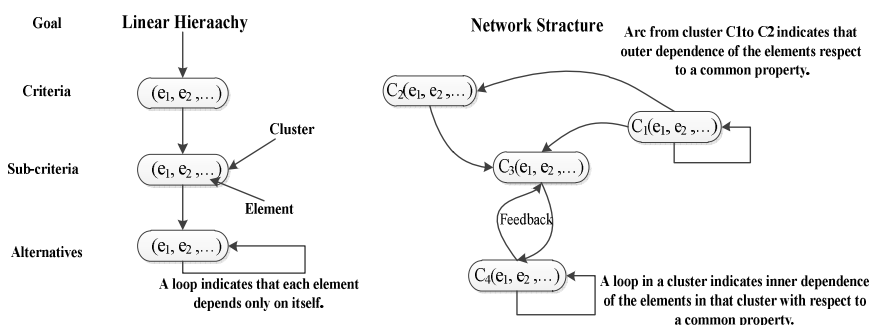


Figure 1. Difference between hierarchical structure and network structure

Table 4. Social sub-criteria

Code	Social sub-criteria
S1	Determine of quantitative and qualitative parameters
S2	Support and acceptance of the people
S3	Long-term recorded data frequency
S4	Monitor chloride concentrations
S5	Water quality parameters
S6	User information
S7	Social growth and culture building
S8	Stability and flexibility of quality station data
S9	Public and free access
S9	

Table 5. Economic sub-criteria

Code	Economic sub-criteria
Ec1	Equipment calibration cost
Ec2	Variable spending budget
Ec3	Skilled operator
Ec4	Development of advanced monitoring technology
Ec5	Employment
Ec6	Modern software technology
Ec7	Data analysis and statistics
Ec8	Monitoring sites
Ec9	Management investments
Ec10	Detection of contamination

Table 6. Managerial and technical sub- criteria

Code	Managerial and technical sub- criteria
M1	Number of monitoring stations
M2	Optimization of WQI monitoring
M3	Extreme weather events
M4	Geological issues
M5	Active monitoring sites
M6	Erosion
M7	Description of large-scale water
M8	Possible and targeted monitoring
M9	Non-point source pollution
M10	Sustainable to pollution management
M11	Data processing and sharing
M12	Control and ensure the quality of data

Table 7. Environmental sub- criteria

Code	Environmental sub- criteria
En1	Water quality index
En2	Investigation of chemical mixtures
En3	WQI water quality indicators
En4	Strengthening the management of data quality assurance system
En5	Water quality parameters indicate all river areas
En6	Computer support and decision making system
En7	Monitoring network evaluation
En8	Optimize network monitoring at specific times and places
En9	Monitoring network design
En10	Two-way water flows

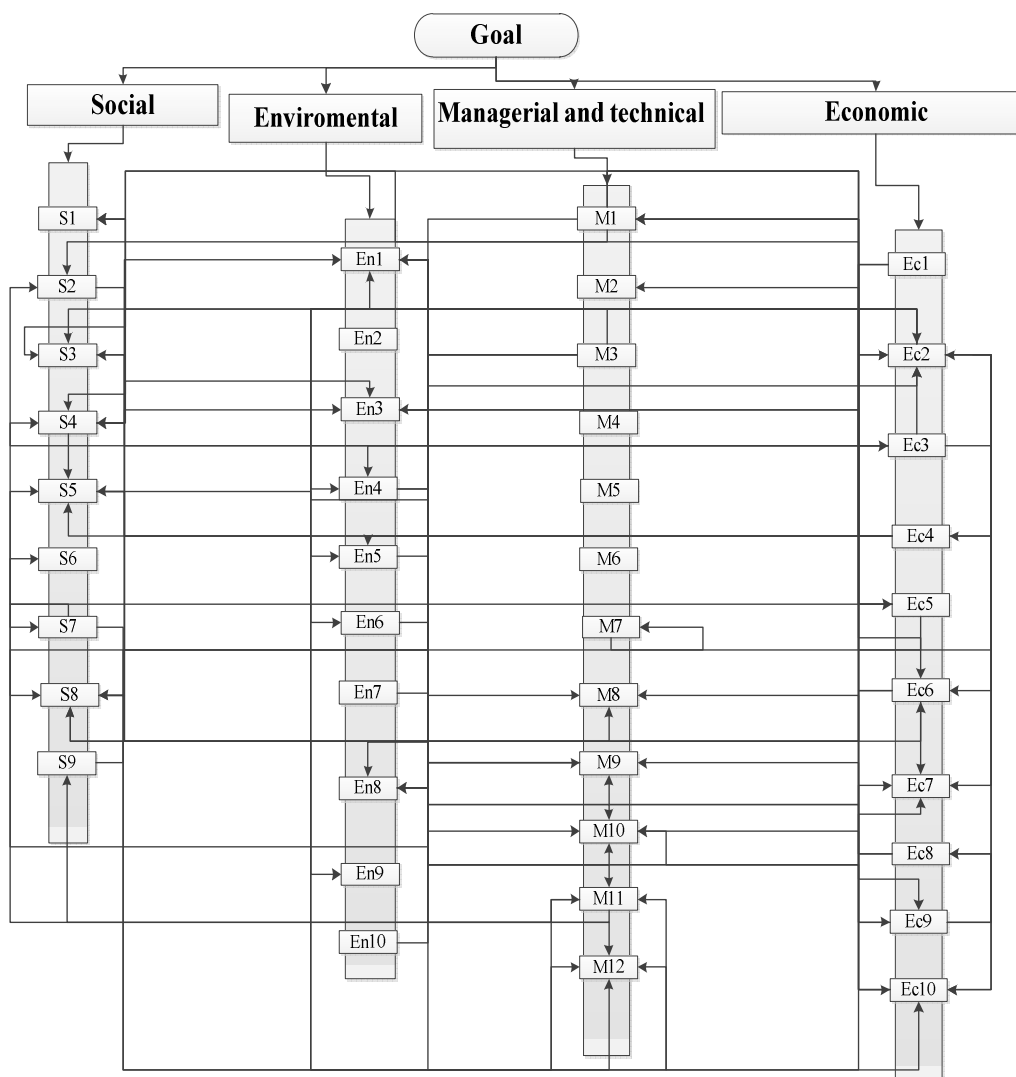


سپس با استفاده از نتایج به دست آمده با وزن‌های اصلی تحقیق، باید آنالیز حساسیت<sup>۱۱</sup> نیز با  $\pm 10\%$  درصد برای پژوهش بررسی شود تا اگر در زمان نظارت هر یک از معیارها نسبت به سایر معیارها با تغییر وزنی مواجه شد، اقدامات لازم صورت گیرد.

پس از تعیین روابط شبکه‌ای بین معیارها مطابق شکل (۲)، ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌شود. برای تکمیل ماتریس‌های مقایسه زوجی پرسش‌نامه‌هایی توسط تصمیم‌گیرندگان تکمیل شد. مشابه روش AHP، در اینجا نیز برای مقایسه زوجی، نیاز به مقیاس عددی برای تعیین مقدار اهمیت یک گزینه بر گزینه دیگر با در نظر گرفتن یک معیار مشخص می‌باشد. این مقیاس‌ها در جدول (۸) نشان داده شده است. به‌طور کلی الگوریتم انجام کار در شکل (۳) نشان داده شده است.

**Table 8. Preference scales for even matrices (Saaty, 1996)**

Expressive phrases	Numeric value
Equal importance	1
Average importance	3
Strong importance	5
Very strong importance	7
Maximum importance	9
Importance between the above modes	2,4,6,8



**Figure 2. Network structure of decision making model**

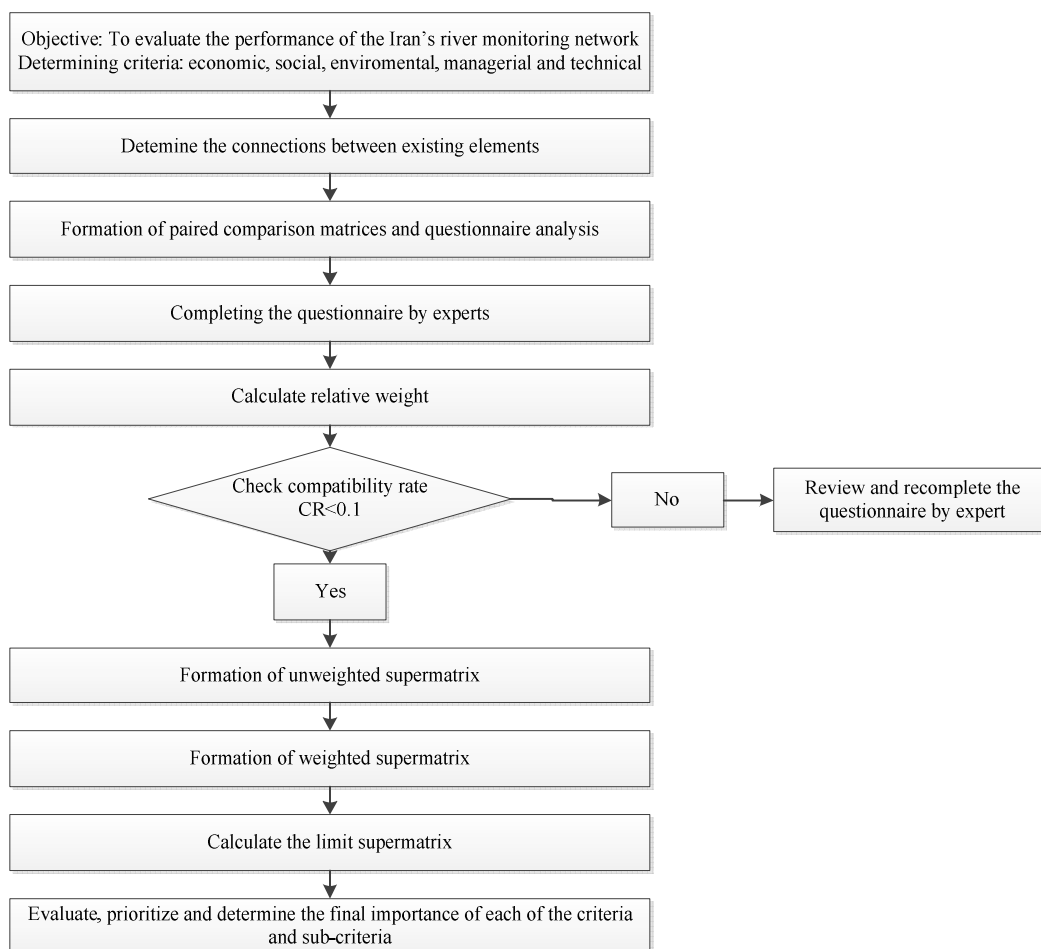


Figure 3. Stages algorithm

### روش انجام کار

در مرحله اول هدف، معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شود (جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷). سپس براساس تأثیر هر یک از المان‌های تصمیم‌گیری بر سایر المان‌ها در سطوح مختلف تصمیم‌گیری، روابط شبکه‌ای بین آن‌ها تشکیل می‌شود (شکل ۲). با توجه به تعیین زیرمعیارها در هر خوشه و طراحی سؤالات مرتبط با هر زیرمعیار و با مشخص نمودن روابط شبکه‌ای بین معیارها و زیرمعیارها، ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل شده و با تکمیل پرسش‌نامه ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه میانگین وزنی، تکمیل می‌شود. داده‌های لازم جهت استفاده از نرم‌افزار سوپردسیژن مهیا می‌باشد.

### نتایج و بحث

طبق نتایج و جدول نشان داده‌شده هر یک از معیارها وزن خاصی را به‌خود اختصاص داده است. بیش‌ترین وزن برای دو معیار مدیریتی و فنی و زیست‌محیطی به‌دست آمده است که مقدار آن ۰/۳۹۰ می‌باشد. سپس معیار اقتصادی با وزن ۰/۱۵۲ و در نهایت معیار اجتماعی با کم‌ترین وزن ۰/۰۶۸ را در مدل به‌دست آورده است. همان‌طورکه انتظار می‌رود یکی از ارکان مهم هر سیستم پایش و نظارت بحث مدیریتی و فنی آن می‌باشد که نتایج مدل نیز در همین راستا پیش‌می‌رود. به‌طورکلی، در بین چهار معیار مشخص شده، بیش‌ترین اثر برای زیرمعیار کنترل و اطمینان از کیفیت

طولانی مدت ثبت شده، سرمایه‌گذاری‌های مدیریتی، متصدی ماهر، تعیین پارامترهای کمی و کیفی، اشتغال، کالیبراسیون تجهیزات، توسعه فناوری‌های پیشرفته نظارت، سایت‌های پایش، کاربران اطلاعات، حمایت و مقبولیت مردم در نهایت زیرمعیار رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی.

به‌عنوان نمونه مطابق جدول (۱۰) در معیار اقتصادی مهم‌ترین زیرمعیار با بیش‌ترین وزن برای زیرمعیار تشخیص آلودگی است. از لحاظ آلودگی و بحث‌های آلاینده‌ها باید در این بخش بودجه‌ای در نظر گرفته شود و به‌صورت مجزا این مسأله در ایستگاه‌های کیفی کنترل شود. با توجه به بودجه ساخت سیستم نظارت، باید سنسورهای ویژه‌ای را براساس عوامل مختلف از جمله نوع آلاینده‌های کنترل‌شده جهت آستانه تشخیص آلودگی مشخص شود. این در حالی است که طبق مصاحبه‌های انجام‌شده در شرکت‌های آب منطقه‌ای سنسور جهت برداشت همیشگی از آلاینده‌ها در ایستگاه‌ها صورت نمی‌گیرد و به‌صورت جزئی به این بخش توجه شده است. زیرمعیار بعدی، زیرمعیار تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمارها است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در وهله اول جمع‌آوری داده‌های کافی و قابل استناد بسیار اهمیت دارد و در وهله دوم تجزیه و تحلیل این داده‌ها برای پیش‌بینی و ارتقای سطح کیفی ایستگاه‌ها نیز دارای اهمیت می‌باشد.

داده‌ها در معیار مدیریتی و فنی به‌دست آمده است و کم‌ترین میزان اهمیت برای زیرمعیار رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی در معیار اجتماعی می‌باشد و با وزن‌های به‌دست‌آمده از ماتریس حدی مطابق جدول (۹) و در شکل (۴)، اولویت‌بندی زیرمعیارها از بیش‌ترین به کم‌ترین اهمیت عبارتند از کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها، تشخیص آلودگی، مدیریت آلاینده‌های آلی پایدار، آلودگی‌های منابع غیر نقطه‌ای، بهینه‌سازی شبکه نظارت در زمان و مکان خاص، تقویت مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، شاخص کیفیت آب، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری، تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمارها، پارامترهای کیفیت آب، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری رایانه، نظارت احتمالی و هدفمند، پارامترهای کیفیت آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، تکنولوژی نرم‌افزاری مدرن، بودجه هزینه‌های متغیر، شاخص کیفیت آب زیست‌محیطی، بهینه‌سازی نظارت شاخص کیفیت آب، حوادث شدید آب‌وهوایی، تعداد ایستگاه‌های نظارتی، طراحی شبکه نظارت، بررسی مخلوط شیمیایی، ارزیابی شبکه پایش، جریان‌های آب دوطرفه، پایداری و انعطاف‌پذیری داده‌های ایستگاه کیفی، دسترسی عمومی و آزاد، مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، سایت‌های نظارت فعال، فرسایش، توصیف آب در مقیاس بزرگ، نظارت غلظت کلرید، فرکانس داده‌های

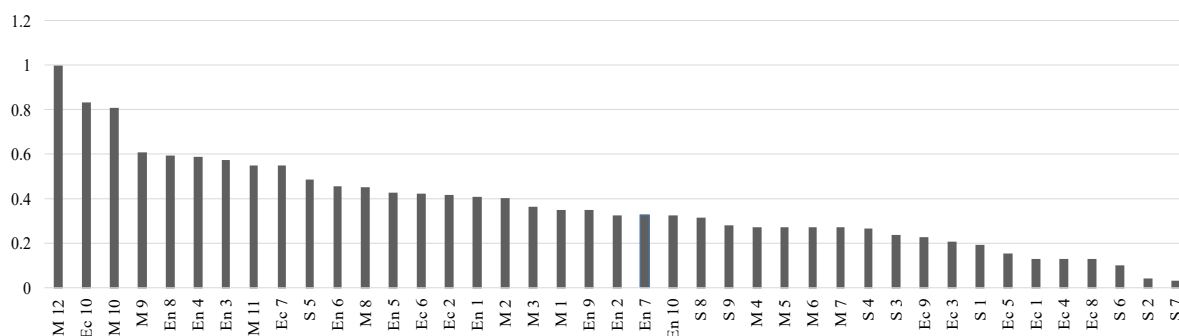


Figure 4. Prioritize sub-criteria

**Table 9. Limit super matrix**

		1economic			...	4management				
		Ec1	Ec2	...	M8	M9	M 10	M 11	M 12	
1economic	Ec1	0.0052	0.0052	...	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	
	Ec2	0.0269	0.0269	...	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	
	Ec3	0.0135	0.0135	...	0.0135	0.0135	0.0135	0.0135	0.0135	
	Ec4	0.0058	0.0058	...	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	
	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
3enviromental	En7	0.0436	0.0436	...	0.0436	0.0436	0.0436	0.0436	0.0436	
	En8	0.0342	0.0342	...	0.0342	0.0342	0.0342	0.0342	0.0342	
	En9	0.0161	0.0161	...	0.0161	0.0161	0.0161	0.0161	0.0161	
	En10	0.0153	0.0153	...	0.0153	0.0153	0.0153	0.0153	0.0153	
	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
4management	M7	0.0091	0.0091	...	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	0.0091	
	M 8	0.02	0.02	...	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	M 9	0.0418	0.0418	...	0.0418	0.0418	0.0418	0.0418	0.0418	
	M10	0.0533	0.0533	...	0.0533	0.0533	0.0533	0.0533	0.0533	
	M 11	0.0621	0.0621	...	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	0.0621	
	M12	0.0722	0.0722	...	0.0722	0.0722	0.0722	0.0722	0.0722	

کیفیت آب تأثیر زیادی بر عملکرد ایستگاه دارد. سپس به ترتیب زیرمعیارهای پایداری و انعطاف پذیری داده‌های ایستگاه‌های کیفی، فرکانس داده‌های طولانی مدت ثبت شده، کاربران اطلاعات، حمایت و مقبولیت مردم به دست آمده است. ایستگاه در جهت رشد اجتماعی و فرهنگ سازی و حس مسئولیت مردم دخیل است و به عنوان زیرمعیار حداقل نسبت به دیگر زیرمعیارهای این بخش استخراج شده است. می‌توان اذعان نمود که به دلیل وجود مشکلات فراوان در ایستگاه، شرایط کنترل جزئیات در حال حاضر امکان پذیر نمی‌باشد. در معیار زیست محیطی بیشترین میزان اهمیت را زیرمعیار بهینه سازی شبکه نظارت در زمان و مکان خاص به خود اختصاص داده است که این بهینه سازی باید به صورت متوالی و جدی صورت گیرد. سپس زیرمعیارها به ترتیب شامل تقویت مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، شاخص‌های کیفیت آب WQI، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری رایانه، پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، شاخص کیفیت آب، طراحی شبکه نظارت، بررسی مخلوط شیمیایی، ارزیابی شبکه پایش و زیرمعیار جریان‌های آب دو طرفه کمترین میزان اهمیت را دارد. جریان‌های آب دو طرفه در یک سیستم رودخانه‌ای

**Table 10. Percentage by weight of economic criteria**

Criteria	Sub-criteria	Percent
1economic	Ec1	4.00
	Ec2	13.03
	Ec3	6.55
	Ec4	4.00
	Ec5	4.85
	Ec6	13.22
	Ec7	17.26
	Ec8	4.00
	Ec9	7.07
	Ec10	26.02

سومین زیرمعیار، زیرمعیار تکنولوژی نرم افزاری مدرن است که باید برای ارتقای سطح نرم افزاری ایستگاه نیز در بحث اقتصادی بودجه مجزا در نظر گرفته شود. زیرمعیار بودجه هزینه‌های متغیر، سپس زیرمعیارهای متصدی ماهر، سرمایه‌گذاری‌های مدیریتی، اشتغال، سایت‌های مانیتورینگ، توسعه فناوری‌های پیشرفته نظارت و کالیبراسیون تجهیزات قرار گرفته است. چون کالیبراسیون تجهیزات موجود در ایستگاه‌های کیفی رودخانه‌ای هزینه زیادی دارد و کارشناسان معتقدند که با توجه به این که بودجه خاص و جداگانه‌ای به صورت سالانه برای این زیرمعیار در نظر گرفته شده پس در ایستگاه‌ها جایگاه خود را تثبیت نموده است. در معیار اجتماعی بیشترین وزن برای زیرمعیار پارامترهای کیفیت آب می‌باشد. پس انتخاب نوع پارامتر

با تغییر وزن معیارها و زیرمعیارها است. تحلیل حساسیت فرایندی برای تغییر ورودی‌ها و ارزیابی نتایج نهایی است. در این پژوهش با  $\pm 10\%$  درصدی معیارها زیرمعیارهای حساس و مهم به دست آمده است که نتایج آن در ادامه نشان داده شده است. مطابق نمودارهای اصلی به دست آمده برای معیارها: بیشترین وزن برای زیرمعیار کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها به دست آمده است، در حالی که در نمودارهای تحلیل حساسیت به دست آمده، زیرمعیار تشخیص آلودگی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و کمترین وزن در هر چهار معیار برای زیرمعیارهای رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی و حمایت و مقبولیت مردم به دست آمده است ولی در نتایج اصلی معیارها فقط زیرمعیار رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی کمترین وزن را دارد. مطابق شکل (۵) در هر دو نمودار معیار اقتصادی، وزن زیرمعیارهای ارزیابی شبکه پایش، دسترسی عمومی و آزاد، تشخیص آلودگی، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری افزایش یافتند و این زیرمعیارها نسبت به تغییرات معیار اقتصادی حساس هستند.

تأثیر قابل توجهی در طراحی بهینه شبکه نظارت بر کیفیت آب ندارد. در معیار زیست‌محیطی زیرمعیارها دارای رابطه نزدیک به هم به دست آمده‌اند به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که در حیطه پایش ایستگاه‌های کیفی معیار زیست‌محیطی باید به طور خاص مورد توجه مدیران و کارشناسان قرار گیرد. مطابق جدول (۱۰) در معیار مدیریتی و فنی بیشترین اثر برای زیرمعیار کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها عنوان شده است. سپس به ترتیب زیرمعیارهای مدیریت آلاینده‌های آلی پایدار، آلودگی‌های منابع غیرنقطه‌ای، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری، بهینه‌سازی نظارت WQI، نظارت احتمالی و هدفمند، حوادث شدید آب‌وهوایی و تعداد ایستگاه‌های نظارتی دارای اهمیت می‌باشند. زیرمعیارهای کنترل فرسایش، توصیف آب در مقیاس بزرگ، مسائل مرتبط با زمین‌شناسی و سایت‌های نظارت فعال دارای کمترین میزان اهمیت می‌باشد. یکی از موارد که باید در مدل‌های MADM مورد بررسی قرار گیرد تحلیل حساسیت است که شامل ارزیابی و بررسی تغییرات و اولویت‌بندی نهایی

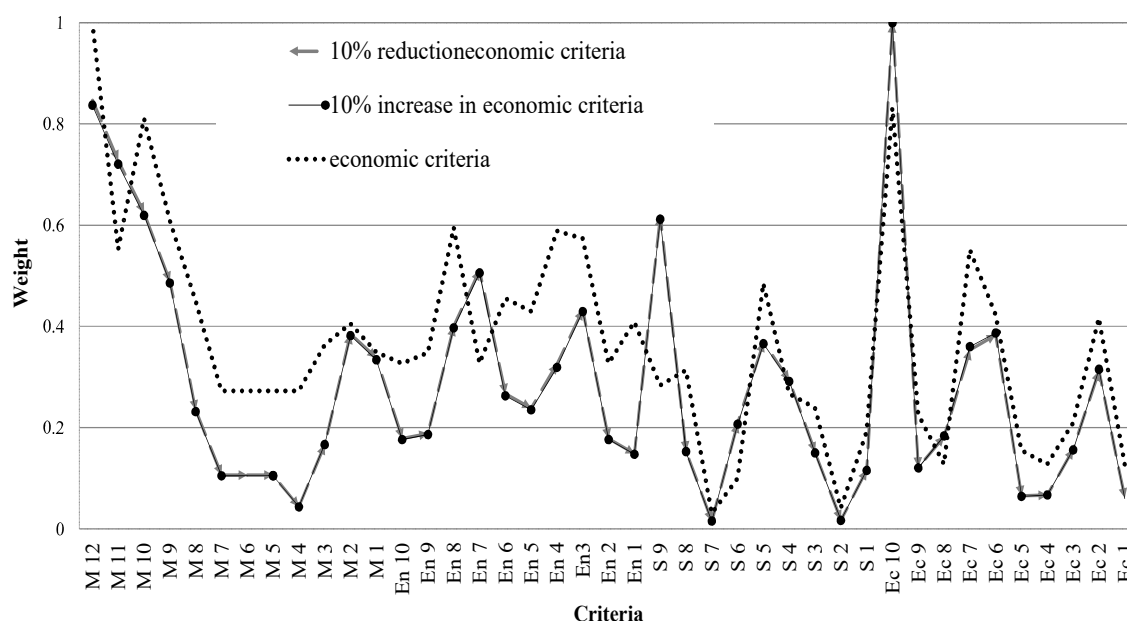


Figure 1. Sensitivity analysis of economic criteria

داده‌ها و به اشتراک‌گذاری به دست آمد. زیرمعیارهای تعداد ایستگاه‌های نظارتی، بهینه‌سازی نظارت WQI، رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی، حمایت و مقبولیت مردم، نظارت غلظت کلرید، تکنولوژی نرم‌افزاری مدرن با نمودار معیار اقتصادی مماس نمودار به دست آمده است و نشان‌دهنده این است که این زیرمعیارها حساسیتی نسبت به تغییر معیار اقتصادی ندارند. وزن زیرمعیارهای مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، تقویت و مدیریت تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات، تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمارها، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری رایانه و پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه کاهش یافت. به‌طورکلی حساس‌ترین زیرمعیارها شامل تشخیص آلودگی، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری، مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، تقویت و مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات، تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمارها، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری رایانه و پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه که این زیرمعیارها در ارزیابی دخیل می‌باشند و در زمان نظارت و شبکه پایش هر یک از این زیرمعیارها با تغییر وزنی مواجه شده و باید اقدامات لازم صورت گیرد.

وزن زیرمعیارهای بهینه‌سازی نظارت WQI، رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی، حمایت و مقبولیت مردم، نظارت غلظت کلرید، سایت‌های مانیتورینگ، تکنولوژی نرم‌افزاری مدرن با نمودار معیار اقتصادی مماس نمودار به دست آمده است و نشان‌دهنده این است که این زیرمعیارها حساسیتی نسبت به تغییر معیار اقتصادی ندارند. وزن زیرمعیارهای مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، تقویت و مدیریت و سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات، سرمایه‌گذاری‌های مدیریتی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و آمارها در مقایسه با وزن نمودار معیار اقتصادی کاهش یافته و دوباره حساسیت این زیرمعیارها را نشان می‌دهد. با مشخص شدن حساس‌ترین زیرمعیارها که در ارزیابی دخیل هستند اقدام به بررسی رفتار شبکه‌ای این متغیرها بر یکدیگر و همچنین بر معیارهای دیگر نیز استفاده می‌شود. لیکن اگر در زمان نظارت و شبکه پایش هر یک از معیارها نسبت به یکدیگر و زیر معیارها با تغییر وزنی مواجه شد، اقدامات لازم صورت گیرد. مطابق شکل (۶) در معیار زیست‌محیطی در هر دو نمودار تغییرات افزایشی و کاهش‌ی، افزایش وزن زیرمعیارهای تشخیص آلودگی، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش

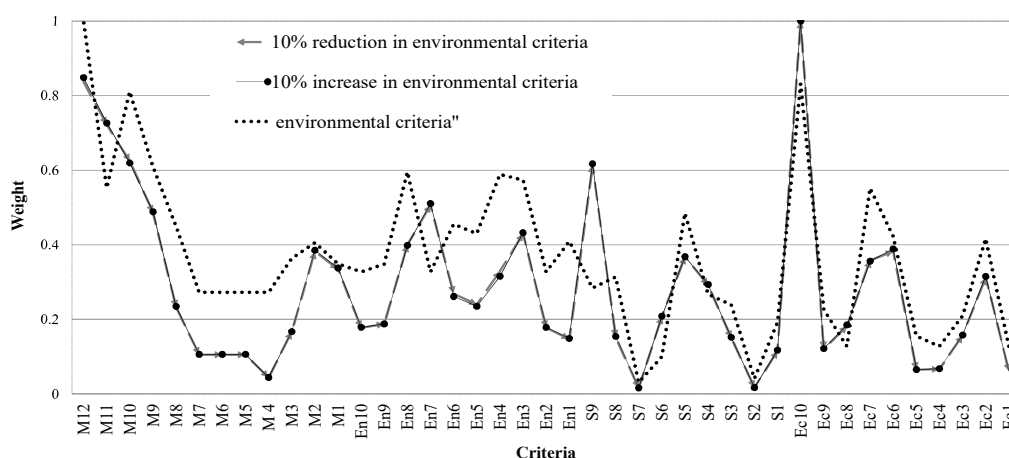


Figure 6. Sensitivity analysis of environmental criteria

WQI، رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی، حمایت و مقبولیت مردم، کاربران اطلاعات، پارامترهای کیفیت آب، سایت‌های مانیتورینگ و تکنولوژی نرم‌افزاری مدرن مماس نمودار معیار اجتماعی به دست می‌آید. در نمودار افزایشی آنالیز حساسیت معیار مدیریتی و فنی تغییرات افزایشی در زیرمعیارهای سایت‌های مانیتورینگ، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری به دست آمده است و در نمودار کاهش‌ی وزن زیرمعیارهای سایت‌های مانیتورینگ، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری افزایش یافت. و کاهش وزن در زیرمعیارهای مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری، تقویت و مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات و سایت‌های مانیتورینگ به دست آمده است. به‌طورکلی حساس‌ترین زیرمعیارها عبارتند از سایت‌های مانیتورینگ، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری، مسائل مرتبط با زمین‌شناسی، سیستم‌های پشتیبان و تصمیم‌گیری، تقویت و مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات و این زیرمعیارها در ارزیابی دخیل می‌باشند.

مطابق شکل (۷) در نمودار افزایشی معیار اجتماعی وزن زیرمعیارهای سایت‌های مانیتورینگ، نظارت غلظت کلرید، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری افزایش پیدا کردند. وزن زیرمعیارهای سیستم‌های پشتیبان و رایانه، پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، تقویت و مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات و سرمایه‌گذاری‌های مدیریتی در مقایسه با نمودار معیار اجتماعی کاهش یافت. به‌طورکلی حساس‌ترین زیرمعیارها هم‌چون سایت‌های مانیتورینگ، نظارت غلظت کلرید، کاربران اطلاعات، دسترسی عمومی و آزاد، ارزیابی شبکه پایش، پردازش داده‌ها و به اشتراک‌گذاری، سیستم‌های پشتیبان و رایانه، پارامترهای کیفی آب نشانگر تمامی نواحی رودخانه، تقویت و مدیریت سیستم‌های تضمین کیفیت داده‌ها، کالیبراسیون تجهیزات و سرمایه‌گذاری‌های مدیریتی و این زیرمعیارها در ارزیابی دخیل می‌باشند.

در شکل (۸) برای معیار مدیریتی و فنی همانند نتایج اصلی حداکثر و حداقل به‌ترتیب زیرمعیارهای تشخیص آلودگی و رشد اجتماعی و فرهنگ‌سازی و حمایت و مقبولیت مردم می‌باشد. زیرمعیارهای بهینه‌سازی نظارت

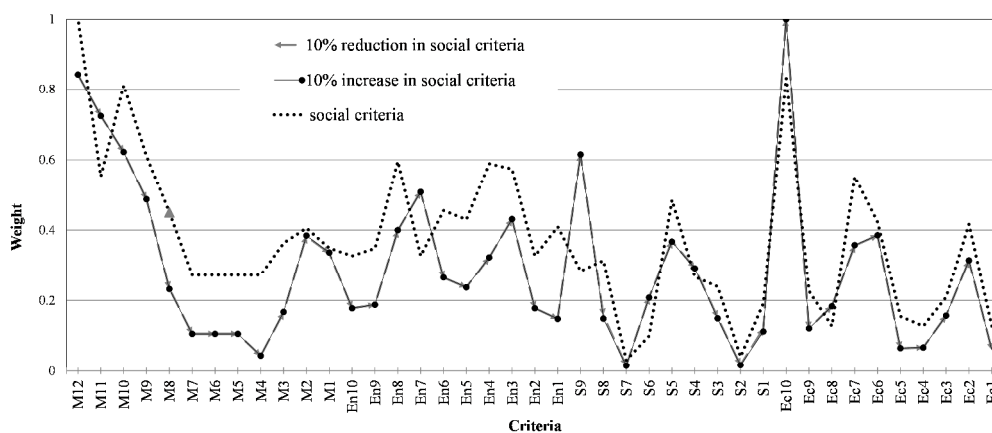


Figure 7. Sensitivity analysis of social criteria

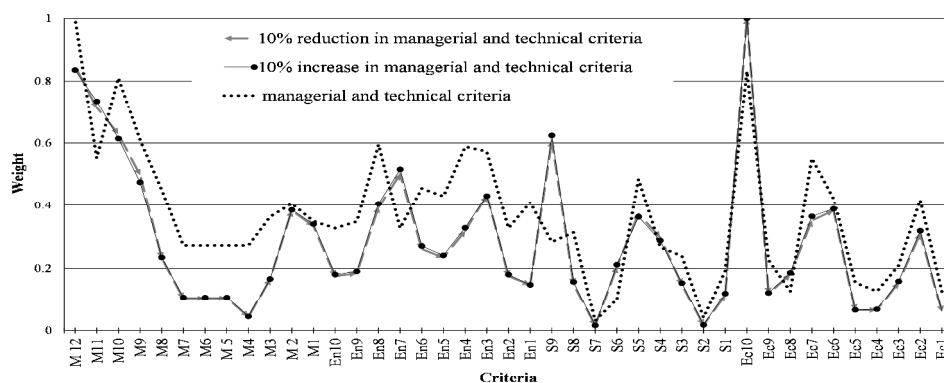


Figure 8. Sensitivity analysis of managerial and technical criteria

### نتایج ارزیابی شبکه پایش کیفی

خروجی روش ANP نشان می‌دهد که بیش‌ترین اهمیت برای معیار مدیریتی و فنی در نظر گرفته شده است. در نتیجه بیش‌ترین ایرادات و چالش‌ها نیز در این معیار خلاصه می‌شود. به‌عنوان رکن اساسی یک شبکه پایش باید بازبینی‌های مختلفی در این زمینه صورت گیرد تا شبکه پایش از نظر فنی قابل قبول باشد. سپس معیار زیست‌محیطی مهم تلقی شده است. می‌توان این‌گونه استنباط نمود که در جامعه امروزی مبحث سلامت آب یکی از مباحث مهم در جهان مطرح شده است و باید چالش‌های آلودگی آب نیز طبق چهارچوب و قوانین جهانی مطرح شده، کنترل شود و در نهایت معیارهای بعدی اقتصادی و اجتماعی عنوان شده‌است. خروجی روش کار نشان می‌دهد که اولین معیار در ایستگاه‌های پایش آب، کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها می‌باشد. داده به‌عنوان زیر ساخت اصلی هر ایستگاه بوده که پایه و مبنا تمام اطلاعات، پیش‌بینی‌ها، تجزیه و تحلیل‌های آماری و نتایج است. پس به‌عنوان اولین گام و مهم‌ترین بخش دارای اهمیت بسیاری است و این مهم نشان‌دهنده این است که در کشور ایران اطمینان از داده‌های شبکه پایش وجود ندارد و داده‌ها قابل استناد نمی‌باشد. برای ایجاد این اطمینان در برداشت داده‌ها باید همه شرایط مهیا باشد، که مهم‌ترین این شرایط همان کنترل قبل از برداشت است.

امریکا با فرکانس هر یک ربع یک‌بار داده‌ها را به‌صورت آنلاین برداشت می‌نماید و برای کنترل و اطمینان از داده‌ها، ابتدا به ساکن داده‌ها به‌صورت موقت گزارش شده و سپس بعد از تأیید شدن ثبت می‌شود.

محاسبات نشان می‌دهد که شبکه پایش کیفی کشور به گونه‌ای است که نمی‌توان با آن آلودگی را تشخیص داد. دلایل این امر عبارتند از ۱- برخی پارامترهای اساسی و مهم آلودگی یا اندازه‌گیری نمی‌شوند یا با فرکانس یک‌ماهه برداشت می‌شوند، ۲- ابتدا به ساکن کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها دارای مشکل است، ۳- فرکانس برداشت یک‌ماهه، آلودگی‌های کم‌تر از این فرکانس را غیرقابل تشخیص می‌نماید. در شبکه پایش بیش‌تر کشورهای توسعه‌یافته مانند امریکا آلودگی را می‌توان با پارامترهای کیفیت آب کنترل نمود و به‌عنوان یک شاخص مشترک در نظر گرفت. این در حالی است که آلمان به‌عنوان یک شاخص مجزا مبحث آلودگی را کنترل می‌نماید.

معیار مدیریت آلاینده‌های آلی پایدار در حوزه کشاورزی قرار دارد، که می‌توان به‌عنوان شاخص کلی در بحث تشخیص آلودگی و آلودگی منابع غیر نقطه‌ای نیز در نظر گرفت. در حال حاضر با شیوع بیماری کرونا می‌توان آب را یکی از عوامل انتشار آلودگی دانست و باید در نظر داشت که اگر موضوع آلودگی و آلاینده‌ها را به‌طور مجزا با



تجزیه و تحلیل و به اشتراک‌گذاری این آمارها و تحلیل‌ها باعث می‌شود که عموم مردم از شرایط فعلی باخبر شوند و همچنین زمینه را برای ارائه طرح و ایده از اشخاص معمولی جامعه نیز فراهم می‌نماید. شبکه پایش بیش‌تر کشورهای توسعه یافته مانند آمریکا و آلمان نیز از کشورهای پیش‌قدم در این زمینه است.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی و آسیب‌شناسی عملکرد شبکه پایش کیفی کل کشور با استفاده از روش ANP مورد مطالعه قرار گرفته است. که با انتخاب چهار معیار اصلی اعم از اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، مدیریتی و فنی و زیرمعیارهای تعیین‌شده، مشخص شده است. بیش‌ترین اهمیت برای معیار مدیریتی و فنی در نظر گرفته شده است. در نتیجه بیش‌ترین ایرادات و چالش‌ها نیز در این معیار خلاصه می‌شود. سپس معیار زیست‌محیطی مهم و در نهایت معیارهای اقتصادی و اجتماعی عنوان شده است.

اولین معیار در ایستگاه‌های پایش آب، کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها می‌باشد. در کشور ایران اطمینان از داده‌های شبکه پایش وجود ندارد و داده‌ها قابل استناد نمی‌باشد. برای ایجاد این اطمینان باید فرکانس برداشت داده‌ها را تغییر داد. محاسبات نشان می‌دهد که شبکه پایش کیفی کشور به گونه‌ای است که نمی‌توان با آن آلودگی را تشخیص داد و برداشت و کنترل آلودگی‌های کم‌تر از این فرکانس را غیرقابل تشخیص می‌نماید. معیار مدیریت آلاینده‌های آلی پایدار در حوزه کشاورزی قرار دارد. به گونه‌ای که بسیاری از کارخانجات آلودگی و پساب خود را در رودخانه‌ها تخلیه می‌کنند فرکانس یک‌ماه نمی‌تواند آلودگی‌ها را تشخیص دهد. بهینه‌سازی باید با توجه به شرایط جغرافیایی، اقتصادی، اقلیمی و ...

تخصیص بودجه خاص برنامه‌ریزی نمود، برای شبکه پایش کیفی رودخانه‌های اثرات مطلوبی به همراه خواهد داشت.

بهینه‌سازی، کنترل و بروزرسانی دوره‌ای اقدامات و فعالیت‌هایی است که با پیشرفت تکنولوژی و ترقی روزانه بشر در همه زمینه‌ها موازی می‌باشد. در جوامع امروزی بهینه‌سازی برنامه‌ریزی‌هایی که صورت گرفته است، گام مؤثری در روند پیشرفت و نتیجه مطلوب سیستم دارد. البته باید در نظر داشت که قبل از بهینه‌سازی باید برنامه‌ریزی شبکه نظارت با حد مطلوب میسر شود. ژاپن معتقد است که بهینه‌سازی باید با توجه به شرایط جغرافیایی، اقتصادی، اقلیمی و ... منطقه صورت گیرد و هر چه گستردگی در این امر بیش‌تر باشد نتایج دارای یکپارچگی و انسجام قابل‌قبولی می‌باشند.

طبق خروجی پژوهش، پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب دارای اولویت بالا می‌باشند. در اولویت‌بندی زیرمعیارهای ایستگاهی آب به‌عنوان عنصر اصلی حیات انسان می‌باشد و یکی از مهم‌ترین علل کنترل و نظارت را می‌توان سلامت آب دانست. با تعیین پارامترهای کیفیت آب و با استفاده از دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی می‌توان آب را در برابر آلاینده‌های گوناگون ایمن ساخت و برای کنترل و ارزیابی آن شاخص تعیین نمود. در این زمینه کشورهایی هم‌چون چین، ژاپن، فیلیپین، تایلند، ویتنام، مالزی، لائوس، کره و کلمبیا برای خود یک دستورالعمل، قانون و چهارچوب خاص و منحصربه‌فرد برای محیط‌زیست و سلامت آب در نظر دارند.

هر ایستگاه به نسبت داده و کیفیت داده‌هایی که جمع‌آوری نموده است اثر و تبحر دارد. بانک اطلاعاتی و داده‌ای هر ایستگاه وقتی قابل استفاده خواهد بود که داده‌های آن مورد تجزیه و تحلیل و پردازش قرار گیرد و از آن در جهت ارتقای سطح کیفی ایستگاه، پیش‌بینی، ارزیابی و کنترل ایستگاه استفاده نمود. در نهایت بعد از

## منابع

- Antonic, S., & Durate, S. (1997). Stochastic judgment in the AHP: the measurements of rank reversal, *Decision Science. Journal of the decision sciences institute*, (3) 28, 0011-7315.
- Aragones, P., Aznar, J., Ferries, J., & Garica, M. (2006). Valuation of urban industrial land: an analytical network process approach. *European journal of operation research, Elsevier*, 185(1), 322-339.
- Bhardwaj R. M. (2005). Water quality monitoring in india-achievements and constraints. Scientist "C" Central Pollution Control Board, India. Wg-Env, International work session on water statistics, Vienna, June 20-22 2005.
- Cude, C. (2001) Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *J Am water resource as*, 37, 125-137.
- Evaluation report unda project. (2012). Water quality in central asia united nations economic commision for erope in cooperation with the regional environmental centre centre for central asia (carec). almaty, 2018
- Evangelos, T. (2000). Ph.D. multi- criteriadecision making: Theory and applications. MDPI.
- Gangopadhyay, S., Gupta, A.D., & Nachabe, M.H. (2001). Evaluation of ground water monitoring network by principal component analysis. *Ground Water*, 39, 181-191.
- Guidance manual for optimizing water quality monitoring program design. (2015). Canadian Council of Ministers of the Environment, PN 1543 ISBN 978-1-77202-020 PDF
- Khan, S., & Faisal, M. N. (2007), An analytical network process model for municipal solid waste disposal option, *Waste management*, xx: pp. 6-15.
- Noori, R., Kerachian, R., Darban, A.K., & Shakibaenia, A. (2007). Assessment of importance of water quality monitoring stations using principal components analysis and factor analysis: a case study of the Karoon river. *Water and Wastewater*, 18 (3), 60-69. (In Persian).
- Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A.R., Baghvand, A., & Taati Zadeh, H. (2010). Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set.
- Noori, R., Karbassi, A., Khakpour, A., Shahbazbegian, M., Mohammadi Khalf Badam, H., & Vesali-Naseh, M. (2012). Chemometric Analysis of Surface Water Quality Data: Case Study of the Gorganrud River Basin, Iran.
- Perkins, R.G., & Underwood, G.J.C. (2000). Gradients of chlorophyll and water chemistry a long an eutrophic reservoir with determination of the limit in g nutrient by in situ nutrient addition. *Water Research*, 34, 713-724.

منطقه صورت گیرد و هرچه گستردگی در این امر بیشتر باشد نتایج دارای یکپارچگی و انسجام قابل قبولی می‌باشند. طبق خروجی پژوهش، پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب دارای اولویت بالا می‌باشند. با تعیین پارامترهای کیفیت آب و با استفاده از دستورالعمل‌های ملی و بین‌المللی می‌توان آب را در برابر آلاینده‌های گوناگون ایمن ساخت و برای کنترل و ارزیابی آن شاخص تعیین نمود. در نهایت برای کاربردی شدن پژوهش، پیشنهادات ذیل ارائه می‌شود:

- ۱- مهم‌ترین زیرمعیار به‌دست‌آمده در این پژوهش، زیرمعیار کنترل و اطمینان از کیفیت داده‌ها می‌باشد. لذا باید توجه بیش‌تری در بحث کنترل داده‌ها صورت گیرد.
- ۲- دومین موضوع بحث تشخیص آلودگی می‌باشد و با تشخیص به موقع و مدیریت منابع آلودگی می‌توان آب را در برابر آلاینده‌های گوناگون ایمن ساخت.
- ۳- برنامه‌ریزی برای شبکه نظارت گام اول می‌باشد و گام بعدی پس از آن بهینه‌سازی است که اولویت‌بندی ایران نیز اثر بهینه‌سازی شبکه نظارت در زمان و مکان خاص را به‌عنوان ارکان اصلی و مهم در نظر دارد.

## پی‌نوشت‌ها

1. ANP (Analytical Network Process)
2. AHP (Analytical Hierarchy process)
3. Principal Component Analysis (PCA)
4. Principal Factor Analysis (PFA)
5. GEMS (Global Environment Monitoring System)
6. UNEP (United Nations Environment Programmer)
7. WHO (World Health Organization)
8. WMO (World Meteorological Organization)
9. UNFAO (United Nations Food and Agriculture Organization)
10. GEMS/ WATER
11. MADM (multiple Attribute Decision making)
12. Sensitivity Analysis

## تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

- Ranjbar Jafarabadi, A., Masoodi, M., Sharifiniya, M., & Riyahi Bakhtiyari, A. (2015). Integrated river quality management by CCME WQI as an effective tool to characterize surface water source pollution (Case study: Karun River, Iran).
- Razavi Tusi, S.L., & Mohammavali Samani, J. (2013). Management Prioritization of a number of catchments in the country using a new hybrid algorithm based on (ANP) TOPSIS-ANP fuzzy network analysis process methods. (In Persian)
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1996). Decision making with dependence and feedback: the analytic network process, RWS publications Pittsburgh.
- Saaty, T.L. (1999). Fundamentals of the analytic network process, ISAHP 1999, Kobe, Japan, August, pp. 12-14.
- Saaty, T.L., & Luis, G. Vargas. (2006). Decision Making With The Analytic Network Process, Springer Science, New York, USA.
- Saaty, T. L., & Vargas, L.G. (2006). The analytic hierarchy process: wash criteria should not be ignored. *International Journal of Management and Decision Making*, 188-180,7.
- Solak, C.N., Fehér, G., Barlas, M., & Pabuçcu, K. (2007a). Use of epilithic diatoms to evaluate water quality of Akçay Stream (Büyük Menderes River) in Mugla/Turkey. *Archiv Für Hydrobiologie Suppl.*, 161 (3-4), Large Rivers, 17 (3-4), 327-338.
- Wehrich, H. (1982). The Tows Matrix: A Tool for Situational Analysis, Long Range Planning, 15IS-2SP-54EP-66PY.
- Ying, O. (2005). Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, 39, 2621-2635.