ارزیابی کیفیت آب سطحی حوزه آبریز هراز- قره‌سو با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره

کاظم نصرتی[۱*]- خه‌بات درفشی[۲]- سعیده قره‌چاهی[۲]- خلیل رحیمی[۲]

۱- استادیار دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۸ /۱۳۹۰/۵

چکیده

تکنیک‌های آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تحلیل عاملی و تحلیل توابع تشخیص برای ارزیابی تغییرات مکانی و تحلیل داده‌های ۱۳ پارامتر کیفیت آب سطحی در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری حوزه آبریز رودخانه هراز- قره‌سو در دوره آماری به مدت ۵ سال مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی بر اساس پارامترهای کیفیت آب سطحی، ۲۲ ایستگاه مورد مطالعه را در سه خوشه همگن طبقه‌بندی نمود. به منظور شناخت مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در هر منطقه همگن از تحلیل عاملی بر اساس روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج نشان داد که ۲، ۳ و ۲ عامل به عنوان مهم-ترین پارامترهای تغییر کیفیت آب با مجموع واریانس ۸۷/۲۷ و ۸۷/۸۶ و ۹۱/۵۸ به ترتیب در خوشه‌های همگن ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. عامل‌های بدست آمده از تحلیل عاملی نشان می‌دهد که پارامترهای مؤثر بر تغییرات کیفیت آب عمدتاً با هوازدگی و شست‌وشوی نمک‌های تبخیری (طبیعی)، آلودگی‌های آلی ناشی از فاضلاب‌های خانگی، تغییرات کاربری اراضی، استفاده از حاصلخیزکننده‌ها و کودهای شیمیایی، مرتبط می-باشند. نتایج تحلیل توابع تشخیص نشان داد در روش استاندارد تمامی پارامترها (۱۳ پارامتر)، در روش پیشرونده تمامی پارامترها به جز عامل TDS و در روش پسرونده دو پارامتر Cl^- و SO_4^{2-} به عنوان عامل-های مؤثر در کیفیت آب سطحی رودخانه هراز- قره‌سو شناخته شد. بنابراین، این پژوهش کارایی تکنیک‌های آماری چندمتغیره را برای تحلیل و توجیه مجموعه داده‌های پیچیده در ارزیابی کیفیت آب سطحی، تعیین منابع آلاینده/ عامل‌ها و فهم تغییرات مکانی جهت مدیریت کارآمد کیفیت آب رودخانه، نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مکانی، تکنیک‌های آماری چندمتغیره، حوزه آبریز رودخانه هراز- قره‌سو، کیفیت آب سطحی.

* - نویسنده مسوول: ۲۹۹۰۲۶۰۴

Email: k_nosrati@sbu.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب در جهت پایداری کیفی و کمی منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور می‌باشد. آب‌های سطحی از مهم-ترین منابع آب هستند که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. بنابراین آگاهی از کیفیت آب یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی، توسعه و حفاظت منابع آب به ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌گردد که داده‌های کافی وجود ندارد. کیفیت آب تحت تأثیر فرآیند-های طبیعی از قبیل بارش، فرسایش و هوازدگی مواد، روابط موجودات زنده، شیمی اتمسفر، زمین شناسی، پوشش گیاهی، انحلال مواد آلی (Sandow et al., 2008) و عوامل انسانی از قبیل فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی (Papatheodorou et al., 2006) می‌باشد. همچنین آب‌های سطحی در مقایسه با آب‌های زیرزمینی به جهت دسترسی آسان برای دفع پساب‌ها در معرض آلودگی و آسیب پذیری بیشتری قرار دارند. با توجه به افزایش جمعیت، افزایش آلودگی‌ها، تخریب جنگل‌ها و پوشش گیاهی و خشکسالی کاهش کیفیت منابع آب اجتناب ناپذیر بوده و لازم است تا کیفیت منابع آب سطحی مورد بررسی و پایش قرار گیرد.

به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی معمولاً از دو روش آماره‌های چندمتغیره و مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود (Sandow, 2008). روش‌های چند متغیره مانند تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل توابع تشخیص از طریق کاهش و خوشه‌بندی داده‌ها جهت تحلیل و تصمیم‌گیری مناسب است (Helena et al., 2000؛ Kannela et al., 2008؛ Noori et al., 2010؛ Mishra, 2010، Shrestha and Kazama, 2007؛ Tobiszewski et al., 2010؛ Vega et al., 1998؛ Wunderlin et al., 2001؛ Zhang et al., 2010).

کشور ایران، ۱/۱ درصد از مساحت خشکی‌های جهان را به خود اختصاص داده است. در حالی که فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در خشکی-های جهان را در اختیار دارد و با داشتن یک سوم میانگین بارندگی جهانی، سه برابر متوسط جهانی آب مصرف می‌کند (مهدوی، ۱۳۷۸). بدین ترتیب با توجه به محدودیت کمی منابع آب و افزایش گستره اراضی کشاورزی و افزایش آلاینده‌های نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای لازم است تا کیفیت منابع آب سطحی مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی و پایش کیفیت آب سطحی در حوزه آبریز هراز- قره‌سو با استفاده ازتکنیک‌های آماری چندمتغیره می‌باشد.

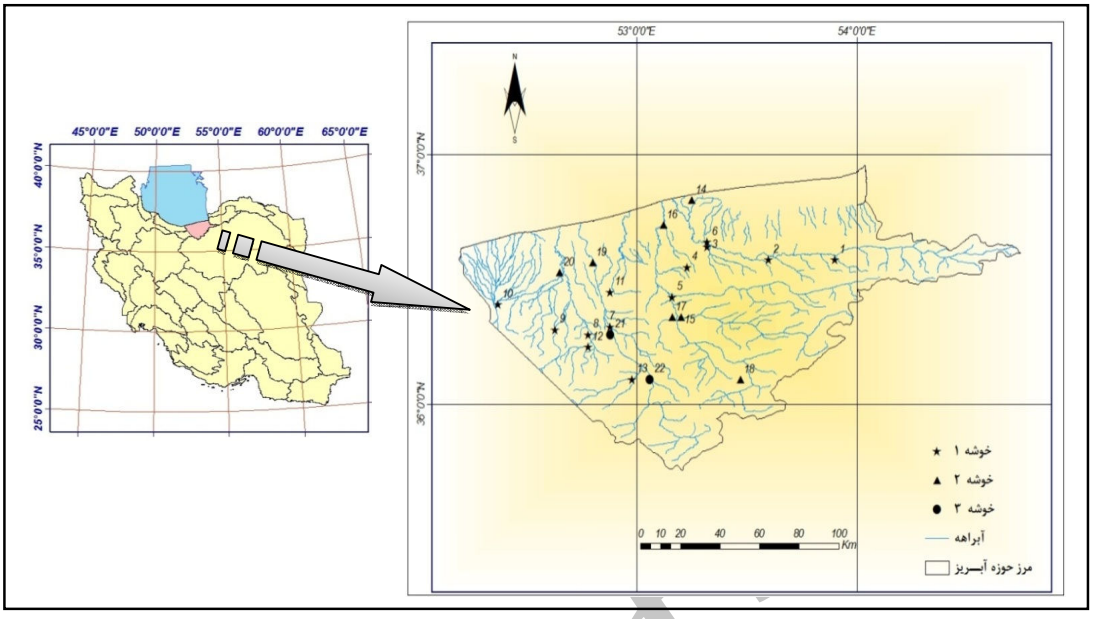
مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مطالعاتی هراز- قره‌سو

حوزه آبریز هراز-قره‌سو با مساحتی معادل ۱۹۰۰۰ کیلومتر مربع، در جنوب غربی دریای خزر در ناحیه‌ی شمال ایران قرار گرفته است. با توجه به تقسیمات سیاسی، بیشتر مساحت حوزه در استان مازنداران و بخشی نیز در استان گلستان است. موقعیت جغرافیایی آن، بین ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی، ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۷ درجه عرض شمالی می‌باشد (شکل۱). براساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، قسمت‌هایی از حوزه آبریز که در استان مازندران واقع شده اند، به تبعیت از شرایط اقلیمی این استان، دارای آب و هوایی مرطوب و مدیترانه‌ای هستند و قسمت‌های شرقی حوزه واقع در استان گلستان، آب و هوایی نیمه خشک و مرطوب دارند؛

Archive of SID
www.SID.ir

متوسط بارش حوضه، ۸۳۲ میلیمتر در سال می باشد.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبریز هراز - قره‌سو

روش تحقیق

- جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش داده‌های ۲۲ ایستگاه هیدرومتری (جدول ۱) در حوزه آبریز هراز- قره‌سو شامل ۱۳ پارامتر کیفیت آب استفاده گردید. پارامترهای انتخاب شده کیفیت آب عبارتند از : غلظت سولفات، کلر، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، مجموع کل املاح، قابلیت هدایت الکتریکی، pH، مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و نسبت جذب سدیم. این پارامترها بصورت ماهانه و به مدت ۵ سال (۱۳۸۰-۱۳۸۴)، از سازمان مدیریت منابع آب ایران بدست آمد؛ واحدهای اندازه‌گیری آن‌ها در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۱. ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبریز هراز- قره‌سو

ایستگاه	شماره	ایستگاه	شماره
سفیدچاه	۱	پاشاکلا	۱۲
گیلورد	۲	کوهستان	۱۳
آلبو	۳	نظرآباد	۱۴
دارابکلا	۴	وارن	۱۵
گرم رود	۵	کردخیل	۱۶
نهر آلبو	۶	ریگ چمستان	۱۷
کسیلیان شیرگاه	۷	فنیسک	۱۸
قرآن تالار	۸	کیاکلا	۱۹
گلوگاه	۹	بابل	۲۰
کریکلا	۱۰	تالار شیرگاه	۲۱
سروکلا	۱۱	پل سفید	۲۲

جدول ۲. نام اختصاری و واحد اندازه‌گیری پارامترهای انتخاب شده کیفیت آب

پارامتر	نام اختصاری	واحد اندازه‌گیری
نسبت جذب سدیم	SAR	-
قابلیت هدایت الکتریکی	EC	$\mu S\ cm^{-1}$
مجموع املاح محلول	TDS	$mg\ L^{-1}$
بیکربنات	HCO_3^-	$mg\ L^{-1}$
کلر	Cl^-	$mg\ L^{-1}$
سولفات	SO_4^{2-}	$mg\ L^{-1}$
کلسیم	Ca^{2+}	$mg\ L^{-1}$
منیزیم	Mg^{2+}	$mg\ L^{-1}$
سدیم	Na^+	$mg\ L^{-1}$
پتاسیم	K^+	$mg\ L^{-1}$
اسیدیته	pH	-

Archive of SID

www.SID.ir

- آماده سازی داده‌ها و تکنیک‌های آماری چند متغیره

به منظور آماده سازی داده‌ها، دوره آماری مشترک برای پارامترهای کیفیت آب به مدت ۵ سال (۱۳۸۰-۱۳۸۴) تعیین شد. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها از آماره کلموگروف-اسمیرنوف[1] (K-S) استفاده شد. براساس آزمون (K-S)، تمامی متغیرها با ضریب اطمینان بالای ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. همچنین، جهت آزمون برازندگی داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی/ تحلیل عاملی، آزمون کیسر- مییر- اُلکین (KMO) و بارلت[2] استفاده شد؛ KMO سنجش بسندگی نمونه‌گیری است که نسبت واریانس را نشان می‌دهد. تغییرات داده‌های کیفیت آب سطحی حوزه آبریز مورد مطالعه با استفاده از چهار تکنیک آماری چند متغیره ارزیابی شدند: تحلیل خوشه‌ای (CA)، تحلیل تشخیص (DA)، تحلیل عاملی (FA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA).

تحلیل خوشه‌ای: تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی بکار می‌رود که این شباهت، همگنی در ویژگی های اندازه گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از متغیرها را در داخل خوشه‌های همگن جای می‌دهد. خوشه‌های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی (درون خوشه) و بیرونی (بین خوشه‌ها) برخوردار هستند (Shrestha and Kazama, 2007). خوشه‌بندی متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی را بین هرکدام از نمونه‌ها و نیز بین همه‌ی داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود. نمودار درختی، خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل توجه ابعاد داده‌های اولیه، ارائه می‌دهد. شباهت بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن براساس فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود. در این پژوهش، تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی برای مجموعه‌ای از داده‌های نرمال شده با روش وارد[3] بکار گرفته شد. روش وارد، از روش تحلیل واریانس جهت ارزیابی فواصل بین خوشه‌ها استفاده می‌کند. ارزیابی تغییرات کیفیت آب در حوزه هراز- قره‌سو با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و فاصله‌های پیوستگی (D_{link}/D_{max}*۱۰۰) انجام شد.

تحلیل توابع تشخیص: این تحلیل جهت دسته‌بندی متغیرها به ارزش‌های خوشه‌بندی وابسته استفاده می‌شود. اگر تحلیل تشخیص برای مجموعه داده‌ای مؤثر باشد، جدول خوشه‌بندی صحت و عدم صحت ارزیابی‌ها، درصد صحت بالایی را به دست می‌دهد. در تحلیل توابع تشخیص، توصیفات کمّی مضاعف به منظور تمییز بین دو یا چند گروه داده موجود به کار می‌رود (Shrestha and Kazama, 2007). تحلیل تشخیص برخلاف تحلیل خوشه‌ای، خوشه‌بندی آماری از نمونه‌ها فراهم می‌کند و با دانش قبلی از عضویت هرکدام از پارامترها در یک گروه یا خوشه مخصوص، اجرا می‌شود. علاوه براین، با فرض ویژگی‌های معمول، در گروه‌بندی نمونه‌ها نیز کمک می‌کند. تکنیک تحلیل تشخیص، برای هر گروه از یک تابع تشخیص تشکیل شده است که بروی داده‌های خام، عمل کرده و یک تابع تشخیص برای هر گروه ایجاد می‌کند (Singh et al., 2004؛ معادله ۱).

1 - Kolmogorov - Smirnov
2 - Kaiser - Meyer - Olkin (kmo) & Bartlett's test
3 - Ward's Method

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه (۱) $f(Gi) = k_i + \sum_{j=1}^{n} w\,ijPij$

که i تعداد گروه‌ها (G)، k_i ضریب ثابت برای هر گروه، n تعداد پارامترهای استفاده شده برای خوشه‌بندی مجموعه‌ای از داده‌ها در یک خوشه و w_j ضریب وزنی تأیید شده با تحلیل تشخیص برای بدست آوردن پارامترهای انتخاب شده (p_j) می‌باشد. جدول خوشه‌بندی بدست آمده از تحلیل تشخیص، ماتریس یا جدول تأیید یا پیش‌بینی است که برای ارزیابی عملکرد تحلیل تشخیص استفاده می‌شود؛ یک جدول ساده که سطرها خوشه‌بندی‌های مشاهده شده متغیرها هستند و ستون‌ها خوشه‌بندی‌های پیش‌بینی شده از این متغیرها.

در این پژوهش، ارزیابی تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در حوزه هراز- قره‌سو با انجام تحلیل تشخیص صورت گرفت. تحلیل تشخیص بروی ماتریس داده‌های خام، از روش‌های استاندارد، پیشرونده و پسرونده در ایجاد توابع تشخیص جهت ارزیابی این تغییرات استفاده می‌کند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی/تحلیل عاملی: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تبدیل متغیرهای اصلی به یک متغیر ناهمبسته جدید که ترکیبی خطی از مولفه اصلی می باشد، طراحی شده است. محورها (متغیرها)ی جدید در امتداد حداکثر واریانس قرار می‌گیرند. مؤلفه اصلی اطلاعاتی درباره پارامترهای با بیشترین معناداری بدست می‌دهد که کل یک مجموعه داده بدست آمده از فرآیند تقلیل داده‌ها

، بهار ۱۳۹۰ ، صفحات ۴۱- ۵۵

صیف

ی رابطه

(۲)

$$z_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + a_{i3}x_{3j} + \ldots + a_{im}x_{mj}$$

که Z امتیاز مؤلفه، a بار مؤلفه، x ارزش اندازه-گیری شده متغیر، i شماره مؤلفه، j شماره نمونه و m تعداد کل متغیرهاست.

تحلیل عاملی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی پیروی می‌کند. هدف اصلی این تحلیل، کاهش سهم متغیرهای با معناداری کم جهت ساده‌سازی هرچه بیشتر ساختار داده بدست آمده از تحلیل مؤلفه-های اصلی است. این هدف می‌تواند با چرخش محور تعریف شده (چرخش واریماکس)[1] از طریق تحلیل مؤلفه‌های اصلی عملی شده و متغیرهای جدیدی ایجاد گردد که عامل‌های تغییر[2] نامیده می‌شوند. مولفه اصلی ترکیبی خطی از متغیرهای قابل مشاهده کیفیت آب است، در حالیکه VF می‌تواند شامل متغیرهای غیرقابل مشاهده، فرضی و پنهان نیز باشد (Helena et al., 2000).

در این پژوهش، تحلیل مؤلفه‌های اصلی متغیرهای نرمال شده جهت استخراج مؤلفه‌های اصلی معنادار و همچنین کاهش سهم متغیرهای با معنادرای کم بکار برده شد.

نتایج و بحث

- تحلیل خوشه‌ای

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای در منطقه مطالعاتی در شکل ۲ نشان داده شده است. با انجام تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه در سه خوشه جای گرفتند. فاصله بین هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری در خوشه‌های بدست آمده از تحلیل خوشه‌ای، در نتیجه‌ی همبستگی و خود همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب سطحی است. خوشه‌های همگن براساس روش وارد و فاصله اقلیدسی تعیین شدند. با توجه به شکل در فاصله

1 - Varimax Rotation
2 - Varifactor (VF)

Archive of SID

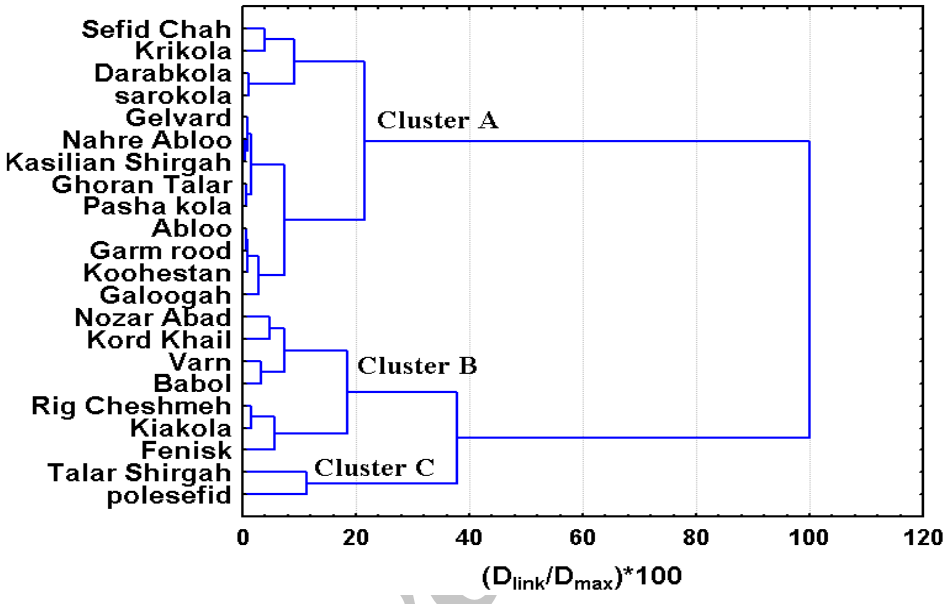
www.SID.ir

قره‌سو با استفاده از $(D_{link}/D_{max})*100$ کمتر از ۳۰، سه خوشه استخراج شد که عبارتند از:

خوشه اول = سفیدچاه، کریکلا، داربکلا، سروکلا، گیلورد، نهر آبلو، کاسیلیان شیرگاه، قرآن تالار، پاشا کلا، آبلو، گرم رود، کوهستان، گلوگاه.

خوشه دوم = نوذرآباد، کردخیل، ورن، بابل، ریگ چشمه، کیاکلا، فنیسک.

خوشه سوم = تالار شیرگاه، پل سفید.



شکل ۲. خوشه‌بندی ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای

سنجش میانگین پارامترهای کیفیت آب سطحی در هر خوشه حاصل از تحلیل خوشه‌ای (شکل ۲) حوزه آبریز مطالعاتی با استاندارد ملی ایران (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) در جدول ۳ آورده شده است. این سنجش براساس استاندارد آب آشامیدنی در هرکدام از سه خوشه همگن بصورت مجزا انجام گرفته است. با توجه به جدول، در خوشه همگن ۱، میانگین پارامتر Mg^{2+} نسبت به میزان استاندارد (حداکثر مطلوب) بیشتر است و میانگین پارامتر pH بین حداکثر مطلوب و حداکثر مجاز قرار گرفته است؛ سایر پارامترها دارای وضعیتی مناسب از نظر استاندارد آب آشامیدنی می‌باشند. خوشه همگن ۲ نیز وضعیتی مشابه دارد اما در خوشه ۳ علاوه بر دو پارامتر فوق، میانگین SO_4^{2-} نیز بین استاندارد حداکثر مطلوب و حداکثر مجاز می‌باشد. Shrestha و همکاران (۲۰۰۷)، از تحلیل خوشه‌ای به منظور مشخص کردن ایستگاه‌های همگن از نظر پارامترهای کیفیت آب سطحی در حوزه رودخانه فوجی ژاپن استفاده کردند. آن‌ها با انجام این تحلیل، ۱۳ ایستگاه این حوزه را با روش وارد و در فاصله $(D_{link}/D_{max})*100$ کمتر از ۶۰، در سه خوشه همگن جای دادند. در خوشه همگن ۱، پنج ایستگاه با آلودگی نسبتاً پایین قرار گرفتند؛ خوشه همگن ۲، پنج ایستگاه با آلودگی زیاد را دربرگرفت و سه ایستگاه نیز با آلودگی متوسط در خوشه همگن ۳ جای گرفتند. نتایج حاصل از انجام تحلیل خوشه‌ای در این پژوهش نشان داد که این تکنیک آماری جهت بدست آوردن یک

Archive

www.SID.ir

خوشه‌بندی قابل اعتماد از آب‌های سطحی براساس پارامترهای کیفی در حوزه رودخانه فوجی مفید است و امکان طرح‌ریزی یک استراتژی نمونه‌گیری فضایی را با روشی مناسب و بهینه در آینده فراهم خواهد ساخت که با بکار بردن آن می توان تعداد ایستگاه‌های نمونه و هزینه‌های مرتبط با آن را کاهش داد. دست‌یابی به این استراتژی نمونه گیری با انجام تحلیل خوشه‌ای، برای حوزه آبریز هراز- قره‌سو نیز فراهم شده است.

جدول ۳. معناداری و سنجش استاندارد پارامترهای کیفیت آب سطحی در حوزه آبریز هراز- قره‌سو

پارامتر	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	pعدد	استاندارد ملی	
	میانگین	میانگین	میانگین		حداکثر مطلوب	حداکثر مجاز
SAR	0.4	0.98	1.6	<0.001	-	-
EC	476.14	675.06	1075.4	<0.001	1500	2000
TDS	311.85	441.38	702.4	<0.001	1000	1500
HCO_3^-	212.43	233.82	228.74	0.47	-	-
Cl^-	18.06	52.97	106.68	<0.001	250	400
SO_4^{2-}	48.88	112.96	349.43	<0.001	-	-
Ca^{2+}	92.98	117.03	175.87	<0.001	300	-
Mg^{2+}	41.01	50.82	72.18	<0.001	30	-
Na^+	13.76	36.76	72.74	<0.001	200	200
K^+	1.59	1.98	2.91	0.007	-	-
pH	7.95	7.92	7.87	0.34	6.5	8.5

- تحلیل تشخیص

تغییرات مکانی در پارامترهای کیفیت آب در منطقه مطالعاتی از طریق تحلیل تشخیص ارزیابی شده است. برای ارزیابی این تغییرات از سه روش استاندارد، پیشرونده و پسرونده استفاده شد. جدول ۴ نتایج حاصل از این تحلیل را در پارامترهای کیفیت آب سطحی در منطقه مطالعاتی نشان می دهد. با توجه به جدول، در روش استاندارد تمامی پارامترهای کیفیت آب (۱۳پارامتر) وارد شده است. روش پیشرونده نیز شامل تمامی پارامترها بجز عامل TDS است. امّا در روش پسرونده، دو پارامتر Cl^- و SO_4^{2-} وارد شده است، نتایج روش پسرونده مناسب تر از دو روش دیگر در تحلیل تشخیص است. با توجه نتایج این تحلیل، Cl^- و SO_4^{2-} مهم ترین پارامترهای موثر در کیفیت آب سطحی در منطقه مطالعاتی است. براساس این دو عامل، جداسازی سه خوشه به آسانی صورت می گیرد.

بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه‌ی ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیّره، از تحلیل تشخیص برای بررسی تغییرپذیری‌های زمانی در کیفیت آب استفاده کرده‌اند. برای نمونه می‌توان به مطالعه Papatheodorou و همکاران (۲۰۰۶) اشاره کرد که تغییرپذیری زمانی در کیفیت آب دریاچه Pamvotis یونان را با استفاده از تحلیل تشخیص ارزیابی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد که پارامترهای فسفر کل Na^+, Mg^{2+} و Ca^{2+} بیشترین معناداری را در بین پارامترهای کیفی آب دریاچه دارند که براساس معناداری این سه

Archive of SID
www.SID.ir

پارامتر، جداسازی خوشه‌های همگن پارامترهای کیفیت آب به‌آسانی صورت می‌گیرد. Shrestha و همکاران (۲۰۰۷) تحلیل تشخیص را برای ارزیابی تغییرات زمانی/ مکانی متغیرها و تفسیر مجموعه داده‌های زیاد و پیچیده‌ی حوزه رودخانه فوجی ژاپن بکار بردند که این داده‌ها در طول ۸ سال (۱۹۹۵-۲۰۰۲) از پایش ۱۲ پارامتر در ۱۳ مکان مختلف بدست آمده بود. تحلیل تشخیص، بهترین نتایج را برای تحلیل‌های زمانی و مکانی آن‌ها بدست داد. نتایج نشان داد که ۶ پارامتر (دبی، دما، اکسیژن محلول، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، هدایت الکتریکی و نیترات نیتروژن) با بیش از ۸۵ درصد صحت، توجیه کننده‌ی تغییرات زمانی و ۷ پارامتر (دبی، دما، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، pH، هدایت الکتریکی، نیترات نیتروژن و آمونیاک نیتروژن) با بیش از ۸۱ درصد صحت، توجیه کننده‌ی تغییرات فضایی در ایستگاه‌های نمونه-گیری شده حوزه هستند. بنابراین، تحلیل تشخیص امکان تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات کیفیت آب سطحی را در بین مجموعه داده‌های زیاد و پیچیده فراهم می‌کند که در پژوهش ما نیز، این امکان میّسر شده است، که تحلیل تشخیص پسرونده دو عامل Cl^- و SO_4^{2-} را بعنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب سطحی حوزه هراز ـ قره‌سو معرفی می‌کند.

جدول ۴. نتایج حاصل از تحلیل تشخیص پارامترهای کیفی آب سطحی در حوزه آبریز هراز - قره‌سو

متغیرها	روش استاندارد F = 41.078 p<0.0000				روش پیشرونده F = 108.59 p<0.0000				روش پسرونده F = 108.59 p<0.0000			
	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	pعدد	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	pعدد	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳	pعدد
SAR	05/-5	10.31	-4.72	0.00	-5.02	10.24	-4.69	0.000	-	-	-	-
EC	18/17	-15.09	-63.75	0.12	21.87	-24.63	-59.41	0.004	-	-	-	-
TDS	05/7	-14.36	6.52	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-
HCO_3^-	14/-4	9.21	-6.90	0.09	-3.58	8.06	-6.37	0.149	-	-	-	-
Cl^-	76/-7	13.93	0.30	0.06	-7.31	13.03	0.71	0.078	-1.13	1.59	1.78	0.00
SO_4^{2-}	44/-8	14.52	2.89	0.09	-7.58	12.77	3.68	0.146	-1.01	-0.35	8.73	0.00
Ca^{2+}	38/-3	0.16	23.75	0.43	-3.29	۲-0.0	23.84	0.429	-	-	-	-
Mg^{2+}	91/-2	0.72	18.13	0.36	-2.66	0.21	18.36	0.339	-	-	-	-
Na^+	36/1	-10.75	33.14	0.12	1.87	-11.78	33.60	0.088	-	-	-	-
K^+	-0.01	-0.61	2.55	0.16	۱0.0	-0.65	2.57	0.140	-	-	-	-
pH	0.48	-0.59	-1.11	0.06	0.49	-0.62	-1.10	0.051	-	-	-	-
عدد ثابت	-1.49	-2.37	-19.56	-	-1.48	-2.33	-19.55	-	-1.09	-1.46	۱-16.1	-

جدول ۵ درصد صحت خوشه‌بندی را بیان می کند. باتوجه به این جدول، درصد صحت روش استاندارد که تمام عامل ها در آن وارد شده ۸۸/۱۸ است. درصد صحت روش پیشرونده که تمام عامل ها را بجز TDS وارد کرده، ۸۷/۲۷ و درصد صحت روش پسرونده با دو عامل Cl^- و SO_4^{2-}، ۸۳/۶۳ درصد است که این بیانگر مناسب‌تر بودن نتایج روش پسرونده در تعیین مهم ترین عامل‌ها در پارامترهای کیفیت آب سطحی در منطقه مطالعاتی است.

Archive of SID

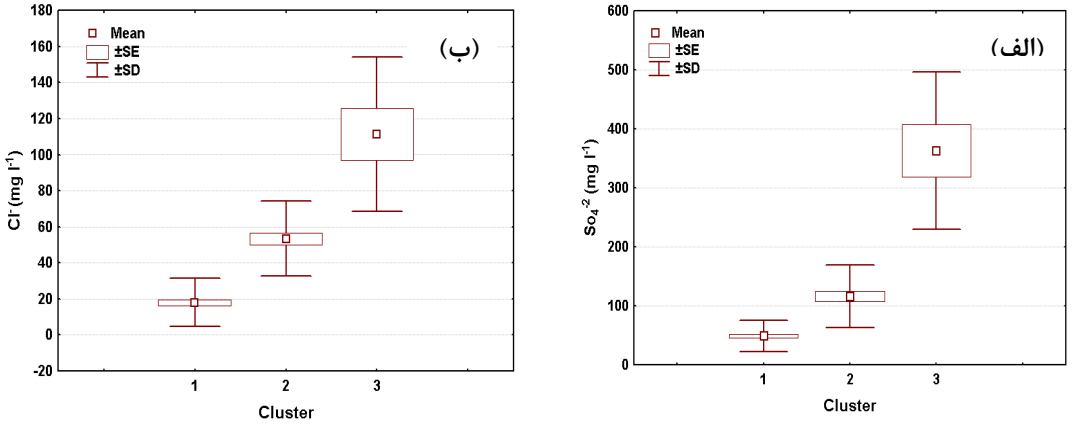
www.SID.ir

جدول ۵. درصد صحت ایستگاه های تأیید شده با DA

ایستگاه های نمونه گیری	صحت ٪	ایستگاه های تأییدشده با DA		
		خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳
روش استاندارد				
خوشه ۱	95	62	3	0
خوشه ۲	83	6	30	0
خوشه ۳	56	0	4	5
مجموع	88	68	37	5
روش پیشرونده				
خوشه ۱	94	61	4	0
خوشه ۲	83	6	30	0
خوشه ۳	56	0	4	5
مجموع	87	67	38	5
روش پسرونده				
خوشه ۱	95	62	3	0
خوشه ۲	69	10	25	1
خوشه ۳	56	0	4	5
مجموع	84	72	32	6

نمودار جعبه ای Cl^- و SO_4^{2-} به عنوان مهم ترین عامل ها در پارامترهای کیفیت آب سطحی منطقه مطالعاتی، ترسیم و در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ الف، میزان SO_4^{2-}، در خوشه ۳ بیشتر از خوشه ۲ و در خوشه ۲ بیشتر از خوشه ۱ است. میزان Cl^- نیز در سه خوشه وضعیتی مشابه SO_4^{2-} دارد (شکل ۳ ب).

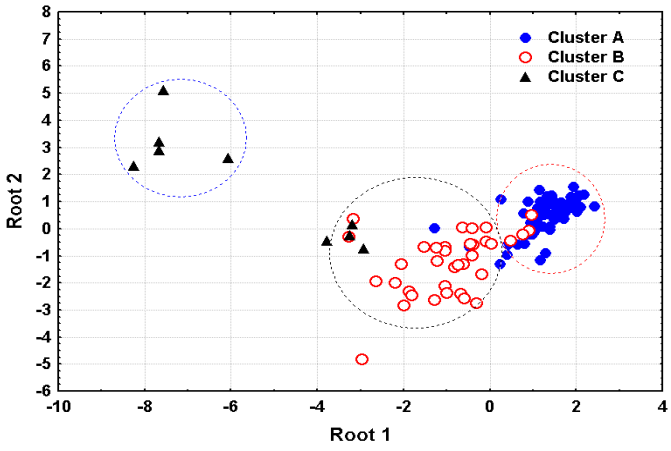
در نهایت نمودار پراکندگی عامل ۱ و عامل ۲ حاصل از تحلیل تشخیص روش پسرونده در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل، خوشه بندی به درستی انجام گرفته است.



شکل۳ الف. نمودار جعبه ای میزان SO_4^{2-} و ب. نمودار جعبه ای میزان Cl^- در سه خوشه منطقه مطالعاتی

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. نمودار پراکندگی حاصل از تحلیل تشخیص روش پسرونده SO_4^{2-} و Cl^-

تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل عاملی، یک روش آماری چند متغیره است که رابطه بین متغیرهای کیفی اندازه گیری شده را توسط نمایش الگوهای چند متغیره بدست می‌دهد و می‌تواند برای خوشه بندی داده اصلی به کار آید. در این پژوهش، تحلیل عاملی براساس ۱۱ عامل به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب سطحی منطقه مطالعاتی انجام گرفت. برای انجام تحلیل عاملی از روش واریماکس (Varimax) استفاده شد و اساس انتخاب عامل‌ها، مقادیر بیش از ۱ مقادیر ویژه برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در کیفیت آب سطحی می باشد. نتایج حاصل از این تحلیل در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به جدول، نتایج نشان می‌دهد که در خوشه همگن ۱، مجموع کل واریانس ۸۷/۲۷ درصد است در این خوشه دو مؤلفه اصلی معنادار است؛ عامل اول با توجیه ۷۷/۹ درصد از مجموع کل واریانس‌ها، پارامترهای Cl^- , Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, SAR, EC, TDS, HCO_3^- را به عنوان مهم‌ترین عامل‌ها و توجیه کننده تغییرات کیفیت آب سطحی معرفی می نماید. عامل اول بصورت قوی و مثبت با عامل‌های ذکر شده مرتبط است. عامل دوم که ۹/۲۸ درصد از مجموع کل واریانس را توجیه می کند، به صورت قوی و منفی با pH مرتبط است.

در خوشه ۲ با سه مؤلفه معناداری، مجموع کل واریانس ۸۷/۷ درصد است. عامل اول با ۵۸/۹۸ درصد از مجموع کل واریانس‌ها، به صورت مثبت و قوی با عامل‌های Na^+, Cl^-, SAR مرتبط است و این عامل‌ها را به عنوان مهم‌ترین عامل‌ها و توجیه کننده تغییرات کیفیت آب سطحی معرفی می نماید. عامل دوم ۱۶/۸ درصد از مجموع کل واریانس‌ها را توجیه می کند و با HCO_3^- بصورت قوی و مثبت مرتبط است. عامل سوم با توجیه ۱۲/۰۵ درصد از مجموع کل واریانس ها با SO_4^{2-} ارتباط قوی و مثبت دارد.

خوشه همگن ۳ با مجموع ۹۱/۵۸ درصد مجموع کل واریانس، دارای دو مؤلفه اصلی معناداری است. عامل یک با توجیه ۸۱/۳ درصد از مجموع کل واریانس‌ها، توجیه کننده‌ی پارامترهای SO_4^{2-}, Ca^{2+}, K^+, SAR, EC, TDS, Cl^-, pH به عنوان مهم‌ترین عامل‌ها در تغییرات کیفیت آب سطحی است و با این عامل‌ها بصورت قوی و مثبت مرتبط است. عامل ۲، ۱۰/۵ درصد از

Archive of SID
www.SID.ir

مجموع کل واریانس را توجیه می‌کند که بصورت قوی و مثبت با Mg^{2+}, Na^{+} مرتبط است.

جدول ۶. نتایج حاصل از تحلیل عاملی پارامترهای کیفی آب سطحی در حوزه آبریز هراز - قره‌سو

متغیرها	خوشه ۱ (دو مؤلفه اصلی معنادار)		خوشه ۲ (سه مؤلفه اصلی معنادار			خوشه ۳ (دو مؤلفه اصلی معنادار)	
	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۱	عامل ۲
SAR	0.877	0.053	0.989	-0.014	0.061	0.946	0.197
EC	0.994	0.058	0.784	0.402	0.467	0.887	0.303
TDS	0.995	0.051	0.795	0.383	0.463	0.957	0.239
HCO_3^-	0.954	0.033	0.315	0.846	-0.004	0.77	0.479
Cl^-	0.899	0.212	0.919	0.199	0.085	0.944	0.164
SO_4^{2-}	0.761	-0.093	0.272	-0.297	0.884	0.974	0.2
Ca^{2+}	0.933	0.11	0.074	0.43	0.815	0.966	0.221
Mg^{2+}	0.963	-0.046	0.535	0.541	0.3	0.373	0.813
Na^+	0.919	0.091	0.982	0.093	0.129	0.152	0.87
K^+	0.922	0.031	0.539	0.652	0.257	0.957	0.288
pH	-0.057	-0.986	0.025	-0.864	0.048	0.955	0.294
مقادیر ویژه	8.579	1.021	6.489	1.85	1.326	8.95	1.125
درصد واریانس	77.988	9.286	58.989	16.818	12.057	81.365	10.223
درصد واریانس تجمعی	77.988	87.274	58.989	75.807	87.864	81.365	91.589

در پژوهش‌هایی دیگر نیز، تحلیل عاملی/تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای استخراج مؤلفه‌های اصلی در تغییرات کیفیت آب بکار گرفته شده است. از جمله‌ی این پژوهش‌ها، می توان به کاربرد تحلیل عاملی در ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی در ناحیه Yun-Lin تایوان اشاره کرد؛ که Chen و همکاران (۲۰۰۳) تحلیل عاملی را برای ۲۸ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری شده از چاه‌های این ناحیه بکار گرفتند. همبستگی‌های ۱۳ پارامتر هیدروشیمیایی را تست آماری کردند. مدلی دو عاملی پیشنهاد دادند که بیش‌تر از ۷۷/۸ درصد از مجموع تغییرات کیفی آب زیرزمینی را توجیه می‌کرد. عامل ۱ (شوری آب دریا)، شامل غلظت-های K^+, Na^+, SO_4^{2-}, Cl^- TDS, EC و Mg^{2+} و عامل ۲ (آلودگی آرسنیک)، شامل غلظت‌های ALK, TOC و Arsenic است.

Sandow و همکاران (۲۰۰۸) تحلیل عاملی/تحلیل مؤلفه‌های اصلی را جهت استخراج عامل‌های اصلی تغییرات هیدروشیمیایی آب سطحی نواحی Ankwaso، Dominase و Prestea استفاده کردند. در ناحیه‌ی Ankwaso، چهار مؤلفه اصلی را استخراج کردند که با ۸۶ درصد مجموع کل واریانس، پارامترهای PH, EC, K^+, PO_4^{3-}, SiO_2, Na^+, HCO_3^-, TDS و TA را بعنوان مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییرات هیدروشیمایی آب سطحی ناحیه توجیه می‌کند. این تغییرات از هوازدگی K، فعالیت‌های کشاورزی، مواد آلی، فاضلاب خانگی و هوازدگی

Archive of SID

www.SID.ir

ژیپس، ناشی می‌شود. در ناحیه‌ی Dominase، سه مؤلفه اصلی با ۸۰ درصد مجموع واریانس، پارامترهای pH, EC, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Cl^-, TS, HCO_3^-, Ca^{2+} و SiO_2 را مهم‌ترین پارامترهای مؤثر ذکر می‌کند که با فاضلاب خانگی و مواد غیرآلی کربناته مرتبط هستند. در ناحیه‌ی Prestea، مؤلفه اصلی با ۸۲ درصد مجموع واریانس، پارامترهای EC, Na^+, Cl^-, HCO_3^-, TA, DO, K^+, Mg^{2+}, TS, Ca^{2+}, PO_4^{3-}, SO_4^{2-} و SiO_2 را عامل‌های تغییرات هیدروشیمیایی این ناحیه ذکر می‌کند که با تجزیه مواد آلی، هوازدگی آپاتیت و ژیپس مرتبط می‌باشند.

با توجه به نتایج این پژوهش‌ها و نتایج از حاصل از تحلیل عاملی/تحلیل مؤلفه‌های اصلی در حوزه آبریز هراز- قره‌سو، می‌توان آلودگی‌های آلی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی و باغی، فاضلاب‌های خانگی، هوازدگی و تحلیل مواد آلی را بعنوان مهم‌ترین دلایل تغییرات در پارامترهای کیفیت آب سطحی در این حوزه آبریز ذکر کرد.

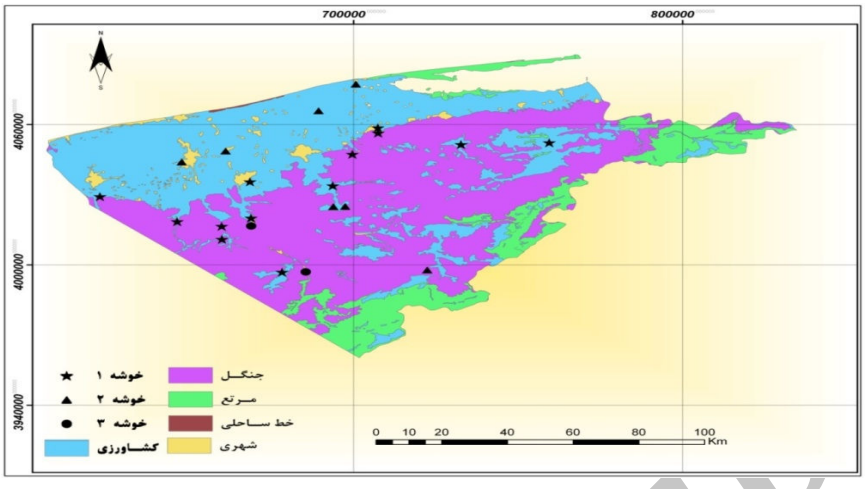
نتیجه‌گیری

کیفیت شیمیایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات آب آشامیدنی همیشه مدنظر بوده است. خصوصیات شیمیایی آب‌های طبیعی بازتابی از خاک‌ها و سنگ‌های مرتبط با آن می‌باشد. دو عامل مهم در تغییر پارامترهای کیفیت آب سطحی عبارتند از: یکی در دسترس بودن کانی‌ها و دیگری عوامل طبیعی (رودخانه‌ها، آب‌های سطحی، گسل و لیتولوژی) و فعالیت‌های انسانی (آب برگشتی کشاورزی، نشت پساب‌های شهری و صنعتی و نشت از چاه‌های جذبی).

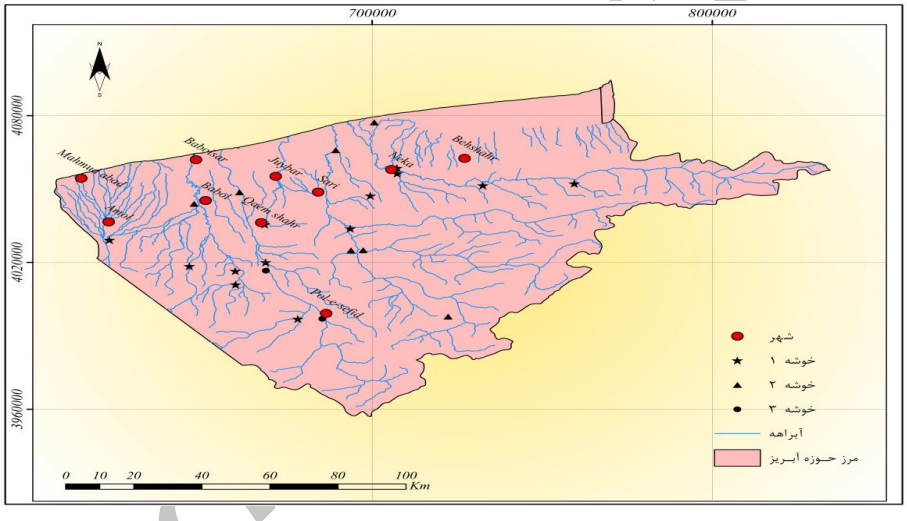
یک رویه روش‌شناسی ساده برمبنای روش‌های آماری چند متغیره در حوزه آبریز هراز- قره‌سو به منظور تحلیل تغییرات مکانی کیفیت آب سطحی انجام شد. این دیدگاه ترکیبی از تحلیل خوشه‌ای، تحلیل تشخیص و تحلیل عاملی/ تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. نتیجه‌ی تحلیل خوشه‌ای، جداسازی ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مطالعاتی براساس پارامترهای کیفیت آب سطحی است که در سه خوشه همگن جای گرفتند. رسیدن به این خوشه بندی، دست یابی به الگوهای مدیریتی کیفیت آب‌های سطحی را ساده‌تر می‌سازد؛ که می‌توان از روش‌های مدیریتی یکسانی در هر کدام از خوشه-های همگن استفاده کرد. با انجام تحلیل تشخیص، مهم ترین عامل‌ها در پارامترهای کیفیت آب سطحی در منطقه مطالعاتی تعیین شدند. از میان سه روش استفاده شده در تحلیل تشخیص، نتایج حاصل از روش پسرونده مناسب‌تر است که دو عامل Cl^- و SO_4^{2-} را به عنوان مهم‌ترین عامل‌ها در پارامترهای کیفیت آب سطحی تعیین می کند. با توجه به کاربری اراضی منطقه مطالعاتی (شکل ۵) که کشاورزی و باغی است و نیز تغییر این کاربری‌ها از جنگل به کشاورزی، بیانگر این مهم است که استفاده از حاصلخیز کننده‌ها و کودهای کشاورزی در اراضی کشاورزی و باغی و هم چنین بالا بودن شوری آب، سبب تعیین این دو عامل به عنوان مهم‌ترین عامل‌ها در پارامترهای کیفیت آب سطحی منطقه مطالعاتی شده است. با توجه به واقع شدن ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در نزدیکی شهرهای مهم استان مازندران، منشأ Na^+, Cl^-, TDS را می‌توان به مصرف شن و نمک برای ذوب برف و یخ نسبت داد؛ مقادیر Mg^{2+}, Ca^{2+}, HCO_3^- به نفوذ فاضلاب‌های خانگی و شست‌وشوی نمک‌های تبخیری و همچنین هوازدگی بستگی دارد (شکل۶ و۷).

Archive of SID

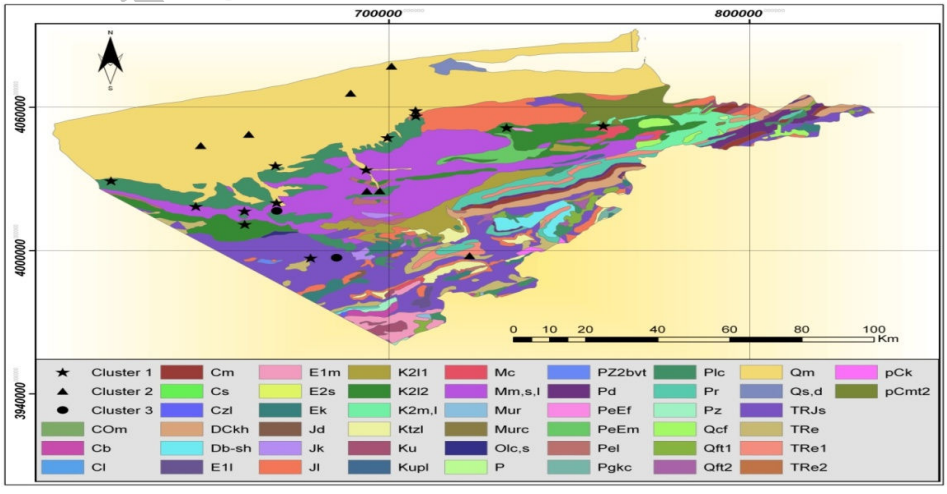
www.SID.ir



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی حوزه آبریز هراز – قره سو



شکل ۶. نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبریز هراز - قره‌سو به مراکز شهری



شکل ۷. نقشه واحدهای زمین شناسی حوزه آبریز هراز - قره‌سو

www.SID.ir

این پژوهش، سودمندی و کارایی تکنیک های آماری چند متغیره را برای تحلیل و تفسیر مجموعه ای از داده های پیچیده، ارزیابی کیفیت آب و فهم مکانی تغییرپذیری های کیفیت آب را برای مدیریت مؤثر کیفیت آب سطحی نشان داد.

فهم این تغییرپذیری توجه به مدیریت منابع آب سطحی را تقویت می کند که نیازمند به طرحی جامع برای توسعه پایدار سیستم های منابع آب است.

منابع

- مهدوی، م.، ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی. چاپ دوم، دانشگاه تهران، ؟ صفحه.

-Chen-Wuing, L., Kao-Hung, L., and Yi-Ming., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan: Journal of the Science of the Total Environment, v. 313, p. 77-89.

-Environmental Protection Agency., 2001. Parameters of water quality interpretation and standards, Ireland. ISBN 1-84096-015-3.

-Helena, B., Pardo, R., Vega, M., Barrado, E., Ferna ´ndez, J.M., and Fernandez, L., 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis: Journal of Water Re-search, v. 34, p. 807-816.

-Kannel, P.R., Lee, S., and 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, v. 86, p.595–604.

-Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A., and Shah, A.Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 72(2), p. 301-309.

-Mishra, A., 2010. Assessment of water quality using principal component analysis: A case study of the river Ganges: Journal of Water Chemistry and Technology, v. 32(4), p.227-234.

-New Jersey Dep. of Environmental Protection., 2006. Surface water quality standards.

-Noori, R., Sabahi, M.S., Karbassi, A.R., Baghvand, A., and Zadeh, H.T., 2010. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set: Journal of Desalination, v. 260, p. 129-136.

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

-Pritchard, M., Mkandawire, T., and O'Neill, J.G., 2008. Assessment of groundwater quality in shallow wells within the southern districts of Malawi: Journal of Physics and Chemistry of the Earth, v. 33, p. 812–823.

-Sandow, M., Yidanaa, D. O., and Bruce, B.Y., 2008. A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data-The Ankobra Basin,

- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.، ۱۳۸۸. آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، استاندارد ملی ایران، ۱۰۵۳، تجدید نظر پنجم ، ؟ صفحه.

Archive of SID
www.SID.ir

- World Health Organization – WHO., 2006. Guidelines for Drinking-Water Quality, First Addendum to Third Edition, Volume 1 Recommendations <http://www.who.int/.

-World Health Organization-WHO., 1997. Guidlines for drinking-water quality Volume3: surveillance and control of community supplies.<http://www.who.int/.

-Wunderlin, D.A., Diaz, M.P., Ame, M.V., Pesce, S.F., Hued, A.C., and Bistoni, M.A., 2001. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba, Argentina): Journal of Water Research, v. 35, p. 2881-2894.

-Zhang, Z.A., Tao, F.B., Du, J.A., Shi, P.A., Yu, D.A., Meng, Y.A., and Sun, Y.C., 2010. Surface water quality and its control in a river with intensive human impacts-a case study of the Xiangjiang River, China: Journal of Environmental Management, v. 91(12), p. 2483-2490.

Ghana: Journal of Environmental Management, v. 86, p. 80–87.

-Shrestha, S., and Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan: Journal of Environmental Modeling & Software, v. 22, p. 464-475.

-Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., and Sinha, S., 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India): Journal of Water Research, v. 38, p. 3980-3992.

-Tobiszewski, M.A., Tsakovski, S.b., Simeonov, V.C., and Namieśnik, J.A., 2010. Surface water quality assessment by the use of combination of multivariate statistical classification and expert information: Journal of Chemosphere, v. 80(7), p. 740-746.

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

Archive of SID

www.SID.ir