

## ارزیابی پایداری تغییرات کیفیت شیمیایی آب سطحی در رودخانه گرگانرود

حامد روحانی<sup>۱\*</sup>، الناز زکی<sup>۲</sup>، مجتبی کاشانی<sup>۳</sup>، ابولحسن فتح آبادی<sup>۱</sup>

۱. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد کاووس

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. مربی گروه آمار، دانشگاه گنبد کاووس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵)

### چکیده

اطلاعات در مورد کیفیت آب و منابع آلودگی نقطه‌ای برای اجرای راهبردهای منابع آب پایدار مهم است. هدف این تحقیق، به‌کارگیری روش‌های تحلیل چندمتغیره آماری و بررسی تغییرات عوامل مؤثر برای تجزیه و تحلیل کیفیت آب و توانایی نظریه آنتروپی اطلاعات در تحلیل پایداری و قابلیت اعتمادپذیری داده‌های برداشت‌شده کیفیت آب در هفت ایستگاه واقع در حوضه آبخیز گرگانرود است. نتایج تحلیل عاملی براساس مشخصه‌های کیفیت آب نشان داد که ۹۷/۸ درصد تغییرات کیفیت آب سطحی حوضه گرگانرود با دو عامل کنترل می‌شود. درصد واریانس مربوط به هر کدام از عامل‌ها به ترتیب ۸۶/۲ و ۱۵/۷ درصد و بیشترین بار وزنی به ترتیب مربوط به پارامتر Ca و پارامتر pH است. نتایج نظریه آنتروپی اطلاعات نشان‌دهنده ناپایداری داده‌های ثبت‌شده در دو ایستگاه تمر و گالیکش است. همچنین در خوشه دوم که دو پارامتر EC و TDS در آن قرار گرفته‌اند، ایستگاه لزوره بیشترین ناپایداری را دارد. از طرف دیگر، مقادیر زیاد وزن آنتروپی این دو پارامتر در مقایسه با دیگر پارامترهای کیفی بررسی شده نشان از تأثیرگذاری بیشتر نسبت به مشخصه‌های دیگر است. در ایستگاه تمر عامل SAR بیشترین آنتروپی را در طول ثبت داده‌ها داشت. در ایستگاه‌های گالیکش، تقی‌آباد، بصیرآباد، رامیان و تنگراه مقدار یون Mg دارای بیشترین وزن بود که نشان‌دهنده تغییرات مداوم است و این تغییرات را می‌توان به ارتباط با تشکیلات زمین‌شناسی نسبت داد. به‌طور کلی عدم قطعیت نمونه‌برداری بیشتر به مکان نمونه‌برداری مربوط می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنالیز خوشه‌ای، آنالیز واریانس، عدم قطعیت، کیفیت آب، گرگانرود.

## مقدمه

آب‌های سطحی یا رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع آب هستند که تأثیر مهمی در تأمین آب مورد نیاز فعالیت‌های مختلف مانند کشاورزی، صنعت، شرب و تولید برق دارند. حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب از اصول توسعه پایدار هر کشور است. آگاهی از کیفیت منابع آب یکی از نیازمندی‌های مهم در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و حفاظت و کنترل آنهاست [۷]. با توجه به کمبود منابع آب با کیفیت مناسب و افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا، امروزه بررسی پارامترهای کیفی آب از اهمیت زیادی برخوردار است. در ایران مطالعاتی به صورت پراکنده در زمینه کیفیت سطحی آب انجام گرفته است که می‌توان به تحقیق در زمینه تأثیرات فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر کیفیت رودخانه قشلاق سنندج [۵]، بررسی آلودگی‌های آب در مسیر رودخانه کرج [۴]، تعیین غلظت نیترات و کلریت در آب‌های زیرزمینی گرگان [۳] و بررسی روند تغییرات بلندمدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای (گلستان) [۲] اشاره کرد. همچنین مدلسازی کیفیت آب محدود است. در این خصوص می‌توان به نتایج تحقیقات یوان و میشل [۲۸] در مورد نبود رابطه معنادار بین فسفر و دبی و نبود رابطه مشخص بین نیترژن و دبی در رودخانه ایلینویز آمریکا اشاره کرد. یوان و همکاران [۲۷] در خصوص بهینه‌سازی و دسته‌بندی نمونه‌های آب در کالابریای ایتالیا، راگنو و همکاران [۱۹] در مورد کاربرد تحلیل خوشه‌ای و تحلیل عاملی بر روی داده‌های هیدروشیمیایی حوضه آبریز آنکوبرا، و سینگ و همکاران [۲۳] در مورد کاربرد روش‌های مختلف آماری چندمتغیره شامل آنالیز خوشه‌ای و مؤلفه‌های اصلی برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب در رودخانه گمتی در شمال هند تحقیقاتی انجام دادند.

اندازه‌گیری همه پارامترهای کیفی آب به صرف وقت و هزینه زیادی نیاز دارد. از طرفی اغلب روش‌های گرافیکی مورد استفاده، به محدودیت نمونه و پارامتر دچارند و هیچ‌یک از روش‌ها قادر به تمایز بین گروه‌ها و آزمایش حد شباهت گروه‌ها نیست. برخلاف روش‌های گرافیکی، روش‌های آماری امکان استفاده از همه پارامترها را فراهم می‌کنند. اندازه‌گیری همه پارامترهای کیفی آب به صرف وقت و هزینه‌ی زیادی نیاز دارد [۱۱] و بررسی کیفی

وضعیت آب‌های سطحی به منظور تأمین آب برای مصارف شرب و صنعت و کشاورزی ضروری است، از این رو به‌کارگیری روش‌های آماری در این خصوص اهمیت فراوانی خواهد داشت. در این بین روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره در تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تعداد زیادی متغیر بسیار مفید است. تجزیه و تحلیل از طریق این روش، نتایجی را که به راحتی تفسیرشدنی است ارائه می‌کند. انتخاب مناسب‌ترین روش تجزیه و تحلیل چندمتغیره، به طبیعت داده‌ها، اهداف و مسئله تحقیق بستگی دارد. موضوع اساسی در زمینه بسیاری از روش‌های تجزیه و تحلیل چندمتغیره ساده‌سازی است. یکی از روش‌های آماری، تحلیل عاملی است که دارای سه مرحله تهیه ماتریس همبستگی از تمام متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج است [۱۱]. هدف تحلیل عاملی ساده‌سازی مسئله و همچنین یافتن متغیرهای جدید (اجزای مؤلفه) برای آسان‌تر کردن فهم داده‌هاست.

مقادیر متغیرهای کیفیت آب برای اجرای روش‌های چندمتغیره آماری براساس یک نمونه یا آمار در هر نقطه نمونه‌گیری، اطلاعاتی درباره عدم قطعیت داده‌های اصلی نمی‌دهند. نتایج عمومی پردازش داده‌ها در مورد خصوصیات داده‌های کیفیت آب فقط اطلاعاتی در محدوده زمان مورد بررسی می‌دهد. از آنجا که کیفیت آب در طول زمان ثابت نیست، نتایج کلی واقع‌بینانه نیست. اطلاعات نادیده گرفته شده ممکن است مؤلفه‌های اثرگذار را تغییر دهند و از طرف دیگر اطلاعات مفیدی فراهم آورند [۱۶]، بنابراین در این مطالعه اثر فاکتور نیز در آنالیز داده‌ها لحاظ شد. مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی عدم قطعیت متغیرهای هیدرولوژیکی و پارامترهای مدل‌های هیدرولوژیکی صورت پذیرفته [۳]، اما تاکنون مطالعات اندکی برای توصیف و ارزیابی ویژگی‌های داده‌های کیفیت آب سطحی در مقیاس بزرگ انجام گرفته است. تئوری آنتروپی توانایی شناخت اطلاعات عدم اطمینان برای حل مسائل مدیریت منابع آب را می‌دهد [۱۷].

استان گلستان با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی، نزدیکی به دریا و وجود رشته‌کوه البرز و شرایط خاص اقلیمی و اهمیت کشاورزی، بستر مناسبی برای زراعت‌های گوناگون و چهارفصل است، اما به دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و سازندهای زمین‌شناسی، از آسیب‌پذیرترین

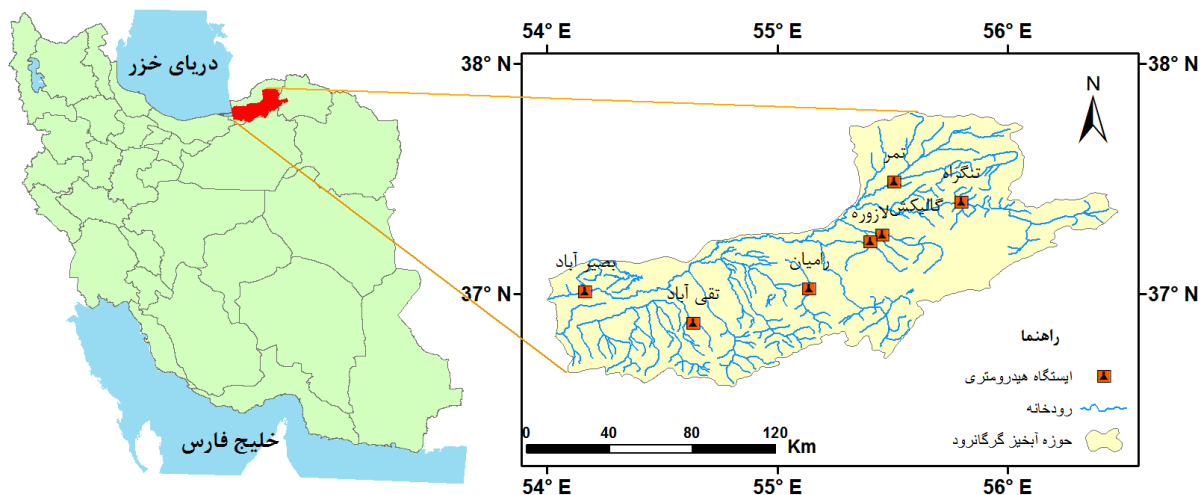
از آن در استان گلستان واقع است. این حوضه از جنوب مشرف به رشته کوه البرز شرقی، از شرق به کوه‌های آلاداغ و گلی داغ، از شمال به حوضه آبخیز اترک و از غرب به دریای خزر و حوضه آبخیز قره‌سو محدود می‌شود. طول رودخانه اصلی آن به نام گرگانود بالغ بر ۲۵۰ کیلومتر است که در امتداد عمومی شرقی - غربی جریان دارد و از جنوب شرق دریای خزر به این دریا می‌پیوندد و مهم‌ترین سرشاخه‌های آن دوغ، زاو، اوغان، چهل‌چای، زرین‌گل، رامیان، نوده، رودبار و محمدآباد است. براساس روش دومارتن دارای اقلیم متنوعی شامل خشک، نیمه‌خشک، معتدل مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب و مرطوب بوده و میانگین بارندگی در این حوضه از ۲۸۷ میلی‌متر در تیل‌آباد تا ۹۵۳ میلی‌متر در پس‌پشته متغیر است. لس و نهشته‌های کواترن بخش عمده‌ای از حوضه را شامل می‌شود. محل استقرار ایستگاه‌های منتخب نمونه‌برداری رودخانه گرگانود در شکل ۱ نشان داده شده است.

مناطق به تغییر کیفیت آب است. بخش کشاورزی تأثیر مهم و ویژه‌ای در توسعه اقتصاد استان دارد. ۳/۴۷ درصد از ارزش افزوده ایجاد شده بخش کشاورزی و ۳/۳۷ درصد شیلات در کل کشور به استان گلستان تعلق داشته است [۷]. از آنجا که بخش کشاورزی و تولید مواد غذایی از مهم‌ترین ابزارهای ترقی کشورهای در حال توسعه در تعامل با سیاست‌های جهانی شدن و روند رو به رشد این کشورهاست که کارکردهای فراوانی در عرصه‌های اقتصادی و حتی سیاست بین‌المللی دارد؛ از این رو هدف این تحقیق، به‌کارگیری روش‌های آماری چندمتغیره و بررسی تغییرات عوامل مؤثر برای تجزیه و تحلیل کیفیت آب و توانایی تئوری آنتروپی در تحلیل پایداری عوامل تأثیرگذار کیفی در هفت ایستگاه واقع در حوضه آبخیز گرگانود است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه و روش اجرای پژوهش

حوضه آبخیز گرگانود با وسعت ۱۰۶۰۰ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های شمال شرق کشور بوده و بخش وسیعی



شکل ۱. پراکنش ایستگاه‌های نمونه‌برداری منتخب منطقه مورد مطالعه (نگارندگان مقاله)

رودخانه گرگانود، ۱۰ مشخصه کیفی پارامترهای جدول ۱ با توجه به تداوم اندازه‌گیری در مقیاس زمان و پراکنندگی مناسب در منطقه تحقیق در نظر گرفته شد. پارامترهای تحت مطالعه شامل سدیم (Na)، مواد محلول کل (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، کلر (Cl)، سولفات (So<sub>4</sub>)، کلسیم

در این پژوهش از آمار ثبت‌شده کیفیت آب توسط سازمان آب استان گلستان در هفت ایستگاه هیدرومتری واقع در سرشاخه‌های گرگانود که دارای آمار مناسب کیفیت آب بودند، استفاده شد. از میان پارامترهای کیفی آب ثبت‌شده بر روی رودخانه اصلی یا سرشاخه‌های فرعی

حداقل ۱/۷۸ تا حداکثر ۴/۸۱، Na بین ۰/۴۳ تا ۰/۴۹، و K بین ۰/۰۳ تا حداکثر ۰/۱۰ میلی گرم بر لیتر هستند.  $CO_3$  مهم ترین آنیون موجود در آب های طبیعی است که مقدار آن بین ۰/۴۱ تا ۰/۱۴ میلی گرم بر لیتر است؛ مقدار Cl حداقل ۰/۳۹ تا حداکثر ۷/۰۸ میلی گرم بر لیتر است و  $SO_4$  بین ۰/۶۳ تا ۴/۹۵ میلی گرم بر لیتر متغیر است. به منظور تفسیر و استخراج نتایج از داده های ذکر شده، این مطالعه در چهار مرحله، به ترتیب شامل تجزیه و تحلیل خوشه ای، تحلیل عاملی، تجزیه و تحلیل واریانس و تئوری آنتروپی اطلاعات انجام گرفت.

(Ca)، منیزیم (Mg)، پتاسیم (K)، نسبت سدیم جذبی (SAR) و pH هستند. براساس جدول ۱ غلظت pH از ۷/۳ تا ۷/۵، و TDS که یک معیار سنجش کیفیت است، بین ۲۴۳/۰ تا ۱۰۰۲/۵ با میانگین ۶۹۸/۹ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند. از این رو براساس طبقه بندی فطر [۹] تمام نمونه های گرفته شده جزء آب های شیرین ( $TDS < 1000$ ) (mg/L) طبقه بندی می شوند. عامل EC بین حداقل ۳۷۲/۲ تا ۱۵۵۶/۲ میکروموس بر سانتی متر متغیر است. SAR از عوامل تعیین کننده کیفیت آب برای مصارف کشاورزی است. آنالیز کاتیون ها و آنیون ها نشان می دهد که نمونه ها محتوی Ca بین ۲/۱۲ تا ۳/۳۶، Mg بین

جدول ۱. آماره های توصیفی ۱۰ پارامتر کیفی مطالعه شده در هفت ایستگاه هیدرومتری (منبع: آب منطقه ای گلستان)

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف	ضریب تغییرات
TDS	۲۴۳/۰	۱۰۰۲/۴۹	۴۵۳/۰۹	۲۶۲/۰۶	۰/۵۷
EC	۳۷۲/۲	۱۵۵۶/۲۴	۶۹۸/۹۱	۴۰۸/۷۶	۰/۵۸
pH	۷/۳	۷/۵۳۶	۷/۴۵	۰/۰۷	۰/۰۱۰
Cl	۰/۳۹	۷/۰۸	۲/۰۸۲	۲/۴۳	۱/۱۶
$SO_4$	۰/۶۳	۴/۹۵	۱/۶۸۴	۱/۴۹	۰/۸۸
Ca	۲/۴	۳/۳۵	۲/۷۸	۰/۳۳	۰/۱۲
Mg	۱/۱۸	۴/۸۰	۲/۳۸	۱/۱۵	۰/۴۸
Na	۰/۴۳	۸/۴۹	۲/۴۴۰	۲/۸۹	۱/۱۸
K	۰/۰۳	۰/۱۰۱	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۳۶
SAR	۰/۳۲	۳/۶۵	۱/۲۹	۱/۲۲	۰/۹۴

ابتدا همه عوامل به نمره های Z استاندارد براساس رابطه ۱ تبدیل می شوند:

$$z = \frac{x - x_i}{S} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $x$  مقدار عددی هر متغیر،  $x_i$  میانگین متغیرها،  $S$  انحراف معیار و  $z$  مقدار استاندارد شده متغیر است. برای بررسی روابط بین عامل ها از آزمون همبستگی استفاده شد. دلیل استفاده از آزمون همبستگی، مقیاس متفاوت متغیرها [۱۴] و اهمیت مساوی متغیرها [۹] است. ضرایب مختلفی برای بررسی آزمون همبستگی وجود دارد. از جمله ضریب همبستگی کندال که برای داده های گسسته، و ضریب همبستگی اسپیرمن که برای بررسی داده های رتبه ای کاربرد دارد. در این پژوهش به دلیل

### تجزیه و تحلیل خوشه ای

تجزیه و تحلیل خوشه ای روشی آماری است که مشاهدات را به صورت گروه های مشابه طبقه بندی می کند. در این مطالعه برای آنالیز پارامترهای اندازه گیری شده از تحلیل عاملی استفاده شد. تحلیل عاملی نوعی روش طبقه بندی غیرپارامتریک است که فرضی در مورد توزیع آماری داده های تحت بررسی در نظر نمی گیرد [۲۶، ۱۲]. هدف اصلی تحلیل عاملی، بیان روابط کواریانس میان بسیاری از متغیرها براساس چند کمیت تصادفی غیرقابل مشاهده است که «عامل ها» نامیده می شوند. در تحلیل عاملی، هدف، یافتن کمترین تعداد متغیرها یا فاکتورهای پنهان مورد نیاز برای محاسبه همبستگی بین آزمون هاست [۲۰].

اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده توسط یک توزیع احتمال گسسته ( $P_i$ )، به گونه‌ای که این عدم اطمینان، در صورت پخش بودن توزیع، بیشتر از موردی است که توزیع فراوانی کشیدگی بیشتری داشته باشد که این عدم اطمینان به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E = -K \sum_{i=1}^n [p_i \cdot \ln p_i] \quad (2)$$

به طوری که  $K$  یک ثابت مثبت است به منظور تأمین  $E \geq 0$ ، از توزیع احتمال ( $P_i$ ) بر اساس سازوکار آماری محاسبه شده و مقدار آن در صورت تساوی  $P_i$ ها با یکدیگر حداکثر مقدار ممکن خواهد بود. اگر رخداد یک امر به صورت دقیق پیش‌بینی شود احتمال آن بیشتر خواهد بود و برعکس، آنتروپی شانون کوچک خواهد بود. در ادامه، مقدار  $d_j$  (z درجه انحراف) که بیان می‌کند معیار مربوط ( $j$ ) چقدر اطلاعات مفید در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده معیاری به صفر نزدیک باشد، نشان‌دهنده آن است که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. از این رو تأثیر آن شاخص در تصمیم‌گیری باید به همان اندازه کاهش یابد.

$$d_j = 1 - E_j \quad ; \quad \forall j \quad (3)$$

سپس مقدار اوزان هر پارامتر کیفی آب از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad ; \quad \forall j \quad (4)$$

بر مبنای این روش، پارامتری که بیشترین وزن را دارد بیشترین ناپایداری را نیز دارد. آنتروپی یکی از راه‌های معنادار اندازه‌گیری مقدار عدم قطعیت در مجموعه متناهی از شواهد به وسیله تابع توزیع احتمال آنهاست و می‌توان ناسازگاری میان توزیع‌های احتمال منابع شواهد را به وسیله آن بیان کرد.

آنتروپی شانون ابتدا برای هر یک از مشخصه‌های کیفی آب سطحی و برای هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری و رتبه‌بندی آنها انجام گرفت. سپس رتبه وزنی هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری برای هر پارامتر در دو عامل مشخص شده در تجزیه و تحلیل عاملی رتبه‌بندی شد. به دلیل خصوصیات مختلف مشخصه‌های کیفی آب، رتبه

پیوسته بودن داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد [۱۳]. برای ارزیابی فاصله بین گروه‌های جدا شده از روش وارد<sup>۱</sup> به دلیل مبنا قرار دادن خود مشاهدات استفاده شد. در واقع از میانگین مؤثر برای تشخیص گروه‌های مشابه از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود [۱۱]. در تحلیل عاملی هر عامل بر اساس همبستگی قوی چند شاخص تعریف می‌شود. به دلیل وجود وابستگی احتمالی عوامل، ممکن است شاخص‌ها به گونه‌ای همبستگی داشته باشند که مشخص نشود این شاخص‌ها مربوط به کدام عامل‌اند. از این رو دوران واریماکس برای مستقل کردن عوامل (متعامد کردن بردارها) استفاده شد. تعیین میزان تناسب تعداد عامل‌های انتخابی از آماره  $KMO^2$  که بر اساس ضریب همبستگی جزئی بین شاخص‌هاست، استفاده شد.

#### تجزیه و تحلیل واریانس

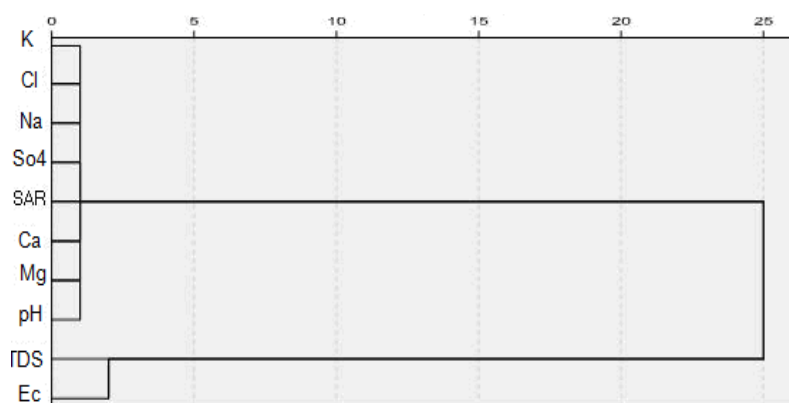
برای بررسی سطح معناداری پارامترها در ایستگاه‌های مختلف، از روش تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد [۱۱]. تجزیه و تحلیل واریانس یا به طور مناسب‌تر، تجزیه و تحلیل تغییر نسبت به میانگین عبارت از افزاز کل تغییرات موجود در مجموعه داده‌ها به مؤلفه‌هاست. هر مؤلفه‌ای به یک علت قابل شناسایی است یا به یک منبع تغییر نسبت داده می‌شود. به علاوه یک مؤلفه، تغییر حاصل از عامل‌های کنترل نشده و خطاهای تصادفی مربوط به اندازه‌های پاسخ را نشان می‌دهد. به ویژه اگر مجموعه داده‌ها شامل  $n$  اندازه  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  باشد، میانگین آنها با  $\bar{y}$  نشان داده می‌شود. کل تغییر نسبت به میانگین به صورت مجموع توان‌های دوم انحراف‌ها  $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  در می‌آید که مجموع کل توان‌های دوم نامیده می‌شود.

#### آنتروپی شانون

در مرحله بعد تجزیه و تحلیل ثبات هر پارامتر با استفاده از تئوری آنتروپی اطلاعات برای بسط اطلاعات موجود در داده‌های ثبت شده مشخصه کیفی آب در دوره زمانی بلندمدت انجام گرفت. شانون آنتروپی [۲۲]، معیاری از عدم اطمینان است، نظریه‌ای که اخیراً در زمینه‌های مختلف استفاده شده است [۲۳]. آنتروپی در تئوری

1. Ward's method  
2. Kaiser-Meyer-Okin

دارای همبستگی قوی تا متوسط بودند از تحلیل خوشه‌ای استفاده شد (شکل ۲). گروه اول شامل پارامترهای EC و TDS هستند که به دلیل همبستگی قوی از دیگر پارامترها جدا شدند. بقیه پارامترها در گروه دوم با  $KMO$  برابر با ۰/۷۶ قرار گرفتند که این نشان از همبستگی تغییرات هر چند جزئی در قالب یک خوشه در کل دوره نمونه‌برداری دارد. برای تهیه ماتریس ضرایب عاملی، آن تعداد از عامل‌ها که ریشه مشخصه آنها بزرگ‌تر از یک بود، انتخاب شدند. سپس از مقادیر نرمال شده ۱۰ مشخصه مربوط به نمونه‌ها برای تحلیل عاملی استفاده شد.



شکل ۲. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای ۱۰ مشخصه هیدروشیمیایی مطالعه شده

K دارای بیشترین ضرایب مثبت (۰/۸۸-۰/۹۹) هستند و پارامتر pH دارای ضریب مثبت کم است. در صورتی که در مؤلفه دوم، پارامتر pH دارای ضریب مثبت زیاد و بقیه پارامترها دارای ضریب مثبت کم هستند، که اثرگذاری این عامل در تغییر کیفیت آب سطحی منطقه تحقیق ۱۵/۷۵ درصد کل عوامل مؤثر است. با توجه به اینکه دو مؤلفه اول بیش از ۹۷ درصد از واریانس داده‌ها را تبیین می‌کند، در صورت استفاده از معیار درصد واریانس دو مؤلفه اول انتخاب می‌شوند. بررسی جدول همبستگی نشان‌دهنده بیشترین همبستگی پارامترها بین خود است که بیانگر منشأ مشترک این دو مشخصه است. بین مشخصه‌های مورد بررسی ضرایب مثبت بالای پارامترها در مؤلفه اول نشان‌دهنده فرایندهای مختلف هیدروشیمیایی است. برای مثال غلظت مثبت زیاد یون  $Na^+$  بیانگر تبادل یونی ذرات رس است. فرایند تجزیه یون‌های  $Na^+$  و  $Cl^-$  بیانگر فرایند هوازدگی زیاد در منطقه است. شیب هیدرولیکی کم در

آنها باید جایگزین جمع مقادیر آنتروپی شود. در نهایت جمع رتبه‌ها برای تعیین ثبات کیفیت آب مشخص شد که مقادیر کوچک‌تر نشان‌دهنده کیفیت بی‌ثبات‌تر آب سطحی است.

### نتایج و بحث

در ماتریس همبستگی رسم شده برای آنالیز روابط بین متغیرها طبق جدول ۲ پارامتر EC و TDS در سطح ۱ درصد بیشترین همبستگی را با هم دارند ( $R=1$ ) و پس از آن سدیم و کلر بیشترین همبستگی ( $R=0/99$ ) را در این سطح دارند. برای گروه‌بندی پارامترهای کیفی که

نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی هشت متغیر کیفیت آب که در گروه یک آنالیز خوشه‌ای قرار گرفتند در جدول ۳ نشان داده شده است. تحلیل عاملی براساس مشخصه‌های کیفیت آب نشان می‌دهد که ۹۷/۸ درصد تغییرات کیفیت آب سطحی حوضه گرگانرود با دو عامل کنترل می‌شود که درصد واریانس هر کدام از عامل‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۸۶/۲۷ و ۱۵/۷۵ درصد است. به این ترتیب عامل‌های ۱ و ۲ مقادیر بزرگ‌تر از یک را شامل می‌شوند. با استفاده از تحلیل دورانی واریانس این دو عامل مشخص شدند. طبق نتایج به دست آمده برای عامل اول، بیشترین بار وزنی (۰/۹۹) مربوط به پارامتر Ca و برای عامل دوم، بیشترین بار وزنی (۰/۹۸) مربوط به پارامتر pH است. بنابراین این دو پارامتر، مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر کیفیت آب شناخته شدند. جدول ۳ نتایج تحلیل ماتریس دورانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول ۳ مشخص است در مؤلفه اول، پارامترهای Ca، So4، Cl، Mg، Na و SAR و

حوضه آبخیز تحت مطالعه [۱] سبب افزایش زمان ماندگاری برای آب و واکنش‌های بیشتر بین آب و رخنمون سنگی می‌شود، که غنی شدن بیشتر  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  را در پی دارد.

جدول ۲. ماتریس ضرایب همبستگی مشخصه‌های هیدروشیمیایی

پارامتر	TDS	EC	pH	Co3	Cl	So4	Ca	Mg	Na	K	SAR
TDS	۱										
EC	۱/۰۰۰**	۱									
pH	۰/۴۵۶	۰/۴۵۴	۱								
Co3	۰/۳۶۱	۰/۳۵۷	۰/۷۹۵*	۱							
Cl	۰/۴۲۷	۰/۴۳۱	۰/۰۳۲		۱						
So4	۰/۹۹۵**	۰/۹۹۵**	۰/۴۶۸	۰/۳۳۶	۰/۹۷۸**	۱					
Ca	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۸۹	۰/۴۶۲	۰/۰۰۰	۰/۸۵۰*	۱				
Mg	۰/۹۹۱**	۰/۹۹۱**	۰/۴۳۶	۰/۳۳۷	۰/۹۷۸**	۰/۸۳۱*	۰/۸۲*	۱			
Na	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۲۸	۰/۴۵۹	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۲۰	۰/۹۶**	۱		
K	۰/۸۶۲*	۰/۸۶۲*	-۰/۰۵	-۰/۰۰۸	۰/۸۵۰*	۰/۸۳۱*	۰/۶۸۶	۰/۹۳۱**	۰/۸۱۵*	۱	
SAR	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۹۱۵	۰/۹۸۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۸۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۱
	۰/۹۸۰**	۰/۹۸۰**	۰/۴۶۴	۰/۴۴۵	۰/۹۵۶**	۰/۹۸۲**	۰/۸۳۱*	۰/۹۳۳**	۰/۹۸۷**	۰/۷۶۳*	۰/۹۸۰**
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۹۴	۰/۳۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰
	۰/۹۹۶**	۰/۹۹۶**	۰/۴۹۹	۰/۳۶۹	۰/۹۹۸**	۰/۹۸۵**	۰/۸۳۱*	۰/۹۶**	۱		
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۴	۰/۴۱۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	۰/۸۴۸*	۰/۸۴۸*	۰/۴۴۵	۰/۴۶۵	۰/۷۹۵*	۰/۸۷۶**	۰/۶۸۶	۰/۹۳۱**	۰/۸۱۵*	۱	
	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۳۱۷	۰/۲۹۳	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۰۸۹	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	۰/۰۱۶
	۰/۹۸۰**	۰/۹۸۰**	۰/۵۰۷	۰/۳۵۵	۰/۹۹۱**	۰/۹۴۹**	۰/۸۱۹*	۰/۹۳۳**	۰/۹۸۷**	۰/۷۶۳*	۰/۹۸۰**
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۲۴۶	۰/۴۳۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰

\* : معنادار در سطح ۱ درصد؛ \* : معنادار در سطح ۵ درصد.

جدول ۳. ماتریس دورانی هشت پارامتر کیفی تحت مطالعه خوشه اول در ایستگاه‌های هیدرومتری

پارامتر	مؤلفه‌های اصلی		درصد تجمعی
	I	II	
Ca	۰/۹۹۶	۰/۰۳۳	۸۶/۲۷۲
So <sub>4</sub>	۰/۹۸۶	۰/۱۴۲	۹۷/۸۰۳
Mg	۰/۹۸۴	۰/۱۷۱	۹۹/۵۸۸
CL	۰/۹۸۴	۰/۱۶۴	۹۹/۹۸۳
Na	۰/۹۸۱	۰/۱۸۲	۹۹/۹۹۷
SAR	۰/۹۵۰	۰/۲۷۰	۱۰۰/۰۰
K	۰/۸۸۰	۰/۳۲۸	۱۰۰/۰۰
pH	۰/۱۵۷	۰/۹۸۵	۱۰۰/۰۰

طبقه‌بندی شده رتبه‌بندی شدند. با توجه به خصوصیات متفاوت مشخصه‌های کیفی آب، رتبه هر پارامتر در هر ایستگاه جمع و سپس ایستگاه‌ها رتبه‌بندی شدند (جدول‌های ۵ و ۶). طبق جدول ۵ در خوشه دوم که دو پارامتر EC و TDS در آن قرار گرفته‌اند، داده‌های ثبت شده در ایستگاه لزوره بیشترین ناپایداری را دارند، که ممکن است ناشی از عواملی نظیر تغییر کاربری اراضی و ورود زایدات ناشی از فعالیت‌های انسانی به رودخانه باشد [۲]. از طرف دیگر، مقادیر زیاد وزن آنتروپی این دو پارامتر در مقایسه با دیگر پارامترهای کیفی بررسی شده نشان از تأثیرگذاری بیشتر نسبت به دیگر مشخصه‌ها دارد. در نهایت بزرگی جمع رتبه‌ها برای تعیین پایداری کیفیت آب به کار برده شد. نتایج جدول ۶ بیانگر ناپایداری داده‌های ثبت شده و تغییرات مداوم پارامترهای کیفی آب ثبت شده در عامل اول دو ایستگاه تمر و گالیکش است. در ایستگاه تمر عامل SAR بیشترین آنتروپی را در طول ثبت داده‌ها داشت. در ایستگاه‌های گالیکش، تقی‌آباد، بصیرآباد، رامیان و تنگراه مقدار Mg دارای بیشترین وزن بود که نشان‌دهنده تغییرات مداوم است و این تغییرات را می‌توان به ارتباط با تشکیلات زمین‌شناسی نسبت داد. با توجه به جمع وزن آنتروپی دو عامل ۱ و ۲، می‌توان استنباط کرد که عامل ۲ بیشترین تأثیر را در تغییر کیفیت و به عبارتی کاهش کیفیت آب سطحی در منطقه تحقیق دارد.

جدول ۴. تجزیه واریانس پارامترهای کیفی بررسی شده

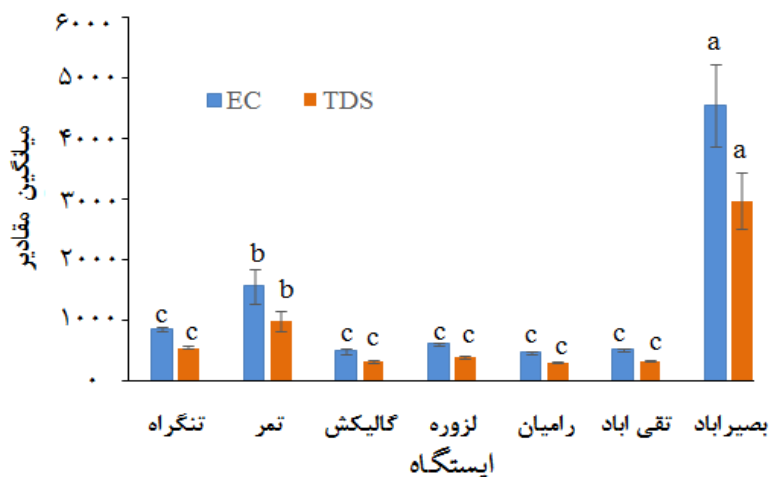
پارامتر	جمع مربعات	درجه آزادی	F	معناداری
TDS	۳/۶۱۲E8	۳۱۸	۱۰۰/۹۷	۰/۰۰
EC	۷/۵۲۱E۸	۳۰۱	۱۰۰/۷۹	۰/۰۰
pH	۶۴/۱۳۱	۳۲۷	۱/۱۳	۰/۳۴۲
CL	۳۳۶۴۴/۶۸	۳۲۶	۷۸/۱۱	۰/۰۰
SO4	۱۴۷۱۵/۵	۳۲۵	۱۳۶/۳۷	۰/۰۰
Ca	۱۳۵۶/۸۹	۳۲۸	۵۲/۰۲	۰/۰۰
Mg	۶۳۱۰/۰۴	۳۲۵	۱۲۱/۰۳	۰/۰۰
Na	۳۷۱۸۹/۸۱	۳۲۵	۱۲۲/۳۵	۰/۰۰
K	۰/۸۶۹	۳۱۵	۲۶/۰۳	۰/۰۰
SAR	۲۱۵۹/۹۷۶	۳۲۸	۳۱۷/۷۸	۰/۰۰

غلظت زیاد یون‌های K و Mg در مؤلفه اول نشان‌دهنده هوازگی زیاد کانی‌های فلدسپات و فرومینگز همراه با تأثیرات انسان است [۲۹، ۲۱]. از طرف دیگر دلیل زیاد بودن غلظت بی‌کربنات را علاوه بر ساختارهای زمین‌شناسی، می‌توان ورود فاضلاب‌های شهری و روستایی به جریان سطحی و همچنین تصفیه نادرست فاضلاب‌های صنعتی و وارد شدن آن به منابع آب زیرزمینی منطقه دانست.

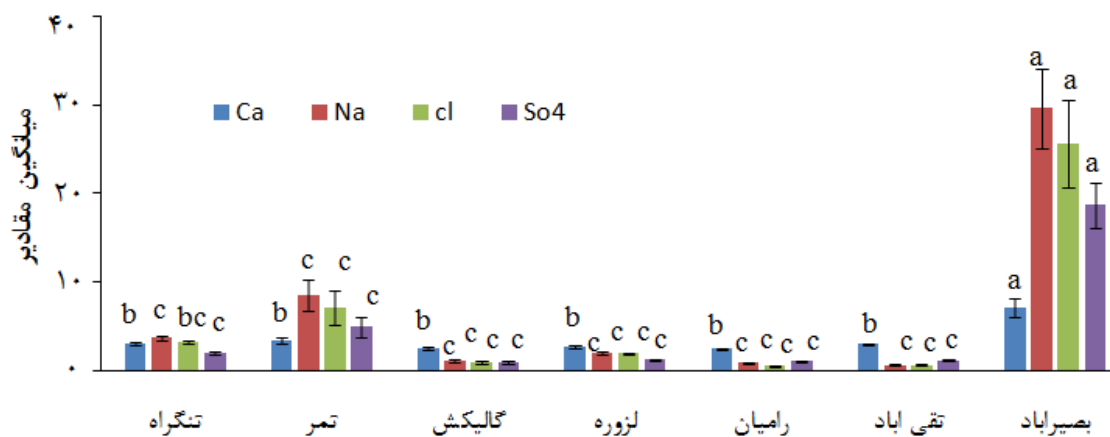
در بررسی پارامترهای کیفیت آب ایستگاه‌ها، با توجه به آنالیز واریانس (ANOVA) (جدول ۴)، مقایسه میانگین نمره‌ها نشان داد که به غیر از pH در بقیه پارامترها اختلاف معناداری بین ایستگاه‌ها وجود دارد ( $P_{value} < 0.05$ ). بنابراین در مرحله بعد برای بررسی و مقایسه ایستگاه‌ها از نظر اختلاف معنادار، از آزمون توکی برای بررسی دوبه‌دو واریانس‌های مساوی استفاده شد (شکل‌های ۳ و ۴). براساس این آزمون در ایستگاه تمر به غیر از پارامتر Ca بقیه پارامترها اختلاف معناداری با ایستگاه‌های دیگر داشتند. همچنین در ایستگاه بصیرآباد مقادیر همه پارامترها اختلاف معناداری با سایر ایستگاه‌ها داشتند. در صورتی که در بقیه ایستگاه‌ها تفاوت معناداری بین پارامترهای بررسی شده وجود نداشت. در ایستگاه بصیرآباد که در آخرین نقطه برداشت نمونه در رودخانه گرگانرود قرار دارد، به دلیل عدم الحاق شاخه فرعی رودخانه، شیب کم و مماندری شدن رودخانه [۱]، رسوبات آبرفتی دانه‌ریز شده‌اند و در نهایت ته‌نشست یافته‌اند که سبب افزایش اختلاف معنادار در مقادیر پارامترهای کیفی آب در مقایسه با نقاط برداشت بالادست رودخانه می‌شود. در بقیه ایستگاه‌ها، به دلیل اینکه ایستگاه‌های برداشت نمونه در سرشاخه‌های فرعی رودخانه گرگانرود قرار دارند و در خروجی از ارتفاعات به علت شیب زیاد و زمان تماس کوتاه آب با سازندهای بستر آبراهه‌ها املاح محلول در آب‌ها اندک‌اند، اختلاف معناداری بین آنها وجود ندارد.

برای ارزیابی قابلیت اعتمادپذیری داده‌های برداشت شده کیفیت آب از نظریه آنتروپی اطلاعات استفاده شد. به همین منظور آنتروپی اطلاعات برای هر نمونه و هر پارامتر محاسبه و در نهایت وزن آن تعیین شد. همچنین وزن هر نمونه برای هر مشخصه محاسبه شد و نقاط نمونه‌برداری طبق جمع وزن هر پارامتر در عامل‌های





شکل ۳. مقایسه میانگین‌های مقادیر پارامترهای کیفی بررسی شده در نقاط نمونه‌برداری (میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون توکی در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار ندارند)



شکل ۴. مقایسه میانگین‌های مقادیر پارامترهای کیفی بررسی شده در نقاط نمونه‌برداری (میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آزمون توکی در سطح ۵ درصد اختلاف معنادار ندارند)

جدول ۵. مقادیر وزنی آنیونی و کاتیونی هر پارامتر (داخل پرانتز) درخوشه دوم

ایستگاه	EC	TDS	جمع رتبه	رتبه در عامل ۲
لزوره	۰/۰۹۵۹۹ (۲)	۰/۰۹۶۰۰ (۱)	۳	۱
تنگراه	۰/۰۹۴۸۷ (۲)	۰/۰۹۴۸۵ (۳)	۵	۲
رامیان	۰/۰۹۴۴۱ (۲)	۰/۰۹۴۴۲ (۴)	۶	۳
تقی آباد	۰/۰۹۶۴۱ (۳)	۰/۰۹۶۳۸ (۴)	۷	۴
بصیرآباد	۰/۰۹۶۴۰ (۳)	۰/۰۹۶۳۸ (۴)	۷	۴
گالیکش	۰/۰۹۴۷۶ (۴)	۰/۰۹۴۶۴ (۵)	۹	۵
تمر	۰/۰۹۴۳۸ (۶)	۰/۹۴۴۲ (۵)	۱۱	۶
جمع	۰/۶۶۴۸	۰/۶۶۴۵	۲۲	۲۶

جدول ۶. مقادیر وزنی آنروپی و رتبه هر پارامتر (داخل پرانتز) در خوشه اول

ایستگاه	S <sub>04</sub>		K		Cl		Mg		Na		SAR		Ca		رتبه در عامل ۲	جمع رتبه
	(۶)	(۶)	(۱۰)	(۱۰)	(۱۰)	(۱۰)	(۸)	(۹)	(۱۱)	(۷)	(۷)	(۵)	(۷)			
لزوره	۰/۰۹۵۷	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۵۶	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۵۶	۰/۰۹۵۷	۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۸	۰/۰۹۵۸	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۸	۵۶	۱	
تنگراه	۰/۰۹۴۱	۰/۰۹۴۱	۰/۰۹۴۷	۰/۰۹۴۱	۰/۰۹۴۷	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۴۵۰	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۵۰	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۴۶	۰/۰۹۵۰	۴۹	۲	
رامیان	۰/۰۹۳۵	۰/۰۹۳۷	۰/۰۹۳۶	۰/۰۹۳۷	۰/۰۹۳۶	۰/۰۹۴۵	۰/۰۹۳۷	۰/۰۹۳۹	۰/۰۹۴۴	۰/۰۹۳۹	۰/۰۹۳۹	۰/۰۹۳۹	۰/۰۹۴۴	۴۸	۳	
تقی آباد	۰/۰۹۵۷	۰/۰۹۵۷	۰/۰۹۵۸	۰/۰۹۵۷	۰/۰۹۵۸	۰/۰۹۶۴	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۵۵	۰/۰۹۵۲	۴۷	۴	
بصیرآباد	۰/۰۹۴۵	۰/۰۹۲۴	۰/۰۹۲۸	۰/۰۹۲۴	۰/۰۹۲۸	۰/۰۹۴۲	۰/۰۹۳۶	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۴۲	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۵۴	۰/۰۹۴۲	۴۷	۴	
گالیکش	۰/۰۹۱۲	۰/۰۹۱۲	۰/۰۹۲۵	۰/۰۹۱۲	۰/۰۹۲۵	۰/۰۹۴۸	۰/۰۹۱۱	۰/۰۹۲۹	۰/۰۹۵۰	۰/۰۹۲۹	۰/۰۹۲۹	۰/۰۹۲۹	۰/۰۹۵۰	۴۵	۵	
تمر	۰/۰۹۳۱	۰/۰۹۴۲	۰/۰۹۲۶	۰/۰۹۴۲	۰/۰۹۲۶	۰/۰۹۴۸	۰/۰۹۳۵	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۵۱	۰/۰۹۵۲	۴۳	۶	
جمع	۰/۰۶۵۷	۰/۰۶۵۷	۰/۰۶۵۸	۰/۰۶۵۷	۰/۰۶۵۸	۰/۰۶۶۶	۰/۰۶۵۷	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۱۲	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۶۳	۰/۰۶۱۲	۳۲		

### نتیجه گیری کلی

کمبود آب شیرین یکی از چالش‌های اساسی زیست‌محیطی قرن حاضر است. کیفیت آب رودخانه از جنبه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بسیار اهمیت دارد. به‌منظور بهبود مدیریت آب و دستیابی به اهداف توافق‌شده بین‌المللی در زمینه کیفیت آب، بررسی جامع‌تر تغییرات زیست‌محیطی ضروری است. از طرف دیگر شناسایی عدم قطعیت در مجموعه داده‌ها یا شبکه ثبت داده‌ها از اهداف اصلی تحلیلگران داده‌ها و برنامه‌ریزان برای سیاست‌گذاری و معرفی راهکارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت با اطمینان زیاد برای مدیریت منابع آب است. در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل عاملی، مهم‌ترین متغیرهای کیفی آب در طول رودخانه گرگان‌رود تعیین شد؛ سپس پایداری عوامل تأثیرگذار کیفی با استفاده از تئوری آنروپی شانون بررسی شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که ۹۷/۸ درصد تغییرات کیفی آب سطحی را می‌توان با استفاده از دو عامل ارزیابی کرد. در مرحله بعد برای بررسی اختلاف معنادار بین مقادیر پارامترهای ثبت‌شده در نقاط نمونه‌برداری از آزمون توکی استفاده شد. بنابر این آزمون در ایستگاه تمر همه پارامترهای بررسی‌شده به‌غیر از پارامتر Ca، اختلاف معناداری با ایستگاه‌های دیگر داشتند. همچنین در ایستگاه بصیرآباد مقادیر همه پارامترها اختلاف معناداری با سایر ایستگاه‌ها داشتند. در بقیه ایستگاه‌ها به‌دلیل اینکه ایستگاه‌های برداشت نمونه، در سرشاخه‌های فرعی رودخانه گرگان‌رود واقع‌اند و در ارتفاعات بالادست به‌علت شیب زیاد در نتیجه آن زمان تماس کوتاه آب با سازندهای بستر

آبراهه‌ها، املاح محلول در رودخانه پایین است، اختلاف معناداری بین آنها وجود ندارد. در نهایت آنروپی اطلاعات برای تخمین عدم قطعیت متغیرهای کیفیت آب و همچنین نقاط نمونه‌برداری انجام گرفت. نتایج نشان‌دهنده ناپایداری داده‌های ثبت‌شده و تغییرات مداوم پارامترهای کیفی آب ثبت‌شده در عامل اول در دو ایستگاه تمر و گالیکش است. در ایستگاه تمر عامل SAR بیشترین آنروپی را در طول ثبت داده‌ها داشت. در ایستگاه‌های گالیکش، تقی‌آباد، بصیرآباد، رامیان و تنگراه مقدار  $Mg^{+2}$  دارای بیشترین وزن بود که نشان‌دهنده تغییرات مداوم است و این تغییرات را می‌توان به ارتباط با تشکیلات زمین‌شناسی نسبت داد. در خوشه دوم که دو پارامتر EC و TDS در آن قرار گرفته‌اند، داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه لزوره بیشترین ناپایداری را دارند. از طرف دیگر، مقادیر زیاد وزن آنروپی این دو پارامتر در مقایسه با دیگر پارامترهای کیفی بررسی‌شده، بیانگر تأثیرگذاری بیشتر نسبت به سایر مشخصه‌هاست. البته باید توجه داشت که علاوه بر عوامل طبیعی، به‌احتمال زیاد فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات کاربری اراضی، فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در ناپایداری نمونه‌های برداشت‌شده در ایستگاه‌های مختلف تأثیر اساسی دارند.

### سپاسگزاری

نویسندگان این تحقیق بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه مسئولان شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان در خصوص آمار و اطلاعات ضروری برای اجرای این مطالعه تقدیر و تشکر کنند.

## منابع

- [1]. خزایی موغانی، سولماز؛ نجفی نژاد، علی؛ محسنی، عظیم؛ شیخ، واحدبردی، ۱۳۹۲، تغییرات مکانی و فصلی رسوب معلق در ایستگاه‌های واقع در طول رودخانه گرگانرود، استان گلستان، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال چهارم، شماره ۷: ۱۵-۱.
- [2]. زارع گاریزی، آرش؛ سعدالدین، امیر، شیخ، واحد بردی؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول، ۱۳۹۱، بررسی روند تغییرات بلندمدت متغیرهای کیفیت آب رودخانه چهل چای (استان گلستان)، مجله پژوهش آب ایران، سال ششم، شماره ۱۰: ۱۶۵-۱۵۵.
- [3]. سید خادمی، مرتضی، ۱۳۷۹، پایش نیترات و بررسی نسبت کلرید به نیترات در آبهای زیرزمینی شهر گرگان، مجموعه مقالات چهارمین کارگاه آموزشی، تخصصی پایش کیفی منابع آب، شیراز.
- [4]. شیرازی، محمد رضا، ۱۳۷۹. پایش کیفی منابع آب تهران، مجموعه مقالات چهارمین کارگاه آموزشی، تخصصی پایش کیفی منابع آب، شیراز، ایران.
- [5]. کبودوندپور، شهرام، ۱۳۷۳، اثرات فاضلاب‌های شهری و صنعتی بر کیفیت رودخانه قشلاق سنندج، کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس نور.
- [6]. کلانتری، نصرالله؛ رحیمی، محمد حسین؛ اکبری، اکبر، ۱۳۸۸، بررسی هیدروشیمیایی دشت میان آب با استفاده از روش‌های آماری، نمودارهای هیدروشیمیایی و منطق فازی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره نهم: ۱۵-۲۵.
- [7]. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۹۰، گزارش اقتصادی اجتماعی استان گلستان: ۳۹۶.
- [8]. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۸، راهنمای پایش کیفیت آب سطحی، نشریه شماره ۵۲۲: ۲۰۳.
- [9]. Chatfield, C. and A. J. Collin, 1980, Introduction to Multivariate Analysis. Published in the USA by Chapman and Hall, New York NY.
- [10]. Fetter, C. W., 1990, Applied hydrogeology, 3rd Ed., MacMillan Pub, 592 p.
- [11]. GÜler, C., G.D. Thyne, J. E. Mc Cary, and K. A. Turner, 2002, Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, Hydrogeology Journal, vol. 10, pp.455-474.
- [12]. Helena, B., R. Pardo, M. Vega, E. Barrado, J. M. Fernandez, and L. Fernandez, 2000, Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis, Water Research, vol 34 (3), pp. 807-816.
- [13]. Jolliffe, I. T., 1986, Principal component analysis, Second Ed., Springer, 271. Pages.
- [14]. Karpuzcu, M., S. Senes, and A. Akkoyunlu, 1987, Design of monitoring systems for water quality by principal component analysis and a case study. Proceedings of the International Symposium on Environmental Management (Environment 87), vol1, 673-690, Istanbul.
- [15]. Liu, C. W., C. S. Jang, C. P. Chen, C. N. Lin, and K. L. Lou, 2008, Characterization of groundwater quality in Kinmen Island using multivariate analysis and geochemical modeling, Hydrological Processes, vol 22 (3), pp. 376-383.
- [16]. Love, D., D. Hallbauer, A. Amos, and R. Hranova, 2004, Factor analysis as a tool in groundwater quality management: Two southern African case studies, Physics and Chemistry of the Earth, vol 29(15-18), pp. 1135-1143.
- [17]. Mogheir, Y., V. P. Singh, and J. L. M. P. Lim, 2006, Spatial assessment and redesign of groundwater quality monitoring network entropy theory, Gaza Strip, Palestine, Hydrogeology Journal, vol 14, pp. 700-712.
- [18]. Paliwal, R., P. Sharma, and A. Kansal, 2007, Water quality modeling of the river Yamuna (India) using QUAL2E-UNCAS, Journal of Environmental Management, vol 83, pp.131-144
- [19]. Rango, G., M. De Luca, and G. Loele, 2007, An Application of Cluster Analysis and Multivariate Classification Methods to Spring Water Monitoring Data, Micro Chemical Journal, vol 87, pp. 19-127.
- [20]. Ryberg, K. R., 2006, Cluster analysis of water-quality data for Lake Sakakawea, Audubon Lake, and Mc Clusky Canal, Central North Dakota, 1990-2003: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5202, 38 P.
- [21]. Satyanarayana M. and P. Periakali, 2003, Geochemistry of ground water in ultra basic peninsular gneissic rocks, Salem district, Tamil Nadu, Journal of the Geological Society of India, vol 62, pp. 63-73.

- [22]. Shannon, C. E., 1948, A mathematical theory of communication, Bell Syst. Tech. J., vol 27, pp. 379-423.
- [23]. Singh, K. P., A. Malik, D. Mohan, and S. Sinha, 2004, Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River, India, Water Research, vol 38, pp. 3980–3992.
- [24]. Singh, V. P., 1997, The use of entropy in hydrology and water resources, Hydrological Processes, vol 11, pp. 587-626
- [25]. Wang, Y. and Z. Luo Tma, 2001, Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into ground water on a regional scale: A case study in the Liulin karst system, northwestern China, Journal of Hydrology, vol 246, pp. 223–234.
- [26]. Wunderlin, D.A., M. Diaz, M. M. V., Ame, S. F. Pesce, A. C. Hued, and M. Bistoni, 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, vol 35 (12), pp. 2881–2894.
- [27]. Yidand, S., M. D. Ophori, and B. Banoeng-Yakubo, 2008, A Multivariate Statistical Analysis of Surface Water Chemistry Data- the Ankobra Basin, Ghana, Journal of Environmental Management, vol. 86, pp.80-87.
- [28]. Yuan, Y., and J. K. Mitchell, 1999, A Method to Evaluate Pollutant Loads from Tile Drains. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, vol 42(5), pp. 1313-1319.
- [29]. Zhang J, W. W. Huang, R. Letolle, and C. Jusserand, 1995, Major element chemistry of the Huanghe (Yellow River), China – Weathering processes and chemical fluxes, Journal of hydrology, vol 168, pp. 173–203.