

## بررسی تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب در حوضه آبخیز گرگانرود به وسیله روش‌های آماری چند متغیره

زهرا پسندیده‌فرد<sup>۱\*</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۱</sup>، سید حامد میرکریمی<sup>۱</sup>، مرتضی اکبری<sup>۲</sup> و مهدی غلامعلی‌فرد<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۸)

### چکیده

یکی از آلودگی‌های اصلی در آب‌های سطحی آلودگی غیرنقطه‌ای (NPS) است که اغلب ناشی از رواناب کشاورزی است. در این مطالعه، هدف بررسی تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب در حوضه آبخیز گرگانرود - واقع در استان گلستان - و اثر فعالیت‌های کشاورزی و آلودگی غیرنقطه‌ای بر آنهاست. در ابتدا، پارامترهای کیفی آب (پتاسیم، سدیم، pH، شوری، دبی آب، EC، سختی آب، یون‌های سولفات و بیکربنات، کلر، منیزیم و کلسیم در سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۸) به وسیله روش‌های چند متغیره آماری بررسی شدند. MANOVA به منظور تعیین معنی‌داری تفاوت بین میانگین‌های فصول، DA یا آنالیز تفکیکی جهت تعیین هم‌بستگی فصول با دوازده پارامتر کیفی آب، PCA و FA برای مشخص کردن پارامترهای شاخص کیفی آب انجام شد. به این ترتیب از طریق نتایج آماری اثر اقلیم (انجماد، هوازدگی و بارندگی) و فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی روی کیفیت آب مشخص شد. مهم‌ترین پارامترها در تفکیک فصول، به ترتیب پتاسیم، pH، اسیدکربنیک، کلسیم و منیزیم بود. مطابق نمودارهای بارگذاری آنالیز فاکتور، یون‌های کلر، سدیم و پتاسیم در فصول بهار و تابستان مهم‌ترین پارامترها هستند که بیانگر مصرف کود (مخصوصاً کود کلرور پتاسیم) و وجود آلودگی غیرنقطه‌ای در این فصول است. با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT ماه‌هایی از سال که محصولات منطقه نیاز آبی شدید دارند تشخیص داده شد. محصولات مهم و شاخص منطقه عبارت‌اند: از پنبه، برنج، سویا، گندم و جو که تقریباً بیشترین نیاز آبی تمامی این گونه‌ها، در اواخر بهار تا اواسط یا اواخر تابستان است. طبق نتایج حاصل از آنالیزهای آماری فعالیت کشاورزی در ایجاد آلودگی آب تأثیر زیادی دارد که نتایج نرم‌افزار CROPWAT نیز آن را تأیید کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی غیرنقطه‌ای (NPS)، پارامترهای کیفی آب، رواناب، روش‌های چند متغیره آماری

۱. گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
  ۲. گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
  ۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- \*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zahra\_pasandidehfard@yahoo.com

## مقدمه

رودخانه‌ها همواره در معرض ورود آلودگی‌های شهری و روستایی و به خصوص پساب کارخانجات و رواناب مزارع کشاورزی می‌باشند (۲). به طور کلی آلودگی‌ها را بر مبنای منبع تولیدکننده آنها به دو گروه تقسیم بندی می‌کنند: ۱- آلودگی با منبع متمرکز یا مشخص (آلودگی نقطه‌ای) ۲- آلودگی با منبع گسترده یا نامشخص (آلودگی غیرنقطه‌ای) (۱). آلودگی غیرنقطه‌ای (رسوبات و مواد مغذی) ناشی از رواناب کشاورزی به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت آب‌های سطحی شناخته می‌شود (۱۲) که نسبت به آلودگی نقطه‌ای معضلات بیشتری را ایجاد می‌کند. اثرات ثانویه آلودگی غیرنقطه‌ای (NPS) شامل تقلیل تعداد ماهیان، کاهش در کیفیت محیط زیست و زیستگاه آبریان است (۷) بنابراین شناسایی و کنترل این نوع آلودگی ضروری است. مطالعه تغییرات فصلی بارندگی و رواناب سطحی ناشی از کشاورزی و اثر آن بر دبی آب، میزان آلودگی غیرنقطه‌ای و کیفیت آب مستلزم استفاده از روش‌های آماری می‌باشد که از سوی بسیاری از دانشمندان مورد توجه قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که آنالیزهای آماری با دقت بالایی تغییرات کیفی آب را منعکس می‌کند. مطالعات گوناگونی در داخل و خارج ایران در مورد ارزیابی کیفی آب با استفاده از تکنیک‌های آماری انجام شده است که به برخی اشاره می‌شود.

شرستا و همکاران (۱۱)، آنالیز تفکیکی (DA)، آنالیز فاکتور (FA)، آنالیز اجزای اصلی (PCA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) را در ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی مجموعه‌های بزرگ و پیچیده داده‌های کیفی آب به کار بردند. در این مطالعه دوره آماری هشت ساله (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۲) بود و دوازده پارامتر کیفی آب در سیزده ایستگاه بررسی شد. نتایج سودمندی تکنیک‌های آماری چندمتغیره را برای تفسیر مجموعه‌های پیچیده داده نشان داد.

ژویو و همکاران (۱۵)، با استفاده از تکنیک‌های آماری آنالیز تفکیکی (DA) و آنالیز خوشه‌ای (CA) تغییرات فضایی و زمانی

کیفیت آب را در شمال غربی هنگ‌کنگ نشان دادند. در این پژوهش بیست و سه پارامتر در بیست و سه ایستگاه نمونه‌برداری و دوره آماری پنج ساله (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴) بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده توانایی بالای این روش‌های آماری بود. آیسن و همکاران (۸) با استفاده از روش‌های چند متغیره آماری، ارزیابی کیفی آب سطحی دریای آلابیت (Uluabat) ترکیه را انجام دادند. در این مطالعه از آنالیز خوشه‌ای (CA)، آنالیز اجزای اصلی (PCA) و هم‌چنین آنالیز فاکتور (FA) استفاده شد و داده‌های مربوط به دوازده پارامتر کیفی آب در دوازده ایستگاه نمونه‌برداری در سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ به عنوان داده‌های ورودی به کار برده شد. آنالیز خوشه‌ای دو گروه متفاوت را در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری مشخص کرد که بیان‌کننده ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و سطوح آلودگی در آب منطقه بود. به این ترتیب عوامل مؤثر در آلودگی آب با استفاده از آنالیزهای آماری تعیین شد.

الکرخی و همکاران (۵)، آنالیز فاکتور (FA) و آنالیز تفکیکی (DA) را به منظور ارزیابی تغییرات فضایی داده‌های کیفی آب از دو رودخانه جورو و ججایو (Juru and Jejawi) در مالزی انجام دادند. در این مطالعه ده پارامتر در ده ایستگاه مختلف نمونه‌برداری بررسی شد. آنالیز فاکتور در دو فاکتور ابتدایی در حدود ۸۲ درصد از واریانس کل داده‌های کیفی آب را نشان داد. این مطالعه سود تکنیک‌های چند متغیره آماری را برای آنالیز و تفسیر مجموعه‌های پیچیده داده‌ها نشان داد.

پژمان و همکاران (۹)، ارزیابی مکانی و تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب سطحی در حوضه رودخانه هراز در استان مازندران را با استفاده از تکنیک‌های چند متغیره آماری همچون آنالیز خوشه‌ای (CA)، آنالیز اجزای اصلی (PCA) و آنالیز فاکتور (FA) انجام دادند. داده‌های کیفی آب از ۸ ایستگاه نمونه‌برداری در طول رودخانه (تابستان و پاییز ۲۰۰۷ و زمستان و بهار ۲۰۰۸) برای ده پارامتر کیفی آنالیز شد. آنالیزهای آماری مورد استفاده، منجر به شناسایی فاکتورهای اصلی در تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب در یک سال شد.

صورت فصلی صورت می‌گیرد، یافتن ارتباط بین تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب و فعالیت‌های کشاورزی کاملاً منطقی است. در این مطالعه، حوضه آبخیز گرگانرود برای ارزیابی پارامترهای کیفی آب انتخاب شد. این آبخیز یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی کشور ایران است و در تامین آب آشامیدنی مردم منطقه نقش بسزایی دارد. به طور کلی اهداف این تحقیق شامل: ۱- تشخیص پارامترهای همبسته با فصول ۲- شناسایی آلاینده‌های ناشی از فرآیندهای طبیعی ۳- تشخیص آلاینده‌های ناشی از کشاورزی (آلودگی غیرنقطه‌ای) است. مزیت این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین، دوره آماری طولانی (۴۳ ساله)، تعداد ایستگاه‌های کیفیت سنجی زیاد (۳۱ ایستگاه) و استفاده از نرم‌افزار CROPWAT جهت تأیید نقش آلودگی غیرنقطه‌ای در کاهش کیفیت آب منطقه است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز گرگانرود تقریباً نیمه جنوبی استان گلستان را پوشش می‌دهد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۳۰۶۶ / ۸۲ کیلومتر مربع است که بیش از نیمی از کل استان (۲۰۱۲۵/۴۸ کیلومتر مربع) را تشکیل می‌دهد. این منطقه در بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ} 35' 54''$  تا  $37^{\circ} 47' 37''$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $53^{\circ} 59' 59''$  تا  $56^{\circ} 28' 36''$  شرقی قرار دارد. آبراهه یا رودخانه اصلی آن به نام گرگانرود از ارتفاعات گلی داغ و کور داغ و قلعه‌ماران و ارتفاعات یک تکالان و دست شاه در جنوب کله‌سر سرچشمه گرفته و پس از الحاق شاخه‌هایی به آن در نزدیکی روستای چاپاقلی به دریای خزر می‌ریزد (۳). شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز در ایران را نشان می‌دهد.

### داده‌های کیفی آب و آنالیزهای آماری مورد استفاده

پارامترهای کیفی مورد بررسی شامل سختی، شوری و دبی آب،

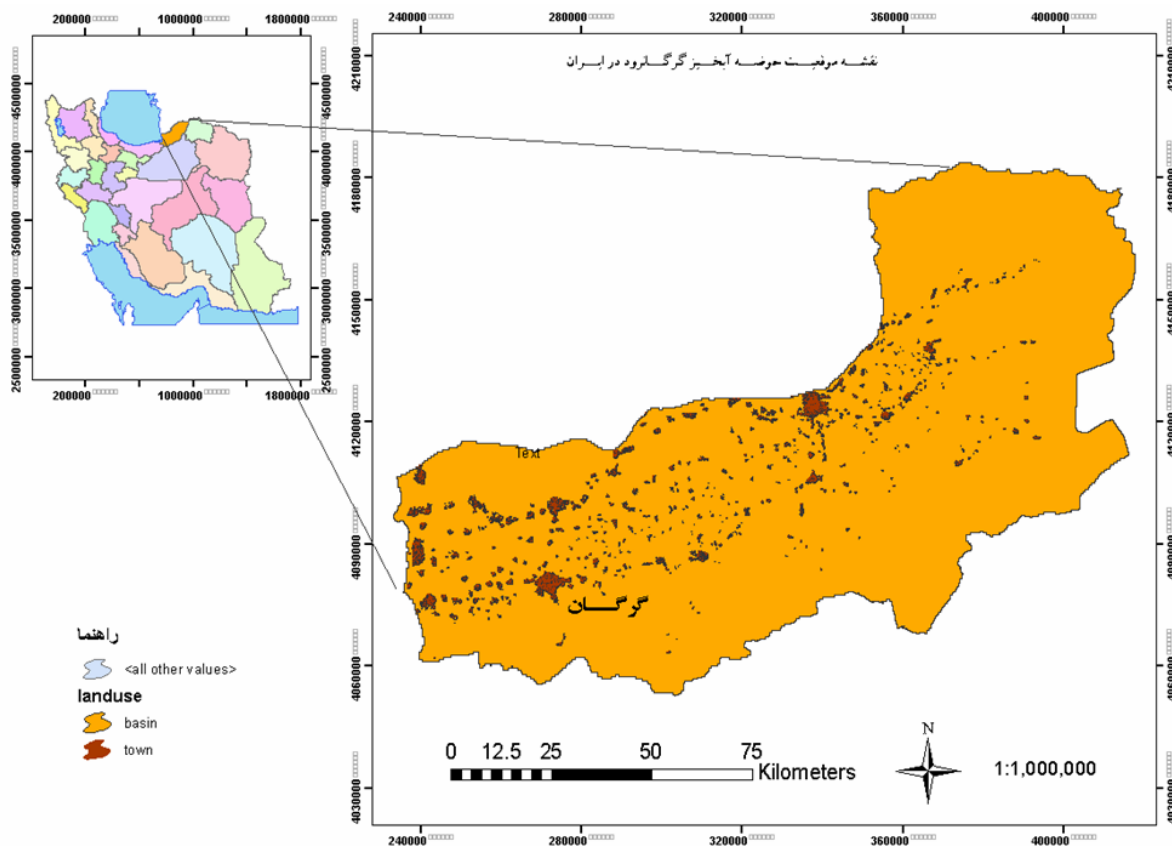
ژائو و همکاران (۱۴)، بررسی ویژگی‌های آب سطحی را در رودخانه لی‌یوان (Luan) در شمال چین به وسیله آنالیزهای آماری مانند آنالیز خوشه‌ای (CA) و آنالیز فاکتور (FA) انجام دادند. نتایج آنالیز خوشه‌ای نشان داد که ماه‌های یک سال به سه گروه تقسیم شدند. این گروه‌ها بر مبنای مشخصات فصلی در شمال چین بود. آنالیز فاکتور نیز با استفاده از سه فاکتور انجام شد. در نهایت تغییرات زمانی به وسیله فاکتورهای انسانی و طبیعی به تغییرات فصلی مرتبط شد.

بی‌یو و همکاران (۶)، تغییرپذیری فضایی و زمانی بیست و پنج آلاینده را از دوازده ایستگاه نمونه‌برداری در داخل اکوسیستم‌های آبی با استفاده از آنالیز خوشه‌ای (CA)، آنالیز فاکتور (FA)، ANOVA و نمودارهای جعبه‌ای (Box plot) در یک دوره آماری دو ساله نشان دادند. نتیجه حاکی از تفاوت معنی‌داری در تغییرات زمانی و تفاوت جزئی در تغییرات مکانی بود.

زارع گاریزی و همکاران (۱۳)، با استفاده از آنالیزهای آماری MANOVA، آنالیز تفکیکی (DA)، آنالیز فاکتور (FA) و آنالیز اجزای اصلی (PCA) و نمودار جعبه‌ای (Box plot) در یک دوره آماری سیزده ساله و در حوضه آبخیز چهل‌چای (از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز گرگانرود) به وسعت بیست و پنج هزار هکتار تغییرات فصلی دوازده فاکتور کیفی آب را نشان دادند. نتایج نشان‌دهنده سود این تکنیک‌ها برای آنالیز تغییرات فصلی فاکتورهای کیفی آب بود.

ساتیش‌کومار و همکاران (۱۰)، از آنالیز خوشه‌ای (CA) و آنالیز اجزای اصلی (PCA) و آنالیز MDS برای نشان دادن کیفیت آب جنگل مانگرو در ساحل پاندی‌چری (Pondicherry) در هند استفاده کردند. این آنالیزها الگوهای زمانی و مکانی کیفیت آب در مانگرو را به خوبی ارائه دادند.

در پژوهش‌های انجام شده، تکنیک‌های آماری به خوبی تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب را نشان دادند اما بر آلودگی غیرنقطه‌ای به عنوان عامل اصلی کاهش کیفیت آب تأکید نشده است. از آنجا که فعالیت‌های کشاورزی به



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در ایران

بیشترین تغییرات در چهار فصل را داشتند توسط DA مشخص شد. در انتها برای هر یک از چهار فصل به طور جداگانه پارامترهای شاخص (آلاینده‌های شاخص آب) به وسیله PCA و FA تعیین شد. آنالیزهای مورد بحث توسط نرم‌افزار MINITAB انجام شد.

#### MANOVA

در ابتدا، چهار فصل به عنوان چهار گروه مد نظر قرار گرفت و برای هر فصل عددی صحیح اختصاص داده شد. اعداد ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در نظر گرفته شد و MANOVA انجام شد تا به وسیله میانگین‌گیری از گروه‌ها (فصول)، معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌های فصول تعیین شود. هدف MANOVA بررسی متغیرهای وابسته‌ای (در این مطالعه پارامترهای کیفی آب) است که در پاسخ به

هدایت الکتریکی، pH و یون‌های پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات است. این داده‌ها مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۸ (دوره آماری ۴۳ ساله) است که از ۳۱ ایستگاه کیفیت سنجی آب در کل حوضه به دست آمد. روش‌های آماری و فاکتورهای کیفی مورد استفاده در مطالعه حاضر مشابه پژوهش زارع گاریزی و همکاران (۱۳) است با این تفاوت که منطقه مورد مطالعه بسیار وسیع‌تر و در نتیجه تعداد ایستگاه‌های کیفیت‌سنجی بیشتر و دوره آماری بسیار طولانی‌تر است. داده‌ها در قالب چهار فصل مرتب شد. نرمال‌سازی داده‌ها به شیوه Box-Cox صورت گرفت و ماتریس هم‌بستگی بین فصول تشکیل شد. برای نشان دادن تغییرات فصلی فاکتورها ابتدا معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین فصول در دوازده پارامتر کیفی آب به وسیله MANOVA بررسی شد و سپس پارامترهایی که

متغیرهای مستقل (فصول) نوسان می‌کنند.

### آنالیز تفکیکی (DA)

DA یا آنالیز تفکیکی برای دوازده پارامتر در کل فصول انجام شد و همبستگی این پارامترها با هر یک از فصول بررسی شد. با انجام آنالیز تفکیکی مشخص شد که کدام یک از فاکتورهای کیفی آب به تفاوت‌های بین فصول وابسته است و بیشتر تغییر می‌کند. یکی از اهداف DA تعیین متغیرهای متفاوت است که اجازه تفکیک دو یا تعداد بیشتر گروه‌ها را می‌دهد (۱۵). در این پژوهش متغیرهای تفکیک کننده در DA، تعدادی از پارامترهای کیفی آب هستند که تفاوت‌های بین فصول (گروه‌ها) را باعث می‌شوند. فرمول آنالیز تفکیکی به شکل زیر است (۱۵):

$$f(G_i) = k_i + \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot p_{ij} \quad [1]$$

$G_i$  تعداد گروه‌ها،  $K_i$  ثابت در هر گروه،  $n$  تعداد پارامترهای استفاده شده در طبقه‌بندی یک مجموعه داده،  $w_{ij}$  ضریب وزنی و  $p_{ij}$  پارامتر انتخاب شده به وسیله DA است.

### آنالیز اجزای اصلی (PCA) و آنالیز فاکتور (FA)

PCA و FA نیز برای هر یک از فصول به طور جداگانه انجام شد که از این طریق پارامترهای شاخص کیفی آب در هر یک از فصول و اثر فرآیندهای اقلیمی و فعالیت‌های کشاورزی و انسانی بر کیفیت آب مشخص شد.

PCA یک روش آماری است که برای تعیین اجزا استفاده می‌شود که ترکیبات خطی از متغیرهای اصلی هستند. در PCA یک مجموعه از متغیرهای همبسته  $p$  به مجموعه کوچک‌تری از طرح‌ها یا ساختارهای فرضی غیر همبسته که اجزای اصلی نامیده می‌شوند ( $PCs$ )، تبدیل می‌شوند. به منظور این هدف یک ماتریس کوواریانس یا ماتریس همبستگی استفاده می‌شود. در PCA جز اصلی نخستین یک ترکیب خطی از متغیرها با حداکثر واریانس است و بیشترین تغییرپذیری مجموعه داده‌های اصلی را نشان می‌دهد. جز دوم یک ترکیب خطی با بزرگ‌ترین

تغییرپذیری بعدی است که با اجزای نخستین و غیره قائمه است (۱۳). فرمول آنالیز اجزای اصلی (PCA) به صورت زیر است (۱۰):

$$Z_{ij} = pc_{i1}x_{1j} + pc_{i2}x_{2j} + \dots + pc_{im}x_{mj} \quad [2]$$

که  $Z$  معدل اجزا،  $pc$  بارگذاری اجزا،  $x$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر،  $i$  تعداد اجزا،  $j$  تعداد نمونه و  $m$  تعداد کل متغیرها است.

برای سادگی تفسیر نیز از آنالیز فاکتور (FA) استفاده شد. برای این منظور از چرخش فاکتور به روش Varimax استفاده و سه فاکتور در نظر گرفته شد. این روش چرخش، بر ساده‌سازی ستون‌های ماتریس فاکتور تمرکز دارد. آنالیز فاکتور نیز برای هر فصل به طور جداگانه بررسی شد.

PCA و FA برای داده‌های کیفی آب در فصول مختلف، در جهت شناسایی پارامترهای مهم که بر خصوصیات شیمیایی آب‌های سطحی در هر فصل اثر می‌گذارند و در جهت بررسی منابع ممکن آلاینده‌های مختلف، انجام می‌شود (۱۳).

### تعیین نیاز آبی محصولات

به منظور بررسی دقیق‌تر نتایج به دست آمده از آنالیزهای آماری، با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT نیاز آبی محصولات اصلی منطقه محاسبه شد. روش محاسبه نیاز آبی گیاهان در این نرم‌افزار، روش پنمن مانتیس است. این محاسبات با استفاده از داده‌های هواشناسی مانند دما، رطوبت، سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی در روز و اطلاعات مربوط به نوع گیاه و ضرایب گیاهی و داده‌های مربوط به نوع و خصوصیات خاک انجام می‌شود. به این ترتیب، ماه‌هایی از سال که نیاز آبی گیاهان در منطقه بالا است مشخص شد و با نتایج حاصل از آنالیزهای چند متغیره مقایسه شد. در این ماه‌ها میزان آبیاری و در نتیجه آبشویی ناشی از آن افزایش می‌یابد. افزایش میزان آبشویی نیز میزان آلودگی غیرنقطه‌ای را افزایش می‌دهد.

**بحث و نتایج****MANOVA**

محاسبه MANOVA به منظور بررسی تفاوت بین میانگین گروه‌ها (فصول) بررسی شد. در MANOVA تست معنی‌داری شباهت میانگین‌های گروه‌ها بر اساس آمار کلاسیک ویلکز لامبدا صورت می‌گیرد. طبق خروجی نرم‌افزار کلاسیک (Wilks' lambda = 0.41797, p-value = 0.00) میانگین فصول به طور قابل ملاحظه‌ای تفاوت معنی‌دار در پارامترهای کیفی آب، دارند.

**DA**

مطابق شکل ۲ با انجام آنالیز تفکیکی (DA) مهم‌ترین پارامترها در تفکیک فصول، به ترتیب پتاسیم، pH، بیکربنات، کلسیم و منیزیم (که بالاترین ارقام را به خود اختصاص دادند) تشخیص داده شدند. این فاکتورها پارامترهایی هستند که هم‌بستگی بیشتری را با فصول نشان می‌دهند و با تغییر فصل تغییرات اساسی در غلظتشان ایجاد می‌شود.

**FA و PCA**

با استفاده از نمودارهای بارگذاری آنالیز فاکتور پارامترهای کیفی آب بر اساس دو فاکتور نخستین در فصول مختلف سال (اشکال ۳ و ۴)، یون‌های کلر، سدیم و پتاسیم در فصول بهار و تابستان مهم‌ترین عناصر هستند. از آنجا که یکی از کودهای پر مصرف منطقه کلرور پتاسیم است (۴) و برای مزارع شالیزار و محصولات اصلی منطقه کاربرد زیادی دارد و آبیاری در منطقه نیز از اواسط اردیبهشت شروع شده و تا پایان شهریور و گاهی مهر ادامه دارد (برطبق محاسبات نیاز آبی CROPWAT شکل ۵)، می‌توان این افزایش در میزان پتاسیم در فصول تابستان و پاییز را به فرآیند آبشویی ناشی از آبیاری زمین‌های کشاورزی، نسبت داد. در مورد یون‌های  $Cl^-$  و  $SO_4^{2-}$  نیز بیشترین میزان مربوط به فصل پاییز است. تغییرات یون  $Na^+$  متناسب با یون  $Cl^-$  است و آلودگی به وسیله NaCl را می‌رساند که منشأ انسانی دارد. تغییرات فصلی  $SO_4^{2-}$  محلول می‌تواند به تغییرات شدید فرآیند هوازگی در صخره‌ها منسوب شود که این نتایج بسیار مشابه نتایج

پژوهش زارع گاریزی (۱۳) است.

از آنجا که در فصول سرد دوره‌های یخبندان رخ می‌دهد و فرآیند انجماد هم هوازگی را تسریع می‌کند این افزایش منطقی به نظر می‌رسد.

آلاینده‌هایی مانند  $HCO_3^-$  که با انحلال کلسیت و دولومیت زیاد می‌شوند نیز در فصول بهار و تابستان افزایش می‌یابند. در این فصول آبیاری اراضی کشاورزی - که دارای درصد بالایی آهک هستند - صورت می‌گیرد و این اراضی تحت تأثیر فرآیند آبشویی قرار می‌گیرند.

سختی کل در زمستان (شکل ۴ب) بالاست و در بهار (شکل ۳ الف) پایین است. سختی کل به حضور  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  در آب بستگی دارد. هم‌چنین افزایش غلظت یون بیکربنات و سختی کل آب در فصل زمستان را، نیز می‌توان به فرآیند هوازگی در این فصل مرتبط دانست. با توجه به نمودارهای بارگذاری آنالیز فاکتور مربوط به فصول زمستان و پاییز (شکل ۴) پارامترهای کیفی آب، در زمستان که سردترین فصل سال است میزان سختی کل بیشترین نقش را دارد.

تفاوت اصلی با نتایج زارع گاریزی (۱۳) در فصل پاییز دیده شد. در مطالعه حاضر مهم‌ترین عامل در فصل پاییز که نقش تعیین‌کننده‌ای دارد pH آب است که به دلیل کاهش ناگهانی دماست. pH آب رابطه عکس با دما دارد و با کاهش ناگهانی دما در پاییز میزان آن افزایش می‌یابد.

مطابق نتایج پژوهش زارع گاریزی (۱۳) pH در فصل پاییز نقش تعیین‌کننده‌ای نداشت. از آنجا که دقت و صحت روش‌های آماری با بزرگ شدن جامعه آماری افزایش می‌یابد می‌توان این نتیجه را مطلوب دانست.

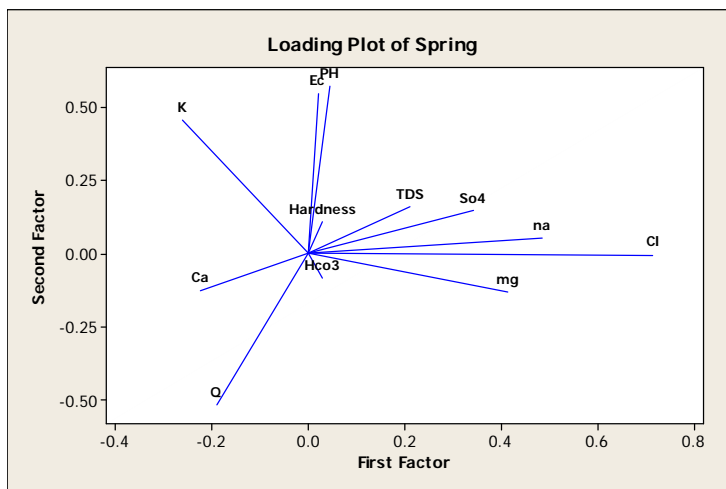
**محاسبه نیاز آبی محصولات شاخص منطقه**

محصولات مهم و شاخص منطقه عبارت‌اند از پنبه، برنج، سویا، گندم و جو که طبق نتایج نرم‌افزار CROPWAT (شکل ۵) تقریباً بیشترین نیاز آبی تمامی این گونه‌ها، در اواخر بهار تا اواخر تابستان است که نشان دهنده آبیاری این محصولات و در

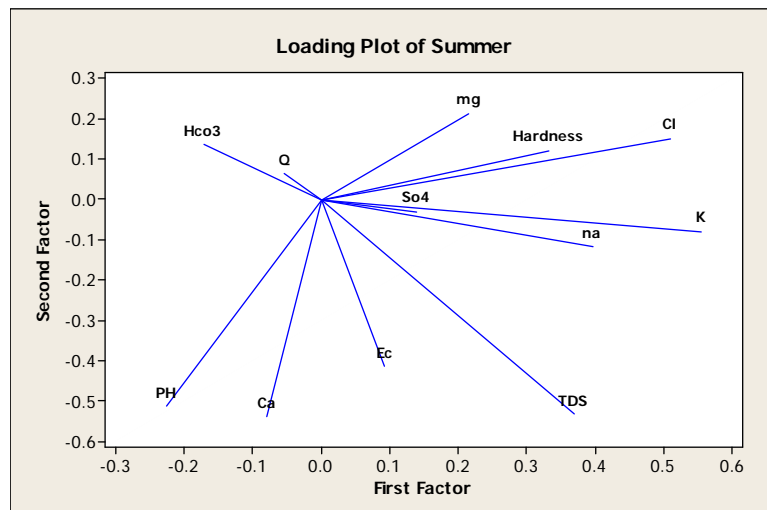
Linear Discriminant Function for Groups

	1	2	3	4
Q	3.17	1.23	1.66	2.17
Ec	0.00	0.01	0.01	0.01
TDS	0.01	0.01	0.01	0.01
PH	13.44	13.67	14.01	13.79
na	0.34	0.34	0.60	0.43
K	15.90	20.19	19.97	17.67
Ca	4.09	4.33	4.73	4.64
mg	3.32	3.75	4.01	3.71
Cl	0.39	0.36	0.66	0.50
So4	0.56	0.89	1.15	0.70
Hco3	8.03	8.10	8.83	8.80
Hardness	0.06	0.06	0.07	0.07

شکل ۲. نتیجه آنالیز تفکیک خطی برای فصول. اعداد یک تا چهار گروه‌ها (به ترتیب فصول بهار تا زمستان) است.

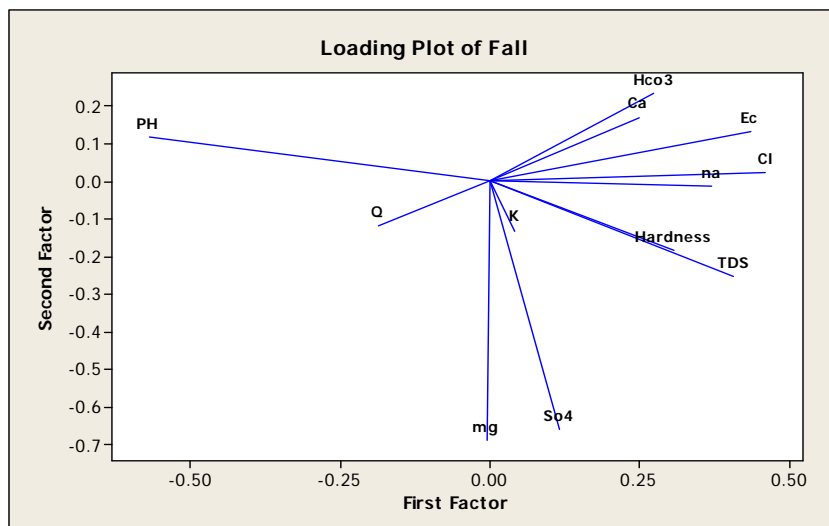


(الف)

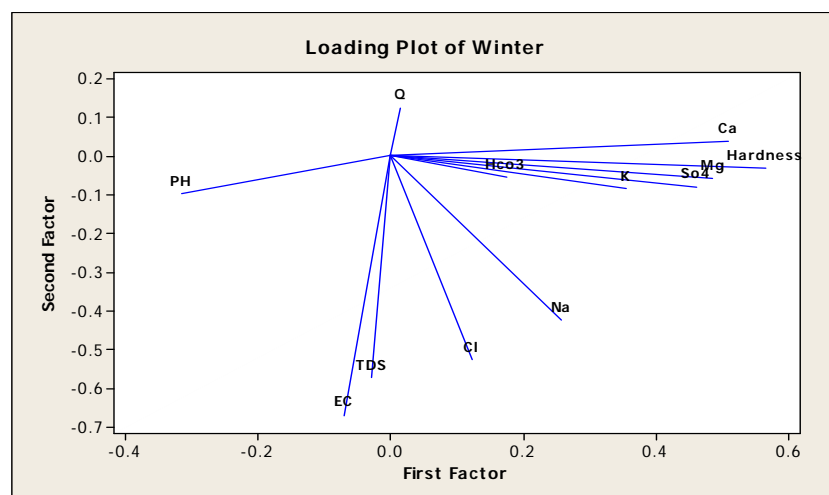


(ب)

شکل ۳. نمودار بارگذاری آنالیز فاکتور پارامترهای کیفی آب، با استفاده از دو فاکتور نخستین در فصول الف) بهار و ب) تابستان



(الف)



(ب)

شکل ۴. نمودار بارگذاری آنالیز فاکتور پارامترهای کیفی آب، با استفاده از دو فاکتور نخستین در فصول الف) پاییز و ب) زمستان

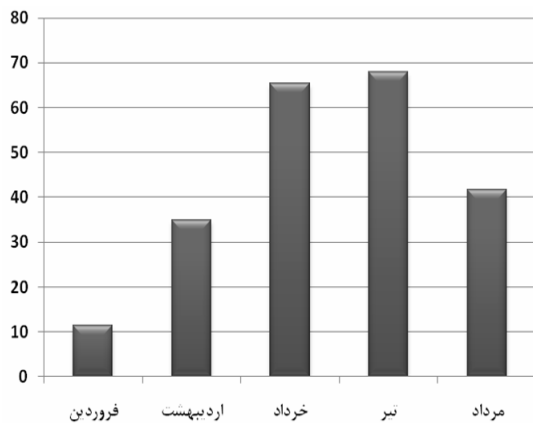
آبخیز گرگانود به وسیله آنالیزهای چند متغیره آماری ارزیابی شد. در ابتدا نتایج MANOVA تغییرات زیادی را بین چهار فصل نشان داد. آنالیز تفکیکی (DA) پتاسیم، pH، اسیدکربنیک، کلسیم و منیزیم را مهم‌ترین پارامترها در تفکیک فصول نشان داد. آنالیز آماری اجزای اصلی (PCA) و آنالیز فاکتور (FA) نیز به خوبی پارامترهای مهم در هر یک از فصول را نشان دادند. با محاسبه نیاز آبی توسط CROPWAT درستی نتایج آنالیزهای آماری تأیید شد.

نتیجه آبخیزی یون‌ها در بهار و تابستان است. طبق نتایج آماری حاصل از DA نیز یون پتاسیم (ناشی از کود کلرور پتاسیم) هم بستگی زیادی با فصول دارد و نتیجه PCA نیز پتاسیم، کلر و سدیم را که در کودهای مصرفی منطقه کاربرد فراوانی دارند عناصر شاخص فصل بهار و تابستان نشان می‌دهد.

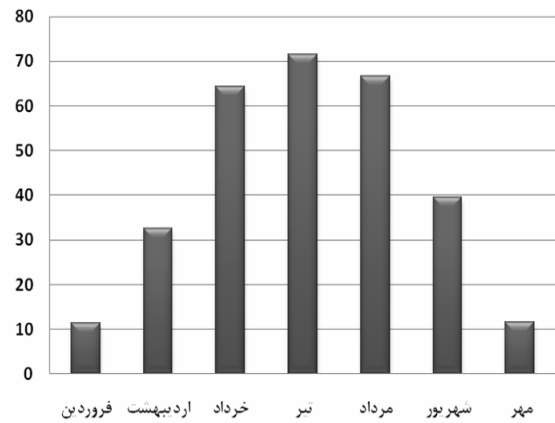
### نتیجه‌گیری

در این تحقیق تغییرات فصلی پارامترهای کیفی آب حوضه

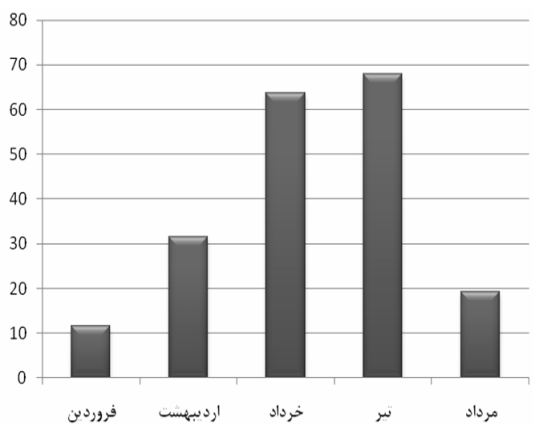




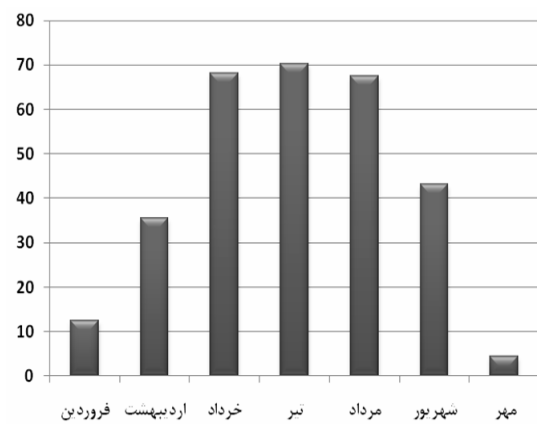
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵. نمودار میله‌ای نیاز آبی (mm الف) محصول پنبه و ب) محصول سویا ج) محصول برنج و د) محصولات جو و گندم

این پژوهش نیز همانند مطالعات پیشین، مزیت استفاده از تکنیک‌های چند متغیره آماری را در شناسایی منابع آلاینده (خصوصاً آلودگی غیرنقطه‌ای) و تغییرات فصلی فاکتورهای کیفی آب نشان داد.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که نوسان پارامترهای مورد بحث در آب حوضه مطالعاتی را به چند عامل می‌توان مرتبط دانست: ۱- دبی آب ۲- دما ۳- فعالیت‌های کشاورزی از قبیل کوددهی و آبیاری در فصول بهار و تابستان ۴- آبخویی ناشی از بارندگی در فصول مرطوب (بهار و زمستان).

### منابع مورد استفاده

۱. عرفان منش، م. و م. افیونی. ۱۳۸۱. آلودگی محیط زیست آب، خاک و هوا. انتشارات ارکان، اصفهان. ۳۱۸ صفحه.
۲. محمدی، ک. و ف. میثاقی. ۱۳۸۷. تهیه نقشه‌های آلودگی رودخانه سیمینرود با استفاده از شاخص PNPI. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران.
۳. معاونت برنامه‌ریزی استانداری گلستان، وزارت کشور. ۱۳۸۶. طرح مدیریت و پایش محیط زیستی رودخانه گرگانرود. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴. مفتاح هلقی، م. ۱۳۸۸. برآورد حداکثر بار آلودگی مجاز قابل تخلیه به گرگان رود. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۶(۱): ۱۹-۳۵.
5. Alkarkhi, A. F. M., A. Ahmad, N. Ismail, A. Easa and K. Omar. 2008. Assessment of Surface Water through Multivariate Analysis. *Journal Sustainable Development* 3(1): 27-33.
6. Bu, H. X. Tan, S. Li and Q. Zhang. 2010. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73(5): 907-913.
7. Chowdary, V. M., S. Yatindranath, S. Kar and S. Adiga. 2004. Modelling of Non-Point Source pollution in watershed using Remote Sensing and GIS. *Journal of Indian Society Remote Sensing* 32(1): 59-73.
8. Iscen, C. F., Q. Emiroglu, S. Ilhan, N. Arslan, V. Yilmaz and S. Ahiska. 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 144:269-276.
9. Pejman, A. H., G. R. Nabi Bidhendi, A. R. Karbassi, N. Mehrdadi and M. Esmaeili Bidhendi. 2009. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology* 6(3): 467-476.
10. Satheeshkumar, P. and B. A. Khan. 2011. Identification of mangrove water quality by multivariate statistical analysis methods in Pondicherry coast, India. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(6): 3761-3774.
11. Shrestha, S. and F. Kazama. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software* 22: 464-475.
12. Xiaoyan, W., W. Yixun, L. Tingfang, H. Wei, H. Qiuju and Z. Hongfen. 2002. Characteristics of Non-Point Source pollution in the watershed of Miyun reservoir, Beijing, China. *Chines Journal of Geochemistry* 21(1): 89-95.
13. Zare Garizi, A., V. Sheikh, A. Sadoddin and A. Salman Mahiny. 2011. Assessment of seasonal variations of chemical characteristics in surface water using multivariate statistical methods. *IJEST* 8(3): 581-592.
14. Zhao, Z. and F. Cui. 2009. Multivariate statistical analysis for the surface water quality of the Luan River, China. *Journal of Zhejiang University Science* 10(1):142-148.
15. Zhou, F., Y. Liu and H. Guo. 2007. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment* 132:1-13.