

## مدیریت بهتر بر محیط‌زیست حوضه بختگان با شناسایی عوامل مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی

زهرة صافی\*

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت، گروه مهندسی آب

(تاریخ دریافت: 1390/1/29؛ تاریخ تصویب: 1390/12/22)

### چکیده

افزون بر کم آبی که از مشکلات همیشگی 36 کشور جهان با جمعیتی بالغ بر 230 میلیون نفر به‌شمار می‌آید، خشکسالی نیز از جمله پدیده‌هایی است که هر چند سال یک‌بار به وقوع می‌پیوندد. این پدیده دارای آثار و پیامدهای متعدد و ناگواری است، که از جمله مهمترین آنها آثار محیط‌زیستی به‌شمار می‌آید، بدین معنی که با وقوع خشکسالی در یک منطقه، همه اکوسیستم اعم از طبیعی، یا انسانی در معرض تخریب و آلودگی قرار می‌گیرند. با توجه به موقعیت ایران که در کمربند خشک جهان قرار دارد، شناسایی این پدیده و عوامل تشدیدکننده آن می‌تواند ما را در کنترل و در نتیجه حفظ محیط‌زیست یاری کند. در تحقیق حاضر تجزیه و تحلیل منطقه‌ای شدت خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز دریاچه بختگان واقع در استان فارس در 20 ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. برای برآورد شدت خشکسالی هیدرولوژیکی، از نظریه ران استفاده شد و با استفاده از 14 متغیر حاصل از ویژگی‌های فیزیوگرافی، تجزیه و تحلیل عاملی صورت گرفت. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که 4 عامل مساحت، ارتفاع متوسط، ضریب فشردگی و نسبت طول به عرض، عوامل مؤثر در خشکسالی هیدرولوژیکی هستند که این 4 عامل، 89/82 درصد از تغییرات خشکسالی هیدرولوژیکی را توضیح می‌دهند.

**کلید واژه‌ها:** محیط‌زیست، خشکسالی هیدرولوژیکی، نظریه ران، تجزیه و تحلیل عاملی، حوضه آبریز دریاچه بختگان، فارس

## سرآغاز

اکسیژن محلول، گل آلودگی آب، افزایش غلظت آلاینده‌ها و کاهش خودپالایی رودخانه‌ها) 2. سطح آب پایین‌تر در مخازن، دریاچه‌ها و حوضچه‌های ذخیره آب 3. کاهش جریان آب رودخانه‌ها، به‌ویژه در تابستان 4. خسارت به تالاب‌ها و تأثیر روی مدخل رودخانه (تغییر در سطح شوری) 5. افزایش تخلیه آب زیرزمینی و نشست زمین و افزایش قدرت زلزله 6. افزایش خسارت به دستگاه‌های آب ساحلی (سلطانی، 1379).

خشکسالی‌های هیدرولوژیکی بر اثر طولانی‌تر شدن خشکسالی‌های هواشناسی پدید آمده و اغلب مصیبت بارتر بوده و خسارات جبران ناپذیری بر ابعاد مختلف محیط‌زیست و جوامع بشری تحمیل می‌کنند، ولی در سطح جهان کمتر به آن توجه شده است و در منابع موجود همچنین در ایران آثار کمتری در این زمینه به چشم می‌خورد (یاراحمدی، 1387).

اهمیت و تأثیر تغییرات اقلیمی بر کره زمین و زندگی انسان غیرقابل انکار است. از این رو در سراسر جهان محققان بسیاری به بررسی این موضوع و چالش‌های آن پرداخته‌اند. برای مثال می‌توان به پژوهش‌هایی که به شناسایی جنبه‌های مختلف خشکسالی هیدرولوژیکی، عوامل، چگونگی، آثار و مهم‌ترین شاخص‌های آن پرداخته‌اند، اشاره کرد:

در سال 1985، با استفاده از شاخص شدت خشکسالی پالم<sup>(4)</sup> به بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی پرداخته شد و بدین منظور وقوع شاخص فوق در هر یک از تقسیمات آب و هوایی نیوجرسی مقایسه شد و 3 شاخص (آب‌های زیرزمینی، PDSI و جریان رودخانه‌ای)، برای این مناطق ارزشیابی شد. نتایج نشان داد این شاخص‌ها می‌توانند خصوصیات متفاوت خشکسالی را نشان دهند (Alley, 1985).

در سال 1991، تجزیه و تحلیل حساسیت شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی پالم با میانگین و شرایط بارش بررسی و مشخص شد اثر ناهنجاری‌های درجه حرارت در مقایسه با ناهنجاری‌های بارش ناچیز است (Guttman, 1991).

در سال 1997، شدت خشکسالی با استفاده از مجموعه‌های هیدرولوژیکی مستقل و وابسته برآورد شد. تحقیق نشان داد شدت خشکسالی در دوره‌های بالاتر، بیشتر از دوره‌های پایین‌تر است (Sharma, 1997).

احتمال وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از مدل ساده آب و هوا در سال 2000 برآورد شد. روش جدیدی که در این

تغییر اقلیم که یکی از جلوه‌های آن خشکسالی است، در هر منطقه و کشوری، چه دارای آب و هوای خشک باشد، یا مرطوب اتفاق می‌افتاد و انحراف از شرایط متوسط، یا عادی در زمینه بارش و آب را بیان می‌کند. در حقیقت خشکسالی یک دوره خشکی است که برای مدت طولانی در منطقه دوام می‌یابد و سبب برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی می‌شود. از خصوصیات این پدیده می‌توان مدت، استمرار و شدت خشکسالی و همچنین وسعت منطقه تحت تأثیر خشکسالی را نام برد (کردوانی، 1380).

خشکسالی از دیدگاه‌های مختلف از جمله، خشکسالی هواشناسی<sup>(1)</sup> که مرتبط با دوره‌های بارندگی کمتر از نرمال، خشکسالی اکولوژی و اقلیم شناسی کشاورزی<sup>(2)</sup> مرتبط با آثار کم آبی بر رطوبت خاک و رشد گیاهان زراعی-باغی و خشکسالی هیدرولوژیکی<sup>(3)</sup> مرتبط با سال‌هایی با کمبود آب، بررسی می‌شود (علیزاده، 1383).

مواردی که در طول یک سال آبی (از مهر تا مهر سال دیگر) مقدار آبی که در یک رودخانه جریان می‌یابد، از مقدار متوسط آن در سال‌های گذشته کمتر باشد، خشکسالی هیدرولوژیکی رخ داده است و اگر از میانگین سال‌های گذشته بیشتر باشد، ترسالی هیدرولوژیکی اتفاق افتاده است (کردوانی، 1380).

خشکسالی هیدرولوژیکی باعث کاهش شدید میزان آب در رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها و افت سطح ایستابی، خشک شدن قنات‌ها و چشمه‌ها می‌شود. این رخدادها پیش از آن که پوشش گیاهی و زندگی انسان را تحت تأثیر قرار دهد، سبب محدود شدن شرایط زیستی و حتی مرگ و میر آبزیان می‌شود. آثار کاهش شدید میزان آب در این منابع، به‌ویژه با تخلیه انواع پساب‌های خانگی، کشاورزی و صنعتی تشدید می‌شود. با وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی، جریان آب به تالاب‌ها کاملاً قطع شده، به طوری که سطح تالاب کاملاً از نمک پوشیده و عاری از هرگونه نشانه‌های حیاتی می‌شود و ادامه این شرایط بدون شک فرایند بیابانی شدن را تسریع خواهد کرد (رشیدی، 1379).

از دیگر آثار خشکسالی هیدرولوژیکی بر محیط‌زیست می‌توان به این موارد اشاره کرد:

1. تغییر در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آب‌ها و در نتیجه اثر بر روی کیفیت آب (افزایش غلظت نمک، دما، PH،

که نتایج نیاز فوری به طرح مدیریت آب در حفظ منابع آبی را نشان داد (Shaban, 2009).

براساس تحقیقات یاد شده هدف از پژوهش حاضر به شرح زیر است:

1. تعیین حد آستانه خشکسالی، یا بحرانی<sup>(7)</sup>:

مشخص کردن حد آستانه خشکسالی یکی از راه‌های تعیین وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیکی است. مطابق این روش خشکسالی هیدرولوژیکی زمانی اتفاق می‌افتد که مقادیر دبی‌ها از سطح آستانه تعیین شده پایین‌تر قرار گرفته باشند.

2. تجزیه و تحلیل عاملی با استفاده از 14 متغیر حاصل از

ویژگی‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی.

3. تعیین عوامل مؤثر بر شدت خشکسالی هیدرولوژیکی.

### مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی این حوضه آبریز بین 51 درجه، 44 دقیقه تا 54 درجه، 30 دقیقه طول شرقی و 29 درجه، 7 دقیقه تا 31 درجه، 15 دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت آن 28234 کیلومتر مربع بوده و شامل دو رودخانه اصلی به نام‌های کر و سیوند و همچنین چندین شاخه فرعی است (اقبال‌منش و فرهادی، 1388).

تحقیق استفاده شده، قادر به ارزیابی خطر خشکسالی با رویدادهای آب و هوایی<sup>(5)</sup> به‌وسیله مدل‌سازی است (Anderson et al., 2000).

در سال 2004، شاخص مجموع خشکسالی<sup>(6)</sup> براساس نوسان‌های چرخه هیدرولوژیکی و سطح ذخیره آب بررسی شد. به

وسیله دو واقعه خشکسالی مهم در کالیفرنیا از نظر هواشناسی تفسیر شد. این روش به‌روشنی عملکرد شدت خشکسالی را نشان داد و توانست با توصیف خشکسالی به‌راحتی منطبق شود (Keyantash and Darcup, 2004).

در سال 2005، خشکسالی هیدرولوژیکی در سیستم آبرسانی مورد بررسی قرار گرفت و شناسایی خشکسالی تحت رواناب تنظیم شده بررسی شد که نتایج ارتباط معناداری با خشکسالی داشت (Feng et al., 2005).

تحقیقی در مورد پاسخ هیدرولوژیکی به خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص خشکسالی پالم در یونان در سال 2009 صورت گرفت. نتایج در شناسایی دوره‌های خشکسالی بسیار متغیر بودند. شاخص پالم در شناسایی خشکسالی وقایع تاریخی موفق، ولی در شناسایی مدت خشکسالی آنها نامناسب بود (Vasiliades and Loukas, 2009).

در همین سال، بررسی شاخص‌ها و جنبه‌های خشکسالی هیدرولوژیکی آب‌های سطحی و زیرسطحی در لبنان انجام شد



شکل (1): موقعیت حوضه بختگان در میان حوضه‌های استان فارس (نقشه از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس)

همان‌طور که دیده می‌شود برخی از حوضه‌ها چندین شهر، یا قسمتی از شهرهای مختلف را براساس موقعیت فیزیوگرافی منطقه در بر می‌گیرند.

شکل (1) موقعیت جغرافیایی حوضه بختگان در میان حوضه‌های دیگر استان فارس را نشان می‌دهد، همچنین نام حوضه‌ها در راهنمای نقشه به همراه نام برخی از شهرها ذکر شده است.

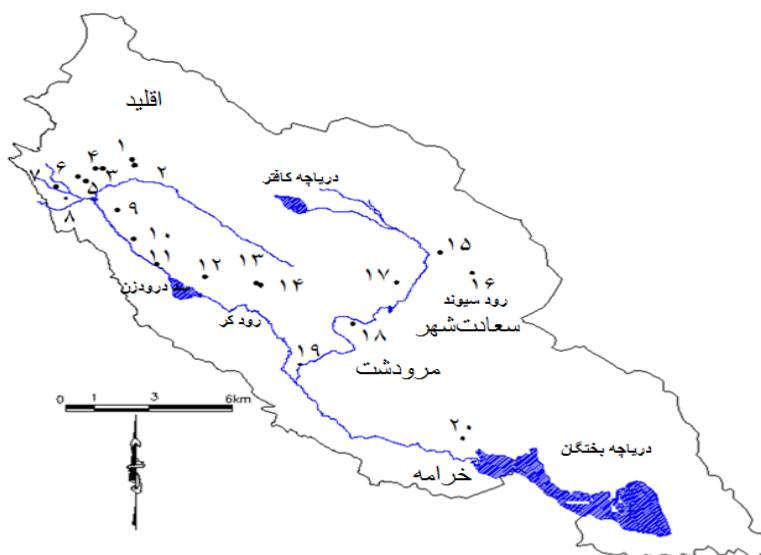
## روش پژوهش

برای کاهش اثرهای خشکسالی هیدرولوژیکی بر محیط‌زیست منطقه، شناخت خصوصیات متعدد خشکسالی نظیر زمان شروع، وسعت و شدت خشکسالی ضروری است. برای بررسی خشکسالی ممکن است از روش‌های تحلیل داده‌های بارندگی، تحلیل جریان، تحلیل سینوپتیکی استفاده شود (نصرتی و همکاران، 1382).

یکی از بهترین روش‌های پیش‌بینی خشکسالی، خشکسالی هیدرولوژیکی است و از روش‌های مرسوم و بسیار متداول تحلیل و بررسی کمی خشکسالی هیدرولوژیکی، روش رهیافت رواناب<sup>(8)</sup> است. رهیافت رواناب به طور وسیعی برای شناسایی و توصیف خشکسالی‌های هیدرولوژیکی چند ساله استفاده می‌شود. داده‌ها در این تحلیل باید ابتدا به نمره Z تبدیل و هم واحد و استاندارد شوند که به معنی توزیع داده‌ها حول میانگین آنهاست. در این صورت وزن اعداد با هر واحدی ثابت می‌شود و تأثیر اصلی و اساسی خود را در محاسبات خواهد داشت (سمیعی و تلوری، 1387).

برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیکی در این پژوهش در حوضه آبریز دریاچه بختگان، 20 ایستگاه هیدرومتری به شرح راهنمای شکل (2) انتخاب شدند؛ سپس با داشتن UTM ایستگاه‌های هیدرومتری، موقعیت آنها با استفاده از نرم‌افزار اتوکد در منطقه مشخص شد. در شکل (2) پراکندگی ایستگاه‌ها، به همراه دو رودخانه اصلی این حوضه (کر و سیوند) مشخص شده است. رودخانه کر (رودخانه غربی در شکل 2) رودخانه دائمی است که از شمال غربی استان فارس و بلندی‌های سلسله جبال زاگرس منشعب می‌شود و تا جنوب شرقی کشیده می‌شود. طول این رودخانه 280 کیلومتر است و به دریاچه بختگان می‌ریزد. سرشاخه اصلی این رودخانه به دریاچه سد درودزن می‌ریزد. رودخانه در محل پل خان با رودخانه سیوند یکی می‌شود، سپس به سمت بند تاریخی امیر جریان یافته و با گذشت از تعدادی بند به دریاچه بختگان منتهی می‌شود. رودخانه سیوند (رودخانه شرقی در شکل 2) به طول 170 کیلومتر از شمال غربی فارس سرچشمه می‌گیرد و در پل خان به رودخانه کر می‌ریزد (اقبال‌منش و فرهادی، 1388).

نماد	رودخانه	ایستگاه-شهر یا روستا
۱	گاودار	دهکده سفید-اسپاس
۲	سفید	دهکده سفید-احمدآباد
۳	دزدکر	تنگ براتی-کام فیروز
۴	کر	تنگ براتی-کام فیروز
۵	شورخارستان	جمال بیگ-حزکرد
۶	شوروشیرین	جمال بیگ-حزکرد
۷	چوبخانه	چوبخانه-کمه‌ر
۸	مارگان	مارگان-ساکان
۹	کر	چمبریز-چمبریز
۱۰	تنگ پستانک	منجان-مختصرآباد
۱۱	تنگ شول	بادامک-عیاس‌آباد
۱۲	کر	سد درودزن-درودزن
۱۳	مئین	ضرغام‌آباد-ضرغام‌آباد
۱۴	مئین	بیدکل-بیدکل
۱۵	سیوند	رحمت‌آباد-رحمت‌آباد
۱۶	سیمکان	دیدگان-دیدگان
۱۷	سیوند	تنگ پادلی-مادرسایمان
۱۸	سیوند	دشتیال-سعادت‌شهر
۱۹	کر	پل‌خان-مرو دشت
۲۰	کر	چغان‌آباد-خرامه



شکل (2): ایستگاه‌های هیدرومتری و دو رودخانه اصلی واقع در حوضه آبریز بختگان (نقشه از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس)

مناطق مهم مشخص شود). پس از مشخص شدن موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده به وسیله شکل (2) آمار 35 ساله دبی، متوسط ماهانه این ایستگاه‌ها از سال آبی 1352-1353 تا سال آبی 1385-1386 فراهم شد. خلاء آماری برخی از

در راهنمای شکل (2) نام رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری که بر روی آنها واقع شده است به همراه نام نزدیک‌ترین روستا به هر یک از ایستگاه‌ها ذکر شده است (در این شکل به دلیل کوچک بودن مقیاس نقشه، سعی شده است که نام رودخانه‌ها و

(Km)، طول حقیقی شاخه اصلی رودخانه (Km)، طول شاخه اصلی (Lc)، شیب خالص شاخه اصلی، ضریب شکل (FF)، ضریب فشردگی<sup>(12)</sup> و نسبت طول به عرض (nB)، برای تجزیه و تحلیل عاملی استفاده شدند.

تجزیه و تحلیل عاملی<sup>(13)</sup> تکنیک آماری است که بین مجموعه فراوانی از متغیرهایی که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. این تحلیل سعی در شناسایی متغیرهای مستقل به منظور تبیین الگوی همبستگی بین متغیرهای مشاهده شده را دارد. تحلیل عاملی به منظور کاهش داده‌ها<sup>(14)</sup>، شناسایی ساختار<sup>(15)</sup> و سنجش اعتبار یک مقیاس، یا شاخص استفاده می‌شود. مراحل تحلیل عاملی شامل تشکیل ماتریسی از ضرایب همبستگی، استخراج عامل‌ها از ماتریس همبستگی، چرخش عامل‌ها با ماتریس دورانی واریماکس<sup>(16)</sup> به منظور به حداکثر رساندن رابطه بین متغیرها به منظور تفسیر عامل‌ها، نام‌گذاری عامل‌هاست. در نهایت بر اساس ملاک کایزر<sup>(17)</sup> فقط عامل‌هایی در جدول مقادیر ویژه و درصد واریانس انتخاب می‌شوند که مجموع مجذور بارهای عاملی (مقدار ویژه) آنها بزرگتر، یا برابر یک باشند (نصرتی و همکاران، 1382).

در مراحل بعدی برای تشخیص مناسب بودن تحلیل عاملی برای 14 متغیر انتخابی و 20 ایستگاه مورد مطالعه، از دو آزمون KMO<sup>(18)</sup> و آزمون بارتلت<sup>(19)</sup> یا کرویت<sup>(20)</sup> استفاده شد. در این آزمون‌ها حداقل شرایط لازم که برای انجام دادن تحلیل عاملی باید وجود داشته باشد، بررسی می‌شود (George and Mallery, 1995).

### یافته‌ها

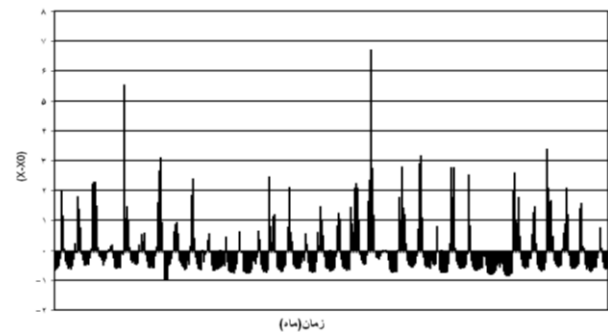
نتیجه آزمون کفایت داده‌ها در جدول (1) نشان می‌دهد که در کلیه ایستگاه‌ها ضریب هرست از 0/5 بیشتر است، بنابراین مجموعه زمانی دارای حافظه بلند مدت برای کلیه ایستگاه‌هاست. بنابراین در مجموعه زمانی متوسط دبی ماهانه نیازی به طویل کردن داده‌ها نیست.

حاصل شدن خط مستقیم از آزمون همگنی داده‌ها در شکل (4) گواه بر یکنواخت بودن داده‌ها بود.

مطابق جدول (2) مقدار آزمون KMO، 0/612 به دست آمد و به دلیل بیشتر بودن این مقدار از 0/5 کافی بودن 14 متغیر

ایستگاه‌های ذکر شده در برخی از فاصله‌های زمانی، با استفاده از ضریب همبستگی تکمیل شد.

با تکمیل آمارها برای تحلیل خشکسالی با نظریه ران، داده‌های دبی تمامی ایستگاه‌ها استاندارد شدند. برای نمونه، شکل (3)



شکل (3): نمودار مجموعه زمانی شاخص Z با روش RT در ایستگاه چمریز

تحلیل خشکسالی ایستگاه چمریز به روش رهیافت رواناب را نشان می‌دهد. قسمت‌هایی از این نمودار که در زیر محور افقی قرار دارند، نشان‌دهنده خشکسالی است (این روش برای تمامی ایستگاه‌ها انجام شد). در پژوهش حاضر  $X_0$ ، 75 درصد میانگین سالانه، مجموعه زمانی دبی (دبی متوسط ماهانه) در نظر گرفته شد. سپس برای هر ایستگاه مشخصه‌های خشکسالی شامل طول دوره خشکسالی، مقدار خشکسالی، شدت خشکسالی برآورد شد. برای بررسی همگنی و یکنواختی داده‌ها از معمولی‌ترین روش نموداری یعنی روش جرم مضاعف<sup>(9)</sup> استفاده و برای تشخیص کافی بودن طول دوره آماری برای تجزیه و تحلیل از ضریب هرست<sup>(10)</sup> استفاده شد (صفوی، 1388).

از آنجا که تجزیه و تحلیل خشکسالی در پروژه‌های تأمین آب از اهمیت زیادی برخوردار است، در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی هیدرولوژیکی، با برقراری ارتباط میان ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز و شاخص‌های جریان، می‌توان شدت خشکسالی را برآورد کرد.

عوامل مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>(11)</sup> به دست آمد.

در حوضه آبریز بختگان، 14 متغیر حاصل از ویژگی‌های فیزیوگرافی شامل مساحت ( $Km^2$ )، محیط ( $Km$ )، حداکثر ارتفاع (m)، ارتفاع متوسط (m)، ارتفاع میانه (m)، حداقل ارتفاع (m)، طول مستطیل معادل ( $Km$ )، عرض مستطیل معادل

0/730	تنگ بلاغی	سیوند
0/723	دیدگان	سیمکان

انتخابی نسبت به 20 ایستگاه تأیید شد، همچنین مقدار سطح معنی‌داری کمتر از 0/05، در آزمون بارتلت مناسب بودن تحلیل عاملی برای متغیرهای انتخابی را نشان داد.

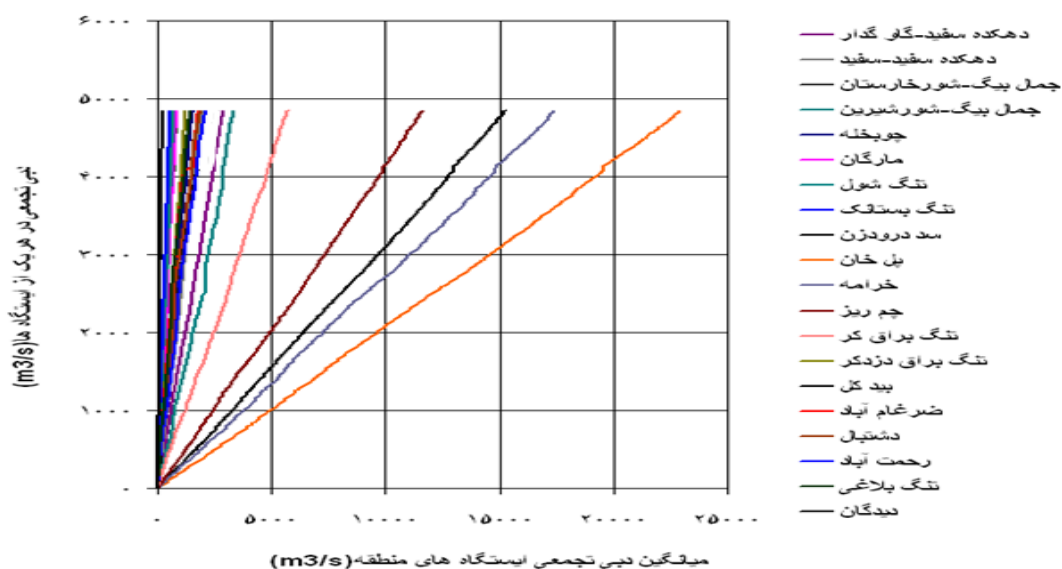
### جدول (2): آماره‌های تشخیص مناسب بودن تحلیل عاملی

ضرایب	آماره
0/612	آزمون KMO
774/772	کای مربع
136	درجه آزادی
0/0001	سطح معنی داری

### جدول (1): نتایج آزمون کفایت داده‌ها به روش هرست

ضریب هرست	ایستگاه	رودخانه
0/652	دهکده سفید	گاودار
0/744	دهکده سفید	سفید
0/650	جمال بیگ	شورخارستان
0/650	جمال بیگ	شوروشیرین
0/700	چوبخله	چوبخله
0/722	مارگان	مارگان
0/621	بادامک	تنگ شول
0/651	منجان	تنگ بستنک
0/636	سد درودزن	کر
0/636	پل خان	کر
0/637	جهان آبادخرامه	کر
0/637	چم ریز	کر
0/663	تنگ براق	کر
0/645	تنگ براق	دزدکر
0/606	بیدکل	مائین
0/605	ضرغام آباد	مائین
0/723	دشتبال	سیوند
0/727	رحمت آباد	سیوند

تجزیه و تحلیل عاملی، با ماتریس دورانی واریانس بر روی 14 متغیر انتخابی، منجر به شناسایی مؤلفه‌های مستقل شد. جدول (3) نشان می‌دهد، که اولین مؤلفه با مقدار 0/942 همبستگی بالایی با مساحت حوضه دارد. ارتفاع متوسط حوضه با داشتن مقدار همبستگی 0/973 دومین مؤلفه است و به همین ترتیب سومین مؤلفه با ضریب فشردگی و چهارمین مؤلفه با نسبت طول به عرض به ترتیب با مقدارهای همبستگی 0/933 و 0/928 تعیین شدند. بنابراین بر اساس این نتایج 4 عامل اصلی به ترتیب مساحت، ارتفاع متوسط، ضریب فشردگی و نسبت طول به عرض هستند.



## شکل (4): آزمون همگنی داده‌های دبی به روش جرم مضاعف

جدول (3): ماتریس دورانی واریانس

مؤلفه 4	مؤلفه 3	مؤلفه 2	مؤلفه 1	مشخصه‌ها
			0/942	مساحت
			0/937	طول شاخه اصلی (Lc)
0/398			0/858	عرض مستطیل معادل
0/453	0/350		0/786	طول شاخه اصلی رودخانه
0/438	0/370		0/783	محیط
			-0/773	شیب متوسط حوضه
0/441	0/391		0/770	طول مستطیل معادل
0/380	0/343		0/671	حداکثر ارتفاع
		0/973		ارتفاع متوسط
		0/948		ارتفاع میانه
		0/625		حداقل ارتفاع
	-0/938			نسبت دایره‌ای
	0/933			ضریب گراولیس
-0/504	-0/718			ضریب شکل
	-0/570	0/510	-0/492	شیب خالص شاخه اصلی
0/928				نسبت طول به عرض

89/82 درصد از تغییرات در خشکسالی هیدرولوژیکی را توضیح می‌دهند. واریانس مساحت با مقدار 57/391 بیشترین مقدار تغییرات را به خود اختصاص داده است، پس از آن مؤلفه‌های ارتفاع متوسط، ضریب فشردگی و نسبت طول به عرض به ترتیب دارای واریانس‌های 15/072، 10/136 و 7/225 هستند.

برای نشان دادن مقدار تغییرات حاصل از 4 مؤلفه اصلی بیان شده و مقادیر ویژه آنها از جدول (4) استفاده شد. در این جدول مقدار ویژه اولین مؤلفه 9/756 و مقدار ویژه سه مؤلفه اصلی دیگر به ترتیب 2/562، 1/723 و 1/228 است. همان طور که مشاهده می‌شود مقادیر ویژه از عامل اول به بعد کاهش می‌یابد. در مجموع عامل‌های اصلی شامل مساحت، ارتفاع متوسط حوضه، ضریب فشردگی و نسبت طول به عرض

جدول (4): مقادیر ویژه اولیه و درصد واریانس عوامل

مؤلفه	مقادیر ویژه اولیه		
	مقدار تجمعی واریانس	درصد واریانس	کل
مساحت	57/391	57/391	9/756
ارتفاع متوسط	72/463	15/072	2/562
ضریب فشردگی	82/599	10/136	1/723
نسبت طول به عرض	89/824	7/225	1/228

با رشد روز افزون جمعیت و افزایش نیازها، مسئله بحران آب و مدیریت آسیب‌های وارد شده به محیط‌زیست ایران بر اثر

بحث و نتیجه‌گیری

(1384) در استان فارس از 20 ایستگاه هیدرومتری 5 مشخصه مرفومتری و اقلیمی انتخاب و به کمک تحلیل عاملی مشخصه‌های مساحت و ارتفاع متوسط را به‌عنوان مشخصه‌های مهم شناسایی کردند. در پژوهش سمیعی و تلوری (1387)، استان تهران به 12 حوضه تقسیم شد. سپس با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی، عوامل مساحت، بارش متوسط سالانه، متوسط وزنی نفوذپذیری و شیب متوسط حوضه به‌عنوان عوامل مستقل شناسایی شدند که این عوامل 99/36 درصد از تغییرات در داده‌های اصلی را توضیح دادند.

در اسکاتلند در 168 حوضه با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی، متغیرهای مساحت حوضه، تراکم آبراهه، شاخص بارندگی، طول آبراهه اصلی، شیب حوضه و عامل کمبود رطوبت خاک به‌عنوان مشخصه‌های مهم تعیین شدند (Acreman and Sinclair, 1986). در ایالت ماساچوست 23 ایستگاه بررسی شد و عوامل مساحت حوضه، شیب متوسط حوضه و جریان ثابت بازگشت پایه به‌عنوان عوامل مؤثر شناسایی شدند (Vogel and Kroll, 1992). در مناطق مرطوب پورتوریکو در 19 ایستگاه هیدرومتری با استفاده از تحلیل عاملی، ویژگی‌های مساحت، شیب متوسط حوضه و نسبت طول انشعاب به طول آبراهه اصلی به‌عنوان عوامل مستقل تعیین شدند (Martino et al., 1996). در مقایسه با تحقیقات پیشین مساحت عامل مشترک به‌دست آمده از تحلیل عاملی است که با افزایش این عامل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی نیز افزایش می‌یابد و آن را با دقت قابل قبولی برآورد می‌کند.

نتایج تجزیه و تحلیل خشکسالی با استفاده از روش سطح آستانه نیز نشان داد که اقدامات حفاظت آب باید به تدریج از شدت کمتر تا سطح بالاتر صورت گیرد، به بیان دیگر اقدامات مدیریت آب می‌تواند از سطح پایین‌تر شدت خشکسالی شروع شود و زمان کافی را برای کنترل و تنظیم آب در اختیار قرار دهد.

نتیجه به‌دست آمده از این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آبی برای کنترل تغییرات مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی مورد توجه قرار گیرد، به گونه‌ای که برای مدیریت و کنترل خشکسالی‌های این حوضه باید میزان تأثیر عوامل ذکر شده در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال برای به‌دست آوردن نتیجه بهتر از پروژه‌های تغذیه مصنوعی برای افزایش سطح سفره‌های آب زیرزمینی به‌منظور مهار کردن اثر خشکسالی بر روی فعالیت‌های

خشکسالی‌های هیدرولوژیکی قابل چشم‌پوشی نیست. با شناسایی شاخص‌های خشکسالی که در واقع بیان‌کننده حدود طبیعی رخدادهای خشکسالی هستند امکان ارزیابی خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی فراهم می‌شود. در همین راستا در حوضه دریاچه بختگان استان فارس با 14 متغیر حاصل از ویژگی‌های فیزیوگرافی و زمین‌شناسی تجزیه و تحلیل عاملی برای محدود کردن و شناسایی تعداد متغیرهایی که حداقل همبستگی را با یکدیگر دارند و مستقل هستند، صورت گرفت.

برای تعیین مناسب بودن تجزیه و تحلیل عاملی از دو آزمون KMO و بارتلت استفاده شد. مقدار آزمون KMO برابر 0/612 از 20 ایستگاه و مقدار سطح معنی‌داری کمتر از 0/05 در آزمون بارتلت مناسب بودن تحلیل عاملی برای متغیرهای انتخابی را نشان داد. سپس با ماتریس دورانی واریانس متغیرهای اصلی این پژوهش تعیین و 4 عامل مساحت، ارتفاع متوسط، ضریب فشردگی و نسبت طول به عرض، به ترتیب به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی مشخص شدند که این عامل‌ها 89/82 درصد از تغییرات مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی را توضیح دادند.

روند تحلیل صورت گرفته در این پژوهش مانند دیگر پژوهش‌هایی است که با شناسایی شاخص‌های مؤثر در حوضه‌های آبخیز سعی در مهار آسیب‌های وارد شده بر محیط‌زیست و مدیریت هر چه بهتر بر آن را داشته‌اند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به تلاش‌های صورت گرفته توسط محققان زیر اشاره کرد.

نصرتی و همکاران (1382)، در حوضه رودخانه اترک 4 عامل مساحت، بارش سالانه، درصد سازند نفوذپذیر و شیب متوسط حوضه را به‌عنوان عوامل مهم برگزیدند. مقدار KMO برآوردی آنها نیز 0/781 بود که از 16 ایستگاه و 11 متغیر اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و آبشناسی حاصل شد. موسوی و داودی‌راد (1378)، در حوضه آبخیز دریاچه نمک ایران، مهم‌ترین عوامل انتخابی را به ترتیب اهمیت مساحت، ارتفاع حداقل، درصد سازندهای نفوذپذیر، تراکم آبراهه، ضریب شکل و فشردگی معرفی کردند. در البرز شمالی 40 حوضه آبخیز توسط غیائی و همکاران (1383)، انتخاب و مشخصه‌های ژئومورفولوژی استخراج شدند. در مشخصه‌های انتخاب شده، مساحت، ارتفاع متوسط، شیب رودخانه، درصد پوشش جنگل، تراکم زهکشی و بارش متوسط سالانه نقش تعیین‌کننده داشت و متغیر مساحت عامل اصلی شناخته شد. سهیلی و وفاخواه



از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس و جهاد کشاورزی شیراز و همه کسانی که در این تحقیق مرا یاری کردند تشکر می‌کنم و آرزوی سرافرازی و بهروزی برای آنها را دارم.

### یادداشت‌ها

1. Meteorological Drought
2. Agricultural Drought
3. Hydrological Drought
4. Palmer Drought Severity Index: PDSI
5. Hydro Climatic
6. Aggregate Drought Index: ADI
7. Truncation Level or Critical Level
8. Run Approach
9. Double Mass
10. Hurst Coefficient
11. Geography Information System: GIS
12. Compactness
13. Factor Analysis
14. Data Reduction
15. Structure Detection
16. Varimax Rotation
17. Kaiser
18. Kaiser- Meyer- Olkin
19. Bartlett
20. Sphericity

کشاورزی و محیط‌زیست، اجرای آن در محدوده‌های کم وسعت‌تر لازم به نظر می‌رسد تا در این راستا به نتایج مطلوب‌تری رسید. از مزایای انجام این تحقیق استفاده از GIS برای برآورد دقیق مشخصه‌های مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی بود. در انتها می‌توان گفت خشکسالی یکی از ویژگی‌های طبیعی سرزمین‌های خشک است، نه بلای آن، که می‌تواند به فرصت تبدیل شود، اگر همواره به یاد داشته باشیم که در سرزمینی خشک و کم آب زندگی می‌کنیم و برای غلبه بر خشکسالی باید به پیشگیری که همان شناسایی عوامل تشدیدکننده این پدیده است اهمیت داد.

در پایان برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر بررسی حساسیت تحلیل ایستگاهی و منطقه‌ای، به عنوان قسمتی از تحقیق و استفاده از سایر ویژگی‌های مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیکی مانند درصد پوشش گیاهی، یا شاخص‌های مربوط به خاک‌شناسی و کاربری اراضی پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

سپاس پروردگار یکتا را که به یاری او این پژوهش به پایان رسید.

### فهرست منابع

- اقبال‌منش، ج. و فرهادی، ا. 1388. تعیین ارزیابی روابط سیل و احتمال وقوع در حوضه بختگان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.
- رشیدی، م. 1379. بررسی و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در منطقه کرمان، خلاصه مقالات، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، 9-10 اسفند 1379، دانشگاه باهنر کرمان.
- سلطانی، م. 1379. خشکسالی و برخی اثرات زیست‌محیطی آن با اشاره‌هایی به وضعیت این پدیده در استان اصفهان، خلاصه مقالات، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم‌آبی و خشکسالی، 9-10 اسفند 1379، دانشگاه باهنر کرمان.
- سمیعی، م. و تلوری، ع. 1387. بررسی شدت و تداوم خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه‌های آبخیز استان تهران، مجله پژوهش و سازندگی، شماره 2: 21-27.
- سهیلی، ا. و وفاخواه، م. 1384. بررسی کارایی روش همگن‌سازی غیرعددی (منحنی‌های اندرو) در برآورد سیل، مجله پژوهش و سازندگی، شماره 3: 73-81.
- صفوی، ح. 1388. هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ویرایش دوم.
- علیزاده، ا. 1383. اصول هیدرولوژی کاربردی، نشر دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، چاپ هفدهم.

غیائی، ن.؛ عرب‌خدری، م. و غفاری، ع. 1383. بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های هندسی آبخیزها بر سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت‌های مختلف، مجله پژوهش و سازندگی، شماره 1: 2-10.

کردوانی، پ. 1380. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

موسوی، ع. و داودی‌راد، ع. 1378. شناخت عوامل مؤثر در خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی (منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز دریاچه نمک)، خلاصه مقالات، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، 13-14 آبان 1378، سازمان هواشناسی کشور، تهران: 27-39.

نصرتی، ک.؛ محسنی‌ساروی، م.؛ اسلامیان، س.؛ شریفی، ف. و مهدوی، م. 1382. شناخت مناطق همگن در بررسی خشکسالی آبخیز با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره در مناطق خشک و نیمه‌خشک، خلاصه مقالات، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس تغییر اقلیم، 29 مهر الی 1 آبان 1382، دانشگاه اصفهان: 303-308.

یاراحمدی، ج. 1387. تحلیل خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز آجی‌چای، خلاصه مقالات، سومین کنفرانس منابع آب ایران، 23-25 مهر 1387، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز: 203-210.

Acreman, M. C. & Sinclair, C. D. 1986. Classification of drainage basins according to their physical ding to their physical characteristic: An application for flood frequency analysis in Scotland. *Journal of Hydrology*. 84:365- 380.

Alley, W. M. 1985. Palmer drought severity index as a measure of hydrologic drought. *Journal of Water Resources Bulletin*. 21(1): 105-114.

Anderson, M. L.; Levent Kavvas, M. & Mierzwa, M. D. 2000. Assessing hydrologic drought risk using simplified climate model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(4): 393- 401.

Feng, P.; Han, S. & Li. S. 2005. Method of distinguishing hydrologic drought for water supply system. *Journal of Transactions of Tianjin University*. 11(5): 371- 375.

George, D. & Mallery, P. 1995. *SPSS/PCT step by step: A simple guide and reference*. Wadsworth pub. New York.

Guttman, N. B. 1991. Sensitivity analysis of the Palmer hydrologic drought index. *Journal of Water Resources Bulletin*. 27(5): 797- 807.

Keyantash, J. A. & Dracup, J. A. 2004. An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Journal of Water Resources Research*. 40(9): 401- 413.

Martino, G. A. R.; Scantena, F. N.; Warner, G. S. & Civco, D. L. 1996. Statistical low flow estimation using GIS analysis in humid mountain regions in Puerto Rico. *Journal of Water Resource Bultain*. 32(6): 59- 71.

Shaban, A. 2009. Indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. *Journal of Water Resources Management*. 23(10): 1875- 1891.

Sharma, T. C. 1997. Estimation of drought severity on independent and dependent hydrologic series. *Journal of Water Resources Management*. 11(1): 35- 49.

Vasiliades, L. & Loukas, A. 2009. Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly (Greece). *Journal of Desalination*. 237(3): 3- 21.

Vogel, R. M. & Kroll, C. N. 1992. Regional hydrologic geomorphic relationships for the estimation of low flow statistics. *Journal of Water Resources Research*. 24: 51- 58.