

## بررسی و تعیین شاخصهای هیدرولوژی به کمک حوضه‌های آبخیز مشابه (مطالعه موردی حوضه آبخیز دریاچه نمک ایران)

غلامرضا زهتابیان و علی اکبر موسوی

دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و کارشناس ارشد آبخیزداری

تاریخ وصول مقاله سیزدهم، شهریور ماه ۱۳۷۹

### چکیده

یکی از مشکلات عمده در مطالعات هیدرولوژی دوره‌های کم‌آبی و پرآبی عدم وجود یا ناقص بودن آمار هیدرومتری می‌باشد که این نقیصه به دلایل مختلف بالا بودن هزینه ایجاد ایستگاههای هیدرومتری، مشکل نگهداری ایستگاهها و همچنین عدم دسترسی به همه حوضه‌های آبخیز می‌باشد. در این تحقیق پس از بررسی ایستگاههای هیدرومتری موجود در دریاچه نمک تعداد ۱۹ ایستگاه که دارای بهترین آمار از نظر طول دوره آمار و سایر موارد بودند اثر انتخاب شد و جریانهای حداقل (جریانهای کمینه) ۷ روزه و ۹۰٪ Q و دبی‌های حداکثر آنها استخراج شد و سپس بازسازی و تطویل آمار با استفاده از برنامه کامپیوتری HYFA مقادیر فوق در دوره برگشتهای ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله تعیین گردید. جهت تعیین حوضه‌های آبخیز مشابه و گروههای همگن ۱۴ پارامتر مورفومتری، اقلیمی ژئومورفولوژی و زمین شناسی از حوضه‌های آبخیز منتخب استخراج شد و به کمک تجزیه به عاملها پارامترهای مهم و مستقل انتخاب شدند. آنگاه به کمک فاکتورهای انتخاب شده از دو روش همگن‌سازی عددی و غیر عددی (مانند آنالیز خوشه‌ای) و غیر عددی (مانند منحنی‌های آندرو) حوضه‌های آبخیز مشابه تعیین شده و سپس جریانهای حداقل و حداکثر هر ایستگاه از طریق نسبت مساحت بین حوضه‌های آبخیز مشابه برآورد گردید و در انتها به بحث در مورد کارایی روشهای گرافیکی و عددی در تعیین مناطق همگن و همچنین کارایی روش انتقال شاخصها در برآورد جریانهای حداقل و حداکثر پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژی، آنالیز خوشه‌ای، دریاچه نمک ایران، جریانهای حداقل و حداکثر در مناطق خشک.

### مقدمه

خشکسالی و سیل دو حادثه استثنایی و تأسف‌باری است که همواره جوامع انسانی، گیاهی و بطور کلی اکولوژیک محیط را دستخوش تغییرات شگرف قرار می‌دهد (۵، ۷،

۸ و ۱۰).

این وقایع، یعنی خشکسالی و سیل در مطالعات هیدرولوژی و طراحی سازه‌های آبی مانند، بند انحرافی، کانالها، پل‌ها، سدها و ... باید مطالعه شوند، اما از مشکلات اساسی در تعیین این وقایع در حوضه‌های آبخیز

مناطق کویری محدود می‌گردد. وسعت منطقه مورد مطالعه حدود ۹۲۵۵۰ کیلومتر مربع برآورد می‌شود. آب و هوای آن در بخش مرکزی خشک و میزان بارندگی آن حدود ۱۳۰ میلی‌متر در سال در حالیکه نواحی مرتفع آن (مانند تهران، گلپایگان و همدان) دارای آب و هوای معتدل با تابستانهای نسبتاً گرم می‌باشد. بارندگی متوسط سالیانه در نواحی اخیر حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. حوزه آبخیز دریاچه نمک به چند زیر حوزه اصلی مانند حوزه آبخیز شور، جاجرود، قم، قره‌چای و کرج تقسیم می‌شود شکل (۱).

## مواد و روشها

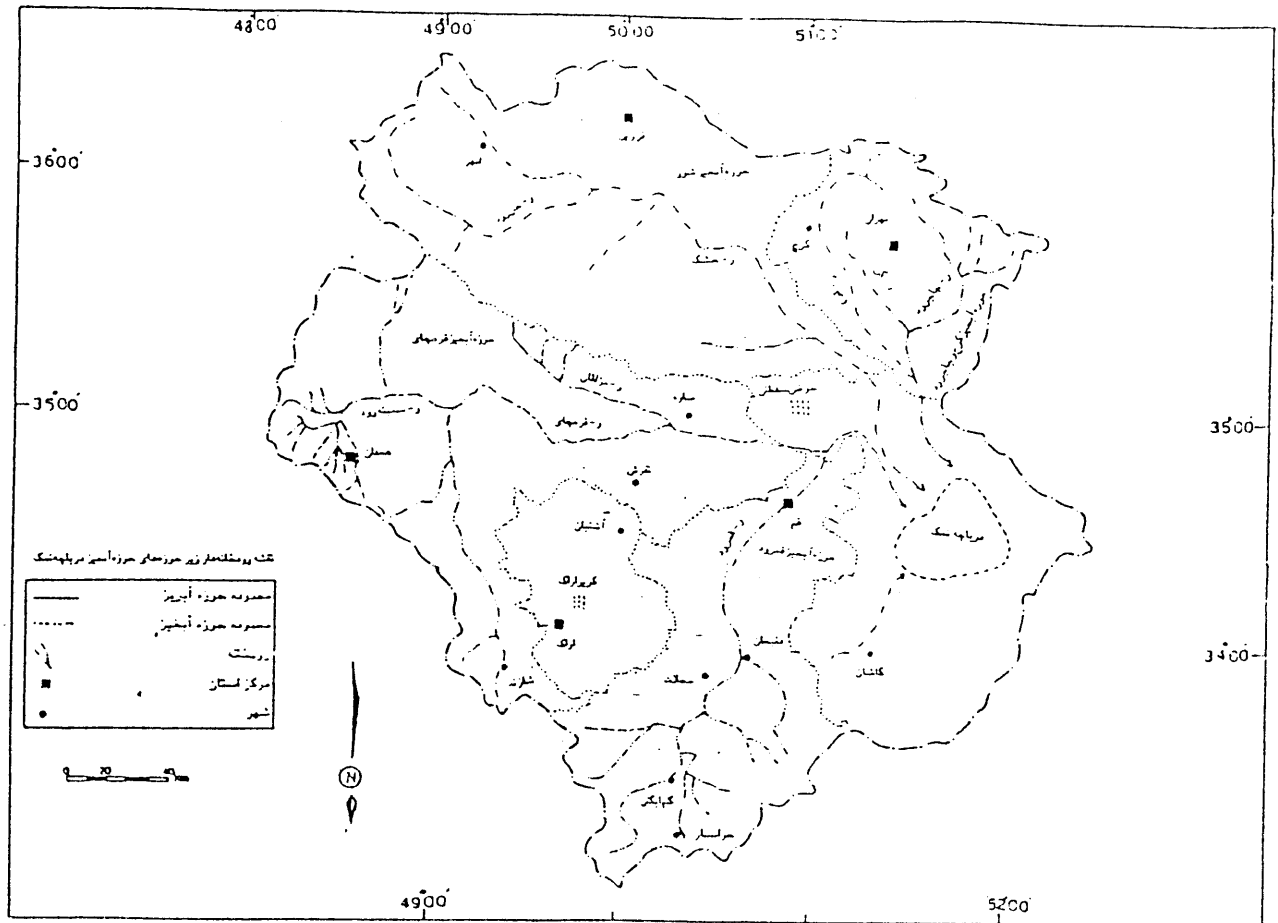
### الف - انتخاب ایستگاهها

در حوزه آبخیز دریاچه نمک ۱۲۰ ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که به منظور اندازه‌گیری دبی آب، کیفیت، آب و مواد رسوبی معلق در منطقه تأسیس شده‌اند. جهت انتخاب ایستگاههای مناسب، برای این تحقیق، ابتدا ایستگاههای مناسب با توجه به اینکه (۱) ایستگاه مورد نظر در مناطق دشتی واقع نشده باشد و نزدیک کوهستان باشد. (۲) در بالادست ایستگاه زمین زراعی کمتر باشد. (۳) بند یا سد انحرافی یا هرگونه سازه ذخیره‌ای دیگر در مسیر جریان نباشد. (۴) دارای دوره آماري مناسب (بیش از ۱۰ سال) باشد انتخاب شدند (۱۴، ۱۵، ۱۷ و ۱۸).

ایران و جهان فقدان آمار و اطلاعات هیدرومتری می‌باشد (۱۱ و ۹). این فقدان آمار را دلایل مختلفی از جمله عدم دسترسی به همه حوزه‌های آبخیز، بالا بودن هزینه ایجاد و نگهداری ایستگاهها و ... بوجود آورده است. بعلت ضرورت برآورد دقیق دبی حداکثر سیلاب جهت پیشگیری از تخریب سازه‌ها و یا غیر اقتصادی بودن طرح و همچنین برآورد جریانهای حداقل جهت مدیریت سدها و همچنین کیفیت آبهای جاری که در دوره‌های کم‌آبی مشهودتر می‌باشد، روشهای مختلفی از جمله روشهای تجربی و روشهای مبتنی بر آمار هیدرومتری مانند روش شاخص سیلاب، روش هیبرید، روش همبستگی چند متغیره، روش شبکه‌های مربعی و غیره استفاده می‌شود. در این مقاله جهت برآورد مقادیر فوق از تئوری تشابه هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز استفاده شده است (۶، ۱۲، ۱۶ و ۱۳).

### ویژگیهای منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه نمک یکی از زیر حوضه‌های کویر مرکزی ایران می‌باشد. این حوزه در طول جغرافیایی ۰۰' و ۴۸' تا ۰۰' و ۵۳' شرقی و عرض جغرافیایی ۰۰' و ۳۲' تا ۰۰' و ۳۷' شمالی واقع شده است. بخش شمالی حوضه بوسیله البرز و کوههای رودبار و بخش شمال غرب و غرب آن با انشعابات زاگرس و زاگرس اصلی، بخش جنوبی با کوههای کرکس و شرق حوضه به



شکل ۱ - موقعیت حوزه آبخیز دریاچه نمک و زیر حوضه های اصلی آن

شده را اکثراً ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه در نظر می‌گیرند. البته ممکن است بصورت سایر دوره‌های زمانی ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد بعنوان مقادیر پتانسیل جریان‌های کمینه رودخانه‌ای بکار رود. در این مطالعه جریان‌های حداقل در دوره زمانی ۷ روزه و ۹۰٪ Q (مقدار دبی است که ۹۰ درصد سال دبی بیش از این مقدار باشد) از میان دیگر دوره‌های زمانی جریان‌های حداقل انتخاب شدند و در تمام حوزه‌های آبخیز برای هر سال مقادیر آنها تعیین شد. همچنین برای تعیین دبی‌های حداکثر در هر یک از ایستگاهها در سالهای متفاوت، حداکثر مطلق ارائه

ب - تعیین جریانهای حداقل و دبی‌های حداکثر در ایستگاههای منتخب در کل مطالعات خشکسالی هیدرولوژیک (جریانهای کمینه) بر روی جریان‌های حداقل متمرکز می‌شود و مهمترین تحلیل‌ها در این رابطه تحلیل طول دوره‌ای است که جریان زیر یک سطح مشخص باقی مانده و حجم کمتری رواناب زیر آستانه را ایجاد کرده باشد. آمار مورد استفاده جهت مطالعه جریان کمینه معمولاً در طول یک دوره زمانی (مدت جریان) یک فصل یا سال در نظر گرفته می‌شود. دوره زمانی تعیین

مناسبی از نظر آماری باشند (به عبارتی از توزیع نرمال تبعیت کنند) عملیات تبدیل (Transformation) صورت گرفت، عملیات تبدیل در اینجا لگاریتمی کردن متغیرها می باشد. ضمناً از آن جایی که متغیرهای انتخاب شده دارای مقیاس های متفاوت هستند لذا برای یک مقیاس کردن از روش استاندارد کردن (Standardization) صورت زیر استفاده شد که در آن هدف داشتن متغیرهایی با میانگین صفر و انحراف معیار  $\pm 1$  است.

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

در اینجا  $x$  برابر مقدار عددی هر متغیر،  $\bar{x}$  مقدار میانگین متغیر مربوط،  $s$  برابر انحراف معیار و  $Z$  برابر مقدار استاندارد شده می باشد.

د - انتخاب متغیرهای اصلی

از آنجایی که تعداد ۱۴ متغیر در هر یک از زیر حوضه ها استخراج شده، لازم است که تعداد آنها محدود شود و متغیرهای مستقل که کمترین همبستگی داخلی را با هم دارند انتخاب شوند. روشهای مختلفی برای این کار وجود دارد که در این مقاله از روش تجزیه و تحلیل عاملی (factor analysis) استفاده شده است. تجزیه و تحلیل عاملی برای ۱۹ زیر حوضه و ۱۴ متغیر اندازه گیری شده بکار برده شد. این تجزیه و تحلیل شامل ۲۶۶ مشاهده منفرد می باشد. در طی تجزیه و تحلیل عاملی مشخص شد که اطلاعات با اختصاص دادن حول

شده برای آن ایستگاه در هر سال در نظر گرفته می شود. سپس با استفاده از برنامه کامپیوتری HYFA مناسبترین توزیع آماری منطقه ای بر جریانهای حداقل و دبی های حداکثر به دست آمد که مناسبترین توزیع منطقه ای برای جریانهای حداقل توزیع گامای ۲ پارامتری و برای دبی های حداکثر توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری می باشد. در انتها با استفاده از توزیع ها آماری مناسب مقادیر فوق در دوره برگشتهای مختلف تعیین شده که در جدول شماره (۱) خلاصه گردیده است.

ج - انتخاب داده ها جهت تعیین مناطق و حوزه های آبخیز مشابه

پس از انتخاب زیرحوضه ها، ۱۴ ویژگی مورفولوژی، اقلیمی و زمین شناسی در کلیه زیر حوضه ها تعیین شدند.

۱ - ویژگیهای مورفولوژی: مساحت (A)، محیط

(P)، شیب متوسط حوضه (SW)، ارتفاع حداقل

(Himn)، ارتفاع حداکثر (Hmax)، ارتفاع متوسط (Hm)،

طول آبراهه اصلی (Li)، تراکم آبراهه (Dd) شیب متوسط

آبراهه اصلی (Ssw)، ضریب شکل حوضه آبخیز (Cc).

۲ - ویژگیهای اقلیمی: بارندگی متوسط سالانه

(Pm)، دمای متوسط سالانه (Tma)، متوسط حداکثر

بارندگی ۲۴ ساعته (دوره برگشت ۲ سال) (P24y2).

۳ - ویژگیهای زمین شناسی: درصد سازندهای

نفوذپذیر (PPf).

به لحاظ اینکه داده ها مورد نظر دارای پراکندگی



عددی (Numerical) باشد و تعداد کلاسهای آن مشخص نباشد. اگر حوضه‌های آبخیز دارای خواص اندازه‌گیری شده بسیار، مشابهی باشند نتیجتاً در فضای  $n$  بسیار نزدیک به یکدیگر قرار می‌گیرند.

مشابهت‌های این حوضه‌ها به کمک اندازه‌گیری فاصله بین آنها بررسی می‌گردد و این موضوع مقدار مشخصی را فراهم می‌آورد تحت عنوان ضریب تشابه یا عدم تشابه که به فاصله اقلیدسی (Euclidean distance) معروف می‌باشد و به کمک آن می‌توان شباهت دو حوضه را محاسبه نمود و از رابطه آماری زیر بدست می‌آید.

$$dij = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

که در آن  $dij$  ضریب تشابه دو حوضه،  $x_{ik}$  مقدار متغیر  $x_k$  برای فرد  $i$  و  $x_{jk}$  مقدار همان متغیر برای فرد  $j$  می‌باشد. وقتی دو حوضه نزدیک به هم باشند یک وابستگی خوشه‌ای را تشکیل می‌دهند و نقطه بین آنها مرکز ثقل این وابستگی خوشه‌ای می‌باشد. سایر وابستگی‌های خوشه‌ای به طریق مشابه تشکیل می‌گردند و آخرین آنها که احتمالاً در پایین‌ترین سطح تشابه قرار دارد با گروه منفردی ترکیب می‌شود. این فرایند تا زمانی که تمام نقاط را شامل شود تکرار می‌گردد تشابه فوق را می‌توان به صورت یک نمودار چند شاخه‌ای ارائه نمود به این

سه محور می‌توانند خلاصه شوند. دلیل بر سه محور، بالابودن ریشه پنهان ماتریس همبستگی بیش از یک است و تمام موارد فوق ۸۰/۲۹ درصد از تغییر داده‌های اصلی را توضیح می‌دهند ولی از سه فاکتور بعدی که دارای ریشه پنهان ماتریس همبستگی کمتر از یک نیز بودند ولی ۱۴/۵۳ درصد از تغییرات را توضیح می‌دهند نیز در تجزیه و تحلیل‌های بعدی استفاده شد. در این مطالعه متغیرهای مساحت، بارندگی متوسط سالانه، ارتفاع حداقل، ضریب شکل گراویلوس، درصد سازندهای نفوذپذیر و تراکم آبراهه به ترتیب فاکتورهای مهم تشخیص داده شد.

#### ه - تعیین حوزه‌های آبخیز مشابه

چندین روش برای تعیین حوزه‌های آبخیز مشابه وجود دارد که می‌توان آنها را به دو روش عددی مانند آنالیز خوشه‌ای و روش‌های گرافیکی مانند منحنی‌های آندرو، تصاویر چرنف و تصاویر ستاره‌ای تقسیم‌بندی کرد، که در این مقاله از روش منحنی‌های آندرو و آنالیز خوشه‌ای استفاده شده است.

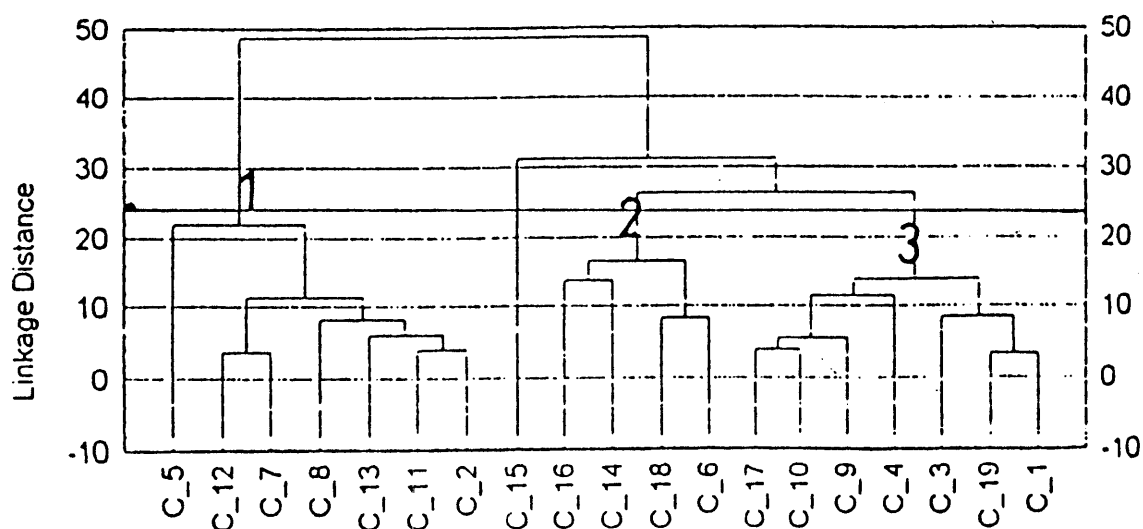
#### ۱ - روش عددی (تجزیه و تحلیل خوشه‌ای)

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای حل مسأله‌ای طرح شده است که در آن با در دست داشتن نمونه‌ای از  $n$  فرد و اندازه‌گیری  $P$  متغیر بر روی هر فرد، می‌توان افراد را در کلاس‌هایی گروه‌بندی نمود که افراد مشابه در داخل یک کلاس قرار گیرند. این روش باید کاملاً

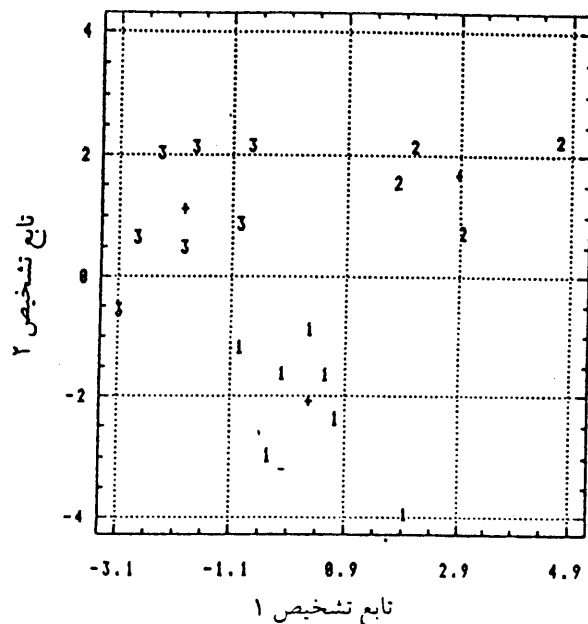
و صحت مناطق همگن را مورد بررسی قرار می‌دهد. نقطه شروع تجزیه و تحلیل متمایزکننده عبارت از طرح طبقه‌بندی تهیه شده توسط تجزیه و تحلیل خوشه‌ای می‌باشد. با استفاده از محورهای متمایزکننده براحتی می‌توان صحت مناطق را مورد ارزیابی قرار داد. هر یک از گروههای خوشه‌ای (۱، ۲، ۳) دارای یک مرکز ثقل هستند. موقعیت مرکز ثقل در فضای  $n$  بعدی تجزیه تحلیل‌های عاملی برابر مقدار متوسط نمره (یا وزن) هر حوزه در گروه خوشه‌ای روی هر عامل می‌باشد. مقادیر این مرکز ثقل برای تعیین تفاوت معنی‌دار موجود بین گروهها بکار برده می‌شود. به کارگیری تجزیه و تحلیل متمایزکننده در مورد منطقه مورد مطالعه دال بر تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد بین سه گروه متمایز شده در آنالیز خوشه‌ای می‌باشد. تجزیه و تحلیل فوق توسط

ترتیب تجزیه و بیان می‌کند. متداولترین روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای روش طبقاتی (Hierarchical) می‌باشد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای با ارائه نمودار چند شاخه‌ای برای ۱۹ زیر حوزه از حوزه آبخیز دریاچه نمک و براساس شش متغیر ذکر شده در بخشهای قبلی انجام شده است (شکل شماره ۲) که اگر مقدار محدودکننده ۲۴ به فاصله اتصال یا ضریب تعیین‌کننده تشابه اختصاص داده شود، سه گروه جداگانه از حوزه‌ها پدید می‌آید.

همچنین صحت تفکیک سه گروه به کمک تجزیه و تحلیل متمایزکننده امتحان شده است. به این ترتیب تجزیه و تحلیل متمایزکننده که (Discriminant analysis) روشی است شبیه به آزمون  $t$  که به بررسی تفاوت بین گروهها و یا مناطق جدا شده در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای می‌پردازد



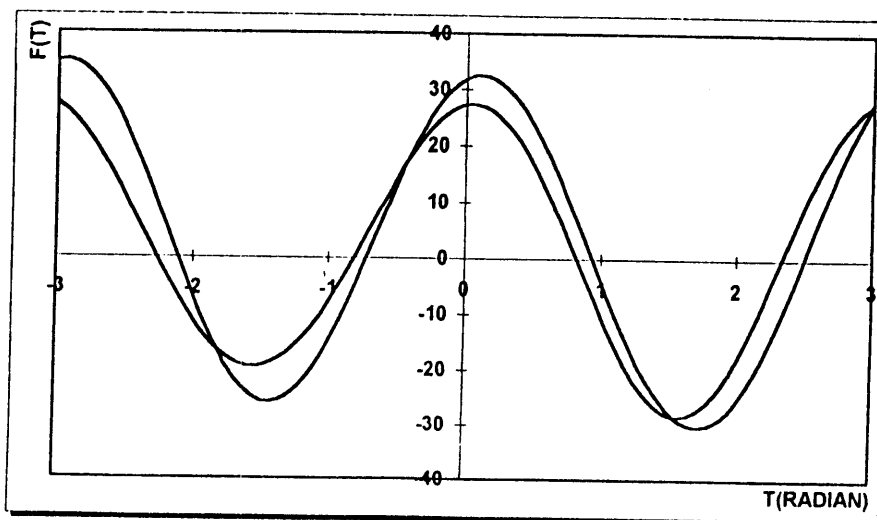
شکل ۲ - دیاگرام خوشه‌ای یا درختی برای ۱۹ زیر حوزه آبخیز دریاچه نمک



شکل ۳- تجزیه و تحلیل متمایز کننده در تفکیک گروههای اصلی  
زیر حوزه آبخیز دریاچه نمک

- محورهای متمایز کننده که نسبت به هم عمود هستند - نمودار آندرو صورت می‌گیرد (شکل شماره ۳).
- ۲- روش غیر عددی (گرافیکی) مشاهدهات P بعدی می‌توانند در دو بعد نمایش داده شوند و سپس تشخیص گروهها و افراد همگن و مشابه را از طریق چشم انجام داد. چندین طریق گرافیکی تبدیل مشاهدهات P بعدی در ۲ بعد وجود دارد. مانند روش تصاویر چرنف ستاره‌ها و منحنی‌های آندرو که ما در این مطالعه از منحنی‌های آندرو استفاده کرده‌ایم.
- آندرو نشان دادند مشاهدهات را P بعدی با اندازه‌های  $x_1, x_2, \dots, x_p$  و XP می‌توان با سری فوریه زیر که تابعی از t می‌باشد نشان داد:
- $$f(t) = \frac{x_1}{\sqrt{2}} + x_2 \sin t + x_3 \cos t + x_4 \sin 2t + x_5 \cos 2t + x_6 \sin 3t + \dots$$
- $-\pi \leq t \leq +\pi$
- نمودارهای سری فوریه نمودارهایی ۲ بعدی خواهند بود که آنها را می‌توان به طور بصری دسته‌بندی و





شکل ۴ - منحنی های اندرو دو حوزه آبخیز مشابه آبگرم و قروه

جریانهای حداقل و دبی حداکثر با دوره برگشتهای مختلف در حوزه های آبخیز مشابه برآورد گردید. جدول شماره ۲ مقادیر مشاهده ای و برآورد جریانهای حداقل و دبی حداکثر برای ایستگاه سراب هنده را در روش آنالیز خوشه ای نشان می دهد.

در روش منحنی های اندرو نیز پس از تعیین حوزه های آبخیز مشابه به صورت دو به دو مانند آنچه در روش آنالیز خوشه ای گفته شد اقدام به برآورد جریانهای حداقل و دبی های حداکثر شده است. جدول شماره ۳ مقادیر برآوردی و واقعی را برای حوزه آبخیز آبگرم نشان می دهد. برای سایر حوزه های آبخیز نیز به همین ترتیب عمل شده است.

### بحث و نتیجه گیری

پس از برآورد مقادیر جریانهای و حداکثر لازم است تا میزان کارایی روش انتقال شاخص های

حوزه های آبخیز مشابه را نیز بطور بصری جدا نمود. جهت تعیین حوزه های آبخیز مشابه نمودار اندرو هر یک از حوزه ها به تفکیک ترسیم شده و دو به دو با هم مقایسه شده اند تا حوزه های مشابه تفکیک شوند. برای مثال شکل شماره ۴ دو حوزه آبخیز مشابه را نشان می دهند.

### نتایج

- برآورد جریانهای حداقل و دبی های حداکثر از طریق تعیین حوزه های آبخیز مشابه پس از اطمینان از متمایز بودن گروههای ۱ و ۲ و ۳ در آنالیز خوشه ای با کمک فاصله اقلیدسی حوضه های آبخیز مشابه دو به دو جدا می شوند. بدین ترتیب که دو حوضه که کمترین فاصله اقلیدسی را با هم دارند. مشابه می باشند. پس از تعیین حوزه های آبخیز مشابه، با استفاده از نسبت مساحت بین دو حوزه آبخیز مشابه



حداقل و روش منحنی‌های آندرو، در برآورد جریان‌های حداقل کمتر می‌باشد، اما هنوز درصد قابل قبولی نمی‌باشد.

با توجه باینکه این روش (انتقال شاخص‌ها) در سایر نقاط دنیا بکار برده شده است و به نتایج قابل قبولی رسیده‌اند، اما در کشور ما به نتایج قابل قبولی نرسیده‌ایم، علت آن می‌تواند دخل و تصرفهایی باشد که در حوزه‌های آبخیز بوسیله انسان انجام شده است.

از جمله این تغییرات در مورد جریان‌های حداکثر می‌تواند سدهای کوچک ذخیره‌ای و تأخیری باشد که در سر شاخه‌های رودخانه‌های اصلی احداث شده‌اند، همچنین استفاده از سیلابها جهت تغذیه مصنوعی آبخوانها یا استفاده در آبیاری باغات در فصول پرباران سال باشد.

علاوه بر این استفاده از آب رودخانه‌ها در فصول خشک سال جهت آبیاری مزارع و غیره منجر می‌شود که آمار واقعی نه در جریان‌های حداکثر و نه در جریانهای حداقل بدست آید. البته باید متذکر شد که در یک سیستم به پیچیدگی حوضه آبخیز ممکن است پارامترهای دیگری بر روی واکنش‌های هیدرولوژیک آن مؤثر باشد که فعلاً از دید انسان خارج می‌باشند و منجر می‌شوند که درصد خطا در محاسبات بالا باشد.

هیدرولوژی تعیین شود. جهت انجام این آزمون چندین روش پیشنهاد شده است که شامل درصد متوسط خطای نسبی، خطای استاندارد و مجذور میانگین خطا می‌باشند. در این طرح از درصد خطای نسبی بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی استفاده شده است که مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\%RE = \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \times 100$$

%RE درصد خطای نسبی

Q<sub>o</sub> مقدار دبی مشاهده‌ای

Q<sub>e</sub> مقدار دبی برآوردی

درصد خطای نسبی محاسبه شده بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی جریان‌های حداقل و حداکثر لحظه‌ای در هر روش (آنالیز خوشه‌ای و منحنی‌های آندرو) نشان می‌دهد که روش انتقال شاخص‌های هیدرولوژیک براساس تئوری حوزه‌های آبخیز مشابه، در برآورد جریان‌های حداقل از درصد خطای نسبی بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. اما این روش (انتقال شاخص‌ها) در برآورد جریان‌های حداکثر لحظه‌ای به کمک تعیین حوزه‌های آبخیز مشابه بوسیله منحنی‌های آندرو از درصد خطای نسبی نسبتاً پایینی برخوردار می‌باشد و این خطا بطور متوسط برابر ۴۵/۱۸ درصد می‌باشد.

این مقدار خطا یعنی ۴۵/۱۸ هرچند نسبت به روش آنالیز خوشه‌ای، در برآورد دبی‌های حداکثر و

## مراجع مورد استفاده

## REFERENCES

۱. بی. اف. جی. مانلی، ۱۳۷۳. آشنایی با روشهای آماری چند متغیره، مترجمین: دکتر محمد مقدم، مهندسین سید ا. محمدی شوطی، مهندس م. آقائی سربرزه، انتشارات پشنتاز علم.
۲. ج. دبیلو، کانت، ۱۳، تحلیل فراوانی وقایع ریسک در هیدرولوژی، مترجمین: دکتر ابوالقاسم بزرگ‌نیا، دکتر امین علیزاده، دکتر محمود نقیب‌زاده، مهندس خیابانی، مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
۳. چاوشی، س. ۱۳۷۷. منطقه‌ای کردن برآورد دبی حداکثر سیلاب در مناطق خشک طبق روش هیبرید. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. دورنکامپ و کینگ - سترالر، ۱۳۷۰. تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی. ترجمه: جمشید فریفته، انتشارات دانشگاه تهران.
۵. سلاجقه، ع. ۱۳۷۳. برآورد دبی پیک سیلابی در حوضه‌های کوچک ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۶. سریو استاوا - کارتر، ۱۳۷۰. آمار چند متغیره کاربردی. مترجمین: دکتر ناصر رضا ارقامی و ابوالقاسم بزرگ‌نیا، انتشارات آستان قدس رضوی.
۷. سراج زاده، ح. ۱۳۷۲. روش محاسبه دبی‌های حداقل. انتشارات یونسکو.
۸. علیزاده، ا. ۱۳۶۸. مفهوم خشکسالی هیدرولوژیکی و روشهای پیش‌بینی آن. فصلنامه علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور (نیوار)، نشر سازمان هواشناسی کشور.
۹. عرب خدری، م. ۱۳۶۸. بررسی سیلابهای حداکثر در حوضه‌های آبخیز البرز شمالی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۱۰. مهدوی، م. ۱۳۷۱. هیدرولوژی کاربردی (جلد ۲). انتشارات دانشگاه تهران.
۱۱. موسوی، ع. ۱۳۷۸. بررسی و تعیین شاخص‌های هیدرولوژیکی به کمک حوضه‌های آبخیز مشابه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
۱۲. هاشمی، ا. ۱۳۷۶. بررسی رابطه دبی سیلاب با بعضی از پارامترهای فیزیکی حوضه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

14. Abrahams, A.D. (1972): Factor analysis of drainage basin properties: evidence for stream abstraction accompanying the degradation of relief. *water Resource Res* (8) 3: 624 - 633.
15. Chernoff, (1973): Using faces to represent points in K Dimensional space graphically. *J. Am. State. Assoc.* 68: 361 - 363.
16. Malinaroli, E, Blom, and Busu, A (1991): Method of provenance Determination Tested with Discriminant function analysis; *journal of sedimentary petrology*. vol. 61, No. P.900 - 908.
17. Nathan, R.J. and McMahon, T.A. (1990 a): Identification of homogenous regions for the purposes of regionalisation: *J. Hydrology*. 121: 217 - 238.
18. Nathan and. R.g, (1993): on the Assessment of catchment similarity for the transposition of Hydrologic Indices, *Hydrologic and water Resources symposium*.

**Investigation and determination of hydrological indices  
by the aid of analogous watersheds  
(case study : Salt Lake Drainage Basin)**

**G. R. Zehtabian and A. A. Mosavi**

*Associate Professor of Faculty of Natural Resources, University of Tehran and  
Expert of Water Catchment*

*Received for Publication 13, Sep. 2000*

**ABSTRACT**

One of the main problem in hydrological studies of low - water flow (drought) and high - water flow periods is absence or deficiency of hydrometric statistics. This problem is due to high expenses of establishment of hydrological stations, difficulty in maintenance of stations and the fact that not all drainage basins are accessible. In this research. after investigation of hydrological stations present in salt Lake Drainage Basin. 19 station which have the best stations in the view of length of statistical periods and the other properties, were chosen and seven day low flows (minimum flows).  $Q_{90}$  and maximum discharges were extracted. After reconstruction and extension of statistics, done by HYFA computer program, the above - mentioned factors were determined for 2, 5, 10, 25 and 50 year return periods. For determining analogous drainage basins and homogeneous groups, 14 morphometric, climatic and geologic parameters of selected drainage basins were extracted and important and independent parameters were chosen by analysis to factors. Then by using chosen parameters, analogous drainage basins were determined by two methods of numerical homogenization (such as cluster analysis) and non - numerical homogenization (such as Andro curves). Then the minimum and maximum flows for each station were estimated by area - ratio between analogous drainage basins. At the end, the efficiency of graphic and numerical methods for determinations of analogue regions and also the efficiency of transfer method of indices in estimation of minimum and maximum flows were discussed.

**Key words :** Drought, Hydrological drought, Salt Lake, Iran, minimum and maximum flows in arid zones.