

تحلیل کیفیت آب در حوضه آبریز رودخانه حله با تکنیک آماری تحلیل عاملی چندمتغیره

سعیده رمضانی^۱ و سید حسین هاشمی^{۲*}

چکیده

رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان‌های فارس و بوشهر در ایران هستند. در این پژوهش برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی، داده‌های پانزده پارامتر کیفیت آب در چهار فصل زمستان ۱۳۸۶ تا پاییز ۱۳۸۷ در ۲۴ ایستگاه سازمان حفاظت محیط زیست با روش تحلیل عاملی چندمتغیره تحلیل شدند. مقادیر ویژه به دست آمده از تجزیه پارامترهای ارزیابی شده به عوامل اصلی نشان داد پنج عامل اول حدود ۸۳ درصد تغییرات بین ایستگاه‌ها را توجیه می‌کنند. پارامترهای هدایت الکتریکی، سختی کل، استرانسیم، درصد اشباع اکسیژن محلول، درجه حرارت آب و نترات مربوط به عامل اول با ۲۶/۱۶۷ درصد واریانس؛ آهن، منگنز و کدورت مربوط به عامل دوم با ۱۶/۱۳۳ درصد واریانس؛ و سزیم و لیتیم مربوط به عامل سوم با ۱۵/۲۷۶ درصد واریانس؛ مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر تغییرات کیفیت آب به دست آمدند. شاخص ترکیبی محاسبه شده و نتیجه رتبه‌بندی ایستگاه‌ها نشان داد ایستگاه‌های تنگ چوگان، سرخون و چشمه ساسان بهترین کیفیت و ایستگاه‌های شکستیان، بنه جابری و درگاهی که تحت تأثیر سازندهای تبخیری، گنبدهای نمکی، چشمه‌های شور، فعالیت‌های کشاورزی و چشمه‌های گوگردی هستند، بدترین کیفیت را دارند. نتایج نشان داد که تکنیک تحلیل عاملی می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار و همچنین رتبه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌های پایش استفاده شود.

کلمات کلیدی: تحلیل عاملی، رتبه‌بندی کیفیت آب، شاخص ترکیبی، کیفیت آب.

ارجاع: رمضانی س. و هاشمی س. ح. ۱۳۹۳. تحلیل کیفیت آب در حوضه آبریز رودخانه حله با تکنیک آماری تحلیل عاملی چندمتغیره. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴): ۱۱۹-۱۲۶.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد محیط زیست - آلودگی‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

۲- استادیار گروه آلاینده‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی.

* نویسنده مسئول: h_hashemi@sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۵

مقدمه

در سال‌های اخیر رشد جمعیت، افزایش نیازهای غذایی، ارتقاء سطح بهداشت، رفاه عمومی، توسعه کشاورزی و صنعت موجب شده‌اند تا محدودیت منابع آب و کمبود آن بیش از پیش احساس شود. هنگامی که آب رودخانه‌ها به‌عنوان منابع آب داخلی برای هدف‌های مختلف به کار می‌روند، داشتن اطلاعات واقعی و مناسب برای کنترل آلودگی و حفاظت و مدیریت مؤثر آن‌ها الزامی است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۴) و آگاهی از کیفیت آب و روند تغییرات آن اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی‌های آینده و مدیریت مناسب منابع آب دارد (کرباسی و شهبازی، ۱۳۸۶). مطالعات پیشین نشان داده است که داده‌هایی که تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب را در یک رودخانه توصیف می‌کنند، می‌توانند برای معرفی اهمیت نسبی اثرات انسانی و طبیعی به کار روند (مارکیچ و برون، ۱۹۹۸).

مجموعه داده‌های پایش، حاوی اطلاعات غنی درباره رفتار منابع آب هستند و به طور معمول پایش‌های بلند مدت داده‌های پیچیده‌ای تولید می‌کنند که نیازمند روش‌های مناسب برای تحلیل و تفسیر هستند (کازی و همکاران، ۲۰۰۸؛ الام و همکاران، ۲۰۱۰ و آیوکو و همکاران، ۲۰۰۷). در این میان گروه بندی، شبیه‌سازی و تفسیر داده‌های پایش، مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی کیفیت آب هستند (بویشگلو، ۲۰۰۶). روش‌های گوناگونی مانند شاخص کیفیت آب، مدل‌های دینامیک و ارزیابی فازی برای ارزیابی کیفیت آب وجود دارد. ولی این روش‌ها اغلب برای مجموعه داده‌های پایش در مقیاس وسیع و زمان طولانی مناسب نیستند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، می‌توان از روش‌های تحلیل آماری چندمتغیره که برای توصیف داده‌های پیچیده پایش مناسب هستند، استفاده کرد (وو و همکاران، ۲۰۰۹). این تکنیک‌ها ابزاری مؤثر برای مدیریت مطمئن منابع آبی و ارائه راه حلی سریع برای حل مشکلات آلودگی مطرح‌اند (یرل، ۲۰۱۰) و قادر به تفسیر مجموعه داده‌های پیچیده و فهم بهتر فرایندهای هیدروشمیایی و تعیین عوامل اثرگذار بر سیستم‌های آبی و تغییرات کیفیت آب هستند (لیو و همکاران، ۲۰۱۱). پژوهش‌های بسیاری در جهان برای تحلیل داده‌های کیفیت منابع آب با روش‌های آماری چندمتغیره انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تفسیر داده‌های

کیفیت آب رودخانه گومتی در شمال هند (کانوار و همکاران، ۲۰۰۴)، بررسی کیفیت آب رودخانه سانیا (یانگلی و همکاران، ۲۰۰۹) و رودخانه پورساک در ترکیه (یرل، ۲۰۱۰) و تشخیص الگوی عمومی کیفیت آب و مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در تغییر کیفیت آب در دریاچه یوان یانگ در تایوان (لیو و همکاران، ۲۰۱۱) اشاره کرد. در ایران چندین مطالعه در این زمینه انجام شده است که از جمله می‌توان به بررسی کیفیت آب رودخانه‌های استان گیلان (کرباسی و شهبازی، ۱۳۸۶)، ارزیابی تغییرات مکانی پارامترهای کیفیت آب در شاخه‌های تالاب انزلی (چرخایی و ساکی‌زاده، ۲۰۰۶)، بررسی رودخانه هلیل‌رود از نظر هیدروشمیایی (فاریابی و همکاران، ۱۳۸۸) و بررسی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود استان اصفهان (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۸) با استفاده از روش‌های تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای و سایر تکنیک‌های چندمتغیره اشاره کرد.

هدف این پژوهش تحلیل داده‌های کیفیت رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان با روش آماری تحلیل عاملی و تعیین مهم‌ترین پارامترهای کیفیت آب و محاسبه شاخص ترکیبی و رتبه‌بندی کیفیت آب در ایستگاه‌های پایش است.

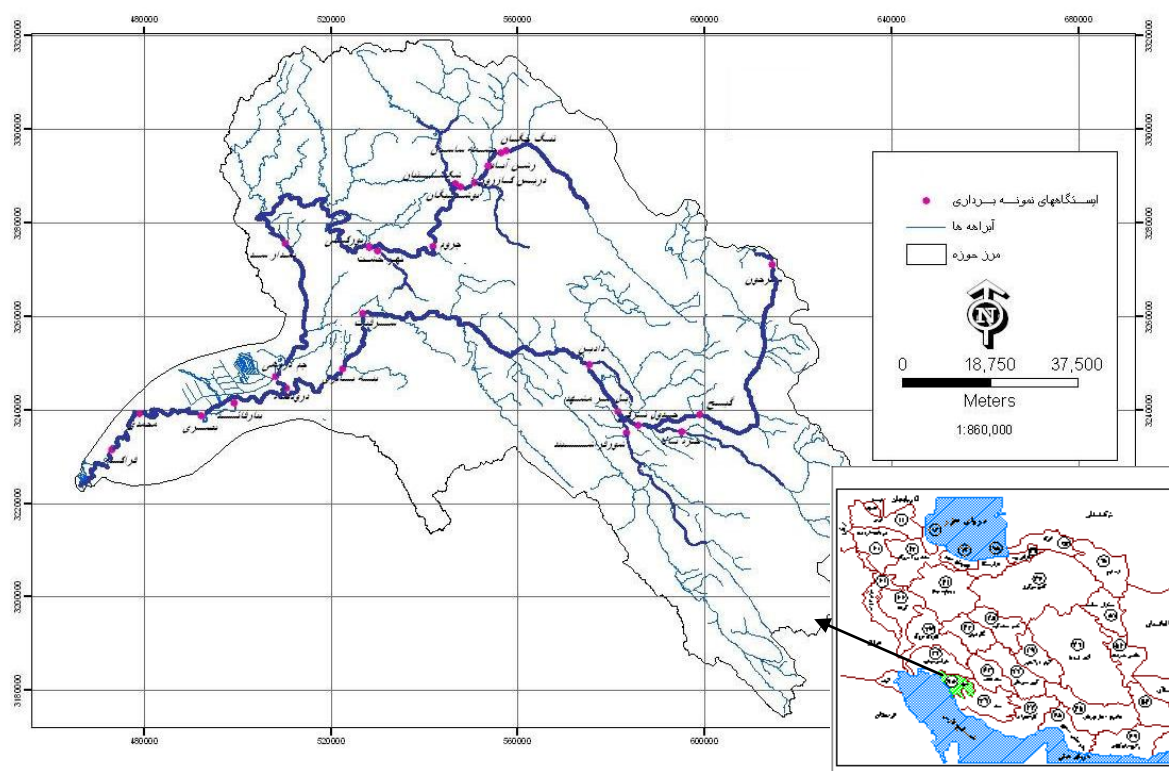
رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی از جمله مهم‌ترین رودخانه‌های استان‌های فارس و بوشهر محسوب می‌شوند. حوضه آبریز رودخانه حله با مساحت ۲۱۲۷۴ کیلومترمربع بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است که بین طول‌های جغرافیایی ۴۹° و ۵۳° و ۲۳° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۸° و ۱۰° تا ۳۰° و ۲۲° شمالی است. رودخانه حله از اتصال رودخانه‌های شاپور و دالکی در محل درودگاه در ۱۰ کیلومتری شمال غرب برازجان به وجود می‌آید. جهت جریان آن ابتدا به طول حدود ۴۰ کیلومتر از شرق به غرب و سپس به سمت جنوب غرب متمایل و پس از طی ۲۰ کیلومتر به خلیج فارس می‌پیوندد. بخش عمده این حوضه در استان بوشهر و بقیه در استان فارس قرار دارد. حوضه آبریز حله از نظر اقلیمی در محدوده سرد تا بیابانی شدید قرار دارد و بارندگی سالانه آن بین ۷۸۸ میلی‌متر در ایستگاه دشت ارژن در نواحی مرتفع شمالی تا ۲۰۸ میلی‌متر در ایستگاه بندر ریگ در جنوب غربی حوضه متغیر است (کریمی‌جشنی و همکاران، ۱۳۸۸). آب این رودخانه‌ها برای آبیاری زمین‌های

پساب‌های صنعتی در استان بوشهر بر آلودگی خلیج فارس تأثیر دارد (درخشان و کریمی‌جشنی، ۱۳۸۵). علاوه بر این در مطالعات انجام شده توسط مرکز مطالعات و پژوهش‌های خلیج فارس در سال ۷۸-۱۳۷۷ در زمینه آلودگی و منابع آلوده کننده رودخانه حله بقایای سموم لیندین، دیازینون و مالاتیون در آب مشاهده شده‌است که از طریق زه‌آب‌های کشاورزی و هوا وارد آب شده بودند.

مواد و روش‌ها

شکل ۱ محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های پایش را نشان می‌دهد.

کشاورزی در روستاهای مجاور، تأمین آب شرب و برخی صنایع استفاده می‌شود. احداث سد‌های رئیس علی دلواری، قربان آباد و شبانکاره بر روی این رودخانه‌ها برای تولید الکتریسیته و تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و غیره بر اهمیت آن‌ها افزوده‌است. مطالعاتی که بر روی تالاب حله و آوردهای آبی آن یعنی رودخانه‌های شاپور و دالکی بر اساس شاخص کیفیت آب انجام شده است نیز تغییرات جدی در ویژگی آب تحت تأثیر عوامل محیطی و آلاینده‌های کشاورزی، خانگی و غیره را نشان می‌دهد (سخایی و دوست‌شناس، ۱۳۸۹). همچنین در پژوهش دیگری در زمینه نقش رودخانه‌های استان بوشهر در آلودگی خلیج فارس نشان داده شد که رودخانه حله تحت تأثیر زمین‌های کشاورزی اطراف و



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه‌های پایش بر روی رودخانه‌های شاپور، دالکی و حله

چند سطح غربال‌گری شدند. غربال‌گری سطح اول شامل حذف پارامترهایی بود که مقدار آن‌ها در تمامی اندازه‌گیری‌های انجام شده کمتر حد تشخیص گزارش شده بود. در مرحله بعد غربال‌گری شامل حذف داده‌های غیرممکن بود. برای مثال داده‌های pH کمتر از صفر و بیش از چهارده حذف شدند. غربال‌گری در مرحله سوم شامل حذف پارامترهای با همبستگی بالا یا مشابه بود.

در این مطالعه داده‌های فصلی کیفیت آب رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی در چهار فصل زمستان ۱۳۸۶ تا پاییز ۱۳۸۷ در ۲۴ ایستگاه سازمان حفاظت محیط زیست استفاده شدند. پس از جمع‌آوری داده‌ها تشکیل پایگاه داده‌ها و آماده‌سازی و آن‌ها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. پس از تشکیل پایگاه داده‌های اولیه که شامل بیش از ۵۰ کیفیت آب در ایستگاه‌های پایش مختلف بود، پارامترها در

هر یک از پارامترها از یک عدد ثابت معادل حداکثر مقدار هر پارامتر کسر شد (معادله ۱). مقدار بهینه پارامتر pH در آب سطحی معادل ۷/۵ در نظر گرفته شد که با دور شدن از این مقدار (یعنی به سمت اسیدی یا قلیایی) کیفیت آب کاهش خواهد یافت و مقادیر آن با استفاده از معادله ۲ اصلاح شد. برای مقایسه غلظت اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف، درصد اشباع اکسیژن محلول با توجه به پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی و ارتفاع محاسبه و جایگزین اکسیژن محلول شد (تراپیان و هاشمی، ۱۳۸۱).

$$Y_i = X_{imax} - X_{ij} \quad (1)$$

که در آن Y_i پارامتر i (همسو شده)؛ X_{imax} مقدار ماکزیمم پارامتر i ؛ X_{ij} مقدار پارامتر i در ایستگاه j .

$$[7.5 - \text{PHj}] \quad (2)$$

که در آن X_{pHj} مقدار پارامتر pH در ایستگاه j .

به‌عنوان مثال به‌دلیل همبستگی بالای پارامترهای هدایت الکتریکی و جامدات کل محلول برای پرهیز از دوباره شماری آن‌ها، فقط پارامتر هدایت الکتریکی در نظر گرفته شد. با توجه به فرض‌های در نظر گرفته شده در روش آماری تحلیل عاملی، پارامترهای با همبستگی پایین با سایر پارامترها نیز حذف شدند. همچنین سختی کل جایگزین پارامترهای کلسیم و منیزم شد. در نهایت پانزده پارامتر کیفیت آب شامل کلی‌فرم مدفوعی، نیترات، کدورت، فسفات، درصد اکسیژن محلول اشباع، درجه حرارت آب، pH، هدایت الکتریکی، سختی کل، اکسیژن خواهی بیولوژیکی، آهن، منگنز، سزیم، استرانسیم و لیتیم تحلیل شدند (جدول ۱). با توجه به اینکه پارامترهای مختلف به طور متفاوت بر کیفیت آب اثر می‌گذارند، به‌عنوان مثال افزایش اکسیژن محلول باعث بهبود کیفیت آب و افزایش نیترات باعث کاهش کیفیت آب می‌شود لازم است پارامترهای مختلف همسو شوند، بدین منظور مقدار

جدول ۱- پارامترهای منتخب کیفیت آب رودخانه حله برای تحلیل عاملی

پارامتر	واحد	پارامتر	واحد	پارامتر	واحد
هدایت الکتریکی	$\mu\text{mhos/cm}$	pH	-	فسفات	mg/l-P
سختی کل	mg/lCaCO ₃	درجه حرارت آب	°C	کلی‌فرم مدفوعی	MPN/100ml
نیترات	mg/l-N	درصد اشباع اکسیژن محلول	mg/l	استرانسیم	ppm
سزیم	ppm	BOD ₅	mg/l	کدورت	NTU
آهن	ppm	منگنز	ppb	لیتیم	ppm

عامل‌های انتخابی، ۴- محاسبه بار عامل‌ها.

$$R = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \dots & n_1 \\ a_2 & b_2 & \dots & n_1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_m & b_m & & n_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

که در آن $a, b, \dots, n$ پارامترهای کیفیت؛ m نشان‌دهنده ایستگاه‌ها.

قضاوت نهایی در مورد متغیرهای مورد استفاده و نقش آن‌ها در عوامل، از طریق مقدار کل واریانس تعیین شده متغیرها با عامل‌ها، مشخص می‌شود. مقدار ویژه میزان واریانس تبیین شده با هر عامل را بیان می‌کند. مقدار ویژه، از طریق مجموع مجذورات بارهای عاملی مربوط به تمام متغیرها در آن عامل محاسبه می‌شود. بنابراین، مقادیر ویژه اهمیت اکتشافی عامل‌ها را در ارتباط با متغیرها نشان می‌دهند و پایین بودن این مقدار برای یک عامل به این معنی است که عامل مذکور نقش اندکی در

برای تحلیل داده‌ها از روش تحلیل عاملی استفاده شد. این روش می‌تواند بین مجموعه بزرگی از متغیرها که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه‌ای را تحت یک مدل فرضی برقرار کند. تحلیل عاملی بر این فرض استوار است که متغیرهای مشاهده شده ترکیبی خطی از متغیرهای فرضی زیر بنایی‌تر هستند. عامل عبارت است از ترکیب خطی متغیرهای اصلی، که نشان دهنده جنبه‌های خلاصه شده‌ای از متغیرها است. به عبارتی تحلیل عاملی واریانس موجود در متغیرهای مختلف را بر اساس تعداد محدودی از عوامل نشان می‌دهد. به طور خلاصه مراحل تحلیل عاملی عبارتند از ۱- تشکیل ماتریس داده‌های خام شامل ایستگاه در سطرها و پارامتر در ستون‌ها (معادله ۳)، ۲- تشکیل ماتریس ضریب‌های همبستگی، ۳- انجام آزمون کیسیر-میر-اولکین^۱ برای تعیین میزان تناسب تعداد

1- Kaiser Meyer-Olkin (KMO)

پارامتر، برای بدون بعد کردن مقادیر مندرج در ماتریس، از فرمول زیر استفاده شد (کلانتری، ۱۳۸۰):

$$Y = \frac{X_{ij}}{\bar{X}_i} \quad (4)$$

که در آن Y مقادیر رفع اختلاف مقیاس شده (نرمال شده)؛ X_{ij} مقدار پارامتر i در ایستگاه j ؛ $\bar{X}$ میانگین پارامتر i .

پس از رفع اختلاف مقیاس، مقادیر به دست آمده در وزن های محاسبه شده ضرب شدند. بدین منظور از فرمول زیر استفاده شد (کلانتری، ۱۳۸۰):

$$CI = \sum_{i=1}^n \frac{X_{ij}}{\bar{X}_i} * W_{ij} \quad (5)$$

که در آن CI شاخص ترکیب؛ X_{ij} مقدار متغیر i در منطقه j ؛ $\bar{X}$ میانگین متغیر i ؛ W_{ij} وزن مربوط به متغیر i که از طریق بردار اولین عامل به دست می آید (کلانتری، ۱۳۸۰). پس از آن مقادیر هر ردیف با یکدیگر جمع و شاخص ترکیبی کیفیت آب برای هر ایستگاه محاسبه شد.

نتایج و بحث

پس از همسو کردن داده ها، مقدار آماره KMO برابر ۰٫۵۳۹ به دست آمد که نشان دهنده مناسب بودن داده ها برای تحلیل عاملی و امکان تعمیم نتایج آن به جامعه آماری است. همچنین برای تعیین مهم ترین پارامترهای توجیه کننده واریانس، عامل های با مقادیر ویژه بزرگ تر از یک که در مجموع ۸۲٫۶۰۳ درصد واریانس ها را تبیین می کردند، در نظر گرفته شدند (جدول ۲). در این میان، عامل اول با ۲۶٫۱۶۷ درصد بیشترین و عامل پنجم با ۱۰٫۲۷ درصد کمترین سهم را در تبیین واریانس به خود اختصاص دادند. جدول ۲ مقدار ویژه و مجموع مجذورات بارهای عاملی را نشان می دهد.

تبیین واریانس متغیرها دارد و به همین دلیل نیز قابل چشم پوشی است و از تحلیل کنار گذاشته می شود. با این پیش فرض، عامل هایی که مقادیر ویژه یک و بالاتر دارند، در تحلیل نهایی استفاده می شوند. همچنین، تفسیر ضریب های بار عاملی پیش از دوران دشوار است، زیرا برخی از متغیرها، همزمان با چندین عامل همبستگی متوسطی را نشان می دهند. به همین دلیل ممکن است یک متغیر بر بیش از یک عامل بار شده باشد، که این موردها ممکن است، باعث پیچیده تر شدن تحلیل عاملی شود. این امر باعث مشکل شدن تفسیر عامل ها و همبستگی آن ها با متغیرها می شود. برای رفع این مشکل، در بسیاری از موارد با چرخش عامل ها، بخشی از این گونه مشکلات را می توان رفع کرد. بنابراین، با دوران (چرخش) یافتن ماتریس همبستگی متغیرها با عوامل و محاسبه ماتریس همبستگی متغیرها با هریک از عامل ها پس از دوران، مقادیر ضریب ها یا بارهای عاملی یکباره تغییر یافته و هر یک از متغیرها به طور معمول (نه همیشه) با یک عامل بیشترین همبستگی را به وجود می آورند. این امر تفسیر مقدار همبستگی های میان عامل ها و متغیرها را آسان می کند (منصورفر، ۱۳۸۷). برای دوران نیز روش واریماکس ۹۰ درجه استفاده شد. برای انجام محاسبات آماری از برنامه SPSS نسخه ۱۴ استفاده شد.

پس از انجام تحلیل عاملی، تعیین عامل ها و تبیین همبستگی آن ها با هر کدام از پارامترها، محاسبه شاخص ترکیبی انجام شد. بدین منظور، اولین عامل اصلی که سهم زیادی از اختلاف بین مقادیر متغیرهای ماتریس یا به عبارت دیگر بیشترین میزان واریانس کل متغیرها را توجیه می کند (ستون اول جدول ۳) استخراج شد. قدر مطلق اولین عامل می تواند به عنوان وزن هر کدام از پارامترها در نظر گرفته شود. پس از تعیین وزن هر

جدول ۲- مقادیر ویژه و درصد واریانس توجیهی عوامل تعیین شده

عامل	مقادیر ویژه اولیه	واریانس توجیهی %	واریانس تجمعی توجیهی %
۱	۳٫۹۲۵	۲۶٫۱۶۷	۲۶٫۱۶۷
۲	۲٫۴۲۰	۱۶٫۱۳۳	۴۲٫۳۰۰
۳	۲٫۲۹۱	۱۵٫۲۷۶	۵۷٫۵۷۶
۴	۲٫۲۱۳	۱۴٫۷۵۴	۷۲٫۳۳۰
۵	۱٫۵۴۱	۱۰٫۲۷۳	۸۲٫۶۰۳

۰/۵۰ ± هستند، بسیار معنی‌دار محسوب می‌شوند. بنابراین، هر چقدر میزان بار عاملی بیشتر باشد، سطح معنی‌داری آن‌ها نیز در تفسیر ماتریس عاملی افزایش می‌یابد. این معیار در مقایسه با سایر معیارها بیشتر استفاده می‌شود. در این پژوهش برای دستیابی به نتایج بهتر و معنی‌دارتر بارهای عاملی بیش از ۰/۵۰ پذیرش شده است، به همین دلیل در جدول ۳ مقادیری از مؤلفه‌ها که مقدار آن‌ها بیش از ۰/۵۰ است انتخاب و متغیرهای متناظر با هر کدام از مؤلفه‌ها مشخص شدند. با توجه به جدول بارهای عاملی، جدول ۴ پارامترهای با بیشترین بار عاملی بر روی پنج عامل اول و جدول ۵ وزن هر کدام از آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳ ماتریس مؤلفه‌ها و سهم متغیرها را در عامل‌ها، به عبارت دیگر معیار سطح معنی‌داری بارهای عاملی را نشان می‌دهد. برای تفسیر این جدول باید مشخص شود که کدامیک از بارهای عاملی باید به عنوان مقادیر معنی‌دار در نظر گرفته شوند. برای اتخاذ این تصمیم معیارهای مختلفی وجود دارد. اولین معیار که به طور معمول توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است، بدون مبنای ریاضی است و به طور عمده براساس یک قاعده تجربی است که توسط پژوهشگران و کارشناسان آماری که به طور مکرر از تحلیل عاملی استفاده کرده‌اند، مطرح شده است. بر اساس این معیار، بارهای عاملی که بزرگ‌تر از ۰/۳۰ ± باشند، معنی‌دار تلقی می‌شوند. بارهای عاملی که بزرگ‌تر از ۰/۴۰ ± باشند دارای سطح معنی‌داری بالا و بارهایی که بزرگ‌تر از

جدول ۳- ماتریس ضریب‌های همبستگی پارامترها و عامل‌ها بعد از دوران واریمکس

پارامتر	عامل‌ها				
	۱	۲	۳	۴	۵
pH	۰/۳۰۰	-۰/۲۰۹	-۰/۲۸۲	۰/۳۴۰	۰/۵۵۶
دمای آب	۰/۶۶۸	۰/۱۲۹	۰/۴۶۷	۰/۱۲۴	-۰/۰۲۲
درصد اشباع اکسیژن محلول	۰/۷۷۱	۰/۰۴۲	۰/۳۰۵	-۰/۲۶۱	۰/۲۶۸
BOD ₅	۰/۰۱۱	۰/۰۳۴	-۰/۰۹۴	۰/۸۵۳	۰/۰۶۳
هدایت الکتریکی	۰/۸۷۷	۰/۰۰۹	-۰/۰۲۵	-۰/۱۳۹	۰/۰۷۲
کدورت	-۰/۰۳۸	۰/۶۱۹	-۰/۰۲۸	۰/۶۴۲	۰/۰۵۲
فسفر کل	-۰/۱۵۰	۰/۰۷۲	-۰/۰۸۶	-۰/۲۱۹	۰/۸۷۰
نیتрат	-۰/۶۰۴	-۰/۳۰۲	-۰/۰۱۲	۰/۲۴۱	۰/۴۶۵
کلیفرم مدفوعی	-۰/۲۰۵	۰/۰۰۸	۰/۲۱۵	۰/۸۴۲	-۰/۲۰۴
سختی کل	۰/۸۳۰	۰/۴۱۸	۰/۱۴۰	-۰/۰۰۷	-۰/۱۶۷
منگنز	۰/۲۸۴	۰/۸۷۵	۰/۰۴۴	-۰/۰۳۸	-۰/۱۰۲
آهن	۰/۱۷۳	۰/۹۲۴	۰/۱۵۶	۰/۰۹۴	۰/۰۱۶
لیتیم	۰/۳۳۳	۰/۱۸۸	۰/۸۷۹	۰/۰۰۰	-۰/۲۰۰
سزیم	۰/۱۴۸	۰/۰۰۳	۰/۹۵۹	۰/۰۲۰	-۰/۰۵۱
استرانسیم	۰/۸۱۵	۰/۲۱۹	۰/۳۱۵	۰/۱۶۸	-۰/۲۳۱

جدول ۴- پارامترهای تعیین شده در ارتباط با هر عامل

عامل‌ها	پارامترها					
اول	هدایت الکتریکی	سختی کل	استرانسیم	درصد اشباع اکسیژن محلول	درجه حرارت آب	نیترات
دوم	آهن	منگنز	کدورت			
سوم	لیتیم	سزیم				
چهارم	BOD ₅	کلیفرم مدفوعی	کدورت			
پنجم	فسفر کل	pH				

جدول ۵- وزن پارامترها

وزن	پارامتر	وزن	پارامتر	وزن	پارامتر
۰/۲۸۴	منگنز	۰/۰۳۸	کدورت	۰/۳۰۰	pH
۰/۱۷۳	آهن	۰/۱۵۰	فسفر کل	۰/۶۶۸	دمای آب
۰/۳۳۳	لیتیم	۰/۶۰۴	نیتрат	۰/۷۷۱	درصد اشباع اکسیژن محلول
۰/۱۴۸	سزیم	۰/۲۰۵	کلیفرم مدفوعی	۰/۰۱۱	BOD ₅
۰/۸۱۵	استرانسیم	۰/۸۳۰	سختی کل	۰/۸۷۷	هدایت الکتریکی

درصد اشباع اکسیژن محلول، درجه حرارت آب، نیترات، آهن، منگنز، کدورت، سزیم و لیتیم مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر کیفیت آب هستند. همچنین محاسبه شاخص ترکیبی و رتبه‌بندی کیفی نشان داد که کیفیت آب در ایستگاه‌هایی که تحت تأثیر عوامل انسانی و طبیعی قرار دارند، رتبه پایین‌تری کسب می‌کنند.

همچنین مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با رتبه‌بندی کیفی انجام شده در مطالعات قبلی بر اساس شاخص NSF نشان داد مقادیر این شاخص برای ایستگاه‌های SH-S2 تنگ چوگان، DS1 سرخون و SH-S1 چشمه ساسان به ترتیب ۷۲ (خوب)، ۷۹ (خوب) و ۸۲ (خوب) و برای ایستگاه‌های SH-S6 شکستیان، DS9 بنه جابری و DS10 درگاهی به ترتیب ۷۲ (خوب)، ۶۳ (متوسط) و ۶۷ (متوسط) است. با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص کیفیت آب رودخانه‌های حله و قرار گرفتن تمامی بازه‌ها در دو رده بندی خوب و متوسط با وجود شور و نامناسب بودن شاخه‌های شکستیان در رودخانه شاپور و جره و شور عبدالعلی در رودخانه دالکی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص کیفیت آب NSF که بیش‌ترین تأثیر را از اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی دارد و برای رودخانه‌های جنوبی ایران که زیاد تحت تأثیر منابع آلاینده طبیعی مولد شوری هستند، چندان مناسب نیستند.

همان‌طور که نتایج مطالعات انجام شده در سایر کشورها (شرستا و کازاما، ۲۰۰۷؛ بینگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ کانوار و همکاران، ۲۰۰۷؛ کازی و همکاران، ۲۰۰۹؛ الام و همکاران، ۲۰۱۰ و گودوین و همکاران، ۲۰۰۷) و همچنین در ایران (کرباسی و شهبازی، ۱۳۸۶؛ چرخابی و ساکی‌زاده، ۲۰۰۶؛ فاریابی و همکاران، ۱۳۸۸ و ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۸) با استفاده روش‌های آماری چندمتغیره نشان داده‌اند، این پژوهش نیز نشان می‌دهد که روش

شاخص ترکیبی کیفیت آب بر اساس پانزده پارامتر برای هر ایستگاه محاسبه و در مرحله آخر با مرتب کردن داده‌ها به صورت نزولی، رتبه نسبی کیفیت آب در ایستگاه‌ها محاسبه شد. براساس نتایج حاصل از رتبه‌بندی، ایستگاه‌های SH-S2 تنگ چوگان، در امتداد رودخانه رنجان بر روی رودخانه شاپور، DS1 سرخون بر روی سرشاخه رودخانه دالکی و SH-S1 چشمه ساسان یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه شاپور با مقادیر شاخص ۸/۲۱۴، ۸/۰۳۶ و ۸/۰۳۴ با بهترین کیفیت، به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. همچنین ایستگاه‌های SH-S6 شکستیان بر روی رودخانه شکستیان پیش از اتصال به رودخانه شاپور (که تحت تأثیر سازندهای تبخیری آغاجری و گنبدهای نمکی در مسیر رودخانه و چشمه‌های شور مانند چشمه بنه در منطقه است)، DS9 بنه جابری بر روی رودخانه دالکی در جوار روستای بنه جابری (که تحت تأثیر آلاینده‌های ناشی از نخلستان‌ها و زمین‌های کشاورزی بالادست و چشمه‌های گوگردی در منطقه) و DS10 درگاهی در انتهای رودخانه دالکی پیش از اتصال دو رودخانه دالکی و شاپور (که تحت تأثیر زه‌آب‌های کشاورزی و نخلستان‌های اطراف است)، به ترتیب با مقادیر شاخص ۲/۸، ۴/۳۹ و ۴/۶ با پایین‌ترین کیفیت در سه رتبه آخر قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه داده‌های کیفیت آب رودخانه‌های حله، شاپور و دالکی با استفاده از روش تحلیل عاملی تحلیل شدند. اطلاعات به دست آمده می‌تواند در تعیین عامل‌های اثرگذار بر سیستم‌های آبی، تحلیل تغییرات کیفیت آب، بهینه‌سازی برنامه‌های پایش و کاهش تعداد پارامترهای کیفیت آب استفاده شود. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که پارامترهای هدایت الکتریکی، سختی کل، استرانسیم،

- organic pollutants in Nanjing reach of Yangtze River. Hazardous Materials Journal. 169:1093-1098.
11. Charkhabi A. H. and Sakizadeh M. 2006. Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali Wetland, Northern Iran. Journal Environmental Studies. 15(3):395-403.
 12. Ayoko G. A. Singh k. Balerea S. and Kokot S. 2007. Exploratory multivariate modeling and prediction of the physico-chemical properties of surface water and groundwater. Journal Hydrology. 336:115-124.
 13. Boyacioglu H. 2006. Surface water quality assessment using factor analysis. Journal Water research commission south African. 32.(3):389-393.
 14. 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)- a case study. Journal Water Research. 38:3980-3992.
 15. Markich S. J. and Brown P. L. 1998. Relative importance of natural and anthropogenic influences on the fresh surface water chemistry of the Hawkesbury Nepean River, south-eastern Australia. Journal The Science of the Total Environment. 217(3):201-230.
 16. Alam M. J. B. Ahmed A. A. M. Ali1 E. and Ahmed A. A. M. 2010. Evaluation of Surface Water Quality of Surma River Using Factor Analysis. International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh. Japan. 186-188.
 17. Shrestha S. and Kazama F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate. J. Environmental Modelling and Software. 22:464-475.
 18. Kazi T. G. Arain M. B. Jamali M. K. Jalbani N. Afridi H. I. Sarfraz R. A. Baig J. A. and Abdul Q. S. 2008. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Journal Ecotoxicology and Environmental Safety. 72(2):301-309.
 19. Liu W. C. Yu H. L. and Chung C. E. 2011. Assessment of Water Quality in a Subtropical Alpine Lake Using Multivariate Statistical Techniques and Geostatistical Mapping: A Case Study. Journal International journal of environmental research and public health. 8:1126-1140.
 20. Yang L. Linyu X. and Shun L. 2009. Water Quality Analysis of the Songhua River Basin Using Multivariate Techniques. Journal Water Resource and Protection. 2:110-121.
 21. Yerel S. 2010. Water Quality Assessment of Porsuk River, Turkey. Journal E-Journal of chemistry. 7(2):593-599.
- تحلیل عاملی چندمتغیره قابلیت تفسیر مجموعه داده‌های پیچیده، ارزیابی و رتبه‌بندی کیفیت آب، تعیین منشأ آلودگی و تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب را برای مدیریت مؤثر منابع آب دارد.
- ### منابع
۱. ابراهیمی خ. جنت رستمی م. و شیرانی ک. ۱۳۸۸. بررسی فاکتورهای مؤثر بر کیفیت آب کشاورزی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره. هشتمین سمینار مهندسی رودخانه.
 ۲. ترابیانی ع. و هاشمی س. ح. ۱۳۸۱. مدل‌سازی کیفی آب‌های سطحی، سینتیک‌ها، ثابت‌ها و نرخ‌ها. تهران: دانشگاه تهران، ۵۳۰ ص.
 ۳. درخشان م. و کریمی‌جشنی ا. ۱۳۸۵. نقش رودخانه‌های استان بوشهر در آلودگی خلیج فارس. هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی.
 ۴. سخایی ن. و دوست‌شناس ب. ۱۳۸۹. طبقه‌بندی کیفیت آب تالاب حله با استفاده از نظام شاخص کیفیت آب Water Quality Index. دومین همایش ملی تالاب‌های ایران.
 ۵. فاریابی م. کلانتری ن. و نگارستانی ا. ۱۳۸۸. بررسی هیدروشیمی رودخانه هلیل‌رود با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره (Multivariate methods). هشتمین سمینار مهندسی رودخانه.
 ۶. کرباسی ع. و شهبازی ا. ۱۳۸۶. بررسی آب رودخانه‌های استان گیلان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره. مجله تحقیقات پیشرفته. ۱۱:۵-۸.
 ۷. کلانتری خ. ۱۳۸۰. برنامه‌ریزی و توسعه منطقه‌ای (تئوری‌ها و تکنیک‌ها). تهران: انتشارات خوشبین. ۲۸۸ ص.
 ۸. کریمی‌جشنی ا. ۱۳۸۸. مطالعات پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی رودخانه حله. معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز، مرکز تحقیقات محیط‌زیست و توسعه پایدار. سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۲۵۰ ص.
 ۹. منصورفر ک. ۱۳۸۷. روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری. تهران. دانشگاه تهران. ۴۶۰ ص.
 10. Wu B. Dayong Z. Yan Z. Xuxiang Z. and Shupe C. 2009. Multivariate statistical study of