

## تجزیه و تحلیل پارامترهای کیفیت آب سطحی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آجی چای)

- ❖ مجید کاظم زاده؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران.
- ❖ آرش ملکیان\*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، 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 حوزه آبخیز آجی چای طی دوره 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 سطحی منطقه مورد مطالعه در سه خوشه همگن جای گرفتند. ایستگاه‌های قرار گرفته در خوشه همگن یک، مربوط به سرشاخه‌های بالادست رودخانه آجی چای می‌باشند که تغییرات کیفی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشه همگن دیگر کم بوده است. به عبارت دیگر، کیفیت آب سطحی در خوشه همگن یک بهتر از دو خوشه 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. هم‌چنین تحلیل تشخیص نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر کیفیت آب منطقه مطالعاتی، پارامترهای  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Na}^+$ ، SAR،  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{Ca}^{2+}$  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 مؤلفه اول مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر کیفیت آب رودخانه آجی چای 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، حوزه آبخیز آجی چای

## ۱. مقدمه

امروزه آب به‌عنوان یکی از پایه‌های اصلی توسعه 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 توسعه پایدار یک حوزه 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 کالیفرنیا آمریکا استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ۹ پارامتر به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب منطقه 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 رودخانه ملن<sup>۱</sup> ترکیه استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دو روش تحلیل رگرسیونی چند متغیره و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نتایج یکسانی داشتند. هم‌چنین آن‌ها بیان کردند که روش‌های آماری چند متغیره برای ارزیابی داده‌های کیفی این منطقه نتیجه 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 هم‌چنین 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 مطالعه پارامترهای کیفی آب رودخانه‌ها استفاده شده است. در مطالعه‌ای [۱۵]، برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی آب رودخانه جاجرود، نمونه‌های آب در یک دوره ۳ ساله در ۱۸ ایستگاه آب‌سنجی برداشت شده و جهت تحلیل از روش‌های تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و خوشه‌بندی استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که نتایج این دو روش در این مطالعه شبیه به هم بوده است. در تحقیقی دیگر [۷]، از اطلاعات ماهانه 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 pH، TDS،  $SO_4$ ،  $NO_3$  و  $PO_3$  به‌عنوان 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 به‌عنوان راهکاری کمی در مدیریت کیفیت آب

مکعب می‌باشد. مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی در این منطقه مربوط به دوران سوم و به صورت توده‌های آهکی، کنگلومرا و ماسه سنگ می‌باشد. جهت مطالعه پارامترهای کیفی آب در طی یک دوره ۳۰ ساله، از داده‌های مشاهده‌ای سه ماهه 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<sup>۱</sup>

### ۲.۲.۱. تحلیل خوشه‌ای<sup>۲</sup>

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 هر کدام 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 ۳ 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<sup>۴</sup>

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

رودخانه‌های استان مازندران مطرح گردند. محققین [۱۰] از روش تحلیل عاملی به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب در حوزه 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 عامل‌های تبیین پارامترهای کیفیت آب بوده است.

بنابراین، هزینه 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. مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی ۱۰ پارامتر مهم کیفیت آب در حوزه آبخیز آجی‌چای با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره صورت گرفته است. در این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب در حوزه آبخیز آجی‌چای طی دوره 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 منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز آجی‌چای در شمال غرب ایران یکی از مهم‌ترین 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 حوزه آبخیز حدود ۱۱۵۹۰ کیلومترمربع مساحت دارد و حدود ۲۲ درصد از کل مساحت دریاچه ارومیه را در بر می‌گیرد. مرتفع‌ترین 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 حوزه آبخیز آجی‌چای ۳۴۶ میلی‌متر و حجم کل بارش سالیانه ۳۹۷۵ میلیون متر

1 - Multivariate Statistical Methods

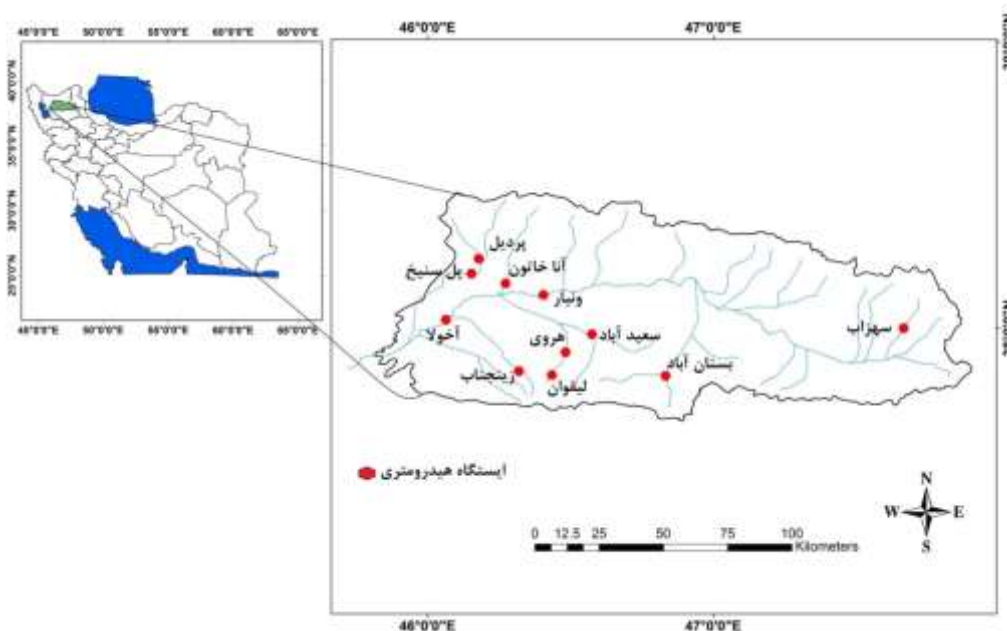
2 - Cluster Analysis

3 - Ward

4 - Discriminant analysis

پارامترهای کیفیت آب و مهم‌ترین پارامترها در حوزه آبخیز آجی‌چای از تحلیل تشخیص استفاده شده است.

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



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های آب سنجی منطقه مطالعاتی

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<sup>۴</sup> می‌باشد. در این مطالعه جهت دوران عامل‌ها از روش واریماکس استفاده شد.

### ۳. نتایج

#### 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.

#### ۲. ۲. ۳. تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup>

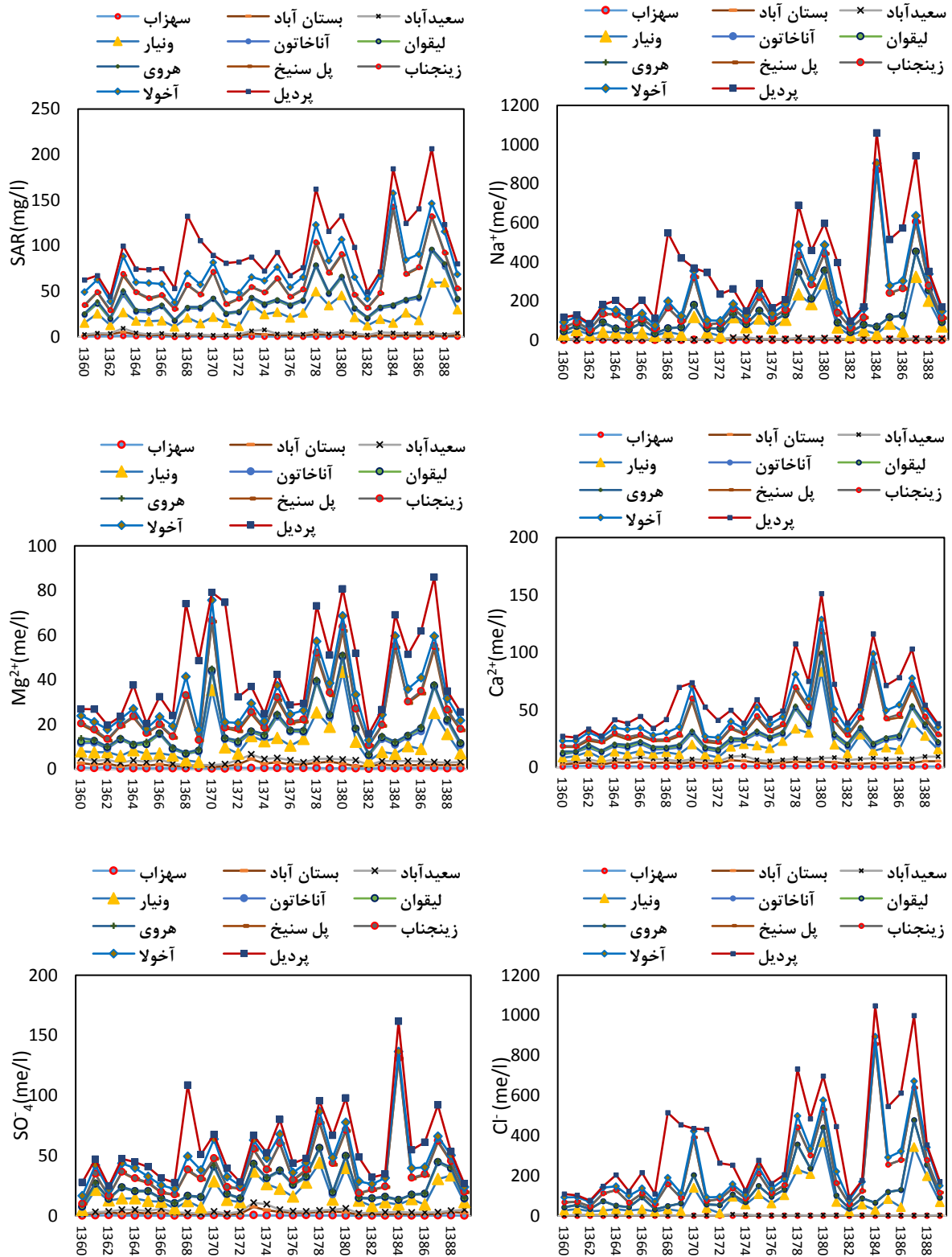
تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد که بر روی متغیرهای جمع‌آوری شده تمرکز دارد [۱۳]. به عبارت دیگر، یکی از روش‌های چند متغیره آماری است که در مواردی که حجم داده‌ها زیاد باشد، می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای کاهش تعداد ورودی‌ها محسوب گردد [۹]. در این تحقیق برای مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی از شاخص KMO<sup>۲</sup> استفاده شد. همچنین جهت آزمودن فرضیه همبستگی پارامترها از آزمون بارتلت<sup>۳</sup> استفاده

1 - Principal Component Analysis

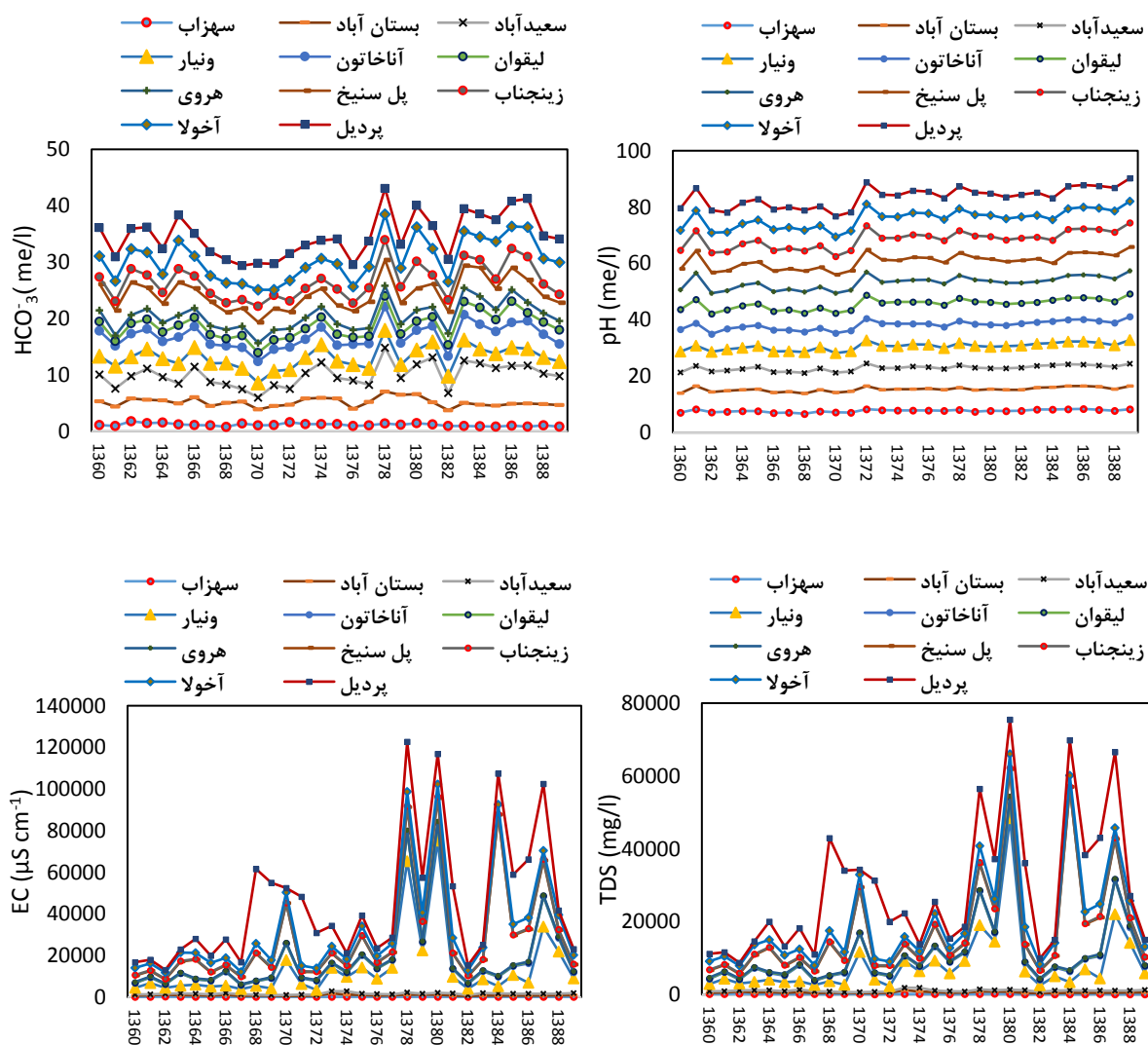
2 - Kaiser - Meyer - Olkin

3 - Bartlett test

4 - Varimax Method



شکل ۲. الف: تغییرات زمانی پارامترهای SAR،  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $SO_4$ ،  $Cl^-$  در حوزه آبخیز آجی چای



شکل ۲. ب: تغییرات زمانی پارامترهای pH،  $\text{HCO}_3^-$ ، EC و TDS در حوزه آبخیز آجی چای

گیری شده کیفیت آب در طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۶۰، مشخص گردید که پارامترهای  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Cl}^-$ ، SAR، TDS و EC تغییرات زیادی را در طی سال‌های گذشته در همه ایستگاه‌ها داشته‌اند.

### ۲.۳. تحلیل خوشه‌ای

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

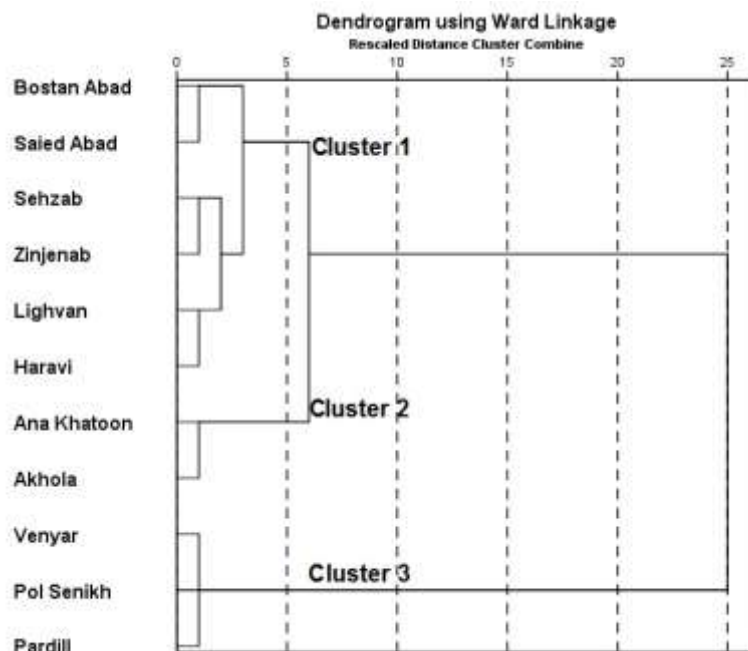
کمترین تغییرات زمانی پارامترهای کیفی آب مربوط به ایستگاه سبزاب می‌باشد که در روی سرشاخه رودخانه آجی چای قرار گرفته است. ایستگاه‌های دیگری که نسبت به بقیه ایستگاه‌ها در بیشتر پارامترهای کیفی تغییرات کمتری نشان داده، ایستگاه‌های سعید آباد و بستان آباد بودند. بنابراین از شرق حوزه آبخیز آجی چای به طرف غرب، کیفیت آب تغییرات زیادی داشته است. به عبارتی خود رودخانه آجی چای دارای کیفیت پایین‌تری نسبت به سرشاخه‌های رودخانه است. با توجه به داده‌های اندازه

خوشه سوم = ایستگاه های ونیار، پل سنیخ و پردیل. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود تقریباً تشابه گروهی با توجه به طول شاخه ها، در سه خوشه همگن به یک اندازه می باشند. ایستگاه هایی که در خوشه همگن یک قرار گرفته اند مربوط به سرشاخه های بالادست رودخانه آجی چای می باشند که تغییرات کیفی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشه همگن دیگر کم بوده است. به عبارتی کیفیت آب سطحی ایستگاه هایی که در خوشه همگن یک قرار گرفته اند بهتر از دو خوشه دیگر می باشد.

سه خوشه همگن قرار گرفتند. فاصله بین هر یک از ایستگاه های آب سطحی در خوشه های به دست آمده از تحلیل خوشه ای، در نتیجه همبستگی و خود همبستگی بین پارامترهای کیفی آب سطحی است. خوشه های همگن بر اساس روش وارد و فاصله اقلیدسی تعیین شدند. با توجه به دندروگرام، سه تا خوشه همگن استخراج شد که عبارتند از:

خوشه اول = ایستگاه های بستان آباد، سعید آباد، سهزاب، زینجناب، لیقوان و هروی.

خوشه دوم = ایستگاه های آناخاتون و آخولا.



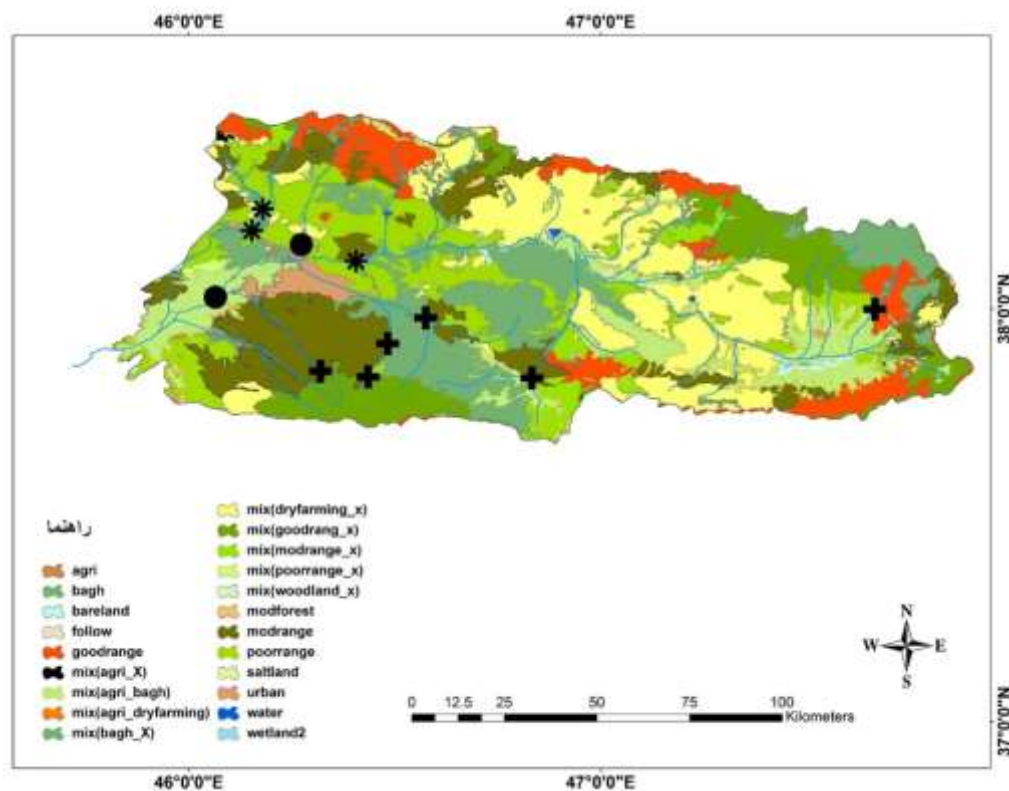
شکل ۳. دندروگرام حاصل از خوشه بندی سلسله مراتبی ایستگاه های منطقه مطالعاتی

در پایین دست شهر تبریز قرار گرفته است کیفیت کمتری را دارد که این موضوع با توجه به شکل ۲ نیز مشخص شد که تغییرات پارامترهای مختلف کیفیت آب در این ایستگاه بیشتر بوده است. بنابراین، ایستگاه آخولا علاوه بر تحت تأثیر شرایط طبیعی منطقه قرار گرفتن، می توان گفت که تحت تأثیر مناطق شهری و کاربری های مربوط به آن بوده است. جدول ۱، میانگین پارامترهای کیفیت

شکل ۴، نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز آجی چای و سه خوشه همگن را نشان می دهد. با توجه به نقشه کاربری اراضی مشاهده گردید که خوشه اول بیشتر در عرصه های مرتعی و باغی قرار داشته و به عبارتی این ایستگاه ها کمتر تحت تأثیر آلودگی های نقطه ای واقع نشده اند. بنابراین کیفیت آب سطحی این ایستگاه ها نسبت به ایستگاه های دیگر بهتر می باشد. ایستگاه آخولا

SAR و TDS دیده می‌شود. بنابراین روش آماری تحلیل خوشه‌ای توانسته خوشه‌های همگن را به صورت کاراتر کلاسه‌بندی کند.

آب سطحی در هر ۳ خوشه همگن را نشان می‌دهد. به غیر از پارامترهای  $\text{HCO}_3^-$  و pH، میانگین بقیه پارامترهای کیفیت آب اختلاف زیادی در خوشه‌های مختلف دارند. بیشترین اختلاف بین میانگین پارامترهای



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

جدول ۱. میانگین پارامترهای کیفی آب در سه خوشه 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
$\text{HCO}_3^-$	۲/۶۳	۳/۸۶	۳/۷۴
$\text{Cl}^-$	۰/۶۹	۳۴/۹۹	۹۲/۴۴
$\text{SO}_4$	۰/۹۱	۶/۴۰	۱۲/۷۹
$\text{Ca}^{2+}$	۱/۸۶	۶/۳۱	۱۱/۴۸
$\text{Mg}^{2+}$	۰/۹۱	۴/۷۳	۹/۵۹
$\text{Na}^+$	۱/۴۶	۳۴/۰۶	۸۷/۱۴
pH	۷/۶۲	۷/۴۹	۷/۶۲



## ۳.۳. تحلیل تشخیص

تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در منطقه مطالعاتی از طریق تحلیل تشخیص ارزیابی شده است. جدول ۴ نتایج حاصل از تحلیل تشخیص را برای پارامترهای کیفیت آب رودخانه‌های حوزه 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 و یلکس<sup>۱</sup> 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. آماره F نشان داد به غیر از pH میانگین بقیه پارامترهای کیفیت آب در ایستگاه‌های منطقه 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، نشان‌دهنده 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 مرحله 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. به عبارتی ۵ پارامتر به ترتیب، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب با تحلیل تشخیص استخراج شدند.

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

پارامتر	مقایسه تساوی میانگین‌ها		توابع تشخیص		
	Sig.	Wilks' Lambda	۱	۲	۳
SAR	۰/۰۰	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۸۶	۰/۱۰
$Na^+$	۰/۰۰	۰/۷۲	۰/۲۳	-۰/۱۱	۰/۵۶
$Mg^{2+}$	۰/۰۰	۰/۶۵	۰/۲۸	-۰/۰۹	۰/۵۶
$Ca^{2+}$	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۴۲	-۰/۱۹	۰/۵۵
$SO_4^{2-}$	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۲۷	-۰/۱۱	۰/۱۵
$Cl^-$	۰/۰۰	۰/۷۱	۰/۲۷	-۰/۰۸	۰/۲۹
$HCO_3^-$	۰/۰۰	۰/۳۲	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۱۰
pH	۰/۱۴	۰/۹۶	۰/۲۳	-۰/۱۳	۰/۴۱
EC	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۲۴	-۰/۱۲	۰/۴۸
TDS	۰/۰۰	۰/۷۰	۰/۲۳	-۰/۱۱	۰/۵۳

<sup>۱</sup> - Wilks' Lambda

### ۳.۴. تحلیل عاملی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که می‌تواند مهم‌ترین عامل‌های تأثیر گذار بر کیفیت آب را توصیف کند. در این پژوهش، تحلیل عاملی بر اساس ۱۰ پارامتر کیفی به منظور تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیر گذار بر کیفیت آب سطحی منطقه 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 اندازه‌گیری شده تأیید می‌نماید.

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

TDS	EC	pH	HCO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SAR	پارامتر
									۱/۰۰	SAR
								۱/۰۰	۰/۹۷	Na <sup>+</sup>
							۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸	Mg <sup>2+</sup>
						۱/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	Ca <sup>2+</sup>
					۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۷	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
				۱/۰۰	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۷	Cl <sup>-</sup>
			۱/۰۰	۰/۴۴	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۵۱	HCO <sub>3</sub>
		۱/۰۰	-۰/۳۶	-۰/۰۲	-۰/۱۱	-۰/۰۸	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۱۶	pH
	۱/۰۰	-۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۷	EC
۱/۰۰	۱/۰۰	-۰/۰۲	۰/۴۶	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۸	TDS

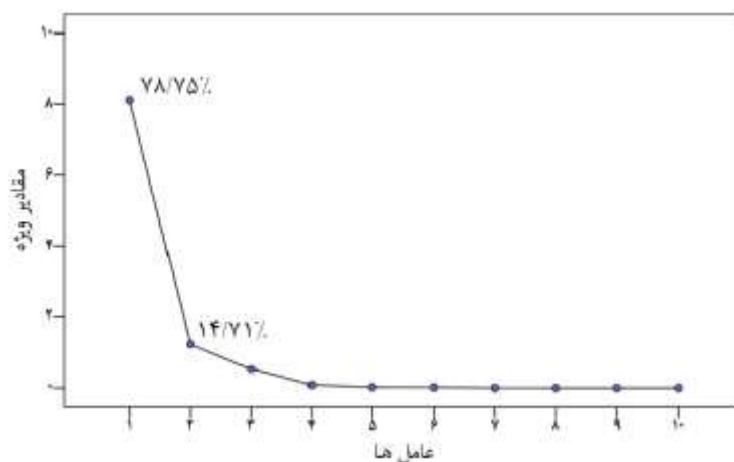
واریانس جامعه توسط دو مؤلفه اول توصیف شده‌است. بنابراین دو مؤلفه اول به عنوان بهترین مؤلفه‌ها در توصیف تغییرات کیفیت آب رودخانه‌های حوزه آبی‌چای می‌باشند. همان‌طور که ذکر شد جهت استخراج پارامترهای اصلی کیفیت آب از درون مؤلفه‌های اصلی، از بار عاملی چرخانده شده با دوران واریماکس استفاده شد. بر این اساس در هر مؤلفه، پارامترهایی که دارای بیشترین بار عاملی مثبت یا منفی هستند، بهترین

در این تحقیق برای دوران عامل‌ها، از روش واریماکس استفاده شد و اساس انتخاب عامل‌ها مقادیر ویژه بیش از یک برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر کیفیت آب سطحی می‌باشد. شکل ۵ تغییرات مقادیر ویژه به ازای افزایش تعداد مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق با این نمودار، 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

مطالعاتی می‌باشد. در میان پارامترهای موجود در مؤلفه اول، SAR دارای بیشترین بار عاملی است (برابر ۰/۹۹۶) و به عنوان پارامتر اصلی این مؤلفه شناخته شده‌است. در مؤلفه دوم pH و  $\text{HCO}_3^-$  به ترتیب با بار عاملی ۰/۹۱۱- و ۰/۶۸۸ دارای بیشترین همبستگی با این مؤلفه می‌باشند. اجزای این مؤلفه نیز نشان دهنده اسیدیته آب سطحی هستند و مؤلفه pH به عنوان مهم‌ترین پارامتر این مؤلفه شناخته شد.

نماینده برای تبیین آن مؤلفه می‌باشند. جدول ۶، بار عاملی هر کدام از پارامترها برای عضویت در دو مؤلفه اصلی را نشان می‌دهد.

در مؤلفه اول که بیشترین درصد تبیین واریانس جامعه بوده‌است (شکل ۵)، پارامترهای SAR،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{Cl}^-$  و EC بیشترین همبستگی را با این مؤلفه داشتند. اعضای این گروه بیشتر نشان‌دهنده یون‌ها و مواد معلق در رودخانه‌های منطقه



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

جدول ۶. بار عاملی برای هر کدام از مؤلفه‌های اصلی با دوران واریانس

مؤلفه‌های اصلی		پارامتر
۲	۱	
۰/۲۲۴	۰/۹۹۶	SAR
۰/۰۹۳	۰/۹۸۹	$\text{Na}^+$
۰/۱۵۸	۰/۹۸۴	$\text{Mg}^{2+}$
۰/۱۸	۰/۹۷۷	$\text{Ca}^{2+}$
۰/۱۸۶	۰/۹۹۵	$\text{SO}_4^{2-}$
۰/۰۷۷	۰/۹۸۸	$\text{Cl}^-$
۰/۶۸۸	۰/۴۲۱	$\text{HCO}_3^-$
-۰/۹۱۱	۰/۰۷۶	pH
۰/۰۶۸	۰/۹۹۴	EC
۰/۰۹	۰/۹۹۴	TDS

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای کیفی آب در حوزه آبخیز آجی چای در طی دوره 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 سرشاخه رودخانه آجی چای است. ایستگاه سهزاب بر روی رودخانه آغمیون چای قرار گرفته است که از دامنه‌های جنوبی سبلان سرچشمه می‌گیرد. اغلب سنگ‌های دامنه 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 عمده آب با کیفیت آجی چای در دشت سراب و یا بالاتر از آن در رودخانه‌های آغمیون چای 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 رودخانه آجی چای بوده است. جهت تعیین مناطق همگن از لحاظ پارامترهای کیفی آب در منطقه مطالعاتی از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. با انجام تحلیل خوشه‌ای ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مورد مطالعه در سه خوشه همگن جای گرفتند. ایستگاه‌هایی که در خوشه همگن یک قرار گرفتند مربوط به سرشاخه‌های بالادست رودخانه آجی چای می‌باشند که تغییرات کیفی آب سطحی در این خوشه نسبت به دو خوشه همگن دیگر کم بوده است. با توجه به نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که خوشه 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 منطقه 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 مرحله بعد جهت تعیین پارامترهای مؤثر در تشکیل توابع از روش گام به گام استفاده شد. به ترتیب پارامترهای  $Na^+$ ،  $SAR$ ،  $HCO_3^-$ ،  $Ca^{2+}$  و  $SO_4^{2-}$  وارد توابع شدند. به عبارتی 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 مؤثر گذار در کیفیت آب سطحی منطقه 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 مؤلفه اول به عنوان بهترین مؤلفه‌ها در توصیف تغییرات کیفیت آب رودخانه‌های حوزه آجی چای می‌باشند. در میان پارامترهای موجود در مؤلفه اول، SAR دارای بیشترین بار عاملی است (برابر ۰/۹۹۶) و به عنوان پارامتر اصلی

مؤلفه‌های اصلی در ایستگاه اول SAR و  $\text{SO}_4^{2-}$ ، در ایستگاه دوم  $\text{HCO}_3^-$  و در ایستگاه سوم  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{Ca}^{2+}$  را حذف نموده است. بر خلاف این مطالعه آن‌ها نشان دادند که پارامترهای  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$  و  $\text{Cl}^-$  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 بوده‌اند. پارامترهای TDS، pH،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{PO}_4^{3-}$  به ترتیب بیشترین همبستگی را با مؤلفه‌های ۱ تا ۵ داشتند. در مقایسه با مطالعه حاضر، پارامتر pH در مؤلفه دوم مشترک بوده است. بنابراین نتایج تحقیق حاضر هم نشان داد که پارامترهای SAR و pH به ترتیب بیشترین همبستگی را با مؤلفه 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.

این مؤلفه شناخته شده است. 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 به‌کار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که دو مؤلفه ۷۷/۸ درصد از واریانس جامعه را تبیین می‌کرد. مؤلفه اول شامل غلظت‌های  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ، 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 حوزه 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 بوده است. در مطالعه‌ای [۳] از اطلاعات پارامترهای کیفی آب شامل: EC، SAR،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Na}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$ ،  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{SO}_4^{2-}$ ،  $\text{HCO}_3^-$ ،  $\text{Cl}^-$  در سه ایستگاه آب‌سنجی رودخانه تجن استفاده کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که تحلیل

## 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.

- [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., Demopoulou, 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.