تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸
Volume 15, No. 2, Summer 2019 (IR-WRR)
۳۱۹-۳۲۸

ارزیابی پارامترهای کیفیت آب سطحی با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه ارس)

شکور سلطانی[۱*]، منیژه قهرودی[۲] و سیدحسن صدوق[۳]

چکیده

در این پژوهش، تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب حوضه آبخیز رودخانه ارس طی دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۷۸ در سه ایستگاه خداآفرین، خزانگاه و جلفا با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی بررسی شد. در ایستگاه خداآفرین، سه مؤلفه اول دارای بیش‌ترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۵۳/۵، ۱۵/۷ و ۱۳/۹ درصد از واریانس پارامترهای مورد استفاده را تبیین می‌نمایند که در مجموع ۸۳/۱ درصد از واریانس توسط سه مؤلفه اول توصیف شده است. در مؤلفه اول که بیش‌ترین درصد تبیین واریانس پارامترهای مورد استفاده بوده است، پارامترهای Mg^{2+}، Ca^{2+}، HCO^{-}_{3}، EC و TDS بیش‌ترین همبستگی را با این مؤلفه دارند. اعضای این مؤلفه بیشتر نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در محل ایستگاه خداآفرین می‌باشد. در میان پارامترهای موجود در مؤلفه اول، EC دارای بیش‌ترین بار عاملی (۰/۹۲) است و به‌عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته شده است. در ایستگاه خزانگاه، سه مؤلفه اول دارای بیش‌ترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۵۳/۶، ۱۷/۵ و ۱۲/۹ درصد از واریانس پارامترهای مورد استفاده را تبیین می‌کنند که در مجموع ۸۴ درصد از واریانس پارامترهای مورد استفاده جامعه توسط آن‌ها توصیف شده است. در مؤلفه اول که بیش‌ترین درصد تبیین واریانس بوده است، پارامترهای Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^{-}، HCO^{-}_{3}، EC و TDS بیش‌ترین همبستگی را با این مؤلفه دارند. اعضای این مؤلفه بیش‌تر نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در محل ایستگاه خزانگاه می‌باشد. در ایستگاه جلفا، چهار مؤلفه اول دارای بیش‌ترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۵۰/۷، ۱۵/۸، ۱۳/۲ و ۵/۸ درصد از واریانس پارامترهای مورد استفاده را تبیین می‌نمایند که در مجموع ۸۸/۲ درصد از واریانس توسط چهار مؤلفه اول توصیف شده است. در مؤلفه اول که بیش‌ترین درصد تبیین واریانس بوده است، پارامتر Mg^{2+} دارای بیش‌ترین بار عاملی (۰/۹۶) است و به‌عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته شده است.

کلمات کلیدی: کیفیت آب سطحی، تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، حوضه رودخانه ارس.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۲/۱۹

۱- معاون بهره‌وری مصرف آب، وزارت نیرو.
۲- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۳- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Evaluation of the Surface Water Quality Using Statistical Multi-Variate Techniques, Case Study: Aras Watershed

Sh. Soltani[1] , M. Ghohroudi[2], and S.H. Sadoogh[3]*

Abstract

Rivers are amongst the most dynamic ecosystems of the world and therefore it is essential to examine their temporal and spatial changes including their water quality. In this research, we have analyzed temporal and spatial changes in the parameters of water quality of Aras River in the period 1999-2011 at Khodaafarin, Khazangah, and Jolfa, gauge stations using statistical multi-variate analysis, factor analysis, and Principal Component Analysis. At Khodaafarin station, the first three components with the highest eigenvalues explained 53.5, 15.7, and 13.9 percent of variance changes. The first component with the highest explanation of variance had the greatest correlation with parameters of Mg^{2+}, Ca^{2+}, HCO^{-}_{3}, EC, and TDS. The component showed the ions and suspending particles at Khodaafarin station. Among the parameters of the first component, EC had the highest factor loading (0.98) as the main parameter of the component. At the Khazangah station, the first three components explained 53.6, 17.5, and 12.9 percent of variance, respectively. The first component had the highest correlation coefficient with the parameters of Mg^{2+}, Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, HCO^{-}_{3}, EC, and TDS. In Jolfa station, the first four components with the highest eigenvalues explained 50.7, 15.8, 13.2, and 5.8 percent of the variance. In the first component, Mg^{2+} with the highest factor loading (0.96) was the main parameter of the component.

Keywords: Surface Water Quality, Factor Analysis, Principal Component Analysis, Aras River Watershed.

Received: February 10, 2019
Accepted: May 9, 2019

1- Deputy Water Consumption Productivity, Ministry of Energy. Email: shakoursoltani@gmail.com
2- Professor of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: manijeh.ghohrodi@gmail.com
3- Professor of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: sdoogh@sbu.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب در جهت پایداری کیفی و کمی منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور می‌باشد. آب‌های سطحی از مهم‌ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند (Soleymani et al., 2013). بنابراین آگاهی از کیفیت آب یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی، توسعه و حفاظت منابع آب به ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌گردد که داده‌های کافی وجود ندارد (Nosrati et al., 2011). کیفیت آب تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی از قبیل بارش، فرسایش و هوازدگی مواد، روابط موجودات زنده، شیمی اتمسفر، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، انحلال مـــواد آلی (Sandow et al., 2008) و عوامل انسانی از قبیل فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی (Papatheodorou et al., 2006) می‌باشد. همچنین، آب‌های سطحی در مقایسه با آب‌های زیرزمینی به جهت دسترسی آسان برای دفع پساب‌ها در معرض آلودگی و آسیب‌پذیری بیشتری قرار دارند. با توجه به افزایش جمعیت، افزایش آلودگی‌ها، تخریب جنگل‌ها و پوشش گیاهی و خشکسالی کاهش کیفیت منابع آب اجتناب‌ناپذیر بوده و لازم است تا کیفیت منابع آب سطحی مورد بررسی و پایش قرار گیرد.

پایش کیفیت این منابع با توجه به خشکسالی‌های اخیر و توسعه شهری و روستایی یکی از وظایف مهم در حیطه مدیریت محیط زیست می‌باشد (Samadi et al., 2009). سلامتی جوامع انسانی رابطه نزدیکی با کیفیت آب دارد و با هر نوع آلودگی که کیفیت آب را تغییر بدهد، مورد تهدید واقع می‌شود. منابع آب اغلب دربردارنده ناخالصی‌های شیمیایی هستند، این ناخالصی‌ها ممکن است ناشی از تغییرات کاربری اراضی، تغییر الگوی مصرف آب در سطح حوضه‌های آبخیز، آلودگی هوا، آلودگی خاک و یا مواد آلاینده ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد که به‌صورت فضولات جامد یا مایع در محیط تخلیه می‌شوند (Akhonipour Hosseini and Ghorbani, 2016). به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی معمولاً از دو روش آماره‌های چندمتغیره و مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود (Sandow, 2008). روش‌های چند متغیره مانند تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل توابع تشخیص از طریق کاهش و خوشه‌بندی داده‌ها جهت تحلیل و تصمیم‌گیری مناسب است (Vega et al., 1998; Helena et al., 2000; Wunderlin et al., 2001; Shrestha and Kazama, 2007; Kannela et al., 2008; Noori et al., 2010; Mishra, 2010; Tobiszewski et al., 2010; Zhang et al., 2010).

کشور ایران، ۱/۱ درصد از مساحت خشکی‌های جهان را به خود اختصاص داده است. در حالی که فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در خشکی‌های جهان را در اختیار دارد و با داشتن یک سوم میانگین بارندگی جهانی، سه برابر متوسط جهانی آب مصرف می‌کند. بدین ترتیب با توجه به محدودیت کمّی منابع آب و افزایش گستره اراضی کشاورزی و افزایش آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای لازم است تا کیفیت منابع آب سطحی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی و پایش کیفیت آب سطحی در حوزه آبریز هراز- قره‌سو با استفاده ازتکنیک‌های آماری چندمتغیره می‌باشد. با توجه به اینکه بخش اعظمی از مباحث و استراتژی‌های مدیریت منابع آب به ارزیابی و پایش کیفیت آب‌های سطحی برمی‌گردد، در این پژوهش، علاوه بر بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه ارس و همچنین تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی این رودخانه، جهت درک بهتر وضعیت منابع آب سطحی در سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه، از داده‌های ۱۱ پارامتر کیفی آب سطحی در ایستگاه‌های خدا آفرین، جلفا و خزانگاه طی دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی این پارامترها استفاده شد. هدف از انجام این بخش از پژوهش، ارزیابی و پردازش کیفی آب‌های سطحی حوضه رودخانه ارس در سه ایستگاه ذکر شده با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره از جمله تحلیل عاملی است.

۲- روش پژوهش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه ارس، مرز مشترک بین کشورهای ایران، ترکیه، جمهوری ارمنستان و آذربایجان است (شکل ۱) که به دلیل موقعیت خاص ژئومورفولوژیکی حوضه ارس، دره این رود دارای تغییرات متعددی در طول زمان بوده که عدم انطباق خطوط مرزی و بستر رودخانه ارس را موجب گردیده است. این رودخانه پس از رود کورا مهم‌ترین رود حوضه محسوب می‌شود که آب حوضه آبخیزی به مساحت بالغ بر ۹۷۰۰۰ کیلومتر مربع را جمع‌آوری می‌کند. محدوده مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی عمدتاً دارای تپه ماهورها و تپه‌های پراکنده و محدوده‌های پست کم‌ارتفاع می‌باشد و در قسمت‌هایی نیز کوهستان‌های مشرف به دشت‌های هموار وجود دارد. مورفولوژی عمده این محدوده در کل، تحت تأثیر فرآیندهای بیرونی در کواترنری شکل گرفته است. توپوگرافی تا حدود زیادی در مورفولوژی کانال‌های منطقه مؤثر بوده و تغییرات کانال رودخانه مرزی ارس می‌تواند تحت تأثیر فرآیندهای ژئومورفولوژی رفتار مشخصی داشته باشد. تنوع عوارض ژئومورفولوژی از جمله تپه‌های پراکنده و کوهستان‌های مشرف به دشت‌های هموار می‌تواند در هیدرولوژی شاخه‌های فرعی رودخانه

ارس مؤثر بوده و تغییرات بخصوصی را در مورفولوژی اصلی کانال رودخانه ارس داشته باشد. میانگین بارندگی سالیانه حوضه در ایران ۳۴۰ میلیمتر بوده که حداکثر آن در بهار (۴۱/۸ درصد) و حداقل آن در تابستان (۸/۹۵ درصد) می‌باشد (National Report of Islamic Republic of IRAN, 2006). تغییر حجم رواناب وارد شده از حوضه ارس به دریای مازندران در نتیجه فعالیت‌های انسانی مانند گسترش شهرها و جنگل‌زدایی، تغییرات کاربری اراضی و تخریب ناشی از سیلاب به‌دلیل گسترش شهرها و بالاخره وقوع سیلاب، جـــریان گلی و فرسایش کناری در سرتاسر حـــوضه، اهمیت پایش تغییرات مورفولوژیکی این رودخانه مرزی و تأثیر این تغییرات را بر روابط کشورهای همسایه بارز می‌سازد.

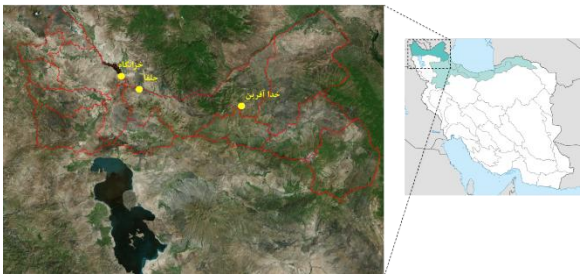

Fig. 1- Geographical location of the Aras river basin and hydrometric stations studied

شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی حوضه رود ارس و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های ۱۱ پارامتر کیفی آب سطحی در ایستگاه‌های خداآفرین، جلفا و خزانگاه طی دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. پارامترهای انتخاب شده کیفیت آب عبارتند از: غلظت سولفات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، مجموع کل املاح، قابلیت هدایت الکتریکی، pH، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و نسبت جذب سدیم. این پارامترها به‌صورت ماهانه و به مدت ۱۲ سال از سازمان مدیریت منابع آب ایران دریافت گردید؛ واحدهای اندازه‌گیری آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۳- آماده‌سازی داده‌ها و تکنیک‌های آماری چند متغیره

به منظور آماده‌سازی داده‌ها، دوره آماری مشترک برای پارامترهای کیفیت آب به مدت ۱۲ سال (۱۳۹۰-۱۳۷۸) تعیین شد. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها از آماره کلموگروف-اسمیرنوف[1] (K-S) استفاده شد. براساس آزمون (K-S)، تمامی متغیرها با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. همچنین، جهت آزمون برازندگی داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی/تحلیل عاملی، آزمون کیسر-میر-اُلکین (KMO) و بارلت[2] استفاده شد؛ KMO سنجش بسندگی نمونه‌گیری است که نسبت واریانس را نشان می‌دهد. تغییرات داده‌های کیفیت آب سطحی حوزه آبریز مورد مطالعه با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره تحلیل عاملی[3] (FA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی[4] (PCA) ارزیابی شدند.

Table 1- Abbreviation and unit of measurement of selected parameters of water quality

جدول ۱- اختصارات و واحد اندازه‌گیری پارامترهای انتخابی کیفیت آب

Parameter	Name	Unit of measurement
Sodium absorption ratio	SAR	-
Electrical conductivity	EC	$\mu S\ cm^{-1}$
Total dissolved soluble	TDS	$mg\ L^{-1}$
Bicarbonate	HCO_3^-	$mg\ L^{-1}$
Chlorine	Cl^-	$mg\ L^{-1}$
Sulfate	SO_4^{-2}	$mg\ L^{-1}$
Calcium	Ca^{+2}	$mg\ L^{-1}$
Magnesium	Mg^{+2}	$mg\ L^{-1}$
Sodium	Na^+	$mg\ L^{-1}$
Potassium	K^+	$mg\ L^{-1}$
Hydrogen ion dissolved	pH	-

۲-۳-۱- تحلیل مؤلفه‌های اصلی/تحلیل عاملی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تبدیل متغیرهای اصلی به یک متغیر ناهمبسته جدید که ترکیبی خطی از مؤلفه اصلی می‌باشد، طراحی شده است. محورها (متغیرها)ی جدید در امتداد حداکثر واریانس قرار می‌گیرند. مؤلفه اصلی اطلاعاتی درباره پارامترهای با بیشترین معناداری بدست می‌دهد که کل یک مجموعه داده بدست آمده از فرآیند تقلیل داده‌ها را با حداقل از دست‌رفت داده‌های اولیه، توصیف می‌کند (معادله ۱ ;Helena et al., 2000).

$$z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + \ldots + a_{im}x_{mj} \qquad (۱)$$

که Z امتیاز مؤلفه، a بار مؤلفه، x ارزش اندازه‌گیری شده متغیر، i شماره مؤلفه، j شماره نمونه و m تعداد کل متغیرهاست.

تحلیل عاملی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی پیروی می‌کند. هدف اصلی این تحلیل، کاهش سهم متغیرهای با معناداری کم، جهت ساده‌سازی هرچه بیشتر ساختار داده بدست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. این هدف می‌تواند با چرخش محور تعریف شده (چرخش واریماکس)[5]

از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی عملی شده و متغیرهای جدیدی ایجاد گردد که عامل‌های تغییر[۶] (VF) نامیده می‌شوند. مؤلفه اصلی ترکیبی خطی از متغیرهای قابل مشاهده کیفیت آب است، در حالی‌که VF می‌تواند شامل متغیرهای غیرقابل مشاهده، فرضی و پنهان نیز باشد (Helena et al., 2000). در این پژوهش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای نرمال شده جهت استخراج مؤلفه‌های اصلی معنادار و همچنین کاهش سهم متغیرهای با معناداری کم بکار برده شد.

۳- یافته‌های پژوهش

۳-۱- تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب

جهت درک تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب در حوضه رودخانه ارس، تغییرات هر یک از پارامترها در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به نمودارهای تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب سه ایستگاه خدا آفرین، خزانگاه و جلفا، کمترین تغییرات مربوط به ایستگاه خدا آفرین می‌باشد که در بخش جنوب شرقی زیرحوضه جلفا- دوزال قرار گرفته است؛ بیش‌ترین تغییرات پارامترهای کیفی هم طی این بازه زمانی ۱۲ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰) در ایستگاه خزانگاه اتفاق افتاده که در محل خروجی سد ارس در ناحیه پلدشت واقع شده است. نکته قابل ذکر این است که میانگین ماهانه دبی ثبت شده در ایستگاه خدا آفرین طی این دوره، بیش‌تر از دو ایستگاه دیگر است (شکل ۳)؛ متفاوت بودن مقدار دبی ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه خزانگاه و جلفا، رابطه معنی‌داری (با توجه به شکل ۲) با تغییرات مکانی و همین‌طور زمانی پارامترهای کیفی آب در سه ایستگاه بررسی شده دارد.

منشأ تغییرات زمانی پارامترهای کیفیت آب می‌تواند ناشی از سنگ‌ها و خاک تشکیل‌دهنده حوضه آبخیز، پساب زه‌کشی و رواناب‌های شهری باشد. البته افزایش یا کاهش مقدار هدایت الکتریکی و غلظت یون‌ها، بسته به تر سالی و خشکسالی‌های منطقه نیز متغیر است؛ به‌گونه‌ای که با افزایش دبی رودخانه کاهش می‌یابد. تغییرات فصلی نیز باعث تغییر کیفیت آب می‌شود و مقادیر بیشینه پارامترها مربوط به فصول خشک و مقادیر کمینه مربوط به فصول مرطوب هستند (Nakhaei et al., 2011). رابطه معنی‌دار بین دوره‌های کم آبی و پر آبی با پارامترهای کیفیت آب باعث می‌شود که با دوره‌های کم آبی سیر پارامترهای مورد مطالعه نزولی و در دوره‌های پر آبی صعودی باشد. نگاهی به نمودارهای تغییرات زمانی پارامترهای کیفیت آب و دبی ثبت شده در سه ایستگاه مورد مطالعه به‌خوبی بیانگر این امر است که طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ (افزایش دبی رودخانه‌ها و احتمالاً دوره مرطوب) که مقدار دبی آب در سه ایستگاه روندی صعودی داشته، مقادیر پارامترهای کیفی دارای سیری نزولی هستند.

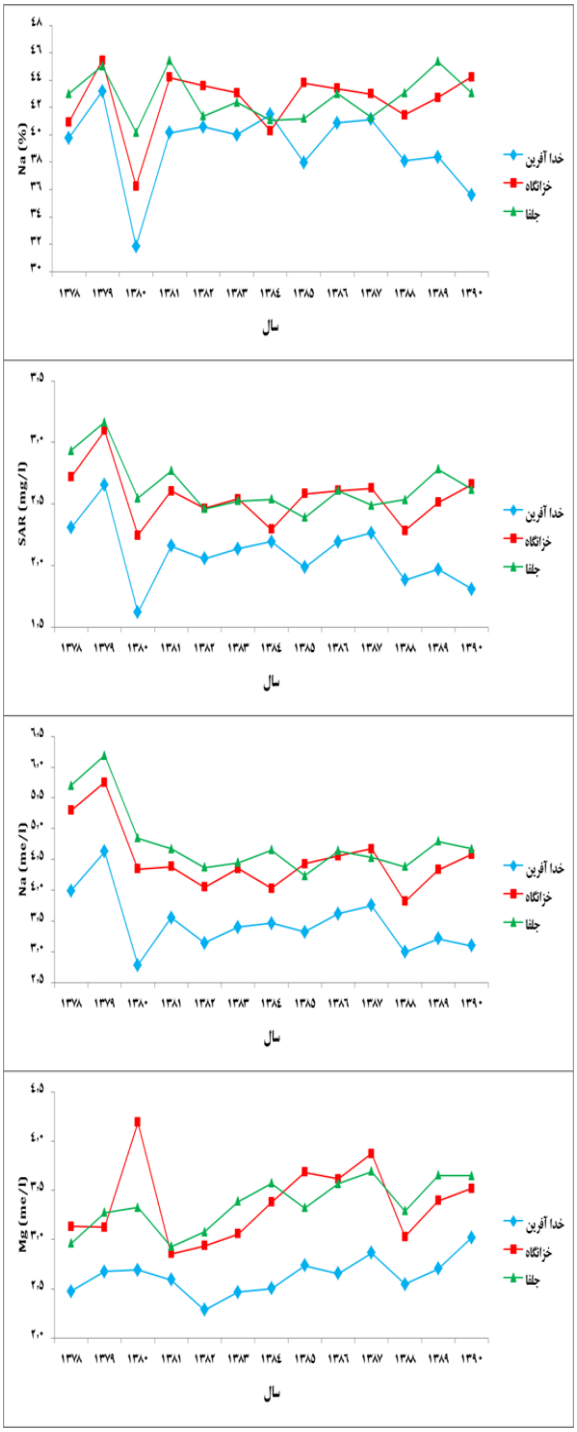

Fig. 2- a) Time variations of Na^+, SAR and Mg^{2+} parameters at Khodaafarin, Khazangah and Julfa Stations

شکل ۲-الف- تغییرات زمان در پارامترهای Na^+، SAR و Mg^{2+} در خدا آفرین، خزنگاه و جلفا

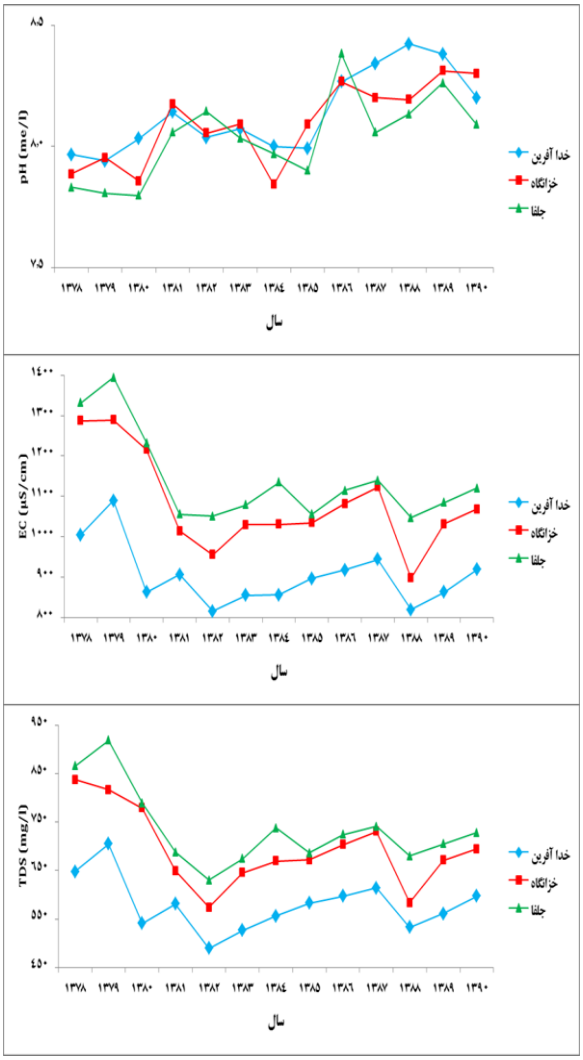

Fig. 2- c) Time variations of pH, EC and TDS parameters at three stations: Khodaafarin, Khazangah and Julfa

شکل ۲-پ- تغییرات زمان در پارامترهای pH، EC و TDS در سه ایستگاه: خدا آفرین، خزانگاه و جلفا

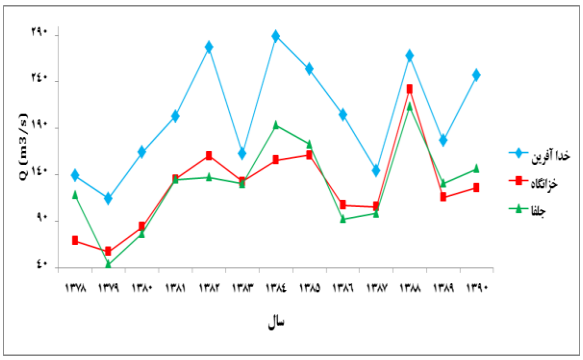

Fig. 3- Temporal variations of the average monthly discharge of the three stations of Khodaafarin, Khazangah and Julfa in the years 1999 to 2011

شکل ۳- تغییرات زمانی متوسط تخلیه ماهیانه سه ایستگاه خدا آفرین، خزانگاه و جلفا در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱

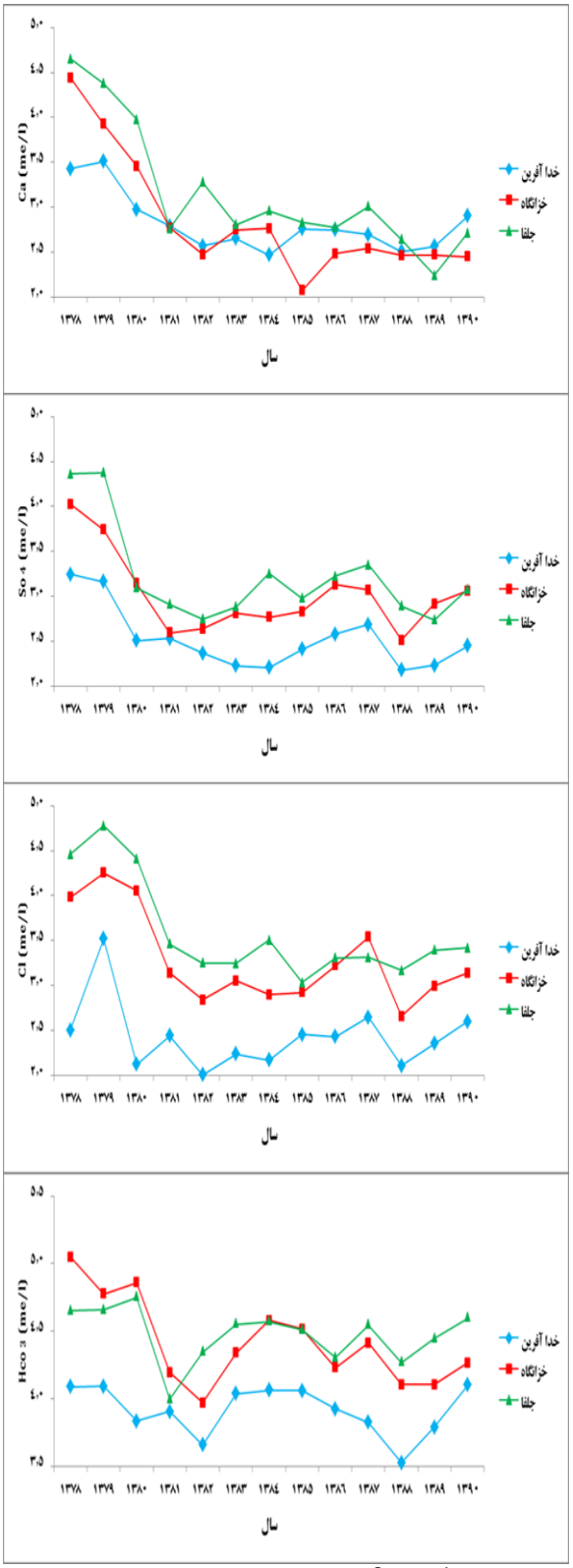

Fig. 2- b) Time variations of Ca^{2+}, SO^{4-}, Cl- and HCO^{3-} parameters at three stations: Khodaafarin, Khazangah and Julfa

شکل ۲-ب- تغییرات زمانی پارامترهای Ca^{2+}، SO^{4-}، Cl^{-} و HCO^{3-} در سه ایستگاه: خدا آفرین، خزنگاه و جلفا

تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC)[۷] که معیاری برای سنجش قابلیت انتقال جریان الکتریکی توسط یک محلول است، به میزان زیادی وابسته به تغییرات مقدار دبی رودخانه‌ها است. با توجه به بیش‌تر بودن مقدار دبی ثبت شده در ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه خزانگاه و جلفا، قابلیت هدایت الکتریکی آن نسبت به دو ایستگاه دیگر پایین‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه رابطه مستقیم بین کل نمک‌های محلول (TDS)[۸] و هدایت الکتریکی (EC) وجود دارد، مقدار TDS نیز در ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه دیگر کمتر می‌باشد.

اگرچه با توجه به دبی بیش‌تر ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه خزانگاه و جلفا، سیر نزولی در مقادیر پارامترهای کیفیت آب این ایستگاه هم مشاهده می‌شود؛ اما ارزیابی و بیان دقیق‌تر علت این تغییرات نیاز به بررسی عوامل تأثیرگذار دیگر همچون توسعه سازندهای تبخیری و گنبدهای نمکی، فرسایش‌پذیری و انحلال سازندها، کاربری و پوشش اراضی و نوع فعالیت‌ها و سازه‌های انسان‌ساخت در سطح حوضه آبخیز دارد.

۳-۲- تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات کیفیت آب سطحی

در این پژوهش، تحلیل عاملی بر اساس ۱۱ پارامتر کیفی به‌منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب سطحی منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. قبل از انجام تحلیل عاملی داده‌ها بایستی شرایط لازم برای تحلیل عاملی را با توجه به نتایج آزمون KMO و Bartlett داشته باشند. در این پژوهش، نتایج آزمون KMO رضایت‌بخش بوده و آزمون Bartlett در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. هر چقدر همبستگی بین پارامترها قوی باشد، تحلیل عاملی نتایج بهتری را از تغییرات واریانس جامعه نشان می‌دهد. نتایج ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب سه ایستگاه مورد مطالعه در جدول‌های ۲ تا ۴ ارائه شده است. نتایج همبستگی پارامترها نشان می‌دهد که به غیر از pH، بقیه پارامترها همبستگی مثبت داشته‌اند. به‌عبارتی، نتایج حاصل از ماتریس همبستگی میان پارامترهای کیفیت آب در مرحله اول تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمایانگر آن است که بین اکثر پارامترهای مورد بررسی، همبستگی بالایی وجود دارد. این امر تناسب داده‌های موجود را برای ورود به تحلیل مؤلفه‌های اصلی و همچنین تعیین مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده در توصیف تغییرات کیفی آب حوضه آبخیز رودخانه ارس تأیید می‌نماید.

در این پژوهش برای دوران عامل‌ها از روش واریماکس[۹] استفاده شد و انتخاب عامل‌ها با مقادیر ویژه[۱۰] بیش از یک برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب سطحی قرار گرفت. شکل ۴ تغییرات مقادیر ویژه را به ازای افزایش تعداد مؤلفه‌ها نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار، در ایستگاه خدا آفرین، سه مؤلفه اول دارای بیش‌ترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۵۳/۵، ۱۵/۷ و ۱۳/۹ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌نمایند که در مجموع ۸۳/۱ درصد از واریانس جامعه توسط سه مؤلفه اول توصیف شده است. بنابراین، سه مؤلفه اول به‌عنوان بهترین مؤلفه در توصیف تغییرات کیفیت آب در ایستگاه خدا آفرین می‌باشند. همانطور که ذکر شده، جهت استخراج پارامترهای اصلی کیفیت آب از درون مؤلفه‌های اصلی، از بار عاملی چرخانده شده با دوران واریماکس استفاده شد. بر این اساس در هر مؤلفه، پارامترهایی که دارای بیش‌ترین بار عاملی مثبت یا منفی هستند، بهترین نماینده برای تبیین آن مؤلفه می‌باشند.

جدول ۵ بار عاملی هر کدام از پارامترها را برای عضویت در سه مؤلفه اصلی ایستگاه خدا آفرین نشان می‌دهد. در مؤلفه اول که بیش‌ترین درصد تبیین واریانس جامعه بوده است، پارامترهای Mg^{2+}، Ca^{2+}، HCO^{-}_{3}، EC و TDS بیش‌ترین همبستگی را با این مؤلفه دارند. اعضای این مؤلفه بیش‌تر نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در محل ایستگاه خدا آفرین می‌باشد.

Table 2- Correlation matrix between water quality parameters in the first stage of PCA (Station of Khodaafarin)

جدول ۲- ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب در مرحله اول (PCA ایستگاه خدا آفرین)

HCO	EC	pH	HCO^{-3}	Cl^{-}	So_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SAR	%Na	Parameter
										1	%Na
									1	0.92	SAR
								1	0.93	0.73	Na^{+}
							1	0.53	0.27	0.01	Mg^{2+}
						1	0.41	0.49	0.22	0.11	Ca^{2+}
					1	0.60	0.68	0.76	0.58	0.33	So_4^{2-}
				1	0.63	0.63	0.66	0.85	0.67	0.42	Cl^{-}
			1	0.63	0.50	0.65	0.65	0.63	0.41	0.13	HCO^{-3}
		1	0.17-	0.5-	0.12-	0.12-	0.05	0.07-	0.05-	0.02-	pH
	1	0.05-	0.79	0.90	0.84	0.73	0.78	0.88	0.66	0.35	EC
1	0.99	0.03-	0.78	0.89	0.83	0.71	0.78	0.88	0.66	0.36	HCO

Table 3- Correlation Matrix between Water Quality Parameters in the First Stage of PCA (Khazangah Statio)

جدول ۳- ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب در مرحله اول PCA (Khazangah Statio)

HCO	EC	pH	HCO^{-3}	Cl^{-}	So_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SAR	%Na	Parameter
										1	%Na
									1	0.82	SAR
								1	0.90	0.52	Na^{+}
							1	0.44	0.14	0.26	Mg^{2+}
						1	0.25	0.54	0.23	0.26	Ca^{2+}
					1	0.65	0.52	0.82	0.59	0.17	So_4^{2-}
				1	0.64	0.66	0.59	0.82	0.61	0.12	Cl^{-}
			1	0.63	0.50	0.66	0.64	0.56	0.25	0.21	HCO^{-3}
		1	0.30	0.12	0.21	0.22	0.12	0.13	0.03	0.10	pH
	1	0.18	0.77	0.88	0.85	0.74	0.69	0.86	0.58	0.05	EC
1	0.99	0.17	0.75	0.86	0.86	0.74	0.69	0.85	0.57	0.04	HCO

Table 4- Correlation matrix between water quality parameters in first stage of PCA (Julfa Station)

جدول ۴- ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب در مرحله اول PCA (ایستگاه جلفا)

Parameter	%Na	SAR	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	So_4^{2-}	Cl^-	HCO^{-3}	pH	EC	HCO
%Na	1										
SAR	0.79	1									
Na^+	0.56	0.95	1								
Mg^{2+}	0.08	0.43	0.56	1							
Ca^{2+}	0.14	0.35	0.54	0.13	1						
So_4^{2-}	0.31	0.76	0.89	0.59	0.57	1					
Cl^-	0.40	0.84	0.92	0.48	0.67	0.76	1				
HCO^{-3}	0.12	0.25	0.40	0.63	0.48	0.32	0.40	1			
pH	0.02-	0.14-	0.18-	0.01	0.21-	0.19-	0.21 -	0.08-	1		
EC	0.31	0.81	0.95	0.68	0.69	0.90	0.92	0.59	0.17	1	
HCO	0.31	0.81	0.95	0.67	0.68	0.90	0.91	0.58	0.18	0.1	1

در میان این پارامترهای موجود در مؤلفه اول، EC دارای بیش‌ترین بار عاملی (۰/۹۲) است و به‌عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته شده است. در مؤلفه دوم %Na و SAR به‌ترتیب با بار عاملی ۰/۹۹ و ۰/۹۴ دارای بیش‌ترین همبستگی با این مؤلفه می‌باشند. اجزای این مؤلفه نیز با میزان سدیم موجود در آب سطحی ارتباط دارند و %Na به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه شناخته می‌شود. در مؤلفه سوم نیز پارامتر pH با بار عاملی ۰/۹۲ به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه شناخته شده و نشان‌دهنده اسیدیته آب سطحی در محل ایستگاه خدا آفرین می‌باشد.

شکل ۵ مقادیر ویژه را به ازای افزایش تعداد مؤلفه‌ها نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار، در ایستگاه خزانگاه، سه مؤلفه اول دارای بیش‌ترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به‌ترتیب ۵۳/۶، ۱۷/۵ و ۱۲/۹ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌کنند که در مجموع ۸۴ درصد از واریانس جامعه توسط آن‌ها توصیف شده است. بنابراین، سه مؤلفه اول به‌عنوان بهترین مؤلفه در توصیف تغییرات کیفیت آب در ایستگاه خزانگاه می‌باشند. جدول ۶ بار عاملی هر کدام از پارامترها را برای عضویت در سه مؤلفه اصلی این ایستگاه نشان می‌دهد. در مؤلفه اول که بیش‌ترین درصد تبیین واریانس جامعه بوده است، پارامترهای Mg^{2+}، Ca^{2+}، Cl^-، HCO^-_3، EC و TDS بیش‌ترین همبستگی را با این مؤلفه دارند. اعضای این مؤلفه بیش‌تر نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در محل ایستگاه خزانگاه می‌باشد. در میان این پارامترهای موجود در مؤلفه اول، EC دارای بیش‌ترین بار عاملی (۰/۹۷) است و به‌عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته می‌شود. در مؤلفه دوم %Na و SAR به‌ترتیب با بار عاملی ۰/۹۷ و ۰/۹ دارای بیش‌ترین همبستگی با این مؤلفه هستند. اجزای این مؤلفه نیز با میزان سدیم موجود در آب سطحی ارتباط دارند و %Na به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه شناخته می‌شود. در مؤلفه سوم هم پارامتر pH با بار عاملی ۰/۹۳ به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه شناخته شده و نشان‌دهنده اسیدیته آب سطحی در محل ایستگاه خزانگاه می‌باشد.

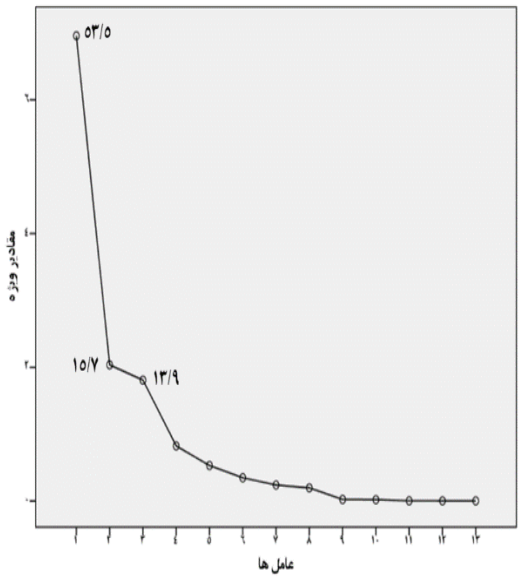

Fig. 4- Special values of agents with special values more than one (Khodaafarin station)

شکل ۴- مقادیر ویژه عوامل با مقادیر ویژه بیش از یک (ایستگاه خدا آفرین)

Table 5- Factor load of the main components explaining the changes in water quality with the varimax era (Khodaafarin station)

جدول ۵- بار عامل از اجزای اصلی توضیح تغییرات در کیفیت آب با دوران واریماکس (ایستگاه خدیجه)

Parameter	Component 1	Component 2	Component 3
%Na	0.06-	0.99	0.05-
SAR	0.29	0.94	0.05-
Na^+	0.63	0.76	0.04-
Mg^{2+}	0.87	0.08	0.15
Ca^{2+}	0.85	0.16-	0.10-
So_4^{2-}	0.77	0.36	0.01
Cl^-	0.79	0.45	0.00
HCO^{-3}	0.81	0.13	0.24-
pH	0.01	0.03	0.92
EC	0.92	0.38	0.01
TDS	0.91	0.39	0.03
Eigenvalues	6.95	2.03	1.8
%VAR	53.5	15.7	13.9
∑VAR	53.5	69.2	83.1

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه بخش اعظمی از مباحث و استراتژی‌های مدیریت منابع آب به ارزیابی و پایش کیفیت آب‌های سطحی برمی‌گردد، در

این پژوهش، جهت درک بهتر وضعیت منابع آب سطحی در سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه، از داده‌های ۱۱ پارامتر کیفی آب سطحی در ایستگاه‌های خدا آفرین، جلفا و خزانگاه طی دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی این پارامترها استفاده شد.

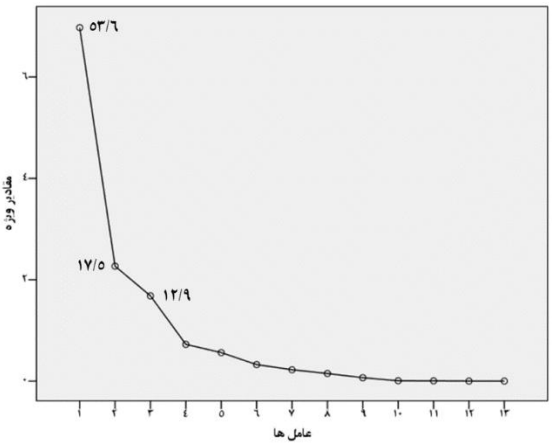

Fig. 5- Special values for agents with special values of more than one (Khazangah station)

شکل ۵- مقادیر ویژه برای عوامل با مقادیر ویژه بیش از یک (ایستگاه خزانگاه)

Table 6- Factor load of main components explaining changes in water quality with Varimax era (Khazangah Station)

جدول ۶- بار عامل از اجزای اصلی که توضیح تغییرات در کیفیت آب با گذرگاه واریماکس (ایستگاه خزانگاه)

Component 3	Component 2	Component 1	Parameter
0.04	0.97	0.20-	%Na
0.02	0.90	0.40	SAR
0.02	0.61	0.78	Na^{+}
0.03	0.03	0.84	Mg^{2+}
0.06-	0.24-	0.81	Ca^{2+}
0.09	0.19	0.86	So_4^{2-}
0.02-	0.35	0.86	Cl^{-}
0.29-	0.01-	0.85	HCO^{-3}
0.93	0.07	0.01-	pH
0.02	0.20	0.97	EC
0.04	0.18	0.96	TDS
1.68	2.27	6.97	Eigenvalues
12.9	17.5	53.6	%VAR
84	71.1	53.6	∑VAR

تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی (EC) که معیاری برای سنجش قابلیت انتقال جریان الکتریکی توسط یک محلول است، به میزان زیادی وابسته به تغییرات مقدار دبی رودخانه‌ها است. با توجه به بیش‌تر بودن مقدار دبی ثبت شده در ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه خزانگاه و جلفا، قابلیت هدایت الکتریکی آن نسبت به دو ایستگاه دیگر پایین‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه رابطه مستقیم بین کل نمک‌های محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) وجود دارد، مقدار TDS نیز در ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه دیگر کمتر می‌باشد. اگرچه با توجه به دبی بیش‌تر ایستگاه خدا آفرین نسبت به دو ایستگاه خزانگاه و جلفا، سیر نزولی در مقادیر پارامترهای کیفیت آب این ایستگاه هم مشاهده می‌شود، اما ارزیابی و بیان دقیق‌تر علت این تغییرات نیاز به بررسی عوامل تأثیرگذار دیگر همچون توسعه سازندهای تبخیری و گنبدهای نمکی، فرسایش‌پذیری و انحلال سازندها، کاربری و پوشش اراضی و نوع فعالیت‌ها و سازه‌های انسان‌ساخت در سطح حوضه آبخیز دارد.

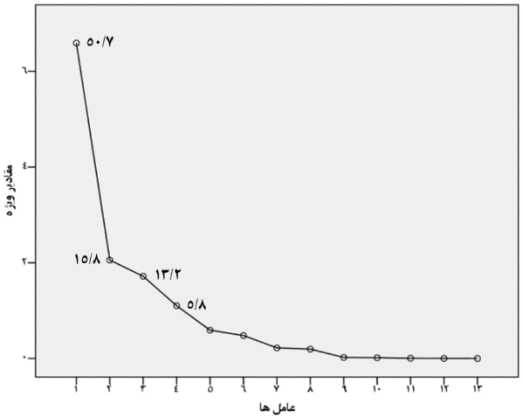

Fig. 6- Special values for agents with special values of more than one (Julfa station)

شکل ۶- مقادیر ویژه برای عوامل با مقادیر ویژه بیش از یک (ایستگاه جلفا)

در پژوهش‌هایی دیگر نیز، تحلیل عاملی/ تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای استخراج مؤلفه‌های اصلی در تغییرات کیفیت آب بکار گرفته شده است. از جمله این پژوهش‌ها، می‌توان به کاربرد تحلیل عاملی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه Yun-Lin تایوان اشاره کرد که Chen et al. (2003) تحلیل عاملی را برای ۲۸ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری شده از چاه‌های این ناحیه بکار گرفته و همبستگی‌های ۱۳ پارامتر هیدروشیمیایی را تست آماری کردند. ایشان مدلی دو عاملی پیشنهاد دادند که بیش‌تر از ۷۷/۸ درصد از مجموع تغییرات کیفی آب زیرزمینی را توجیه می‌کرد. عامل ۱ (شوری آب دریا)، شامل غلظت‌های K^{+}، Na^{+}، So_4^{-2}، Cl^{-}، TDS، EC، Mg^{+2} و عامل ۲ (آلودگی آرسنیک) شامل غلظت‌هایTOC، ALK و Arsenic است.

Sandow (2009) تحلیل عاملی/ تحلیل مؤلفه‌های اصلی را جهت استخراج عامل‌های اصلی تغییرات هیدروشیمیایی آب سطحی نواحی Ankwaso، Dominase و Prestea استفاده کردند.

Table 7- Factor load of main components explaining variations in water quality with Varimax era (Julfa station)

جدول ۷- مقدار فاکتور مولفه‌های اصلی تبیین تغییرات در کیفیت آب با استفاده از دوره Varimax (ایستگاه جلفا)

Component 4	Component 3	Component 2	Component 1	Parameter
0.04	0.21-	0.96	0.02-	%Na
0.04	0.17	0.92	0.32	SAR
0.04	0.39	0.73	0.56	Na^{+}
0.08	0.03-	0.07	0.96	Mg^{2+}
0.02-	0.96	0.16-	0.13	Ca^{2+}
0.05	0.29	0.33	0.69	So_4^{2-}
0.03-	0.69	0.54	0.37	Cl^{-}
0.10-	0.33	0.13-	0.76	HCO^{-3}
0.94	0.00	0.00	0.04	pH
0.05	0.57	0.35	0.74	EC
0.05	0.55	0.35	0.74	TDS
1.1	1.7	2.06	6.6	Eigenvalues
8.5	13.2	15.8	50.7	%VAR
88.2	79.7	66.5	50.7	∑VAR

در ناحیه Ankwaso، چهار مؤلفه اصلی را استخراج کردند که با ۸۶ درصد مجموع کل واریانس، پارامترهای TDS، HCO^{3}-، Na^{+}، SiO^{2}، PO_4^{3-}، K^{+}، EC، pH و TA و را بعنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات هیدروشیمیایی آب سطحی ناحیه توجیه می‌کند. این تغییرات از هوازدگی K، فعالیت‌های کشاورزی، مواد آلی، فاضلاب خانگی و هوازدگی ژیپس ناشی می‌شود. در ناحیه‌ی Dominase، سه مؤلفه اصلی با ۸۰ درصد مجموع واریانس، پارامترهای TS، HCO^{3-}، Ca^{+2}، Cl^{-}، Mg^{2+}، K^{+}، Na^{+}، EC، pH و SiO^{2} را مهم‌ترین پارامترهای مؤثر ذکر می‌کند که با فاضلاب خانگی و مواد غیرآلی کربناته مرتبط هستند. در ناحیه‌ی Prestea، مؤلفه اصلی با ۸۲ درصد مجموع واریانس، پارامترهای Ca^{+2}، PO_4^{-3}، TS، Mg^{+2}، K^{+}، SO_4^{-2}، DO، TA، HCO^{3-}، Cl^{-}، Na^{+}، EC و SiO^{2} را عامل‌های تغییرات هیدروشیمیایی این ناحیه ذکر می‌کند که با تجزیه مواد آلی، هوازدگی آپاتیت و ژیپس مرتبط می‌باشند.

Nosrati et al. (2011) به منظور شناخت مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در مناطق همگن حوضه آبخیز هراز- قره‌سو از تحلیل عاملی بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۲، ۳ و ۲ عامل به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تغییر کیفیت آب با مجموع واریانس ۸۷/۲۷، ۸۷/۸۶ و ۹۱/۵۸ به ترتیب در خوشه‌های همگن ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. عامل‌های بدست آمده از تحلیل عاملی نشان می‌دهد که پارامترهای مؤثر بر تغییرات کیفیت آب عمدتاً با هوازدگی و شست‌وشوی نمک‌های تبخیری (طبیعی)، آلودگی‌های آلی ناشی از فاضلاب‌های خانگی، تغییرات کاربری اراضی، استفاده از حاصلخیزکننده‌ها و کودهای شیمیایی، مرتبط می‌باشند. با توجه به نتایج این پژوهش‌ها و نتایج حاصل از تحلیل عاملی/تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حوزه آبخیز رودخانه ارس، می‌توان آلودگی‌های آلی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و باغی، فاضلاب‌های خانگی، هوازدگی و تحلیل مواد آلی را به‌عنوان مهم‌ترین دلایل تغییرات در پارامترهای کیفیت آب سطحی در این حوضه آبخیز ذکر کرد.

پی‌نوشت‌ها

1- Kolmogorov- Smirnov
2- Kaiser-Meyer-Olkin (kmo) and Bartlett's Test
3- Factor Analysis
4- Principal Component Analysis
5- Varimax Rotation
6- Varifactor (VF)
7- Electrical Conductivity
8- Total Dissolved Solids
9- Varimax
10- Eigenvalues

۶- مراجع

Akhoni pourhassani F and Ghorbani MA (2016) Application of Shannon entropy in determining the most effective chemical parameter in surface water quality (Sufi tea basin). Environmental and Water Engineering 2(4):322-332

Solaimanisardo M, Vali AA, Ghazavi R, and Saidi Goraghani HR (2011) Trend analysis and chemical water parameters (Case Study: Cham Khorramabad River). Water and Irrigation Journal 12(3):95-106

Samadi M, Saghi M, Rahmati A, and Torabzadeh H (2009) Water quality zoning in the valley of the river and the use of NSFWQI Muradbiq Hamadan based on GIS Health and Medical. Journal of Hamadan University 16(3):38-43 (In Persian)

Nosrati K, Derfishi Kh, Qarakhachi S, and Rahimi J (2011) Surface water quality assessment of Haraz-Gharezoo basin using multivariate statistical techniques. Earth Science Studies 2(5):41-55

Liu CW, Lin KH, and Kuo YM (2003) Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment 313:77-89

Helena B, Pardo R, Vega M, Barrado E, Ferna ´ndez JM, Ferna ´ndez L (2000) Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River Spain) by principal component analysis. Water Research 34:807-816

Kannela PR, Leea s, Lee Y (2008) Assessment of spatial–temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river

Shrestha S and Kazama F (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin Japan. Environmental Modeling & Software 22:464-475

Tobiszewski MA, Tsakovski Sb, Simeonov VC, Namieśnik JA (2010) Surface water quality assessment by the use of combination of multivariate statistical classification and expert information. Chemosphere 80(7):740-746

Vega M, Pardo R, Barrado E, Deban L (1998) Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research 32:3581-3592

Wunderlin DA, Diaz MP, Ame MV, Pesce SF, Hued AC, Bistoni MA (2001) Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality: A case study Suquia river basin (Cordoba, Argentina). Water Research 35:2881-2894

Zhang ZA, Tao FB, Du JA, Shi PA, Yu DA, Meng YA, Sun YC (2010) Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts-a case study of the Xiangjiang River China, Journal of Environmental Management 91(12):2483-2490

corridor of Nepal. Journal of Environmental Management 86:595-604

Mishra A (2010) Assessment of water quality using principal component analysis: A case study of the river Ganges. Journal of Water Chemistry and Technology 32(4):227-234

National Report of Islamic Republic of Iran (2006) Trans boundary diagnostic analysis Aras River Basin 8 Rangzan K. M Toolaee Nezhad M and Piraste S (2002) Study the effects of rivers migration on civil structure in Khuzestan plain using satellite data Proc Of 6th International Conference of river engineering in Ahvaz 169-181

Noori R, Sabahi MS, Karbassi AR, Baghvand A, Zadeh HT (2010) Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination 260:129-136

Papatheodorou G, Demopouloua G, Lambrakis N (2006) A long-term study of temporal hydro chemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques. Ecological Modeling 193:759-776

Yidanaa SM, Ophoria D, and Banoeng-Yakubo B (2008) A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data-The Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management 86:80-87