ارزیابی پارامترهای کیفی آب به‌روش تحلیل آماری چند متغیره (مطالعه موردی: رودخانه اترک)

حمید عبدل‌آبادی [۱] مجتبی اردستانی [۲] حامد حسنلو [۳]

(دریافت ۹۱/٤/۱٤ پذیرش ۹۱/۱۱/۵)

چکیده

یکی از مسائل مورد توجه در تحلیلهای آماری متغیرهای کیفی منابع آب، بررسی ساختار همبستگی و ارتباط میان متغیرهاست. روش تحلیل همبستگی کانونیک، ارتباط میان دو مجموعه از پارامترها را با یافتن تعداد محدودی ترکیب خطی از متغیرهای مجموعه اول که دارای بیشترین همبستگی با ترکیب خطی از متغیرهای مجموعه دوم هستند، بیان می‌کند. با توجه به تأمین میزان قابل توجهی از آب مورد نیاز استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و گرگان، در این پژوهش ارتباط میان دو مجموعه از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب به‌منظور ارائه الگوی مدیریتی مناسب، مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد مطالعه، شامل پنج پارامتر فیزیکی و شش پارامتر شیمیایی بود که از ۳۸ ایستگاه در حوضه آبریز رود اترک برداشت شدند. نتایج نشان داد که ارتباط مؤثری میان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی (همبستگی کانونیک نسبتاً بالا) برقرار بوده و از پنج دسته کانونی حاصل شده، تنها دو دسته اول دارای اعتبار آماری بر مبنای مقدار P-value هستند. در حالت کلی نتایج این تحقیق که توسط روش آنالیز خوشه‌ای نیز تأیید می‌شود، بیانگر تأثیرپذیری ترکیبات خطی به‌دست آمده برای پارامترهای فیزیکی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول است. با توجه به اینکه پارامترهای شیمیایی بیشتر ناشی از فعالیتهای انسان‌ساخت و پارامترهای فیزیکی ناشی از هر دو منشأ طبیعی و انسان ساخت می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که منشاء هر دو دسته پارامترها، فعالیتهای انسانی است. بنابراین در برنامه‌های آتی مدیریت کیفی منابع آب، می‌توان روی منابع انسان‌ساخت تمرکز بیشتری داشت و با کنترل آن‌ها، پارامترهای فیزیکی مرتبط را نیز کنترل نمود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل همبستگی کانونیک، آنالیز خوشه‌ای، پارامترهای فیزیکی، پارامترهای شیمیایی، حوضه آبریز رود اترک

Evaluation of Water Quality Parameters Using Multivariate Statistical Analysis (Case Study : Atrak River)

H. Abdolabadi [1] *M. Ardestani [2]* *H. Hasanlou [3]*

(Received July 4, 2012 Accepted Jan. 24, 2013)

Abstract

One of the issues considered in the statistical analysis of water quality variables is investigating the correlation between them. Canonical Correlation Analysis method expresses the relation between two sets of parameters by finding some linear combination of the first set of variables that have the most correlation with the linear combination of the second one. In this study, to supply a significant amount of water needed for Khorasan Razavi, Khorasan Shomali and Golestan provinces, the relation between physical and chemical variables was evaluated to provide an appropriate management plan. Five physical and six chemical variables were measured at 38 stations. Results showed that there is an effective correlation between the physical and chemical parameters and from five canonical varieties, only the first two categories are statistically valid according to P-value

۱- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) (۰۵۸۴) ۲۲۲۷۲۷۰ H.Abdolabadi@ut.ac.ir
۲- دانشیار، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده تحصیلات تکمیلی محیط زیست، دانشگاه تهران

1. Ph.D. Student of Enviornmental Eng., Graduate Faculty of Environment, Tehran University, Tehran (Corresponding Author) (+98 584) 2227270 H.Abdolabadi@ut.ac.ir
2. Assoc. Prof., Graduate Faculty of Environment, Tehran University, Tehran
3.M.Sc. of Environmental Eng., Graduate Faculty of Environment, Tehran University, Tehran

number. In general, results confirmed by the cluster analysis method indicated the effectiveness of linear combinations for EC and TDS. Chemical parameters are mostly caused by human activities and physical parameters caused by both human and natural sources. It can be concluded that the sources of both categories of parameters are human activities. Thus, It could be recommended to focus more on human activities in future water quality management plans and also control the physical parameters.

Keywords: Canonical Correlation Analysis (CCA), Cluster Analysis, Physical Parameters, Chemical Parameters, Atrak River Catchment.

۱- مقدمه

کیفیت منابع آب در هر منطقه تحت تأثیر عواملی با منشأ طبیعی یا انسانی دچار تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌شود. این تغییرات محدودیتهایی جدی برای بهره‌برداری ازمنابع آب به وجود می‌آورد [۱]. کنترل کیفی آبهای سطحی از اهمیت بالایی برای انسان و موجودات آبزی برخوردار است [۲]. یکی از مسائل مهم در مدیریت کیفی منابع آب، یافتن رابطه بین پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی تأثیرگذار بر کیفیت پیکره‌های آبی است. پاسخ به این مسئله گام ضروری و مهمی جهت بررسی دقیق‌تر منابع آلاینده و ارائه راهکار جهت کاهش اثرات منفی آن و در نهایت بهبود وضعیت کیفی منابع آب می‌باشد. در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های کنترل کیفی آب، تدقیق در موضوع منشأ یابی آلاینده‌ها، به‌دلیل بالا بودن هزینه‌های مربوط به آزمایش و نمونه‌برداری ضروری بوده و تعیین و تشخیص پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آلاینده و تأثیر گذار بر پیکره آبی امری مهم است. پارامترهای فیزیکی کیفی آب، خصوصیاتی هستند که به‌وسیله حواس بینایی، لامسه، چشایی و یا بویایی قابل تشخیص می‌باشند. مواد معلق جامد، کدورت، رنگ، طعم، بو و درجه حرارت در این گروه قرار می‌گیرند. کیفیت شیمیایی آب در ارتباط مستقیم با حلالیت آن است. مقدار کل جامدات محلول[1]، قلیاییت، سختی، فلوراید‌ها، فلزات، مواد آلی و مواد مغذی از متغیرهای شیمیایی مهم هستند [۱].

با توجه به طبیعت آلاینده‌های فیزیکی که به‌طور کلی ناشی از خصوصیات فیزیکی و اقلیم حوضه آبریز هستند و این موضوع که آلاینده‌های شیمیایی اغلب توسط فعالیتهای انسانی ایجاد می‌شوند، می‌توان با در نظر گرفتن آلاینده‌های فیزیکی به‌عنوان متغیرهای وابسته و آلاینده‌های شیمیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل، وجود همبستگی میان این پارامترها را بررسی نمود. با تعیین میزان شدت ارتباط میان این دو دسته از متغیرها، می‌توان ادعا نمود که رفتار متغیرهای وابسته تابعی از رفتار متغیرهای مستقل بوده و در صورت وجود همبستگی قابل قبول، می‌توان نتیجه گرفت که منشا هر دو آلاینده، فعالیتهای انسانی است. به‌دلیل تأمین میزان قابل توجهی از آب مورد نیاز استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و گرگان توسط رود اترک و رودخانه‌های منتهی به آن، مدیریت مناسب به‌منظور بهبود وضعیت کیفی آب رود اترک با توجه به توسعه و رشد سریع اراضی کشاورزی و منابع آلاینده در حوضه آبریز این رود، امری مهم و ضروری است[۳]. روشهای اندازه‌گیری مختلفی برای تعیین میزان همبستگی بین دو متغیر وجود دارد. برای مثال ضریب همبستگی استاندارد و یا ضریب پیرسون، جهت و میزان ارتباط بین دو متغیر را بیان می‌کنند. همچنین روشهای اندازه‌گیری غیر پارامتریک مانند Spearman rank و Kendall tau بر پایه همسان‌سازی رتبه بندی میان دو متغیر عمل می‌نمایند [۴].

روش رگرسیون چند متغیره، برای برآورد ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل استفاده می‌شود. بنابراین استفاده از روشهای تحلیل همبستگی که توانایی بیان ارتباط میان مجموعه‌ای از متغیرها را داشته باشند، در تحلیل میزان همبستگی متغیرهای چند بعدی بسیار کارا می‌باشد [۴ و ۵]. برای دستیابی به این هدف، روشهای آماری چند متغیره مثل تحلیل همبستگی کانونیک[2] در مسائل و موضوعات مهندسی توسط محققان مختلف به‌کار گرفته شده است. گلاهن نخستین بار برای پیش‌بینی دمای هوا در آمریکا با توجه به دمای سطح اقیانوس و فشار سطح دریا از روش تحلیل همبستگی کانونیک استفاده نمود [۶]. تئوری و بسط تحلیل همبستگی کانونیک در بسیاری از مراجع توضیح داده شده و در زمینه های مختلفی مانند علوم مهندسی، زیست‌شناسی، هوش مصنوعی، محیط زیست و غیره استفاده گردیده است [۷-۱۲].

استاتروپولوس و همکاران از این روش برای تعیین رابطه بین دو دسته از اطلاعات مربوط به آلودگی هوا و اطلاعات هواشناسی در یک ایستگاه کنترل آلودگی هوا در شهر آتن استفاده نموده‌اند. تحقیق مذکور ارتباط اصلی بین کل آلودگی و رطوبت هوا در ترکیب با سرعت پایین باد را نتیجه داد [۱۳]. اواردا و همکاران از روش تحلیل همبستگی کانونیک برای تعیین نوسانات سیل در حوضه‌ای واقع در کانادا استفاده نموده‌اند [۱۴]. رمسی و سیلورمن از روشی برای برآورد توابع داده‌های مشاهده شده به‌وسیله بسط‌های متناهی بر حسب توابع ویژه استفاده کرده و سپس تحلیل همبستگی کانونی را در یک فضای متناهی انجام دادند [۱۵]. لارسن و همکاران برای تحلیل رابطه بین امواج و پروفیل‌های برداشت شده

[1] Total Dissolved Solids (TDS)

[2] Canonical Correlation Analysis (CCA)

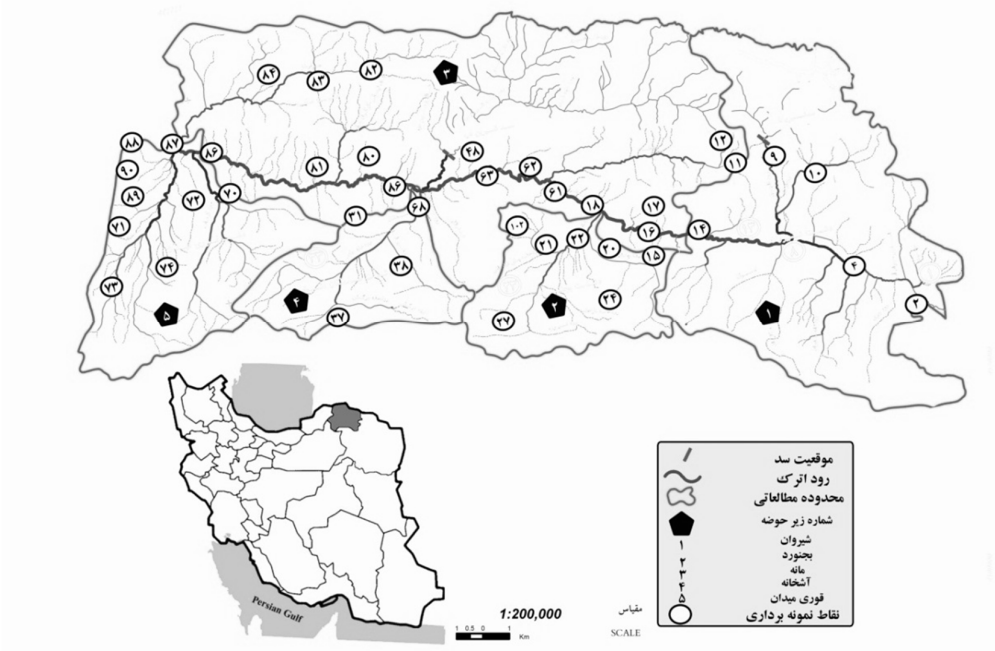
از منطقه داک در کارولینای شمالی از روش مذکور استفاده کرده‌اند [۱۶]. کسکین و یاسار ارتباط میان پارامترهای ریخت‌شناختی شامل: طول شاخه، طول ریشه، وزن شاخه، وزن ریشه و وزن برگ و پارامترهای زیست-شیمیایی شامل: سدیم، پتاسیم، کلر و کلروفیل در رشد گیاهان را با استفاده از روش آنالیز همبستگی کانونیک بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داده که شوری یکی از پارامترهای مؤثر در رشد گیاه است [۴]. نوری و همکاران روش تحلیل همبستگی را برای تعیین رابطه بین آلاینده‌های فیزیکی شامل: کل جامدات معلق، کدورت، هدایت الکتریکی و دما و شیمیایی شامل: BOD، COD، فسفات، نیترات، کلر و سختی در حوضه آبریز رودخانه کارون استفاده نموده‌اند. نتایج نشان دهنده ارتباط قوی بین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی بوده است [۱۷].

هدف اصلی این تحقیق ارائه چارچوب مناسبی برای پاسخ به وجود ارتباط میان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در حوضه آبریز رودخانه اترک بود. به‌منظور تحلیل کیفی با استفاده از روش تحلیل همبستگی کانونیک، از پنج پارامتر فیزیکی شامل دما، DO، TSS، TDS، EC و شش پارامتر شیمیایی شامل: pH، فسفات بر حسب P، نیترات بر حسب NO_3^-، BOD_5، COD و قلیاییت بر حسب $CaCO_3$ استفاده شد.

۲- منطقه مورد مطالعه و اطلاعات مسئله

رود اترک از کوه‌های هزار مسجد در خراسان سرچشمه می‌گیرد و در خلیج حسنقلی در کشور ترکمنستان به دریای خزر می‌ریزد. اترک رودی خروشان و سیل‌گیر با بستر گلی است و با داشتن ۶۶۹ کیلومتر طول، پنجمین رود بلند ایران و طولانی‌ترین رود ترکمنستان به‌شمار می‌آید. حوضه آبریز رود اترک از شمال به جمهوری ترکمنستان، از جنوب به حوضه‌های آبریز گرگانرود و کال شور (کویر مرکزی)، از شرق به حوضه آبریز قره‌قوم و از غرب به دریای خزر محدود می‌گردد. حوضه اترک بخشی از حوضه دریای خزر بوده و معادل ۲۶۴۳۰ کیلومترمربع از آن در داخل کشور و در حدود ۷۰۰۰ کیلومترمربع آن در خاک جمهوری ترکمنستان قرار دارد. با توجه به تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز طرح جامع آب کشور (جاماب)، در این تحقیق منابع آب سطحی در حوضه آبریز اترک، در ۵ دشت محدود به استان خراسان شمالی شامل: بجنورد، شیروان، مانه و سملقان، آشخانه و قوری میدان شناسایی شده و مورد بررسی قرار گرفته است[۱۸].

شکل ۱ محدوده مورد مطالعه به همراه ایستگاههای برداشت پارامترهای کیفی آب سطحی را نشان می‌دهد [۱۹]. اطلاعات کیفی برداشت شده از ایستگاههای موجود در سه بازه زمانی مهر، آبان و آذر ماه سال ۱۳۸۷ به‌منظور تحلیل کیفی در جدول ۱ نمایش داده شده است. لازم به‌ذکر است که نمونه‌برداری ار هر ایستگاه فقط برای یک بار انجام گرفت و آزمایش کیفی نمونه‌ها توسط آزمایشگاه پارک علم و فناوری مشهد و آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شد. بنابراین اعداد قرار گرفته در جدول ۱، نتایج حاصل از همان نمونه‌برداری است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاههای نمونه‌برداری منابع آب سطحی استان خراسان شمالی [۱۸]

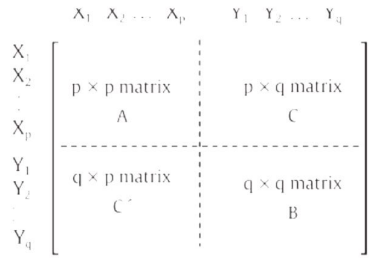
جدول ۱- اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در ۳۶ ایستگاه

پارامتر	دما	TDS	EC	pH	DO	TSS	BOD_5	COD	Nit	PHos	$CaCo_3$
واحد	˚C	(mg/L)	(µmho/cm)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
میانگین	۱۲/۷	۵۴۸۳/۴	۳۲۳۶/۸۹	۷/۸۴	۱۱/۲۳	۷۵/۸۹	۱/۶۷	۱۹/۵۹	۱۲/۸	۰/۱۸	۲۷۱/۹
انحراف معیار	۵/۳۷	۲۰۰۹۳	۴۳۶۵/۵۶	۰/۳۲	۱۵/۵۳	۱۲۰	۱.۴۲	۲۵/۲۲	۱۰/۷	۰/۱۳	۷۱/۱۳
مقدار کمینه	۴	۴۷۴	۶۷۰	۷/۲۰	۳/۷۰	۰	۰	۶/۳۳	۱/۴۰	۰/۰۱	۱۳۴
مقدار بیشینه	۲۴/۷	۱۱۹۰۹۰	۲۰۰۰۰	۸/۹۰	۱۰۱	۴۸۴	۷/۶۲	۱۵۵	۳۹	۰/۵۹	۵۲۰

۳- روش تحقیق

۳-۱- تحلیل همبستگی کانونیک (CCA)

تحلیل همبستگی کانونیک یکی از متداول‌ترین روشهای تحلیل چند متغیره بوده و هدف آن تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چند بعدی است [۵ و ۲۰]. در این روش در نظر گرفتن یک مجموعه از متغیرها به‌عنوان متغیرهای مستقل و مجموعه دیگر به‌عنوان متغیر وابسته می‌تواند بسیار مفید باشد [۲۰]. از جمله امتیازات روش تحلیل همبستگی کانونیک در مقایسه با تحلیل همبستگی معمولی[1] این است که روش OCA به سیستم مختصاتی[2] که در آن تعریف شده است، وابسته می‌باشد. این بدان معنی است که حتی اگر رابطه خطی قوی بین دو متغیر چند بعدی وجود داشته باشد، این ارتباط ممکن است با انتخاب سیستم مختصات استفاده شده در روش OCA دیده نشود. در حالی که در یک سیستم مختصات دیگر، این رابطه خطی میزان همبستگی بالایی را ارائه دهد. روش CCA سیستم مختصاتی را می‌یابد که در آن میزان همبستگی دارای مقدار بهینه است[۵]. در بعضی از دسته داده‌های چند متغیره، متغیرها به‌طور طبیعی به دو گروه مجزا مثل $X_1,X_2,\ldots,X_p$ (Xها) و $Y_1,Y_2,\ldots,Y_q$ (Yها) تقسیم می‌شوند. برای مثال، متغیرهای پاسخ (پارامترهای فیزیکی) و متغیرهای پیش‌بینی (پارامترهای شیمیایی) ماتریس همبستگی کانونی برای تفسیر ارتباط بین این دو گروه به‌کار گرفته شده و از این روش به‌عنوان ابزاری برای کاهش حجم اطلاعات مورد بررسی در محاسبات، استفاده می‌شود. هدف اصلی CCA، ساختن دو گروه جدید از مؤلفه‌ها به‌صورت $U=aX$ و $V=bY$ است که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند. به‌طور مثال فرض کنید که ماتریس $(p+q)\times(p+q)$ زیر ماتریس همبستگی بین متغیرهای $X_1,X_2,\ldots,X_p$ و $Y_1,Y_2,\ldots,Y_q$ باشد که از نمونه‌گیری مورد بررسی یعنی p پارامتر فیزیکی و q پارامتر شیمیایی به‌دست آمده است[۱۷]



از ماتریس بالا می‌توان ماتریس $B^{-1}C'A^{-1}C$ را محاسبه کرد و سپس از روی آن مقادیر ویژه را از رابطه ذیل به‌دست آورد:

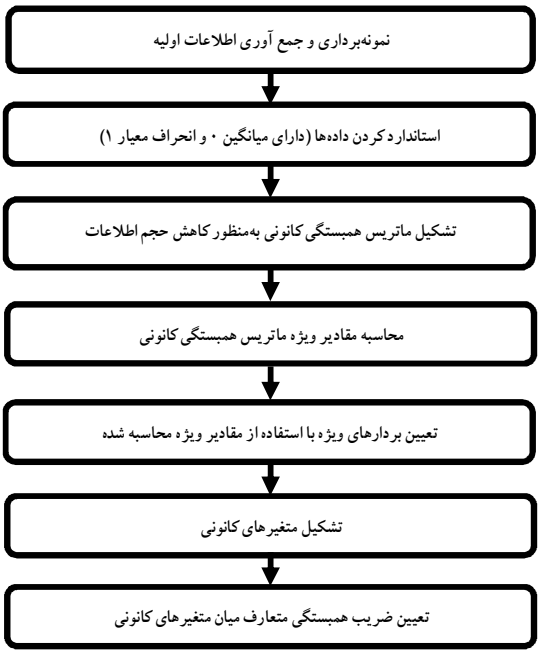
$$(B^{-1}C'A^{-1}C-\lambda I)b=0 \qquad (۱)$$

توجه به این نکته ضروری است که مقادیر ویژه حاصل، مربع همبستگی بین متغیرهای کانونی می‌باشند و مقادیر بردارهای ویژه $b_1,b_2,\ldots,b_r$ ضرایب مورد نظر برای ساختن متغیر کانونی V از روی متغیرهای اولیه Y را نتیجه می‌دهد. ضرایب متغیرهای X برای ساخت ترکیب خطی متغیرهای کانونی U_i، (یعنی a_i ها) از رابطه زیرحاصل می‌شود:

$$a_i= A^{-1}C_i b_i \qquad (۲)$$

در تمامی این محاسبات فرض بر این است که متغیرهای اولیه $X_1,X_2,\ldots,X_p$ و $Y_1,Y_2,\ldots,Y_q$ استاندارد شده‌اند، یعنی دارای میانگین صفر و انحراف استاندارد واحد می‌باشند[۱۷]. در نهایت بردارهای $U_i= a_{i1}X_1+ a_{i2}X_2+\ldots$ و $V_i= b_{i1}Y_1+ b_{i2}Y_2+\ldots$ حاصل می‌شود. همبستگی میان جفت U_i و V_iها بررسی شده و به‌صورت ضریب همبستگی متعارف با مقادیر بین ۱+ تا ۱- ارائه می‌گردد. در این تحقیق از نرم‌افزار Statistica که توانایی محاسبه ضریب همبستگی را با روش CCA دارد، استفاده شد. در ادامه، مراحل مدل سازی در دیاگرام شکل ۲ نشان داده شده است.

[1] Ordinary Correlation Analysis (OCA)
[2] Coordinating System



شکل ۲- مراحل انجام مدل‌سازی

۴- نتایج و بحث

مطابق مطالب ذکر شده، به‌منظور تعیین ارتباط بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در حوضه آبریز رود اترک از روش CCA استفاده شده است. جدول ۲، نتایج به‌دست آمده از روش CCA را نمایش می‌دهد که با تدقیق در آن می‌توان دریافت، تعداد متغیرهای کمتر، یعنی پارامترهای فیزیکی (چهار پارامتر)، تعیین کننده تعداد دسته‌های کانونیک ایجاد شده می‌باشند. مطابق این جدول، ضریب همبستگی کانونیک برای دسته متغیرهای کانونیک ۱، ۲و ۳ به‌ترتیب برابر ۰/۸۹۱، ۰/۷۱۵و ۰/۵۹۱ است، که مقادیر نسبتاً بالایی را به خود اختصاص داده است. برای چهارمین دسته متغیرهای کانونی، مقدار ضریب همبستگی برابر ۰/۲۶۵ است. مطابق توصیه تاباکیک و فیدل، همبستگی بین متغیرهای کانونی اصلی با مقدار بیشتر از ۰/۳، قابل تفسیر بوده و با توجه به کمتر بودن مقدار ضریب همبستگی دسته چهارم متغیرهای کانونی، برای نتیجه‌گیری نهایی از آن استفاده نمی‌شود [۲۱]. همچنین این نکته قابل توجه است که هر چه مقادیر ضریب همبستگی دسته‌ها بیشتر باشد، با قاطعیت بیشتری می‌توان به وجود ارتباط بین دسته متغیرهای مورد بررسی حکم نمود. با توجه به مقادیر P-Value برای هر دسته ملاحظه می‌شود که تنها دسته متغیرهای کانونی ۱ و ۲ دارای اعتبار هستند، زیرا مقادیر P-value آن‌ها در آزمون Chi-square کمتر از ۰/۰۵ بوده (این بدان معنی است که فرض بی‌ارتباط بودن متغیرهای فیزیکی و شیمیایی با توجه به میزان P-value در این دسته متغیر کانونی پذیرفته نمی‌شود) و این موضوع نشان دهنده همبستگی بالای میان پارامترها، برای

جدول ۲- نتایج روش آنالیز همبستگی کانونیک

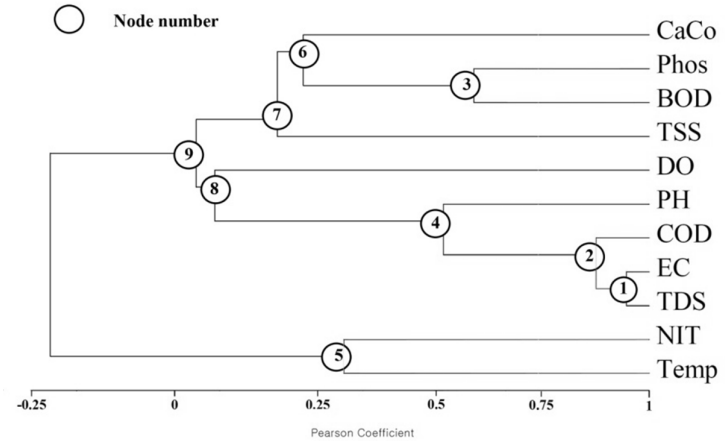
متغیرهای کانونیک	دسته اول	دسته دوم	دسته سوم	دسته چهارم
	U_1وV_1	U_2وV_2	U_3وV_3	U_4وV_4
همبستگی کانونیک (r_k)	۹۱۰/۸	۱۵۰/۷	۹۱۰/۵	۲۶۵۰
آزمونChi-square	۸۶/۱۲	۳۹/۶۶	۱۴/۸۹	۳/۳۱
درجات آزادی	۳۰	۲۰	۱۲	۶
P-Value	۰	۴۷۶۰	۳۰/۲۴	۵۶۳۰
پارامترهای فیزیکی				
دما	۳۴-۰/۰	۷۰/۶	۵۵-۰	۳۸-۰
TDS	۷-۰/۹	۲۵-۱	۶۲-۰	۱۱۲-۰
EC	۵۲۱	۶۷۰/۴	۳۳۰/۳	۶۹۰/۲
TSS	۹۲۰	۵-۰/۱	۲۳۰/۱	۳۲۱۰
پارامترهای شیمیایی				
pH	۵۸۰	۱۱۳-۰	۳۲۰	۵۳۱-۰
BOD_5	۷۱۰/۹	۶۱-۰	۵۷۰	۲۴۷۰
COD	۷۳-۰/۰	۶۵-۰/۱	۲۱۰/۳	۳۳-۰/۶
N	۱۸۴-۰	۷۲-۰/۲	۲۱-۰/۷	۷۶-۰/۱
P	۸-۰/۰۶	۶-۰/۰۴	۶۲-۰/۵	۲۳۴۰
$CaCO_3$	۸۰/۰۴	۳۸۰/۹	۳۲-۰/۲	۵۱-۰/۴
DO	۳۵-۰/۱	۷۱۰/۱	۶۵-۰/۲	۱۰/۹

متغیرهای کانونیک اول و دوم است. بنابراین بر مبنای نتایج به‌دست آمده برای P-Value، دیگر دسته متغیرهای کانونی نتایج معتبری را مبنی بر وجود رابطه بین پارامترها ارائه نمی‌دهند. با دقت بیشتر می‌توان دریافت که ارتباط بین پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی بر مبنای نتیجه همبستگی کانونیک در دسته چهارم به‌دلیل پایین بودن ضریب همبستگی این دسته بسیار اندک است و عملاً بیانگر عدم ارتباط بین دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی است. لذا در حالت کلی مشاهده می‌گردد که ارتباط مؤثری بین پارامترهای فیزیکی و پارامترهای شیمیایی با همبستگی کانونیک بالا برای دسته‌های یک و دو برقرار است و متغیرهای کانونی دسته‌های یک و دو می‌توانند، مبنای این نتیجه باشند که احتمالاً پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی دارای منابع یکسانی هستند. مطابق جدول ۲، متغیرهای اصلی در اولین متغیر کانونیک (دسته ۱) شامل متغیرهای فیزیکی مربوط به U_1 و متغیرهای شیمیایی مربوط به V_1 است. بررسی بیشتر در نتایج به‌دست آمده از روش CCA نشان می‌دهد که در ستون متغیرهای فیزیکی U_1: TDS و EC دارای ضرایب کانونی با مقادیر بالای ۰/۹۷ و ۱/۵۲ هستند، بنابراین از اهمیت بسزایی برخوردارند و این موضوع بیانگر تأثیرپذیری بیشتر ترکیب خطی U_1 (دسته پارامترهای فیزیکی) از این دو متغیر کیفی آب است. در میان متغیرهای شیمیایی V_1، BOD_5 از مقدار بالای ضریب کانونی ۰/۹۷۱ برخوردار است. این مقدار نشان دهنده ارتباط مستقیم آن بوده و با افزایش این پارامتر، متغیر کانونی V_1 نیز افزایش می‌یابد. همچنین در دسته کانونی U_1، پارامتر هدایت الکتریکی دارای ارتباط نسبتاً بالایی با U_1 بوده و این بدان معنی است که با افزایش میزان پارامتر هدایت الکتریکی، افزایش میزان U_1 مشاهده می‌شود.

جدول ۳ و شکل ۳، نتایج آنالیز خوشه‌ای و نمودار دندوگرام حاصله را نمایش می‌دهد. در این تحقیق از روش آنالیز خوشه‌ای برای بررسی صحت ماتریس ضرایب همبستگی حاصل از روش CCA استفاده شد. همانطور که مشاهده می‌شود، TDS و EC دارای ضریب همبستگی پیرسون با مقدار بالای ۰/۹۶، در گره شماره یک قرار گرفته است. گره شماره ۲، ارتباط میان گره شماره ۱ و پارامتر COD را با ضریب همبستگی بالای ۰/۹، نمایش می‌دهد. گره ۳ نیز نشان دهنده وجود ارتباط نسبتاً مناسبی میان فسفر و BOD است. در جدول ۴، ماتریس ضرایب همبستگی پیرسون برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نشان داده شده است. مطابق این جدول بین پارامترهای EC و TDS، دما و DO ارتباط مناسبی وجود داشته و این ارتباط به لحاظ آماری($p<0.01$) دارای اهمیت است. همچنین بین پارامترهای COD، EC و TDS و همچنین فسفر و BOD نیز ارتباط مناسبی برقرار است که به لحاظ آماری نیز قابل تأیید است [۵ و ۱۷]. بنابراین نتایج روش آنالیز خوشه‌ای، تحلیل حاصل از ماتریس ضرایب همبستگی را تأیید می‌نماید. نسبت واریانس ایجاد شده از مجموع متغیرها، توسط متغیرهای کانونی،

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای

گره	گروه ۱	گروه ۲	همبستگی
۱	TDS	EC	۰/۹۶
۲	گره ۱	COD	۰/۹۰۷
۳	BOD_5	P	۰/۵۳
۴	گره ۲	pH	۰/۴۷۷
۵	دما	N	۰/۳۰۳
۶	گره ۳	$CaCO_3$	۰/۲۳۳
۷	TSS	گره ۶	۰/۱۸۷
۸	گره ۴	DO	۰/۰۷۸
۹	گره ۸	گره ۷	۰/۰۴۶



شکل ۳- نمودار دندوگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای

جدول ۴- ماتریس همبستگی متغیرها

	دما c°	TDS (mg/L)	EC (µmho/cm)	DO (mg/L)	TSS (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	$CaCO_3$ (mg/L)	pH
دما	1										
TDS	۰/۱۷۳	۱									
EC	۰/۱۲۹	۰/۹۶**	۱								
DO	-۰/۶۲۶**	-۰/۲۵۵	۰-/۱۷۷	۱							
TSS	-۰/۳۳۴*	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲۶	۰/۱۳۹	۱						
BOD_5	۰/۰۴۴	۰/۱۸۳	۰/۲۳۲	-۰/۱۷۹	۰/۱۱۱	۱					
COD	۰/۱۴۴	۰/۹۲۷**	۰/۸۸۷**	-۰/۲۶۷	-۰/۰۳	۰/۲۴۱	۱				
N	۰/۳۰۳	-۰/۱۸۸	-۰/۱۶۴	-۰/۲۲۹	-۰/۱۱۶	۰/۱۰۷	-۰/۱۳۸	۱			
P	-۰/۳۱۷	۰/۰۶۱	۰/۱۱۵	-۰/۰۸۳	۰/۲۸۱	۰/۵۳۰**	۰/۱۷۶	-۰/۱۷۲	۱		
$CaCO_3$	-۰/۳۰۹	-۰/۱۰۸	-۰/۰۶۴	۰	۰/۱۷۸	۰/۲۱۱	-۰/۰۳	۰/۲۱۸	۰/۲۵۵	۱	
pH	-۰/۲۱۶	۰/۴۷۰**	۰/۵۰۴**	۰/۳۹۷*	۰/۱۴	۰/۱۷۲	۰/۴۶۸**	-۰/۲۵۸	۰/۱۱۱	-۰.۰۴۸	۱

*/ Correlation is significant at the 0/05 level (2-tailed)/ **/ Correlation is significant at the 0/01 level (2-tailed)/

برابر است با مجموع مربع ضرایب کانونی برای هر پارامتر، تقسیم بر تعداد پارامترها [۵ و ۲۰]. برای اولین متغیر کانونی، مقدار واریانس برای پارامترهای فیزیکی و شیمیایی به‌ترتیب برابر ۶۹/۳ درصد و ۱۷/۲۳ درصد است (این مقدار پراکندگی، نشان دهنده آن است که اولین متغیر کانونی، حدود ۷۰ درصد از داده‌ها را تحت پوشش قرار می‌دهد). دومین متغیر کانونی (دسته ۲) دارای همبستگی مناسبی بوده و متغیرهای فیزیکی U_2 شامل: دما، TDS و EC، دارای ضرایبی با مقادیر ۰/۶۷، ۱/۲۵ و ۰/۴۶۷ و متغیرهای شیمیایی V_2: سختی بر حسب کربنات کلسیم و BOD_5 دارای ضرایبی با مقادیر ۰/۹۳۸و ۰/۶۱ هستند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده برای ارتباط هر جفت U_i و Viها، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که متغیرهای فیزیکی TDS و EC و متغیرهای شیمیایی pH، COD و فسفات بر حسب P متغیرهای غالب در بین پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق می‌باشند. نکته قابل ذکر این است که با در نظر گرفتن مقدار r_k (مقدار همبستگی کانونیک)، نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند مورد تشکیک قرار گیرد.

نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند بیانگر وجود ارتباط قوی بین دو دسته پارامترهای شیمیایی و فیزیکی باشد. بنابراین می‌توان ادعا نمود که هر دو دسته پارامترهای شیمیایی و فیزیکی از یک منشأ سرچشمه می‌گیرند. توجه به این موضوع ضروری می‌نماید که در حوضه آبریز، پارامترهای شیمیایی غالباً ناشی از فعالیتهای انسان‌ساخت بوده و پارامترهای فیزیکی می‌توانند دارای منشأ انسان‌ساخت و طبیعی (ناشی از خصوصیات فیزیکی حوضه) باشند. لذا با توجه به مطالب ذکر شده و نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی کانونیک، می‌توان این مطلب را عنوان نمود که در حوضه آبریز رودخانه اترک، منشأ هر دو دسته پارامترهای شیمیایی و فیزیکی انسان‌ساخت است. بنابراین برای مدیریت کیفی در حوضه این رودخانه، فعالیتهای انسانی که منجر به افزایش غلظت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی می‌شوند، باید مورد توجه قرار گرفته و سیاست‌های کنترل آلودگی بر مبنای کنترل منابع آلاینده انسان‌ساخت طرح ریزی و اجرا گردند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای فیزیکی تابعی از پارامترهای شیمیایی هستند، در حالی که اگر نتایج حاکی از وابستگی پارامترهای شیمیایی به پارامترهای فیزیکی باشد، به‌دلیل عدم توانایی در کنترل بسیاری از عوامل فیزیکی حوضه توسط انسان، اجرای برنامه‌های مدیریت حوضه آبریز به‌منظور کنترل پارامترهای فیزیکی و شیمیایی از بازده مناسبی برخوردار نخواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که ارتباط معنی‌دار میان دو دسته پارامترهای فیزیکی و شیمیایی وجود داشته و پارامترهای فیزیکی به‌عنوان تابعی از پارامترهای شیمیایی است و بنابراین هر دو دسته بیشتر ناشی از منابع انسان‌ساخت هستند. همچنین متغیرهای کیفی مهم در هر دسته کانونیک، با توجه به ضرایب کانونی مشخص گردید و نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای، نتایج ماتریس همبستگی روش CCA را تأیید نمود. بنابراین در برنامه‌های آتی مدیریت کیفی منابع آب، می‌توان روی منابع و فعالیتهای انسان‌ساخت تمرکز بیشتری نمود و با کنترل آنها، کیفیت آب رودخانه را بهبود بخشید. در نهایت با کنترل منابع انسان ساخت در رودخانه اترک، می‌توان نسبت به بهبود وضعیت کیفی آب این رودخانه خوش‌بین بود.

۶- مراجع

1. Karamouz, M., and Kerachian, R. (2007). *Water resources planning and quality management systems*, 1st Ed., Amirkabir, Tehran. (In Persian)
2. Bricker, O.P., and Jones, B.F.(1995). "Main factors affecting the composition of natural waters." Salbu, and B. Steinnes, E. (Eds.), *Trace Elements in natural waters*, CRC Press, BocaRaton, FL.
3. Toossab Consulting Engineering Company. (2007). *Identify pollution sources, water quality protection plains of North Khorasan*, Mashhad. (In Persian)
4. Keskin, S., and Yasar, F. (2007). "Use of canonical correlation analysis for determination of relationships among several traits in egg plant (solanum melongena l.) under salt stress." *Pak. J. Bot*., 39(5), 1547-1552.
5. Borga, M. (1998). "Learning multidimensional signal processing." Ph.D. Thesis, Link¨oping University, Sweden, SE-581 83 Link¨oping, Sweden, Dissertation No 531, ISBN 91-7219-202-X.
6. Glahn, H.R. (1968). "Canonical correlation analysis and its relationship to discriminantanalysis and multiple regression." *J. of Atmospheric Sciences*, 25, 23-31.
7. Johnson, R.A., and Wichern, D.W. (2002). *Applied multivariate statistical analysis*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
8. Rencher, A.C. (1987). *Multivariate statistical inferences and applications*, John Wiley and Sons' INC., New York, USA.
9. Hair, J., Anderson, R.E., and Tatham, R.L. (1987). *Multivariate data analysis with readings*, Macmillan Pub. Co., New York, USA.
10. Clark, D. (1975). *Understanding canonical correlation analysis*, Geo Abstract Ltd. University of East Anglia, Norwich, NR4 7TJ.
11. Gittins, R. (1985). *Canonical analysis: A review with application in ecology*, Springer Verlag, New York, USA.
12. Thorndike, R.M. (1978). *Correlation procedure for research*, Gardner Press, New York, USA.
13. Statheropoulos, M., Vassiliadis, N., and Pappa, A. (1997). "Principal component and canonical correlation analysis for examining air pollution and meteorological data." *Atmospheric Environment*, 32, 1087-1095.
14. Ouarda, T.B.M.J., Girard, C., Cavadias, G.S., and Bobee, B. (2001). "Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis." *J. Hydrology*, 254, 157-173.
15. Ramsay, J.O., and Selverman, B.W. (2005). *Functional data analaysis*, 2nd Ed., Springer, New York, USA.
16. Larson, M., Capobianco, M., and Hanson, H. (1999). "Relationship between beach profiles andwaves at Duck, North Carolina, determined by canonical correlation analysis." *J. of Marine Geology*, 163, 275-288.
17. Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A.R., Baghvand, A., and Taati-Zadeh, H. (2010). "Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set." *Desalination*, 260, 129-136.
18. Jamab Consulting Engineers. (1999). *Atrak Basin and salt desert basin plan water*, (In Persian)
19. Toossab Consulting Engineering Company. (2007). *Test results, water quality protection plains of North Khorasan province (supplementary final reports)*, Mashhad. (In Persian)
20. Nash, M. S., and Chaloud, D. J. (2002). "Multivariate analyses (canonical correlation and partial least square (PLS)) to model and assess the association of landscape metrics to surface water chemical and biological properties using savannah river basin data." U.S. Environmental Protection Agency Las Vegas, Nevada, USA.
21. Tabachnick, B. L., and Fidell, S. (2000). *Using multivariate statistics. A pearson education company*, Needham Heights, 966 pp., USA.