

## بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از تحلیل‌های مولفه و فاکتور اصلی

روح‌اله نوری\*<sup>۱</sup>، محمدرضا وصالی ناصح<sup>۲</sup>، عباس اکبرزاده<sup>۳</sup>

۱ استادیار مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲ استادیار مهندسی محیط‌زیست، گروه مهندسی عمران، دانشگاه اراک

۳ استادیار محیط‌زیست، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴)

### چکیده

یکی از مهمترین موارد در ارزیابی تغییرات آلودگی رودخانه‌ها در اثر ورود منابع کانونی و غیرکانونی آلاینده‌ها، بررسی تغییرات فصلی کیفیت آب این منابع می‌باشد. استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره مانند آنالیز مولفه اصلی (PCA)<sup>(۱)</sup> و آنالیز فاکتور اصلی (PFA)<sup>(۲)</sup> یکی از مؤثرترین روش‌های بررسی این تغییرات است. در این تحقیق، جهت مشخص نمودن پارامترهای کیفی که از اهمیت بیشتری در تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه کارون برخوردارند، از دو روش PCA و PFA استفاده شده است. به این منظور، اطلاعات مربوط به ۹ پارامتر فیزیکی-شیمیایی آب این رودخانه در ۵ ایستگاه پایش کیفی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که پارامترهای کیفی تأثیرگذار و مهم در فصول مختلف سال با یکدیگر یکسان نبوده و متفاوت است. در فصل بهار تنها دو پارامتر هدایت الکتریکی و کدورت آب از اهمیت بالایی برخوردار بودند. در حالی که، تعداد پارامترهای کیفی تأثیرگذار در فصل زمستان به ۵ پارامتر هدایت الکتریکی، نیترات، اسیدیته، درجه حرارت آب و کل مواد جامد محلول آب افزایش می‌یافت. این پارامترها برای فصل تابستان شامل اکسیژن‌خواهی شیمیایی، هدایت الکتریکی و کل مواد محلول آب و برای فصل پاییز عبارت از اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی ۵ روزه، نیترات، اسیدیته و کل مواد محلول آب بوده است. روش ارایه شده در این تحقیق می‌تواند ابزاری مناسب را جهت بررسی تغییرات کیفی منابع آب در دسترس مدیران در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات ثبت شده کیفی در یک سیستم آبی روبرو باشند، قرار دهد.

**کلیدواژه‌ها:** تغییرات فصلی، آنالیز مولفه اصلی، آنالیز فاکتور اصلی، رودخانه کارون، آلودگی آب

## سرآغاز

PCA در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد (Terrado et al., 2006). نتایج تحقیق مذکور حاکی از اجرای موفقیت‌آمیز روش‌های مذکور به منظور ارزیابی کیفی آب‌های سطحی و طراحی ایستگاه‌های نمونه‌برداری بود. همچنین، از روش PCA و PFA برای تعیین پارامترهای کیفی که نقش مهمی در وضعیت سیستم‌های منابع آب دارند نیز استفاده شده است (Noori et al., 2010). از دیگر کاربردهای PCA، می‌توان به ارزیابی نوسانات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه گمتی در هند (Singh et al., 2004) و ارزیابی و مدیریت کیفی آب‌های سطحی (Noori et al., 2010) اشاره نمود. مطالعات ذکر شده سبب بوجود آمدن دیدگاهی ارزشمند در استفاده از روش‌های PCA و PFA در مدیریت محیط‌زیست شده است. به هر حال قابل ذکر است که مطالعات مذکور با استفاده از روش‌های PCA و PFA، به تحلیل اطلاعات کیفیت بدنه‌های آبی در تواترهای زمانی یک ساله پرداخته‌اند که نتایج آن تعیین پارامترهای تأثیرگذار کیفیت آب در تواترهای سالیانه بوده است. این در حالی است که باید توجه نمود که متغیرهای کیفیت آب در طول سال و بخصوص در دوره‌های زمانی فصلی تغییرات زیادی دارند، به‌نحوی که پارامترهای اصلی کیفی در یک فصل می‌توانند متفاوت از فصلی دیگر باشند. بنابراین، رویکرد بهتر در تحلیل اطلاعات کیفیت آب با استفاده از روش‌های PCA و PFA، استفاده از بازه‌های زمانی کوتاه‌تر، مثلاً فصلی است که این مهم در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### • منطقه مورد مطالعه

پتانسیل فراوان رودخانه کارون در تامین 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 مساله وضعیت کمی و کیفی آینده رودخانه را دچار ابهام می‌سازد. از این رو 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 می‌شود. تاکنون، مطالعات زیادی بر روی مسایل کیفی آب

رودخانه کارون به طول بیش از ۴۵۰ کیلومتر، یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های ایران محسوب می‌شود که در مسیر خود آب شرب چندین شهر و روستا و همچنین آب مورد نیاز هزاران هکتار از اراضی کشاورزی و صنایع مختلف را تامین می‌نماید (نوری و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین، با توجه به اهمیت این رودخانه در حیات شهرهای مهم استان خوزستان و همچنین آبیاری اراضی کشاورزی و استفاده‌های صنعتی لزوم بررسی تغییرات کیفی این رودخانه به منظور مدیریت کیفی مناسب آن آشکار می‌شود. در سال‌های اخیر با روشن شدن اهمیت مساله، فعالیت‌های زیادی توسط سازمان‌های ذی‌ربط در جهت احیای رودخانه کارون و جلوگیری از آلودگی بیشتر آن صورت گرفته است. یکی از مهمترین این فعالیت‌ها ایجاد شبکه پایش کیفیت آب در طول مسیر رودخانه می‌باشد. بدین ترتیب که در ایستگاه‌های مشخص شده، متغیرهای کیفی آب به صورت مستمر اندازه‌گیری و پایش می‌شوند. با وجود این که، شبکه پایش یک مرجع با اهمیت در جلوگیری از آلودگی رودخانه است، اما مشکل این است که اطلاعات زیادی توسط این شبکه با مرور زمان تولید می‌شود که تفسیر آنها مشکل است. برای رفع این مشکل، می‌توان از PCA و PFA استفاده نمود تا اطلاعات و پارامترها کاهش یابد و تفسیر بهتری از آنها قابل ارایه باشد. روش‌های PCA و PFA برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر نتایج به دست آمده از آنها در مطالعات کیفی منابع آب به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Shine et al., 1995; Vega et al., 1998). در تحقیقی با استفاده از PCA و PFA اقدام به تعیین ایستگاه‌های اصلی از بین ۸ ایستگاه پایش رودخانه کارون شد. در نهایت نیز نتایج به‌دست آمده از این دو روش، با تحلیل رگرسیونی ساده مورد سنجش قرار گرفت که با یکدیگر همخوانی مناسبی داشتند (نوری و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین، با استفاده از روش‌های آنالیز کلاستر، PCA و رگرسیون خطی چندمتغیره، تجزیه و تحلیل و تفسیر ماتریس اطلاعات حجیم و پیچیده داده‌های کیفی آب که در طول ۳ سال اندازه‌گیری از ۲۵ ایستگاه نمونه‌برداری (ماهانه) آب‌های سطحی در شمال یونان انجام شد (Simeonov et al., 2003). در تحقیقی دیگر نیز برای تفسیر بهتر و مشخص‌سازی منابع آلاینده فلزات سنگین، ترکیبات آلی و دیگر پارامترهای فیزیکی رودخانه‌ای در شمال شرقی اسپانیا از

در فرمول (۱)  $Z_i$  معرف مولفه موردنظر،  $a_{ij}$  ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه و  $X_i$  نیز متغیرهای اولیه می‌باشند. ضرایب مربوط به متغیرهای اولیه از حل معادله زیر به دست می‌آید (Manly, 1986).

$$|R - \lambda I| = 0 \quad (2)$$

در فرمول (۲)  $I$  ماتریس واحد،  $R$  ماتریس همبستگی بین متغیرهای اولیه و  $\lambda$  نیز مقادیر ویژه می‌باشند. از مقادیر ویژه، بردارهای ویژه به دست می‌آیند. برای انجام این دو تکنیک، لازم است مراحل استاندارد نمودن متغیرهای ورودی، محاسبه ماتریس همبستگی برای متغیرهای اولیه، محاسبه مقادیر ویژه  $\lambda$  و بردارهای ویژه مربوطه از ماتریس همبستگی و اجرای چرخش استاندارد Varimax به ترتیب انجام پذیرد. عملاً انجام مرحله آخر، استفاده از چرخش Varimax، به PFA مشهور است (Ouyang, 2005; Terrado et al., 2006; Noori et al., 2012). بنابراین، با توجه به مطالب مذکور، ابتدا ماتریس همبستگی بین متغیرها به طور جداگانه در هر فصل باید تشکیل شود و سپس، با حل معادله (۲)، عملاً اطلاعات لازم شامل مقادیر و بردارهای ویژه مربوطه برای تفسیر نتایج به دست آمده در هر فصل فراهم می‌شود. در این تحقیق، برای انجام روند توضیح داده شده از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

### یافته‌ها

#### • آنالیز مولفه اصلی و آنالیز فاکتور اصلی

در این مرحله از تحقیق، ماتریس همبستگی مرتبه ۹ (معادل تعداد پارامترهای کیفی مورد بررسی) پس از استاندارد کردن پارامترها تشکیل شد. این ماتریس که یک ماتریس متقارن است، برای هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب در ادامه در جداول (۱ تا ۴)، آمده است. از حل دستگاه معادله (۲) برای هر یک از چهار ماتریس به دست آمده، نه مقدار ویژه و به ازای هر مقدار ویژه، نه بردار ویژه حاصل می‌شود. اطلاعات مربوط به حل این ماتریس برای هر چهار فصل در جدول (۵)، آمده است. با توجه به جدول (۵)، مشخص می‌شود که مقدار عددی سه مولفه اول، بیش از ۹۶ درصد از اطلاعات متغیرهای اولیه و شش مولفه دیگر تنها چهار درصد از تغییرات متغیرهای اولیه در هر چهار فصل را بیان می‌کنند. به این دلیل، در ادامه این مقاله بحث بر روی سه مولفه اول خلاصه می‌شود.

رودخانه کارون صورت گرفته است. برای مثال در تحقیقی با پیشنهاد ساختار یک طرح جامع، اقدامات لازم برای کاهش بار آلودگی در سامانه رودخانه‌ای کارون ارائه شد. در این تحقیق، با استفاده از تحلیل‌های چندمعیاره سلسله مراتبی، پروژه‌های کاهش بار آلودگی و مدیریت کیفی رودخانه کارون تعیین شده‌اند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۴). در پروژه‌های پیشنهادی در طرح جامع، بهنگام‌سازی سیستم‌های پایش کیفی موجود به طور ویژه‌ای مورد تأکید قرار گرفته است. در تحقیقی دیگر، با تلفیق مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی کیفی رودخانه، مدلی برای مکانیابی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سیستم‌های پایش کیفی رودخانه‌ها ارائه شد و کارایی مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن متغیر کیفی کل جامدات محلول آب (TDS) (۳) در بخشی از رودخانه کارون مورد ارزیابی قرار گرفت (Karamouz et al., 2004).

### روش پژوهش

در این پژوهش، از اطلاعات ماهانه اندازه‌گیری شده در یک فاصله زمانی ۳ ساله (از ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲) در ۵ ایستگاه پایش کیفی رودخانه کارون شامل بندمیزان، ام‌الطمبر، زرگان، پل پنجم و صابون‌سازی استفاده شده است. ایستگاه‌های مذکور 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 بوده، شامل: اسیدیته (pH)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) (۴)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۵ روزه (BOD<sub>5</sub>) (۵)، اکسیژن محلول (DO) (۶)، نترات (NO<sub>3</sub>)، هدایت الکتریکی (EC) (۷)، TDS، درجه حرارت آب (TEMP) (۸) و کدورت (Tur) (۹) می‌باشند که جز pH و کدورت که به ترتیب دارای واحد استاندارد و NTU (۱۰) هستند، واحد بقیه پارامترها بر حسب میلی‌گرم در لیتر (mg/l) ثبت شده است.

#### • PCA و PFA

با استفاده از PCA و PFA متغیرهای اولیه به مولفه‌های جدید که ترکیبی خطی از آنها هستند، تبدیل می‌شوند (Saavedra et al., 2013). در این روش‌ها، هر مولفه اصلی می‌تواند با دنباله زیر مشخص شود (Manly, 1986):

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (1)$$

جدول (۱): ماتریس همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب در فصل بهار

	BOD <sub>5</sub>	COD	DO	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	Tur	TEMP
BOD <sub>5</sub>	۱/۰۰								
COD	۰/۷۱	۱/۰۰							
DO	-۰/۸۳	-۰/۷۳	۱/۰۰						
EC	۰/۵۵	۰/۳۵	-۰/۳۴	۱/۰۰					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۶۱	۰/۷۰	-۰/۴۵	۰/۱۶	۱/۰۰				
pH	-۰/۶۹	-۰/۳۸	۰/۹۱	-۰/۱۷	-۰/۸۵	۱/۰۰			
TDS	۰/۸۷	۰/۵۱	-۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۶۲	-۰/۷۴	۱/۰۰		
Tur	۰/۶۴	۰/۹۱	-۰/۴۸	۰/۲۱	-۰/۴۰	-۰/۱۳	۰/۳۰	۱/۰۰	
TEMP	۰/۸۸	۰/۴۷	-۰/۸۰	۰/۷۴	۰/۶۱	-۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۲۶	۱/۰۰

جدول (۲): ماتریس همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب در فصل تابستان

	BOD <sub>5</sub>	COD	DO	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	Tur	TEMP
BOD <sub>5</sub>	۱/۰۰								
COD	۰/۷۴	۱/۰۰							
DO	-۰/۵۷	-۰/۲۲	۱/۰۰						
EC	۰/۶۶	۰/۹۳	-۰/۱۱	۱/۰۰					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۵۱	۰/۱۰	-۰/۶۱	۰/۳۰	۱/۰۰				
pH	-۰/۶۶	-۰/۹۳	۰/۲۰	-۰/۷۳	۰/۰۳	۱/۰۰			
TDS	۰/۶۸	۰/۹۴	-۰/۱۰	۱/۰۰	۰/۲۷	-۰/۷۶	۱/۰۰		
Tur	۰/۶۵	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۰۷	-۰/۸۳	-۰/۳۸	۰/۰۹	۱/۰۰	
TEMP	۰/۱۹	۰/۶۸	-۰/۵۱	۰/۷۷	۰/۶۸	-۰/۵۶	۰/۷۶	-۰/۵۱	۱/۰۰

جدول (۳): ماتریس همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب در فصل پاییز

	BOD <sub>5</sub>	COD	DO	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	Tur	TEMP
BOD <sub>5</sub>	۱/۰۰								
COD	۰/۵۰	۱/۰۰							
DO	-۰/۵۶	-۰/۳۸	۱/۰۰						
EC	۰/۱۸	۰/۴۴	-۰/۸۶	۱/۰۰					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۱۹	۰/۲۶	-۰/۴۱	۰/۸۳	۱/۰۰				
pH	۰/۹۶	۰/۲۷	-۰/۵۷	۰/۱۶	-۰/۲۶	۱/۰۰			
TDS	۰/۲۰	۰/۵۰	-۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۱۴	۱/۰۰		
Tur	۰/۹۶	۰/۵۵	-۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۰۸	۰/۹۱	۰/۴۳	۱/۰۰	
TEMP	۰/۸۲	۰/۴۰	-۰/۸۴	۰/۶۰	۰/۱۳	۰/۸۷	۰/۵۵	۰/۸۶	۱/۰۰

اول که بیشترین سهم را در تغییرات مدل در هر فصل دارند، حاکی از سهم بالای DO در تشکیل آنهاست. همچنین، مولفه اول فصول بهار و تابستان تأثیرپذیری به نسبت کمی از پارامتر Tur دارند و این در حالی است که برای دو فصل پاییز و زمستان از اهمیت کمتری نسبت به دیگر پارامترها برخوردار است.

جداول (۶ و ۷) نیز مقادیر بردارهای ویژه برای تشکیل هر مولفه را به ترتیب در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان نشان می‌دهند. قابل ذکر است که جهت اختصار مقادیر ویژه کوچکتر از  $10^{-6}$  به دلیل اهمیت ناچیز آنها حذف شده است. مقایسه ضرایب هر پارامتر (بردارهای ویژه) در جداول (۶ و ۷)، برای مولفه‌های

جدول (۴): ماتریس همبستگی بین متغیرهای کیفیت آب در فصل زمستان

	BOD <sub>5</sub>	COD	DO	EC	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	TDS	Tur	TEMP
BOD <sub>5</sub>	۱/۰۰								
COD	۰/۸۰	۱/۰۰							
DO	-۰/۸۱	-۰/۸۳	۱/۰۰						
EC	۰/۵۶	۰/۶۴	-۰/۸۸	۱/۰۰					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-۰/۴۱	-۰/۴۹	-۰/۱۳	۰/۲۸	۱/۰۰				
pH	۰/۳۶	-۰/۳۳	-۰/۵۸	۰/۸۸	۰/۳۶	۱/۰۰			
TDS	۰/۵۶	۰/۶۴	-۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۲۸	۰/۸۸	۱/۰۰		
Tur	۰/۶۸	-۰/۵۹	-۰/۳۴	-۰/۱۴	-۰/۹۰	-۰/۳۳	-۰/۱۴	۱/۰۰	
TEMP	۰/۸۲	۰/۸۱	-۰/۴۸	۰/۲۲	-۰/۸۵	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۹۱	۱/۰۰

جدول (۵): مشخصات مولفه‌ها در فصول بهار تا زمستان

درصد اطلاعات متغیرهای اولیه				مولفه
فصل زمستان	فصل پاییز	فصل تابستان	فصل بهار	
۵۳/۳۷	۵۹/۶۲	۵۳/۳۷	۶۶/۸۰	۱
۳۶/۶۷	۲۹/۴۶	۳۶/۶۷	۱۶/۰۹	۲
۷/۵۵	۸/۶۸	۷/۵۵	۱۳/۷۴	۳
۲/۴۲	۲/۲۴	۲/۴۲	۳/۳۸	۴
۱/۵۳×۱۰ <sup>-۱۴</sup>	۷/۱۵×۱۰ <sup>-۱۶</sup>	۱/۵۳×۱۰ <sup>-۱۴</sup>	۳/۹۵×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	۵
۶/۴۶×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	.	۶/۴۶×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	۱/۹۷×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	۶
۱/۴۷×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	.	۱/۴۷×۱۰ <sup>-۱۵</sup>	.	۷
۳/۱۳×۱۰ <sup>-۱۶</sup>	.	۳/۱۳×۱۰ <sup>-۱۶</sup>	.	۸
.	.	.	.	۹

جدول (۶): ضرایب هر پارامتر (بردارهای ویژه) جهت تعیین مولفه‌ها در فصول بهار و تابستان

فصل تابستان				فصل بهار				پارامتر
مولفه چهارم	مولفه سوم	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه چهارم	مولفه سوم	مولفه دوم	مولفه اول	
۰/۳۱۷	-۰/۱۴۱	-۰/۲۴۰	۰/۹۰۷	-۰/۳۲۵	۰/۱۶۲	۰/۰۲۸	۰/۹۳۱	BOD <sub>5</sub>
-۰/۳۱۲	-۰/۰۴۹	-۰/۲۰۹	۰/۹۲۵	۰/۱۶۹	۰/۱۷۵	۰/۵۹۲	۰/۷۶۸	COD
۰/۰۳۰	-۰/۳۰۱	-۰/۲۴۴	-۰/۹۲۱	-۰/۰۵۰	۰/۲۹۲	-۰/۰۶۷	-۰/۹۵۲	DO
-۰/۰۶۱	۰/۰۳۰	۰/۵۸۹	۰/۸۰۵	۰/۲۴۶	۰/۶۶۱	-۰/۴۱۵	۰/۵۷۴	EC
۰/۱۲۲	-۰/۲۶۸	۰/۹۰۹	-۰/۲۹۶	۰/۲۷۱	-۰/۴۶۲	۰/۱۷۶	۰/۸۲۶	NO <sub>3</sub>
۰/۱۴۶	۰/۴۰۸	۰/۶۸۵	۰/۵۸۶	۰/۱۰۳	۰/۵۴۰	۰/۲۱۳	-۰/۸۰۸	pH
-۰/۰۶۱	۰/۰۳۰	۰/۵۸۹	۰/۸۰۵	-۰/۰۱۴	۰/۱۵۷	-۰/۳۶۸	۰/۹۱۷	TDS
۰/۱۱۵	-۰/۰۶۷	-۰/۸۷۰	۰/۴۷۴	-۰/۱۳۱	۰/۳۳۹	۰/۷۴۲	۰/۵۶۳	Tur
۰/۰۳۲	۰/۱۵۵	-۰/۶۴۷	۰/۷۴۶	-۰/۰۷۷	۰/۱۰۶	-۰/۳۹۶	۰/۹۰۹	TEMP

با توجه به نتایج مندرج در جداول (۶ و ۷)، اولین مولفه برای مشخص می‌شوند. هر کدام از چهار فصل بهار تا زمستان با معادلات (۳ تا ۶)

$$Z_{1\text{Spring}} = 0.93121X_1 + 0.7681X_2 - 0.95258X_3 + 0.5742X_4 + \quad (3)$$

$$0.8261X_5 - 0.8077X_6 + 0.9165X_7 + 0.5627X_8 + 0.908974X_9$$

$$Z_{1\text{Summer}} = 0.9066X_1 + 0.9254X_2 - 0.9214X_3 + 0.8051X_4 - \quad (4)$$

$$0.2961X_5 - 0.5859X_6 + 0.8051X_7 + 0.4742X_8 + 0.7457X_9$$

$$Z_{1\text{Fall}} = 0.7634X_1 + 0.6019X_2 - 0.9413X_3 + 0.7686X_4 - \quad (5)$$

$$0.4441X_5 - 0.7199X_6 + 0.7800X_7 + 0.8864X_8 + 0.9121X_9$$

$$Z_{1\text{Winter}} = 0.9061X_1 + 0.9256X_2 - 0.9219X_3 + 0.8058X_4 - \quad (6)$$

$$0.2953X_5 + 0.5832X_6 + 0.8058X_7 + 0.4731X_8 + 0.7449X_9$$

جدول (۷): ضرایب هر پارامتر (بردارهای ویژه) جهت تعیین مولفه‌ها در فصل پاییز و زمستان

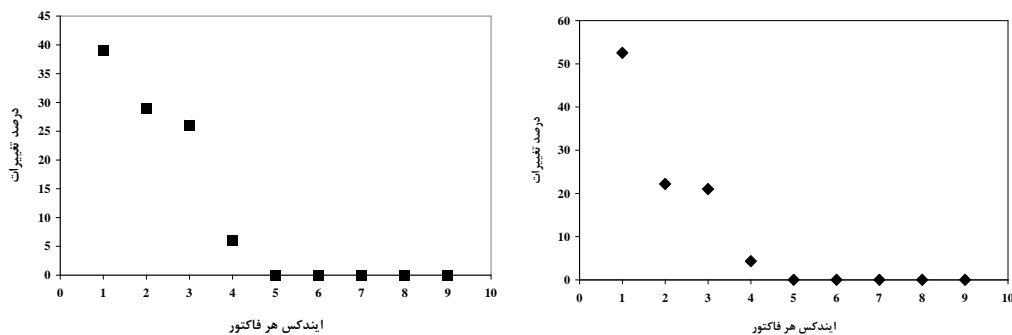
فصل زمستان				فصل پاییز				پارامتر
مولفه چهارم	مولفه سوم	مولفه دوم	مولفه اول	مولفه چهارم	مولفه سوم	مولفه دوم	مولفه اول	
۰/۳۱۳	-۰/۱۵۰	-۰/۲۴۱	۰/۹۰۶	-۰/۱۰۳	۰/۰۹۴	۰/۶۳۰	۰/۷۶۳	BOD <sub>5</sub>
-۰/۳۱۳	-۰/۰۳۷	-۰/۲۰۹	۰/۹۲۵	۰/۰۷۴	۰/۷۹۴	۰/۰۳۴	۰/۶۰۱	COD
۰/۰۲۸	۰/۲۹۸	۰/۲۴۳	-۰/۹۲۱	۰/۰۶۴	۰/۲۴۵	۰/۲۲۲	۰/۹۴۱	DO
-۰/۰۵۸	۰/۰۳۲	۰/۵۸۸	۰/۸۰۵	۰/۱۷۶	۰/۰۶۸	۰/۶۱۱	۰/۷۶۸	EC
۰/۱۱۳	-۰/۲۷۲	۰/۹۰۸	-۰/۲۹۵	۰/۲۲۹	۰/۰۲۹	۰/۸۶۵	۰/۴۴۴	NO <sub>3</sub>
۰/۱۵۲	۰/۳۹۹	۰/۶۹۰	۰/۵۸۳	۰/۰۰۲	۰/۱۷۸	۰/۶۷۰	۰/۷۱۹	pH
۰/۰۵۸	۰/۰۳۲	۰/۵۸۸	۰/۸۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۰۸	۰/۶۲۵	۰/۷۸۰	TDS
۰/۱۱۰	-۰/۰۷۰	-۰/۸۷۱	۰/۴۷۳	۰/۱۹۸	۰/۰۶۰	۰/۴۱۳	۰/۸۸۶	Tur
۰/۰۳۶	۰/۱۵۴	-۰/۶۴۸	۰/۷۴۴	۰/۲۳۹	-۰/۲۰۲	۰/۲۶۴	۰/۹۱۲	TEMP

#### • تعیین پارامترهای اصلی در هر فصل

وضعیت، برای دو پارامتر COD و DO در فصول پاییز و زمستان نیز قابل بررسی می‌باشد. با توجه به مباحث مطرح شده، در این مطالعه برای تعیین پارامترهای اصلی در هر فصل از PFA استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از PFA نیز مشابه PCA مشخص نمود که سه فاکتور اول در هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان بیش از ۹۳ درصد تغییرات را در بر می‌گیرند. شکل‌های (۱ و ۲)، درصد تغییراتی را که تک‌تک فاکتورها در هر یک از فصول سال شامل می‌شوند، را نشان می‌دهند. همچنین، درصد تأثیر پارامترهای کیفی در تشکیل فاکتورها برای هر یک از چهار فصول سال به ترتیب در شکل‌های (۳ تا ۶)، نشان داده شده است. در این مرحله نیز همانند مرحله قبل جهت اختصار از ارایه ضرایب مربوط به

با استفاده از نتایج به دست آمده توسط PCA، نمی‌توان پارامترهای اصلی در هر فصل را مشخص نمود. برای مثال دو پارامتر BOD<sub>5</sub> و DO از مهمترین پارامترهای مولفه اول در فصول بهار و تابستان می‌باشند. با توجه به این مولفه، شاید به نظر رسد که این پارامتر یکی از پارامترهای اصلی در این دو فصل محسوب شود، ولی باید در نظر داشت که مولفه اول تنها حدود ۶۶ و ۵۳ درصد تغییرات کل را به ترتیب در دو فصل بهار و تابستان دربر می‌گیرند و قضاوت صرفاً بر مبنای نتایج به‌دست آمده از آنها می‌تواند گمراه‌کننده باشد. از طرف دیگر با اندکی دقت مشخص می‌شود که این دو پارامتر سهم بسیار اندکی در تشکیل مولفه دوم در فصول بهار و تابستان دارا هستند. این

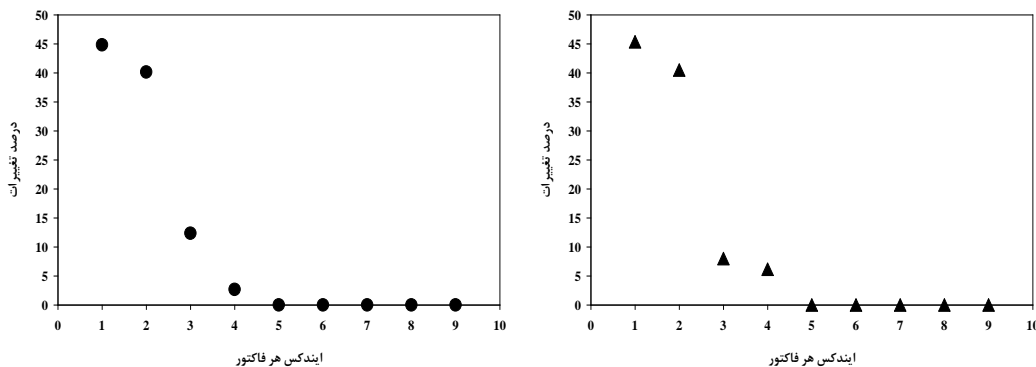
فاکتورهای ۵ تا ۹ که در حالت کلی دارای مقادیری کوچکتر از  $10^{-8}$  بودند، اجتناب شده است.



الف

ب

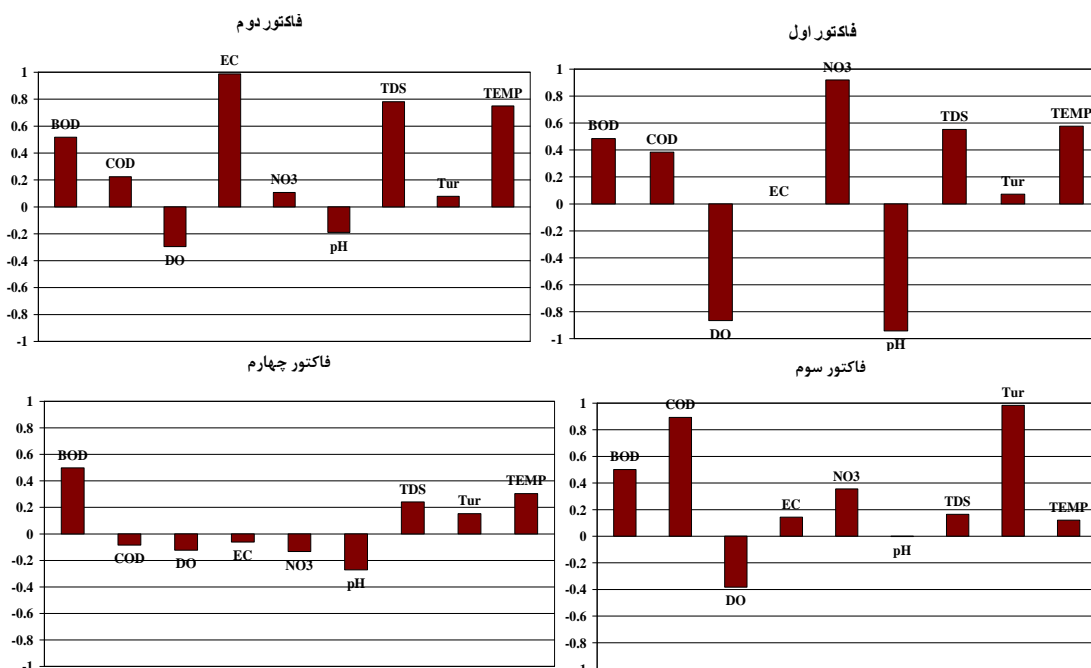
شکل (۱): درصد تغییرات فاکتورها در فصول بهار (الف) و تابستان (ب)



الف

ب

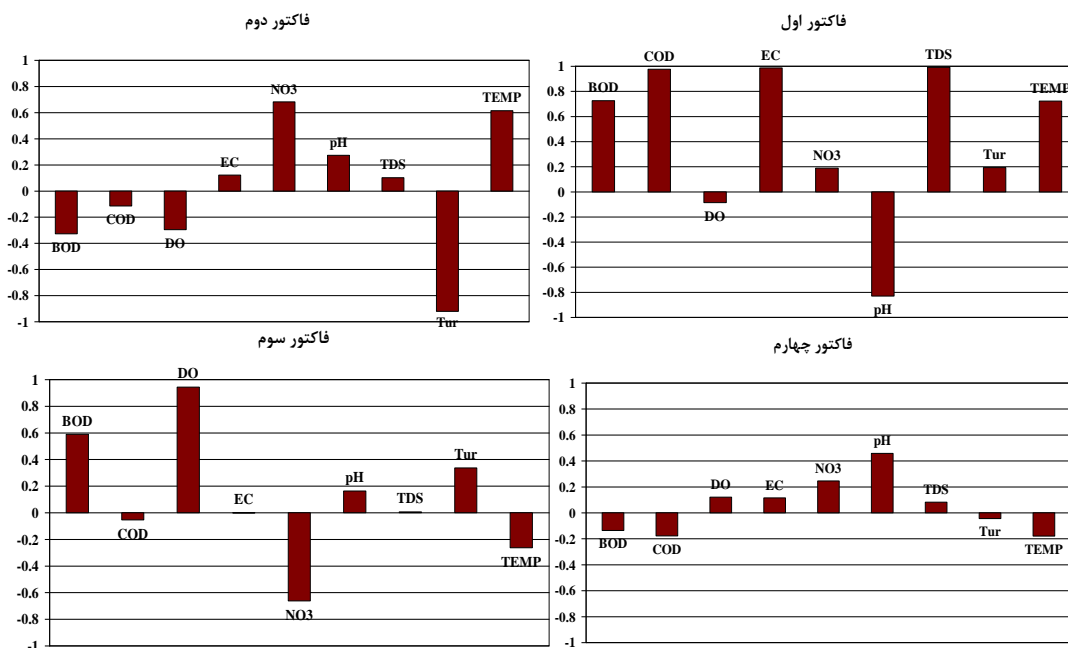
شکل (۲): درصد تغییرات فاکتورها در فصول پاییز (الف) و زمستان (ب)



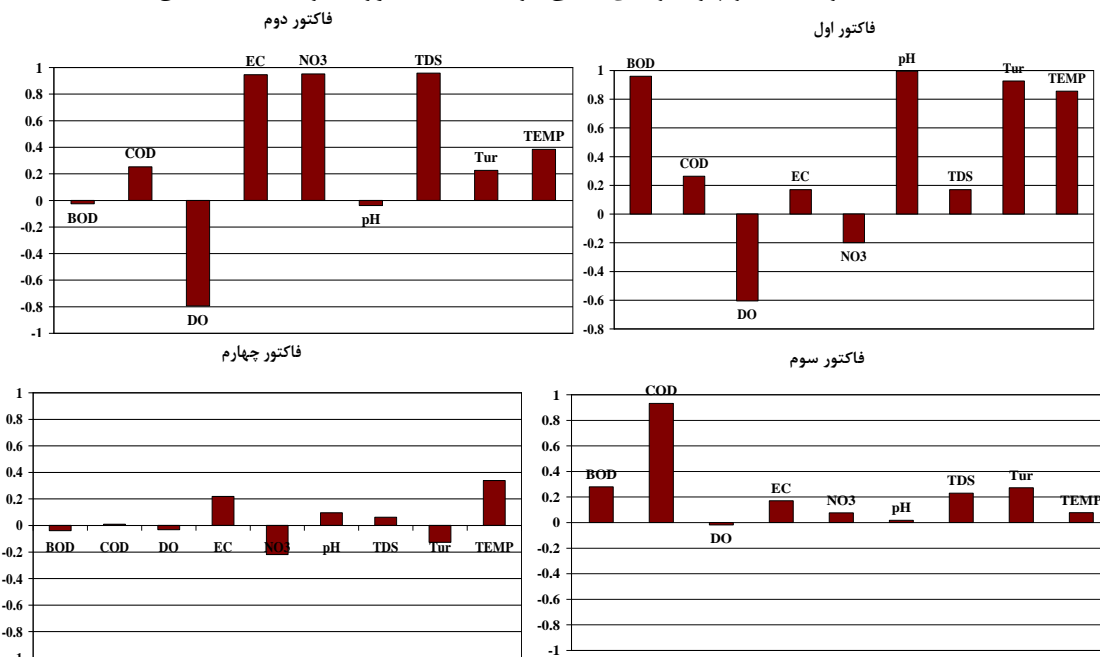
شکل (۳): درصد تأثیر پارامترهای کیفی در تشکیل فاکتورها در فصل بهار

نظر گرفته شده و شکل (۳) مشخص می‌شود که در فصل بهار تنها دو پارامتر EC و Tur به عنوان پارامترهای اصلی می‌باشند. پارامترهای کیفی COD، EC و TDS نیز با توجه به شکل (۴)، به عنوان پارامترهای اصلی در فصل تابستان مطرح هستند. همچنین، از شکل‌های (۵ و ۶) نیز  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{pH}$  و TDS به عنوان پارامترهای اصلی فصل پاییز و EC،  $\text{pH}$ ،  $\text{NO}_3^-$  و TDS به عنوان پارامترهای اصلی فصل زمستان نتیجه می‌شوند.

در این روش، پارامترهای اصلی در هر فصل، پارامترهایی هستند که حداقل یکی از ضرایب آن‌ها که برای تشکیل فاکتور مربوطه استفاده می‌شود، دارای مقدار به نسبت بالایی باشد. تعیین مقدار این ضریب بسته به شرایط تحقیق و پیچیدگی و وسعت منطقه مورد مطالعه متفاوت می‌باشد. در این تحقیق، به دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه و غیرخطی و دینامیک بودن سیستم رودخانه کارون، این معیار معادل با ۰/۹۵ انتخاب شد. با توجه به معیار در

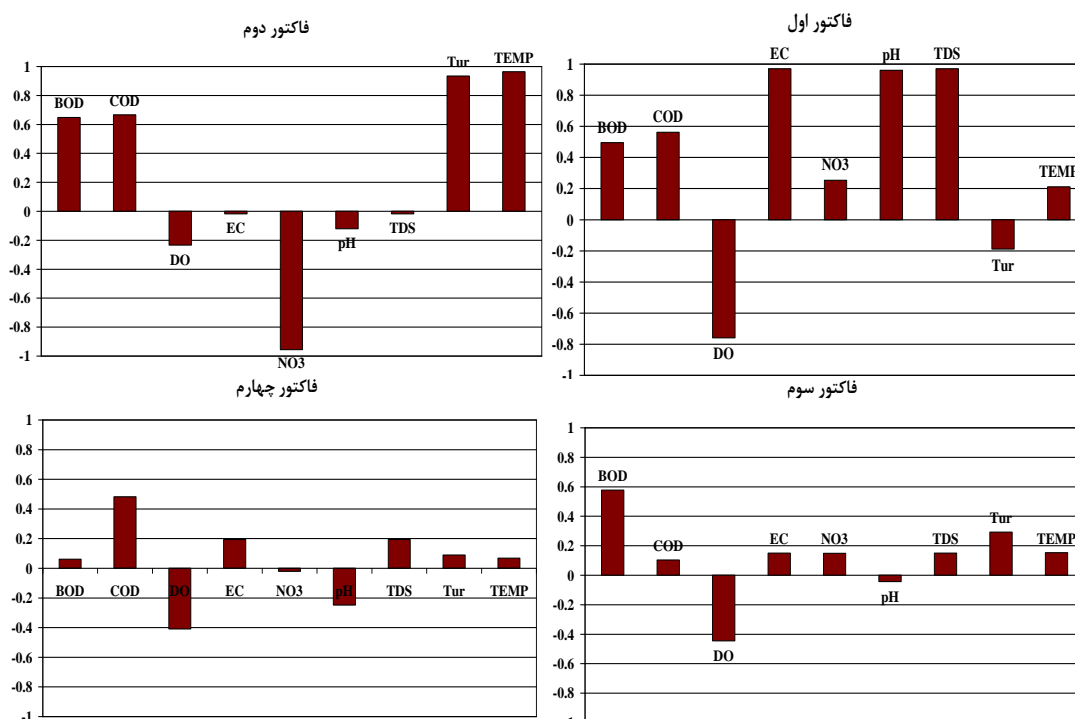


شکل (۴): درصد تأثیر پارامترهای کیفی در تشکیل فاکتورها در فصل تابستان



شکل (۵): درصد تأثیر پارامترهای کیفی در تشکیل فاکتورها در فصل پاییز





شکل (۶): درصد تأثیر پارامترهای کیفی در تشکیل فاکتورها در فصل زمستان

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، جهت مشخص نمودن پارامترهای کیفی که از اهمیت بیشتری در تغییرات فصلی کیفیت آب رودخانه کارون برخوردارند، از روش‌های آماری چند متغیره آنالیز مولفه اصلی و فاکتور اصلی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که پارامترهای کیفی تأثیرگذار و مهم در فصول مختلف سال با یکدیگر متفاوتند. در فصل بهار، تنها پارامترهای هدایت الکتریکی و کدورت آب از اهمیت بالایی برخوردار بوده در حالی که تعداد پارامترهای کیفی تأثیرگذار در فصل تابستان شامل اکسیژن‌خواهی شیمیایی، هدایت الکتریکی آب و کل مواد محلول آب بوده و برای فصل پاییز پارامترهای کیفی اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، نیترات، اسیدیته آب و کل مواد محلول آب می‌باشند. همچنین، در خصوص فصل زمستان پنج پارامتر هدایت الکتریکی، نیترات، اسیدیته، درجه حرارت آب و کل مواد جامد محلول آب با اهمیت‌تر هستند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد روش ارایه شده می‌تواند به عنوان ابزاری مناسب جهت بررسی تغییرات کیفی منابع آب در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات ثبت شده کیفی در یک سیستم آبی مواجه باشیم، مورد استفاده قرار گیرد. به عبارتی، روش‌های پیشنهادی این تحقیق در بهینه نمودن پارامترهای کیفی آب در

ایستگاه‌های پایش در فصول مختلف سال می‌تواند بسیار مفید واقع شود و با مشخص نمودن پارامترهای تأثیرگذار در هر فصل، هزینه‌های زمانی و مالی نمونه‌برداری‌ها را به طور چشمگیری کاهش دهد. برای مثال با توجه به نتایج این تحقیق مشخص می‌شود که از نه پارامتر کیفی مورد بررسی در هر ایستگاه، تنها دو پارامتر در فصل بهار، سه پارامتر در تابستان، چهار پارامتر در پاییز و در نهایت، پنج پارامتر در فصل زمستان از اهمیت بیشتری نسبت به دیگر پارامترها برخوردارند یا به عبارتی پارامترهای بهینه هستند. این مهم می‌تواند به عنوان برجسته‌ترین راهکار مدیریتی کیفیت منابع آب ارایه شده در این پژوهش مورد اشاره قرار گیرد. لازم به ذکر است، با توجه به محدود بودن اطلاعات در دسترس در این تحقیق، تعداد اندک ایستگاه‌ها و پارامترهای مورد بررسی، نتایج به‌دست آمده بایستی با تعداد ایستگاه‌ها و پارامترهای بیشتری مورد بازبینی کاربران قرار گیرد.

### یادداشت‌ها

1. Principal Component Analysis (PCA)
2. Principal Factor Analysis (PFA)
3. Total Dissolved Solids (TDS)
4. Chemical Oxygen Demand (COD)
5. The Five-Day Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>)

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 6. Dissolved Oxygen (DO)        | 9. Turbidity (Tur)                      |
| 7. Electrical Conductivity (EC) | 10. Nephelometric Turbidity Units (NTU) |
| 8. Temperature (TEMP)           |   |

### فهرست منابع

- کارآموز، م.؛ کراچیان، ر.؛ زهرایی، ب. و جعفرزاده، ن. ۱۳۸۴. برنامه‌ریزی برای تدوین طرح‌های جامع کاهش آلودگی سیستم‌های رودخانه‌ای، مطالعه موردی: سیستم رودخانه‌ای کارون، تحقیقات منابع آب ایران، ۱: ۲۸-۱۲.
- نوری، ر.؛ کراچیان، ر.؛ خدادادی دربان، ا. و شکیبایی‌نیا، ا. ۱۳۸۶. ارزیابی اهمیت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیزهای مولفه و فاکتور اصلی، مطالعه موردی: رودخانه کارون، آب و فاضلاب، ۶۳: ۶۱-۶۹.
- Karamouz, M.; Kerachian, R. & Karimi, M. 2004. Water quality monitoring network for river systems: application of genetic algorithm. ASCE World Water and Environmental Resources Congress, Salt Lake City, Utah, USA, pp: 35-46.
- Manly, B.F.J. 1986. Multivariate Statistical Methods: A Primer. 3<sup>rd</sup> ed. London: Chapman & Hall.
- Noori, R.; Karbassi, A.R.; Khakpour, A. & Vesali-Naseh, M.R. 2012. Chemometric analysis of surface water quality data: case study of the Gorganrud River Basin, Iran. Environmental Modeling & Assessment. 17:411-420.
- Noori, R.; Sabahi, M.S.; Karbassi, A.R.; Baghvand, A. & Taati-Zadeh, H. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. Desalination. 260:129-136.
- Ouyang, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. Water Research. 39:2621-2635.
- Saavedra, J.; Cordova, A.; Galvez, L.; Quezada, C. & Navarro, R. 2013. Principal component analysis as an exploration tool for kinetic modeling of food quality: a case study of a dried apple cluster snack. Journal of Food Engineering. 119:229-235.
- Shine, J.P.; Ika, R.V. & Ford, T.E. 1995. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments. Environmental Science & Technology. 29:1781-1788.
- Simeonov, V.; Stratis, J.A.; Samara, C.; Zachariadis, G.; Voutsas, D. & Anthemidis, A. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Research. 2003: 37:4119- 4124.
- Singh, K.P.; Malik, A.; Mohan, D. & 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 Research. 38:3980-3992.
- Terrado, M.; Barcelo, D. & Tauler, R. 2006. Identification and distribution of contamination sources in the Ebro river basin by chemometrics modelling coupled to geographical information systems. Talanta. 70:691-704.
- 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.