ارزیابی اهمیت ایستگاههای پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور، مطالعه موردی: رودخانه کارون

روح‌ا... نوری [۱] رضا کراچیان [۲] احمد خدادادی دربان [۳] احمد شکیبایی‌نیا [۴]

(دریافت ۸۵/۱۲/۱۴ پذیرش ۸۶/۵/۲۴)

چکیده

ارزیابی شبکه پایش موجود در رودخانه‌ها و تعیین ایستگاههای پایش اصلی و فرعی گامی مهم در بهبود کارآیی و بهنگام‌سازی شبکه‌های پایش می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از تکنیک‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور، ایستگاههای پایش کیفی آب بخشی از رودخانه کارون ارزیابی شد. برای این منظور از بین ایستگاههای موجود، هشت ایستگاه انتخاب و با استفاده از داده‌های کیفی اندازه‌گیری شده در این ایستگاهها از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲، ایستگاههای اصلی و فرعی تعیین شدند. در نهایت با استفاده از تحلیل همبستگی، اعتبار نتایج به دست آمده از این دو روش مورد تأیید قرار گرفت. بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان یک ایستگاه (بند میزان) را از مجموع هشت ایستگاه مورد مطالعه به عنوان ایستگاه فرعی مشخص کرد. همچنین مطالعه‌ای مشابه جهت تعیین متغیرهای کیفی اصلی از فرعی در این ایستگاهها انجام گرفت که نتایج به دست آمده از فاکتور KMO ، امکان استفاده از دو روش فوق جهت انجام این کار را تأیید نکرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی شبکه پایش کیفی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی، آنالیز فاکتور، رودخانه کارون.

Assessment of Importance of Water Quality Monitoring Stations Using Principal Components Analysis and Factor Analysis: A Case Study of the Karoon River

Rooholah Noori [1] Reza Kerachian [2] Ahmad Khodadadi Darban [3] Ahmad Shakibaienia [4]

(Received Mar. 4, 2007 Accepted Aug. 15, 2007)

Abstract

Assessment of monitoring networks of surface waters and determination of main and tributary stations is an important step in the development and improvement of these networks and in increasing their efficiency. In this study, Principal Components Analysis, PCA, and Factor Analysis, PFA, techniques were employed to evaluate water quality monitoring stations on the Karoon River. From among the monitoring stations available, eight were selected and the measured data from 2002 to 2004 were used to determine the main and tributary stations. Finally, results were validated employing the regression analysis technique. Based on the results obtained in this study, only one monitoring station (Bandemizan) was identified as the main one among the eight stations selected. Also a similar study was conducted to determine main and tributary quality variables; however, the results of the KMO factor did not confirm using PFA and PCA for this part of study.

Keywords: Assessment of Monitoring Networks, Principal Components Analysis, Factor Analysis, The Karoon River.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران_محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران، noori_2200@yahoo.com
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران
۳- استادیار دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

1.Grad. Student of Environmental Engineering, Civil Engineering Dept., Tarbiat Modares University, noori_2200@yahoo.com
2.Assis. Prof. of Civil Engnieering, University of Tehran
3.Assis. Prof., Engineering College, Tarbiat Modares University
4.MSc in Civil Engineering, Amir-Kabir University of Technology

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

آلودگی آبهای سطحی توسط آلاینده‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی مشکلی فراگیر در اکثر کشورهای جهان است. عمده منابع آلودگی آبهای سطحی به ویژه رودخانه‌ها، منابع نقطه‌ای مانند زهکشهای کشاورزی، پسابهای شهری و صنعتی و منابع گسترده مانند زهابهای کشاورزی می‌باشند. با توجه به اهمیت آب و اثراتی که آلودگی آن می‌تواند بر سلامتی انسان و اکوسیستم طبیعی داشته باشد، پایش کیفیت آب از اهمیت بسزایی برخوردار است.

یکی از مسائل مهم در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها، ایجاد شبکه کنترل کیفی آب با کارآیی مناسب بر روی چنین سیستم‌هایی می‌باشد، به گونه‌ای که متغیرهای کیفی اندازه‌گیری شده در این ایستگاهها، حتی‌المقدور بیانگر کل تغییرات کیفی آب در این سیستم‌ها باشند. یکی از روشهای نیل به این هدف، افزایش ایستگاههای پایش کیفی آب و همچنین افزایش فراوانی نمونه‌برداری‌هاست. از آنجا که این موضوع هزینه‌های سالانه پایش را به شدت افزایش می‌دهد، بنابراین تعیین اهمیت ایستگاههای موجود و مشخص کردن ایستگاههای اصلی، یعنی ایستگاههایی که بیشترین تغییرات سیستم مورد مطالعه را بیان کنند، می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های آینده برای بهینه کردن شبکه پایش موجود، حذف یا اضافه کردن ایستگاههای جدید و بهنگام‌سازی فراوانی نمونه‌برداری‌ها مؤثر باشد. برای این منظور می‌توان از روشهای آنالیز مؤلفه‌های اصلی[1] و آنالیز فاکتور[2] استفاده نمود.

در سالهای اخیر روشهای آماری چند متغیره در تحلیلهای مهم زیست محیطی به طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند [۱، ۲ و ۳]. اخیراً، در تحلیل داده‌های کیفی آب، استفاده از روشهای PCA و PFA برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر نتایج به دست آمده از آنها رواج یافته است [۴-۹]. همچنین در زمینه کنترل متغیرهای کیفی و ایستگاههای پایش کیفی آب نیز با استفاده از روشهای PCA و PFA مطالعاتی صورت گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به مشخص کردن کیفیت آب سطحی در منطقه‌ای از شمال یونان، ارزیابی نوسانات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه گُمتی[3] در هند و استفاده از PCA جهت ارزیابی و مدیریت کیفی آب سطحی اشاره کرد [۱۰، ۱۱ و ۱۲]. با وجود این که در تحقیقات قبلی کارآمدی روشهای PCA و PFA در زمینه کنترل متغیرهای کیفی و ایستگاههای پایش به اثبات رسیده است، ولی این مطالعات از جامعیت کافی برخوردار نمی‌باشند. برای مثال، با وجود این که PCA و PFA از روشهای آماری ناپارامتری می‌باشند [۲ ، ۵، ۱۳ و ۱۴]، ولی لازم است امکان استفاده از این روشها و نتایج به دست آمده از آنها توسط فاکتور KMO[4] یا بارتلت[5] تست مشخص شود [۱۱، ۱۴ و ۱۵]، در حالی که این موضوع در اغلب مطالعات قبلی در این زمینه، مورد توجه قرار نگرفته است [۸ ، ۹ و ۱۰]. مقدار KMO بین صفر تا یک، متغیر است. این فاکتور به کمک ضرایب همبستگی ساده و ضرایب همبستگی جزئی طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود

$$KMO = \frac{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2}{\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} r_{ij}^2 + \sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p} a_{ij}^2} \qquad i \neq j \qquad (۱)$$

در این رابطه، r_{ij}، ضریب همبستگی ساده بین متغیرهای i و j و a_{ij} نیز ضریب همبستگی جزئی متغیرهای i و j به شرط ثابت بودن سایر متغیرهاست.

با توجه به رابطه ۱ مقادیر بالاتر KMO مستلزم کوچک بودن ضرایب همبستگی جزئی (که برآورد ضریب همبستگی جملات خطا هستند) می‌باشد و بیانگر دقت محاسبات مربوطه با استفاده از PCA و PFA است. در صورتی که این فاکتور بزرگ‌تر از ۰/۵ به دست آید، نشان دهندهٔ امکان اجرای این دو روش بر داده‌های اصلی می‌باشد[۱۱ و ۱۵].

نکته دیگر در استفاده از PCA و PFA، پیچیدگی آنهاست که این مسئله باعث شده اغلب محققان علوم مهندسی در استفاده از این روشها با مشکلاتی مواجه باشند. برای مثال در مطالعه‌ای که توسط اویانگ[6] برای ارزیابی ایستگاههای پایش کیفی بر روی رودخانه‌ای در ایالت کالیفرنیای آمریکا انجام گرفته است، علاوه بر اینکه به اهمیت فاکتور KMO اشاره‌ای نشده، در محاسبه فاکتورهای اصلی نیز اشتباهاتی رخ داده است که این اشتباهات باعث محاسبه نادرست ضرایب مؤلفه اول شده است [۸]. با توجه به اینکه در مطالعه انجام گرفته توسط وی اولین مؤلفه حاوی ۹۴/۶ درصد از اطلاعات کیفی استفاده شده برای تعیین ایستگاههای اصلی می‌باشد، نتایج و تفسیرهای او نیز در مورد تعیین ایستگاههای اصلی از فرعی مورد سؤال می‌باشد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر که توسط پارینت[7] و همکاران برای ارزیابی و مدیریت کیفی آبهای سطحی انجام گرفته است، مفهوم و نحوه محاسبه ماتریس همبستگی که تشکیل آن اساس روشهای PCA و PFA می‌باشد و رابطه آنها با یکدیگر به درستی شناخته نشده است و استاندارد کردن متغیرهای مورد استفاده که یکی از گامهای اولیهٔ انجام این دو روش برای

[1] Principal Components Anlysis (PCA)
[2] Principal Factor Analysis (PFA)
[3] Gomti
[4] Kaiser–Meyer–Olkin
[5] Bartlet
[6] Ouyang
[7] Parinet

Archive of SID
www.SID.ir

یکسان کردن وزن متغیرهای مورد استفاده می‌باشد انجام نگرفته است [۱۶].

با توجه به موارد ذکر شده در مورد عدم جامعیت مطالعات قبلی، در این تحقیق با استفاده از روشهای PCA و PFA یک ساختار مناسب برای تعیین ایستگاههای پایش اصلی و فرعی ارائه شد و در قالب یک مطالعه موردی، ایستگاههای کنترل کیفی آب رودخانه کارون ارزیابی شدند. بدین منظور با توجه به آمار و اطلاعات در دسترس، هشت ایستگاه کنترل کیفی از بین شبکه پایش موجود بر این رودخانه انتخاب و از اطلاعات ماهانه ثبت شده آنها از سال ۱۳۸۰ تا اواسط ۱۳۸۲ استفاده گردید. سپس با استفاده از روشهای PCA و PFA، ایستگاههای اصلی و فرعی مشخص شدند. در ایستگاههای اصلی لازم است نمونه‌برداری در زمانهای لازم و با دقت بیشتر صورت گیرد. نتایج این مطالعه نشان دهندهٔ کارآیی مناسب روش پیشنهادی در تعیین اهمیت و بهنگام‌سازی ایستگاههای پایش کیفی می‌باشد.

۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مسئله

رودخانه کارون با طول بیش از ۴۵۰ کیلومتر یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های ایران محسوب می‌شود که در مسیر خود تأمین آب مورد نیاز شرب و صنعت حدود ۱۶ شهر و دَهها روستا، هزاران هکتار اراضی کشاورزی، تولید انرژی برق‌آبی، چندین مزرعه پرورش ماهی و کارخانه‌های صنعتی را به عهده دارد. کاهش آبدهی رودخانه در طی مسیر خود بر اثر برداشت‌های روزافزون آب از یک سو و در عین حال تخلیه پسابهای شهری، صنعتی و کشاورزی به رودخانه از سوی دیگر، وضعیت کیفی رودخانه را به مخاطره افکنده است. پتانسیل فراوان رودخانه کارون در تأمین آب مورد نیاز و استعداد فراوان اراضی کشاورزی دشت خوزستان و ویژگیهای ممتاز این استان از حیث قابلیتهای صنعتی و کشاورزی موجب مطرح شدن طرحهای بزرگ صنعتی و کشاورزی شده است که این مسئله وضعیت کمّی و کیفی آینده رودخانه را دچار ابهام می‌سازد. با توجه به نقش مهم رودخانه کارون در حیات شهرهای مهمی چون اهواز، آبادان، خرمشهر و شوشتر و اهمیت این رودخانه در آبیاری اراضی کشاورزی، لزوم بررسی تغییرات کیفیت آب کارون در آینده و چاره‌اندیشی برای کاهش آلودگی آن آشکار می‌گردد. تاکنون مطالعات زیادی بر روی مسائل کیفی آب رودخانه کارون صورت گرفته است. کارآموز و همکاران با پیشنهاد ساختار یک طرح جامع، اقدامات لازم برای کاهش بار آلودگی در سامانهٔ رودخانه‌ای کارون را ارائه دادند [۱۷]. در این تحقیق با استفاده از تحلیلهای چند معیارهٔ سلسله مراتبی، پروژه‌های کاهش بار آلودگی و مدیریت کیفی رودخانه کارون تعیین شده است. در پروژه‌های پیشنهادی در طرح جامع، بهنگام‌سازی سیستم‌های پایش کیفی موجود به طور ویژه‌ای مورد تأکید قرار گرفته است.

کارآموز و همکاران با تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی کیفی رودخانه، مدلی برای مکان‌یابی ایستگاههای نمونه‌برداری در سیستم‌های پایش کیفی رودخانه‌ها ارائه دادند [۱۸]. کارآیی مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن متغیر کیفی TDS در بخشی از رودخانه کارون ارزیابی شده است.

کارآموز و همکاران با کاربرد روش زمین آماری کریجینگ[1] یک سیستم پایش کیفی برای رودخانه‌های کارون و دز طراحی نمودند، به طوری که با صرف کمترین هزینه تغییرات زمانی و مکانی آلاینده‌ها در رودخانه‌ها به طور مناسبی مشخص گردد [۱۹]. در طراحی سیستم پایش، ابتدا سری زمانی غلظت متغیرهای کیفی BOD، COD و TDS در ایستگاههای نمونه‌برداری موجود بررسی و تحلیل طیفی شده است. سپس محاسبات کریجینگ با استفاده از نرم افزار زمین آماری Gslib انجام گرفته است و غلظت متغیرهای کیفی به همراه میزان خطای برآورد در نقاط فاقد اندازه‌گیری در طول مسیر رودخانه در منطقه مورد مطالعه تخمین زده شده است. از نتایج به دست آمده، برای مکان‌یابی ایستگاههای اندازه‌گیری جدید استفاده گردیده است.

کارآموز و همکاران با استفاده از تئوری آنتروپی، سامانه پایش کیفی رودخانه را بهنگام‌سازی نمودند [۲۰]. در این مقاله از شاخص اطلاعات انتقالی[2] برای تحلیل همبستگی اطلاعات ایستگاههای پایش کیفی موجود استفاده شده است. ایستگاههای جدید به صورتی ارائه شده‌اند که اطلاعات مازاد و خلاءهای اطلاعاتی موجود در سیستم حداقل شوند.

همان طور که اشاره شد، در این تحقیق از اطلاعات ماهانه اندازه‌گیری شده در یک فاصله زمانی ۲۸ ماهه (از ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲) در هشت ایستگاه پایش کیفی (به عنوان متغیرهای اولیه) رودخانه کارون به نامهای بند میزان، ام الطمیر، بند قیر، زرگان، سدگتوند، پل پنجم، دارخوین و صابون‌سازی استفاده شده است. این ایستگاهها بازه مهمی از رودخانه کارون که دارای مشکلات کیفی هستند را پوشش می‌دهند. پارامترهای کیفی مورد استفاده در این مطالعه که اطلاعات آن برای هر ایستگاه موجود می‌باشد، شامل اسیدیته (pH)، سختی[3] کل، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن محلول در آب (DO)، نیترات (NO_3^-)، سولفات (SO_4^{-2})، هدایت الکتریکی

[1] Kiriging
[2] Transinformation
[3] Hardness

Archive of SID
www.SID.ir

(EC)، درجه حرارت آب (Temp)، کلر (Cl^-) و کدورت آب (Turbidity) می‌باشند که جز pH و کدورت که به ترتیب دارای واحد استاندارد و NTU[1] هستند، واحد بقیه پارامترها بر حسب میلی‌گرم در لیتر ثبت شده است.

۳- روش انجام تحقیق

PCA و PFA از روشهای آماری چندمتغیره هستند که می‌توان از آنها برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله (ایستگاههای پایش کیفی) در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات روبرو هستیم و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود [۱۴]. با اعمال این دو 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[۳]. 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 یک ویژگی مفید است زیرا عدم همبستگی به این معنی است که مؤلفه‌ها جنبه‌های متفاوتی از متغیرهای اولیه را نمایان می‌سازند[۲۱]. در این دو روش به جای استفاده مستقیم از متغیرهای اولیه، ابتدا آنها را به مؤلفه‌هایی تبدیل کرده و سپس از این مؤلفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. بعلاوه چون در تشکیل مؤلفه‌ها از تمام متغیرها استفاده می‌گردد، در نتیجه اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات توسط مؤلفه‌های حاصل ارائه می‌شود[۲۲].

هرمؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله زیر مشخص شود:

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \ldots + a_{ip}X_p \qquad (۲)$$

که در آن

Z_i معرف مؤلفه موردنظر، a_{ij} ضریب مربوط به متغیرهای اولیه و X_i نیز متغیر اولیه می‌باشد. ضریب مربوط به متغیرهای اولیه از حل رابطه ۳ به دست می‌آید [۲۳]

$$|R - \lambda I| = 0 \qquad (۳)$$

که در آن

I ماتریس واحد، R ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و λ نیز مقدار ویژه می‌باشد. از این مقدار ویژه، بردار ویژه به دست می‌آید. برای انجام این دو تکنیک مراحل زیر انجام می‌گیرد:

۱- محاسبه فاکتور KMO: توضیحات مربوط به این آماره و نحوه محاسبه آن در قسمت مقدمه آمده است.

۲- استاندارد نمودن متغیرهای ورودی: در این مرحله داده‌های ورودی به نحوی استاندارد می‌شوند، که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند.

۳- محاسبه ماتریس همبستگی برای متغیرهای اولیه: این ماتریس که ماتریسی متقارن می‌باشد میزان همبستگی بین هر کدام از متغیرهای اولیه مورد استفاده را نشان می‌دهد. در حقیقت مقدار هر کدام از درایه‌های این ماتریس، a_{ij}، بیانگر همبستگی بین متغیرهای i و j می‌باشد.

۴- محاسبه مقادیر ویژه λ و بردارهای ویژه مربوطه از ماتریس همبستگی: با حل رابطه ۳ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه معادل هر مقدار ویژه به دست می‌آیند. هر مقدار ویژه با اطلاعات مربوط به آن (بردارهای ویژه) ویژگیهای یک مؤلفه را به ما می‌دهد. هر مؤلفه نیز درصدی از اطلاعاتی که توسط متغیرهای اولیه بیان می‌شود را در بر می‌گیرد و معادل با بخشی از اطلاعات مسئله است که به صورت عدد و رقم در متغیرهای اولیه نهفته است. یعنی وقتی که گفته می‌شود مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد اطلاعات متغیرهای اولیه را به ما می‌دهد، بدین معنی است که با استفاده از این مؤلفه به جای متغیرهای اولیه می‌توان در عین این که ۹۰ درصد اطلاعات مسئله را حفظ کرد، از حجم و پیچیدگی مسئله نیز کاست. چون ماتریس همبستگی ماتریسی متقارن از مرتبه n است، مجموع مقادیر ویژه برای این ماتریس نیز برابر با n می‌باشد. هر چه کمیت عددی مقادیر ویژه بزرگ‌تر باشد، بیانگر این است که مؤلفه ایجادی از آن نیز درصد بیشتری از اطلاعات متغیرهای اولیه را در بر می‌گیرد. بردارهای ویژه به دست آمده به ازای هر مقدار ویژه نیز، به عنوان ضرایب متغیرهای اولیه در تشکیل مؤلفه مربوطه می‌باشند.

۵- اجرای چرخش مناسب بر روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها: چون در تشکیل هر مؤلفه از تمام متغیرهای اولیه استفاده می‌شود، تفسیر مؤلفه‌ها مشکل خواهد بود. از اینرو روشهایی به وجود آمده است که با رفع این مشکل، موجب تفسیر ساده‌تر مؤلفه‌ها شوند. این روشها همان چرخش مؤلفه‌ها هستند و بر دو نوع چرخش عمودی و چرخش مایل تقسیم می‌شوند. چون در روش چرخش عمودی، استقلال بین مؤلفه‌ها حفظ می‌شود، عملاً این نوع چرخش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روشهای چرخش عمودی که در مطالعات علمی بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است، چرخش وَریماکس[2] نامیده می‌شود [۱، ۲، ۵ و ۱۰]. این روش نسبت به بقیه روشها نتایج بهتری در پی دارد و به عنوان چرخش استاندارد توصیه می‌گردد [۲۱]. این مرحله (استفاده از چرخش وریماکس جهت تفسیر بهتر نتایج) به PFA مشهور است[۸]. جزئیات بیشتر در مورد PCA و PFA در منابع دیگر ارائه شده است [۸، ۲۴-۲۶].

[1] Nephelometric Turbidity Unit

[2] Varimax

Archive of SID

www.SID.ir

۴- نتایج و بحث

۴-۱- آنالیز مؤلفه اصلی و آنالیز فاکتور اصلی

متغیرهای اولیه (X_i, i=1,...,p) مورد استفاده در این تحقیق، همان ایستگاههای پایش کیفی می‌باشند. همان طور که بیان شد از هر ایستگاه ۱۱ پارامتر کیفی که دارای اهمیت زیادی بودند و در هر هشت ایستگاه اندازه‌گیری می‌شدند، انتخاب گردیدند.

با انجام آزمون کلمگروف- اسمیرنوف[1] مشاهده شد که برخی از پارامترهای اندازه‌گیری شده در این هشت ایستگاه دارای توزیع نرمال نمی‌باشند و نمودار توزیع نرمال آنها به سمت چپ یا راست متمایل می‌باشد. از آنجا که میانه، مقدار متوسط یک متغیر را که دارای توزیعی نزدیک به توزیع نرمال ولی دارای چولگی باشد، بهتر از میانگین بیان می‌کند، در تحقیق حاضر مقدار میانه برای پارامترهایی که دارای توزیع نرمال نبودند و مقدار میانگین برای آنهایی که دارای توزیع نرمال بودند استفاده گردید [۲۷]. اطلاعات هر ایستگاه (X_i) به صورت یک بردار با ۱۱ سطر و یک ستون (معادل با تعداد پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه)، نشان داده می‌شود. با این توصیف ما به هشت بردار می‌رسیم که درایه‌های این بردارها، اعداد انتخاب شده برای هر پارامتر کیفی طبق بحث ذکر شده می‌باشد.

مقدار KMO برابر ۰/۷۲۶، (بزرگ‌تر از ۰/۵)، امکان اجرای PCA و PFA را به منظور استفاده در این مطالعه تأیید کرد. برای اجرای این دو تکنیک، پس از استاندارد کردن پارامترهای اندازه‌گیری شده در این هشت ایستگاه، ماتریس همبستگی از مرتبه ۸، معادل با تعداد متغیرهای اولیه (ایستگاهها) تشکیل شد. این ماتریس که ماتریسی متقارن می‌باشد، در ادامه قابل مشاهده است.

$$R=\begin{bmatrix} 1.000 & 0.996 & 0.993 & 0.997 & 0.997 & 0.994 & 0.992 & 0.961 \\ 0.996 & 1.000 & 0.999 & 0.998 & 1.000 & 0.995 & 0.993 & 0.970 \\ 0.993 & 0.999 & 1.000 & 0.998 & 0.999 & 0.995 & 0.993 & 0.974 \\ 0.997 & 0.998 & 0.998 & 1.000 & 0.999 & 0.999 & 0.996 & 0.977 \\ 0.997 & 1.000 & 0.999 & 0.999 & 1.000 & 0.996 & 0.995 & 0.972 \\ 0.994 & 0.995 & 0.995 & 0.999 & 0.996 & 1.000 & 0.994 & 0.979 \\ 0.992 & 0.993 & 0.993 & 0.996 & 0.995 & 0.994 & 1.000 & 0.987 \\ 0.961 & 0.970 & 0.974 & 0.977 & 0.972 & 0.979 & 0.987 & 1.000 \end{bmatrix}$$

چون هر کدام از درایه‌های ماتریس R، a_{ij}، بیانگر مقادیر همبستگی بین ایستگاههای i و j می‌باشند، به همین دلیل تمام درایه‌های a_{ij} در این ماتریس که همبستگی هر ایستگاه را با خودش نشان می‌دهد، برابر با یک است.

از حل دستگاه معادله ۳، هشت مقدار ویژه و به ازای هر مقدار ویژه، هشت بردار ویژه حاصل می‌شود. با توجه به اینکه ماتریس R ماتریسی متقارن است، مجموع مقادیر ویژه این ماتریس برابر با بُعد آن یعنی عدد ۸ است. اطلاعات مربوط به حل این ماتریس که شامل مقادیر ویژه (ارزش هر مؤلفه از ۸) و بردارهای ویژه حاصل از هر مقدار ویژه می‌باشد، به ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ آورده شده است.

با توجه به جدول ۱ مشخص می‌شود که مقدار عددی اولین مؤلفه نزدیک به ۸ می‌باشد. همچنین ستون دوم نشان می‌دهد که این مؤلفه به تنهایی ۹۹/۱۸۷ درصد از اطلاعات متغیرهای اولیه را شامل می‌شود و هفت مؤلفه دیگر تنها ۰/۸ درصد از تغییرات متغیرهای اولیه را بیان می‌کنند. به این دلیل در این بخش بحث ما روی مؤلفه اول خلاصه می‌شود. ستون سوم این جدول نیز مقادیر ذکر شده را به صورت تجمعی نشان می‌دهد.

[1] Kolmogorov-Smirnove

جدول ۱- مشخصات مؤلفه‌های ایجادی از متغیرهای اولیه (ایستگاهها)

مؤلفه	درصد اطلاعات متغیرهای اولیه	درصد تجمعی اطلاعات متغیرهای اولیه	مقدار هر مؤلفه از ۸
اول	۹۹/۱۸۷۵۹۹۱۴	۹۹/۱۸۷۵۹۹۱۴	۷/۹۳۵۰۰۷۹۳۱
دوم	۰/۶۳۷۱۹۲۲۹۲	۹۹/۸۲۴۷۹۱۴۳	۰/۰۵۰۹۷۵۳۸۳
سوم	۰/۱۰۳۶۲۸۵۹۲	۹۹/۹۲۸۴۲۰۰۲	۰/۰۰۸۲۹۰۲۸۷
چهارم	۰/۰۶۶۱۱۲۸۹۷	۹۹/۹۹۴۵۳۲۹۲	۰/۰۰۵۲۸۹۰۳۲
پنجم	۰/۰۰۵۳۹۰۴۳۷	۹۹/۹۹۹۹۲۳۳۵	۰/۰۰۰۴۳۱۲۳۵
ششم	۷×۱۰^{-۵}	۹۹/۹۹۹۹۹۳۲۱	۶×۱۰^{-۶}
هفتم	$۴/۵\times۱۰^{-۶}$	۹۹/۹۹۹۹۷۵۷	$۳/۵\times۱۰^{-۷}$
هشتم	۲×۱۰^{-۶}	۱۰۰	$۱/۹\times۱۰^{-۷}$

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- ضرایب هر ایستگاه (بردارهای ویژه) جهت تعیین مؤلفه‌ها

نام ایستگاه	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم	مؤلفه پنجم	مؤلفه ششم	مؤلفه هفتم	مؤلفه هشتم
صابون‌سازی	۰/۹۹۵۴۸۴	-۰/۰۸۰۳۴	۰/۰۴۸۷۱	۰/۰۱۳۰۰۵	-۰/۰۰۳۵۸	۰/۰۰۱۳۸۸	$۳/۴\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۱۳۲
دارخوین	۰/۹۹۸۰۹۵	-۰/۰۵۲۰۳	-۰/۰۲۸۳۳	۰/۰۰۹۹۹۶	۰/۰۱۴۰۰۵	۰/۰۰۰۵۸۶	-۰/۰۰۰۱۳	-۰/۰۰۰۱۹
ام‌الطمیر	۰/۹۹۷۹۵۳	-۰/۰۲۹۲۴	-۰/۰۵۶۴۷	۰/۰۰۲۵۲۸	-۰/۰۰۶۳	$-۶/۷\times۱۰^{-۵}$	$-۷/۷\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۳۴۹
پل پنجم	۰/۹۹۹۵۰۳	-۰/۰۲۲۳۶	۰/۰۰۰۶۵۶	-۰/۰۱۸۹۲	-۰/۰۱۱۶۷	-۰/۰۰۰۲۲	-۰/۰۰۰۱۵	-۰/۰۰۰۳۶
زرگان	۰/۹۹۸۹۰۶	-۰/۰۴۳۱۹	-۰/۰۱۵۶۴	۰/۰۰۸۷۸۵	-۰/۰۰۰۳۴	-۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۰۳۶۶	-۰/۰۰۰۱۳
بند قیر	۰/۹۹۸۱۸۴	-۰/۰۰۳۲۶	۰/۰۲۴۹۴۹	-۰/۰۵۴۳۳	۰/۰۰۶۶۱۸	-۰/۰۰۰۶	$۶/۳\times۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۰۱۶۱
بندمیزان	۰/۹۹۷۸۰۹	۰/۰۴۱۵۱۳	۰/۰۳۲۰۰۱	۰/۰۴۰۳۱۱	۰/۰۰۱۵۸۴	-۰/۰۰۱۳۶	-۰/۰۰۰۱۱	۶×۱۰^{-۵}
سدگتوند	۰/۹۸۱۳۷۹	۰/۱۹۱۹۸۷	-۰/۰۰۵۸۳	-۰/۰۰۱۳۳	-۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۸۵۹	$۵/۸\times۱۰^{-۵}$	$-۲/۴\times۱۰^{-۵}$

جدول ۲، مقدار بردارهای ویژه برای تشکیل هر مؤلفه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول می‌توان فهمید که مثلاً برای تشکیل مؤلفه اول باید مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه صابون‌سازی را در عدد ۰/۹۹۵۴۸۴، پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه دارخوین را در عدد ۰/۹۹۸۰۹۵، و پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه سدگتوند را در عدد ۰/۹۸۱۳۷۹ ضرب کرده و سپس این مقادیر را برای هر پارامتر به طور مجزا در این ایستگاهها (مثلاً COD) با یکدیگر جمع کرد و به جای آن پارامتر، جایگزین کرد. با ادامه این روند، می‌توان به مؤلفه‌هایی دست یافت که از آنها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. طبق بحث انجام شده، از بردارهای ویژهٔ به دست آمده در جدول ۲، اولین مؤلفه با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$Z_1 = 99.5484X_1 + 0.998095X_2 + 0.997953X_3 + 0.999503X_4 + 0.998906X_5 + 0.998184X_6 + 0.997809X_7 + 0.981379X_8 \quad (۴)$$

همان طور که از رابطه بالا مشخص است، اولین مؤلفه، ضرایب یکسانی برای تمام ایستگاهها دارد که این بدین معنی است که در تشکیل مؤلفه اول سهم تمام ایستگاهها تقریباً به یک اندازه بوده است.

۴-۲- تعیین ایستگاههای اصلی

اگرچه با استفاده از روش آنالیز مؤلفه اصلی مشخص شد که یک مؤلفه به تنهایی ۹۹/۲ درصد از کل تغییرات ماهانه در متغیرهای اصلی (ایستگاهها) را بیان می‌کند، اما این روش هیچ اطلاعی در مورد این که کدام ایستگاهها غالب تغییرات را توصیف می‌کنند (ایستگاههای اصلی) به ما نمی‌دهد. در این مطالعه برای تعیین ایستگاههای اصلی از روش آنالیز فاکتور اصلی استفاده شد. در این روش با استفاده از چرخش وریماکس بر روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها، بردارهای ویژه، که به عنوان ضرایب هر ایستگاه در تشکیل فاکتور مربوطه می‌باشند، به دست آمدند که این اطلاعات در جدول ۳ آمده است. در این روش ایستگاههای اصلی، ایستگاههایی هستند که حداقل یکی از ضرایب آنها که برای تشکیل فاکتور مربوطه استفاده می‌شود دارای مقدار نسبتاً بالایی باشد. تعیین مقدار این ضریب، بسته به شرایط تحقیق و پیچیدگی و وسعت منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد. هر چه منطقه مورد نظر دارای وسعت بیشتر و پیچیدگی زیادتری باشد، می‌توان به مقادیر کمتر این ضریب بسنده کرد. ولی برای مسائلی که ساده و کوچک باشند، معمولاً مقادیر بالاتری برای این ضریب انتخاب می‌شود [۸]. در این تحقیق به دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه و غیرخطی و دینامیک بودن سیستم رودخانه کارون، این معیار معادل با ۰/۷۵ انتخاب شد. با توجه به معیار در نظر گرفته شده و جدول ۳ مشخص می‌شود که در ایستگاه بند میزان مقدار این ضریب در بین هر کدام از هشت فاکتور موجود برای این ایستگاه کمتر از ۰/۷۵ می‌باشد و به این ترتیب این ایستگاه به عنوان ایستگاه فرعی و هفت ایستگاه دیگر یعنی صابون‌سازی، دارخوین، ام‌الطمیر، پل پنجم، زرگان، بند قیر و سد گتوند به عنوان ایستگاههای اصلی شناخته می‌شوند.

۴-۳- اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از آنالیز مؤلفه اصلی و فاکتور اصلی

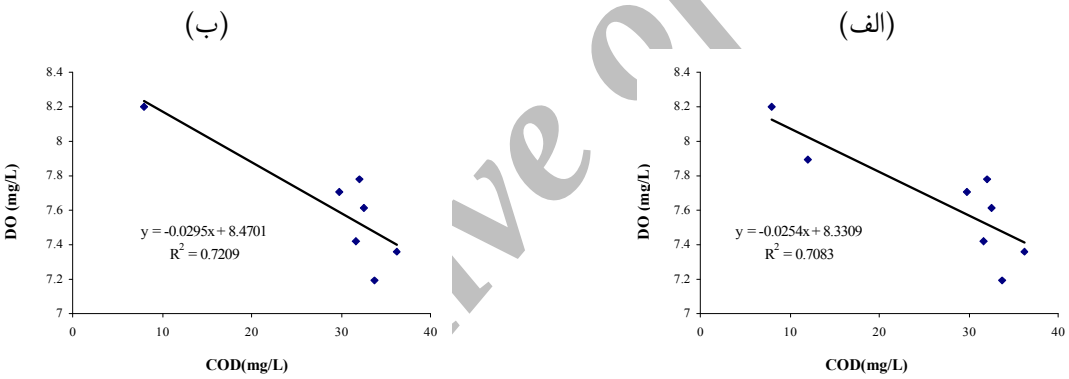
صحت نتایج به دست آمده از تکنیک‌های آنالیز مؤلفه اصلی و فاکتور اصلی در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل همبستگی (رگرسیون خطی) مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس انتظار می‌رود که با حذف ایستگاه فرعی بتوان همبستگی بهتری بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاههای اصلی نسبت به حالتی که از تمام ایستگاهها استفاده می‌شود، به دست آورد. بدین منظور با انتخاب هفت متغیر کیفی مورد استفاده و محاسبه ضریب

Archive of SID
www.SID.ir

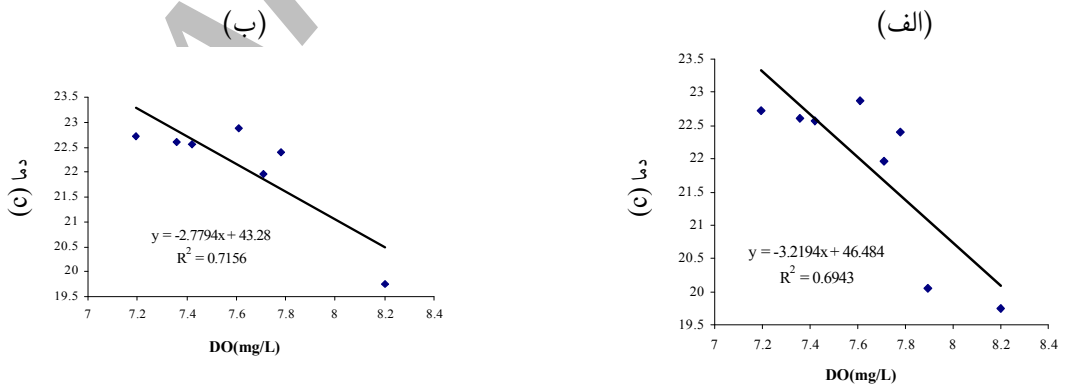
همبستگی (R^2) بین آنها در دو حالت، یکی با استفاده از اطلاعات تمام ایستگاهها و دیگری با استفاده از اطلاعات هفت ایستگاه اصلی مشخص شده در مرحله قبل، اقدام به صحت سنجی نتایج به دست آمده شده است. برای این منظور ضریب همبستگی بین DO و COD، DO و درجه دما ، EC و سختی، سولفات و نیترات و در نهایت بین نیترات و COD، با استفاده از روش رگرسیون خطی و سطح معنی دار ۵ درصد با استفاده از آزمون t در دو حالت، یکی با تمام ایستگاهها (هشت ایستگاه) و دیگری با ایستگاههای اصلی (هفت ایستگاه)، محاسبه گردید که نتایج آن در شکلهای ۱ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر بردارهای ویژه در روش آنالیز فاکتور اصلی

نام ایستگاه	فاکتور اول	فاکتور دوم	فاکتور سوم	فاکتور چهارم	فاکتور پنجم	فاکتور ششم	فاکتور هفتم	فاکتور هشتم
صابون‌سازی	۰/۷۹۹۰۰	۰/۵۹۸۹۷	۰/۰۵۱۰۲	۰/۰۱۳۸۱	۰/۰۰۶۲۰	-۰/۰۰۰۶۳	-۰/۰۰۰۲۴	-۰/۰۰۰۲۳
دارخوین	۰/۷۸۲۴۹	۰/۶۲۲۰۱	-۰/۰۲۱۶۹	-۰/۰۰۷۳۲	-۰/۰۱۶۷۲	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۰۲۵	$۳/۹\times۱۰^{-۵}$
ام الطمیر	۰/۷۶۷۳۸	۰/۶۳۹۰۱	-۰/۰۵۱۴۴	-۰/۰۱۲۲۳	۰/۰۰۲۰۵	۰/۰۰۱۱۳	-۰/۰۰۰۱۵	-۰/۰۰۰۱۷
پل پنجم	۰/۷۶۳۶۲	۰/۶۴۴۹۵	-۰/۰۰۵۴۵	۰/۰۲۶۵۰	۰/۰۱۳۷۵	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۰۰۴۸	$۲/۳\times۱۰^{-۵}$
زرگان	۰/۷۷۷۱۹	۰/۶۲۹۱۶	-۰/۰۱۰۷۴	-۰/۰۰۳۵۴	-۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۰۱۴۸	$۲/۲\times۱۰^{-۵}$	۰/۰۰۰۴۷
بندقیر	۰/۷۵۰۰۰	۰/۶۵۸۱۰	۰/۰۰۵۷۸	۰/۰۶۹۹۲	۰/۰۰۰۸۹	-۰/۰۰۰۱۶	$-۴/۷\times۱۰^{-۶}$	$-۷/۱\times۱۰^{-۶}$
بندمیزان	۰/۷۲۰۲۸	۰/۶۹۲۰۲	۰/۰۴۴۷۴	-۰/۰۱۶۵۹	-۰/۰۰۲۸۵	۰/۰۰۲۸۲	$۳/۱\times۱۰^{-۵}$	$-۹/۴\times۱۰^{-۶}$
سدگتوند	۰/۶۰۸۲۳	۰/۷۹۳۶۹	-۰/۰۰۵۴۲	۰/۰۰۹۰۸	۰/۰۰۰۲۷	-۰/۰۰۰۱۹	$۲/۶\times۱۰^{-۶}$	$۱/۱\times۱۰^{-۶}$

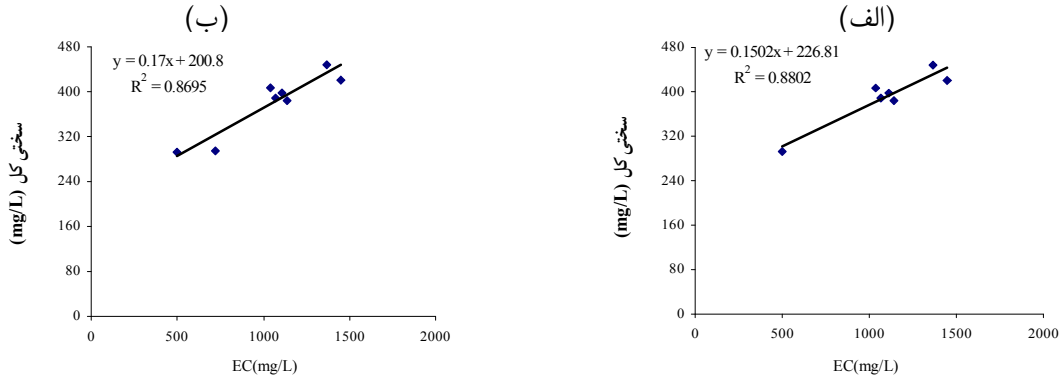


شکل ۱- ارتباط بین DO و COD در کل ایستگاهها (الف) و ایستگاههای اصلی (ب)

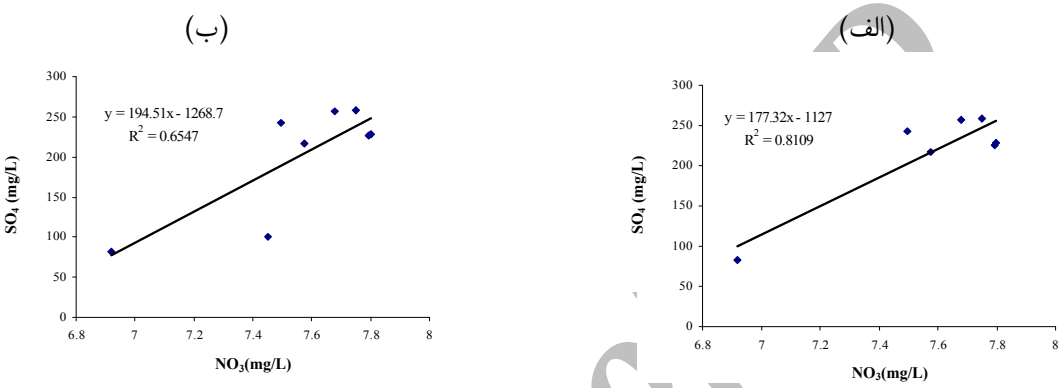


شکل ۲- ارتباط بین DO و درجه حرارت در کل ایستگاهها (الف) و ایستگاههای اصلی (ب)

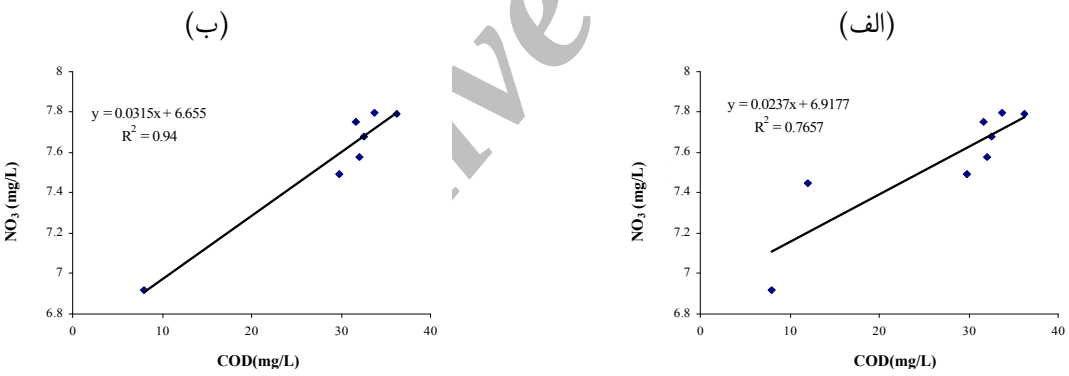
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳- ارتباط بین هدایت الکتریکی و سختی کل در همه ایستگاهها (الف) و ایستگاههای اصلی (ب)



شکل ۴- ارتباط بین نیترات و سولفات در کل ایستگاهها (الف) و ایستگاههای اصلی (ب)



شکل ۵- ارتباط بین COD و نیترات در کل ایستگاهها (الف) و ایستگاههای اصلی (ب)

همان گونه که از شکلهای ۱ تا ۵ نیز مشخص می‌باشد ضریب همبستگی بین متغیرهای ذکر شده، در حالتی که از اطلاعات ایستگاههای اصلی استفاده شده (یعنی هفت ایستگاه)، بیشتر از حالتی است که اطلاعات تمام ایستگاهها (هشت ایستگاه) به کار رفته است. مثلاً مقدار R^2 برای هدایت الکتریکی در مقابل سختی کل در حالتی که از اطلاعات ایستگاههای اصلی (شکل ۳-ب) به جای تمام ایستگاههای موجود (شکل ۳-الف) استفاده شود، بهبود داشته است و به همین ترتیب بهبود R^2 برای بقیه موارد نیز مشاهده می‌شود. با توجه به مطالب ذکرشده، صحت نتایج آنالیز مؤلفه اصلی و فاکتور اصلی تأیید می‌شود.

۵- تعیین متغیرهای کیفی اصلی

در این تحقیق مشابه قسمت قبل که ایستگاههای اصلی از فرعی تعیین گردید، اقدام به تعیین متغیرهای کیفی اصلی از فرعی در ایستگاههای مورد مطالعه نیز شده است. در این مرحله نتایج به‌دست آمده از محاسبه فاکتور KMO (KMO<۰/۵) امکان اجرای

www.SID.ir

تکنیک‌های آنالیز مؤلفه اصلی و آنالیز فاکتور اصلی برای این منظور را تأیید نکرد. بنابراین نمی‌توان از این روشها برای تفکیک متغیرهای کیفی اصلی از فرعی استفاده کرد.

۶- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای ارزیابی هشت ایستگاه پایش کیفی رودخانه کارون و تعیین ایستگاهها و متغیرهای کیفی اصلی و فرعی، از روشهای آماری چند متغیرهٔ آنالیز مؤلفه اصلی و فاکتور اصلی استفاده گردید. نتایج به دست آمده حاکی از وجود یک ایستگاه فرعی (ایستگاه بند میزان) در بین هشت ایستگاه مورد مطالعه و نامعتبر بودن نتایج به دست آمده برای تعیین متغیرهای کیفی اصلی، به دلیل کمتر از ۵/. بودن مقدار فاکتور KMO بود. این نتایج با استفاده از همبستگی خطی نیز تأیید گردید. در این مطالعه همچنین برای اولین بار در تعیین متغیرهای کیفی و ایستگاههای پایش اصلی و فرعی به اهمیت فاکتور KMO توجه شده و تأثیر آن در اجرا و دقت نتایج به دست آمده از روشهای مورد استفاده، تحت بررسی قرار گرفت. برای مثال نتایج به دست آمده برای تعیین متغیرهای کیفی اصلی نشان داد که نمی‌توان از این روشها جهت تعیین آنها استفاده نمود. در نهایت توصیه می‌شود با توجه به مدت زمان اندک دورهٔ آماری در نظر گرفته شده برای این تحقیق، برای حذف ایستگاه فرعی تعیین شده (بند میزان) و تغییر مکان آن، مطالعات بیشتری با مدت زمان آماری طولانی‌تر انجام گیرد.

۷- مراجع

1- Morales, M. M., Marti, P., Llopis, A., Campos, L., and Sagrado, S. (1999). "An environmental study by factor analysis of surface seawaters in the gulf of Valencia (Western Mediterranean)." *Anal. Chim. Acta.,* 394, 109–117.

2- Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Ferna´ndez, J. M., and Ferna´ndez, L. (2000). "Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis." *Water Res.,* 34, 807–816.

3- Lu, W. Z., Wang, W. J., Wang, X. K., Xu, Z. B., and Leung, A. Y. T. (2003). "Using improved neural network to analyze RSP, NO_X and NO_2 levels in urban air in Mong Kok, Hong Kong." *Environmental Monitoring and Assessment*, 87, 235–254.

4- Shine, J. P., Ika, R. V., and Ford, T. E. (1995). "Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments." *Environ. Sci. Technol.,* 29, 1781–1788.

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

6- Perkins, R. G., and Underwood, G. J. C. (2000). "Gradients of chlorophyll a and water chemistry along an eutrophic reservoir with determination of the limiting nutrient by in situ nutrient addition." *Water Res.,* 34, 713–724.

7- Voutsa, D., Manoli, E., Samara, C., Sofoniou, M., and Stratis, I. (2001). "A study of surface water quality in Macedonia, Greece: Speciation of nitrogen and phosphorus." *Water Air Soil Pollut.,* 129, 13–32.

8- Ouyang, Y. (2005). "Application of principal component and factor analysis to evaluate surface water quality monitoring network." *Water Res.,* 39, 2621–2635.

9- Ouyang, Y., Nkedi-Kizza, P., Wu, Q. T., Shinde, D., and Huang, C. H. (2006). "Assessment of seasonal variations in surface water quality." *Water Res.,* 40, 3800-3810.

10-Simeonov, V., Stratis, J. A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsa, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M., and Kouimtzis, T. H. (2003). "Assessment of the surface water quality in Northern Greece." *Water Res.,* 37, 4119- 4124.

Archive of SID

www.SID.ir

11- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., and Sinha, S. (2004). "Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti river (India) a case study." *Water Res.,* 38, 3980–3992.
12- Kalin, M., Cao, Y., Smith, M., and Olaveson, M. (2000). "Development of phytoplankton community in a pit-lake in relation to water quality changes." *Water Res.,* 35, 3215–3225.
13- Wunderlin, D. A., Diaz, M., AME, M. M. V., Pesce, S. F., Hued, A. C., and Bistoni, M. (2001). "Patern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality, A case study: Suquia river bassin (Cordoba-Artgentina)." *Water Res.,* 35, 2881–2894.
14- Camdevyren, H., Demyr, N., Kanik, A.,and Keskyn, S. (2005). "Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll-a in reservoirs." *Ecol. Model.,* 181, 581–589.
15- 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 Modelling and Software,* 22, 464-475.
16-Parinet, B., Lhote, A., and Legube, B. (2004). "Principal component analysis: An appropriate tool for water quality evaluation and management—application to a tropical lake system." *Ecol. Model.,* 178, 295–311.
۱۷- کارآموز، م.، کراچیان، ر.، زهرایی، ب.، و جعفرزاده، ن. ا. (۱۳۸۴). " برنامه‌ریزی برای تدوین طرحهای جامع کاهش آلودگی سیستم‌های رودخانه‌ای، مطالعه موردی: سیستم رودخانه‌ای کارون." *م. علمی - پژوهشی تحقیقات منابع آب ایران*، ۱، ۱۲-۲۸.
18- Karamouz, M., Kerachian, R., and Karimi, M. (2004). "Water quality monitoring network for river systems: Application of genetic algorithm." *Proc. of ASCE World Water and Environmental Resources Congress 2004,* Salt Lake City, Utah, USA.
19- Karamouz, M., Hafez, B., and Kerachian, R. (2005). "Water quality monitoring network for river systems using geostatistical methods." *Proc. of ASCE World Water and Environmental Resources Congress 2005,* Alaska, USA.
20- Karamouz, M., Baghvand, A., Khajehzadeh Nokhandan, A., and Kerachian, R. (2006). "Design of river water quality monitoring networks using an entropy based approach: A case study." *Proc. of the 2006 World Water and Environmental Resources Congress*, Nebraska, USA.
21- Manly, B. F. J. (1986). *Multivariate statistical methods: A primer,* 2nd Ed., Chapman and Hall, London.
22- Johnson, R. A., and Wichern, D. W. (1982). *Applied multivariate statistical analysis,* 3rd Ed., Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, SA, 590.
23- Legates, D. R., and McCabe, G. J. (1999). "Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation." *Water Resour. Res.,* 35, 233-241.
24- Davis, J. C. (1986). *Statistical and data analysis in geology*, 2nd Ed., John Willey and Sons, New York.
25- Wackernagel, H. (1995). *Multivariate geostatistics, an introduction with applications*, 2nd Ed., Springer, New York and London.
26- Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S. (2001). *Using multivariate statistics*, 3rd Ed., Allyn and Bacon, Boston, London.
27- Anderson, T. W., and Sclove, S. L. (1986). *The statistical analysis of data*, 2nd Ed., The Scientific Press, California, USA.

Archive of SID

www.SID.ir