دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

# تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک

**سعید خسروبیگی بزچلویی[۱] و مهدی وفاخواه[۲]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، (نویسنده مسوول: vafakhah@modares.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۳

**چکیده**

**منحنی تداوم جریان نشان‌دهنده رابطه بین فراوانی و مقدار دبی روزانه، هفتگی و ماهانه است. داده‌های دبی جریان آب به شکل منحنی تداوم جریان به عنوان پیش‌نیاز برای طرح‌های مدیریت منابع آب از قبیل طراحی سدها، نیروگاه‌های برق آبی، اجرای عملیات آبخیزداری، ارزیابی خطر خشک‌سالی و بررسی سلامت زیست‌بوم رودخانه مورد نیاز است. این تحقیق به منظور تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در ۳۳ حوزه آبخیز منتخب با طول دوره آماری مشترک روزانه ۲۰ ساله در حوزه آبخیز دریاچه نمک انجام شد. پس از تهیه منحنی تداوم جریان برای ۳۳ ایستگاه آب‌سنجی منتخب، شاخص‌های دبی دو تا ۹۰ درصد استخراج، و مناسب‌ترین توزیع آماری منطقه‌ای از بین ده توزیع آماری تشخیص داده شد و شاخص‌های دبی دو تا ۹۰ درصد با دوره بازگشت دو ساله به دست آمد. برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان از میان ۱۸ متغیر مستقل فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی، شش عامل مساحت حوزه آبخیز، طول آبراهه اصلی، ارتفاع متوسط، درصد سازندهای نفوذپذیر و درصد اراضی مرتعی به عنوان عوامل مهم با استفاده از تحلیل عاملی انتخاب شدند. سپس با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و ترکیب تحلیل خوشه‌ای به منظور تعیین حوزه‌های آبخیز همگن و رگرسیون چندمتغیره تحلیل منطقه‌ای دبی‌های تداوم جریان انجام شد. به منظور بررسی و صحت مدل‌ها در کل منطقه و مناطق همگن از نمایه‌های آماری ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی استفاده شد. نتایج نشان داد که رویکرد تحلیل منطقه‌ای با تشخیص حوزه‌های آبخیز همگن باعث افزایش کارآیی و خطای کمتر مدل‌های منطقه‌ای می‌شود و با توجه به میزان ضریب بتا معادلات رگرسیونی، طول آبراهه اصلی مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در دبی‌های تداوم جریان می‌باشد.**

**واژه‌های کلیدی: منحنی تداوم جریان، تحلیل منطقه‌ای، تحلیل خوشه‌ای، تابع توزیع آماری، حوزه آبخیز فاقد آمار**

## مقدمه

در سراسر جهان مدیریت منابع آب، یک شرط اساسی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی و نیاز روزافزون به آب، مشکل کمبود آب جدی بوده و برای مقابله با این مشکل باید مدیریت مناسبی در منابع آب داشت. یکی از مشکلات مدیریت منابع آب این است که در بسیاری از موارد داده‌های مشاهداتی دبی در دسترس نیست، یا از لحاظ کیفیت و کمیت کافی نیستند که این عامل طرح‌های مدیریت منابع آب را با مشکل رو به رو می‌کند (۱). برای جمع‌آوری اطلاعات نیاز به ایستگاه‌های آب‌سنجی می‌باشد که هزینه احداث ایستگاه زیاد و نیاز به مدت زمان زیادی برای جمع‌آوری اطلاعات دارد. به همین خاطر این نیاز توسط انجمن بین‌المللی هیدرولوژی به رسمیت شناخته شده و پیش‌بینی در حوزه‌های آبخیز بدون آمار به عنوان دستور کار پژوهش برای دهه‌های آینده به تصویب رسیده است. هم چنین در جهان بسیاری از حوزه‌های آبخیز فاقد آمار یا دارای نواقص آماری هستند با توجه به دست‌کاری‌های بشر، پیش‌بینی در این حوزه‌های آبخیز بسیار سخت می‌باشد، هیدرولوژیست‌ها برای حل این مشکل از ابزاری با عنوان تحلیل منطقه‌ای[۱] استفاده می‌کنند (۱۲). انتقال اطلاعات هیدرولوژیکی حوزه‌ی آبخیز دارای آمار به حوزه‌ی آبخیز فاقد آمار یا دارای آمار ناقص و یا برآورد ویژگی‌های دبی حوزه‌های آبخیز بدون آمار با استفاده از انتقال اطلاعات از آبخیزهای دارای آمار، تحلیل منطقه‌ای نامیده می‌شود (۸).

منحنی تداوم جریان رابطه بین دبی و بزرگی آن را نشان می‌دهد. شکل منحنی تداوم جریان بیانگر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه آبخیز است، منحنی تداوم جریان یکی از روش‌های ارزنده و دارای اطلاعات مفید است که تمامی دبی‌های رودخانه اعم از کم و جریان سیلابی را نمایش می‌دهد. این منحنی رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی که این دبی مساوی یا بیشتر از آن است را به نمایش می‌گذارد (۱۳).

میمیکو و کماکی (۷) برای منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان از توزیع جمله‌ای سه پارامتره استفاده کرد و برای به دست آوردن پارامترها از معادلات رگرسیون استفاده کرد که در این رابطه مساحت آبخیز، متوسط بارندگی سالانه و طول آبراهه اصلی مهم‌ترین عوامل مؤثر در منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان می‌باشد. کلاپسوفیورنتینو (۲) برای منطقه‌ای کردن منحنی تداوم جریان در ۱۴ حوزه آبخیز در جنوب ایتالیا رگرسیون چندمتغیره استفاده کردند که مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین دبی‌های منحنی تداوم جریان را آب پایه، متوسط ارتفاع سالانه، متوسط رواناب سالانه و مساحت آبخیز بیان کردند. اواردا و همکاران (۱۴) برای تحلیل منطقه‌ای دبی در کانادا از رگرسیون چند متغیره استفاده کردند و متغیرهای مساحت، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی مهم‌ترین عوامل در تعیین دبی تشخیص داده شدند سینگ و همکاران

1- Regional Analysis

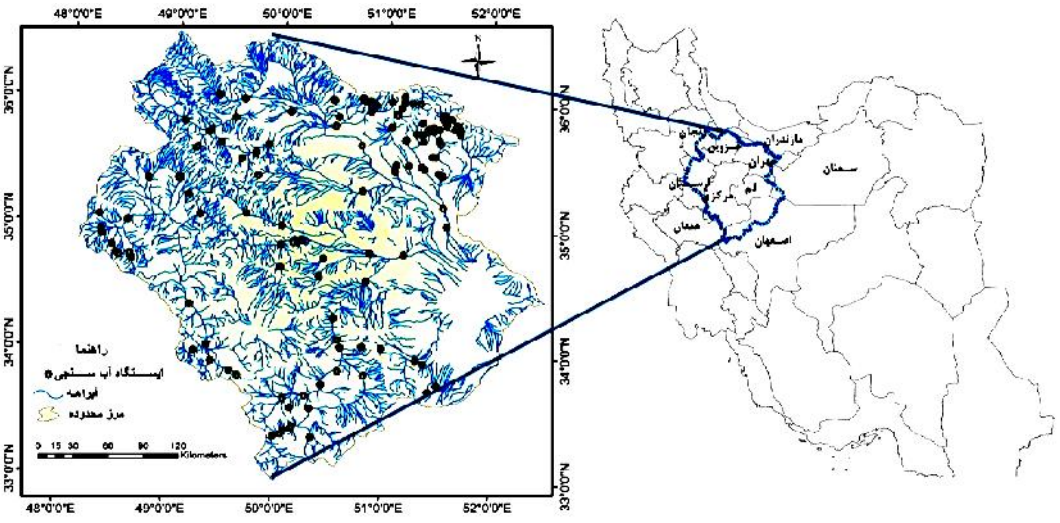
(۱۱) از رویکرد احتمالی برای تحلیل منطقه‌ی منحنی تداوم جریان در هیمالیا استفاده کردند و دریافتند که بین خصوصیات حوزه آبخیز (توپوگرافی و زمین‌شناسی) و منحنی تداوم جریان و جریان کمینه رابطه قوی وجود دارد. کاستلارین و همکاران (۱) روش‌های احتمالی، پارامتری و گرافیکی را برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان استفاده کردند که این تحقیق در ۵۱ حوزه آبخیز در شرق ایتالیا انجام شده و متغیرهای مساحت، طول کانال، درصد نفوذپذیری، حداکثر ارتفاع، حداقل ارتفاع، متوسط دمای سالانه، متوسط بارندگی سالانه و تبخیر و تعرق مهم‌ترین عوامل در تعیین منحنی تداوم جریان تشخیص داده شدند. روجانامن و همکاران (۹) درصدهای دبی منحنی تداوم جریان را با با رگرسیون چند متغیره به صورت منطقه‌ای انجام دادند و بیان کردند که منحنی تداوم جریان با مساحت همبستگی بیشتری دارد. ویولا و همکاران (۱۶) در مطالعه‌ی در منطقه سیسیل ایتالیا در ۵۳ ایستگاه برای تحلیل منطقه‌ی منحنی تداوم جریان، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر منحنی را مساحت، بارندگی سالانه، ارتفاع متوسط آبخیز و درصد سازندهای نفوذپذیر آبخیز اعلام کردند. هوپوبارتات (۴) در تحقیقی در ۴۱ آبخیز در کالیفرنیا برای به دست آوردن دبی با فراوانی ۸۰ درصد و مدت زمانی که رودخانه خشک است از منحنی‌های تداوم جریان استفاده کردند و این متغیرها را با استفاده از رگرسیون منطقه‌ای کردند. یاشار و بایکان مطالعه‌ای در ۷۲ ایستگاه آب‌سنجی آمریکا برای تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان از رگرسیون چند متغیره غیرخطی استفاده کردند و مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر منحنی تداوم جریان را متوسط بارندگی سالانه، ارتفاع متوسط وزنی حوزه آبخیز و درصد سازندهای نفوذپذیر آبخیز اعلام کردند. زینالو (۱۹) در تحقیقی که در ۲۵ آبخیز دریاچه ارومیه به منظور تحلیل منطقه‌ی دبی‌های منحنی تداوم جریان انجام داد دریافت که دبی‌های منحنی تداوم جریان با هشت متغیر تراکم زهکشی، مساحت آبخیز، حداقل ارتفاع آبخیز، درجه حرارت، اندیس پوشش برف، متوسط ارتفاع، نفوذپذیری و متوسط بارش سالانه نسبت به سایر پارامترها از همبستگی بیشتری برخوردار می‌باشد. زارع (۱۸) تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبریز کویر مرکزی انجام داد و نتیجه گرفت که مساحت حوزه آبخیز، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه اصلی و بارندگی متوسط سالانه به عنوان عوامل مهم در تعیین منحنی تداوم جریان هستند.

با توجه به تحقیقات گذشته، لذا این مطالعه به منظور تحلیل منطقه‌ای تداوم جریان با رگرسیون چندمتغیره جهت تخمین دبی‌های منحنی تداوم جریان با استفاده از اطلاعات حوزه و هم‌چنین تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر دبی‌های منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک انجام گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### خصوصیات منطقه‌ای مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه نمک در طول جغرافیائی ″۰۰ °۵۳ تا ″۰۰ °۴۸ شرق و عرض جغرافیایی ″۰۰ °۳۷ تا ″۰۰ °۳۲ شمالی واقع شده است. بخش شمالی حوزه به وسیله رشته کوه‌های البرز و کوه‌های رودبار و بخش شمال غرب و غرب آن با انشعابات زاگرس، بخش جنوبی با کوه‌های کرکس و شرق حوزه به مناطق کویری محدود می‌شود. وسعت منطقه مورد تحقیق حدود ۹۲۵۵۰ کیلومتر مربع برآورد شده که از میان، حدود ۴۲۰۲۶ کیلومتر مربع آن را با مناطق کوهستانی و ۵۰۵۲۴ کیلومتر مربع باقیمانده را دشت‌ها، کوهپایه‌ها و دریاچه‌های موجود می‌پوشاند. طیف ارتفاعی حوزه ۸۰۰ متر در اطراف دریاچه نمک تا ۴۳۷۵ متر در ارتفاعات حوزه جاجرود متغیر است. در این حوزه دو چاله بزرگ و چند چاله کوچک (دریاچه نمک، دریاچه حوض سلطان و کویر میغان) آب‌های این منطقه را به خود جذب می‌نمایند (۱۵).




شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

Figure 1. Location of study area in Iran

**انتخاب ایستگاه آب‌سنجی**

برای انتخاب ایستگاه‌های آب‌سنجی مناسب آمار دبی روزانه کلیه ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه مورد مطالعه از شرکت تحقیقات منابع آب ایران (تماب) تهیه شد. سپس طول دوره آماری دبی روزانه استخراج و ایستگاه‌های مناسب بر اساس طول آماری مناسب و عدم وجود بند انحرافی و سد در بالادست آنها انتخاب شد (۱۵). سپس درصدهای دبی منحنی تداوم جریان، با استفاده آمار دبی‌های روزانه با محاسبه درصد احتمال از طریق رابطه ویبول (رابطه ۱) در نرم‌افزار Excel استخراج شد.

$$P = \frac{m+1}{n} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن: P درصد احتمال تراکمی تجربی برابر یا بیشتر از داده‌های مشخص، m شماره ردیف داده مشخص و n تعداد داده‌ها می‌باشد (۵). در مرحله بعد دبی‌های تداوم جریان استخراج شده برای هر ایستگاه با ده تابع احتمالی برازش شد و با استفاده از نمره‌دهی، مناسب‌ترین توزیع آماری منطقه‌ای تشخیص داده شد.

به طوری که توزیع گمبل و لوگ نرمال دو پارامتره به عنوان توزیع مناسب انتخاب شدند و دبی با دوره بازگشت دو ساله استخراج و به منظور تحلیل منطقه‌ای استفاده شد. اطلاعات فیزیوگرافی از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، اطلاعات زمین‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و کاربری اراضی از نقشه‌های کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰ و با کمک عکس هوایی ۱:۵۰۰۰۰ در نرم‌افزار Arc/GIS 9/3 استخراج شد.

**تحلیل عاملی**

تجزیه و تحلیل عاملی از جمله روش‌های چند متغیره[1] می‌باشد که به وسیله آن تعدادی زیادی از متغیرها را می‌توان به چند عامل کاهش داد و به این ترتیب خلاصه‌ای از داده‌ها را تهیه نمود. هر چه مقدار هم‌بستگی داخلی بین متغیرها بیشتر باشد، تعداد عامل‌های پدید آمده کمتر خواهد بود (۲۰).

**رگرسیون چند متغیره**

رگرسیون چند متغیره روشی است که برای ارتباط بین یک متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل عمومی رگرسیون چند متغیره برای تحلیل منطقه‌ای به صورت رابطه (۲) می‌باشد.

$$Q = mA^a B^b C^c \ldots Z^z \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در این معادله Q متغیر پیش‌بینی شده، m ضریب ثابت، a, b,…z ضرایب معادله و A, B, … Z متغیرهای مستقل می‌باشند. قبل از انجام رگرسیون چند متغیره غیرخطی فرضیات، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از کولموگروف- اسمیرنوف[2]، شرط استقلال خطاها (تفاوت بین مقدار واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده توسط معادله رگرسیون) با استفاده از آزمون دوربین- واتسون استفاده می‌شود. فرض دیگر رگرسیون بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل است. با استفاده از تحلیل عاملی متغیرهایی که هم‌بستگی با هم نداشتند انتخاب شدند و بدین ترتیب این فرض هم تأیید شد (۲۰).

**تجزیه و تحلیل خوشه‌ای**

برای تشخیص مناطق همگن هیدرولوژیکی از خصوصیات حوزه استفاده می‌شود. به طوری که با مشخص بودن تعداد نمونه و اندازه‌گیری نمونه، می‌توان افراد مشابه را در یک کلاس قرار داد. از مسائل مهم خوشه‌بندی انتخاب ویژگی‌هایی به عنوان معیار متمایز است. این ویژگی‌های متمایزکننده در تشکیل کلاس‌ها می‌بایست دارای بیشترین اطلاعات ممکن باشند، به عبارت دیگر، باید به گونه‌ای باشد که خواص فرعی و متعدد دیگری از آنها ناشی شود. برای انجام این روش از نرم‌افزار SPSS استفاده شد (۲۰).

به منظور بررسی و صحت مدل‌ها در کل منطقه و مناطق همگن از نمایه‌های آماری ضریب تبیین ($R^2$)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی (CE) استفاده شد.

$$CE = 1 - \frac{\sum_i^n 1(O_i - P_i)}{\sum_i^n 1(O_i - \overline{O}_m)} \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_i^N 1(P_i - O_i)^2} \qquad \text{رابطه (۴)}$$

$$R^2 = \frac{\sum_i^n 1(O_i - \overline{O}_m)(P_i - \overline{P}_m)}{(\sum_i^N 1(O_i - \overline{O}_m)2)^{0.5} \sum_i^N 1(P_i - \overline{P}_m)^2)^{0.5}} \qquad \text{رابطه (۵)}$$

که $Q_i$: مقدار مشاهده شده، $P_i$: مقدار پیش‌بینی شده، N: تعداد داده‌های مشاهداتی، $\overline{O}_m$: مقدار میانگین مشاهدات و $\overline{P}_m$: مقدار میانگین پیش‌بینی شده است. در این پژوهش ۸۵ درصد از داده‌ها برای مرحله آموزش و ۱۵ درصد از داده‌ها برای آزمون استفاده شدند.

## نتایج و بحث

با توجه به شرایط ایستگاه‌های آب‌سنجی مناسب، ۳۳ ایستگاه برای این تحقیق انتخاب و برای هر کدام از ایستگاه‌ها درصد دبی‌های مختلف منحنی تداوم جریان، پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی محاسبه شد (جدول ۲).

1- Multivariate

2- Kolmogorov-Smirnov Test

جدول ۱- ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب

Table 1. Selected hydrometric stations

| نام ایستگاه | کد ایستگاه | طول جغرافیایی | | عرض جغرافیایی | | ارتفاع از سطح دریا (متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | دقیقه | درجه | دقیقه | درجه | |
| مرتضی آباد | ۴۱_۲۱۵ | ۴۸ | ۴۹ | ۱۷ | ۳۵ | ۱۵۹۰ |
| سراب هنده | ۴۱–۰۰۹ | ۰۰ | ۵۰ | ۲۱ | ۳۱ | ۲۰۰۰ |
| پل دوآب | ۴۱–۰۳۱ | ۳۵ | ۴۹ | ۵۲ | ۳۳ | ۲۰۰۰ |
| خنداب | ۴۱–۰۳۳ | ۱۱ | ۴۹ | ۲۳ | ۴۴ | ۱۶۵۰ |
| یالفان | ۴۱–۰۳۵ | ۳۶ | ۴۸ | ۴۴ | ۳۴ | ۱۹۸۰ |
| رودک | ۴۱_۱۱۷ | ۳۹ | ۵۱ | ۵۱ | ۳۵ | ۱۶۹۰ |
| لوارک | ۴۱–۱۶۳ | ۴۱ | ۵۱ | ۴۸ | ۳۵ | ۱۶۰۰ |
| قروه | ۴۱_۰۷۳ | ۲۳ | ۴۹ | ۰۳ | ۳۶ | ۱۴۳۰ |
| ده صومعه | ۴۱–۰۹۵ | ۵۰ | ۵۰ | ۵۷ | ۳۵ | ۱۴۱۰ |
| سیرا | ۴۱–۱۰۱ | ۰۹ | ۵۱ | ۰۲ | ۳۶ | ۱۷۹۰ |
| پیک زرند | ۴۱–۱۳۳ | ۴۶ | ۵۰ | ۱۹ | ۳۵ | ۱۱۴۰ |
| درکه (هفت حوض) | ۴۱–۱۴۳ | ۲۳ | ۵۱ | ۴۹ | ۳۵ | ۱۷۰۰ |
| حاجی آباد | ۴۱_۰۸۹ | ۴۵ | ۴۹ | ۳۶ | ۳۵ | ۱۶۷۰ |
| پل آوران | ۴۱–۰۶۳ | ۱۲ | ۴۹ | ۲۸ | ۳۵ | ۱۵۶۰ |
| تفرش | ۴۱–۱۳۱ | ۰۱ | ۵۰ | ۴۲ | ۳۴ | ۱۸۸۰ |
| بهادربیگ | ۴۱–۰۴۵ | ۱۹ | ۴۸ | ۵۷ | ۳۴ | ۱۷۹۰ |
| قمصر بن رود | ۴۱–۰۰۵ | ۲۵ | ۵۱ | ۴۳ | ۳۳ | ۱۹۸۰ |
| دربند | ۴۱–۰۹۳ | ۴۵ | ۵۰ | ۰۳ | ۳۶ | ۱۷۸۰ |
| جلایر | ۴۱–۰۵۵ | ۰۱ | ۵۰ | ۵۳ | ۳۴ | ۱۲۰۰ |
| رازین | ۴۱–۰۵۹ | ۰۱ | ۵۰ | ۰۲ | ۳۵ | ۱۳۰۰ |
| خمیگان | ۴۱–۰۴۹ | ۰۲ | ۴۹ | ۲۲ | ۳۵ | ۱۸۰۶ |
| خماجین | ۴۱–۰۵۳ | ۰۱ | ۵۰ | ۵۳ | ۳۴ | ۱۲۰۰ |
| حسین آباد | ۴۱–۰۲۶ | ۴۹ | ۵۰ | ۴۶ | ۳۳ | ۱۵۶۰ |
| آبگرم | ۴۱–۰۶۷ | ۲۳ | ۴۹ | ۴۵ | ۳۵ | ۱۵۶۰ |
| زهتران | ۴۱–۰۵۱ | ۰۸ | ۴۹ | ۱۵ | ۳۵ | ۱۷۴۴ |
| سولان | ۴۱–۰۴۱ | ۲۶ | ۴۸ | ۴۹ | ۳۴ | ۱۹۰۰ |
| باراجین | ۴۱–۲۱۹ | ۰۳ | ۵۰ | ۲۰ | ۳۶ | ۱۴۰۵ |
| اوشان | ۴۱–۱۵۷ | ۳۱ | ۵۱ | ۵۴ | ۳۵ | ۱۹۰۰ |
| چم اسفند | ۴۱–۱۳۰ | ۲۰ | ۵۰ | ۲۵ | ۳۳ | ۲۲۲۴ |
| رحیم آباد | ۴۱–۰۷۱ | ۳۳ | ۴۹ | ۵۲ | ۳۵ | ۱۴۰۰ |
| شادآباد | ۴۱–۰۲۵ | ۴۹ | ۵۰ | ۳۶ | ۳۴ | ۱۰۰۰ |
| سولقان | ۴۱–۱۰۹ | ۱۶ | ۵۱ | ۴۷ | ۳۵ | ۱۴۳۰ |
| ارتش آباد | ۴۱–۰۶۹ | ۲۵ | ۴۹ | ۴۰ | ۳۵ | ۱۷۵۰ |

جدول ۲- خصوصیات آماری متغیرهای اندازگیری شده حوزه آبخیز دریاچه نمک

Table 2. Statistical characteristics of measured variables in Namak lake watershed

| متغیر | حداکثر | حداقل | میانگین | ضریب تغییرات |
|---|---|---|---|---|
| مساحت | ۱۷۴۱۳/۱۴ | ۲۵ | ۱۳۳۶/۴۶۶ | ۲/۳۴ |
| محیط | ۸۳۳/۸۴ | ۲۴/۸۲ | ۱۵۵/۱۰ | ۱/۰۷ |
| شیب متوسط وزنی | ۶۰ | ۱/۶ | ۱۸/۱۵ | ۰/۷۷ |
| حداکثر ارتفاع از سطح دریا | ۴۳۷۵ | ۱۷۰۰ | ۳۱۰۸/۱۱ | ۰/۰۲ |
| حداقل ارتفاع از سطح دریا | ۳۳۹۷ | ۹۷۱/۱۵ | ۲۵۴۲/۹۰ | ۲/۲۲ |
| ارتفاع متوسط از سطح دریا | ۲۸۵۹ | ۱۱۳۳/۱۷ | ۲۱۱۹/۶۲ | ۰/۱۸ |
| شیب آبراهه اصلی | ۳۶۲/۰۸ | ۷/۵ | ۵۱/۹۱ | ۱/۲۷ |
| تراکم زهکشی | ۱۴/۲۲ | ۰/۰۱ | ۱/۱۲ | ۲/۱۴ |
| طول آبراهه اصلی | ۳۷ | ۰/۲۱ | ۳/۷۴ | ۱/۶۹ |
| متوسط بارندگی سالانه | ۷۱۰ | ۱۷۰/۵ | ۴۱۴/۱۴ | ۰/۳۰ |
| متوسط درجه حرارت سالانه | ۱۱/۷۲ | ۴/۸۶ | ۷/۷۲ | ۰/۲۲ |
| متوسط تبخیر پتانسیل سالانه | ۱۸۸۱/۰۵ | ۷۴۱/۱۳ | ۱۳۶۸/۱۵ | ۰/۲۳ |
| درصد سازندهای نفوذ پذیر | ۷۹/۷۲ | ۰/۰۵ | ۲۳/۱۸ | ۱/۰۲ |
| درصد اراضی مرتعی | ۹۶/۳۹ | ۲۲ | ۶۸/۰۵ | ۰/۳۱ |
| درصد اراضی کشاورزی آبی | ۵۳/۴۱ | ۰ | ۸/۵۶ | ۱/۳۲ |
| درصد اراضی کشت دیم | ۴۴ | ۰ | ۱۲/۲۵ | ۱/۰۱ |
| درصد اراضی باغی | ۲۱/۶۵ | ۰ | ۳/۹۳ | ۱/۴۶ |
| درصد اراضی سنگی | ۵۴/۸۶ | ۰/۲ | ۵/۶۰ | ۱/۷۳ |

برای تجزیه و تحلیل عاملی ۱۸ متغیر اندازه‌گیری شده در ۳۳ حوزه منتخب استفاده شد. از آنجایی که ۱۸ متغیر در هر یک از حوزه‌ها استخراج شده، لازم است که تعداد آن‌ها محدود و متغیرهای مستقل که کمترین همبستگی را دارند انتخاب شوند که در این تحقیق از تحلیل عاملی استفاده شد، برای انجام تحلیل عاملی داده‌ها اول استاندارد شوند، هدف از استاندارد کردن داشتن متغیرهایی با میانگین صفر و انحراف معیار یک یا منفی یک می‌باشد و با استفاده از داده‌های استاندارد به تحلیل عاملی پرداخته شد (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳- مقادیر ویژه ریشه پنهان ماتریس همبستگی

Table 3. Eigenvalues of correlation matrix

| عامل | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ریشه پنهان ماتریس همبستگی | ۵/۷۲ | ۳/۳۵ | ۱/۷۸ | ۱/۷۲ | ۱/۳۴ | ۱/۱۰ |
| درصد واریانس کل | ۳۱/۸۱ | ۱۸/۶۱ | ۹/۹۳ | ۹/۶۰ | ۷/۴۵ | ۶/۱۲ |
| درصد تجمعی واریانس کل | ۳۱/۸۱ | ۵۰/۴۳ | ۶۰/۳۶ | ۶۹/۹۷ | ۷۷/۴۲ | ۸۳/۵۴ |

جدول ۴- ماتریس وزنی عاملی دوران یافته برای داده‌های استاندارد شده

Table 4. Rotated weighing component loading from standardized data

| متغیرها | عامل یک | عامل دو | عامل سه | عامل چهار | عامل پنج | عامل شش |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحت | -۰/۶۲ | ۰/۹۶۴* | -۰/۸۸ | -۰/۴۶ | ۰/۱۴ | -۰/۱۱ |
| محیط | -۰/۳۱۹ | /۸۳۰ | -۰/۳۱۲ | -۰/۹۷ | -۰/۹۲ | -۰/۱۰۳ |
| شیب متوسط وزنی | ۰/۷۵۹ | ۰/۲۱۴ | ۰/۲۳۴ | ۰/۴۳۷ | -۰/۸۵ | -۰/۸۷ |
| حداکثر ارتفاع از سطح دریا | ۰/۸۲۷ | ۰/۱۳۰ | ۰/۲۰۰ | ۰/۶۳ | -۰/۳۸۸ | -۰/۰۰۱ |
| حداقل ارتفاع از سطح دریا | ۰/۲۴ | -۰/۱۱۵ | ۰/۰۳۳ | -۰/۰۰۵ | ۰/۸۰۴ | ۰/۲۰۹ |
| ارتفاع متوسط از سطح دریا | ۰/۸۰۹* | -۰/۱۳۳ | -۰/۰۱۷ | ۰/۲۱۰ | ۰/۱۲۹ | -۰/۰۷۰ |
| شیب آبراهه اصلی | -۰/۱۰۴ | ۰/۹۳۷ | -۰/۰۸۰ | -۰/۰۹۲ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۴۸ |
| تراکم زهکشی | ۰/۱۳۳ | ۰/۷۹ | ۰/۰۰۷ | ۰/۹۶۰* | ۰/۶۸ | ۰/۳۹ |
| طول آبراهه اصلی | ۰/۰۰۰ | -۰/۰۵۳ | -۰/۰۵۷ | ۰/۹۷ | -۰/۲۱ | ۰/۹۲۴* |
| متوسط بارندگی سالانه | ۰/۸۴۱ | -۰/۱۴۱ | -۰/۰۰۸ | -۰/۱۹ | -۰/۳۴ | ۰/۱۸۱ |
| متوسط درجه حرارت سالانه | -۰/۶۵۳ | -۰/۵۵ | ۰/۴۸۶ | -۰/۲۴۱ | -۰/۲۵۸ | ۰/۱۱۲ |
| متوسط تبخیر پتانسیل سالانه | -۰/۷۹۶ | ۰/۲۲۳ | -۰/۱۹۷ | -۰/۲۳۹ | ۰/۰۸۳ | ۰/۱۴۱ |
| درصد سازندهای نفوذ پذیر | -۰/۱۱۷ | -۰/۲۲۶ | ۰/۰۰۸ | -۰/۱۰۰ | ۰/۷۲۰* | ۰/۳۴۵ |
| درصد اراضی مرتعی | ۰/۰۰۰ | ۰/۲۳۹ | -۰/۸۸۲* | -۰/۲۷۹ | -۰/۱۵۰ | ۰/۰۴۵ |
| درصد اراضی کشاورزی آبی | ۰/۰۳۰ | -۰/۰۶۸ | ۰/۷۷۰ | -۰/۱۰۳ | -۰/۳۴۹ | -۰/۰۵۹ |
| درصد اراضی کشت دیم | -۰/۳۳۴ | -۰/۱۸۶ | ۰/۷۱۴ | -۰/۱۱۵ | ۰/۳۲۰ | ۰/۰۱۱ |
| درصد اراضی باغی | ۰/۴۸۵ | -۰/۳۰۵ | -۰/۳۱۷ | -۰/۱۲۰ | -۰/۰۸۸ | ۰/۱۰۷ |
| درصد اراضی سنگی | ۰/۲۵۴ | -۰/۰۷۳ | ۰/۰۵۰ | ۰/۹۲۱ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۷۶ |

*: معنی‌دار در سطح ۱ درصد

با توجه به نتایج مقادیر ویژه ریشه پنهان ماتریس همبستگی شش عامل اول انتخاب شده در جدول سه می‌تواند حدود ۸۳/۵۴ درصد واریانس را توضیح دهند. با استفاده از نتایج تحلیل عاملی شش عامل به عنوان متغیر اصلی انتخاب شدند. عامل اول رابطه مستقیمی با ارتفاع متوسط و بارندگی سالانه و رابطه معکوس با تبخیر پتانسیل دارد (جدول ۴). فاکتور یک اساساً شامل متغیرهای است که با تغییرات ارتفاع ارتباط دارند که به آن عامل تغییرات ارتفاع می‌گویند و از آنجایی در عامل یک ارتفاع متوسط بیشترین وزن را دارد و می‌تواند توضیح‌دهنده بقیه متغیرهای در ارتباط آن باشد انتخاب می‌شود. در عامل دوم مساحت، سوم درصد اراضی مرتعی، چهارم تراکم زهکشی، پنجم درصد سازندهای نفوذپذیر و در عامل ششم طول آبراهه اصلی انتخاب شدند. که با نتایج میمیکو و کماکی (۷)، کلاپس و فیورنتینو (۲)، کاستلارین و همکاران (۱)، ویولا و همکاران (۱۶)، زینالو (۱۹) و زارع (۱۸) هم‌خوانی دارد.

**مدل رگرسیونی**

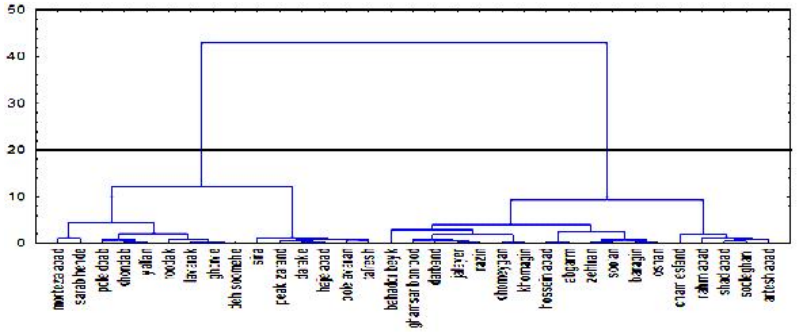
به‌منظور استفاده از مدل رگرسیونی لازم است که متغیر وابسته (میزان دبی‌های تداوم جریان) دارای توزیع نرمال باشد. بدین منظور با استفاده از آزمون آماری کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن داده‌های مورد استفاده، تأیید شد. هم‌چنین با استفاده از روش تحلیل عاملی مشکل همبستگی بین متغیرهای مستقل نیز رفع شد و برای انجام مدل رگرسیونی از روش توام استفاده شد (جدول ۵). با توجه به معادلات رگرسیونی به دست آمده، بیشترین متغیر تأثیرگذار طول آبراهه اصلی می‌باشد.

جدول ۵- نتایج حاصل از رگرسیون در کل حوزه آبخیز دریاچه نمک

Table 5. Results of regression in Namak lake watershed

| | دبی | معادله رگرسیونی | $R^2$ | RMSE | CE |
|---|---|---|---|---|---|
| $Q_{۴}$ | آموزش | $y = -۱۶۳.*A^{-۲.۱۱} * H_m^{۵۲.۸} * SL^{۴۰.۴۹} * D^{-۲.۱۷} * p.p^{-۲.۴۴} * p.r^{-۶.۲۹}$ | ۰/۵۶ | ۶/۱۶ | ۰/۵۶ |
| | آزمون | | ۰/۳۸ | ۱۰/۹۱ | ۰/۰۵ |
| $Q_{۱۰}$ | آموزش | $y = -۱۴۷.۲۰ * A^{-۱۲} * H_m^{۲۹.۸۵} * SL^{۳۹.۰۱} * D^{-۲.۵۵} * p.p^{-۲.۴۴} * p.r^{-۹.۳۹}$ | ۰/۶۶ | ۳/۸۷ | ۰/۶۶ |
| | آزمون | | ۰/۳۸ | ۹/۶۴ | ۰/۳۰ |
| $Q_{۱۵}$ | آموزش | $y = \quad ۱۶۲.۶۹ * A^{-۱} * H_m^{-۹.۱۴} * SL^{۱.۱۱} * D^{-۲.۰۶} * p.p^{-۰.۰۹} * p.r^{-۰.۰۴}$ | ۰/۶۸ | ۰/۹۶ | ۰/۶۸ |
| | آزمون | | ۰/۴۱ | ۱/۵۵ | ۰/۶۱ |
| $Q_{۲۰}$ | آموزش | $y = -۹۴.۸۱ * A^{-۶.۳۳} * H_m^{۲۴.۷۳} * SL^{۱۳.۹۴} * D^{-۲.۰۶} * p.p^{-۳.۰۸} * p.r^{۷.۲۸}$ | ۰/۵۲ | ۳/۱۲ | ۰/۵۲ |
| | آزمون | | ۰/۰۳ | ۰/۴۳ | -۱/۸۵ |
| $Q_{۲۵}$ | آموزش | $y = -۱۹.۰۷ \times A^{۲.۰۱} * H_m^{۲.۲۲} * SL^{-۶.۷۶} * D^{۰.۸۹} * p.p^{-۰.۵۷} * p.r^{۶.۶۷}$ | ۰/۲۹ | ۳/۱۶ | ۰/۵۱ |
| | آزمون | | ۰/۴۶ | ۱/۳۱ | ۰/۲۶ |
| $Q_{۳۰}$ | آموزش | $y = -۶۵.۰۷ * A^{-۵.۵۵} * H_m^{۱۵.۰۴} * SL^{-۱۲.۰۴} * D^{-۱.۲۰} * p.p^{-۲.۲۲} * p.r^{۳.۶۸}$ | ۰/۶۸ | ۱/۶۷ | ۰/۷۳ |
| | آزمون | | ۰/۴۵ | ۲/۹۹ | ۰/۲۴ |
| $Q_{۵۰}$ | آموزش | $y = -۱۶.۳۰ * A^{-۱.۶۴} * H_m^{-۳.۶۷} * SL^{۳.۹} * D^{-۰.۰۲} * p.p^{-۰.۸۳} * p.r^{۲.۱۴}$ | ۰/۳۹ | ۱/۰۴ | ۰/۸۶ |
| | آزمون | | ۰/۳۰ | ۱/۶ | ۰/۳۹ |
| $Q_{۷۵}$ | آموزش | $y = -۳۰.۹۴ * A^{-۰.۲۲} * H_m^{۸.۱۱} * SL^{۰.۲۸} * D^{-۱.۰۵} * p.p^{-۱.۱۲} * p.r^{۲.۲۸}$ | ۰/۶۸ | ۰/۶۸ | ۰/۴۳ |
| | آزمون | | ۰/۷۲ | ۰/۷۷ | ۰/۵۱ |
| $Q_{۹۰}$ | آموزش | $y = \quad ۲۰.۰۸ * A^{-۰.۳۹} * H_m^{۵.۳۷} * SL^{۱.۲۷} * D^{-۰.۴۷} * p.p^{-۰.۵۳} * p.r^{۱.۱۲}$ | ۰/۴۵ | ۰/۵۹ | ۰/۴۵ |
| | آزمون | | ۰/۴۸ | ۰/۸۶ | ۰/۳۶ |
| $Q_{۹۳}$ | آموزش | $y = -۱۵.۳۱ * A^{۰.۲۲} * H_m^{۲.۲۴} * SL^{-۰.۵۰} * D^{-۰.۱۷} * p.p^{۰.۰۱۴} * p.r^{-۰.۰۱۴}$ | ۰/۳۶ | ۰/۵۸ | ۰/۳۶ |
| | آزمون | | ۰/۳۲ | ۰/۲۱ | ۰/۲۳ |
| $Q_{۹۹}$ | آموزش | $y = -۸.۱۲ * A^{-۰.۳۸} * H_m^{۴.۱۴} * SL^{-۱.۲۷} * D^{-۰.۳۹} * p.p^{-۰.۳۶} * p.r^{-۰.۰۵۹}$ | ۰/۴۴ | ۰/۴۸ | ۰/۴۳ |
| | آزمون | | ۰/۲۳ | ۰/۵۲ | ۰/۳۸ |

به منظور تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی با استفاده از عوامل اصلی انتخاب شده و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و به کمک روش وارد اقدام به دسته‌بندی حوزه‌های آبخیز شد که نتایج، در شکل دو آمده است. با توجه به این شکل، حوزه‌های آبخیز در دو گروه همگن قرار می‌گیرند. در این مرحله بین دبی‌های تداوم جریان در هر دو گروه همگن با پارامترهای استخراج شده از تحلیل عاملی به مدل‌سازی پرداخته شد (جداول ۶ و ۷).




شکل۲- تعیین گروه‌های همگن به وسیله تحلیل خوشه‌ای

Figure 2. Determination of homogeneous groups by cluster analysis

جدول ۶- نتایج رگرسیون برای گروه همگن اول (شماره جدول تکراری است)

Table 6. Results of regression for homogeneous group 1

| دبی | | معادله رگرسیونی | $R^2$ | RMSE | CE |
|---|---|---|---|---|---|
| $Q_{۲}$ | آموزش | $y = -۸۵.۹۹ * A^{۱.۶۱} * H_m^{۴۲.۴۷} * SL^{۲۸.۵۳} * D^{۱.۰۲} * p.p^{-۳.۱} * p.r^{-۸.۵۴۲}$ | ۰/۶۹ | ۶/۳۴ | ۰/۶۹ |
| | آزمون | | ۰/۲۱ | ۹/۹۴ | ۰/۱۹ |
| $Q_{۱۰}$ | آموزش | $y = -۱۸۰.۵ * A^{-۶.۰۲} * H_m^{۲۲.۷۰} * SL^{۱۲۸.۹۵} * D^{-۲.۵۱} * p.p^{-۲.۲۲} * p.r^{۶.۰۳}$ | ۰/۷۸ | ۱/۷ | ۰/۹۱ |
| | آزمون | | ۰/۵۹ | ۴/۰۶ | ۰/۸۲ |
| $Q_{۱۵}$ | آموزش | $y = -۱۱۶ * A^{۰.۳۱} * H_m^{۳۰.۹۶} * SL^{۱۴.۵۲} * D^{۱.۷۵} * p.p^{-۱.۵۶} * p.r^{۱۲.۴۹}$ | ۰/۸۲ | ۰/۹۰ | ۰/۸۹ |
| | آزمون | | ۰/۷۶ | ۴/۱۲ | ۰/۷۲ |
| $Q_{۲۰}$ | آموزش | $y = ۴۱.۹۷ * A^{۶.۶۱} * H_m^{-۱۰.۲۲} * SL^{-۱۲} * D^{-۷.۷۸} * p.p^{۰.۸} * p.r^{-۱.۹۸}$ | ۰/۸۱ | ۲/۴۴ | ۰/۸۶ |
| | آزمون | | ۰/۶۷ | ۲/۸۴ | ۰/۵۸ |
| $Q_{۲۵}$ | آموزش | $y = -۱۷.۸۹ * A^{۳.۵۵} * H_m^{۷.۳۳} * SL^{-۶.۷۶} * D^{-۰.۸۹} * p.p^{-۰.۵۷} * p.r^{۶.۶۷}$ | ۰/۳۸ | ۳/۲۰ | ۰/۷۷ |
| | آزمون | | ۰/۲۷ | ۲/۹۱ | ۰/۳۴ |
| $Q_{۳۰}$ | آموزش | $y = -۱۱۶ * A^{۰.۳۱} * H_m^{۳۰.۹۶} * SL^{۱۴.۸۲} * D^{۱.۷۵} * p.p^{-۱.۵۶} * p.r^{۱۲.۴۹}$ | ۰/۸۲ | ۰/۹۰ | ۰/۸۹ |
| | آزمون | | ۰/۷۶ | ۴/۱۲ | ۰/۷۲ |
| $Q_{۵۰}$ | آموزش | $y = ۷.۰۶ * A^{-۰.۷۵} * H_m^{-۲.۸۱} * SL^{-۰.۴۲} * D^{-۰.۰۲} * p.p^{-۰.۷۰} * p.r^{۲.۳۲}$ | ۰/۳۹ | ۰/۷۷ | ۰/۹۹ |
| | آزمون | | ۰/۱۵ | ۲/۵۲ | ۰/۰۱ |
| $Q_{۷۵}$ | آموزش | $y = -۵.۲۸ * A^{۰.۰۲} * H_m^{۷۱.۷۲} * SL^{۰.۰۳} * D^{۰.۰۵} * p.p^{-۰.۱۷} * p.r^{-۰.۰۲}$ | ۰/۴۴ | ۰/۰۶ | ۰/۹۹ |
| | آزمون | | ۰/۳۵ | ۱/۱۲ | ۰/۷۰ |
| $Q_{۹۰}$ | آموزش | $y = -۱۹.۱۱ * A^{۱.۲۳} * H_m^{۲.۱۸} * SL^{۰.۴۲} * D^{-۰.۰۲} * p.p^{-۰.۰۳} * p.r^{۱.۵۲}$ | ۰/۶۸ | ۰/۸۲ | ۰/۶۸ |
| | آزمون | | ۰/۵۰ | ۰/۰۴ | ۰/۹۵ |
| $Q_{۹۲}$ | آموزش | $y = -۱.۰۵ * A^{۱.۰۲} * H_m^{۰.۲۸} * SL^{۲.۲۵} * D^{-۰.۱۲} * p.p^{-۰.۴۵} * p.r^{۱.۰۲}$ | ۰/۹۷ | ۰/۰۳ | ۰/۹۷ |
| | آزمون | | ۰/۸۲ | ۰/۰۷ | ۰/۹۱ |
| $Q_{۹۹}$ | آموزش | $y = -۰.۲۷ * A^{-۰.۱۵} * H_m^{۰.۱۵} * SL^{۰.۳۱} * D^{-۱.۰۲} * p.p^{-۰.۰۰۱} * p.r^{۰.۰۲۷}$ | ۰/۴۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۴۱ |
| | آزمون | | ۰/۹۷ | ۰/۲۲ | ۰/۹۵ |

جدول ۷- نتایج حاصل از رگرسیون برای گروه همگن دوم

Table 7. Results of regression for homogeneous group 2

| دبی | | معادله رگرسیونی | $R^2$ | RMSE | CE |
|---|---|---|---|---|---|
| $Q_{۲}$ | آموزش | $y = ۶۲۶ * A^{-۲۶.۰۶} * H_m^{-۶۰.۴۷} * SL^{۲۰.۸۸} * D^{-۲۲.۶۶} * p.p^{-۵.۳۱} * p.r^{-۴۰.۶۶}$ | ۰/۵۲ | ۶/۱۶ | ۰/۵۲ |
| | آزمون | | ۰/۴۸ | ۱۱/۶۱ | ۰/۳۶ |
| $Q_{۱۰}$ | آموزش | $y = ۶۶.۰۸ * A^{-۷.۰۵} * H_m^{-۱۹.۰۸} * SL^{۱۷.۳۰} * D^{-۶.۹۲} * p.p^{-۲.۰۶} * p.r^{-۴.۶۸}$ | ۰/۶۸ | ۱/۷ | ۰/۹۱ |
| | آزمون | | ۰/۷۲ | ۳/۲ | ۰/۸۹ |
| $Q_{۱۵}$ | آموزش | $y = -۸۲.۶۳ * A^{۸.۶۳} * H_m^{۲۰.۱۲} * SL^{-۱۲.۶۸} * D^{-۰.۰۶۹} * p.p^{۵.۹۷} * p.r^{-۶.۵۰}$ | ۰/۶۸ | ۰/۹۶ | ۰/۶۸ |
| | آزمون | | ۰/۷۵ | ۱/۷۳ | ۰/۳۱ |
| $Q_{۲۰}$ | آموزش | $y = -۲۵.۷۶ * A^{-۵.۴۹} * H_m^{۲۰.۰۵} * SL^{۸.۵۰} * D^{-۰.۰۸۵} * p.p^{۶.۲۸} * p.r^{۹.۳۹}$ | ۰/۸۱ | ۲/۴۴ | ۰/۸۶ |
| | آزمون | | ۰/۶۷ | ۲/۸۴ | ۰/۵۸ |
| $Q_{۲۵}$ | آموزش | $y = ۴۱.۹۷ * A^{۱.۶۱} * H_m^{-۱۰.۲۲} * SL^{-۱۴} * D^{-۷.۷۸} * p.p^{۰.۰۷} * p.r^{-۱.۹۸}$ | ۰/۳۸ | ۳/۲۰ | ۰/۷۷ |
| | آزمون | | ۰/۲۷ | ۲/۹۱ | ۰/۳۴ |
| $Q_{۳۰}$ | آموزش | $y = -۲۸.۸۶ * A^{-۱.۹۹} * H_m^{۲.۸۷} * SL^{۱۲.۴۰} * D^{-۲.۰۱۳} * p.p^{۰.۲۱} * p.r^{۲.۰۱۲}$ | ۰/۸۱ | ۴/۵۸ | ۰/۸۴ |
| | آزمون | | ۰/۷۹ | ۱/۴۳ | ۰/۳۱ |
| $Q_{۵۰}$ | آموزش | $y = -۱۰.۳۰ * A^{۱.۰۳} * H_m^{۳.۹۱} * SL^{-۱.۰۲} * D^{۰.۲۱} * p.p^{۰.۸۸} * p.r^{۰.۱۲۷}$ | ۰/۵۱ | ۰/۳۰ | ۰/۹۹ |
| | آزمون | | ۰/۳۰ | ۱/۶ | ۰/۳۹ |
| $Q_{۷۵}$ | آموزش | $y = -۳.۳۸ * A^{۰.۰۳} * H_m^{۷۱.۷۲} * SL^{۰.۰۳} * D^{۰.۰۲} * p.p^{-۰.۱۷} * p.r^{-۰.۰۳}$ | ۰/۴۴ | ۰/۰۶ | ۰/۹۹ |
| | آزمون | | ۰/۳۵ | ۰/۲۰ | ۰/۹۶ |
| $Q_{۹۰}$ | آموزش | $y = -۰.۴۷ * A^{-۰.۰۲} * H_m^{-۰.۱۹} * SL^{۰.۹۹} * D^{-۰.۱۴} * p.p^{-۰.۱۱} * p.r^{۰.۳۹}$ | ۰/۸۱ | ۰/۲۷ | ۰/۹۹ |
| | آزمون | | ۰/۵۰ | ۰/۰۴ | ۰/۹۵ |
| $Q_{۹۲}$ | آموزش | $y = -۴.۰۳ * A^{-۱.۸۲} * H_m^{-۱.۹۸} * SL^{۳.۲۵} * D^{-۰.۱۷} * p.p^{۰.۴۵} * p.r^{۱.۰۲}$ | ۰/۹۷ | ۰/۰۳ | ۰/۹۷ |
| | آزمون | | ۰/۸۲ | ۰/۰۷ | ۰/۹۱ |
| $Q_{۹۹}$ | آموزش | $y = -۰.۷۷ * A^{-۰.۱۵} * H_m^{۰.۱۸} * SL^{۰.۳۵} * D^{-۱.۰۴} * p.p^{-۰.۰۰۱} * p.r^{۰.۰۲۷}$ | ۰/۴۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۴۱ |
| | آزمون | | ۰/۴۱ | ۰/۲۲ | ۰/۹۵ |

با توجه به نتایج رگرسیون مشخص شد که استفاده از تحلیل خوشه‌ای به منظور تحلیل منطقه‌ای باعث افزایش کارایی معادلات تهیه شده خواهد شد. هم‌چنین بیشترین عامل تأثیرگذار بر منحنی تداوم جریان طول آبراهه اصلی می‌باشد با توجه به این که طول آبراهه اصلی تابعی از مساحت حوزه آبخیز می‌باشد یعنی، هرچه طول آبراهه بیشتر مساحت حوزه آبخیز بیشتر می‌شود، دبی‌های تداوم جریان افزایش پیدا می‌کند که این نتیجه با نتایج ناتهن و مک‌ماهون (۶) در جنوب شرقی استرالیا، که طول آبراهه اصلی را همراه با سایر پارمترهای مؤثر در دبی‌های حداقل تداوم جریان دانستند هم‌خوانی دارد. با توجه به این مطلب می‌توان دریافت مساحت حوزه آبخیز رابطه مستقیمی با سطح دریافت بارندگی دارد. در بیشتر موارد افزایش سطح حوزه آبخیز، باعث افزایش سطح دریافت بارندگی شده و بر دبی‌های تداوم اثر می‌گذارد که این مطلب بر صحت مطالعات گذشته در رابطه با اثر مساحت بر دبی‌های تداوم جریان مطابقت دارد. با توجه به اهمیت دبی‌های تداوم جریان در حوزه‌های آبخیز و استفاده از آنها در طراحی نیروگاه‌های برقابی، استحصال منابع آب، ارزیابی

کیفیت آب، ارزیابی محیط اکولوژیکی رودخانه، تحلیل سازه‌های انحراف جریان و ارزیابی کمی اقدامات آبخیزداری، لازم است که آنها به طور دقیق برای حوزه‌های آبخیز فاقد آمار یا فاقد ایستگاه آب‌سنجی تعیین شوند. همان‌طور که بیان شد تعداد ۱۸ متغیر مستقل به منظور ساخت مدل دبی با تداوم‌های مختلف زمانی در نظر گرفته شده است که از مجموع ۱۸ متغیر، هشت متغیر فیزیوگرافی، یک متغیر زمین شناسی، سه متغیر اقلیمی و پنج متغیر مربوط به کاربری اراضی می‌باشد. متغیر وابسته در این تحقیق، دبی با تداوم‌های مختلف زمانی می‌باشد. در تحقیقات انجام شده در رابطه با تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان، در بیشتر موارد از ویژگی‌های فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی آبخیز استفاده شده است (۱،۲،۷،۱۶،۱۸،۱۹) در این تحقیق علاوه بر این متغیرها از کاربری اراضی به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر دبی‌های تداوم جریان، استفاده شده است. دلیل استفاده از این متغیر را می‌توان این طور بیان کرد که کاربری اراضی به سبب تغییراتی که بر میزان تبخیر و تعرق، نفوذپذیری و رواناب اعمال نموده و می‌تواند به تغییرات در دبی منجر شود (۳)، با توجه به وسعت زیاد و کاربری‌های متفاوت در حوزه آبخیز دریاچه نمک انتظار می‌رفت این متغیر سبب تغییرات دبی در مناطق مختلف با کاربری متفاوت شود، به همین سبب به عنوان یکی از عوامل در نظر گرفته شد. مقادیر RMSE و CE که مزیت نسبی مدل‌ها را نشان می‌دهند. به طوری که کمترین میزان خطا و ضریب کارایی بالا بهترین روش را معرفی می‌نماید. شاهو و همکاران (۹) بیان کردند که مدلی قابل پذیرش می‌باشد که ضریب کارایی بالای ۰/۸۰ داشته باشد. با توجه به نتایج به دست آمده در بیشتر دبی‌های تداوم جریان ضریب کارایی کمتری نسبت به ۰/۸۰ داشته است دلیل این امر این است که روابط رگرسیونی قابل به تشخیص روابط غیرخطی بین متغیرها نمی‌باشند به‌همین دلیل نمی‌توانند روابط بین متغیرها را به خوبی توضیح دهند. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که تحقیقات دیگری با روش‌های هوشمند از قبیل شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی، انجام شود و نتایج آن با این تحقیق مقایسه شود.

## منابع


1. Castellarin, A., G. Galeati, L. Brandimarte, A. Mountanari and A. Brath. 2004. Regional Flow Duration Curve: Reliability for Ungauged Basin. Advances in Water Resources, 27: 935-965.
2. Claps, P. and M. Fiorentino. 1996. Probabilistic Flow Duration Curves for Use in Environmental Planning and Management. Natural Hazards and Earth System, 11: 255-266.
3. Cornelissen, T., B. Diekkrüger and S. Giertz. 2013. A Comparison of Hydrological Models for Assessing the Impact of Land Use and Climate Change on Discharge in a Tropical Catchment. Journal of Hydrology, 271: 183-197.
4. Hope, A. and R. Bart. 2012. Evaluation of a Regionalization Approach for Daily Flow Duration Curves in Central and Southern California watersheds. Journal of American Water Works Association, 48: 123-133.
5. Mahdavi, M. 2006. Applied Hydrology. University of Tehran Press. 424 pp. (In Persian).
6. Nathan, R.J. and T.A. McMahon. 1990. Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analysis. Water Resources Research, 26: 1465-1473.
7. Mimikou, M. and S. Kaemaki. 1985. Regionalization of Flow Duration Characteristics. Journal of Hydrology, 82: 77-91.
8. Minns, A.W. and M.J. Hall. 1996. Artificial Neural Network as Rainfall-Runoff Model. Hydrology Science Journal, 41: 399-417.
9. Rojanamon, P., T. Chaisomphob and W. Rattanapitikon. 2007. Regional Flow Duration Model for the Salawin River Basin of Thailand. Journal of Hydrology, 33: 411-419.
10. Shu, C. and D.H. Bum. 2004. Artificial Neural Network Ensembles and Their Application in Pooled Flood Frequency Analysis. Water Resources Management, 40: 1-10.
11. Singh, R.D., S.K. Mishra and H. Chowdhary. 2001. Regional Flow Duration Models for Large Number of Ungauged Himalayan Catchments for Planning Micro Hydro Projects. Journal of Hydrology Engineering-ASCE, 6: 3106.
12. Sivapalan, M. and G. Bloschi. 1997. Transformation of Point Rainfall to Areal Rainfall: Intensity-Duration-Frequency Curves. Journal of Hydrology, 98: 150-167.
13. Smakhtin,V.U. 2001. Low Flow Hydrology: A Review. Journal of Hydrology, 240: 147-186.
14. Ouarda, T.B., G. Girard, S. Cavadias and B. Bobee. 2001. Regional Flood Frequency Estimation with Canonical Correlation Analysis, Journal of Hydrology, 254: 157-173.
15. Vafakhah, M.1998. Regional Frequency of Low Flows in the Seasonal Rivers (Case Study in the Arid Regions of Central Iran). M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, 145 pp (In Persian).
16. Viola, F., V. Noto, M. Cannarozzo and G. La Loggia. 2011. Regional Flow Duration Curves for Ungauged Sites in Sicily. Hydrology Earth. System, 15: 323-331.
17. Yaşar, M. and N.O. Baykan. 2013. Prediction of Flow Duration Curves for Ungauged Basins with Quasi-Newton Method, Journal of Water Resource and Protection, 5: 97-110.
18. Zare, A. 2011. Regional Flow Duration Curve Models in Arid Watershed for Ungauged Basin (Case Study: Central Iran), M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 82 pp (In Persian).
19. Zeynalu, A.O. 2003. Estimated Flow Duration Curve for the Ungauged Basin. In: Proceedings of 1th National Conference on Hydropower Plants. Tehran (In Persian).
20. Zare Chahouki, M.A. 2010. Data Analysis in Natural Resources Research Using SPSS Software. University of Tehran Press 310 pp (In Persian).

# Regional Analysis of Flow Duration Curve in Namak Lake Basin, Iran

**Saeeid Khosrobeigi Bozcheloei[1] and Mahdi Vafakhah[2]**

1- M.Sc. Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University
(Corresponding author: vafakhah@modares.ac.ir)
Received: January 19, 2013 Accepted: March 4, 2014

## Abstract

A flow-duration curve (FDC) illustrates the relationship between the frequency and magnitude of daily, weekly and monthly stream flow. Applications of FDC are of interest for many hydrological problems related to hydropower generation, river and reservoir sedimentation, water quality assessment, water-use assessment, water allocation and habitat suitability. This study was carried out in 33 selected watersheds for regional analysis of FDC in Namak Lake basin. The FDCs were drawn for 33 selected watersheds, discharges of two to 92 percent were determined and the best probability distribution was recognized among ten probability distributions. The discharges of two to 92 percent with two-year return period were estimated. Using factor analysis selected six factors, includes area, average height, main channel length, drainage density, and percentage of permeable formations among 18 physiographical, meteorological, geological and land use characteristics as independent variables for regional of analysis of FDC. The multiple regression technique and combination of cluster analysis for determination of the homogenous watersheds and multiple regression techniques were carried out regional analysis of FDC. Determination coefficient ($R^2$), root mean square error (RMSE) and efficiency coefficient (CE) statistics are employed to evaluate the performance of the models in all region and homogeneous regions. The results showed that regional analysis with homogeneous regions causes higher efficiency and lower error. According to beta coefficient of the regression equations, the continuity of the main channel flow rate was the most important parameter in the FDC.

**Keywords:** Cluster analysis, FDC, Regionalization, Probability distribution, Ungauged watershed