بررسی کیفیت آب مخزن سد مارون با استفاده از روش تحلیل آماری چند متغیره بر پایه همبستگی و تغییرات داده‌های کیفی آب، بهبهان، خوزستان

رباب رضایی
دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی میبد، ایران
هادی زارعی محمود آبادی
دانشکده منابع طبیعی گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد میبد، ایران
نصراله کلانتری
استاد گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
زهرا علی یاری
کارشناس ارشد هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۱ *تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۴*
rezaeirobab@gmail.com

چکیده

یکی از موضوعات مهم در پایش کیفیت سیستم‌های منابع آب، تشخیص پارامترهای آلاینده اصلی و بررسی منابع مؤثر کنترل کننده تغییر کیفیت آب می‌باشد. در این پژوهش از روش آماری آنالیز فاکتور اصلی (PCA, Principal Component Analysis) برای شناسایی پارامترهای کیفی اصلی که نقش مهمتری در تغییر کیفیت آب مخزن سد مارون دارند، استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش، چهار عامل مؤثر بر روی کیفیت آب مخزن سد مارون را معرفی کرده است، که شامل منابع طبیعی و بیولوژیکی می‌باشند. اصلی‌ترین عامل با بیشترین بار عاملی مربوط به پارامتر فیزیکی و شیمیایی تغییر کیفیت آب که شامل پارامترهای کلسیم، سدیم، پتاسیم، سولفات، کلرید، TDS و SSP می‌باشد که ناشی از طبیعت منطقه است و تأثیر وسیع سازند گچساران را نشان می‌دهد، که سازند عمده تشکیل‌دهنده منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بار عاملی بعدی در رابطه با فعالیت بیولوژیکی و بیوشیمیایی است که مقدار DO، BOD و COD را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: *: آنالیز فاکتور اصلی، کیفیت آب، سد مارون*

مقدمه

کیفیت آب نتیجه کلی فرایندها و واکنش‌هایی است که از زمان تشکیل و تراکم آب در جو تا زمانی که آب در سطح زمین ظاهر می‌شود بر روی آن صورت می‌گیرد (Todd, 1980). همچنین به اعتقاد (Fetter, 1990)، کیفیت آب، حاصل شرایط طبیعی فیزیکی و شیمیایی آب و تغییراتی است که در اثر فعالیت بشری بر آن اعمال شده است. به نظر می‌رسد تعریف اخیر از واژه کیفیت صحیح‌تر باشد، چون امروزه دخالت بشر در تغییر کیفیت آب‌ها به طور روز افزونی در حال افزایش است. کیفیت، امری نسبی است و نمی‌توان به طور قطع آن را به صورت عددی بیان کرد، هر چند که ابداع شاخص‌های کیفی و استانداردهای مختلف تا حدودی این مشکل را رفع کرده است. اولین قدم در مشخص کردن کیفیت آب، اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب است. عمده این پارامترها عبارتند از: پارامترهای فیزیکی شامل دما، pH، Eh، هدایت الکتریکی (EC) ، کدورت و رنگ. پارامترهای شیمیایی شامل غلظت یون‌ها، مولکول‌ها و مواد غیر آلی موجود درآب (به صورت محلول و معلق)کل جامدات محلول (TDS) و غیره (صداقت، ۱۳۷۸ و Davis and Dewiest., 1975). پارامترهای زیستی شامل غلظت یا تعداد مواد آلی موجود درآب شامل باکتری ها، ویروس‌ها و غیره (Philip et al., 1994).

یکی از روش‌های آماری برای تجزیه اطلاعات موجود در مجموعه داده‌ها روش تجزیه عامل‌ها یا تحلیل عاملی است. در این روش متغیرها در عامل‌هایی قرار می‌گیرند، به طوری‌که از عامل اول به عامل‌های بعدی درصد واریانس کاهش می‌یابد، از این رو متغیرهایی که در عامل‌های اولی قرار می‌گیرند، تأثیرگذارترین هستند. جهت تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده‌های کیفیت آب (Simeonov et al., 2003)، در شمال یونان از PCA، CA و رگرسیون مؤلفه‌های اصلی PCR یا (Principal Component Regression) استفاده کردند. (Ouyang, 2005)، از PCA و PFA برای شناسایی مناسب‌ترین پارامترهای توصیف کننده کیفیت و نیز تعیین ایستگاه‌های گویای کیفیت آب رودخانه جونز در کالیفرنیای آمریکا استفاده نمود. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که از ۲۲ ایستگاه موجود، ۳ ایستگاه دارای اهمیت کم هستند و ۹ پارامتر به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب منطقه مطالعاتی معرفی شدند. در مطالعه مشابه دیگری، (Shrestha and Kazama., 2007)، از PCA، CA و PFA جهت بررسی تفاوت‌های مکانی و زمانی حجم زیادی از داده‌های کیفیت آب رودخانه فوجی در کشور ژاپن استفاده کرده اند. (Gangopadhyay et al., 2001)، تکنیک PCA را برای شناسایی اهمیت چاه‌های پایش پیش‌بینی کننده متغیرهای پویای مرتبط با تراز پنوماتیک در منطقه‌ای در بانکوک تایلند به کار بردند. (Monjerezi et al., 2011) با استفاده از دو روش PCA و HCA به کنترل کیفیت آب زیرزمینی دره رودخانه شیر در مالاوی، که در شمالی‌ترین قسمت بخش غربی مجموعه ریفت‌های آفریقای شرقی می‌باشد، پرداختند. با استفاده از روش HCA نمونه‌های آب را به سه دسته C_1-C_3 تقسیم کردند و با استفاده از روش PCA منبع احتمالی دسته C_3 را هوازدگی کانی‌های آلومینوسیلیکاته به‌وسیله نفوذ آب فوق اشباع با CO_2، دسته C_2 را حاصل از نفوذ اب شور حاوی کاتیون‌ها و آنیون‌ها و تبادل یونی و دسته C_1 را حاصل از تبخیر و انحلال Cl^- و SO_4 در نمک‌های تبخیری معرفی کردند. در تحقیقی که در آبخوانی در شمال غربی کلمبیا انجام شد، از روش PCA برای یافتن منبع

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مراحل هیدروشیمیایی آب زیرزمینی حاصل از انحلال و تبادل یونی و کاهش Cl^- در زون ساحلی آبخوان می‌باشد. درحالی‌که در منبع آبخوان اختلافی وجود دارد و آن هم مربوط به Cl^- و نفوذ آب شور و انحلال نمک‌های به‌دام افتاده در آبخوان می‌باشد.

راثی نظامی و همکاران (۱۳۹۲)، کیفیت آب رودخانه کرخه با استفاده از آنالیز آماری چند متغیره بر پایه همبستگی و تغییرات داده های کیفی را بررسی کردند و مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب را در میان پارامترهای اندازه‌گیری شده تعیین کردند، و سپس ایستگاه‌های کلیدی در پایش و نظارت کیفیت آب رودخانه‌های استان مازندارن و مناطق همگن را شناسایی کردند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۲)، آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چندمتغیره آماری را مورد ارزیابی قرار دادند و با مطالعه‌ای که بر روی داده‌های یک دوره در۱۸ ایستگاه نمونه‌برداری رودخانه کرخه به روش PCA انجام دادند، مشخص شد که همه عامل‌ها برای بررسی کیفیت آب رودخانه کرخه مهم بودند. لذا محققین جهت انجام تحلیلی دقیق‌تر از کیفیت آب منطقه از روش CCA جهت بررسی اهمیت پارامترهای مؤثر در کیفیت آب استفاده کردند. با انجام این روش مشخص شد که پارامترهای Turb، DO و TSS از بین پارامترهای فیزیکی و BOD، COD، TP و TN از بین پارامترهای شیمیایی دارای بیشترین تأثیر می‌باشند.

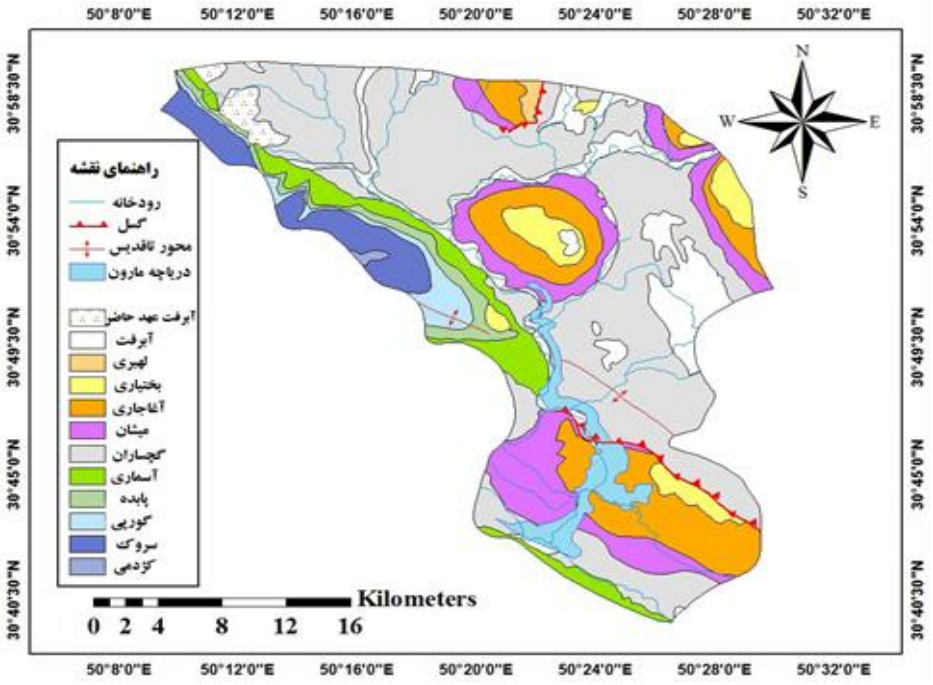
زلکی بدیلی و همکاران در سال ۱۳۹۰، روند فراسنج‌های تعیین کننده کیفیت آب رودخانه مارون شامل کلرور، سولفات، کلسیم، منیزیم، سدیم، کربنات، pH، EC، TDS طی سال‌های ۱۳۷۹-۸۳ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که غلظت و دامنه تغییرات فراسنج‌ها در فصول پرباران کمترین و در فصول کم باران بیشترین می‌باشد.

هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب مخزن سد مارون، و یافتن پارامترهای اصلی از بین پارامترهای انتخاب شده که شامل ۱۴ پارامتر فیزیکی و شیمیایی Ca، Mg، Na، K، SO_4، Cl، HCO_3، TDS، SSP، pH ,EC ,BOD، COD و DO، در تغییر کیفیت آب رودخانه با استفاده از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تعیین منابع احتمالی موجود در منطقه که باعث تغییر در کیفیت آب شده‌اند می‌باشد.

هدف از این تحقیق شناسایی پارامتر های اصلی تغییر کیفیت آب مخزن سد مارون، از بین ۱۴ پارامتر فیزیکی و شیمیایی شامل Ca، Mg، Na، K، SO_4، Cl، HCO_3، TDS، SSP، pH ,EC ,BOD، COD و DO با استفاده از روش آماری تحلیل مؤلفه‌های اصلی می باشد.

وضعیت محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در جنوب شرقی استان خوزستان، جنوب غربی ایران، در کمربند ساختمانی زاگرس واقع شده و به طور عمده از سازند تبخیری گچساران پوشیده شده است. مساحت تقریبی منطقه ۶۰۱ کیلومتر مربع است و در مختصات جغرافیایی ″۳۰ ´۱۰ °۵۰ تا ″۳۰ ´۲۸ °۵۰ طول شرقی و″۴۰ ´۴۰ °۳۰ تا ″۳۰ ´۵۸ °۳۰ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل۱. موقعیت و سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

تجزیه عاملی در واقع گسترش تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. عمده ترین هدف استفاده از تحلیل عاملی، کاهش حجم داده‌ها و تعیین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری پدیده‌هاست. برای کاهش حجم متغیرها می‌توان از تحلیل عاملی به عنوان یک روش مناسب استفاده کرد. با اعمال این روش، متغیرهای اولیه به مؤلفه‌های جدید و مستقل از یکدیگر (با ضریب همبستگی صفر برای هر دو مؤلفه) تبدیل می‌شوند .مؤلفه‌های جدید ایجاد شده ترکیبی خطی از متغیرهای اولیه هستند (نوری و همکاران، ۱۳۸۸). با استفاده از این تکنیک‌ها، ترکیباتی از P متغیر اولیه $X_1, X_2, \ldots, X_p$ برای ایجاد P مؤلفه مستقل (معادل با تعداد متغیرهای اولیه مورد استفاده) $Z_1, Z_2, \ldots, Z_p$ ایجاد می‌شود. عدم همبستگی بین این مؤلفه‌ها ویژگی مفیدی است؛ چون عدم همبستگی به این معنی است که مؤلفه‌ها، جنبه‌های متفاوتی از متغیرهای اولیه را نمایان می‌سازند (Manly., 1986) . در این روش به جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آن ها را به مؤلفه‌های جدیدی تبدیل کرده، سپس از این

مؤلفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد .همچنین به دلیل آن که در تشکیل مؤلفه‌ها از تمام متغیرها استفاده می‌گردد، اطلاعات متغیرهای اولیه با کم‌ترین تلفات توسط مؤلفه‌های حاصل ارایه می‌شود. در این روش‌ها هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله زیر مشخص شود:

$$Z_i = a_{i1}X_1 + ai_2X_2 + \ldots + a_{ip}X_p \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱، Z_i معرف مؤلفه مورد نظر، a_{ij} ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه و X_i نیز متغیرهای اولیه می‌باشند. ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه از حل معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$|R - \lambda I| = 0 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۲، I ماتریس واحد، R ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و λ نیز مقادیر ویژه می‌باشند.

یکی از روش‌های انتخاب متغیرهای مناسب برای تحلیل عاملی استفاده از ماتریس همبستگی است. از آن‌جا که روش تحلیل عاملی بر همبستگی بین متغیرها، اما از نوع غیرعلّی استوار است، بنابراین در استفاده از این روش باید ماتریس همبستگی بین متغیرها نیز محاسبه شود. به طور معمول این گونه ماتریس‌های همبستگی وجود رابطه بین برخی متغیرها و عدم ارتباط آن با برخی دیگر را نشان می‌دهند. این الگو در تحلیل عاملی موجب شکل‌گیری خوشه‌هایی می‌شود که متغیرهای درون خوشه با یکدیگر همبستگی و با متغیرهای خوشه‌های دیگر همبستگی نداشته باشند. توصیه می‌شود متغیرهایی که با هیچ متغیری همبستگی معنی‌دار نداشته باشند، از تحلیل حذف شوند. چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده می‌شود، تفسیر مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود. از این رو روش‌هایی به‌وجود آمده است که با رفع این مشکل، باعث تفسیر ساده‌تر مؤلفه‌ها شوند. این روش‌ها همان چرخش مؤلفه‌ها هستند و به دو نوع چرخش عمودی و چرخش مایل تقسیم می‌شوند. یکی از روش‌های چرخش عمودی که در مطالعات علمی بیشتر مورد استفاده قرارگرفته است، چرخش واریماکس(Varimax Rotation) نامیده می شود (Helena at al., 2000 ; Morales et al., 1999). این روش نسبت به بقیه روش‌ها نتایج بهتری دارد و به‌عنوان چرخش استاندارد توصیه می‌گردد. این روش به PFA (Principal Factor Analysis) معروف می‌باشد (Manly., 1986).

استخراج عامل‌ها

برای استخراج عامل‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که برحسب مقدار و نوع واریانسی که توسط متغیرهای هر عامل در مدل توجیه می‌شود، متفاوتند. اساسی‌ترین این روش‌ها تجزیه مؤلفه‌های اصلی است. در روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی، عامل‌ها همه واریانس هر متغیر را توجیه می‌کنند. پس تعداد عامل‌ها در این روش از نظر تئوری باید با تعداد متغیرها برابر باشد، زیرا همه واریانس هر متغیر باید توسط عامل‌ها تبیین شود. به‌عبارت دیگر در تجزیه مؤلفه‌های اصلی به تعداد متغیرها، مؤلفه وجود دارد، ولی در نهایت عامل‌هایی استخراج می‌شوند که بیشترین مقدار واریانس را نشان می‌دهند.

معیار تعیین عامل ها

مقدار ویژه هر عامل، نسبتی از واریانس کل متغیرها است که توسط آن عامل تبیین می‌شود. مقدار ویژه از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل قابل محاسبه است، از این رو مقادیر ویژه، اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهد. پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که آن عامل نقش اندکی در تبیین واریانس متغیرها داشته است. هر چه مقدار ویژه یک عامل بیشتر باشد، آن عامل واریانس بیشتری را تبیین می‌کند. بر این اساس تعداد عامل‌ها با توجه به مقدار ویژه هر عامل مشخص می‌شود و عامل‌هایی که مقدار ویژه آن‌ها بیشتر از یک باشد، به عنوان عامل‌های معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود.

نمونه برداری

جهت برداشت نمونه‌های آب، ۱۰ مقطع عرضی به فاصله تقریباً یک کیلومتری از همدیگر در طول سد مخزنی مارون انتخاب شد. در مقاطع کوچک یک نمونه و در مقاطع نسبتاً بزرگ دو تا سه نمونه به فاصله تقریباً ۲۰۰ متری برداشت شد و در مجموع از ۱۷ ایستگاه پایش کیفی در آبان ماه ۱۳۹۳، نمونه‌برداری انجام شده است.

جهت کاهش حجم داده‌ها و تعیین تأثیرگذارترین آن‌ها به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از ۱۴ پارامتر فیزیکی و شیمیایی شامل: Na, K, Mg, Ca, HCO_3, SO_4, Cl, SSP, TDS, pH, EC, BOD, COD و DO استفاده شده است (جدول ۱).

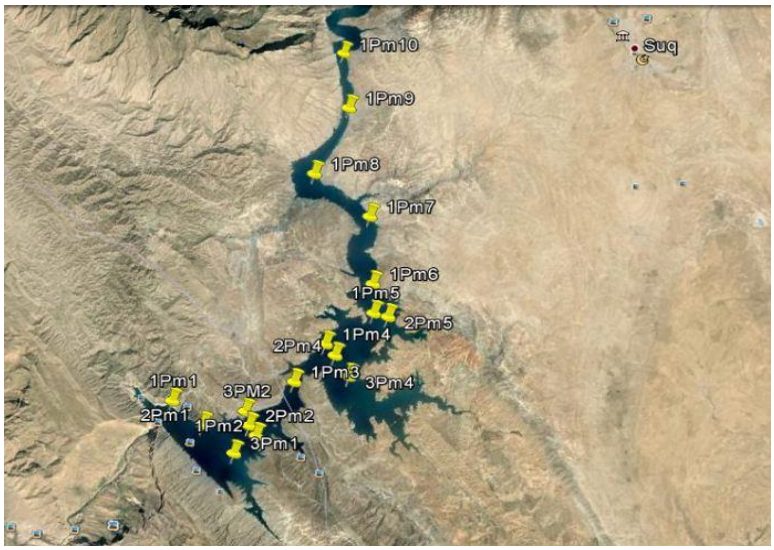
جدول ۱. پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر کیفیت آب مخزن سد رودخانه مارون

نام ایستگاه	Ca	Mg	Na	K	SO_4	Cl	HCO_3	TDS	SSP	pH	EC	BOD	COD	DO
1P1	۹	۲	۸/۷۷	۰/۰۸	۷/۴۲	۱۱	۱/۵	۱۲۴۶/۹۹	۴۴/۱۸	۷/۲۵	۱۹۱۵	۳/۳	۱۰/۰۴	۸
1P2	۹/۷	۱/۳	۸/۹۲	۰/۰۸	۶/۳۵	۱۱/۱	۲/۵	۱۲۶۹/۲۳	۴۴/۶	۶/۷۶	۱۹۷۹	۱/۸۵	۷/۰۵	۶
1P3	۹/۸	۰/۷	۹/۳۸	۰/۰۸	۶/۴۷	۱۱	۲/۵	۱۲۷۶/۸۲	۴۶/۹۹	۷/۲۲	۱۹۷۹	۲/۵۷	۸/۵۴	۷
2P1	۹/۸	۰/۷	۹/۵۳	۰/۰۸	۶/۲۶	۱۱/۳	۲/۴	۱۲۷۴/۷۴	۴۷/۳۹	۷/۴	۱۹۹۷	۳/۰۱	۷/۶۳	۱۵/۷۷
2P2	۹	۱/۵	۹/۵۶	۰/۰۸	۶/۷۸	۱۱/۱	۲/۱	۱۲۶۸/۵۹	۴۷/۴۷	۷/۴۸	۱۹۹۷	۱/۵	۶/۷	۹/۶
2P3	۹/۵	۱/۸	۹/۵۸	۰/۰۸	۶/۳	۱۰/۹	۲/۵	۱۲۵۶/۹۱	۴۸	۷/۵	۱۹۹۷	۲/۲۵	۷/۱۶	۱۲/۶۸
3P1	۸/۵	۲	۹/۴	۰/۰۸	۶/۰۱	۱۱/۴۵	۲/۵	۱۲۶۰/۷۸	۴۷/۰۵	۷/۵	۱۹۹۷	۱/۴۹	۷/۱۸	۱۱/۶
4P1	۸/۵	۲	۹/۳	۰/۰۸	۶/۴۵	۱۱/۵	۲	۱۲۵۰/۸۷	۴۶/۷۸	۷/۵	۱۹۹۷	۱/۵۲	۸	۱۳/۵
4P2	۸	۳	۸/۸۹	۰/۰۸	۶/۴۶	۱۱	۲/۵	۱۲۵۶/۶۷	۴۴/۵۲	۷/۵۴	۱۹۹۷	۱/۲۱	۷/۶۶	۱۳/۳۵
4P3	۸/۵	۱/۸	۹/۵۸	۰/۰۸	۶/۲۸	۱۱/۴	۲/۳	۱۲۶۱/۵	۴۸	۷/۵۶	۱۹۹۷	۱/۳۶	۷/۸۳	۱۳/۴۲
5P1	۸/۶	۲/۷	۸/۵۲	۰/۰۷	۵/۶	۱۱/۸	۲/۵	۱۲۴۳/۲۹	۴۲/۸۴	۷/۵۶	۱۹۹۷	۲/۱	۷/۶۲	۱۲
5P2	۸/۵	۱/۸	۹/۶۲	۰/۰۷	۶/۶۹	۱۱/۴	۱/۸	۱۲۵۱/۲۱	۴۸/۱۲	۷/۵۶	۱۹۹۷	۱/۷	۷/۲۸	۹
6P1	۸	۲/۸	۹/۰۷	۰/۰۸	۶/۱	۱۱/۵	۲/۳	۱۲۴۶/۶۸	۴۵/۴۶	۷/۵۶	۱۹۹۷	۱/۸	۷/۲	۱۰/۹۹
7P1	۶/۵	۴/۹	۹/۶۴	۰/۱۱	۶/۸۹	۱۱/۵	۲/۴	۱۳۰۰/۱۸	۴۵/۵۸	۷/۵۶	۲۰۰۶	۲/۰۶	۸/۴۶	۱۰/۲۵
8P1	۹	۲/۴	۹/۴۵	۰/۱۱	۶/۸۵	۱۱/۴۵	۲/۱	۱۲۹۳/۸۲	۴۵/۰۹	۷/۵۵	۲۰۰۶	۱/۳۴	۶/۳۴	۱۰/۹۴
9P1	۸/۵	۱/۵	۱۰/۸۹	۰/۱۱	۶/۷۶	۱۲	۲/۱	۱۳۲۱/۳۴	۵۱/۸۶	۷/۵۴	۲۰۰۶	۳/۱۴	۸/۷۱	۱۰/۶۵
10P1	۸/۵	۴/۵	۱۷/۵۲	۰/۱۶	۹	۱۹/۵	۲/۶	۱۹۱۶/۰۵	۵۷/۱۱	۷/۴۱	۳۰۲۶	۱/۴۸	۶/۸۸	۱۰/۹۲

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به وجود وسعت زیاد سازند تبخیری گچساران در منطقه مورد مطالعه و تأثیرپذیری کیفیت آب مخزن سد مارون از انحلال سازند گچساران، شکل (۲)، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و تأثیر هر کدام ازاین پارامترها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است.

اولین گام برای تعیین پارامترهای اصلی تغییر کیفیت آب، محاسبه ماتریس متقارن همبستگی با استفاده از روش آماری PCA و نرم افزار Spss v. 16، می‌باشد (جدول ۲).



شکل۲. موقعیت نقاط نمونه برداری

جدول ۲. ماتریس همبستگی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

	Ca	Mg	Na	K	SO_4	Cl	HCO_3	TDS	SSP	pH	EC	BOD	COD	DO
Ca	۱	-۰/۸	-۰/۷۴	-۰/۲۴۱	-۰/۰۷۸	-۰/۰۹۴	-۰/۰۴۸	-۰/۰۵۹	-۰/۰۰۹	-۰/۵۹۲	-۰/۰۶۴	-۰/۲۸۷	-۰/۰۸۶	-۰/۲۱۱
Mg	-۰/۸	۱	۰/۴۶۶	۰/۶۱۲	۰/۴۷۲	۰/۵۴۶	۰/۲۰۷	۰/۵۲۲	۰/۱۸۷	۰/۳۴۶	۰/۵۳	-۰/۳۵۹	-۰/۰۷	۰/۰۸۴
Na	-۰/۷۴	۰/۴۶۶	۱	۰/۸۷۹	۰/۸۴۲	۰/۹۷۲	۰/۲۵	۰/۹۸۵	۰/۹۰۱	۰/۰۳۹	۰/۹۷۶	-۰/۱۳	-۰/۲۰۷	۰/۰۲۴
K	-۰/۲۴۱	۰/۶۱۲	۰/۸۷۹	۱	۰/۸۲۹	۰/۸۴۴	۰/۲۰۹	۰/۸۸۱	۰/۷۳۵	۰/۰۷۴	۰/۸۴۴	-۰/۰۸۷	-۰/۱۳۴	-۰/۰۲۲
SO_4	-۰/۰۷۸	۰/۴۷۲	۰/۸۴۲	۰/۸۲۹	۱	۰/۸۰۱	-۰/۱۵	۰/۸۵	۰/۶۹۷	-۰/۰۸۹	۰/۸۱۶	-۰/۰۰۳	۰/۰۵۶	-۰/۲۲
Cl	-۰/۰۹۴	۰/۵۴۶	۰/۹۷۲	۰/۸۴۴	۰/۸۰۱	۱	۰/۲۷۴	۰/۹۸۷	۰/۷۹۵	۰/۰۳۲	۰/۹۹۱	-۰/۱۸۵	-۰/۲۲۱	۰/۰۳۴
HCO_3	-۰/۰۴۸	۰/۲۰۷	۰/۲۵	۰/۲۰۹	-۰/۱۵	۰/۲۷۴	۱	۰/۲۹۳	۰/۱۵۶	-۰/۰۹۲	۰/۳۲۱	-۰/۲۸۵	-۰/۴۳۷	۰/۲۲۲
TDS	-۰/۰۵۹	۰/۵۲۲	۰/۹۸۵	۰/۸۸۱	۰/۸۵	۰/۹۸۷	۰/۲۹۳	۱	۰/۸۱۴	-۰/۰۳۳	۰/۹۹۵	-۰/۱۵۸	-۰/۲۳۱	-۰/۰۱۴
SSP	-۰/۰۰۹	۰/۱۸۷	۰/۹۰۱	۰/۷۳۵	۰/۶۹۷	۰/۷۹۵	۰/۱۵۶	۰/۸۱۴	۱	۰/۱۲۵	۷۹۵	-۰/۰۱۳	۰/۱۵	۰/۰۹
pH	-۰/۵۹۲	۰/۳۴۶	۰/۰۳۹	۰/۰۷۴	-۰/۰۸۹	۰/۰۳۲	-۰/۰۹۲	-۰/۰۳۳	۰/۱۲۵	۱	-۰/۰۱۱	-۰/۲۳۸	۰/۱۰۷	۰/۶۲۹
EC	-۰/۰۶۴	۰/۵۳	۰/۹۷۶	۰/۸۴۴	۰/۸۱۶	۰/۹۹۱	۰/۳۲۱	۰/۹۹۵	۰/۷۹۵	-۰/۰۱۱	۱	-۰/۲۱۳	-۰/۲۶۴	۰/۰۲۴
BOD	-۰/۲۸۷	-۰/۳۵۹	-۰/۱۳	-۰/۰۸۷	-۰/۰۰۳	-۰/۱۸۵	-۰/۲۸۵	-۰/۱۵۸	-۰/۰۱۳	-۰/۲۳۸	-۰/۲۱۳	۱	۰/۷۰۷	-۰/۱۵۳
COD	-۰/۰۸۶	-۰/۰۷	-۰/۲۰۷	-۰/۱۳۴	۰/۰۵۶	-۰/۲۲۱	-۰/۴۳۷	-۰/۲۳۱	۰/۱۵	۰/۱۰۷	-۰/۲۶۴	۰/۷۰۷	۱	-۰/۱۷۷
DO	-۰/۲۱۱	۰/۰۸۴	۰/۰۲۴	-۰/۰۲۲	-۰/۲۲	۰/۰۳۴	۰/۲۲۲	-۰/۰۱۴	۰/۰۹	۰/۶۲۹	۰/۰۲۴	-۰/۱۵۳	-۰/۱۷۷	۱

جدول (۳) مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر ویژه اولیه برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد می‌شود. واریانس تبیین شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. نتایج حاصل از تحلیل عاملی در جدول (۳)، نشان‌دهنده وجود ۴ عامل معنی‌دار در کیفیت آب مخزن سد مارون می‌باشد، که این عوامل حدود ۸۷/۳۷٪ از مجموع کل واریانس را دربر دارد؛ بطوری که حدود ۵۰٪ واریانس کل مربوط به عامل اول تخصیص داده شده است.

جدول ۳. آمارهای توصیفی مؤلفه اصلی تولید شده

اجزا	مقادیر ویژه	واریانس نسبی	واریانس تجمعی
PC1	۶/۶۹۷	۴۷/۸۳۳	۴۱/۸۳۳
PC2	۲/۵۲۱	۱۸/۰۱۱	۶۵/۸۴۴
PC3	۱/۸۱۵	۱۲/۹۶۳	۷۸/۸۰۷
PC4	۱/۲	۸/۵۷۲	۸۷/۳۷۹
PC5	۰/۸۴۶	۶/۰۴۱	۹۳/۴۲
PC6	۰/۳۴۷	۲/۴۷۶	۹۵/۸۹۵
PC7	۰/۲۳۵	۱/۶۸	۹۷/۵۹۵
PC8	۰/۱۷۱	۱/۲۵۹	۹۸/۷۹۴
PC9	۰/۱۱۲	۰/۷۹۹	۹۹/۵۹۲
PC10	۰/۰۵۶	۰/۴۰۲	۹۹/۹۹۴
PC11	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۹۹/۹۹۸
PC12	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۱۰۰
PC13	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۰۰
PC14	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱۰۰
PC: Principal Component			

میزان اشتراک متغیرها یا واریانس کل با میزان اشتراک عاملی متغیرها در جدول (۴) ارائه شده است. مقدار اولیه گویای تمامی اشتراک های قبل از استخراج است. بنابراین، تمام آنها برابر با یک هستند .همان گونه که در جدول (۵) مشاهده می شود بیشتر میزان اشتراک ها بالاتر از ۵۰ درصد است و بیانگر توانایی عامل های تعیین شده در تبیین واریانس متغیرهای مورد مطالعه است.

به منظور بهبود روابط بین متغیرها و عامل‌های اولیه و اعمال تبدیلات خاص بر روی عامل‌ها، عمل دوران انجام می‌شود. Varimax از جمله متداول‌ترین روش‌های دوران متعامد است که استقلال میان عامل‌های استخراجی را حفظ می‌کند. این روش متغیرهای دارای بار عاملی بزرگتر را به کمترین تعداد تقلیل می‌دهد. این روش، جمع واریانس بارها در ماتریس عاملی را بیشترین مقدار می‌کند، به همین دلیل آن را واریماکس گویند. هنگامی از این روش استفاده می‌شود که هدف به دست آوردن عامل‌هایی است که دارای بار زیادی بر روی برخی از متغیرها و بار کم بر روی متغیرهای دیگر باشد. در این روش تأکید بر ساده کردن ستون‌های ماتریس عاملی است، یعنی حداکثر امکان ساده کردن تا آنجایی حاصل می‌شود که بر روی یک ستون خاص ماتریس، فقط مقادیر (بارهای عاملی) صفر و یک قرار بگیرد. از این رو، مجموع تغییرات ایجاد شده در بارهای عاملی به حداکثر می رسد. در این حالت تفسیر عامل‌ها ساده می‌شود.

تعیین متغیرهای هر عامل (تفسیر ماتریس عاملی)

در ماتریس عاملی هر ستون معرف یک عامل است. مقادیر هر ستون نشان‌دهنده بارهای عاملی هر متغیر با یک عامل هستند (جدول ۴).

عامل اول که حدود نیمی از تأثیر بر کیفیت آب با درصد واریانس کل ۴۷/۸۳ را برعهده دارد، شامل پارامترهای سدیم، پتاسیم، سولفات، کلرید، TDS، SSP و EC می‌باشند که کاملاً مربوط به پارامترهای فیزیکی کیفیت آب و ناشی از طبیعت منطقه می‌باشد. عامل دوم و سوم که شامل پارامترهای HCO_3، BOD، COD، Ca و Mg می‌باشد، ناشی از منبع شیمیایی و زیستی می باشد. عامل چهارم که شامل پارامترهای pH و DO می باشد نیز دال بر وجود منبع شیمیایی و زیستی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش بیانگر وجود منابع آلاینده طبیعی و بیولوژیکی در مخزن سد مارون می‌باشد. عامل اول که شامل پارامترهای فیزیکی و شیمیایی است و به عنوان اصلی‌ترین و مؤثرترین منبع در تغییر کیفیت آب مخزن سد رودخانه مارون شناخته شده است، تأثیر انحلال سازند تبخیری گچساران، با وسعت زیاد در منطقه مورد مطالعه و نیز قدرت انحلال‌پذیری بالای آن را نشان می‌دهد. عامل دوم و سوم نیز که از عوامل شیمیایی و زیستی تغییر کیفیت آب مخزن سد به شمار می‌آیند، که به ترتیب ۱۸/۰۱ و ۱۲/۹۶درصد واریانس کل را به خود اختصاص داده اند. عامل های دوم و سوم متاثر از انحلال سازند آهکی موجود در محدوده مورد مطالعه و رشد میکرو ارگانیزم ها در مخزن سد مارون می باشد. عامل چهارم نیز ناشی از فرآیند شیمیایی و آلودگی بیولوژیکی است.

جدول ۴. میزان اشتراک اولیه و بعد از استخراج عامل‌ها برای متغیرهای وارد شده در تحلیل عاملی

	مقدار اولیه	عامل استخراج شده
Ca	۱	۰/۹۲۵
Mg	۱	۰/۹۴۴
Na	۱	۰/۹۹۴
K	۱	۰/۸۶۵
SO_4	۱	۰/۸۹۸
Cl	۱	۰/۹۵۴
HCO_3	۱	۰/۵۲۲
TDS	۱	۰/۹۸۹
SSP	۱	۰/۸۴۹
pH	۱	۰/۸۶۸
EC	۱	۰/۹۷۴
BOD	۱	۰/۷۷۱
COD	۱	۰/۸۱۵
DO	۱	۰/۸۶۵

جدول۵. ماتریس عامل دوران یافته

پارامترها	عوامل			
	۱	۲	۳	۴
Ca	-۰/۰۱۱	-۰/۰۲۱	-۰/۹۲۶	-۰/۲۶
Mg	۰/۴۲	-۰/۱۴۱	۰/۸۶۵	۰/۰۱۵
Na	۰/۹۸۷	-۰/۱۲۸	۰/۰۵	۰/۰۳۶
K	۰/۸۹۱	-۰/۰۴۹	۰/۲۶۳	-۰/۰۲۷
SO_4	۰/۸۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۷۹	-۰/۲۱۷
Cl	۰/۹۵۳	-۰/۱۸۲	۰/۱۱۴	۰/۰۰۳
HCO_3	۰/۱۶۹	-۰/۶۹۷	-۰/۰۶	۰/۰۷
TDS	۰/۹۷۵	-۰/۱۷۲	۰/۰۸۴	-۰/۰۵۳
SSP	۰/۸۸۷	-۰/۰۱۵	-۰/۱۳۶	۰/۲۰۹
pH	-۰/۰۱۹	۰/۰۰۹	۰/۵۴۳	۰/۸۱۴
EC	۰/۹۵۵	-۰/۲۳۲	۰/۰۸۸	-۰/۰۲۷
BOD	۰/۰۰۰	۰/۷۹۲	-۰/۳۷۸	-۰/۰۲۸
COD	-۰/۰۹۴	۰/۸۹۱	۰/۰۷۱	-۰/۰۸۵
DO	-۰/۰۱۳	-۰/۱۷۸	-۰/۰۰۴	۰/۹۱۳

منابع

راثی نظامی. س. نظریها. م. باغوند. الف. مریدی. ع.، ۱۳۹۲، بررسی کیفیت آب رودخانه کرخه با استفاده از آنالیز آماری چند متغیره بر پایه همبستگی و تغییرات داده های کیفی، مجله تحقیقات نظام سلامت، شماره ۸، ص ۱۲۹۲-۱۲۸۰.

زلکی بدیلی. ن. سالاری. م. صیاد. غ.ع. حمادی. ک.، ۱۳۹۰، بررسی روند تغییرات فراسنج‌های کیفی آب رود مارون در حوضه آبخیز سد مارون، مجله مهندسی منابع آب، سال ۶، ص ۳۷-۵۰.

صداقت. م.، ۱۳۷۸، زمین و منابع آب (آب های زیزمینی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.

میرزایی. م. ریاحی بختیاری. ع. سلمان ماهینی. ع.ر. غلامعلی‌فرد. م.، ۱۳۹۲، آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چندمتغیره آماری، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، شماره ۱۰۸، ص ۴۱-۵۲.

نوری. ر. فرخ نیا. الف. مرید. س. ریاحی مدوار. ح.، ۱۳۸۸، تأثیر پیش‌پردازش متغیرهای ورودی به شبکه عصبی برای پیش‌بینی جریان ماهانه با آنالیز مؤلفه‌های اصلی و موجک، فصلنامه آب و فاضلاب، دوره ۲۰، شماره ۱، ص ۱۳-۲۲.

Davis. S.N., Dewiest. R.J.M., 1975, Ground water and wells, Fourth Edition, Johnson division Upon INC, USA.

Fetter. C.W., 1990, Applied Hydrogeology, Second edition, University of Wisconsin.

Gangopadhyay. S., Gupta. A., Nachabe. M.H., 2001, Evaluation of ground water monitoring network by principal component analysis, Ground Water; Vol: 39, No: 2, p: 181-91.

Helena. B., Pardo. R., Vega. M., Barrado. E., Fernandez. J.M., Fernandez. L., 2000, Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis, Water Research, Vol: 34 No: 3 p: 807-16.

Manly. B.F., 1986, Multivariate Statistical Methods: A Primer. London, UK: Chapman and Hall.

Monjerezi. M., Vogt. R. D., Aagaard. P., Saka. J. D., 2011, Hydro-geochemical processes in an area with saline groundwater in lower Shire River valley, Malawi: an integrated application of hierarchical cluster and principal component analyses. Applied Geochemistry, Vol: 26, No: 8, p: 1399-1413.

Morales. M.M., Marti. P., Llopis. A., Campos. L., Sagrado. S., 1999, An environmental study by factor analysis of surface seawaters in the Gulf of Valencia (Western Mediterranean), Analytica Chimica Acta, Vol: 394, No: 1, p: 109-17.

Ouyang. Y., 2005, Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. Water Res, Vol: 39 No: 12 p: 35-2621.

Philip. B.B., Hanadi. S.R., Charles. J.N., 1994, Groundwater contamination- transport and remediation, Prentice Hall PTR, New Jersey, 541 p.

Shrestha. S., Kazama. F., 2007, Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling & Software, Vol: 22, No: 4, p: 75-464.

Simeonov. V., Stratis. J.A., Samara. C., Zachariadis. G., Voutsa. D., Anthemidis. A., 2003, Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Res, Vol: 37, No: 17, p: 24- 4119.

Todd. D.K., 1980, Ground water hydrology, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc., 636 p.