

# بررسی دوره‌های خشکسالی با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرومتئورولوژی

یوسف حسن زاده

استاد دانشکده فنی - مهندسی عمران دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۷

## چکیده

در این مقاله، ضمن ارائه پتانسیل منابع آب کشور از یک سو و بیلان آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب کشور از سوی دیگر، با اعمال روش‌های احتمالاتی تجربی و ایجاد همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده از بارندگی‌ها و دبی جریان رودخانه آبی چای که یکی از رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و می‌تواند معرف یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک نیز باشد، دوره‌های خشکسالی تعیین و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و روابط همبستگی و فرکانس تجربی داده‌ها به صورت دیاگرام‌های کاربردی ارائه شده است. نتایج مکتسبه از کاربرد روش‌های احتمالاتی تجربی در تجزیه و تحلیل داده‌ها بیانگر آن است که پدیده خشکسالی در منطقه تبریز و در حالت کلی در کشور، ناشی از توزیع ناموزون زمانی و مکانی بارندگی‌ها و دبی جریان از یک سو و نوسانات شدید منفی در بارندگی‌ها و کاهش شدید جریان رودخانه‌ها از سوی دیگر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** دوره‌های خشکسالی، هیدرومتئورولوژی، بیلان آبی، دریاچه ارومیه، روش‌های پیش‌بینی، قوانین همبستگی، رودخانه آبی چای

## مقدمه

توپوگرافیک طبیعتاً خشک بوده که به سرعت از شمال به جنوب بر شدت آن افزوده می‌شود. تنوع اقلیمی حاکم در این کشور عامل اصلی توزیع ناموزون منابع آب و نیازهای آبی در آن گردیده و بروز مسائل آبی حال و آینده را به همراه دارد که باید با آن مقابله گردد.

آب مایه حیات و عامل اساسی توسعه پایدار محسوب می‌شود و کمبود آن مسبب اصلی محدودیت تولیدات کشاورزی و مالباً بروز قحطی‌های حاد و مزمن در گذشته و حال بوده و امروزه نیز جغرافیای فقر و گرسنگی جهانی با جغرافیای هیدرولوژیک منطبق و مرتبط می‌باشد. در این خصوص مطالعات راون بورگ [۲۱] بیانگر آن است که بین فقر مالی و فقر آبی رابطه تنگاتنگ وجود دارد. سولیوان و میگ [۲۲] در ارتباط با کاربرد شاخص فقر آبی<sup>۱</sup> (WPI) در

رخداد خشکسالی در یک منطقه اساساً از کاهش شدید بارندگی‌ها در یک مدت زمان کم و بیش طولانی ناشی شده و لکن همانند سیلاب به طور ناگهانی به وقوع نمی‌پیوندد. بروز این پدیده که اثرات زیان‌بار فراوانی بر زندگی اقتصادی دارد با علایمی نظیر کاهش رطوبت خاک، افت سطوح پیرومتریک ناشی از کاهش تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی، کاهش شدید دبی جریان رودخانه‌ها، افزایش قدرت تبخیر جو و بالاخره، افزایش درجه حرارت آب رودخانه‌ها همراه است. شدت خشکسالی نیز با مدت و تداوم آن بیان می‌شود و با کاهش بیلان آبی که ممکن است چندین ماه و یا حتی چندین سال به طول بینجامد همراه می‌باشد. آب و هوای ایران به دلیل واقع شدن در منطقه جغرافیایی خشک و نیمه خشک و ویژگی‌های

<sup>۱</sup> -Water Poverty Index

مرادی و بذرافشان [۸] الگوهای مکانی توزیع خشکسالی را با استفاده از مدل توزیع منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی مورد بررسی قرار داده و ویژگی‌های رخداد خشکسالی را در ایران تبیین کرده‌اند. رویداد روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه آبریز رود هراز نیز با استفاده از میانگین متحرک ۵ و ۷ ساله داده‌های بارش و رواناب توسط مرادی و عرفان زاده [۹] مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

معروفی و همکاران [۱۰] به منظور آشکارسازی تغییر اقلیم، روند و تغییرات احتمالی مشخصه‌های دمای سالانه استان همدان را در طی دوره‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ با استفاده از روش‌های متفاوت منکندال و منحنی تجمعی باقی‌مانده‌های نرمال مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده و نشان دادند که اولاً نتایج روش‌های مذکور با همدیگر هم‌خوانی دارند و ثانیاً هر دو روش از گرم‌تر شدن دمای هوای منطقه حکایت می‌کند.

مک بین [۲۰] اثرات تغییر اقلیم و رشد سریع جمعیت بر منابع آب را مورد بررسی قرار داده است. همچنین مطیعی و مک بین [۱۱] تأثیرات تغییرات آب و هوا و خشکسالی را بر منابع آب کانادا و دریاچه سوپریور (Superior lake) مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این تحقیق آمارهای بارندگی در حوضه آبریز و خود دریاچه سوپریور، رواناب حوضه و ارتفاع سطح آب دریاچه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

حسن زاده [۳] نقش عوامل اصلی و سناریوهای موثر بر کاهش تراز آب دریاچه ارومیه را با استفاده از روش تحلیل پویایی سیستم مورد بررسی قرار داده و نشان داده است که احداث چهار سد بزرگ منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در حدود ۲۵٪، تغییرات بارش بر سطح دریاچه در حدود ۱۰٪ و اضافه برداشت از منابع سطحی در حوضه آبریز ۶۵٪ در

مقیاس‌های مختلف مطالعات گسترده‌ای را انجام داده و اقدامات احتیاطی لازم را در خصوص اعمال سیاست‌های اقتصادی و اجتماعی برای تأمین و استفاده بهینه از منابع آب توصیه کرده‌اند.

اسکنازی [۱۶] با تجزیه و تحلیل دبی‌های رودخانه موز (Meuse) بالادست شهر لیژ (Liege) واقع در بلژیک، ضمن تعیین دوره‌های خشکسالی، روشی را جهت تخمین دبی خشکسالی ارائه داده است. بر اساس روش اسکنازی با دانستن بارندگی‌های سه ماه قبل (می، ژوئن و ژوئیه)، می‌توان دبی خشکسالی ماه اوت را با استفاده از رابطه زیر پیش‌بینی نمود:

$$Q_{aut} = 0.31Q_0 + 0.48P_m + 0.385P_j + 0.619P_{j1} - 76/749 \quad (1)$$

که در آن  $Q_{aut}$  و  $Q_0$  به ترتیب دبی‌های پیش‌بینی شده برای ماه اوت و در دوره آغاز خشکسالی بر حسب متر مکعب در ثانیه ( $m^3/s$ ) بوده و  $P_j, P_m$  و  $P_{j1}$  نیز به ترتیب میزان بارندگی‌ها را در ماه‌های می، ژوئن و ژوئیه بر حسب میلی‌متر (mm) نشان می‌دهند.

جیوندوتی (۱۷) با برقراری همبستگی بین دبی خشکسالی  $Q$  و بارندگی  $P$  رابطه زیر را پیشنهاد کرده است:

$$Q = 220 + 2/7 P - 0.0027 P^2 \quad (2)$$

که در آن  $Q$  ( $m^3/s$ ) دبی حداقل ماهیانه زمستان و  $P$  (mm) ارتفاع بارندگی در حوضه آبریز در ماه‌های پیشین اکتبر، نوامبر و دسامبر را نشان می‌دهند [۱۹].

ناظمی [۱۲] ضمن تبیین نقش عناصر اساسی مدیریت منابع آب، جنبه‌های مدیریت یکپارچه را در توسعه پایدار مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است.

فرج‌زاده و همکاران [۷]، خشکسالی در کشور را با اتکا بر داده‌های هواشناسی و شاخص‌های بارش میانگین ایستگاه‌های سینپتوتیک و کلیماتولوژی مورد مطالعه قرار داده و توزیع شدت و مدت خشکسالی را مشخص کرده‌اند.

ایران، برای سه مقطع زمانی ۱۹۵۵، ۱۹۹۰ و ۲۰۲۵ میلادی که مطابق با سال‌های ۱۳۳۴، ۱۳۶۹ و ۱۴۰۴ خورشیدی می‌باشد، استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است.

برای توصیف شرایط بحرانی و شدت و ابعاد آن در هر کشور نیز از دو شاخص، تنش و فشار ناشی از کمبود آب<sup>۱</sup> و همچنین کمیابی و کمبود شدید آب<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

مطالعات و شاخص‌های مذکور گویای آن است که سرانه منابع آب تجدید شونده کشورمان در سال ۱۹۹۰ میلادی (مطابق با ۱۳۶۹ شمسی)، بیش از ۲۰۰۰ متر مکعب در سال بوده و خارج از شرایط بحرانی قرار داشته است. در حالیکه در سال ۲۰۲۵ میلادی (مطابق با ۱۴۰۴ شمسی)، سرانه منابع آب تجدید شونده کشور، به دلیل رشد سریع جمعیت به حدود ۸۰۰ متر مکعب در سال کاهش خواهد یافت که نه تنها در آینده نه چندان دور، مرحله تنش و فشار ناشی از کمبود آب را تجربه خواهد کرد، بلکه با کاهش سرانه آب کشور به حدود ۸۰۰ متر مکعب در سال وارد بحران شدید کمیابی و کمبود آب خواهد شد و در جرگه کشورهای قرار خواهد گرفت که با مسائل عدیده ناشی از بحران آب دست به گریبانند.

این محققان خواهان به تعادل رسیدن جمعیت‌های انسانی با منابع آب تجدید شونده کره زمین بوده و بر این باورند که امروزه وقوع یک انقلاب آبی<sup>۱</sup> برای تأمین آب و خدمات آبرسانی به همان اندازه ضرورت دارد که انقلاب سبز<sup>۲</sup> در تولید مواد غذایی برای تغذیه میلیاردها انسانی که پس از سال ۱۹۵۰ به جمعیت جهان اضافه می‌شد، ضرورت داشت. بر اساس آمار و ارقام موجود، جمعیت جهان در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۴۰ تا ۲۰۰۰ میلادی حدود دو برابر و میزان مصرف آب شیرین چهار برابر

کاهش تراز آب دریاچه در سال‌های اخیر تاثیر داشته است.

ضرغامی و همکاران [۲۳] نیز اخیراً تاثیر تغییر اقلیم بر آسیب پذیری منابع آب را به طور موردی در خصوص شهر تبریز مورد بررسی قرار داده و نقش منفی تغییر اقلیم بر منابع آب تبریز را به وضوح تبیین کردند.

در این تحقیق، ضمن برآورد پتانسیل منابع آب کشور، با بررسی بیلان هیدرولوژیکی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، علل و شرایط وقوع خشکسالی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور، داده‌های هیدرومتئورولوژی برای یک دوره دراز مدت با اتکا به قوانین همبستگی بین بارندگی‌ها و دبی جریان از یکسو و برازش قوانین تجربی احتمالاتی از سوی دیگر، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و روابط تجربی احتمالاتی قابل کاربرد برای منطقه مورد مطالعه استنتاج و ارائه شده‌اند.

### تنش و فشار ناشی از کمبود آب و رخداد خشکسالی

علاوه بر رخداد خشکسالی، رشد سریع و بی‌رویه جمعیت در مناطق خشک و نیمه خشک نیز یکی از مهم‌ترین موانع دست‌یابی به توسعه پایدار محسوب می‌شود که تاثیر آن بر مدیریت منابع آب نیز بسیار جدی و هشدار دهنده است، زیرا که از یک سو باعث افزایش مصرف آب و خدمات آبرسانی می‌شود و از سوی دیگر، به لحاظ افزایش حجم فاضلاب‌های خانگی و شهری و پساب فرآیندهای صنعتی و آب‌های زهکشی کشاورزی، مشکلات و مسائل عدیده را بر سر راه حفظ کیفیت محیط زیست و به ویژه مدیریت پایدار منابع آب و خاک پدید می‌آورد.

انگلمان و لوروی (۱۵) با اتکا به اطلاعات و پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد در خصوص نقش رشد جمعیت در ایجاد بحران جهانی آب مطالعاتی انجام داده‌اند که بر اساس آن روند افزایش جمعیت و کاهش سرانه آب در یک‌صد کشور جهان، از جمله

<sup>1</sup> -Stress

<sup>2</sup> -Scarcity

<sup>1</sup> - Blue Revolution

<sup>2</sup> -Green Revolution

کلید توزیع ناموزون زمانی و مکانی منابع آبی موجود و نیازهای آبی بوده و موجب بروز مسائل حاد حال و آینده می‌گردد. مقدار بارش‌های جوی متوسط سالیانه این کشور تقریباً ۲۵۸ میلی‌متر است که حدوداً بیشتر از یک سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها یعنی ۶۶۰ میلی‌متر و کمتر از یک سوم بارندگی متوسط کره زمین یعنی ۸۶۰ میلی‌متر می‌باشد [۱۴۶،۴].

در جدول ۱ توزیع منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای حوضه‌های آبریز شش‌گانه کشور ارائه و مورد مقایسه قرار گرفته و پتانسیل منابع آبی کشور برآورد شده است [۲]. مطابق جدول ۱ مجموعه پتانسیل منابع آبی سالیانه کشور حدود ۱۲۸/۵ میلیارد متر مکعب است که به صورت زیر توزیع شده است:

– منابع آب‌های سطحی سالیانه کشور حدود ۷۹/۵ میلیارد متر مکعب است که شامل ۶۲ درصد کل منابع آبی کشور می‌گردد.

– منابع آب‌های زیرزمینی حدود ۴۹ میلیارد متر مکعب است که شامل ۳۸ درصد کل منابع آب‌های کشور می‌گردد.

شده است که اگر روند افزایش جمعیت به همین منوال ادامه یابد با توجه به محدود بودن میزان آب شیرین قابل استحصال، امکان چهار برابر شدن مصرف آب در آینده دیگر امکان پذیر نخواهد شد و در نتیجه بروز بحران کمبود شدید آب در اغلب نقاط جهان بسیار محتمل خواهد بود [۱۵]؛ بنابراین لازم است اولاً کنترل جمعیت کشور در صدر امور قرار داده شود و جزو اولی‌ترین راهبردهای ملی قلمداد شود و ثانیاً در استفاده از منابع آب، پایداری و تداوم بلند مدت آن در مدنظر قرار گیرد و بهره‌برداری از منابع آب شیرین تا بدان حد مجاز دانسته شود که طبیعت و چرخه طبیعی آب قادر به احیاء و تولید مجدد آن منابع باشد و یا به بیان دیگر، نرخ مجاز برداشت از منابع آب همواره باید از قانون طبیعت تبعیت نماید نه از نیازهای بشر به آب.

#### پتانسیل منابع آب کشور

ایران در کمربند جغرافیایی خشک و نیمه خشک قرار گرفته و آب و هوای خشک در این کشور حاکم بوده که به طور سریع از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. همین تنوع آب و هوایی حاکم در کشور،

جدول ۱ مقایسه توزیع منابع آب در حوضه‌های آبریز مختلف کشور

کد حوضه آبریز	نام حوضه آبریز	مساحت حوضه آبریز (km <sup>۲</sup> )	بارندگی متوسط سالیانه P(mm)	منابع آب متوسط سالیانه (Mm <sup>۳</sup> )	
				سطحی	زیرزمینی
۱	دریای خزر	۱۷۷۰۰۰	۴۸۵/۸	۱۴۸۶۵	۵۱۴۰
۲	خلیج فارس و دریای عمان	۴۳۰۰۰۰	۳۶۴/۶	۴۵۵۹۱	۹۸۳۳
۳	دریاچه ارومیه	۵۲۷۰۰	۴۳۴/۱	۵۴۱۳	۱۸۰۲
۴	مرکزی	۸۳۱۰۰۰	۱۶۳	۶۷۹۹	۲۸۲۰۴
۵	دریاچه هامون	۱۰۵۶۰۰	۱۰۸/۱	۳۴۱۵	۴۰۲۴
۶	سرخس	۴۳۹۰۰	۲۳۸/۳	۳۴۱۵/۶	
جمع	—	۱۶۵۰۰۰۰	۲۵۸	۷۹۴۹۸/۶	۴۹۰۰۳

## بیان آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

بررسی بیان آبی حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که سالانه حدود ۴ میلیارد متر مکعب آب از منابع سطحی و زیرزمینی موجود در این حوضه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. از این مقدار در حدود ۵۶/۵ درصد از منابع آب‌های سطحی بوده و ۴۳/۵ درصد بقیه سهم آب‌های زیرزمینی می‌باشد. از کل آب مورد بهره‌برداری ۹۳/۲ درصد در بخش کشاورزی، ۵/۷ درصد در بخش شرب و بهداشت و تنها ۱/۱ درصد در بخش صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. پتانسیل منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه که یک حوضه درون‌گراست و جریان‌های سطحی و زیرزمینی آن نهایتاً به دریاچه ارومیه تخلیه می‌شود، حدود ۲۰/۳۳ میلیارد متر مکعب است که پتانسیل آب سطحی ۳۳/۱ درصد آن است. رودخانه‌های آجی چای و زربینه‌رود از رودخانه‌های پر آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده که متوسط آبدهی سالانه آن‌ها در محل ورود به دشت در ایستگاه‌های ونبار و ساریقمیش به ترتیب حدود ۱۴ و ۵۶ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. حجم جریان سطحی تولیدی در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۶/۷۳ میلیارد متر مکعب بوده که ۹۵ درصد از آن در ارتفاعات و بقیه در دشت‌ها تولید می‌شود. حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعتی معادل ۵۱۳۳۱/۶ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران بین طول‌های (۴۷-۵۲ و ۴۴-۱۳) و عرض‌های (۳۸-۳۰ و ۳۵-۳۹) درجه گسترده شده و یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور به شمار می‌رود و با کد ۳ مشخص

گردیده است. از کل وسعت این حوضه حدود ۲۰ درصد دشت، ۶۷ درصد ارتفاعات و بقیه را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد؛ بنابراین قسمت اعظم این حوضه یعنی ۶۷ درصد آن کوهستانی است، در نتیجه بخش عمده نزولات جوی این حوضه را رژیم برفی تشکیل می‌دهد. با استفاده از داده‌های هیدروکلیماتولوژی و آمار پایه منابع سطحی و زیرزمینی، بیان حوضه آبریز دریاچه ارومیه مطابق جدول ۲ به تفکیک دشت، ارتفاعات و پهنه آبی دریاچه ارائه شده بیانگر آن است که حجم کل ریزش‌های جوی در سطح حوضه آبریز حدود ۱۹/۵۸ میلیارد متر مکعب بوده و سهم ارتفاعات، دشت و پهنه آبی دریاچه ارومیه به ترتیب ۷۵/۲۶، ۱۵/۹۲ و ۸/۸۲ درصد می‌باشد. مقدار جریان سطحی تولید شده از طریق بارندگی جمعاً حدود ۶۳۰۷/۵۲ میلیون متر مکعب است که سهم جریان در ارتفاعات، ۶۰۵۷/۸۵ و در دشت‌ها ۲۴۹/۶۷ میلیون متر مکعب و میزان تبخیر و تعرق واقعی نیز حدود ۱۱۵۱۶/۵۶ میلیون متر مکعب است که سهم تبخیر و تعرق در ارتفاعات، دشت‌ها و پهنه آبی دریاچه به ترتیب ۷۳۷۵/۹۸، ۲۴۱۲/۷ و ۱۷۲۷/۸۸ میلیون متر مکعب می‌باشد. از کل میزان نفوذ در سطح حوضه آبریز که حدود ۴۵۴/۵۲ میلیون متر مکعب برآورد شده است حدود ۱۳۰۲/۸۷ میلیون متر مکعب آن در ارتفاعات و مابقی حدود ۴۵۴/۵۲ میلیون متر مکعب در دشت‌ها می‌باشد [۱].

جدول ۲ بیان هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز دریاچه ارومیه

موقعیت	کمیت‌ها	مساحت حوضه آبریز		بارندگی P(Mm <sup>۳</sup> )	جریان سطحی Q(Mm <sup>۳</sup> )	تبخیر و تعرق E(Mm <sup>۳</sup> )	نفوذ I(Mm <sup>۳</sup> )
		km <sup>۲</sup>	%				
ارتفاعات	۶۷	۳۴۳۹۲/۱۷	۶۷	۱۴۷۳۶/۷	۶۰۵۷/۸۵	۷۳۷۵/۹۸	۱۳۰۲/۸۷
دشت	۲۰	۱۰۲۶۶/۳۲	۲۰	۳۱۱۶/۸۹	۲۴۹/۶۷	۲۴۱۲/۷	۴۵۴/۵۲
دریاچه	۱۳	۶۶۷۳/۱۱	۱۳	۱۷۲۷/۸۸	—	۱۷۲۷/۸۸	—
جمع	۱۰۰	۵۱۳۳۱/۶	۱۰۰	۱۹۵۸۱/۴۷	۶۳۰۷/۵۲	۱۱۵۱۶/۵۶	۱۷۵۷/۳۹

قسمت سفلی نیز از کوه‌های سه‌پند تا حوالی آذرشهر محدود می‌گردد [۱].

بیشترین ارتفاع حوضه آبریز آجی چای حدود ۳۸۸۲ متر در شمال شرقی و کم‌ترین ارتفاع آن برابر ۱۲۸۰ متر در سواحل دریاچه ارومیه می‌باشد. بارندگی حوضه آبریز از حدود ۸۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات شرقی تا حدود ۲۵۰ میلی‌متر در نزدیکی سد و نیار متغیر است. متوسط بارندگی حوضه تا سد و نیار حدود ۳۸۸ و در تبریز ۳۰۰ میلی‌متر است.

مجموعه شرایط توپوگرافی و اقلیمی حاکم در حوضه آبریز آجی چای، موجب ایجاد شرایط ویژه در وضعیت توزیع کمی و کیفی و زمانی و مکانی جریان این رودخانه گردیده است. از جمله خصوصیات بارز این حوضه عبارت از پایین بودن ضریب رواناب آن می‌باشد. به طوری که با داشتن سطح حوضه آبریز حدود ۷۷۲۳ کیلومتر مربع، ضریب جریان آن حدود ۱۴ درصد می‌باشد. همچنین مقدار حداکثر سیلاب اندازه‌گیری شده در طول دوره آماری در ایستگاه و نیار حدود ۴۲۲ متر مکعب در ثانیه می‌باشد که علت اصلی آن را می‌توان ناشی از وجود دشت‌های وسیع و کم شیب حوضه آبریز با زهکشی بسیار ضعیف آن مرتبط دانست [۱].

مشخصات پارامترهای متوسط ماهیانه آب و هوایی منطقه تبریز در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح آزاد دریای آزاد نشان می‌دهد که حداکثر درجه حرارت متوسط ماهیانه در مرداد و حداقل آن در دی ماه در این منطقه به وقوع می‌پیوندد. در حالی که حداکثر و حداقل مقادیر بارش‌ها به ترتیب برای ماه‌های فروردین و مرداد ثبت شده است. مقدار تبخیر حداکثر در فصل تابستان و حداقل آن در فصل زمستان اندازه‌گیری شده است. مقدار رطوبت نسبی حداکثر به مقدار ۷۹٪ و حداقل نیز ۴۵٪ به ترتیب در ماه‌های دی و مرداد اتفاق افتاده است.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه متأثر از دو نوع اقلیم می‌باشد. مناطق کم ارتفاع دارای اقلیم خشک سرد و مناطق مرتفع آن از نوع اقلیم نیمه خشک سرد است و در برخی از مناطق نیز میکروکلیمای خاص حاکم می‌باشد. سردترین ناحیه، ارتفاعات رودخانه آجی چای و گرم‌ترین آن اطراف دریاچه ارومیه می‌باشد. حوضه تلفیق دریاچه ارومیه تحت تاثیر جبهه‌های ورودی هوا به کشور از شمال و شمال غرب بوده که منشأ قطبی و مدیترانه‌ای دارند و به علت تمرکز سیستم کم فشار اغلب ریزش‌های جوی از اوایل مهرماه تا اواخر اردیبهشت ماه اتفاق می‌افتد. در بقیه ماه‌های سال به دلیل تمرکز سیستم پر فشار، ریزش‌های جوی کمتر به وقوع می‌پیوندد. پر باران‌ترین ناحیه حوضه آبریز دریاچه ارومیه، منطقه جنوب دریاچه با مقدار بارش سالیانه حدود ۴۶۸ میلی‌متر و کم باران‌ترین آن منطقه شمال دریاچه با میزان بارندگی حدود ۲۹۲ میلی‌متر است. فصول مرطوب و خشک حوضه به ترتیب مربوط به بهار و تابستان می‌باشد.

از رودخانه‌های بسیار مهم در استان آذربایجان شرقی، رودخانه آجی چای است که آب‌های سطح‌الارضی منطقه نسبتاً وسیع از این استان یعنی شهرستان‌های تبریز، سراب، بستان آباد، هریس و اسکو را جمع‌آوری و به دریاچه ارومیه تخلیه می‌کند. این رودخانه در دره‌ای که ما بین کوه‌های ارسباران غربی، قوشه‌داغ و سبلان از شمال و کوه‌های بزقوش و سه‌پند از جنوب قرار گرفته است، در جهت عمومی شرقی-غربی جریان دارد. طول این رودخانه تا محل دلتای دریاچه ارومیه حدود ۲۷۶ کیلومتر بوده و مساحت حوضه آبریز آن حدود ۱۳۸۵۳ کیلومتر مربع است. رودخانه آجی چای مشتمل بر دو قسمت علیا و سفلی است که در قسمت علیا از شرق به خط‌الراس کوه‌های سبلان و از شمال به کوه‌های قوشه‌داغ و از جنوب به کوه‌های بزقوش محدود می‌شود و در

### تجزیه و تحلیل قوانین همبستگی و تعیین دوره‌های خشکسالی

با استفاده از داده‌های آماری بارش‌های جوی  $P(\text{mm})$  و دبی جریان  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  که به صورت ماهیانه و سالیانه محاسبه شده است. با برقراری رابطه همبستگی بین این دو متغیر، معادلات زیر استنتاج گردیده است.

رابطه همبستگی بین دبی متوسط سالیانه  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  و بارندگی سالیانه  $P(\text{mm})$  با ضریب همبستگی  $R = 0/669$ :

$$Q = 0/0001P^2 - 0/0114P + 7/792 \quad (3)$$

رابطه همبستگی بین دبی متوسط ماهیانه  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  و بارندگی متوسط ماهیانه  $P(\text{mm})$  برای مهرماه (اکتبر) با ضریب همبستگی  $R = 0/877$ :

$$Q = 0/0017P^2 - 0/0444P + 0/9941 \quad (4)$$

روند تغییرات دبی متوسط سالیانه  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  نسبت به بارندگی سالیانه  $P(\text{mm})$  و همچنین دبی  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  و بارندگی  $P(\text{mm})$  متوسط ماهیانه برای مهرماه (اکتبر) به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده و روابط همبستگی با ضریب همبستگی نسبتاً خوب استنتاج گردیده است.

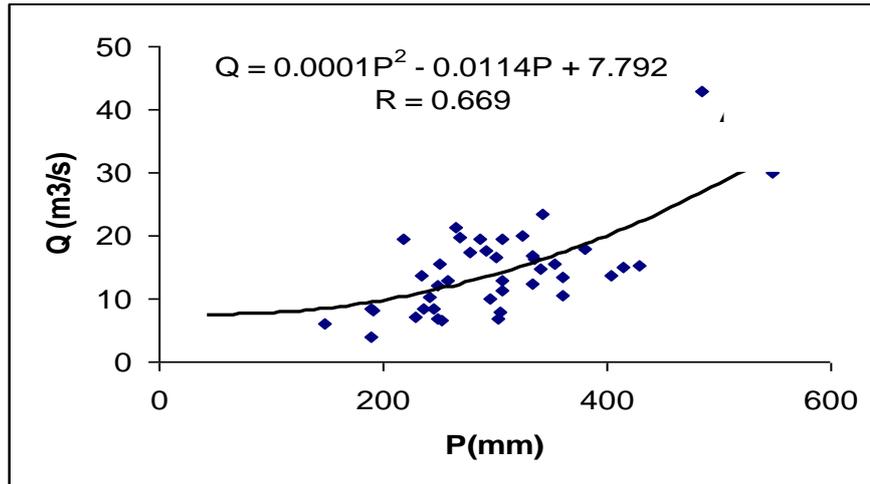
رابطه همبستگی بین تبخیر و تعرق  $E(\text{mm})$  و درجه حرارت  $T(^\circ\text{C})$  و رطوبت نسبی  $H(\%)$  نیز در ایستگاه ونیار با ضریب همبستگی بسیار بالا  $R = 0/999$  به شرح زیر برقرار گردیده است:

$$E = 118 + 26/5 T - 156/8 H - 35/9 T.H \quad (5)$$

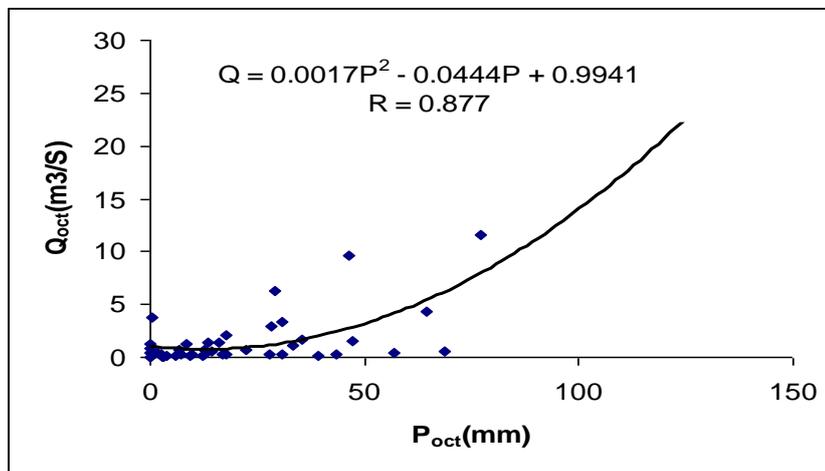
تغییرات مقدار بارش‌های جوی سالیانه برای یک دوره آماری دراز مدت در شکل ۳ ارائه شده است. مقدار بارش‌های متوسط سالیانه  $\bar{P}$  برای یک دوره دراز مدت در این منطقه حدود ۳۰۰ میلی‌متر محاسبه شده است. به طوری که شکل ۳ نشان می‌دهد در

برخی از سال‌ها، دوره خشکسالی و در برخی از سال‌ها دوره‌های ترسالی به وقوع پیوسته است. در شکل ۴ نیز تغییرات دبی جریان رودخانه آجی چای در ایستگاه ونیار برای یک دوره زمانی دراز مدت ترسیم گردیده است که مقدار متوسط دبی جریان رودخانه آجی چای در ایستگاه ونیار حدود  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  به دست آمده است. مقایسه روند تغییرات بارش‌ها و دبی جریان نسبت به سال آبی در ایستگاه هیدرومتری ونیار نشان می‌دهد که تطابق و همخوانی خوبی بین تغییرات بارش‌ها و دبی جریان در سال‌های آماری برقرار است و روند رخداد دوره‌های خشکسالی و ترسالی شکل‌های ۳ و ۴ همدیگر را تأیید می‌کنند.

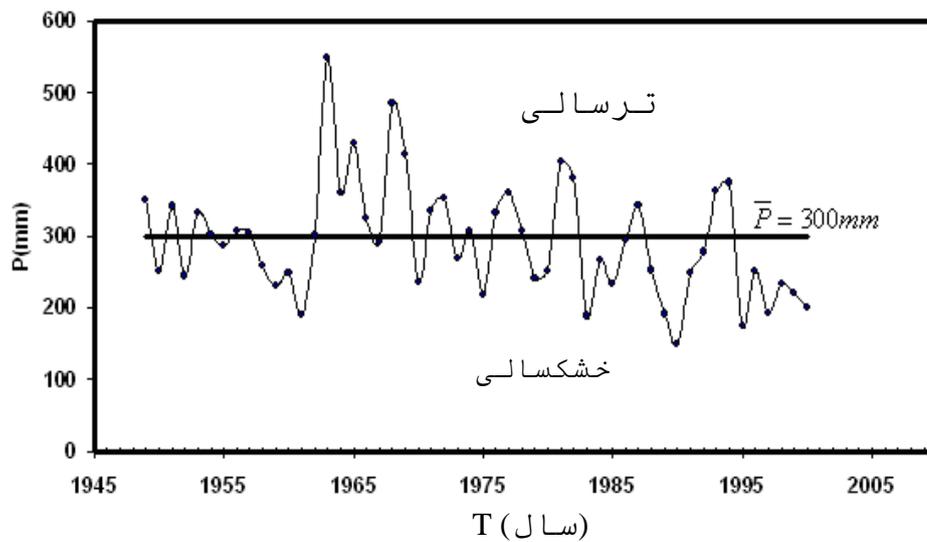
روند تغییرات بارش‌ها و دبی جریان متوسط ماهیانه نیز به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ برای ماه‌های دی (ژانویه) تا آذر (دسامبر) ارائه شده است. از بررسی روند تغییرات بارش‌ها و دبی‌های جریان متوسط دراز مدت ماهیانه نیز می‌توان ماه‌های خشک سال را که در آن مقدار بارش‌ها و دبی‌های جریان متوسط ماهیانه کمتر از مقدار متوسط دراز مدت آن‌ها هستند، برای ماه‌های اواخر بهار تا اوایل پاییز مشخص نمود. از بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری بارندگی‌های سالیانه برای فاصله زمانی ۱۳۷۹-۱۲۹۸ (۲۰۰۰-۱۹۴۹)، می‌توان توزیع ناموزون زمانی بارندگی‌ها را در برخی از دوره‌ها نظیر ۱۳۴۰-۱۳۴۱ (۱۹۶۱-۶۲) تا ۱۳۳۷-۱۳۳۶ (۱۹۵۷-۵۸)، ۱۳۷۱-۱۳۷۰ (۱۹۹۱-۹۲) تا ۱۳۶۸-۱۳۶۷ (۱۹۸۸-۸۹) و ۱۳۸۰-۱۳۷۹ (۲۰۰۱-۲۰۰۰) تا ۱۳۷۵-۱۳۷۴ (۱۹۹۵) که بیانگر رخداد خشکسالی شدید می‌باشد، استنتاج نمود.



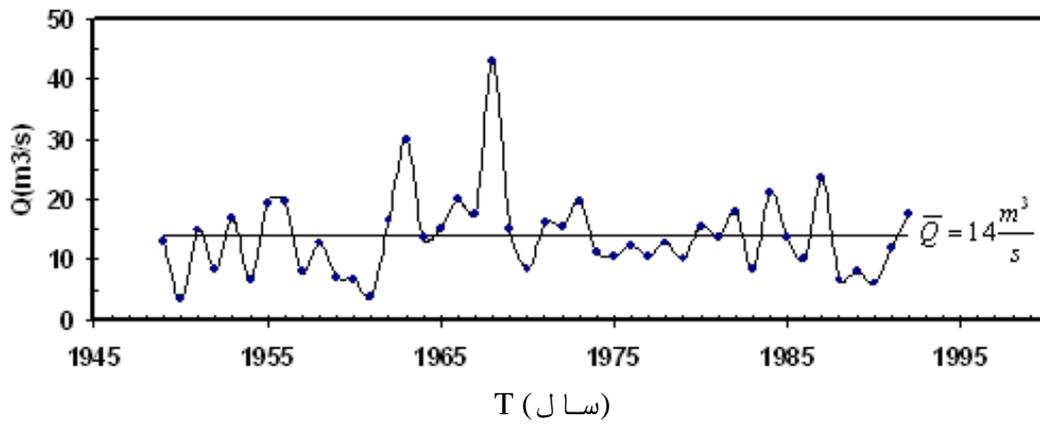
شکل ۱- رابطه همبستگی بین دبی و بارندگی متوسط سالانه



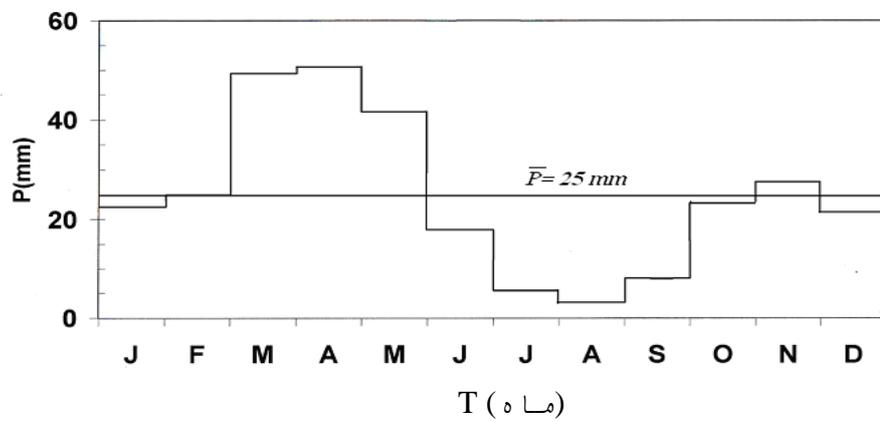
شکل ۲- رابطه همبستگی بین دبی و بارندگی متوسط ماهیانه مهرماه (اکتبر)



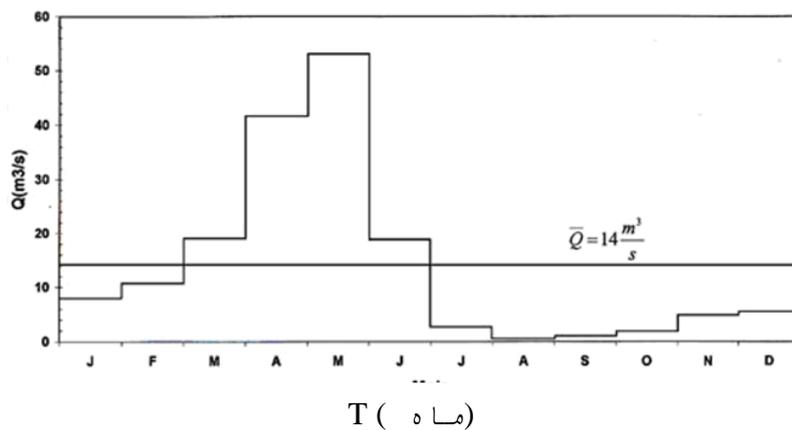
شکل ۳- تغییرات بارندگی سالانه در منطقه تبریز



شکل ۴- تغییرات دبی متوسط سالیانه رودخانه آجی چای در ایستگاه هیدرومتری ونیار



شکل ۵- توزیع بارندگی متوسط ماهیانه در منطقه تبریز



شکل ۶- توزیع دبی متوسط ماهیانه رودخانه آجی چای در ایستگاه هیدرومتری ونیار

## فرکانس تجربی داده‌ها

با مرتب کردن داده‌های هیدرولوژیکی بارش  $P$  و دبی  $Q$  به صورت صعودی، فرکانس تجربی تجاوز نکرده به دست می‌آید و اگر این متغیرها به ترتیب نزولی مرتب شوند، فرکانس تجربی تجاوز کرده حاصل می‌شود که با رابطه زیر توصیف می‌شود:

$$F_{\text{exp}}(X_i) = \frac{i-0.5}{n} \quad (۶)$$

که در آن:  $F_{\text{exp}}(X_i)$  بیانگر تابع توزیع تجربی،  $i$  بیانگر ترتیب داده‌های مشاهده شده آماری،

$n$  بیانگر تعداد نمونه و  $\frac{1}{n}$  عکس آن نشانگر دوره برگشت تجربی می‌باشد (۵۶، ۱۳، ۱۴).

در این تحقیق متغیرهای بارش  $P$  و دبی  $Q$  به صورت صعودی مرتب شده که در آن تعداد  $n = ۵۲$  برای بارش و  $n = ۴۴$  برای داده‌های دبی جریان می‌باشد.

تابع توزیع تجربی  $F(X)$  و یا به طور ساده  $F_i$ ، احتمال وقوع متغیر  $X$  را به صورت احتمال تجاوز نکرده از مقدار  $X$  بیان می‌کند که به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$F(X) = P[X \leq x] \quad (۸)$$

بنابراین  $F(x)$  تابع تجاوز نکرده  $X$  است، به نحوی که:

$$0 \leq F(X) \leq 1$$

قوانین توزیع متغیرهای بارش  $P$  در منطقه تبریز و دبی جریان  $Q$  در ایستگاه هیدرومتری و نیار پس از مرتب کردن صعودی متغیرها به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده و با استفاده از مدل ریاضی Origine، خطوط بهینه با داده‌های مشاهداتی برازش داده شده است (۱۸). شکل‌های تجربی حاصله از برازش داده‌ها به شرح زیر استنتاج شده است:

قانون توزیع بارش  $P(\text{mm})$  در منطقه تبریز و یا احتمال تجاوز نکرده  $F(\%)$  برای رخداد بارندگی  $P(\text{mm})$  مطابق شکل ۷ می‌باشد.

قانون توزیع دبی جریان  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  رودخانه آجی چای در ایستگاه هیدرومتری و نیار و یا احتمال تجاوز نکرده  $F(\%)$  برای رخداد دبی  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  در و نیار مطابق شکل ۸ می‌باشد.

در شکل‌های اخیر  $P(\text{mm})$  و  $Q(\text{m}^3/\text{s})$  به ترتیب بارش و دبی متوسط سالیانه را نشان می‌دهند.

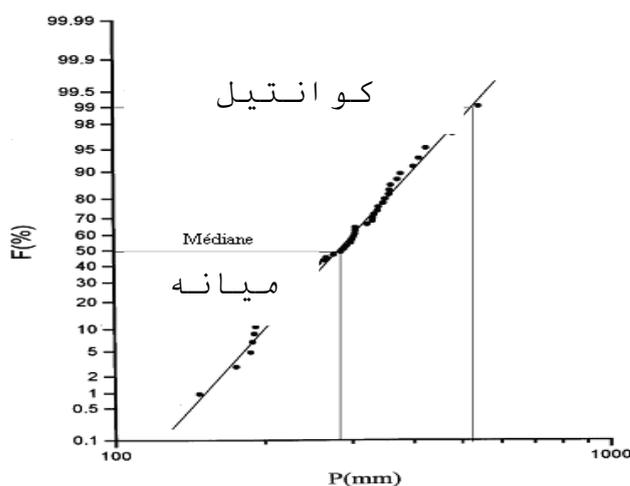


Figure 8 – Ajustement de loi de distribution des précipitations

شکل ۷- برازش فرکانس تجربی داده‌های بارندگی در منطقه تبریز

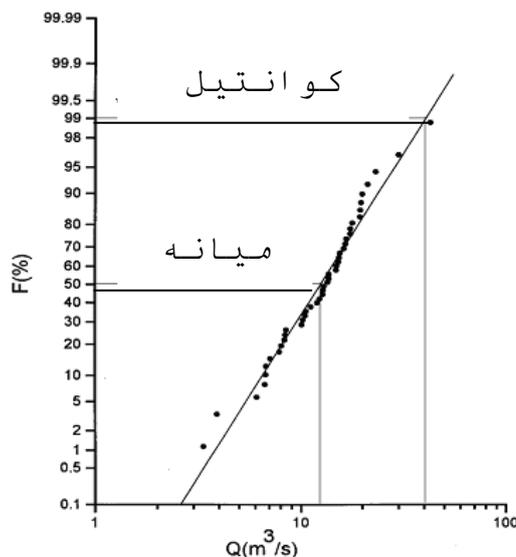


Figure 9 – Ajustement de loi de distribution des débits

### شکل ۸- برازش فرکانس تجربی داده‌های دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری و نیار

استنتاج نمود. به طوری که از شکل ۸ استفاده می‌گردد، با احتمال ۹۹٪ (کوانتیل)، دبی رودخانه آبی چای در ایستگاه هیدرومتری و نیار از مقدار  $40m^3/s$  تجاوز نخواهد کرد و تنها ۱٪ شانس وجود دارد که دبی این رودخانه در ایستگاه مذکور از مقدار  $40m^3/s$  تجاوز نماید و مطابق شکل ۸ با احتمال ۵۰٪ (میانہ)، دبی این رودخانه در ایستگاه و نیار از حدود  $14m^3/s$  کمتر خواهد بود. در حالی که مطابق شکل ۷ با احتمال ۹۹٪ (کوانتیل)، مقدار بارش از حدود ۵۱۰ میلی‌متر در سال تجاوز نخواهد کرد و تنها با ۱٪ احتمال مقدار بارش از این مقدار متجاوز خواهد بود.

#### نتیجه‌گیری

از آنچه بیان شد نتایج زیر حاصل می‌شود:

- بررسی بیلان آبی حوضه آبریز آبی چای جهت برنامه‌ریزی و دستیابی به توسعه پایدار از ضروریات ویژه است.
- ذخیره و کنترل آب‌های سطحی و زیرزمینی فصول تر سالی‌ها جهت استفاده در مواقع خشکسالی از طریق احداث سدهای

#### تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج

در این تحقیق مقادیر دراز مدت بارش  $\bar{P} = 300mm$  و دبی جریان  $\bar{Q} = 14m^3/s$  به عنوان معیار و مبنای تعیین دوره‌های خشکسالی و ترسالی در حوضه آبریز رودخانه آبی چای در ایستگاه هیدرومتری و نیار انتخاب گردیده است که با معیارها و مبنای انتخابی موجود در ادبیات فن مطابقت دارد. (۱۳، ۱۶، ۱۹). بدین معنی که بازاء  $P < \bar{P}$  و دبی  $Q < \bar{Q}$  شرایط خشکسالی و بازاء  $P > \bar{P}$  و  $Q > \bar{Q}$  شرایط ترسالی در منطقه مورد مطالعه حاکم می‌گردد، که با مراجعه به شکل‌های (۳) و (۴) می‌توان دوره‌های خشکسالی و ترسالی را برای حوضه آبریز رودخانه آبی چای در ایستگاه هیدرومتری و نیار تعیین و به منطقه مورد مطالعه تعمیم داد. در شکل‌های (۵) و (۶) نیز تغییرات بارش و رواناب متوسط ماهیانه و متوسط دراز مدت ارائه گردیده است که با استفاده از آن‌ها می‌توان ماه‌های خشک را برای فصول تابستان استنتاج نمود. با دانستن کمیت‌های بارش  $P(mm)$  و رواناب  $Q(m^3/s)$  نیز می‌توان فرکانس‌های متناظر  $F_i(%)$  را به ترتیب از شکل‌های (۷) و (۸) استخراج و

- ذخیره‌ای با هدف جوابگویی به نیازهای بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب از ضروریات مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود.
- ۱- برقراری رابطه همبستگی بین بارش و رواناب گویای حاکمیت رژیم برفی-بارانی در حوضه آبریز رودخانه آجی چای است.
- ۲- از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های هیدرومتئورولوژی می‌توان دوره‌های خشکسالی را تعیین نمود.

### منابع

۱. «بی نام»، ۱۳۷۸، مرکز تحقیقات منابع آب (تماب) - معاونت تلفیق مطالعات، گزارش اطلس منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه، سازمان مدیریت منابع آب ایران.
۲. «بی نام»، ۱۳۷۰، دفتر بررسی‌های منابع آب، بولتن وضعیت منابع آب، شماره ۴.
۳. حسن زاده، ا. ۱۳۸۹، تعیین سهم تاثیر ساخت سازه‌های هیدرولیکی بر کاهش تراز آب دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
۴. صفوی، ح. ر. ، ۱۳۸۸، هیدرولوژی مهندسی، انتشارات ارکان دانش.
۵. ضیائی، ح. ، ۱۳۷۰، کاربرد قوانین آماری در هیدرولوژی مهندسی، (ترجمه) دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی.
۶. علیزاده، ا. ، ۱۳۸۵، اصول هیدرولوژی کاربردی، آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا، مشهد.
۷. فرج زاده، م. ، موحد دانش، ع. ا؛ و قائمی، ه. ، ۱۳۷۵، خشکسالی در ایران، با استفاده از برخی شاخص‌های آماری، مجله دانش کشاورزی، شماره‌های ۱ و ۲، جلد ۵.
۸. مرادی، ا؛ و بذرافشان، ج. ، ۱۳۸۰، بررسی الگوهای مکانی توزیع خشکسالی، با استفاده از مدل توزیع منطقه‌ای خشکسالی هواشناسی، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
۹. مرادی، ح. ر؛ و عرفان زاده، ر. ، ۱۳۸۰، بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در حوضه رود هرآز، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
۱۰. معروفی، ص. مریانجی، ز. حسین زاده طلائی، پ. ، ۱۳۸۸، بررسی روند و تغییرات احتمالی مشخصه‌های دمای سالانه استان همدان در طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶، مجله علوم و مهندسی آبیاری.
۱۱. مطیعی، ه. مک بین، ا. ۱۳۸۷، ارزیابی تأثیرات تغییرات آب و هوا و خشکسالی بر منابع آب کانادا (مطالعه موردی دریاچه Superior)، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

۱۲. ناظمی، ا. ح.، ۱۳۸۰، توسعه پایدار منابع آب-جنبه‌های مدیریت یکپارچه، اولین کنفرانس بین‌المللی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب «دانشگاه زابل».

13. Aivazian, S. , 1970 ,Étude statistique des dépendances, Editions MIR Moscou.
14. Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W.,1988, Applied Hydrology, Mc Graw Hill Book Company.
15. Engelman, R. and Leroy, P., 1993 ,Sustaining Water, Population and the future of Renewable Water Supplies, Population Action International.
16. Eskenazi, E., 1985 ,The Forecast of Drought Discharges of the River Meuse, Vth World Congress on Water Resources, Belgium.
17. Giondotti, 1931, Association International d'Hydrologie Scientifique, Bulletin No 16,.
18. Hassanzadeh, Y., 2003, prévision des périodes de sécheresse, Recueil des communications, hydrotop, Marseille- France.
19. Larras, J., 1972, prévision et prédétermination des étiages et des crues, Erolles, Paris.
20. McBean, E.A., 2008, Global climate change, its projected impacts on water resources, 3<sup>rd</sup> Iran Water Resources Management Conference, University of Tabriz, Faculty of Civil Engineering.
21. Ravnborg, H. M., 2006 ,Water Management and the Poor: Issues and Scales of Action, Water International, Vol. 31, No.3.
22. Sullivan, C. and Meigh, J., 2006 ,Application of the Water poverty Index at different Scales: A Cautionary Tale, Water International, Vol. 31, No. 3.
23. Zarghami, M., Hassaanazadeh, Y., Babaeian, I., Kanani, R., 2009, Climate change and water resources vulnerability; Case study of Tabriz city, SENSE Symposium on climate proofing cities, Amsterdam, Volendam.