Archive of SID

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶

ص ۴۷۸-۴۶۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲۳
تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۰/۱۴

تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب سطحی با استفاده از روش‌های آمـاری چند متغیره (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز آجی‌چای)

❖ **مجید کاظم زاده؛** دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

❖ **آرش ملکیان*؛** دانشیار دانشکدهٔ منابع‌طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.

چکیده

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های پویا هستند و آگاهی از تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب رودخانه‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای طی دورهٔ آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۰ با استفاده از سه روش تحلیل خوشه‌ای (CA)، تحلیل تشخیص (DA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مطالعه شد. با انجام تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌های آب سنجی منطقهٔ مورد مطالعه در سه خوشهٔ همگن جای گرفتند. ایستگاه‌های قرار گرفته در خوشهٔ همگن یک، مربوط به سرشاخه‌های بالادست رودخانهٔ آجی‌چای می‌باشند که تغییرات کیفی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشهٔ همگن دیگر کم بوده است. به عبارت دیگر، کیفیت آب سطحی در خوشهٔ همگن یک بهتر از دو خوشهٔ همگن دیگر بوده است. تحلیل تشخیص سه تابع معنی‌دار استخراج کرد که توابع اول، دوم و سوم به ترتیب ۷۳/۵۰، ۲۰/۳۰ و ۳/۴۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را تبیین می‌کردند. به عبارتی توابع یک، دو و سوم ۹۷/۲۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را توصیف می‌کنند. هم چنین تحلیل تشخیص نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب منطقهٔ مطالعاتی، پارامترهای HCO_3^-، SAR، Na^+، SO_4^{2-} و Ca^{2+} را شامل می‌گردد. با توجه به پارامترهای استخراج شده در تحلیل تشخیص می‌توان گروه‌های همگن را تفکیک کرد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که دو مؤلفهٔ اول مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر کیفیت آب رودخانهٔ آجی‌چای می‌باشد. این مؤلفه‌ها به ترتیب ۷۸/۷۵ و ۱۴/۷۱ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌نمایند.

کلید واژگان: روش‌های چند متغیره، کیفیت آب سطحی، تحلیل خوشه‌ای، حوزهٔ آبخیز آجی‌چای

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۴۴+۹۸۲۶۳۲۲۲۳۰

Email: malekian@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه آب به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی توسعهٔ پایدار جوامع به‌شمار می‌رود و در سال‌های اخیر علاوه بر کمیت آب، توجه بیشتری به کیفیت آب شده است. منابع آب شیرین و اکوسیستم‌های طبیعی سراسر دنیا بر وضعیت اجتماعی-اقتصادی، سلامت عمومی، کیفیت زندگی و پایداری محیط زیست ملل‌ها، تأثیرات به‌سزایی دارند [۸]. در سال‌های اخیر، پایداری سیستم‌های منابع آب شیرین با تغییرات سریع در حوزه‌های آبخیز مواجه گردیده و چالش بزرگی را به‌وجود آورده است [۲]. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور و کمبود منابع آب شیرین، توجه به کیفیت آب رودخانه‌ها و عوامل مؤثر بر آن‌ها، ضروری است. تغییرات اکوسیستم‌های طبیعی در سال‌های اخیر اثرات زیادی بر کیفیت آب سطحی مناطق مختلف کشور داشته است [۱۶]. بنابراین، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در توسعهٔ پایدار یک حوزهٔ آبخیز، فراهم کردن منابع آب مناسب از نظر کمی و کیفی می‌باشد [۴]. با توجه به مطالب ذکر شده، مطالعه در جهت آگاهی از روند تغییرات کیفیت آب سطحی برای مدیریت آب رودخانه‌ها ضرورت دارد.

در این میان روش‌های مختلف آماری، روش‌های آماری چند متغیره و داده کاوی‌ها برای بررسی پارامترهای کیفی آب بیشتر مورد توجه می‌باشد [۱۵]. مطالعات زیادی در مورد کیفیت آب سطحی در سراسر دنیا و کشور انجام شده است. در تحقیقی [۱۱]، از تحلیل عاملی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی مناسب‌ترین پارامترهای توصیف کننده کیفیت آب و نیز ایستگاه‌های پایش کیفیت آب رودخانه جونز در کالیفرنیای آمریکا استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ۹ پارامتر به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب منطقهٔ مورد مطالعه بوده و ۳ ایستگاه از ۲۲ ایستگاه دارای اهمیت کمتری هستند. در تحقیقی [۱۳]، از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، تحلیل تشخیص و تحلیل رگرسیون چند متغیره جهت پایش ۲۲ پارامتر کیفیت آب در رودخانهٔ ملن[1] ترکیه استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دو روش تحلیل رگرسیونی چند متغیره و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نتایج یکسانی داشتند. هم چنین آن‌ها بیان کردند که روش‌های آماری چند متغیره برای ارزیابی داده‌های کیفی این منطقه نتیجهٔ رضایت‌بخشی داشته‌اند. در تحقیقی دیگر در هند [۱۷]، برای ارزیابی زمانی و مکانی پارامترهای کیفی از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، خوشه‌بندی و تحلیل تشخیص استفاده کردند. تحلیل عاملی ۶ فاکتور مهم را شناسایی کرد که ۷۱ درصد واریانس جامعه را توصیف می‌کردند و هم چنین تحلیل تشخیص نشان داد که ۵ پارامتر دما، EC، pH، قلیائیت و منیزیم بیش از ۸۸ درصد تغییرات را توجیه می‌نمایند. بنابراین نتایج آن‌ها کارایی بهتر روش‌های آماری چند متغیره در بررسی پارامترهای کیفیت آب را تأیید کرد.

در ایران نیز از روش‌های آماری چند متغیره جهت مطالعهٔ پارامترهای کیفی آب رودخانه‌ها استفاده شده است. در مطالعه‌ای [۱۵]، برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی آب رودخانهٔ جاجرود، نمونه‌های آب در یک دورهٔ ۳ ساله در ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی برداشت شده و جهت تحلیل از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی استفاده کردند. آن ها نشان دادند که نتایج این دو روش در این مطالعه شبیه به هم بوده است. در تحقیقی دیگر [۷]، از اطلاعات ماهانهٔ ۱۶ پارامتر کیفیت آب در رودخانه‌های استان مازندران جهت تجزیه و تحلیل با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه استفاده شد. یافته‌های آن‌ها نشان داد که بسیاری از پارامترهای اندازه‌گیری شده، دارای همپوشانی بوده و پارامترهای TDS، pH، SO^{-}_{4}، NO^{-}_{3} و PO^{-}_{3} به عنوان پارامترهای بهینه مطرح شدند که در مجموع قادرند ۹۶/۹۴ درصد از تغییرات واریانس جامعه را توصیف نمایند. همچنین آن‌ها بیان کردند که تحلیل‌های چند متغیره آماری قادر است حجم گسترده‌ای از داده‌ها را پردازش نمایند و به عنوان راهکاری کمی در مدیریت کیفیت آب

1 - Melen River

www.SID.ir

Archive of SID

رودخانه‌های استان مازندران مطرح گردند. محققین [۱۰] از روش تحلیل عاملی به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در حوزهٔ آبخیز هراز-قره‌سو استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد در مناطق همگن ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲، ۳ و ۲ عامل به عنوان مهم‌ترین عامل‌هایتبیین پارامترهای کیفیت آب بوده است.

بنابراین، هزینهٔ نمونه‌برداری پارامترهای کیفیت آب زیاد می‌باشد اگر به توان ایستگاه‌های همگن از لحاظ خصوصیات کیفیت آب پیدا کرد که نشان دهنده تغییرات کل ایستگاه‌ها و تغییرات آنها باشد، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره می‌توان حجم گسترده‌ای از داده‌های کیفی آب رودخانه‌ها را پردازش کرد و به مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب دست یافت. مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی ۱۰ پارامتر مهم کیفیت آب در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره صورت گرفته است. در این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای طی دورهٔ آماری ۱۳۸۹-۱۳۶۰ با استفاده از سه روش تحلیل خوشه‌ای (CA)، تحلیل تشخیص (DA) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مطالعه شد.

۲. روش شناسی تحقیق

۲ .۱. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز آجی چای در شمال‌غرب ایران یکی از مهم-ترین زیر حوزه‌های دریاچه ارومیه می‌باشد و به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های جغرافیایی '۴۲ °۳۷ تا '۳۰ °۳۸ شمالی و طول‌های جغرافیایی '۴۰ °۴۵ تا '۵۳ °۴۷ شرقی واقع شده است. این حوزهٔ آبخیز حدود ۱۱۵۹۰ کیلومترمربع مساحت دارد و حدود ۲۲ درصد از کل مساحت دریاچه ارومیه را در بر می‌گیرد. مرتفع ترین نقطه در این حوزه ۳۸۵۰ متر از سطح دریا و پست‌ترین محل دریاچه ارومیه با ۱۲۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. میزان بارندگی سالانه در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای ۳۴۶ میلی‌متر و حجم کل بارش سالیانه ۳۹۷۵ میلیون متر مکعب می‌باشد. مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی در این منطقه مربوط به دوران سوم و به صورت توده‌های آهکی، کنگلومرا و ماسه سنگ می‌باشد. جهت مطالعهٔ پارامترهای کیفی آب در طی یک دورهٔ ۳۰ ساله، از داده‌های مشاهده‌ای سه ماههٔ اول هر سال میانگین‌گیری شده‌است. در این حوزه از ۱۱ ایستگاه آب‌سنجی استفاده شده که موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های آب سنجی در شکل ۱ ارائه گردیده است.

۲. ۲. روش‌های آماری چند متغیره[1]

۲. ۲. ۱. تحلیل خوشه‌ای[2]

هدف اصلی تحلیل خوشه‌ای، ایجاد طبقات و گروه‌هایی است که تنوع و تفرق درون گروهی آن‌ها کمتر از تفرق و پراکنش بین گروهی باشد [۷]. خوشه‌بندی متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی را بین هرکدام از نمونه‌ها و نیز بین همه داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود [۱۰]. در این پژوهش از روش وارد[3] برای مجموعه داده‌های نرمال شده استفاده شد. بر اساس روش وارد، ابتدا میانگین‌های متغیرها در داخل هر خوشه محاسبه می‌شود، سپس برای هر مشاهده، مربع فاصله اقلیدسی میانگین خوشه‌ها محاسبه می‌شود [۱۱].

۲. ۲. ۲. تحلیل تشخیص[4]

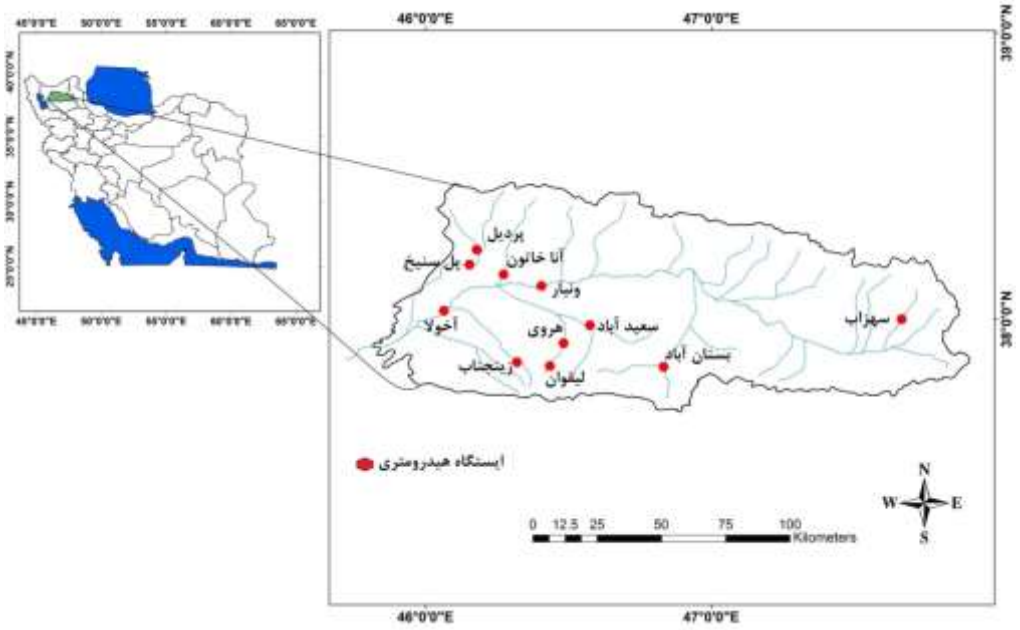
تحلیل تشخیص یک روش آماری است که متغیرهای قابل تبعیض میان دو گروه یا بیشتر که به‌طور طبیعی گروه بندی شده‌اند، را استخراج می‌کند [۱۳]. زمانی که هدف پژوهشگر به‌دست آوردن رابطه‌ای است تا بتواند با توجه به متغیرهای مستقل عضویت را در متغیر گروه‌بندی مشخص کند، این روش مفید خواهد بود. تابع تشخیص معادله‌ای است که با داشتن مشخصات هر فرد

1 - Multivariate Statistical Methods
2 - Cluster Analysis
3 - Ward
4 - Discriminant analysis

www.SID.ir

Archive of SID

جامعه می‌توان با قرار دادن این مشخصات در آن معادله پیش‌بینی کرد که فرد جامعه متعلق به کدام گروه است [۱۸]. در این تحقیق جهت بررسی تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب و مهم‌ترین پارامترها در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای از تحلیل تشخیص استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های آب سنجی منطقهٔ مطالعاتی

۲. ۲. ۳. تحلیل مؤلفه‌های اصلی[1]

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد که بر روی متغیرهای جمع آوری شده تمرکز دارد [۱۳]. به عبارت دیگر، یکی از روش‌های چند متغیره آماری است که در مواردی که حجم داده‌ها زیاد باشد، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش تعداد ورودی‌ها محسوب گردد [۹]. در این تحقیق برای مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی از شاخص KMO[2] استفاده شد. همچنین جهت آزمودن فرضیه همبستگی پارامترها از آزمون بارتلت[3] استفاده شد. به منظور بهبود روابط بین متغیرها و عامل‌های اولیه و اعمال تبدیل‌های خاص بر روی عامل‌ها، عمل دوران انجام می‌شود [۱۸]. از جمله متداول‌ترین روش‌های دوران متعامد که استقلال میان عامل‌های استخراجی را حفظ می‌کند، روش واریماکس[4] می‌باشد. در این مطالعه جهت دوران عامل‌ها از روش واریماکس استفاده شد.

۳. نتایج

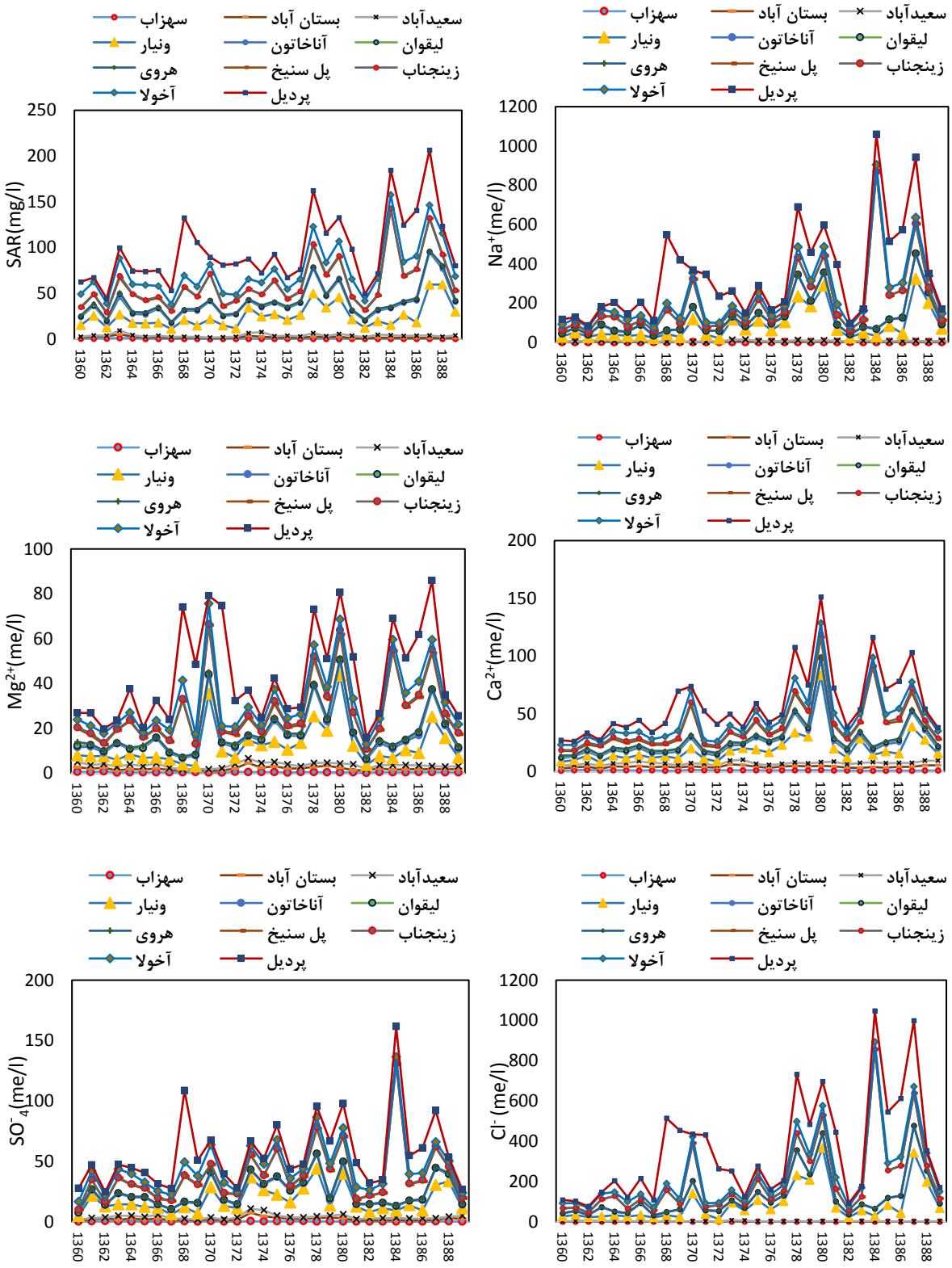
۳. ۱. بررسی تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب

جهت درک تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب در حوزه آبخیز آجی‌چای، تغییرات هر یک از پارامترها در شکل ۲ (الف و ب) ارائه شده است.

1 - Principal Component Analysis
2 - Kaiser - Meyer - Olkin
3 - Bartlett test
4 - Varimax Method

www.SID.ir

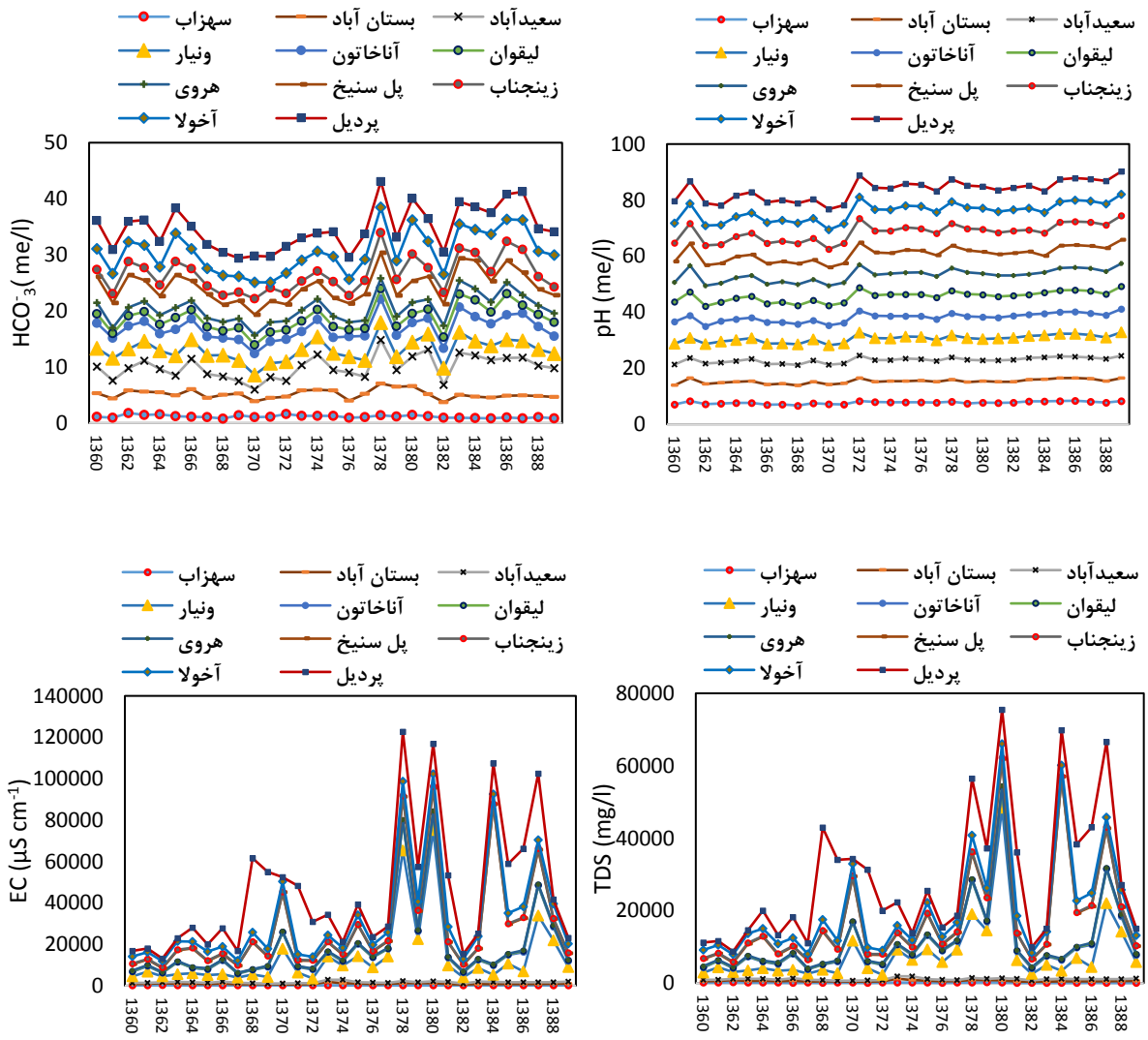
Archive of SID



شکل ۲. الف : تغییرات زمانی پارامترهای SAR، Na^{+}، Ca^{2+}، Mg^{2+}، SO^{-}_{4}، Cl^{-} در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. ب: تغییرات زمانی پارامترهای pH، HCO^-_3، EC و TDS در حوزهٔ آبخیز آجی‌چای

کمترین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب مربوط به ایستگاه سهزاب می‌باشد که در روی سرشاخهٔ رودخانه آجی‌چای قرار گرفته است. ایستگاه‌های دیگری که نسبت به بقیهٔ ایستگاه‌ها در بیشتر پارامترهای کیفی تغییرات کمتری نشان داده، ایستگاه‌های سعید آباد و بستان آباد بودند. بنابراین از شرق حوزهٔ آبخیز آجی‌چای به طرف غرب، کیفیت آب تغییرات زیادی داشته است. به عبارتی خود رودخانه آجی‌چای دارای کیفیت پایین‌تری نسبت به سرشاخه‌های رودخانه است. با توجه به داده‌های اندازه گیری شدهٔ کیفی آب در طی دورهٔ ۱۳۸۹-۱۳۶۰، مشخص گردید که پارامترهای Mg^{2+}، Na^+، Cl^-، SAR، TDS و EC تغییرات زیادی را در طی سال‌های گذشته در همهٔ ایستگاه‌ها داشته‌اند.

۲.۳. تحلیل خوشه‌ای

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای در منطقهٔ مطالعاتی در شکل ۳ نشان داده شده است. با انجام تحلیل خوشه‌ای، ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقهٔ مورد مطالعه در

www.SID.ir

Archive of SID

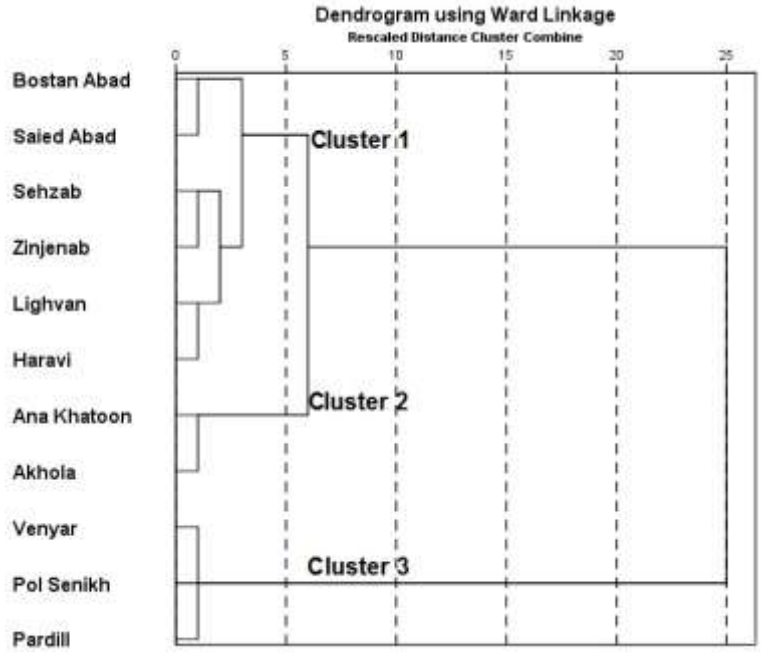
سه خوشهٔ همگن قـرار گرفتنـد. فاصـلهٔ بـین هـر یـک از ایستگاه‌های آب سنجی در خوشه‌هـای بـه‌دسـت آمـده از تحلیل خوشه‌ای، در نتیجه همبستگی و خـود همبسـتگی بین پارامترهـای کیفـی آب سـطحی اسـت. خوشـه‌هـای همگـن بـر اسـاس روش وارد و فاصـله اقلیدسـی تعیـین شـدند. بـا توجـه بـه دنـدروگرام، سـه تـا خوشـهٔ همگـن استخراج شد که عبارتند از:

خوشهٔ اول= ایسـتگاه‌هـای بسـتان آبـاد، سـعید آبـاد، سهزاب، زینجناب، لیقوان و هروی.

خوشهٔ دوم= ایستگاه‌های آناخاتون و آخولا.

خوشهٔ سوم= ایستگاه‌های ونیار، پل سنیخ و پردیل.

همان‌طور کـه در شـکل ۳ مشـاهده مـی‌شـود تقریبـاً تشابه گروهی با توجه به طول شـاخه‌هـا، در سـه خوشـه همگن به یک اندازه می‌باشند. ایستگاه‌هایی که در خوشـهٔ همگن یک قرار گرفته‌اند مربوط به سرشاخه‌های بالادست رودخانه آجـی‌چـای مـی‌باشـند کـه تغییـرات کیفـی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشـهٔ همگـن دیگـر کم بوده است. به‌عبارتی کیفیت آب سطحی ایستگاه‌هـایی که در خوشهٔ همگن یک قرار گرفته‌اند بهتـر از دو خوشـهٔ دیگر می‌باشد.



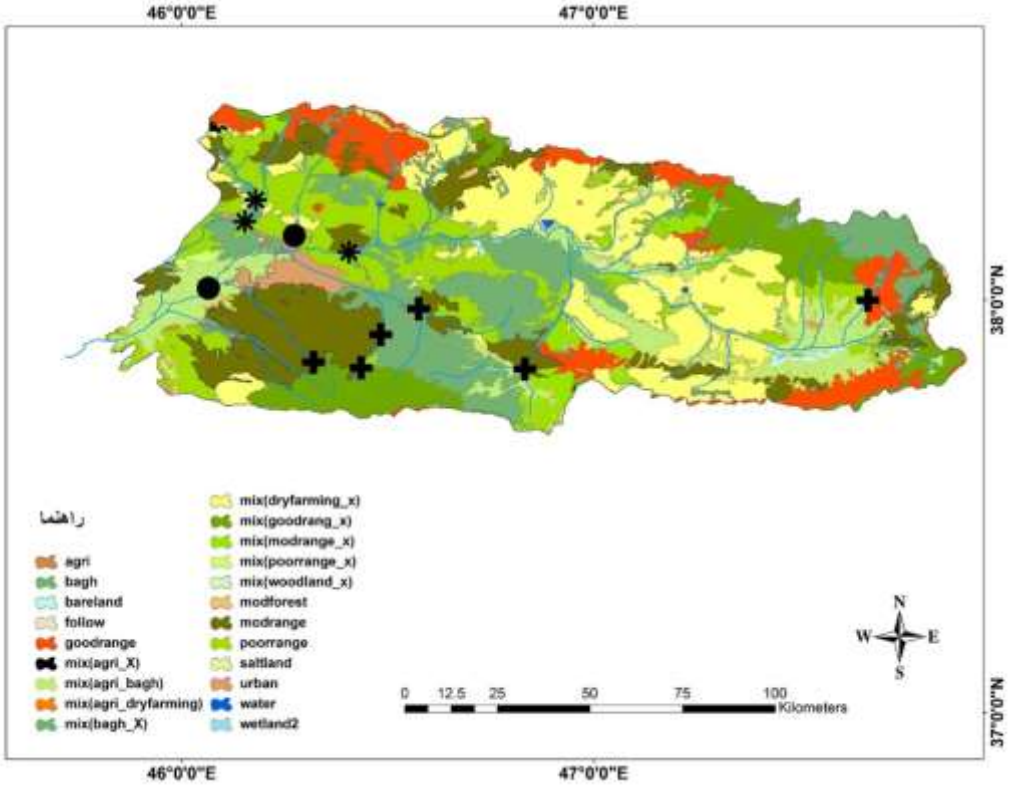
شکل ۳. دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی سلسله مراتبی ایستگاه‌های منطقهٔ مطالعاتی

شکل ۴، نقشهٔ کاربری اراضی حوزهٔ آبخیز آجی‌چـای و سه خوشهٔ همگن را نشان مـی‌دهـد. بـا توجـه بـه نقشـهٔ کاربری اراضی مشاهده گردید کـه خوشـهٔ اول بیشـتر در عرصه‌های مرتعی و باغی قـرار داشـته و بـه عبـارتی ایـن ایستگاه‌ها کمتر تحت تـأثیر آلـودگی‌هـای نقطـه‌ای واقـع نشده‌اند. بنـابراین کیفیـت آب سـطحی ایـن ایسـتگاه‌هـا نسبت به ایستگاه‌های دیگر بهتر می‌باشد. ایسـتگاه آخـولا در پایین دست شهر تبریز قرار گرفته‌است کیفیت کمتری را دارد که این موضوع با توجه بـه شـکل ۲ نیـز مشـخص شد که تغییرات پارامترهای مختلـف کیفیـت آب در ایـن ایستگاه بیشتر بوده است. بنابراین، ایستگاه آخولا علاوه بر تحت تأثیر شرایط طبیعی منطقه قـرار گـرفتن، مـی‌تـوان گفت که تحت تأثیر مناطق شهری و کاربری‌هـای مربـوط به آن بوده است. جدول ۱، میـانگین پارامترهـای کیفیـت

www.SID.ir

Archive of SID

آب سطحی در هر ۳ خوشهٔ همگن را نشان می‌دهد. به غیر از پارامترهای HCO^{-}_{3} و pH، میانگین بقیهٔ پارامترهای کیفیت آب اختلاف زیادی در خوشه‌های مختلف دارند. بیشترین اختلاف بین میانگین پارامترهای SAR و TDS دیده می‌شود. بنابراین روش آماری تحلیل خوشه‌ای توانسته خوشه‌های همگن را به‌صورت کاراتر کلاسه‌بندی کند.



شکل ۴. کاربری‌های اراضی مختلف و سه خوشهٔ همگن در منطقهٔ مطالعاتی
(علامت بعلاوه نشان‌دهنده خوشه یک، دایره نشان‌دهنده خوشه دوم و ستاره نشان‌دهنده خوشه سوم است)

جدول ۱. میانگین پارامترهای کیفی آب در سه خوشهٔ همگن

پارامتر	خوشه ۱	خوشه ۲	خوشه ۳
SAR	۱/۱۴	۱۳/۷۷	۲۱/۰۹
EC	۴۲۵/۵۵	۴۴۹۶/۱۱	۱۱۱۳۵/۷۷
TDS	۲۷۶/۰۳	۲۹۲۵/۴۵	۷۰۱۶/۲۶
HCO^{-}_{3}	۲/۶۳	۳/۸۶	۳/۷۴
Cl^{-}	۰/۶۹	۳۴/۹۹	۹۲/۴۴
SO^{-}_{4}	۰/۹۱	۶/۴۰	۱۲/۷۹
Ca^{2+}	۱/۸۶	۶/۳۱	۱۱/۴۸
Mg^{2+}	۰/۹۱	۴/۷۳	۹/۵۹
Na^{+}	۱/۴۶	۳۴/۰۶	۸۷/۱۴
pH	۷/۶۲	۷/۴۹	۷/۶۲

www.SID.ir

Archive of SID

۳.۳. تحلیل تشخیص

تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در منطقهٔ مطالعاتی از طریق تحلیل تشخیص ارزیابی شده است. جدول ۴ نتایج حاصل از تحلیل تشخیص را برای پارامترهای کیفیت آب رودخانه‌های حوزهٔ آبخیز آجی‌چای نشان می‌دهد. ستون‌های دوم و سوم جدول ۴، نتایج آزمون تساوی میانگین پارامترهای کیفیت آب را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. جهت تعیین بهترین تابع و آزمون تساوی میانگین پارامترها در ایستگاه‌های مختلف از شاخص لامبدا ویلکس[1] استفاده شده است. مقدار این شاخص بین صفر و یک است و هر چه مقدار این شاخص برای یک تابع کوچکتر باشد، آن تابع تفکیک کننده خوبی است [۱۸]. نتایج حاصله نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار شاخص را به ترتیب پارامترهای EC و pH داشته‌اند. آمارهٔ F نشان داد به غیر از pH میانگین بقیه پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های منطقهٔ مطالعاتی متفاوت بوده است. بر اساس نتایج حاصله از تحلیل تشخیص، سه تابع برای پارامترهای مختلف کیفیت آب تعیین گردید که با توجه به آزمون کای اسکور در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند.

توابع اول، دوم و سوم به ترتیب ۷۳/۵۰، ۲۰/۳۰ و ۳/۴۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را تبیین می‌کنند. به عبارت دیگر، توابع یک، دو و سوم ۹۷/۲۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را توصیف می‌کنند. در بخش دوم جدول ۴، ماتریس ساختار برای پارامترهای کیفیت آب ارائه شده است. مقادیر ماتریس ساختار، نشان‌دهندهٔ میزان همبستگی خطی بین هر پارامتر کیفیت آب با توابع تشخیص است. در تابع اول، پارامتر SO_4^{2-} بیشترین همبستگی خطی با این تابع را داشته است. پارامتر SAR بیشترین همبستگی را با تابع دوم داشته است و پارامترهای Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Cl^-، HCO^-_3، pH، EC و TDS با تابع سوم نشان دادند که بیشترین همبستگی خطی را داشته‌اند.

در مرحلهٔ بعد، جهت تعیین پارامترهای مؤثر در تشکیل توابع از روش گام به گام استفاده شد و به ترتیب پارامترهای HCO^-_3، SAR، Na^+، SO_4^{2-} و Ca^{2+} وارد توابع شدند. به‌عبارتی ۵ پارامتر به ترتیب، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب با تحلیل تشخیص استخراج شدند.

جدول ۴. نتایج تحلیل تشخیص برای پارامترهای کیفیت آب منطقهٔ مطالعاتی

مقایسه تساوی میانگین‌ها			توابع تشخیص		
پارامتر	Wilks' Lambda	Sig.	۱	۲	۳
SAR	۰/۴۸	۰/۰۰	۰/۴۶	**۰/۸۶**	۰/۱۰
Na^+	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۲۳	-۰/۱۱	**۰/۵۶**
Mg^{2+}	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۲۸	-۰/۰۹	**۰/۵۶**
Ca^{2+}	۰/۶۹	۰/۰۰	۰/۴۲	-۰/۱۹	**۰/۵۵**
SO_4^{2-}	۰/۶۹	۰/۰۰	**۰/۲۷**	-۰/۱۱	۰/۱۵
Cl^-	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۲۷	-۰/۰۸	**۰/۲۹**
HCO^-_3	۰/۳۲	۰/۰۰	-۰/۰۳	-۰/۰۲	**۰/۱۰**
pH	**۰/۹۶**	۰/۱۴	۰/۲۳	-۰/۱۳	**۰/۴۱**
EC	**۰/۴۲**	۰/۰۰	۰/۲۴	-۰/۱۲	**۰/۴۸**
TDS	۰/۷۰	۰/۰۰	۰/۲۳	-۰/۱۱	**۰/۵۳**

[1] - Wilks' Lambda

www.SID.ir

Archive of SID

۳. ۴. تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که می‌تواند مهم‌ترین عامل‌های تأثیر گذار برکیفیت آب را توصیف کند. در این پژوهش، تحلیل عاملی بر اساس ۱۰ پارامتر کیفی به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیر گذار برکیفیت آب سطحی منطقهٔ مطالعاتی انجام گرفت. قبل از انجام تحلیل عاملی داده‌ها بایستی شرایط لازم برای تحلیل عاملی را با توجه به نتایج آزمون‌های KMO و بارتلت داشته باشند. در این تحقیق نتایج آزمون KMO رضایت‌بخش بوده و آزمون بارتلت در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. هر چه قدر همبستگی بین پارامترها قوی باشد، تحلیل عاملی نتایج بهتری را از تغییرات واریانس جامعه نشان می‌دهد. نتایج ماتریس همبستگی بین پارامترهای کیفیت آب در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج همبستگی پارامترها نشان می‌دهد که به غیر از pH، با بقیه پارامترها همبستگی مثبت داشته‌اند. به عبارتی نتایج حاصل از ماتریس همبستگی میان پارامترهای کیفیت آب در مرحله اول تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمایانگر آن است که بین اکثر پارامترهای مورد بررسی، همبستگی بالایی وجود دارد. این امر تناسب داده‌های موجود را برای ورود به تحلیل مؤلفه‌های اصلی و همچنین تعیین مهم‌ترین پارامترهای اندازه گیری شده تأیید می‌نماید.

جدول ۵. ماتریس همبستگی میان پارامترهای کیفی آب در مرحلهٔ اول PCA

پارامتر	SAR	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO^-_3	pH	EC	TDS
SAR	۱/۰۰									
Na^+	۰/۹۷	۱/۰۰								
Mg^{2+}	۰/۹۸	۱/۰۰	۱/۰۰							
Ca^{2+}	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۰۰						
SO_4^{2-}	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۹	۱/۰۰					
Cl^-	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۴	۱/۰۰				
HCO^-_3	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۴	۱/۰۰			
pH	-۰/۱۶	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۰۸	-۰/۱۱	-۰/۰۲	-۰/۳۶	۱/۰۰		
EC	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۴۴	-۰/۰۱	۱/۰۰	
TDS	۰/۹۸	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۴۶	-۰/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۰

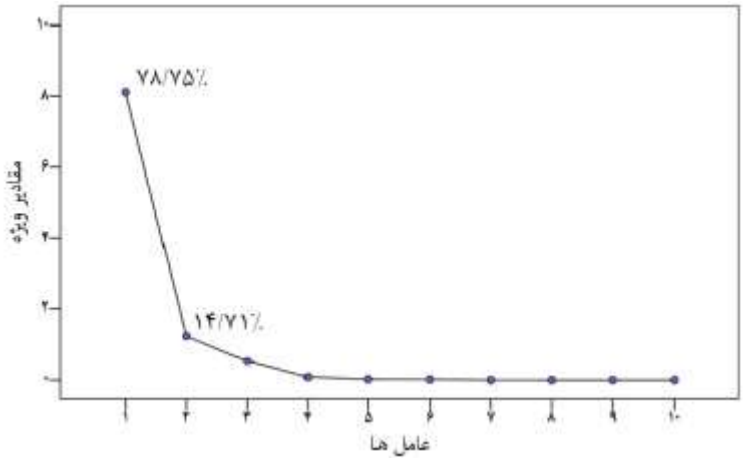
در این تحقیق برای دوران عامل‌ها، از روش واریماکس استفاده شد و اساس انتخاب عامل‌ها مقادیر ویژه بیش از یک برای تعیین مهم ترین پارامترهای مؤثر برکیفیت آب سطحی می‌باشد. شکل ۵ تغییرات مقادیر ویژه به ازای افزایش تعداد مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار، دو مؤلفهٔ اول دارای بیشترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به ترتیب ۷۸/۷۵ و ۱۴/۷۱ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌نمایند و در مجموع ۹۳/۴۶ درصد از واریانس جامعه توسط دو مؤلفهٔ اول توصیف شده‌است. بنابراین دو مؤلفهٔ اول به عنوان بهترین مؤلفه‌ها در توصیف تغییرات کیفیت آب رودخانه‌های حوزهٔ آجی‌چای می‌باشند. همان طور که ذکر شد جهت استخراج پارامترهای اصلی کیفیت آب از درون مؤلفه‌های اصلی، از بار عاملی چرخانده شده با دوران واریماکس استفاده شد. بر این اساس در هر مؤلفه، پارامترهایی که دارای بیشترین بار عاملی مثبت یا منفی) هستند، بهترین

www.SID.ir

Archive of SID

نماینده برای تبیین آن مؤلفـه مـی‌باشـند. جـدول ۶، بـار عاملی هر کدام از پارامترهـا بـرای عضـویت در دو مؤلفـه اصلی را نشان می‌دهد.

در مؤلفـه اول کـه بیشـترین درصـد تبیـین واریـانس جامعـه بـوده‌اسـت (شـکل ۵)، پارمترهـای SAR، Na^{+}، Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، Cl^{-}، EC و TDS بیشـــــــــترین همبستگی را با این مؤلفه داشتند. اعضای این گروه بیشتر نشان‌دهندهٔ یون‌ها و مواد معلق در رودخانـه‌هـای منطقـهٔ مطالعاتی می‌باشد. در میان پارامترهای موجـود در مؤلفـه اول، SAR دارای بیشترین بار عاملی است (برابـر ۰/۹۹۶) و به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته شده‌اسـت. در مؤلفه دوم pH و HCO^{-}_3 به ترتیب با بار عاملی ۰/۹۱۱- و ۰/۶۸۸ دارای بیشترین همبستگی با این مؤلفه می‌باشـند. اجزای این مؤلفه نیز نشان دهنـدهٔ اسـیدیتهٔ آب سـطحی هستند و مؤلفهٔ pH به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر ایـن مؤلفـه شناخته شد.



شکل ۵. مقادیر ویژه عامل‌های با مقادیر ویژه بیشتر از یک

جدول ۶. بار عاملی برای هرکدام از مؤلفه‌های اصلی با دوران واریماکس

پارامتر	مؤلفه‌های اصلی	
	۱	۲
SAR	**۰/۹۹۶**	۰/۲۲۴
Na^{+}	**۰/۹۸۹**	۰/۰۹۳
Mg^{2+}	**۰/۹۸۴**	۰/۱۵۸
Ca^{2+}	**۰/۹۷۷**	۰/۱۸
SO_4^{2-}	**۰/۹۹۵**	۰/۱۸۶
Cl^{-}	**۰/۹۸۸**	۰/۰۷۷
HCO^{-}_3	۰/۴۲۱	**۰/۶۸۸**
pH	۰/۰۷۶	**-۰/۹۱۱**
EC	**۰/۹۹۴**	۰/۰۶۸
TDS	**۰/۹۹۴**	۰/۰۹

www.SID.ir

Archive of SID

۴. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب در حوزهٔ آبخیز آجی چای در طی دورهٔ ۱۳۸۹-۱۳۶۰ با روش‌های آماری چند متغیره مطالعه شد. نتایج نشان داد کمترین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب مربوط به ایستگاه سهزاب واقع در روی سرشاخهٔ رودخانه آجی‌چای است. ایستگاه سهزاب بر روی رودخانهٔ آغمیون چای قرار گرفته است که از دامنه‌های جنوبی سبلان سرچشمه می‌گیرد. اغلب سنگ‌های دامنهٔ جنوبی سبلان، از سنگ‌های آندزیتی، تراکی آندزیتی و آندزیتی-بازالتی تشکیل شدند و در نتیجه کیفیت آب سطحی کمتر تحت تأثیر این سازندها قرار می‌گیرد [۶]. قسمت عمدهٔ آب با کیفیت آجی‌چای در دشت سراب و یا بالاتر از آن در رودخانه‌های آغمیون‌چای و تاجیارچای قرار گرفته است [۵]. در تحقیق حاضر مشخص شد که ایستگاه‌هایی که در بیشتر پارامترهای کیفی، تغییرات کمتری نشان دادند، ایستگاه‌های سعید آباد و بستان آباد بوده است که این ایستگاه‌ها مربوط به سرشاخه‌های رودخانهٔ آجی‌چای بوده است. جهت تعیین مناطق همگن از لحاظ پارامترهای کیفی آب در منطقهٔ مطالعاتی از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. با انجام تحلیل خوشه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقهٔ مورد مطالعه در سه خوشهٔ همگن جای گرفتند. ایستگاه‌هایی که در خوشهٔ همگن یک قرار گرفتند مربوط به سرشاخه‌های بالادست رودخانه آجی‌چای می‌باشند که تغییرات کیفی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشه همگن دیگر کم بوده است. با توجه به نقشه کاربری اراضی منطقهٔ مورد مطالعه مشاهده شد که خوشهٔ اول بیشتر در عرصه‌های مرتعی و باغی بوده است. به عبارتی این ایستگاه‌ها کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های نقطه‌ای قرار داشته‌اند.

تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در منطقهٔ مورد مطالعه از طریق تحلیل تشخیص ارزیابی شده است. تحلیل تشخیص از ۹ تابع استخراجی، سه تابع برای پارامترهای مختلف کیفیت آب تعیین کرد که با توجه به آزمون کای اسکور در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند. توابع اول، دوم و سوم به ترتیب ۷۳/۵۰، ۲۰/۳۰ و ۳/۴۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را تبیین می‌کنند. به عبارت دیگر، توابع یک، دو و سوم ۹۷/۲۰ درصد واریانس کل مشاهده‌ها را توصیف می‌کنند. در تابع اول، پارامتر SO_4^{2-} بیشترین همبستگی خطی با این تابع داشته‌است. پارامتر SAR بیشترین همبستگی را با تابع دوم داشته است و پارامترهای Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، Cl^-، HCO_3^-، pH، EC و TDS با تابع سوم نشان دادند که بیشترین همبستگی خطی را داشته‌اند. در مرحلهٔ بعد جهت تعیین پارامترهای مؤثر در تشکیل توابع از روش گام به گام استفاده شد. به ترتیب پارامترهای HCO_3^-، SAR، Na^+، SO_4^{2-} و Ca^{2+} وارد توابع شدند. به‌عبارتی پنج پارامتر به ترتیب اهمیت، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب با آنالیز تشخیص استخراج شدند. هم‌چنین در تحقیقی از آنالیز تشخیص جهت بررسی کیفیت آب دریاچه Pamvotis در یونان استفاده کردند [۱۲]. نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای فسفر، Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+} بیشترین معناداری را در بین پارامترهای کیفی آب دریاچه داشته‌اند که بر اساس معناداری این سه پارامتر جداسازی خوشه‌های همگن پارامترهای کیفیت آب به آسانی صورت می‌گیرد.

در این پژوهش، تحلیل عاملی بر اساس ۱۰ پارامتر کیفی به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای تؤثیر گذار در کیفیت آب سطحی منطقهٔ مورد مطالعه انجام گرفت. نتایج نشان داد که دو مؤلفه اول دارای بیشترین مقادیر ویژه هستند. این مؤلفه‌ها به ترتیب ۷۸/۷۵ و ۱۴/۷۱ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌نمایند و در مجموع ۹۳/۴۶ درصد از واریانس جامعه توسط دو مؤلفه اول توصیف شده است. بنابراین دو مؤلفهٔ اول به عنوان بهترین مؤلفه‌ها در توصیف تغییرات کیفیت آب رودخانه‌های حوزهٔ آجی‌چای می‌باشند. در میان پارامترهای موجود در مؤلفه اول، SAR دارای بیشترین بار عاملی است (برابر ۰/۹۹۶) و به عنوان پارامتر اصلی

www.SID.ir

Archive of SID

این مؤلفه شناخته شده‌است. در مؤلفه دوم pH با بار عاملی ۰/۶۸۸ دارای بیشترین همبستگی با این مؤلفه داشته است. در مطالعات زیادی از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. بنابراین نتایج تحلیل تشخیص و تحلیل عاملی در شناسایی پارامترهای مهم کیفیت آب در بیشتر موارد شبیه هم نبوده است.

در مطالعه‌ای [۱] تحلیل عاملی را برای ۲۸ نمونه آب زیرزمینی جمع‌آوری شده از چاه‌های منطقه Yun-Lin به‌کارگرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو مؤلفه ۷۷/۸ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌کرد. مؤلفه اول شامل غلظت‌های K^+، Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، EC، TDS و عامل دوم غلظت‌های TOC، ALK بوده است. در پژوهشی دیگر از تحلیل عاملی به منظور شناخت مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در مناطق همگن حوزهٔ آبخیز هراز-قره سو استفاده نمودند [۱۰]. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ۲، ۳ و ۲ عامل به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تغییر کیفیت آب با مجموع واریانس ۸۷/۲۷، ۸۷/۸۶ و ۹۱/۵۸ به ترتیب در مناطق همگن ۱، ۲ و ۳ بوده‌است. در مطالعه‌ای [۳] از اطلاعات پارامترهای کیفی آب شامل: EC، SAR، K^+، Na^+، Mg^{2+}، Ca^{2+}، SO_4^{2-}، HCO_3^-، Cl^- در سه ایستگاه آب‌سنجی رودخانهٔ تجن استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تحلیل مؤلفه‌های اصلی در ایستگاه اول SAR و SO_4^{2-}، در ایستگاه دوم HCO_3^- و در ایستگاه سوم Mg^{2+} و Ca^{2+} را حذف نموده است. بر خلاف این مطالعه آن‌ها نشان دادند که پارامترهای Na^+، K^+ و Cl^- همواره به عنوان پارامترهای کلیدی در بیان کیفیت آب بوده‌اند. در تحقیقی در استان مازندران از تحلیل عاملی جهت استخراج عامل‌های اصلی تغییرات هیدروشیمیایی آب سطحی استفاده کردند [۷]. نتایج آن‌ها نشان داد که ۵ عامل به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه‌های توصیف کیفیت آب سطحی بوده اند. پارامترهای TDS، pH، SO_4^-، NO_3^- و PO_3^- به ترتیب بیشترین همبستگی را با مؤلفه‌های ۱ تا ۵ داشتند. در مقایسه با مطالعهٔ حاضر، پارامتر pH در مؤلفهٔ دوم مشترک بوده است. بنابراین نتایج تحقیق حاضر هم نشان داد که پارامترهای SAR و pH به ترتیب بیشترین همبستگی را با مؤلفهٔ اول و دوم داشته است. بنابراین با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره می‌توان حجم گسترده‌ای از داده‌های کیفی آب رودخانه‌ها را پردازش کرد و به مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب دست یافت. چرا که این روش‌ها سبب کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری و هدف‌دار نمودن پایش می‌گردند و هم چنین شناسایی نواحی همگن نقش به‌سزایی در مدیریت یکپارچه زیست محیط و حوزه‌های آبخیز دارد.

References

[1] Chen-Wuing, L., Kao-Hung, L. and Yi-Ming., B. (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*, 313, 77-89.

[2] Erol, A. and Randhir, T. O. (2013). Watershed ecosystem modeling of land-use impacts on water quality. *Ecological Modelling*, 270, 54-63.

[3] Faryadi, S., Shahedi, K. and Nabatpoor, M. (2011). Investigation of Water Quality Parameters in Tadjan River using Multivariate Statistical Techniques. *Watershed Management Journal*, 3(6), 75-92.

[4] Frid Gigloo, B., Najafinejad, A. and Moghani Bilehsavar, V. (2013). Evaluation of water quality variation of Zarringol river, Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20, 78-96.

[5] Gorji Anari, M. and Rafahi, H. GH. (1995). Study of saline surface water of Ajichai watershed and effect of erosion on its quantity. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 26(4), 43-59.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Karami, F. and Bayatieh Khatibi, M. (2011). Spatial monitoring of the groundwater quality in different geological formations (Case study: upstream of Aghi-Chi watershed). *Journal of Geography and Regional Development*, 17, 27-47.

[7] Mirzai, M., Riahi-Bakhtiar, A., Salman-Mahini, A. and Gholamalifard, M. (2013). Analysis of the physical and chemical quality of Mazandaran province (Iran) rivers using multivariate statistical methods. *Mazandaran University of Medical Sciences*, 23(108), 41-52.

[8] Murdoch, P. S., Baron, J. S. and Miller, T.L. (2000). Potential effects of climate change on surface water quality in North America. *Journal of the American Water Resources Association*, 36, 347-366.

[9] Noori, R., Khakpour, A., Omidvar, B. and Farokhnia A. (2010). Comparison of ANN and principal component analysis-multivariate linear regression models for predicting the river flow based on developed discrepancy ratio statistic. *Expert Systems with Applications*, 37(8), 5856-5862.

[10] Nosrati, K., Derafshi, Kh., Ghrachahi, S. and Rahimi, Kh. (2011). Assessment of Surface Water Quality in Haraz-Ghara Soo Watershed using Multivariate Statistical Techniques. *Research Earth Science Journal*, 5, 41-55.

[11] Ouyang, Y. (2005). Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, 39(12), 2621-35.

[12] 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*, 193, 759-776.

[13] Rabia Koklu, R., Sengorur, B. and Topal, B. (2010). Water Quality Assessment Using Multivariate Statistical Methods—A Case Study: Melen River System (Turkey). *Water Resources Management*, 24, 959–978.

[14] Rasi Nezami, S., Nazariha, M., Baghvand, A. and Moridi, A. (2012). Karkheh River Water Quality Using Multivariate Statistical Analysis and Qualitative Data Variations. *Journal of Health System Research*, 8(7), 1280-92.

[15] Razmkhah, H., Abrishamchi, A. and Torkian, A. (2010). Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management*, 91, 852-860.

[16] Salajeghe, A., Razavi Zadeh, S., Khorasani, N., Hamidfar, M. and Salajeghe, S. (2010). Land use changes and their impact on the river water quality (Case study: Karkheh watershed). *Journal of Environmental Studies*, 58, 81-86.

[17] Singh, K., 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)—a case study. *Water Research*, 38, 3980–3992.

[18] Zare Chahoky, M. (2009). Data analysis in natural resources research using SPSS software. University of Tehran press.

www.SID.ir