فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست،
سال چهاردهم، شماره ۵۳، زمستان ۹۹

ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی با رویکرد مدل‌سازی خطی تغییرات محیطی در بلندمدت (نمونه مطالعاتی حوزه آبخیز سد امیرکبیر-کرج)

سارا رنجبری[۱]، جمال قدوسی[۲*]، رضا ارجمندی[۳]، امیرحسام حسنی[۴]

۱- دکتری مدیریت زیست‌محیطی، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- دانشیار، عضو هیئت علمی مؤسسه مدیریت خاک و آبخیزداری. تهران، ایران. ja.ghodusi@Gmail.com
۳- دانشیار گروه علوم محیط‌زیست ، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴- استاد تمام، گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

چکیده

اهمیت ویژه رودخانه و سد کرج در برقراری امنیت پایدار تأمین آب شهر تهران و حفظ پایداری اکولوژیک محیط‌زیست آبی و فعالیت‌های انسانی وابسته به آب نقش برجسته و حیاتی را ایفاء می‌نماید. هدف مطالعه اخیر شناسایی منابع آلاینده‌ها کیفیت منابع آب سطحی برای ۸ پارامتر کیفیت آب (غلظت سولفات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، مجموع کل املاح، قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم) در ۱۰ زیرحوضه رودخانه کرج- سد امیرکبیر بود. در این مطالعه اثر تغییرات پارامترهای هیدرولوژی بر منابع آلاینده و همچنین منشأیابی مکانی این آلاینده‌ها و تناسب اقدامات آبخیزداری در طول دوره ۴۰ ساله از ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ با استفاده از تحلیل‌های همبستگی کانونیک و آنالیز مولفه‌های اصلی پرداخته شد. نتایج نشان داد کاربرد تحلیل عاملی در ارزیابی پارامترهای کیفیت آب سطحی از موارد مهم جهت منشأیابی و حذف نویزهای اطلاعاتی می‌باشد متغیرهای کانونی ۱و ۲ با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و ۰/۸۱ دارای توانایی بالقوه بخصوص برای تغییرات متغییرهای محیطی همچون بارندگی (H) و حجم رسوبات سالیانه (W) سبب اثر مستقیم بر سه عنصر کیفیت آب به ترتیب کلسیم، مجموع کل املاح و نسبت کل هیدروژن دارند و رابطه مستقیم برقرار می‌نمایند. یافته‌ها نشان داد که سهم بار آلودگی ورودی از شاخه‌های فرعی رودخانهٔ کرج ناشی از کاربری‌های واقع در آن‌ها در آلودگی مخزن سد بیش از شاخهٔ اصلی رودخانه و کاربری‌های حاشیه آن است. بویژه زیرحوضه‌های ولایت‌رود، شهرستانک و سیرا در مجموع بیش از یک سوم از سهم بار آلودگی ورودی به مخزن را دارند.

کلید واژه: تحلیلی همبستگی، مولفه‌های اصلی، روند زمانی، اقدامات آبخیزداری، سد امیر کبیر

مقدمه

اهمیت ویژه رودخانه و سد کرج در برقراری امنیت پایدار تأمین آب شهر تهران و حفظ پایداری اکولوژیک محیط‌زیست آبی و فعالیت‌های انسانی وابسته به آب نقش برجسته و حیاتی را ایفاء می‌نماید (عطایی و بزازاده، ۱۳۸۶). مطالعات زیادی در زمینه‌های مختلف در این حوضه انجام گردیده است؛ از جمله شناخت هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز سد کرج (سلطان محمدی، ۱۳۷۶) بررسی عناصر و غلظت آلاینده‌ها در آب پشت دریاچه سد امیرکبیر(ثابت رفتار، ۱۳۷۹) و برنامه‌ریزی برای پایش کیفی آب‌های سطحی حوضهٔ آبریز رودخانه کرج (جعفری، ۱۳۸۱) ساماندهی حوضهٔ آبریز سد کرج به منظور جلوگیری از آلودگی آب‌های حوضه (قاسمی زیارانی، ۱۳۸۴) و بررسی آلودگی‌های میکربی رودخانهٔ کرج و سد امیرکبیر(عطایی و بزاز زاده، ۱۳۸۶) و همچنین مطالعه سهم‌بندی بار آلودگی ورودی از زیرحوضه‌ها به مخزن سد امیرکبیر با استفاده از مدل QUAL2K توسط

(هاشمی،۱۳۸۸) اشاره کرد. بنابراین آگاهی از کیفیت آب رودخانه و حوضه آبخیز کرج یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی، توسعه و حفاظت منابع آب محسوب می‌گردد (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۳). ازآنجا که کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر فرآیندهای طبیعی از جمله: بارش، فرسایش و هوازدگی مواد، روابط موجودات زنده، پوشش گیاهی، انحلال مواد آلی و ژئوشیمی و جوی (یودان و همکاران، 2008) و همچنین عوامل انسانی (پوپوتیودورو و همکاران، 2012) قرار دارد حساسیت و تهدید بر روی آب‌های سطحی در مقایسه با سایر اشکال منابع آبی بیشتر است.

باتوجه به رابطه نزدیک سلامت جامعه انسانی و کیفیت آب هر نوع آلاینده‌ای که سبب تغییر کیفیت آب گردد، تهدیدی محسوب می‌گردد. هرچند ناخالصی‌های شیمیایی در منابع آب اغلب وجود دارند، لذا منشأ این ناخالصی‌ها ممکن است ناشی ازتغییر الگوی‌های متداول محیط‌زیست باشد که مدیریت را با چالش‌های شناسایی و منشأ نوع آلاینده روبرو می‌گرداند. بنابراین کنترل کیفیت آب‌های سطحی و ارائه برنامه‌های منعطف با تغییرات زمانی و مکانی جهت پالایش و کنترل این منابع آلاینده‌ها امری ضروری و پیشگیرانه خواهد بود (قربانی و حسینی، ۱۳۹۵).

بیشترین منابع آلاینده آب به‌صورت غیرنقطه‌ای می‌باشد و با تغییر کاربری‌های اراضی در سطوح حوضه احتمال افزایش غلظت و کمیت منابع آب محتمل می‌گردد. لذا یکی از ارکان‌های مدیریت کیفیت و کمیت منابع آبی به صورت مستقیم و غیر مستقیم بهره‌گیری از اقدامات آبخیزداری به‌صورت مکانیکی و بیولوژیکی حوضه‌های آبخیز می‌باشد (اندرو و همکاران، 2020). با توجه به تغییرات اقلیمی و کاربری‌های اراضی تعیین اهمیت و اثر بازدارندگی اقدامات آبخیزداری در طول دوره‌های مدیریتی بلندمدت فرایندی بسیار مهم در کنترل کیفیت منابع آبی سطحی و زیر زمینی است (گاناسوردی و همکاران، 2020).

برای ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی معمولاً از روش‌های مرتبط با آماره‌های چندمتغیره و مدل‌های ریاضی استفاده می‌گردد (ساندو، 2008). در مطالعاتی که روابط و منشأ آلاینده‌ها و تناسب اقدامات مدیریتی به خوبی برای مدیریت قابلیت تمایز ندارد استفاده از روش‌های چندمتغیره مانند تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل توابع تشخیص از طریق کاهش و خوشه‌بندی داده‌ها جهت تحلیل و تصمیم‌گیری مناسب است (وگا و همکاران، 1999؛ هلنا و همکاران، 2000؛ واندیرلین و همکاران، 2001؛ توبوسازیکی و همکاران، 2010).

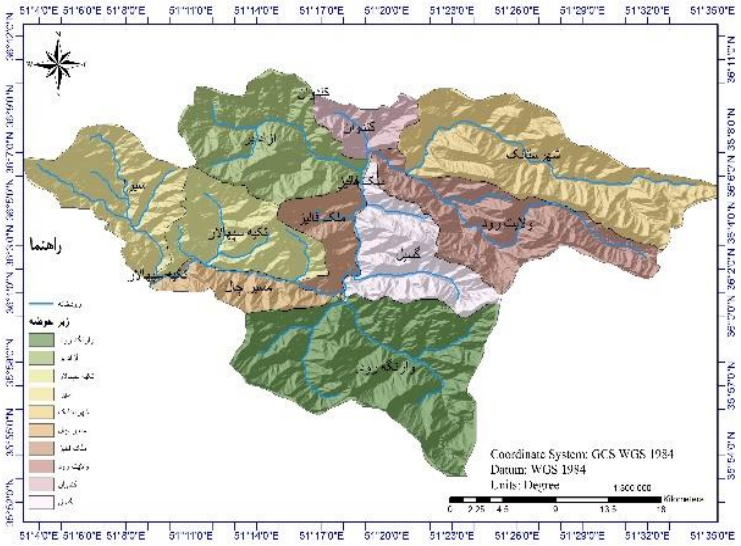
جهت پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب‌های سطحی در نوسانات محیطی و هیدرولوژی بهره‌گیری از مدل‌های بومی و خطی با دقت بالا می‌تواند جایگزین مناسب‌تری برای مدل‌های پیشرفته و فیزیکی باشد. در مقابل اطلاعات منعطف‌تر و دقیق‌تر عمل می‌کند (کایادو و همکاران، 2017).

بنابراین هدف مطالعه اخیر شناسایی منابع آلاینده‌های محیطی کیفیت منابع آب سطحی حوضه رودخانه کرج – سد امیرکبیر و مطالعه اثر تغییرات پارامترهای هیدرولوژی بر منابع آلاینده و همچنین منشأیابی مکانی این آلاینده‌ها و تناسب اقدامات آبخیزداری در طول دوره ۴۰ ساله از ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۸ می‌باشد و سرانجام این تحقیق مدل‌سازی خطی برای پیش‌بینی تغییر غلظت عناصر کیفیت آب حوضه آبخیز با پارامترهای هیدرولوژیکی می‌باشد؛ بنابراین این مطالعه با ایده مدل‌سازی کلیه تغییرات محیطی به‌صورت نوآورانه در قالب زمانی و در پارسل‌های محلی قصد دارد اثر جز به جزء محیط‌زیست را بر کیفیت و کمی منابع آبی یکی از مهم‌ترین حوضه‌های ایران را به روابط ریاضی ساده خطی ترجمه کند، لذا راهکار ساده پایش محیط بصورت نوآوری در تحقیق جایی می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

حوضهٔ آبریز سد کرج با وسعت ۸۴۶/۵۰ کیلومتر مربع در شمال شرقی شهر کرج و جنوب منطقه حفاظت شدهٔ البرز در این حوضه قرار دارد. بر اساس شرایط فیزیوگرافی و توپوگرافی محدودهٔ مطالعاتی به ۱۰ زیرحوضه که پهنه‌بندی مرکزی واقع شده است. حدود ۵٤۰۰۰ هکتار از این منطقه هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز سد کرج را تشکیل می‌دهند، تقسیم شد (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه موردمطالعه.

مواد و روش بررسی

باتوجه به نتیجهٔ بررسی و غربالگری داده‌های تاریخی کیفیت آب رودخانه در چهار دورهٔ زمانی به ترتیب دوره اول (۱۳۴۷- ۱۳۵۸) و دوره دوم (۱۳۵۸-۱۳۷۸) و دوره سوم (۱۳۷۸- ۱۳۸۸) و نهایتاً دوره چهارم (۱۳۸۸-۱۳۹۸) برای هر یک از زیرحوضه‌ها از شرکت آب و فاضلاب تهران متشکل از عناصر غلظت سولفات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، مجموع کل املاح، قابلیت هدایت الکتریکی، و نسبت جذب سدیم (جدول -۱) اخذ گردید که خلاصه آن در (جدول -۲) ارائه گردیده است. جهت آنالیز ویژگی‌های هیدرولوژیکی هر حوضه پارامترهای فرسایش ویژه، و آبدهی حوضه و دبی استفاده گردید.

جدول 1- اختصارات و واحد اندازه‌گیری پارامترهای انتخابی کیفیت آب.

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

Hydrogen ion dissolved	pH	*

فرسایش ویژه

فرسایش ویژه برابر با میزان فرسایش در واحد سطح (کیلومتر مربع) بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال که به آن تخریب مخصوص نیز گفته می‌شود. فرمول کلی ارزیابی فرسایش ویژه در مدل EPM به صورت زیر است:

$$WSP = T.H.Z^{.5}.\pi$$ رابطه (۱)

در معادله WSP میزان فرسایش ویژه سالیانه بر حسب مترمکعب در کیلومتر مربع در سال و T ضریب درجه حرارت است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T = (\frac{t+0.1}{10})^{0.5}$$ رابطه (۲)

در این رابطه T عبارت است از متوسط درجه حرارت سالیانه حوزه آبخیز بر حسب درجه سانتیگراد، H متوسط بارندگی سالیانه بر حسب میلیمتر، Z ضریب شدت فرسایش و معادل 3/14 (عدد پی) است. محاسبه فرسایش ویژه در سطح هر زیر حوزه آبخیز انجام شده و سپس از مجموع آن‌ها مقدار فرسایش ویژه برای کل حوزه آبخیز محاسبه گردید.

آبدهی زیرحوضه‌ها

به منظور برآورد آبدهی و حجم جریان متوسط سالیانه در زیرحوضه‌ها، به دلیل عدم وجود آمار هیدرومتری از روش تجربی جاستین استفاده شد به طوری که با بهره‌گیری از گرادیان سالیانه دما و بارندگی و همچنین تعیین ضریب منطقه‌ای و داده‌های هیدرومتری مربوط به خروجی حوزه آبخیز موردمطالعه، میزان آبدهی متوسط سالیانه زیرحوضه‌ها برای هر یک از دوره‌های زمانی موردنظر محاسبه گردید. شایان ذکر است که در رابطه تجربی جاستین از عوامل توپوگرافی مانند شیب، مساحت، بارندگی و درجه حرارت برای برآورد رواناب سالیانه به شرح رابطه استفاده شده است.

$$R = 0.9\frac{S.K.P^2}{(1.8T+32)}$$ رابطه (۳)

R: ارتفاع رواناب سالیانه (cm)؛ K: ضریب منطقه‌ای، P_{mean}: ارتفاع بارندگی متوسط سالیانه (cm)، T_{mean}: دمای متوسط سالیانه، S : شیب در هزار است که از رابطه بدست می‌آید:

$$S = \Delta H / \sqrt{A}$$ رابطه (۴)

که در آن ΔH: اختلاف ارتفاع حداکثر و حداقل در حوضه (m) و $\sqrt{A}$: مساحت حوضه به (km^2) است.

تحلیل همبستگی کانونیک

تحلیل همبستگی کانونیک روش تحلیل چند متغیره بوده و هدف آن تعیین ارتباط خطی بین متغیرهای چند بعدی است در این روش در نظر گرفتن یک مجموعه از متغیرها به عنوان متغیرهای مستقل و مجموعه دیگر به عنوان متغیر وابسته باشد. روشCCA سیستم مختصاتی را می‌یابد که در آن میزان همبستگی بهینه است. این روش به عنوان ابزاری برای کاهش حجم اطلاعات مورد بررسی در محاسبات، استفاده می‌شود. در تمامی محاسبات متغیرهای اولیه $X_1,X_2,\ldots,X_p$ و $Y_1,Y_2,\ldots,Y_q$ استاندارد فرض شده‌اند و به صورت ضریب همبستگی متعارف با مقادیر بین ۱+ تا ۱- ارائه می‌گردد. این قسمت از تحقیق در نرم‌افزار $Canoco_{4.5}$ به انجام رسید.

رگرسیون چندمتغیره

رگرسیون یا معادله خط برگشت، یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری است که برای سنجش و ارائه مدل ارتباط یک متغیر با یک یا چند متغیر دیگر به کار می‌رود (ریاحی بختیاری و همکاران، 2011) رگرسیون روند آینده یک متغیر ملاک (وابسته) را براساس یک چند متغیر پیشبین

(مستقل) که در گذشته ثبت و ضبط شده‌اند پیش‌بینی می‌نماید (احمدزاده و مهردادی، ۱۳۹۸). در این مطالعه هدف آن است که مدل‌های ساده ای تشکیل شود که به

خوبی پیش بینی را انجام دهد، بنابراین به منظور یافتن روابط بین متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل از مدل رگرسیون چند متغیره خطی استفاده شد. الگوی ساده مدل رگرسیون خطی چند متغیره به صورت رابطه 5 می‌باشد:

رابطه (۵) $Y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+\ldots+b_nX_n$

که در آن Y = :متغیر وابسته، $X_1,X_2,\ldots X_n$ =متغیرهای مستقل، b_0=ضریب ثابت (عرض از مبدا)، $b_1,b_2,\ldots b_n$ = ضرایب رگرسیونی جزئی در رگرسیون چندگانه، چند متغیر مستقل مدلی را می‌سازند که مقدار متغیر وابسته را پیش‌بینی می‌کنند.

جدول 2 – اطلاعات مربوط به پارامترهای کیفیت آب سطحی در ۱۰ ایستگاه

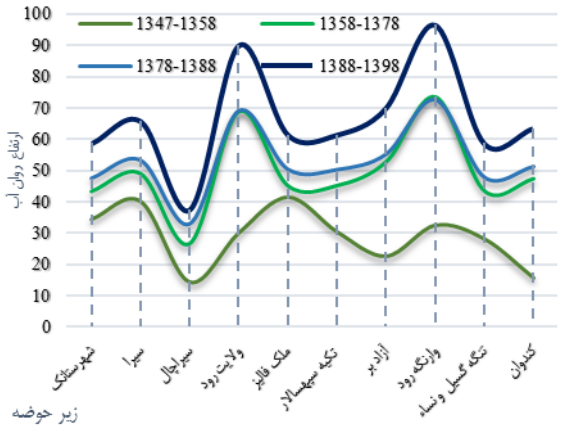
زیر حوزه	دوره زمانی	TDS	EC	T.H	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}
شهرستانک	1347-1358	149.8	265.77	131.22	20.6	39.57	3.74	4.13	0.39
	1358-1378	159.93	264.42	134.37	21.07	40.56	3.8	4.2	0.42
	1378-1388	177.7	272.6	137.82	21.5	41.6	5.4	5.1	0.43
	1388-1398	156.5	382	145.8	26.7	41.9	5.4	25.9	0.7
سیرا	1347-1358	154.7	251.48	124.7	33.1	39.85	3.89	4.73	0.44
	1358-1378	155.34	225.43	128.12	33.71	40.95	4.1	4.9	0.46
	1378-1388	172.6	232.4	131.4	34.4	42	5.4	5.08	0.47
	1388-1398	149	374	141.6	34.9	43.1	5.46	25	0.7
سیراچال	1347-1358	150	264.95	135.4	35.36	43.76	3.82	5.59	0.69
	1358-1378	158.13	261.51	139.17	36.46	44.96	3.9	6.01	0.77
	1378-1388	175.7	269.6	142.74	37.2	46.1	6.2	6.12	0.78
	1388-1398	155.5	388	154.2	39.2	46.1	6.51	27.2	1.3
ولایت رود	1347-1358	152.7	231.5	125.2	19.87	39.2	3.3	5.42	0.31
	1358-1378	157.14	257.63	128.84	19.9	40.66	3.32	5.51	0.33
	1378-1388	174.6	265.6	132.14	20.31	41.7	5.3	5.6	0.35
	1388-1398	155	385.5	139.7	23.5	42.5	5.28	35	0.8

ملک قالیز	1347-1358	154.3	251.41	127.8	27.7	38.3	3.49	4.56	0.38
	1358-1378	153.99	252.59	131.47	28.03	39.29	3.62	4.76	0.41
	1378-1388	171.1	260.4	134.84	28.6	40.3	4.6	4.9	0.45
	1388-1398	142	400	142.4	30.2	41	4.3	24	0.7
تکیه سپهسالار	1347-1358	155.12	285.73	118.4	28.7	41.49	3.82	6.5	0.43
	1358-1378	157.66	259.77	122.4	29.5	42.61	3.94	6.64	0.44
	1378-1388	175.4	267.8	125.54	30.1	43.7	6	6.7	0.48
	1388-1398	168	419.5	133.7	34.2	44.2	6.08	29.9	0.7
آزاد ۲	1347-1358	170.83	271.1	140.21	28.3	42.11	3.74	6.6	0.38
	1358-1378	166.32	325.34	143.81	29.55	43.49	3.88	6.81	0.4
	1378-1388	184.8	335.4	147.5	30.15	44.6	6.1	6.4	0.41
	1388-1398	161	402	155.4	30.5	45.2	6.3	29.7	0.7
وارنگه رود	1347-1358	164.67	281.3	122	17.89	38.9	4.18	4.61	0.31
	1358-1378	145.71	246.38	125.13	18.25	40.17	4.3	4.93	0.33
	1378-1388	161.9	254	128.34	18.62	41.2	5.37	5	0.36
	1388-1398	184.3	435.7	138.1	21.4	41.7	5.5	34.2	0.8
تنگه گسیل و نساء	1347-1358	169.76	267.3	152.95	40.81	46.73	5.5	8.82	0.43
	1358-1378	190.06	320.1	156.88	41.67	47.97	6.61	8.96	0.46
	1378-1388	211.18	330	160.9	42.52	49.2	9.1	9.1	0.47
	1388-1398	209	435.7	163.9	42.8	49.5	9.1	36.2	0.7
کندوان	1347-1358	181.87	282.4	134.26	34.9	43.58	4.42	7	0.34
	1358-1378	168.66	287.12	137.71	36.22	44.73	4.49	7.11	0.35
	1378-1388	187.4	296	141.24	36.96	45.88	6.7	7.22	0.38

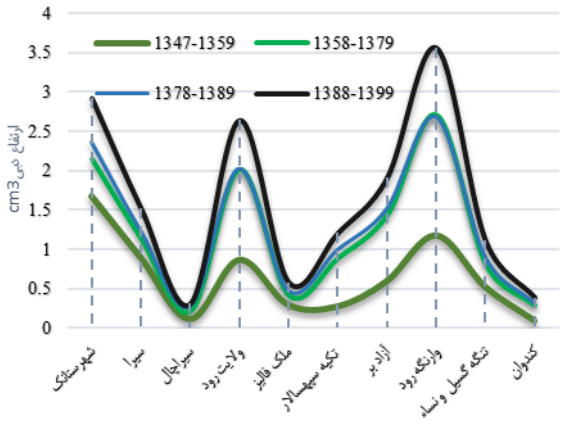
0.8	32.1	6.81	46.3	37.2	147	447	179.8	1388-1398

یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از مطالعه ارتفاع روان آب در زیرحوضه های مورد مطالعه نشان می‌دهد که از مجموع ۲۹۰ سانتی‌متر مجموع ارتفاع روان آب زیرحوضه‌های مختلف در دوره ۱۳۴۷ –۱۳۵۸ به ۶۶۳ سانتی‌متر رسیده است که نشانگر تغییرات عمده‌ای در ساختار حوضه‌ها بوده است. از این میان زیرحوضه ملک فالیز کمترین تغییرات ۴۰ ساله را تجربه کرده است و وانگه رود نیز بیشترین تغییرات را به خود دیده است (شکل ۲– الف و ب).



الف

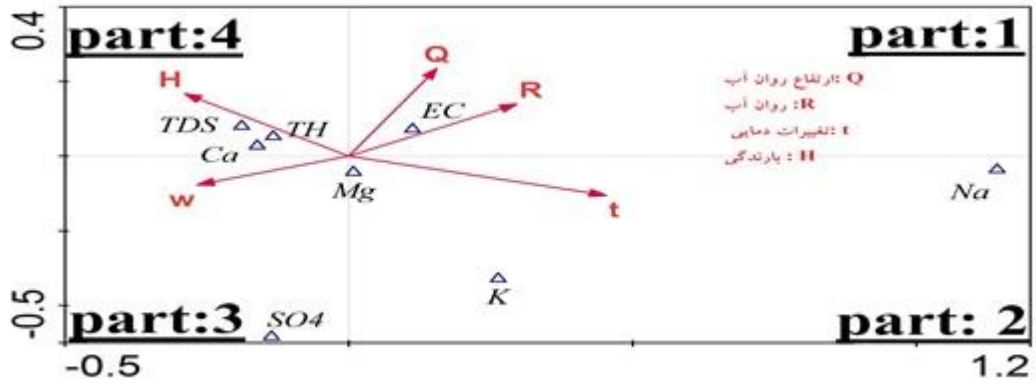


ب

شکل۲– الف: نشان‌دهنده تغییرات روان آب در طی ۴ دوره برای زیرحوضه‌ها؛ ب: نشان‌دهنده تغییرات روان آب در طی ۴ دوره برای زیرحوضه‌ها

با توجه به مطالب فوق به منظور تشخیص رابطه تغییرات پارامترهای کیفیت آب سطحی و تغییرات زمانی ۴ پارامتر محیطی آبخیز (دما، بارش، دبی و ارتفاع روان آب) را از طریق آنالیز CCA برای کل حوضه استفاده گردید. نتایج نشان داد بردار اول با آنالیز معنی‌داری مقدار p=۰/۰۰۲ زیرحوضه‌ها به اثبات می‌رسد (ژوریو و همکاران، ۲۰۲۰).

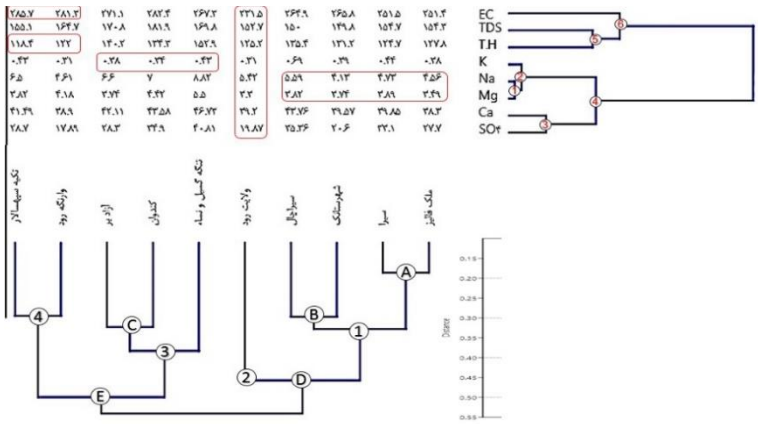
در بخش۱ نمودار (شکل ۳) متغیرهای محیطی (روان آب) R و (ارتفاع روان آب) Q با پارامتر هدایت الکتریسته اثرگذار بوده است و با توجه به ضرایب کانویک در آنالیز تغییرات کوچک در این متغییرها اثرات عمده‌ای بر غلظت این مواد خواهد گذاشت؛ در مقابل در بخش دوم تغییرات دمایی (t) با دو عنصر پتاسیم و سدیم دارای رابطه نشان‌دهنده دسته متغیرهای کانونی ۱و۲ با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و ۰/۸۱ دارای اعتبار کافی بوده و در مقابل مقدار متغیر کانونی ۳و ۴ با ضرایب همبستگی ۰/۵۶ و ۰/۳۴ کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین رابطه معنی‌دار پارامترهای کیفیت آب سطحی و ۴ پارامتر معنی‌داری در کل حوضه است و با توجه به ضرایب بالای این کانویک این متغیر؛ تغییرات اندک دمای اثرات بزرگی بر مقدار این ماده‌ها در روان آب خواهد گذاشت. در بخش ۴ نمودار متغییرهای محیطی همچون بارندگی (H) و حجم رسوبات سالیانه (W) سبب اثر مستقیم بر سه عنصر کیفیت آب به ترتیب کلسیم، مجموع کل املاح و نسبت کل هیدروژن دارند و رابطه مستقیم برقرار می‌نمایند.



شکل ۳- نمودار مولفه‌های اصلی

به منظور منشأیابی منابع تولید عناصر موثر بر کیفیت منابع آب سطحی به داده‌کاوی در سطح زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز خوشه‌بندی (شکل ۴) از طریق خوارزمیک بین گروهی از شاخص شباهت Grow[1] استفاده شد که دارای بیشترین دقت از لحاظ آماره Cophen.Corr با ۰/۸۲ بود. بنابراین از لحاظ ساختاری از ده حوضه اخیر چهار شاخه اصلی در کل حوضه از لحاظ کیفیت منابع آب وجود دارد که شاخه شماره ۱ (ملک فالیز، سیرا، شهرستانک، سیراچال) از لحاظ ماتریس فاصله)۳۵/۰) دو عنصر سدیم و منزیم بیشترین منشأ را در طبقه‌بندی این گروه با ضریب همبستگی ۹۸٪ دارند و به نوعی نشان‌دهنده نوع قلیالیت این حوضه‌ها در طی دوره بوده است. شاخه ۲ زیرحوضه (ولایت‌رود) را در اکثر عناصر کیفیت آب دارای غلظت بالا بوده و شباهت خیلی پایینی با سایر زیرحوضه‌ها دارد و نیاز کنترل کیفیت در این زیرحوضه محسوس است. در کمترین فاصله نیز شاخه ۳ یعنی زیرحوضه‌های (تنگه گسیل، کندوان و آزاد بر) با فاصله ۰/۵۳ از لحاظ غلظت عنصر K دارای شباهت می‌باشد که این عنصر در رابطه با ضریب همبستگی ۹۰٪ قابل تمایز است و نهایتاً شاخه ۴ نشان می‌دهد در فاصله ۰/۲۷ زیرحوضه‌های (وارنگه رود و تکیه سپه‌سالار) از نظر غلظت کلیه عناصر دارای کمترین غلظت بوده و همچنین دو عنصر (EC و T.H) با ضریب همبستگی 50٪ مشخص‌کننده شباهت این زیرحوضه‌ها می‌باشد. ضمن تایید نتایج PCA در این مرحله، مدیریت را ملزوم به اجرای طرح‌های مختلف جهت کنترل منابع آلاینده کیفیت آب‌های سطحی می‌کند.

[1] Similarity Index



شکل 4- نمودار دندوگرام حاصل از بررسی خوشه‌ای

برای بررسی اقدامات آبخیزداری از آنالیز واریانس یکطرفه (جدول ۳) استفاده گردید که نتایج نشان می‌دهد؛ عنصر TDS در طول سه دوره ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۸ اختلاف معنی‌داری با اقدامات مرتع‌داری نداشته است و دارای ضرایب همبستگی به ترتیب (۰/۹۳-، ۰/۸۸-، ۰/۹۳-) در طی زمان با این اقدامات بوده است. این درحالی است که در دوره ۱۳۸۸-۱۳۹۸ این رابطه دیگر اثر اقدامات مرتع‌داری را بر غلظت TDS تأیید نمی‌گردد. در واقع سطح اقدامات مرتع‌داری با کاهش غلظت مجموع کل املاح رابطه قوی داشته که با تغییر در سطح حوضه این رابطه دچار اختلال گردیده و دیگر توانایی کنترل غلظت عنصر یاد شده را ندارد. اقدامات آبخیزداری هرچند در طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۸ رابطه منفی و اختلاف معنی‌دار با غلظت مجموع کل املاح در آب‌های سطحی دارد اما در طی دهه اخیر ۱۳۸۸-۱۳۹۸ ضریب همبستگی ۰/۶۲ را سبب گردیده است بنا بر نتایج بخش مولفه‌های اصلی این عنصر در کیفیت آب‌های سطحی وابسته به بارش و فرسایش می‌باشد.

هدایت الکتریکی در طی دو دوره ۱۳۴۷-۱۳۵۸ و ۱۳۷۸-۱۳۸۸ اختلاف معنی‌داری با اقدامات مرتع‌داری در کل حوضه ندارد و در طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۸ نیز همبستگی منفی قوی که نشان دهنده اهمیت اقدامات مرتع‌داری با کنترل غلظت این عنصر دارد. در مقابل اقدامات آبخیزداری رابطه معنی‌داری با غلظت ضریب هدایت الکتریکی دارند. بیشترین اقدامات صورت گرفته مرتع‌داری در دو زیرحوضه وارنگه رود و تکیه سپهسالار صورت گرفته است (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) به همین منظور ضریب هدایت الکتریکی وابسته به ارتفاع دبی و روان آب می‌باشد که در دو سال ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۸ حجم تغییرات بسیار اندک است و علت همبستگی بالای این دو دوره را قابل اثبات می‌کند (جدول ۳).

نسبت کل هیدروژن در دو دوره (۱۳۴۷-۱۳۵۸ و ۱۳۵۸-۱۳۷۸) مطالعه با توجه به وابستگی این عنصر به بارش، فرسایش و غلظت مجموع کل املاح و تحت اقدامات مرتع‌داری دارای رابطه همبستگی منفی و ضعیف قرار گرفته و به این دلیل اختلاف معنی‌داری را نشان می دهد لذا از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ کنترل و اثر اقدامات مرتع‌داری هرچند دارای همبستگی منفی و قوی می‌شود، اما قابلیت اثبات را در آماره نشان نمی‌دهد. این عنصر با اقدامات آبخیزداری رابطه معنی‌داری را ندارد.

ترکیب SO_4^{-2} رابط معنی‌دار با هیچکدام از اقدامات مرتع‌داری و آبخیزداری نبوده و تنها این عامل بستگی به آلاینده‌های خارجی و ترکیب زمین شناسی دارد. این بخش با تحلیل مولفه اصلی نیز همخوانی لازم را دارد. تنها دوره ۱۳۸۸-۱۳۹۸ اثر اقدامات مرتع‌داری بر عنصر SO_4^{-2} اختلاف معنی‌داری ندارد و ضریب همبستگی منفی و قوی

97 ٪ - را سبب گردیده است؛ که می‌تواند نتایج بلندمدت مدیریت حوضه را به‌صورت تجمع نشان دهد هرچند که مدارک قابل استنادی در این مطالعه اخذ نگردید.

عنصر کلسیم که وابسته به نزولات جوی و فرسایش با حضور سایر عناصر از جمله غلظت مجموع کل املاح در بلند مدت به سبب اقدامات آبخیزداری به تدریج روند اثر را آشکار می‌گرداند که نهایتاً سبب گردیده در دوره ۱۳۸۸–۱۳۹۸ با اقدامات آبخیزداری رابطه معنی‌دار پیدا کند. خود عنصر کلسیم در آب سبب سختی خواهد شد.

عنصر منزیم بر طبق آنالیزهای موجود در دو دوره ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ رابطه معنی‌داری با اقدامات مرتع‌داری دارد لذا رابطه همبستگی این عنصر نیز به‌صورت منفی و قوی ۰/۸۳- و ۰/۷۸- را دارد. هرچند که در یک دوره ۱۳۵۷–۱۳۷۸ اثر معنی دار اقدامات آبخیز داری بر تغییرات غلظت عنصر یاد شده دیده می‌شود اما یک اثر همبستگی خطی مشخص دیده نشد.

عنصر سدیم هرچند با دما رابطه مستقیم دارد و افزایش دما سبب افزایش غلظت عنصر اخیر شده است اما قابل توجه است که اقدامات مرتع‌داری در این نمونه نیز اختلاف معنی‌داری در سه دور ۱۳۵۷تا ۱۳۹۸ ندارد. رابطه همبستگی منفی ۰/۸۳- و ۰/۹۰- درطی سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۸۸ مشخصاً اثر و جهت عملیات مرتع‌داری را بر میزان سدیم نشان می‌دهد ولی در بین سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ این رابطه ۰/۰۶- می‌رسد که نشانه‌ای از تغییرات الگوی حوضه آبخیز و عدم تناسب اقدامات دارد.

نهایتاً پتاسیم در طی دوره هرچند نوع معنی‌داری واریانس آن با اقدامات آبخیزداری و مرتع‌داری زیاد قابل اثبات نمی‌باشد ولی دارای همبستگی مثبت با فعالیت‌های آبخیزداری را گزارش می‌دهد.

جدول 3 – آنالیز واریانس تأثیر اقدامات آبخیزداری نسبت به عناصر مورد پایش کیفیت آب

عناصر	دوره	مرتع داری (Sig)	R	آبخیزداری (Sig)	**R**
TDS	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۰۰	۰/۹۳-	۰/۱۵	۰/۳۱-
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۱	۰/۸۸-	۰/۰۴۸	۰/۱۹-
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۰۰۷	۰/۹۳-	۰/۳۵	۰/۰۳-
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۱۴	۰/۴۷-	۰/۳۵	۰/۶۲
EC	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۰۰	۰/۵۳-	۰/۸۴	۰/۲۰-
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۱۵	۰/۸۳-	۰/۶۳	۰/۰۵
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۰۰	۰/۸۰-	۰/۰۴	۰/۱۴
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۷۳	۰/۳۲-	۰/۳۵	۰/۵۶
T.H	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۰۵	۰/۴۰-	۰/۱۷	۰/۲۴-
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۴	۰/۶۸-	۰/۱۴	۰/۱۲
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۲۴	۰/۸۱-	۰/۲۳	۰/۰۶
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۵۱	۰/۶۱-	۰/۹۲	۰/۰۸-
SO_4^{-2}	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۶۲	۰/۴۰-	۰/۵۲	۰/۱۹
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۲۱	۰/۴۷-	۰/۱۰	۰/۶۴-
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۱۴	۰/۷۶-	۰/۱۵	۰/۶۸-
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۰۰	۰/۹۷-	۰/۹	۰/۰۶-

Ca^{+2}	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۴۳	−۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۰۱
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۶	−۰/۷۵	۰/۴۸	۰/۳
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۰۵	−۰/۸۶	۰/۱۴	۰/۲۵
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۰۳	−۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۳۱
Mg^{+2}	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۰۸	−۰/۷۵	۰/۰۹	−۰/۲۷
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۶	−۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۸
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۰۲	−۰/۸۳	۰/۳۹	۰/۰۲
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۰۲	−۰/۷۸	۰/۸۸	−۰/۴۰
Na^{+}	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۱۸	−۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۱۶
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۳	−۰/۸۳	۰/۳۷	۰/۲۵
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۰۱	−۰/۹۰	۰/۱۹	۰/۱
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۰۰	−۰/۰۶	۰/۹۳	−۰/۷۶
K^{+}	۱۳۴۷–۱۳۵۸	۰/۸۶	−۰/۴	۰/۲۸	−۰/۰۱
	۱۳۵۸–۱۳۷۸	۰/۰۵	−۰/۱۱	۰/۶۳	−۰/۶۱
	۱۳۷۸–۱۳۸۸	۰/۶۱	۰/۱۴	۰/۰۲	−۰/۶۸
	۱۳۸۸–۱۳۹۸	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵۶	−۰/۳۱

در مراحل پیشین عناصر آلاینده کیفیت آب‌های سطحی سد امیرکبیر شناسایی گردید و تأثیر تغییرات محیط بر این آلاینده‌ها روندیابی شد و سپس منشأیابی گردید در نهایت سطوح فعالیت‌ها و اقدامات کنترل کیفی به آنالیز درآمد. بنابراین جهت مدیریت کیفیت آب‌های سطحی حوضه آبخیز و شناسایی نوع و بزرگی متغییرهای محیطی موثر در این مرحله اقدام به مدل‌سازی خطی گردید. آنچه نتایج نشان می‌دهد همچنان غلظت مجموع کل املاح قابلیت مدل‌سازی را در این حوضه ندارد که می‌توان از علل آن به تغییرات عمده کاربری اراضی و تخریب محیط‌زیست نام برد (نجار قابل و همکاران، ۱۳۹۸) اما در مقابل عنصر ضریب هدایت با ضریب ۰/۸۱ رابطه معکوسی با دما، ارتفاع روان آب و بارندگی دارد که در بخش‌های پیشین به اثبات رسید. بدین منظور عناصر موثر در کیفیت آب‌های سطحی سدیم، پتاسیم و SO_4^{-2} پتانسیل مدل‌سازی با متغیرهای محیطی را داشته و به ترتیب دارای صحت‌های ۰/۹۴، ۰/۸۱ و ۰/۶۰ هستند که کنترل کیفی منابع آب سطحی را تحت تأثیر پارامترها محیطی در واحد زمان را می‌توانند نشان دهند.

جدول 3 – مدل‌سازی پارامترهای کیفیت آب سطحی نسبت به متغییرهای محیطی

عنصر	معادله	AICC	**R**
TDS	*	*	*
EC	$EC = -3.87 + (15/39 \times t^{\circ C}) + (0/86 \times R) + (0/25 \times H)$	۲۷۰/۸۱	۰/۸۱
T.H	$T.H = 129/72 + (1/35 \times t^{\circ C})$	۱۸۱/۶۳	۰/۲۸
SO_4^{-2}	$SO_4 = 63/46 - (4/62 \times Q) - (0/04 \times H)$	۱۲۵/۹۵	۰/۶۰
Ca	$Ca = 56/07 - (0/01 \times H)$	۶۹/۵	۰/۳۳
Mg	$Mg = 11/03 - (0/009 \times H)$	۱۷/۷۳	۰/۲۶
Na	$Na = -48/84 + (2/82 \times t^{\circ c}) + (0/058 \times H) + (0/129 \times R) - (0/002 \times W)$	۷۷/۸۳	۰/۹۴
K	$K = 0/71 + (0/032 \times t^{\circ c}) - (0/001 \times H)$	۱۹۰	۰/۸۱

نتیجه‌گیری و بحث

اهمیت مدیریت استراتژیک منابع آبی در مواجه با تغییر اقلیم، کاربری اراضی و تهدیدات انسانی- سیاسی از ضرورت‌های جامعه امروز است. علی‌الخصوص سد امیرکبیر که اهمیت فوق‌العاده در تعمین نیاز آبی میلیون‌ها نفر ساکنان تهران و تأمین نیاز غذایی آن‌ها از لحاظ کشاورزی و آبزی‌پروری را دارد. پایش کیفیت آب‌های سطحی از لحاظ منبع و نوع آلایندگی بسیار حائز اهمیت می‌باشد ضمن اینکه اقداماتی خاص که جهت تثبیت کیفیت و کنترل کمیت آب معمولاً توسط آبخیزداری بکارگرفته می‌شود. لذا هنوز اثر و دامنه این فعالیت‌ها با چالش و عدم قطعیت روبرو می‌باشد (بلاویت و همکاران، 2019). در این پژوهش، جهت درک بهتر وضعیت منابع آب سطحی در سطح حوضه آبخیز موردمطالعه، از داده‌های ۸ پارامتر کیفی آب سطحی در ۱۰ زیرحوضه طی دوره آماری ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۸ برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی این پارامترها استفاده شد.

قابلیت هدایت الکتریکی(EC) ، وابسته به دبی رودخانه‌ها دارد که با نتایج (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) تطابق دارد. باتوجه به دبی و ارتفاع پایین روان آب در دو حوضه وارنگه رود و تکیه سپه‌سالار سطح معنی‌داری پیدا می‌کند. هدایت الکتریکی به‌صورت مستقیم در حوضه مورد نظر رابطه معنی‌دار و مشخصی با سایر عناصر برطبق آنالیز PCA نشان نداد که با نتایج (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸) قابلیت تطابق ندارد. نتایج ارزیابی‌ها از تغییرات هدایت الکتریکی نشان می‌دهد اگر قرار باشد کنترل این پارامتر کیفی آب سطحی صورت گیرد بهره‌گیری از مرتع‌داری بهترین گزینه خواهد بود که با نتایج (بوش و هایلوت، ۱۹۸۹) تطابق دارد و مشترکاً نیز نظر به مدیریت کمیت و کیفیت اقدام باید فراگیر و متناسب باشد. در طول زمان دو دوره مشخص ۱۳۵۸-۱۳۷۸ و ۱۳۸۸-۱۳۹۸ نشان می‌دهد که کفایت کافی در اقدامات دیده نمی‌شود (بورگی و پاپابوزیفی، ۱۹۷۶). مدل‌سازی خطی حوضه نیز نشان می‌دهد که اثر دما به سبب تبخیر و تعرق تغلیظ بیشتر هدایت الکتریکی خواهد شد و در مقابل روان‌آب و بارش اثر بیشتری دارد. نسبت کل هیدروژن و ترکیب SO_4^{-2} ، کلسیم و منزیم همگی تابع و تحت تأثیر غلظت مواد محلول در آب هستند و در طی دوره‌های بلندمدت نوع مدیریت آبخیزداری بخصوص مرتع‌داری سبب گردیده است که نوسانات معنی‌داری در کاهش و تعدیل در طی دوره‌های مطالعاتی داشته باشد که به نوعی این اقدامات سبب ایجاد حالت‌های مستقل از عوامل محیطی گردیده است (ایلشورباخی و همکاران، 1989). در مدل‌سازی کیفیت آب‌های سطحی بارش یک پدیده مشترک با اثر منفی در همه عناصر یاد شده می‌باشد که بنابر نتایج (رندی و همکاران، 2009) که در حوضه Hopland آمریکا مطالعه کرده بودند ضمن همخوانی نشان‌دهنده این مهم است که حضور پوشش گیاهی و کاربری اراضی به نحو چشمگیری در کنترل کیفیت آب‌های سطحی معنی‌دار می‌باشد و این مراتع وابسته به بارش هستند که در این مطالعه نیز به اثبات رسید.

کاربرد تحلیل عاملی در ارزیابی پارامترهای کیفیت آب سطحی از موارد مهم جهت منشأیابی و حذف نویزهای اطلاعاتی می‌باشد متغیرهای کانونی ۱و۲ با ضریب همبستگی ۰/۹۸ و ۰/۸۱ دارای توانایی بالقوه بخصوص برای تغییرات متغیرهای محیطی همچون بارندگی (H) و حجم رسوبات سالیانه (W) سبب اثر مستقیم بر سه عنصر کیفیت آب به ترتیب کلسیم، مجموع کل املاح و نسبت کل هیدروژن دارند و رابطه مستقیم برقرار می‌نمایند و با نتایج مطالعه کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه Yun-Lin تایوان که (چن و همکاران، ۲۰۱۹) تحلیل عاملی را بکار گرفته مدلی دو عاملی پیشنهاد دادند که بیشتر از ۷۷/۱ درصد از مجموع تغییرات کیفی آب زیرزمینی، عامل۱ (شوری آب)، شامل غلظتهای K^+، Mg^{+2}، EC، TDS، Cl^- و عامل ۲ (آلودگی آرسنیک) شامل غلظت‌های Na، SO_4^{-2}،

TOC،ALK و Arsenic قابل مقایسه می‌باشد. تحلیل عاملی و خوشه‌بندی جهت استخراج عامل‌های اصلی تغییرات هیدروشیمیایی آب سطحی و منشأ مکانی این حوضه‌ها در Ankwaso توسط (شادوو، 2003) نشان‌داد پارامترهای PO_4،K^+ ،EC ، pH ،TDS،HCO_3^- ،Na^+ ، SiO_2، به عنوان مهمترین پارامترهای مؤثر ۱۹ درصد مجموع کل واریانس از حوضه هدف بودند و براساس تفکیک منشأ در آلایندگی حوضه‌های که از هوازدگی، فعالیت‌های کشاورزی، تغییرات اقلیمی ناشی می‌شود. با توجه به نتایج پژوهش تحلیل عاملی/تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حوزه آبخیز رودخانه ارس توسط (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۸)، میتوان آلودگی‌های آلی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و باغی، فاضلاب‌های خانگی، هوازدگی و تحلیل مواد آلی را به عنوان مهمترین دلایل تغییرات در پارامترهای کیفیت آب سطحی در این حوضه آبخیز ذکر کرد. که در طول چهار دوره مطالعاتی بسیار آشکار و مشخص گردید.

همان طور که (چانگ، 2004؛ کارنی، 2009) اشاره کرده‌اند، افزایش فعالیت‌های انسانی موجب افزایش سهم زیرحوضه‌ها از بارآلودگی در حوضه آبخیز سد امیرکبیر شده است و نتایج نشان می‌دهد ورای فاصله خروجی زیرحوضه که می‌تواند موجب کاهش سهم بار آلودگی به دلیل فرایندهای خودپالایی شود، با افزایش سطح فعالیت‌های انسانی سهم بارآلودگی افزایش می‌یابد. بویژه نتایج به دست آمده از مقایسه سطح فعالیت‌های آبخیزداری که در دوره چهارم عملاً دیگر پاسخگوی تغییرات نیست و توانایی کنترل کیفی توسط چنین اقدامات غیرمستقیم میسر نمی‌باشد با نتایج به دست آمده از(هاشمی، 1387) در زمینهٔ تأثیر کاربری‌های شهری/مسکونی و کشاورزی/دامداری در همین محدودهٔ مطالعاتی همخوانی دارد. علاوه بر این، یافته‌ها نشان داد که سهم بار آلودگی ورودی از شاخه‌های فرعی رودخانهٔ کرج ناشی از کاربری‌های واقع در آن‌ها در آلودگی مخزن سد بیش از شاخهٔ اصلی رودخانه و کاربری‌های حاشیه آن است. بویژه زیرحوضه‌های ولایت‌رود، شهرستانک و سیرا در مجموع بیش از یک سوم از سهم بار آلودگی ورودی به مخزن را دارند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ورای برآوردهای اولیه در مورد اهمیت کاربری‌های واقع در حاشیهٔ شاخهٔ اصلی رودخانه و اقدامات انجام شده بر اساس آن، توجه به بار آلودگی شاخه‌های فرعی و برنامه‌ریزی برای کنترل و کاهش آن می‌باید در اولویت قرار گیرد.

قدردانی

باتشکر فراوان از همکاری سازمان آب و فاضلاب استان تهران جهت همکاری و ارائه مشاوره در جمع آوری داده‌ها و اطلاعات پایشی حوضه سد امیرکبیر که نقش برجسته‌ای در این پژوهش داشت.

منابع

Abrishamchi E, Tajrishi M, Norouzian K (2002), River Quality Zoning by Fuzzy Classification Technique: A Case Study of Zayandehrood River. Two Independence Quarterly. 1:55-66

Ahmadzadeh T, Mehrdadi A (2019), Performance Evaluation of Artificial Neural Network Models and Multiple Regression in Water Soluble Organic Carbon Assessment. Journal of Environmental Science and Technology, 21 (1): 33-44(In Persian)

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

Bazazzadeh R, Atai F (2008), Investigation of Microbial Contamination of Karaj River and Amir Kabir Dam. Journal of Water Engineering10:44-51

Blavet D, De Noni G, Le Bissonnais Y, Leonard M, Maillo L, Laurent J, Roose E (2009), Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. Soil and Tillage Research, 106(1): 124-136

Bosch J, Hewlett J (1982), A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of hydrology, 55(1-4): 3-23

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

Qasemi Ziyari A (2005), Organizing the Karaj Dam Basin to prevent water pollution in the basin, MSc Thesis, Environmental Education Planning and Management, University of Tehran, Faculty of Environment

Riahi Bakhtiari M, Salman Mahini A, Gholamali Fard M (2016), Modeling the Relationship between Surface Water Quality and Landscape Measurements Using Neuro-Fuzzy Inference System (Case Study: Mazandaran Province). Journal of Water and Wastewater, 27 (1), 81-92 (In Persian)

Sabtrftar A (2001), Measurement and Evaluation of Nitrate, Nitrate and Ammonia Characteristics in Water Behind Amirkabir Dam. MSc Thesis, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, Tehran-North Branch (In Persian)

Soltani Sh, Ghahroudi S (2019), Evaluation of Surface Water Quality Parameters Using Multivariate Statistical Techniques (Case Study: Aras River Watershed). Iranian Water Resources Research, 15 (2):319-328(In Persian)

Stednick J (1996), Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. Journal of hydrology, 176(1-4): 79-95

Sultan Mohammadi A (1997), Hydrology of Karaj River Basin. MSc, Department of Natural Geography, Islamic Azad University, Central Tehran Branch (In Persian)

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

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

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

Yidana S. M, Ophori D, Banoeng-Yakubo B (2008), A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data-The Ankobra Basin, Ghana. Journal of Environmental Management, 86(1), 80-87

Burgy R (1968), Hydroiogical Studies and Watershed Management on Brushlands. Annu Rep No 8 to Calif Dept Water Resources and UC Water Resources Ctr.22

Burgy R, PapaziØriou Z(1971), Effects of vegetation management on slope stability, Hopland Experimental Watershed II at Hopland Field Sta. Abstr for Water Resources Ctr Adv Council Meeting. 1971a. 10

Carney E (2009), Relative influence of lake age and watershed land use on tropic state and water quality of artificial lakes in Kansas. J. Lake Reserve. Manage. 25: 199-207

Chang,H (2004), Water quality impacts of climate and land use changes on Southeastern Pennsylvania. Theprofessional Geographer. 56: 240-257

Gunnarsdottir M, Gardarsson S, Figueras M, Puigdomènech C, Juárez R, Saucedo G, Pagaling E (2020), Water safety plan enhancements with improved drinking water quality detection techniques. Science of the Total Environment, 698, 134185

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

Jaafari A (2002). Evaluation and Presentation of an Appropriate Plan for Surface Water Quality Monitoring Case Study: Karaj River Basin Upstream of Amirkabir Dam, MSc Thesis, Faculty of Environment, University of Tehran

Jerves-Cobo R, Forio M, Lock K, Van Butsel J, Pauta G, Cisneros F,Goethals P (2020), Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis. Ecological Indicators, 108, 105769.

Kannela PR, Leea s, Lee Y (2008), Assessment of spatial–temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal. Journal of Environmental Management 86:595-604

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

Olowe K,Kumarasamy M (2018), Assessment of Some Existing Water Quality Models. Nature Environment and Pollution Technology, 17(3): 939-948.

فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست،
سال چهاردهم، شماره ۵۳، زمستان ۹۹

Surface Water Quality Assessment Using Linear Modeling Approach to Long-Term Environmental Changes (Case Study of Amirkabir-Karaj Dam Basin)

Sara Ranjbari[1] , Jamal Ghodusi[2]*, Reza Arjmandi[3], Amirhessam Hassani[4]

1-Ph.D. of Environmental Management, Department of Environmental Science, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2-Associate Professor, Faculty Member of Soil and Watershed Management Institute. Tehran, Iran.
3-Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4-Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Abstract:

The special importance of the Karaj River and Dam in the establishment of sustainable security of water supply in Tehran and maintaining the ecological stability of the aquatic environment and human activities related to water play a prominent and vital role. The aim of this study was to identify sources of pollutants. Quality of surface water resources for 8 water quality parameters (sulfate, chlorine, calcium, magnesium, sodium, potassium, total solute, electrical conductivity and sodium uptake ratio) in 10 Karaj-Amir dam dams It was great. In this study, the effect of changes in hydrological parameters on pollutant sources as well as the spatial origin of these pollutants and the appropriateness of watershed management measures during the 40-year period from 1347 to 1398 were investigated using Convik correlation analysis and principal component analysis. The results showed that the application of factor analysis in evaluating surface water quality parameters is one of the important cases for source and elimination of information noise. Focal variables 1 and 2 with correlation coefficients of 0.98 and 0.81 have potential ability especially for changes in environmental variables such as rainfall (H) and The volume of annual sediments (W) has a direct effect on the three elements of water quality, namely calcium, total salts and total hydrogen ratio, respectively, and they establish a direct relationship. The results showed that the share of incoming pollution load from the tributaries of the Karaj River due to the uses located in them in the pollution of the dam reservoir is more than the main tributary of the river and its uses. In particular, the sub-basins of Velayatrud, Shahrestanak and Sira have a total of more than one third of the share of pollution entering the reservoir.

Keyword: Correlation Analysis, Main Components, Time Trend, Watershed Activities, Amir Kabir Dam