



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## ارزیابی و مقایسه کیفیت آب با استفاده از روش‌های تحلیل رابطه خاکستری و NSFQI در مخزن سد شیرین‌دره

مهدی تیموری\*، واحدبردی شیخ، امیر سعدالدین  
گروه آب‌خیزداری، دانشکده مرتع و آب‌خیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

زمینه و هدف: کیفیت آب از موضوعات مهمی است که با توسعه اقتصادی و اجتماعی، اهمیت زیادی یافته و علاوه بر هزینه‌های هنگفت بهبود آب شرب، مخاطرات سلامت انسان‌ها و محیط زیست را نیز به همراه دارد. سد شیرین‌دره با اینکه مدت کوتاهی از ساختش می‌گذرد ولی مشکلات ناشی از بهره‌برداری از آن، بخش محیط زیست و سلامت آب را دچار چالش ساخته است.

روش بررسی: از آنجایی که کیفیت آب تحت تاثیر فرایندهای پیچیده و متغیرهای متعددی قرار می‌گیرد، از متغیرهای روش (National Sanitation Foundation Water NSFQI Quality Index) به صورت ماهانه و در بازه زمانی آذر ماه ۱۳۹۰ تا آبان ماه ۱۳۹۱ استفاده شد تا کیفیت آب مخزن در چارچوب فرایند تحلیل رابطه خاکستری بررسی و با نتایج روش NSFQI مقایسه صورت گیرد. همچنین با توجه به اهمیت وزن متغیرها، از روش آنتروپی Shannon استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در روش تحلیل رابطه خاکستری از ماه‌های آبان ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ و در روش NSFQI از مهر ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۳۹۱ کیفیت آب متوسط و در بقیه ماه‌ها بد است. در روش تحلیل رابطه خاکستری، بیشترین مقدار شاخص مخزن مربوط به ایستگاه ۳ و بهمن ۱۳۹۰ با مقدار ۶۴/۲ و بدترین کیفیت آب مربوط به ایستگاه ۴ و مرداد ۱۳۹۱ با مقدار ۳۹/۲ است. در روش NSFQI نیز بیشترین مقدار شاخص مخزن مربوط به ایستگاه ۳ و بهمن ۱۳۹۰ با مقدار ۶۸/۷ و بدترین کیفیت آب مربوط به ایستگاه ۱ و مرداد ۱۳۹۱ با مقدار ۳۹/۱ است.

نتیجه‌گیری: هر چند بین دو روش تفاوت چندانی وجود ندارد ولی با توجه به انطباق بیشتر نتایج روش تحلیل خاکستری با وقایع آب و هوایی و کاربری بالادست سد، استفاده از این روش توصیه می‌گردد. ضمناً با توجه به کیفیت بد آب مخزن در بعضی ماه‌ها ضروری است که منابع آلاینده ورودی در بالادست سد شناسایی و بعد از تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق بحرانی، اقدامات کنترلی انجام پذیرد.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۵  
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۴/۳۰  
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۳  
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۶/۲۶

واژگان کلیدی: کیفیت آب، تصمیم‌گیری  
چندمعیاره، روش آنتروپی شانون، روش  
شاخص کیفیت آب

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
[m.teimouri@yahoo.com](mailto:m.teimouri@yahoo.com)

## مقدمه

چالش مدیریت کیفیت آب به‌عنوان یکی از اصول توسعه پایدار نگرانی عمده‌ای را برای بسیاری از محققین و مدیران ایجاد نموده است (۱، ۲). کیفیت آب تحت تاثیر عوامل طبیعی متعددی مانند فرسایش خاک، تغییر اقلیم و همچنین عوامل انسانی قرار می‌گیرد (۳) و کاهش کیفیت آن نه تنها باعث اثرات منفی زیستی در اکوسیستم آبی می‌گردد، بلکه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم سلامتی انسان‌ها را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (۴). در نتیجه برای حفاظت از محیط زیست و برنامه‌ریزی منابع آب، تعیین عددی کیفیت آب و راهنمایی براساس ارزیابی جامع، ضروری به‌نظر می‌رسد.

به دلیل اینکه عوامل پیچیده و غیرخطی زیادی در ارزیابی کیفیت آب موثرند، تاکنون روش واحدی برای ارزیابی کیفیت آب ارائه نشده است. روش‌های قدیمی‌تر به ارزیابی چند پارامتر پرداخته و با تجمیع آنها به شاخصی دست می‌یافتند که بسیار ساده است (۵). نسل جدید روش‌های ارزیابی کیفیت آب براساس تئوری جعبه خاکستری و یا تئوری سیستم‌ها بنا شده است که به فازی بودن پارامترهای موثر می‌پردازند (۶). مانند روش تحلیل مولفه‌های اصلی، روش شبکه عصبی، روش تحلیل خاکستری، روش فازی و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی. هر یک از روش‌های مذکور نقاط قوت و ضعف خود را در اجرا و هدف دارند. مثلاً بعضی از آنها قادر به طبقه‌بندی شرایط کیفیت آب نیستند و یا اینکه دارای محاسبات پیچیده هستند و نیاز به داده‌های طولانی مدت و کامل دارند. در این بین، روش تحلیل رابطه خاکستری که نوعی تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است می‌تواند در حل مسائل پیچیده مورد استفاده قرار گیرد که علاوه بر سادگی اصول و محاسبات از بیشتر داده‌ها استفاده کرده و می‌تواند نتایج به دست آمده را در طبقات مختلف کیفیت آب منعکس سازد (۷).

در بین روش‌های قدیمی و ساده نیز روش شاخص WQI (Water Quality Index) که توسط Horton (۸) در آمریکا توسعه داده شده، برای شناخت و رفع نگرانی ناشی از آلودگی‌های آب بسیار با ارزش و منحصر بفرد بوده و در تمام دنیا

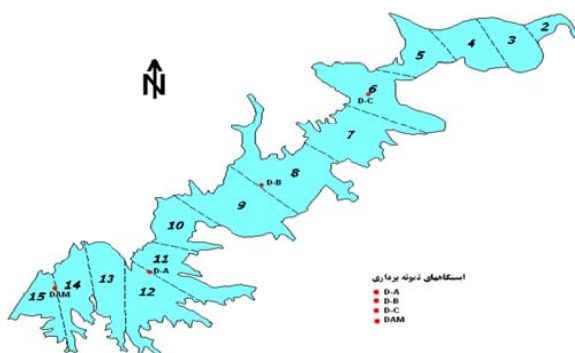
پذیرفته شده است (۹). Brown و همکاران (۱۰) از تکنیک وزن‌دهی ساده ریاضی برای متغیرهای شاخص فوق استفاده کرد و بنیاد ملی بهسازی آمریکا نیز از تکنیک دلفی (Delphi method) برای تعیین متغیرها و از تابع لگاریتمی برای تبدیل آنها به مقادیر زیرشاخص‌ها استفاده نمود که به روش شاخص کیفیت آب بنیاد ملی بهسازی آمریکا (NSFWQI) معروف است (۱۱) و در میان شاخص‌های عمومی کیفی آب بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲).

یکی از مسائل کلیدی که روش‌های فوق با آن مواجه‌اند چگونگی تعیین وزن متغیرها برای ارزیابی جامع کیفیت آب است که بدین منظور می‌توان از روش‌های مختلفی مانند آنتروپی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده نمود (۱۳). تئوری آنتروپی یکی از روش‌های آماری موجود برای ارزیابی عدم قطعیت موجود در متغیرهای تصادفی با استفاده از اطلاعات محدود موجود است و دارای انواع مختلفی است که یکی از متداول‌ترین آنها، آنتروپی Shannon (۱۴) است.

از جمله مطالعاتی که در زمینه تحلیل رابطه خاکستری کیفیت آب انجام شده می‌توان به مطالعه Ip و همکاران (۱۵) اشاره نمود که از این روش برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ای در چین استفاده کردند و آن را ابزاری کاربردی برای تحلیل داده‌های غیردقیق و کوتاه هیدرولوژیکی معرفی نمودند. همچنین Luo و همکار (۱۶) نیز از روش تحلیل رابطه خاکستری برای ارزیابی کیفیت آب داده‌های شهر تنگلی (Tongli) در چین استفاده نمودند. آنها برای تعیین وزن شاخص‌ها از روش ضریب تغییرات استفاده کرده و روش مذکور را مناسب و عملی دانستند. Sener و همکاران (۱۷) نیز از شاخص WQI برای بررسی آب مخزن سد کاراکورن در ترکیه برای دو دوره ماه اکتبر ۲۰۱۱ و ماه می ۲۰۱۲ استفاده کردند و کیفیت آن را در دو دوره خوب تشخیص دادند.

در ایران تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه ارزیابی شرایط کیفیت آب با روش تحلیل رابطه خاکستری انجام نشده است. در زمینه مطالعه شاخص کیفیت آب، Shamsaei و همکاران (۱۸) از بین روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت آب برای رودخانه کارون

عملیات نمونه‌برداری و انجام آزمایشات کیفی مخزن در ۴ ایستگاه (ایستگاه ۱ نزدیک بدنه سد و ایستگاه ۴ نزدیک ورودی مخزن) از آذر ماه ۱۳۹۰ به مدت یکسال به‌صورت ماهانه برداشت گردید. نمونه‌ها برای تعیین اکسیژن با دستگاه پرتابل و برای غلظت فسفات و نترات از فواصل ۵ متری عمق برداشت و با دستگاه اسپکتروفتومتری پرتابل HACH در محل قرائت شد. pH و مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه سنجش آن در محل و کلیفرم‌های مدفوعی نیز با استفاده از روش استاندارد صافی غشایی و کشت میکروبی در آزمایشگاه تعیین و محاسبه گردید.



شکل ۱- موقعیت مخزن سد شیرین دره و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

### شاخص کیفیت آب با استفاده از روش NSFQI

Brown و همکاران (۱۰) با توسعه روش WQI و با نظر سایر متخصصین، عواملی (جدول ۱) را برای ایجاد شاخص اصلی کیفیت آب انتخاب کردند که تا به امروز یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین شاخص‌های کیفیت منابع آب سطحی است. در این روش داده‌های کیفیت آب به یک نمودار منحنی وزنی انتقال داده می‌شوند و مقدار عددی به‌دست می‌آید. در نهایت شاخص مذکور از معادله ۱ تعیین می‌گردد (۹).

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (1)$$

که  $Q_i$  زیرشاخص برای  $i$  امین متغیر کیفیت آب و  $W_i$  وزن مرتبط با هر متغیر (جدول ۱) (۲۳) و  $n$  تعداد متغیرهای کیفیت آب است. در این روش، کیفیت آب براساس جدول ۲ تعیین می‌شود (۲۴).

و دز، روش NSFQI را به دلیل دخالت اثر وزن متغیرها، روش مناسب‌تری عنوان نمودند. Javid و همکاران (۱۹) نیز به بررسی وضعیت کیفیت آب دریاچه سد دز با شاخص WQI پرداخته و بهترین مقدار شاخص را با عدد ۶۱ در ماه دی و در وسط مخزن معرفی نمودند. Sadeghi و همکاران (۲۰) هم به تعیین وضعیت کیفیت آب رودخانه زرین‌گل استان گلستان با دو روش NSFQI و  $IRWQI_{SC}$  (Iran WQI) پرداخته و کیفیت آن را با هر دو روش برای کشاورزی مناسب ولی برای شرب نیازمند تصفیه دانستند.

با توجه به مطالعات قبلی Khajehpour و همکاران (۲۱)، که مخزن سد شیرین‌دره را در بسیاری از ماه‌ها در شرایط مغذی طبقه‌بندی نموده است، تحقیق حاضر به منظور بررسی و تحلیل کیفیت آب مخزن - به‌عنوان مهمترین منبع تامین‌کننده آب شرب مرکز استان - انجام شده است. لذا با توجه به اینکه روش واحدی برای تعیین کیفیت آب ارائه نشده و بین روش‌های مختلف نتایج متفاوتی وجود دارد، در این تحقیق از تحلیل رابطه خاکستری که با حداقل داده‌ها بیشترین استفاده را در تعیین نتایج از آنها به‌عمل می‌آورد استفاده گردیده است. بدین منظور از داده‌های ماهانه کیفیت آب مخزن سد شیرین‌دره با استفاده از ۱۳۹۰ تا آبان ماه ۱۳۹۱ توسط شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی از داخل مخزن تهیه شده، استفاده گردید. هدف این مطالعه، ارزیابی کیفیت آب مخزن سد شیرین‌دره با استفاده از رویکرد تحلیل رابطه خاکستری و مقایسه آن با روش NSFQI و بکارگیری روش وزن‌دهی آنتروپی و مقایسه نتایج آنها با یکدیگر است.

### مواد و روش‌ها

سد شیرین‌دره (شکل ۱) در سال ۱۳۸۴ به منظور تامین سالانه مورد نیاز مرکز استان و روستاهای مسیر خط انتقال و پنج میلیون مترمکعب آب مورد نیاز صنایع و همچنین تامین آب کشاورزی ۶۳۰۰ ha زمین‌های پایین‌دست به بهره‌برداری رسیده است (۲۲).

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده و وزن آنها

| وزن  | واحد      | متغیر                          |
|------|-----------|--------------------------------|
| ۰/۱۱ | -         | pH                             |
| ۰/۰۷ | mg/L      | کل مواد جامد محلول             |
| ۰/۱  | mg/L      | نیترات                         |
| ۰/۱  | mg/L      | فسفر کل                        |
| ۰/۱۶ | Col/100mL | کلیفرم مدفوعی                  |
| ۰/۱۱ | mg/L      | میزان اکسیژن خواهی زیستی (BOD) |
| ۰/۱۷ | %         | اکسیژن اشباع                   |

جدول ۲- راهنمای شاخص کیفیت آب در روش NSFQI (۲۳)

| طبقه | محدوده شاخص | کیفیت آب | توضیحات   |
|------|-------------|----------|---|
| I    | ۹۰-۱۰۰      | عالی     | عدم نیاز به تصفیه، مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های حساس آبی                 |
| II   | ۷۰-۹۰       | خوب      | نیازمند تصفیه متداول، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی               |
| III  | ۵۰-۷۰       | متوسط    | نیازمند تصفیه پیشرفته، مناسب برای پرورش گونه‌های مقاوم آبی و شرب حیوانات اهلی |
| IV   | ۲۵-۵۰       | بد       | مناسب برای آبیاری اراضی کشاورزی   |
| V    | ۰-۲۵        | خیلی بد  | تنها توانایی حمایت تعداد محدودی از اشکال آبزیان                               |

## روش تحلیل رابطه خاکستری

تحلیل رابطه خاکستری بخشی از تئوری سیستم خاکستری است که برای حل مسائل پیچیده بین چندین متغیر، مناسب است. این تئوری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل نموده و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را داراست (۲۵). این تئوری که توسط Deng (۲۶) پایه‌ریزی شده، در زمینه‌های مختلف تحلیل، خوشه‌بندی و تصمیم‌گیری کاربرد فراوانی داشته است (۲۷). جزئیات فرایند این تحلیل به صورت زیر است: فرض کنید  $m$  نمونه  $A_1, A_2, \dots, A_m$  وجود دارد که می‌خواهید به طبقات مختلف  $C_1, C_2, \dots, C_k$  اختصاص دهید. هر نمونه،  $n$  شاخص یا ویژگی دارد که  $O_1, O_2, \dots, O_k$  نامگذاری می‌کنیم. اگر  $X_{ij}$  مقادیر شاخص  $A_i$  با توجه به شاخص  $O_j$  باشد آنگاه  $A_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ ،  $i=1, 2, \dots, m$  نمونه به صورت ماتریس  $m \times n$  در معادله ۲ است.

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & O_1 & O_2 & \dots & O_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (2)$$

اگر فضای حالت و  $C_1, C_2, \dots, C_k$  سری مرتب شده طبقات در  $F$  باشد آنگاه  $C_1 > C_2 > \dots > C_k$  و ماتریس طبقات استاندارد را می‌توان به صورت معادله ۳ نوشت.

$$A = (a_{ij})_{n \times k} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_k \\ o_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ \vdots & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ o_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nk} \end{matrix} \quad (3)$$

در مرحله بعد مقادیر ویژگی‌ها را محاسبه می‌کنیم. با توجه به اینکه  $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in C_k)$  در نتیجه مقادیر ویژگی‌ها از مجموعه  $C_k$  مشخص می‌گردد. اگر  $a_{i1} < a_{i2} < \dots < a_{ik}$  آنگاه معادله ۴ را خواهیم داشت.

باشد و هرچه سری مقایسه‌ای به سری مرجع نزدیکتر باشد از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. در نتیجه مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی به صورت معادله ۹ و ۱۰ تعیین می‌شوند.

$$\mu_i^+ = (\mu_{i1}^+, \mu_{i2}^+, \dots, \mu_{in}^+), \mu_{ij}^+ = \max\{\mu_{ijk}\} \quad (9)$$

$$\mu_i^- = (\mu_{i1}^-, \mu_{i2}^-, \dots, \mu_{in}^-), \mu_{ij}^- = \min\{\mu_{ijk}\} \quad (10)$$

در مرحله بعد با استفاده از ضریب رابطه خاکستری، نزدیکی هر سری مقایسه‌ای به سری مرجع سنجیده می‌شود که هرچه بزرگتر باشد نزدیکی نیز بیشتر است (معادله ۱۱ و ۱۲).

$$\xi(\mu_i^+, \mu_{ijk}) = \frac{\min_i \min_j |\mu_{ijk} - \mu_i^+| + \rho \max_i \max_j |\mu_{ijk} - \mu_i^+|}{|\mu_{ijk} - \mu_i^+| + \max_i \max_j |\mu_{ijk} - \mu_i^+|} \quad (11)$$

$$\xi(\mu_i^-, \mu_{ijk}) = \frac{\min_i \min_j |\mu_{ijk} - \mu_i^-| + \rho \max_i \max_j |\mu_{ijk} - \mu_i^-|}{|\mu_{ijk} - \mu_i^-| + \max_i \max_j |\mu_{ijk} - \mu_i^-|} \quad (12)$$

در این معادله  $\rho$  ضریب تشخیص است و جهت گسترش یا محدود ساختن دامنه ضریب رابطه خاکستری استفاده می‌شود که معمولاً ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۲۵).

سپس رتبه رابطه خاکستری هر نمونه را از مقادیر مرجع با توجه به معادله ۱۳ و ۱۴ محاسبه می‌شود.  $W$  در این رابطه وزن هر شاخص است که در این تحقیق از روش آنتروپی Shannon تعیین گردیده و در ادامه توضیح داده خواهد شد.

$$\xi^+(\mu_{ik}) = \sum_{j=1}^n W_j \xi(\mu_i^+, \mu_{ijk}) \quad (13)$$

$$\xi^-(\mu_{ik}) = \sum_{j=1}^n W_j \xi(\mu_i^-, \mu_{ijk}) \quad (14)$$

در نهایت ضریب نزدیکی هر نمونه از طبقه تعیین می‌شود (معادله ۱۵) که هرچه بزرگتر باشد نشان‌دهنده مطابقت نمونه آب با مقادیر حداکثر مرجع است. مقدار حداکثر  $C_{ik}$  نشان‌دهنده تعلق نمونه آب به طبقه  $k$  است.

$$C_{ik} = \frac{\xi^+(\mu_{ik})}{\xi^+(\mu_{ik}) + \xi^-(\mu_{ik})}, k = 1, 2, \dots, K \quad (15)$$

$$\mu_{ij1} = 1, \mu_{ij2} = \dots = \mu_{ijk} = 0; x_{ij} \leq a_{i1}$$

$$\mu_{ijk} = 1, \mu_{ij1} = \dots = \mu_{ijk-1} = 0; x_{ij} \geq a_{ik} \quad (4)$$

$$\mu_{ijl} = \frac{|x_{ij} - a_{i(l+1)}|}{|a_{il} - a_{i(l+1)}|}, \mu_{ij(l+1)} = \frac{|x_{ij} - a_{il}|}{|a_{il} - a_{i(l+1)}|};$$

$$a_{il} \leq x_{ij} \leq a_{i(l+1)}$$

در نتیجه ماتریس تصمیم ویژگی‌ها به صورت معادله ۵ در می‌آید.

$$H = (\mu_{ijk})_{n \times k} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_k \\ O_1 & \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \dots & \mu_{i1k} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \dots & \mu_{i2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{in1} & \mu_{in2} & \dots & \mu_{ink} \end{bmatrix} \\ O_2 & \\ \vdots & \\ O_n & \end{matrix} \quad (5)$$

با توجه به اینکه هر شاخص ارزیابی می‌تواند با افزایش یا کاهش و یا ثبات در محدوده خاصی به حد مطلوبیت خود برسد، در نتیجه ماتریس فضای نمونه  $X = (x_{ij})_{m \times n}$  باید نرمال‌سازی گردد. برای شاخص‌هایی که با افزایش آنها مطلوبیت افزایش پیدا می‌کند از معادله ۶ (مثل اکسیژن محلول)، برای شاخص‌هایی که با کاهش آنها مطلوبیت افزایش پیدا می‌کند از معادله ۷ (مثل فسفر کل) و برای شاخص‌هایی که با قرار گرفتن در محدوده خاصی مطلوب‌ترند (مثل pH) از معادله ۸ استفاده می‌گردد و در نهایت ماتریس نرمال به دست می‌آید.

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min\{y_{ij}\}}{\max\{y_{ij}\} - \min\{y_{ij}\}} \quad (6)$$

$$x_{ij} = \frac{\max\{y_{ij}\} - y_{ij}}{\max\{y_{ij}\} - \min\{y_{ij}\}} \quad (7)$$

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y^*|}{\max\{\max(y_{ij}) - y^*, y^* - \min(y_{ij})\}} \quad (8)$$

پس از ایجاد روابط خاکستری با استفاده از معادلات فوق، تمامی مقادیر بین صفر و یک قرار خواهند گرفت و هرچه به یک نزدیکتر باشد از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. سری هدف مرجع نیز سری است که تمامی مقادیر آن برابر عدد یک

می‌کند، لذا بررسی مجموعه پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب مخزن می‌تواند بیانگر شرایط محلی حاکم بر حوضه باشد (جدول ۳).

برای بررسی و مقایسه میانگین متغیرها از آزمایش فاکتوریل شامل ۴ ایستگاه و ۱۲ ماه به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده و تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار MINITAB انجام گردید (جدول ۴). جهت مقایسه میانگین متغیرها در ایستگاه‌های مختلف از آزمون LSD برای اثرات معنی‌داری در جدول تجزیه واریانس انجام شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ایستگاه، ماه و اثرات متقابل ایستگاه و ماه معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) است. مقدار ضریب تغییرات نیز ۸/۱۹ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده دقت اندازه‌گیری است. نتایج مقایسه میانگین برای ایستگاه‌ها و ماه‌ها نشان داد که میزان غلظت فسفر و نترات در فصل تابستان و در نزدیک دیواره سد نسبت به سایر قسمت‌ها بیشتر است که جزئیات نتایج آن از مقوله این تحقیق خارج است.

### وزن‌دهی متغیرها به روش آنتروپی Shannon

در روش آنتروپی اطلاعات که توسط Shannon (۱۴) مطرح شد، برای هر پدیده یک توزیع با احتمال در نظر گرفته شده و میزان تصادفی بودن آن به‌صورت یک معیار ریاضی نشان داده می‌شود. هر چقدر میزان آنتروپی شاخص بیشتر باشد تاثیر شاخص یاد شده در انتخاب گزینه‌ها کمتر و در نتیجه وزن آن نیز کمتر خواهد بود و بالعکس. در این روش بعد از تشکیل ماتریس ارزیابی اولیه و نرمال‌سازی آن، احتمال وقوع متغیر هر شاخص محاسبه و با توجه به آن، میزان آنتروپی هر متغیر و مجموع آنها و در نهایت وزن هر متغیر تعیین می‌گردد. جزئیات ریاضی این روش در منبع Taheriyoun و همکاران (۲۸) آورده شده است.

### یافته‌ها

از آنجایی که کیفیت آب مخازن از خصوصیات حوزه آبخیز پشت سد مانند آب و هوا، ترکیب و جنس زمین و خاک منطقه، پوشش گیاهی، فرسایش، فعالیت‌های کشاورزی، انسانی تبعیت

جدول ۳- میانگین نتایج حاصل از اندازه‌گیری ماهانه متغیرهای مورد استفاده\* در مخزن سد شیرین‌دره

| ماه      | pH  | کل مواد جامد محلول | نیترات | فسفر کل | کلیفرم مدفوعی | میزان اکسیژن خواهی زیستی | درصد اکسیژن اشباع |
|----------|-----|--------------------|--------|---------|---------------|--------------------------|-------------------|
| آذر      | ۷/۸ | ۶۵۰                | ۱/۹    | ۰/۰۵    | ۲۳۵           | ۳/۵                      | ۶۵/۴۴             |
| دی       | ۷/۸ | ۷۲۱                | ۰/۷    | ۰/۰۶    | ۲۲۰           | ۲/۲۵                     | ۷۳/۳۷             |
| بهمن     | ۷/۸ | ۷۲۳                | ۰/۹    | ۰/۰۵    | ۲۱۵           | ۲/۲                      | ۷۵/۰۹             |
| اسفند    | ۷/۵ | ۷۵۲                | ۱      | ۰/۰۷    | ۲۴۱           | ۳/۲۸                     | ۶۷/۳۱             |
| فروردین  | ۸/۱ | ۶۹۵                | ۰/۹    | ۰/۰۸    | ۲۶۳           | ۴/۵                      | ۴۰/۴۹             |
| اردیبهشت | ۸/۱ | ۶۳۷                | ۱/۱    | ۰/۰۷    | ۳۵۶           | ۵/۲                      | ۳۵/۱۳             |
| خرداد    | ۸/۱ | ۵۳۶                | ۱/۵    | ۰/۰۷    | ۴۲۰           | ۷/۳                      | ۳۲/۰۸             |
| تیر      | ۸   | ۴۲۵                | ۱/۷    | ۰/۰۸    | ۳۹۰           | ۱۱/۵                     | ۳۰/۹۷             |
| مرداد    | ۷/۸ | ۴۲۲                | ۵/۱    | ۰/۰۸    | ۴۱۵           | ۱۴/۸                     | ۳۱/۳۸             |
| شهریور   | ۷/۶ | ۵۰۵                | ۵/۸    | ۰/۰۶    | ۳۶۵           | ۱۳/۲                     | ۴۳/۵۴             |
| مهر      | ۷/۴ | ۵۴۵                | ۶/۸    | ۰/۰۵    | ۳۲۰           | ۱۰/۱                     | ۵۲/۶۸             |
| آبان     | ۷/۵ | ۵۹۰                | ۵/۷    | ۰/۰۳    | ۲۳۵           | ۴/۳                      | ۴۹/۷۷             |

\* واحد اندازه‌گیری در جدول ۱ آورده شده است

جدول ۴- بررسی معنی‌داری متغیرها براساس ماه و ایستگاه

| مقدار معنی‌داری (ایستگاه) | مقدار معنی‌داری (ماه) | متغیر مورد بررسی         |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| ۰/۰۴۸                     | ۰/۰۴۲                 | pH                       |
| ۰/۰۱۵                     | ۰/۰۲۵                 | کل مواد جامد محلول       |
| ۰/۰۰۱                     | ۰/۰۰۱                 | نیترات                   |
| ۰/۰۰۱                     | ۰/۰۰۱                 | فسفر کل                  |
| ۰/۰۰۲                     | ۰/۰۰۲                 | کلیفرم مدفوعی            |
| ۰/۰۲۴                     | ۰/۰۰۱                 | میزان اکسیژن‌خواهی زیستی |
| ۰/۰۳۵                     | ۰/۰۰۱                 | اکسیژن اشباع             |

بعد از تعیین ماتریس نرمال و ضریب رابطه خاکستری بایستی تبه رابطه خاکستری تعیین شود که برای مشخص نمودن آن باید وزن‌های مرتبط با هر شاخص مشخص گردد. بر این اساس داده‌های ماهانه با روش آنتروپی در محیط نرم افزار MATLAB اجرا و وزن‌های هر متغیر به دست آمد (معادله ۱۸).

(۱۸)

$$W^* = [w_{pH} \ w_{TDS} \ w_{NO3} \ w_{PO4} \ w_{Fc} \ w_{BOD} \ w_{SO}] = [0.001, 0.03, 0.51, 0.08, 0.04, 0.28, 0.07]$$

همانطور که در معادله ۵ ملاحظه می‌شود نیترات دارای بیشترین وزن و اطلاعات مفید و کمترین محتوای آنتروپی و pH دارای کمترین محتوای اطلاعاتی و بیشترین میزان آنتروپی است. سپس با توجه به وزن‌های به دست آمده، مقدار عددی رابطه خاکستری تعیین گردید (نمودار ۱).

نمودار ۲ نیز با در نظر گرفتن متغیرهای اساسی روش NSFQI و وزن‌های آنها به بررسی کیفیت آب مخزن سد در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف پرداخته است. همانطور که ملاحظه می‌گردد کیفیت آب همانند روش تحلیل رابطه خاکستری، با یک روند مشخص تحت تاثیر الگوی آب و هوایی و متفاوت در ایستگاه‌های مختلف قرار دارد.

سپس با توجه به داده‌های موجود، اقدام به ارزیابی کیفیت آب مخزن سد گردید. همانطور که در چارچوب مراحل روش تحلیل رابطه خاکستری عنوان شد، ابتدا بایستی ماتریس طبقات استاندارد تهیه شود که از روی آن بتوان ماتریس مقادیر خصوصیات را مشخص نمود. در معادله ۱۶ ماتریس طبقات استاندارد که شامل حد متوسط متغیرها در طبقات مختلف شاخص NSFQI است، مشاهده می‌شود.

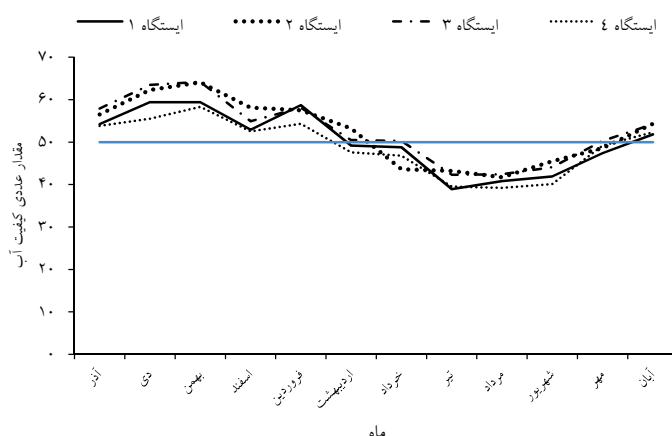
(۱۶)

$$A = \begin{matrix} & I & II & III & IV & V \\ pH & 9/5 & 9 & 8 & 7 & 6/5 \\ TDS & 500 & 370 & 220 & 50 & 40 \\ NO3 & 2 & 1/5 & 1 & 0/5 & 0/2 \\ PO4 & 0/4 & 0/3 & 0/2 & 0/1 & 0/02 \\ Fc & 500 & 70 & 10 & 2 & 1 \\ BOD & 13 & 7 & 3 & 2 & 1 \\ SO & 35 & 55 & 65 & 85 & 90 \end{matrix}$$

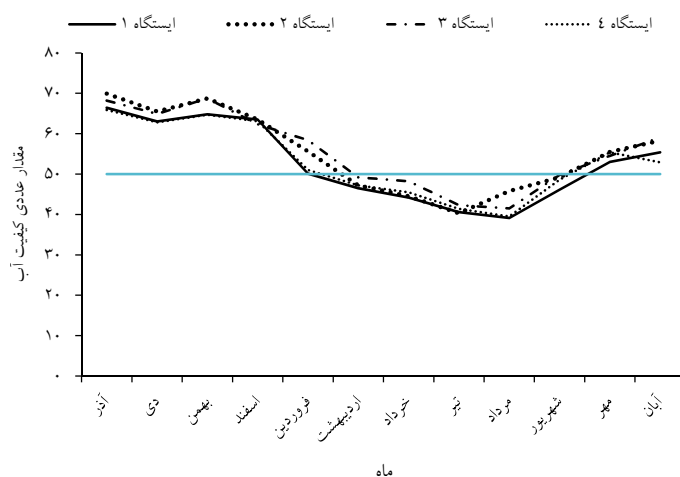
با توجه به ماتریس طبقات استاندارد، ماتریس تصمیم برای هر ماه مشخص می‌شود که در معادله ۱۷ برای ماه آذر به عنوان نمونه آورده شده است.

(۱۷)

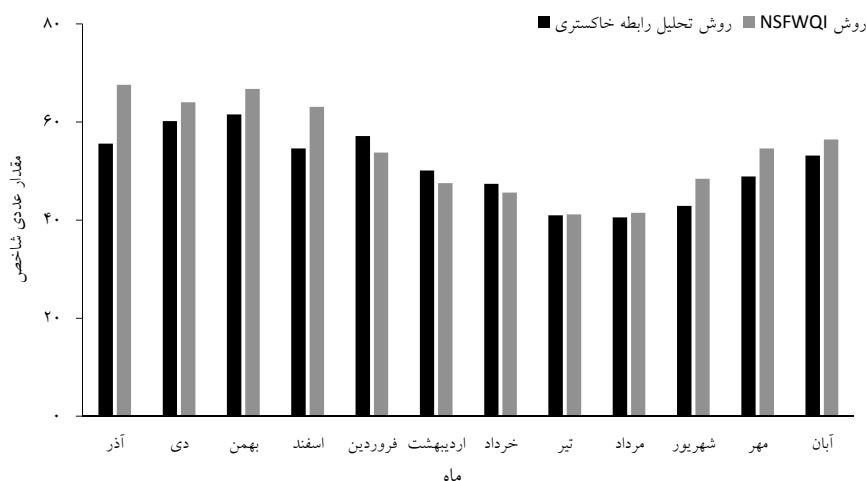
$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0/8 & 0/2 & 0 \\ 0 & 0/51 & 0/49 & 0 & 0 \\ 0/8 & 0/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0/675 & 0/325 \\ 0/42 & 0/58 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



نمودار ۱- مقدار عددی شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف مخزن با استفاده از روش تحلیل رابطه خاکستری



نمودار ۲- مقدار عددی شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌های مختلف مخزن با استفاده از روش NSFQI



نمودار ۳- مقایسه میانگین مقدار عددی متوسط شاخص مخزن در دو روش تحلیل رابطه خاکستری و NSFQI

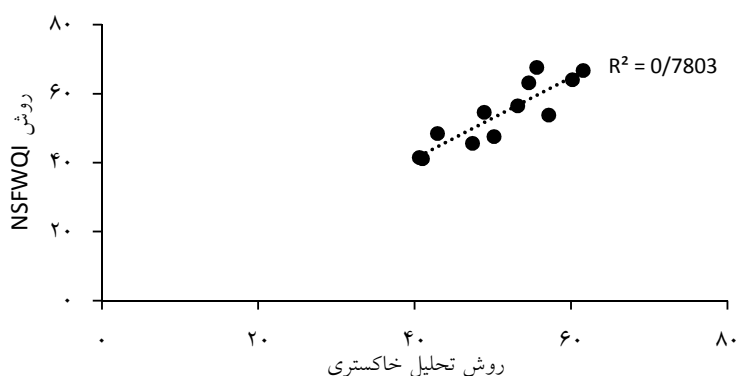
با دوره اختلاط) و در ماه‌های تیر و مرداد (منطبق با حداکثر ضخامت میان لایه) به حداقل خود می‌رسد. همانطور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود تغییرات غلظت کل مواد جامد محلول نیز عکس لایه‌بندی دما است و در ماه مرداد به حداقل خود و در ماه‌های با دمای کمتر و بارش بیشتر مقدار آن نیز زیاد می‌شود. در مورد فسفر نیز همانطور که مشاهده می‌شود، در آغاز دوره لایه‌بندی با توجه به کاهش بارندگی و بار ورودی به مخزن، میزان فسفر آزاد شده از رسوبات کف مخزن باعث افزایش غلظت فسفر می‌گردد؛ با شروع دوره اختلاط نیز فسفر ته‌نشین شده فرصت انتقال به لایه‌های بالایی را یافته و سبب افزایش غلظت آن در لایه‌های سطحی و میانی خواهد شد. در مورد نیترات هر چند مقادیر آن در تابستان به دلیل جذب توسط جلبک‌ها و عدم نیتریفیکاسیون باکتریایی (به دلیل کاهش ورودی جریان رودخانه به مخزن)، اندک است ولی افزایش بارش و دبی در ماه‌های مرداد تا آبان آن سال و همچنین استفاده از کود از ته در اوایل پاییز و در نتیجه افزایش آبخویی ناشی از فرسایش و همچنین پدیده نیتریفیکاسیون، احتمالاً دلیلی بر افزایش ناگهانی نیترات در ماه‌های مذکور است. در مورد کلیفرم مدفوعی نیز به دلیل عدم تکثیر این باکتری‌ها در آب و عدم اتصال آبراهه دیگری غیر از رودخانه اصلی به مخزن و همچنین طول زیاد مخزن سد، مقدار متوسطی از این باکتری‌ها مشاهده می‌شود که افزایش آنها در فصول بهار و تابستان می‌تواند ناشی از دامداری سنتی و پراکنده در سطح

نمودار ۳ نیز به مقایسه میانگین مقدار عددی متوسط شاخص مخزن در دو روش تحلیل رابطه خاکستری و NSFQI در ماه‌های مختلف پرداخته است.

به‌منظور مقایسه نتایج و تطابق دو روش مورد بررسی، از پراکندگی نقاط آنها در غالب رابطه همبستگی نیز استفاده شد (نمودار ۴). همانطور که ملاحظه می‌شود ضریب تعیین ۰/۷۸ بین دو روش وجود دارد که تطابق خوب دو روش را نشان می‌دهد.

### بحث

لایه‌بندی حرارتی از جمله مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در مخازن و دریاچه‌های بسته اتفاق می‌افتد و ناشی از تغییرات آب و هوایی فصل‌های مختلف (در مناطق معتدل) است که موجب تغییرات دوره‌ای کیفیت آب مخازن می‌شود که میزان بالای اکسیژن مصرفی و کمبود اکسیژن ناشی از لایه‌بندی باعث کیفیت نامناسب آب می‌گردد. در تحقیق Khajehpour و همکاران (۲۱) نیز اشاره شده که مخزن سد شیرین‌دره دارای لایه‌بندی حرارتی است که از اواخر اسفند شروع شده و در اواسط تیر ماه به حداکثر خود رسیده و در اواسط آبان با شکسته شدن میان لایه، اختلاط مخزن مشاهده می‌گردد. لذا تغییرات بعضی متغیرهای موثر در کیفیت آب (جدول ۳) را می‌توان مرتبط با این مساله دانست. از جمله این متغیرها، اکسیژن اشباع است که در ماه‌های دی و بهمن به حداکثر خود (منطبق



نمودار ۴- نمودار همبستگی بین مقادیر دو روش تحلیل رابطه خاکستری و NSFQI

ندارد ولی با توجه به شواهد ظاهری و شروع دوره اختلاط از آبان و انتقال فسفر رسوبات از عمق به سطح، به طور طبیعی با کمی تاخیر و در ماه‌های دی و بهمن شاهد کیفیت بهینه آب خواهیم بود که با نتایج روش تحلیل رابطه خاکستری مطابقت بیشتری دارد. ضمناً با توجه به اینکه تعیین وزن مناسب در روش تحلیل رابطه خاکستری به صورت موردی و براساس داده‌های جداگانه هر مخزن قابل انجام است، استفاده از این روش ملموس و رضایتبخش تر است.

نتایج این تحقیق و مقایسه آن با مدل NSFQI و مشاهدات ظاهری، نتایج Ip و همکاران (۱۵)، Hu و همکاران (۷) و Luo و همکار (۱۶) را تایید کرد که این روش برای حل چنین مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارند، خروجی‌های رضایت بخش و مطلوبی را تولید می‌کند. همچنین Hu و همکاران (۷) به ساده بودن اصول و انجام محاسبات اشاره داشتند که در این تحقیق با استفاده از نرم افزار MATLAB سادگی، نتایج مناسبی داشت که قابلیت‌های آن را Shamsaei و همکاران (۱۸) اذعان نموده بودند. با توجه به اینکه در سایر مطالعات از ضریب تعیین یا روش تجربی برای تعیین ضریب متغیرها استفاده شده است، استفاده از روش آنتروپی شانون در این زمینه یک رویکرد جدید محسوب می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

چالش‌های مرتبط با مدیریت کیفیت آب که در تعارض با اصول توسعه پایدار هستند، نگرانی‌های زیادی را بخصوص در بخش منابع آبی انسان‌ساز ایجاد نموده است که جهت ارزیابی کیفیت آنها به دلیل تاثیر عوامل مختلف و پیچیده نیازمند استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در این تحقیق از یکی از روش‌های آن به نام تحلیل رابطه خاکستری استفاده شده است. کیفیت نامناسب آب مخزن سد شیرین‌دره بخصوص در ماه‌های اردیبهشت تا مهر، بیانگر آن است که جهت بهبود شرایط، شناسایی، کنترل و پایش منابع آلاینده ورودی بخصوص سموم و کودهای کشاورزی و روش‌های کنترل طبیعی کیفیت

حوضه باشد که در فصول سرد با کاهش علوفه در سطح مراتع، بیشتر همراه با تغذیه دستی است. در نتیجه از سایر شرایط تشدیدکننده کیفیت نامناسب آب می‌توان به مقدار بیشتر از حد استاندارد مواد مغذی-شامل فسفر و نیتروژن- ناشی از آلاینده‌های کشاورزی، دامی، انسانی و همچنین میزان اولیه مواد مذکور در خاک و ورود آنها به پیکره‌های آبی ناشی از پدیده فرسایش اشاره کرد.

در نتایج مقادیر عددی شاخص تحلیل خاکستری (نمودار ۱) نیز، همانطور که مشهود است، برای تمام ایستگاه‌ها برای ماه‌های آبان تا فروردین کیفیت آب در حد متوسط، برای ماه‌های خرداد تا مهر، کیفیت بد و در بقیه ماه‌ها در ایستگاه‌های مختلف متفاوت است. بیشترین مقدار شاخص مخزن مربوط به ایستگاه ۳ و ماه بهمن با مقدار  $64/2$  و بدترین کیفیت آب مربوط به ایستگاه ۴ و ماه مرداد با مقدار  $39/2$  است. در ایستگاه ۱ (نزدیک بدنه سد) به دلیل تجمع بیشتر رسوبات و رودخانه کیفیت نسبتاً نامناسبتری نسبت به دو ایستگاه دیگر وجود دارد. کیفیت مناسب آب در فصول پاییز و زمستان هم علیرغم غلظت فسفر تحت تاثیر درصد اشباع اکسیژن بالا و کلیفرم کمتر است. در نمودار ۲ هم که به نتایج شاخص روش NSFQI پرداخته است، همانند نتایج روش تحلیل رابطه خاکستری، از ماه مهر تا اسفند کیفیت آب در شرایط متوسط طبقه‌بندی شده و در بقیه ماه‌ها کیفیت آب، بد است. بیشترین مقدار شاخص مخزن مربوط به ایستگاه ۳ و ماه بهمن با مقدار  $68/7$  و بدترین کیفیت آب مربوط به ایستگاه ۱ و ماه مرداد با مقدار  $39/1$  است.

در نمودار ۳ متوسط مقادیر ماهانه شاخص‌ها در ۴ ایستگاه نشان داده شده است. در روش تحلیل رابطه خاکستری، بهترین و بدترین کیفیت آب به ترتیب مربوط به ماه‌های بهمن و مرداد (شاخص عددی  $61/5$  و  $40/5$ ) و در روش NSFQI بهترین و بدترین کیفیت آب مربوط به ماه‌های آذر و تیر (شاخص عددی  $67/6$  و  $41/1$ ) است. همانطور که در این شکل نیز مشخص است در مجموع تفاوت چندانی بین دو روش وجود

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری با عنوان "تدوین یک چارچوب جامع به منظور مدیریت پایدار کیفیت منابع آب با استفاده از رویکرد پویایی سیستم" است که با حمایت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۶ اجرا شده است. بدین‌وسیله از زحمات معاونت پژوهشی دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

آب مخازن از جمله کنترل فرسایش و تله اندازی رسوبات قبل از ورود به مخازن ضروری است. همچنین بهتر است قبل از شروع دوره اختلاط آب لایه‌های زیرین مخزن تخلیه گردد تا در دوره اختلاط مواد مغذی کمتری در سطح مخزن پخش گردد. از پیشنهادات تکنیکی روش مورد استفاده نیز می‌توان به استفاده از سایر روش‌های وزن‌دهی مانند روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی اشاره نمود. همچنین با توجه به اینکه روش تحلیل رابطه خاکستری در ایران تاکنون برای بررسی کیفیت آب استفاده نشده است، بهتر است که در سایر مخازن و دریاچه‌ها نیز نتایج این روش مورد ارزیابی قرار گیرد.

### References

1. Mesdaghinia A, Nasser S, Hadi M, Irvani E, Askari M. A systematic review on drinking water resources-related studies in Iran: Identification of research gaps. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018;10(4):573-94 (in Persian).
2. Huang GH, Xia J. Barriers to sustainable water-quality management. *Journal of Environmental Management*. 2001;61(1):1-23.
3. Lobato T, Hauser-Davis R, Oliveira T, Silveira A, Silva H, Tavares M, et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*. 2015;522:674-83.
4. Wong H, Hu BQ. Application of improved extension evaluation method to water quality evaluation. *Journal of Hydrology*. 2014;509:539-48.
5. Shilu X, Zhifang Z, Rui T, Liangping Y. Evaluation of underground water quality in Qingshuihe District, Inner Mongolia Autonomous Region. *Procedia Environmental Sciences*. 2011;11:1434-40.
6. Ma F, Li C, Wang X, Yang Z, Sun C, Liang P. A Bayesian method for comprehensive water quality evaluation of the Danjiangkou Reservoir water source area, for the middle route of the South-to-North Water Diversion Project in China. *Frontiers of Earth Science*. 2014;8(2):242-50.
7. Hu L, Zhang C, Hu C, Jiang G. Use of grey system for assessment of drinking water quality: A case S study of Jiaozuo city, China. *Proceedings of 2009*

- IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services; 2009 Nov 10-12; Nanjing, China.
8. Horton RK. An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*. 1965;37(3):300-306.
  9. Tyagi S, Sharma B, Singh P, Dobhal R. Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*. 2013;1(3):34-38.
  10. Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG. A water quality index- Do we dare? *Water Sewage Works*. 1970;117(110):339-43.
  11. Shah KA, Joshi GS. Evaluation of water quality index for River Sabarmati, Gujarat, India. *Applied Water Science*. 2017;7(3):1349-58.
  12. Samantray P, Mishra BK, Panda CR, Rout SP. Assessment of water quality index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip area, India. *Journal of Human Ecology*. 2009;26(3):153-61.
  13. Cheng YQ, Ma HM, Song QW, Zhang Y. Assessment of water quality using grey relational analysis and principal component analysis. *Advanced Materials Research*. 2011;255-260:2829-35.
  14. Shannon CE. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948;27:379-423.
  15. Ip W, Hu B, Wong H, Xia J. Applications of grey relational method to river environment quality evaluation in China. *Journal of Hydrology*. 2009;379(3-4):284-90.
  16. Luo Y, Liu X, Chen Q, Dong Q, Wei X, Huang A. Analysis on influencing factors of water quality of Qingshui River System in Zhangjiakou City. *Chemical Engineering Transactions*. 2016;55:487-92.
  17. Şener Ş, Şener E, Davraz A. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment*. 2017;584:131-44.
  18. Shamsaei A, Zareh SO, Sarang A. The comparison of water indices and zoning quality in karoon and Dez rivers. *Journal of Water & Wastewater*. 2004;16(3):39-48 (in Persian).
  19. Javid AH, Mirbagheri SA, Karimian A. Assessing Dez Dam reservoir water quality by application of WQI and TSI indices. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(2):133-42 (in Persian).
  20. Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Mallah M. The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. *Journal of Health in the Field*. 2017;3(3):27-33 (in Persian).
  21. Khajehepour M, Karimi L, Shiasi Arani M, Ansari H. Eutrophication check of reservoirs with CE-QUAL-W2 (Case study: Shirin Darre dam reservoir). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2014;8(1):96-107 (in Persian).
  22. Ehrampush M, Mehrjerdi A, Ghaneian M, Mehrizi E, Saghi M. Qualitative assessment of Bojnurd main water supply by using water quality indices in 2013: Case study of Shirin Dareh reservoir dam. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2016;7(3):475-84 (in Persian).
  23. Mohseni-bandpey A, Majlessi M, Kazempour A. Evaluation of Golgol river water quality in Ilam province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). *Journal of Health in the field*. 2017;4(1):45-53 (in Persian).
  24. Shokuhi R, Hosinzadeh E, Roshanaei G, Alipour M, Hoseinzadeh S. Evaluation of Aydughmush dam reservoir water quality by National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) and water quality parameter changes. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2012;4(4):439-50 (in Persian).
  25. Momeni M, Jamporzam M, Hosseinzadeh M, Mehrafrouz M. Proposing a new approach for evaluating knowledge management systems by Grey Relational Analysis. *Journal of Production and Operations Management*. 2011;2(2):55-72 (in Persian).
  26. Deng J-L. Control problems of grey systems. *Systems & Control Letters*. 1982;1(5):288-94.
  27. Zhang H-T, Lei X-D, Zhang F, Zhao T. Applica-

tion of degree of grey incidence analysis on ground-water quality evaluation in Shuguang area of Panjin City. *Global Geology*. 2005;24(1):68-71.

28. Taheriyoun M, Karamouz M, Baghvand A. Development of an entropy-based fuzzy eutrophication index for reservoir water quality evaluation. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2010;7(1):1-14.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Evaluation and comparison of water quality using gray relational analysis and NSFQI in Shirin-darreh dam reservoir

M Teimouri\*, V Sheikh, A Sadoddin

Department of Watershed Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 25 April 2018

**Revised:** 21 July 2018

**Accepted:** 25 July 2018

**Published:** 17 September 2018

**Keywords:** Water quality, Multi criteria decision making, Shannon entropy method, Water quality index method

**\*Corresponding Author:**  
m.teimouri@yahoo.com

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Water quality is one of the issues that is of great importance to economic and social development due to the high costs of providing healthy drinking water and its risk to human health and the environment. For instance, although only a short time has passed since the construction of the Shirin-darreh dam, the problems arising from its exploitation have challenged the environmental sector and the health of the water.

**Materials and Methods:** Water quality is affected by complex processes and various variables. Accordingly, NSFQI input variables at monthly intervals collected at the dam reservoir during December 2011 - November 2012 was used to evaluate the water quality of the reservoir based on the grey relational analysis process. The results were compared with the results of the NSFQI method. Also, the Shannon Entropy method was used, considering the importance of weight of variables in different methods.

**Results:** The results showed that the water quality in the grey analysis method from November 2011 to May 2012 and in the NSFQI method from October 2011 to April 2012 was moderate and in the remaining months was bad. In the grey analysis method, the highest reservoir value was related to Station 3 and month of February 2012 with a value of 64.2 and the worst water quality was related to Station 4 and month of August 2012 with a value of 39.2. Also, In NSFQI method, the highest reservoir value was related to station 3 and month of February 2012 with a value of 68.7, and the worst water quality was related to Station 1 and month of August 2012 with a value of 39.1.

**Conclusion:** Although there was no significant difference between the two methods, due to the greater adaptability of the results of the gray analysis method with the weather events and upstream conditions of the dam, this method is recommended. Due to the relative inadequacy of Shirin-darreh reservoir water in some months, it is essential that the source of pollutants from upstream areas is identified. After identification of the hotspots and preparation of the critical areas map, the appropriate control measures could be implemented.

Please cite this article as: Teimouri M, Sheikh V, Sadoddin A. Evaluation and comparison of water quality using gray relational analysis and NSFQI in Shirin-darreh dam reservoir. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(2):169-82.