

ارایه راه‌کاری جدید برای مدیریت کیفی رودخانه سفیدرود بر مبنای روش تحلیل همبستگی کانونیک

علی اسکندری^{1*}، روح‌اله نوری²، علی رسولی³، محمدرضا وصالی⁴ ناصح

1 مربی گروه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

2 استادیار مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

3 استادیار مهندسی محیط‌زیست، گروه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک

4 کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست منابع آب، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: 1390/8/11؛ تاریخ تصویب: 1393/4/30)

چکیده

آلودگی آب‌های سطحی توسط منابع آلاینده فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، به عنوان یک مشکل فراگیر در سراسر جهان محسوب می‌شود. بنابراین، جهت کاهش آثار منفی منابع آلاینده مذکور، ارایه الگوی مناسب مدیریت کیفیت آب به عنوان اساسی‌ترین گام جهت بهبود وضعیت کیفی سیستم‌های منابع آب است. در این تحقیق، با توجه به این که سفیدرود به عنوان یکی از آلوده‌ترین رودهای کشور بوده و مطالعات انجام شده در این حوضه محدود می‌باشد، اقدام به ارایه چارچوبی مناسب جهت مدیریت کیفی آب این رودخانه بر مبنای روش تحلیل همبستگی کانونیک (CCA) شده است. برای این منظور، اطلاعات به دست آمده از 13 ایستگاه در طول رودخانه از خروجی سد سفیدرود تا محل اتصال آن به دریا، جهت تعیین ارتباط بین پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی در دو دوره تر (اسفندماه) و خشک (شهریور ماه) توسط CCA مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این تحقیق در حالت کلی، حاکی از ارتباط قوی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در هر دو دوره خشک و تر است. بنابراین می‌توان استنباط نمود که منشای هر دو دسته از پارامترهای آلاینده مذکور در هر دو حالت پرآبی و کم‌آبی رودخانه می‌تواند یکسان باشد. با توجه به این نکته که منشای پارامترهای آلاینده شیمیایی در یک حوضه آبریز بیشتر ناشی از منابع آلاینده انسان‌ساخت می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که منشای پارامترهای آلاینده فیزیکی نیز با توجه به نتایج CCA مشابه پارامترهای آلاینده شیمیایی است. بنابراین، بر مبنای نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، سعی در کاهش منابع آلاینده انسان‌ساخت می‌تواند گامی مهم در پایش و بهبود کیفی این رودخانه مهم کشور باشد.

کلید واژه‌ها: تحلیل همبستگی کانونیک، سفیدرود، پارامترهای فیزیکی، پارامترهای شیمیایی، مدیریت کیفیت آب

سرآغاز

منابع آلاینده آب‌های سطحی شامل منابع نقطه‌ای مانند زه‌کش‌های کشاورزی، پساب‌های شهری و صنعتی و منابع گسترده مانند زه‌آب‌های کشاورزی می‌باشند. با توجه به اهمیت آب و آثاری که آلودگی آن می‌تواند بر سلامت انسان و اکوسیستم طبیعی داشته باشد، پایش کیفیت آب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (نوری و همکاران، 1386). یکی از مسایل مهم در پایش کیفیت سیستم‌های منابع آب تشخیص و تفکیک پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی و رابطه بین آنهاست. این امر، از آن سبب مهم می‌باشد که پارامترهای آلاینده فیزیکی به طور معمول ناشی از طبیعت و اقلیم حوضه می‌باشد. اما، پارامترهای آلاینده شیمیایی از منابع آلاینده انسان‌ساخت منشای می‌گیرند. بنابراین، اگر همبستگی بین این دو دسته از پارامترهای آلاینده زیاد باشد، می‌تواند مانند یکدیگر و از منبع یکسانی ناشی شوند. از طرفی، یافتن این ارتباطات با روش‌های آزمایشگاهی مانند روش تفکیک شیمیایی، هزینه‌های سنگینی دربر دارد. یکی از گزینه‌ها برای کاهش هزینه‌ها، استفاده از روش آماری تحلیل همبستگی کانونیک (CCA)⁽¹⁾ است. یافتن ارتباط بین پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی است. در این پژوهش، حوضه آبریز رودخانه سفیدرود واقع در شمال کشور مورد بررسی قرار گرفته است. سفیدرود با 670 کیلومتر طول دومین رود بلند ایران و گسترده‌ترین حوضه آبریز شمال کشور است که از ترکیب دو رود شاهرود و قزل‌اوزن در منجیل تشکیل شده است و با پیمودن عرض استان گیلان در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. تخلیه سالانه به رودخانه سفیدرود، شامل یک هزار تن پساب صنعتی و خانگی، 1840 تن نیترات، 300 تن انواع آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌ها، این رودخانه را جزء آلوده‌ترین رودخانه‌های کشور کرده است. به طوری که، به تنهایی بیش از 5 درصد از بار آلودگی تخلیه شده از سموم شیمیایی و کشاورزی در شمال کشور را به خود اختصاص داده است و کلکسیون از آلودگی‌ها را در مسیر خود به همراه برده و به دریای خزر وارد می‌نماید (رسولی و همکاران، 1390). در این پژوهش، قصد داریم تا با استفاده از CCA، ابتدا ارتباط بین پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی در دو دوره تر و خشک را به صورت جداگانه بررسی کرده و سپس نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه نماییم. هدف، پاسخ به این سوال است که افزایش و یا کاهش حجم آب

جاری به ترتیب در دوره‌های تر و خشک چه تأثیری در ارتباط موجود بین پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی و به تبع آن انتخاب سیستم مدیریت کیفی مناسب برای حوضه آبریز رودخانه سفیدرود خواهد داشت.

CCA، از روش‌های پیشرفته آماری چندمتغیره بوده که ارتباط بین متغیرها و وابستگی آنها به یکدیگر را مورد بررسی قرار می‌دهد. این روش، به وسیله هاتلینگ برای مطالعات اجتماعی توسعه یافت و برای آنالیز ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار گرفت (Hotelling, 1936). بیشترین استفاده از این روش، در مطالعات ژئوفیزیکی به‌ویژه متئورولوژی و اقیانوس‌شناسی بوده است. بارت و پریندورفر با روش CCA دمای هوا در امریکا را از دمای سطح اقیانوس و سطح فشار دریا پیش‌بینی نمودند (Barnett & Preisendorfer, 1987). استاتروپولوس و همکاران، از این روش برای برآورد رابطه بین دو دسته از اطلاعات مربوط به آلودگی هوا و اطلاعات هواشناسی در یک ایستگاه کنترل آلودگی هوا واقع در شهر آتن استفاده نمودند. نتایج تحقیق مذکور ارتباط اصلی بین آلودگی کل و رطوبت هوا در ترکیب با سرعت پایین باد را نتیجه داد (Statheropoulos et al., 1998). لارسن و همکاران، از CCA برای آنالیز رابطه بین امواج و پروفیل‌های برداشت شده از منطقه داک در کارولینای شمالی بهره بردند (Larsen et al., 1999). اواردا و همکاران، از تحلیل همبستگی کانونیک جهت برآورد نوسانات سیل در حوضه‌ای واقع در کانادا استفاده نمودند (Ouarda et al., 2001). برادران گراماتو، از CCA برای تعیین ارتباط بین ذرات معلق ناشی از سوخت خودروها و پارامترهای محیطی مانند ترافیک استفاده کردند (Gramotnev & Gramotnev, 2007). نوری و همکاران، ارتباط بین پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی در حوضه آبریز رودخانه کارون را با استفاده از CCA بررسی نمودند (Noori et al., 2010). رسولی و همکاران، با استفاده از CCA الگوی مناسبی برای مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب ارائه نمودند. برای این منظور رودخانه سفیدرود به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شد و نتایج بیان‌گر منشای انسان‌ساخت پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی بود (رسولی و همکاران، 1390). مطالعات مشابهی نیز در زمینه استفاده از CCA توسط مراجع دیگر گزارش شده است (Graham et al., 1987; Bretherton et al., 1992; Barnston & He, 1996; Shabbar & Barnston, 1996).

مواد و روش‌ها

• محدوده مطالعاتی، اطلاعات مساله و روش پژوهش

تعداد 13 ایستگاه در این پژوهش بین منجیل و دریای خزر مورد مطالعه قرار گرفتند. ایستگاه‌های مذکور بازه مهمی از رودخانه سفیدرود که دارای مشکلات کیفی هستند را پوشش می‌دهند. شکل (1)، محدوده مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب جهت

تجزیه و تحلیل کیفی در این بررسی را نشان می‌دهد. جهت بررسی وضعیت کیفی رودخانه سفیدرود تعداد 6 پارامتر فیزیکی و 4 پارامتر شیمیایی در 13 ایستگاه مختلف از محل سد سفیدرود تا پایاب این رودخانه (محل ورود به دریای خزر) در دو دوره تر (اسفند) و خشک (شهریور) نمونه‌برداری شدند.



شکل (1): موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در مسیر رودخانه سفیدرود

تاریک استفاده شد. برای جلوگیری از بروز اشتباه در تشخیص ظروف نمونه‌برداری نیز برچسب‌های مناسب مورد استفاده قرار گرفتند. در آزمایشگاه نیز کل جامدات محلول (TDS) توسط دستگاه Multimeter؛ کل جامدات معلق (TSS)، نیترات (NO_3^-)، اورتوفسفات (PO_4^{3-}) و آمونیاک (NH_3) توسط دستگاه Spectrophotometer مدل DR2800 و در نهایت کدورت (TURB) توسط دستگاه Spectrophotometer مدل

پارامترهای درجه حرارت (T)، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته آب (pH) در محل و سایر پارامترها پس از انتقال به آزمایشگاه (حداکثر 24 ساعت بعد) اندازه‌گیری شدند. اسیدیته و هدایت الکتریکی آب توسط دستگاه Multimeter و درجه حرارت آب توسط دماسنج اندازه‌گیری شدند. برای نگهداری نمونه‌های از ظروف شیشه‌ای تمیز استفاده شد. همچنین، جهت نگهداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، از محفظه‌ای مناسب، سرد، تمیز و

قابل ذکر است، از آنجایی که داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای توزیع نرمال نبودند، از مقادیر میانه آن‌ها به جای میانگین برای تحلیل بیشتر توسط CCA استفاده شد.

DR890 اندازه‌گیری شدند. در جدول (1)، می‌توان مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای فیزیکی و شیمیایی را که در اسفندماه برداشت شده‌اند، مشاهده نمود. همچنین، مقادیر اندازه‌گیری شده در ماه شهریور در جدول (2)، آورده شده است.

جدول (1): مقادیر اندازه‌گیری شده برای پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی در اسفندماه (آب منطقه‌ای گیلان، 1386)

| شماره ایستگاه | NO ₃ | NH ₃ | PO ₄ ³⁻ | EC | TDS | TSS | pH | T | TURB |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------|--------|--------|-----------|------|------|
| | mg/lit | mg/lit | mg/lit | mho/cm | mg/lit | mg/lit | استاندارد | °C | NTU |
| ST-01 | 4/87 | 0/07 | 0/08 | 1546 | 1056 | 3/2 | 8/42 | 11 | 13 |
| ST-02 | 3/98 | 0 | 0/29 | 1450 | 1014 | 32 | 8/41 | 10/4 | 21 |
| ST-2.1 | 3/98 | 0/012 | 0/29 | 1440 | 1032 | 26/8 | 8/45 | 12 | 21 |
| ST-03 | 5/75 | 0/02 | 0/32 | 1435 | 1146 | 29/9 | 8/5 | 11/8 | 23 |
| ST-04 | 5/31 | 0 | 0/18 | 365 | 368 | 32/3 | 8/66 | 16/1 | 24 |
| ST-4.1 | 4/86 | 0/06 | 0/22 | 945 | 840 | 126/2 | 8/5 | 15/3 | 66 |
| ST-05 | 3/98 | 0/04 | 0/19 | 824 | 694 | 80/5 | 8/5 | 14/6 | 41 |
| ST-06 | 3/54 | 0/06 | 0/15 | 878 | 760 | 137/1 | 8/46 | 15/7 | 45 |
| ST-07 | 2/21 | 0/07 | 0/09 | 1009 | 712 | 200/3 | 8/21 | 18/2 | 62 |
| ST-08 | 1/77 | 0/02 | 0/08 | 1008 | 630 | 13/9 | 8/28 | 19/4 | 10 |
| ST-09 | 2/65 | 0/13 | 0/26 | 908 | 2362 | 68/3 | 8/32 | 16/9 | 43 |
| ST-10 | 2/21 | 0 | 0/2 | 904 | 676 | 38 | 8/23 | 18/5 | 48 |
| ST-11 | 2/21 | 0 | 0/44 | 1001 | 720 | 42 | 8/25 | 18/3 | 17 |

جدول (2): مقادیر اندازه‌گیری شده برای پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی در شهریور ماه (آب منطقه‌ای گیلان، 1386)

| شماره ایستگاه | NO ₃ | NH ₃ | PO ₄ ³⁻ | EC | TDS | TSS | pH | T | TURB |
|---------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------|--------|--------|-----------|------|------|
| | mg/lit | mg/lit | mg/lit | mho/cm | mg/lit | mg/lit | استاندارد | °C | NTU |
| ST-01 | 3/1 | 0/03 | 0/67 | 1420 | 840 | 52/6 | 8/13 | 25/1 | 23 |
| ST-02 | 2/65 | 0/06 | 0/93 | 1415 | 876/6 | 22/7 | 8/13 | 24/8 | 20 |
| ST-2.1 | 3/1 | 0/08 | 0/28 | 1407 | 822 | 23/8 | 8/09 | 24/9 | 16 |
| ST-03 | 3/1 | 0/04 | 0/38 | 1413 | 818 | 48/3 | 8/11 | 24/7 | 27 |
| ST-04 | 3/1 | 0/04 | 0/04 | 1408 | 832 | 68/2 | 8/01 | 24/6 | 24 |
| ST-4.1 | 3/1 | 0/02 | 0/17 | 1392 | 810 | 65/5 | 8/1 | 25/2 | 32 |
| ST-05 | 3/1 | 0/03 | 0/05 | 1371 | 814 | 60/3 | 8/09 | 26/8 | 45 |
| ST-06 | 3/1 | 0/05 | 0/44 | 1370 | 796 | 75 | 8/15 | 27 | 36 |
| ST-07 | 1/33 | 0/09 | 0/41 | 1349 | 776 | 61/5 | 7/94 | 29/4 | 28 |
| ST-08 | 1/33 | 0/01 | 0/22 | 1340 | 794 | 14/8 | 7/86 | 29/3 | 10 |
| ST-09 | 1/33 | 0/23 | 0/09 | 1322 | 786 | 15/5 | 8/01 | 30/4 | 40 |
| ST-10 | 0/88 | 0/01 | 0/18 | 1326 | 756 | 10/1 | 8/03 | 31/2 | 37 |
| ST-11 | 0/44 | 0/012 | 0/05 | 1316 | 764 | 17/3 | 8/13 | 31/3 | 31 |

• تحلیل همبستگی کانونیک

در بسیاری از مطالعات آماری، متغیرها را می‌توان به دو دسته متغیرهای پیش‌بینی کننده (مستقل) و متغیرهای پاسخ (وابسته) طبقه‌بندی نمود. در صورتی که، تعداد متغیرهای پاسخ واحد باشد، به راحتی می‌توان از روش‌هایی مانند رگرسیون خطی چندمتغیره برای تجزیه و تحلیل روابط بین دو دسته متغیرها استفاده نمود. اما، در برخی از موارد تعداد متغیرهای پاسخ بیشتر از یکی است و برای تجزیه و تحلیل روابط بین آن‌ها نمی‌توان از روش‌هایی مانند رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده نمود. در چنین مواردی، CCA به عنوان گزینه‌ای مناسب می‌تواند ارتباط بین این دو گروه از داده‌ها را بررسی نماید. در این روش، هدف رسیدن به دو دسته متغیر استاندارد مانند $U = aX$ و $V = bY$ است که ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند (Gramotnev & Gramotnev, 2007). در این روش، مقادیر a و b طوری انتخاب می‌شوند که U و V بیشترین همبستگی را با یکدیگر داشته باشند. این روش تا به دست آوردن m مجموعه دسته از متغیرهای کانونیک ادامه پیدا می‌کند که m مینیمم تعداد متغیرهای گروه‌های مورد بررسی است (Noori et al., 2010). در این پژوهش، m بیان‌گر تعداد متغیرهای فیزیکی است. قابل ذکر است که بین U و V همبستگی خطی ساده‌ای وجود دارد. در واقع U و V از توزیع نرمال تبعیت کرده و واریانس آن‌ها واحد است. برای یافتن a و b باید ماتریس همبستگی بین متغیرهای X و Y تشکیل شود. فرض کنید که ماتریس همبستگی $(p+q) \times (p+q)$ بین متغیرهای X_1 تا X_p براساس زیر باشد:

$$\begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_p & & Y_1 & Y_2 & \dots & Y_q \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_q \end{matrix} & \left[\begin{array}{cc|cc} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{array} \right] & & & & & & \end{matrix}$$

این ماتریس از روی نمونه‌ای که در آن متغیرها اندازه‌گیری شده‌اند، محاسبه می‌شود. از این ماتریس، یک ماتریس $q \times q$ یعنی $B^{-1}C'A^{-1}C$ را می‌توان محاسبه نمود و مقدار ویژه آن را

با حل معادله زیر محاسبه کرد:

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

در این حالت، مقادیر ویژه $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_r$ عبارت از مربع مقادیر همبستگی بین دسته متغیرهای کانونیک می‌باشند. بردارهای ویژه b_1 تا b_r ضرایب متغیرهای Y را برای دسته متغیرهای کانونیک به دست می‌دهد. ضریب U_i متغیر کانونیک λ_i برای متغیرهای X ، توسط معادله زیر به دست می‌آیند.

$$a_i = A^{-1}Cb_i \quad (2)$$

جهت اطلاعات بیشتر در مورد تئوری روش CCA می‌توان به مرجع مربوطه در این زمینه رجوع نمود (Graham et al., 1987).

یافته‌ها

پس از انجام مراحل ذکر شده در روش تحقیق و به دست آوردن مجموعه‌های U و V ، می‌توان همبستگی بین تک‌تک آن‌ها را محاسبه نمود. در این تحقیق، معادل تعداد متغیرهای وابسته، یعنی متغیرهای آلاینده شیمیایی، دسته‌های کانونیک تشکیل می‌شود. نتایج CCA برای ماه اسفند به طور خلاصه در جدول (3) و برای ماه شهریور در جدول (4)، آمده است. باید توجه نمود که مقدار کوچک P-VALUE بیان‌گر احتمال بالای رد فرض صفر مبنی بر بی‌ارتباط بودن دو دسته پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی است (یعنی دارای ارتباط هستند). با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (3) مربوط به ماه اسفند، بر مبنای نتایج P-VALUE می‌توان دریافت که تنها ضریب همبستگی متغیر کانونیک اول دارای مقدار VALUE-P قابل قبول است و در واقع فرض صفر مبنی بر بی‌اهمیت بودن آن با احتمال 99 درصد رد می‌شود (یعنی دارای اهمیت است). آزمون Square-Chi نیز بیان‌گر عدم اهمیت ضرایب همبستگی متغیرهای کانونیک به جز مقدار ضریب همبستگی متغیر کانونیک اول است. نتایج به دست آمده در ماه شهریور نیز بیان‌گر P-VALUE مناسب برای متغیر کانونیک اول و رد فرض صفر مبنی بر بی‌اهمیت بودن آن با احتمال 98 درصد می‌باشد. همچنین نتایج آزمون Square-Chi در ماه شهریور نیز بر اهمیت بالای ضریب همبستگی متغیر کانونیک اول نسبت به سایر متغیرهای کانونیک تاکید دارد. بنابراین، دلایل کافی برای اثبات وجود رابطه میان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی با توجه به ضرایب متغیرهای

جدول (3): نتایج حاصل از تحلیل همبستگی کانونیک در اسفندماه

| متغیرهای کانونیک | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| همبستگی کانونیک | 0/96 | 0/91 | 0/77 | 0/30 | |
| Chi-Square | 37/5 | 19/2 | 7/1 | 0/7 | |
| درجه آزادی | 20 | 12 | 6 | 2 | |
| P-VALUE | 0/010 | 0/083 | 0/312 | 0/712 | |
| پارامترهای شیمیایی | NO ₃ (mg/L) | 0/217 | 0/494 | 2/067 | -0/347 |
| | NH ₃ (mg/L) | -0/850 | -0/645 | 0/088 | -0/116 |
| | PO ₄ ³⁻ (mg/L) | -0/352 | -0/322 | 0/073 | 0/964 |
| | pH | 0/315 | -1/296 | -1/700 | 0/230 |
| پارامترهای فیزیکی | EC (ms/cm) | -0/346 | 1/232 | 0/723 | -0/109 |
| | TDS (mg/L) | -0/813 | -0/562 | -0/021 | 0/446 |
| | TSS (mg/L) | -0/467 | -0/409 | -0/370 | -0/798 |
| | T (°C) | -0/621 | 1/135 | -0/426 | 0/219 |
| | TURB (NTU) | 0/114 | 0/321 | 0/693 | -0/201 |

جدول (4): نتایج حاصل از تحلیل همبستگی کانونیک در شهریور

| متغیرهای کانونی | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| همبستگی کانونی | 0/98 | 0/84 | 0/62 | 0/39 | |
| Chi-Square | 35/1 | 13/1 | 4/5 | 1/2 | |
| درجه آزادی | 20 | 12 | 6 | 2 | |
| P-VALUE | 0/020 | 0/364 | 0/608 | 0/562 | |
| پارامترهای شیمیایی | NO ₃ (mg/L) | 0/989 | 0/076 | 0/504 | -0/597 |
| | NH ₃ (mg/L) | 0/020 | 0/067 | -0/199 | -1/095 |
| | PO ₄ ³⁻ (mg/L) | -0/099 | -1/049 | -0/147 | -0/168 |
| | pH | 0/088 | 0/335 | -1/031 | 0/474 |
| پارامترهای فیزیکی | EC (ms/cm) | -0/533 | -2/696 | -2/682 | 3/669 |
| | TDS (mg/L) | -0/178 | -1/176 | -0/212 | -1/822 |
| | TSS (mg/L) | 0/009 | -0/465 | 0/665 | -0/031 |
| | T (°C) | -1/695 | -3/752 | -2/176 | 2/005 |
| | TURB (NTU) | 0/267 | 0/454 | -1/145 | -0/065 |

شیمیایی (چهار پارامتر)، دسته‌های کانونیک ایجاد شده است. ضرایب همبستگی دسته‌های کانونیک ایجاد شده در ماه اسفند به ترتیب برابر با 0/96، 0/91، 0/77 و 0/30 می‌باشد. از مقادیر ضریب همبستگی به دست آمده برای دسته‌های کانونیک در ماه اسفند می‌توان به این نتیجه رسید که سه دسته اول از ضریب همبستگی تقریباً بالایی برخوردارند. همچنین، ضرایب همبستگی دسته‌های کانونیک برای شهریور ماه به ترتیب برابر با 0/98، 0/84، 0/62 و 0/39 است. ضرایب همبستگی در این ماه نیز دارای مقادیر قابل توجهی در دو دسته کانونیک اول می‌باشند. این بدان معناست که بین دو دسته پارامترهای آلاینده

کانونیک دوم، سوم و چهارم وجود ندارد. با این حال، هنوز هم همبستگی قابل توجهی برای متغیرهای دوم و سوم در ماه اسفند و متغیر دوم در ماه شهریور مشاهده می‌شود. دلیل این رویداد تعداد کم داده‌های مورد آزمایش می‌باشد که در مراجع معتبر دیگر نیز مورد اشاره قرار گرفته و نمی‌تواند مشکل زیادی در تفسیر نتایج بر مبنای دیگر متغیرهای کانونیک ایجاد نماید (Manly, 1986). بنابراین، در ادامه با توجه به توصیه صورت گرفته به تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از CCA برای دسته متغیرهای کانونیک ایجاد شده می‌پردازیم. از جداول (3 و 4)، می‌توان دریافت که به تعداد متغیرهای وابسته یعنی پارامترهای

بین دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی و در نتیجه منشای یکسان آن‌ها در هر دو دوره تر و خشک باشد. به عبارت دیگر، نتایج این تحقیق مشخص می‌کند که هر دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی از یک منشای سرچشمه می‌گیرند. باید توجه نمود که در یک حوضه آبریز پارامترهای آلاینده شیمیایی مانند نیترات و فسفات بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسان‌ساخت مانند پساب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی بوده است اما، پارامترهای آلاینده فیزیکی می‌توانند هم منشای انسان‌ساخت و هم طبیعی (ناشی از ویژگی‌های فیزیکی حوضه مانند زمین‌شناسی و خاک‌شناسی) داشته باشند. بنابراین، با در نظر گرفتن توضیحات فوق و نتایج به‌دست آمده از تحلیل همبستگی کانونیک، مشخص می‌شود که منشای هر دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی انسان‌ساخت بوده است. زیرا، پارامترهای آلاینده شیمیایی در بیشتر موارد نمی‌توانند منشای فیزیکی داشته باشند. در حالت کلی، نتایج بیانگر این واقعیت هستند که جهت مدیریت کیفی در حوضه رودخانه سفیدرود، توجه اصلی برنامه‌های مدیریتی باید بر منابع آلاینده انسان‌ساخت معطوف شود. از طرفی با توجه به کنترل‌پذیر بودن منابع آلاینده انسان‌ساخت می‌توان امیدوار به بهبود وضعیت کیفی این رودخانه بود. در حالی‌که، اگر نتایج بیان‌گر منشای فیزیکی پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی بودند، به دلیل خارج از کنترل بودن بسیاری از عوامل فیزیکی حوضه از دست انسان، برنامه‌های مدیریتی نیز بازده بسیار اندکی داشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از مدل تحلیل همبستگی کانونیک به بررسی کیفیت آب رودخانه سفیدرود، مقایسه پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی و ارتباط بین آن‌ها پرداخته شد تا با شناخت آن‌ها و منابع تولید آن‌ها، اقدام به ارایه راه حلی مناسب برای مدیریت و بهبود وضعیت کیفی این رودخانه مهم نمود. نتایج تحلیل‌های انجام گرفته بیان‌گر هم‌منشای بودن دو دسته از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی برداشت شده در طول رودخانه در هر دو دوره تر و خشک بود. در ادامه نیز با توجه به این اصل که در یک حوضه آبریز پارامترهای آلاینده شیمیایی بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسان‌ساخت اما پارامترهای آلاینده فیزیکی دارای منشای انسان‌ساخت و طبیعی می‌باشند، انسان‌ساخت بودن

شیمیایی و فیزیکی ارتباط قوی برقرار است. بنابراین، قضاوت بر مبنای سه دسته متغیرهای کانونیک در ماه اسفند و دو دسته از متغیرهای کانونیک در ماه شهریور حاکی از شباهت بالای دو دسته پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی در این تحقیق بوده و می‌تواند مبنای این نتیجه باشد که احتمالاً پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی از منابع یکسانی سرچشمه می‌گیرند. اما با دقت بیشتر می‌توان دریافت که ارتباط بین پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی بر مبنای نتیجه همبستگی کانونیک در دسته چهارم در ماه اسفند و دسته سوم و چهارم در ماه شهریور به دلیل پایین بودن ضریب همبستگی این دسته‌ها بسیار اندک است و بیان‌گر عدم ارتباط بین دو دسته پارامترهای آلاینده شیمیایی و فیزیکی می‌باشد. به هر حال، باید توجه داشت که دسته چهارم از متغیرهای کانونیک در ماه اسفند و دسته سوم و چهارم در ماه شهریور از اهمیت بسیار کمتری در تحلیل فوق نسبت به دسته‌های دیگر برخوردار می‌باشند و در این تحقیق از بحث بیشتر در مورد این دسته‌ها صرف‌نظر می‌شود. با توجه مجدد به جدول (3) مربوط به اسفندماه مشخص می‌شود که برای مثال از بین پارامترهای شیمیایی آلاینده در دسته متغیر کانونیک اول، آمونیاک از ضریب همبستگی بالاتری نسبت به دیگر پارامترها برخوردار است که این واقعیت بیان‌گر تأثیرپذیری بیشتر ترکیب خطی U_1 (دسته پارامترهای شیمیایی) از این متغیر کیفی آب است. همچنین EC و T همین نقش را در ترکیب خطی V_1 (دسته پارامترهای فیزیکی) از دسته متغیر کانونیک اول دارا می‌باشد. در جدول (4) مربوط به داده‌های ماه شهریور نیز شاهد اختلاف زیادی در ضرایب تأثیر دما و EC با سایر آلاینده‌ها هستیم. این رویداد بیانگر تأثیرپذیری بالای ترکیب خطی V_1 ، V_2 و حتی V_3 (دسته‌های پارامترهای فیزیکی) از این متغیرهای کیفی آب است. همچنین نیترات همین نقش را در ترکیب خطی U_1 (دسته پارامترهای شیمیایی) و فسفات برای ترکیب خطی U_2 از دسته متغیر کانونیک اول و دوم دارا می‌باشند. قابل ذکر است که بحثی مشابه را نیز می‌توان در مورد سایر دسته‌های متغیر کانونیک دنبال نمود که در این تحقیق تنها متغیرهای کیفی تأثیرگذار در هر دسته با علامت پررنگ در جداول (3 و 4) مشخص شده‌اند.

بنابراین، نتایج حاصله از این تحقیق می‌تواند بیان‌گر ارتباط قوی

منابع آلاینده انسان ساخت می‌توان امیدوار به بهبود وضعیت کیفی این رودخانه با کنترل منابع انسان ساخت در آینده بود.

یادداشت‌ها

1. Canonical Correlation Analysis (CCA)

منشای هر دو دسته از پارامترهای مذکور نتیجه‌گیری شد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق لازم است جهت مدیریت کیفی مناسب برای بهبود کیفیت آب رودخانه سفیدرود، توجه اصلی برنامه‌های مدیریتی بر منابع آلاینده انسان ساخت معطوف شود. همچنین، از طرفی با توجه به کنترل‌پذیر بودن

فهرست منابع

آب منطقه‌ای گیلان. 1386. مطالعات فرآیند رسوب‌گذاری و رسوب‌زدایی در مخازن سدها و ارایه مدل ریاضی برای پیش‌بینی الگوی رسوب‌گذاری در آنها همراه با مطالعه موردی مخزن سد سفیدرود.

رسولی، ع.؛ نوری، ر.؛ وصالی ناصح، م.ر.؛ نظریه‌ها، م.؛ و کیاقادی، ا. 1390. تعیین ارتباط بین پارامترهای آلاینده فیزیکی و شیمیایی در حوضه آبریز رودخانه سفیدرود بر مبنای روش تحلیل همبستگی کانونیک، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، 8 صفحه.

نوری، ر.؛ کراچیان، ر.؛ خدادادی دربان، ا.؛ و شکیبایی نیا، ا. 1386. ارزیابی اهمیت ایستگاه‌های پایش کیفی رودخانه‌ها با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی و آنالیز فاکتور، مطالعه موردی: رودخانه کارون، مجله آب و فاضلاب، 63: 60-69.

Barnett, T.P. & Preisendorfer, R. 1987. Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States surface air temperatures determined by canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*. 115: 1825-1850.

Barnston, A.G. & He, Y. 1996. Skill of canonical correlation analysis forecasts of 3-month mean surface climate in Hawaii and Alaska. *Journal of Climate*. 9: 2579-2605.

Bretherton, C.S.; Smith, C. & Wallace, J.M. 1992. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *Journal of Climate*. 5: 541-560.

Graham, N.E.; Michaelsen, J. & Barnett, T.P. 1987. An investigation of the El Niño-Southern oscillation cycle with statistical models: 1. predictor field characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92: 14251-14270.

Gramotnev, G. & Gramotnev, D.K. 2007. Multi-channel statistical analysis of combustion aerosols. part 1: canonical correlations and sources of particle modes. *Atmospheric Environment*. 41: 3521-3534.

Hotelling, H. 1936. Relation between two sets of variates. *Biometrika*. 28: 321-329.

Larsen, M.; Capobianco, M. & Hanson, H. 1999. Relationship between beach profiles & wave at duck, North Carolina, determined by CCA. *Journal of Marine Geology*. 163: 275-288.

Manly, B.F.J. 1986. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. London: Chapman & Hall.

Noori, R.; Sahabi, M.S.; Karbasi, A.R.; Baghvand, A. & Taati-Zadeh, H. 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlation and variations in the dataset. *Desalination*. 260: 129-136.

Ouarda, T.B.M.J.; Girard, C.; Cavadias, G.S. & Bobee, B. 2001. Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology*. 254: 157-173.

Shabbar, A. & Barnston, A.G. 1996. Skill of seasonal climate forecasts in Canada using canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*. 124: 2370-2385.

Statheropoulos, M.; Vassiliadis, N. & Pappa, A. 1998. Principal component and canonical correlation analysis for examining air pollution and meteorological data. *Atmospheric Environment*. 32: 1087-1095.