

## تحلیل روند خشکسالی هیدرولوژیکی در ایستگاه هیدرومتری دریان چای

جمشید یاراحمدی

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی  
yarahmadi@itc.nl

### چکیده

این تحقیق، با هدف پایش خشکسالی های هیدرولوژیکی در رودخانه دریان چای در بازه زمانی ۳۱ ساله (سال آبی ۱۳۶۱-۶۲ تا ۱۳۹۲-۹۳) در شمال دریاچه ارومیه اجرا شده است. مشخصات خشکسالی های هیدرولوژیکی از قبیل: زمان وقوع، مدت، شدت و حداقل دبی مشاهده شده در طول رخداد خشکی از روش سطح آستانه با بکارگیری نرم افزار NIZOWKA2003 محاسبه و استخراج شده است. در اینجا، مقادیر سطح آستانه از منحنی مدت جریان (FDC) انتخاب شده و دوره های ریز و وابسته دو سویه خشکی نیز با اعمال روش IC از سری رخدادهای خشکی مشاهداتی حذف شدند. تحلیل فراوانی براساس سری های جزئی (PDS) و با برازش توابع توزیعی مختلف جهت بررسی احتمال وقوع رخدادهای خشکی، شدت و مدت آن صورت گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان داد که در مجموع ۳۸ دوره خشکی هیدرولوژیکی در این رودخانه رخ داده و دو سوم آن، دارای تداومی بیشتر از ۲۰۰ روز هستند. از نظر توزیع زمانی وقوع دوره های خشکی، حدود ۷۱ درصد (تعداد ۲۷ رخداد) در فصل بهار شروع شده است. در مقابل، حدود ۳۹ درصد (۱۴ رخداد خشکی) از مجموع رخدادهای خشکی شناسائی شده در اسفندماه خاتمه یافته اند. بزرگترین رخداد خشکی، دارای تداومی ۵۷۷ روزه بوده و دو ماه بعد از آن، دومین دوره بزرگ خشکی با تداوم ۳۶۵ رخ داده است. کسری جریان سطحی ناشی از وقوع دوره های خشکی در این رودخانه، معادل ۱۱۷ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. این موضوع و تعمیم آن به دیگر رودخانه های حوزه آبریز دریاچه ارومیه و تاثیر آن در کاهش سطح آب این دریاچه و خشک شدن آن بسیار حائز اهمیت است.

واژه های کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیکی، سطح آستانه، NIZOWKA2003 و دریان چای

## مقدمه:

خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که در مقایسه با مخاطرات طبیعی دیگر نظیر بارش های سنگین و سیلاب ها بطور خزنده و بطئی شکل گرفته، در مقیاس منطقه ای عمل کرده و گسترش می یابد. خشکسالی برخلاف خشکی که از ویژگی های نواحی اقلیمی خشک و نیمه خشک بوده و نوعی ویژگی دائمی آب و هوایی یک منطقه است یک پدیده موقتی بوده و محدود به نواحی اقلیمی خشک و نیمه خشک نمی باشد و با انحراف از شرایط نرمال مشخص می گردد. این پدیده در مناطقی که شدیداً متکی به آب می باشند اثرات تخریبی به مراتب گسترده تری خواهد داشت و می تواند کشاورزی و اقتصاد این مناطق را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد.

خشکسالی به چهار نوع هواشناسی<sup>۱</sup>، هیدرولوژیک<sup>۲</sup>، کشاورزی<sup>۳</sup> و اقتصادی اجتماعی<sup>۴</sup> (قوامی، ۱۳۸۰). (فرج زاده، ۱۳۷۴) تقسیم می شود. متداول ترین تعریف کمی خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس تعریف یک حد آستانه می باشد که کمتر از آن جریان رودخانه به عنوان خشکسالی هیدرولوژیک در نظر گرفته می شود (Byczkowski و همکاران، ۲۰۰۲). فراوانی و شدت خشکسالی های هیدرولوژیک غالباً در مقیاس یک آبخیز یا حوضه آبریز رودخانه بیان می شود. گرچه همه خشکسالی ها از کمبود بارش منشأ می گیرند لیکن هیدرولوژیست ها بیشتر به این موضوع توجه دارند که این کمبود چگونه در سیستم هیدرولوژیک ظاهر می شود؟ خشکسالی های هیدرولوژیک معمولاً با تأخیر بیشتری نسبت به خشکسالی های هواشناسی یا کشاورزی رخ می دهند (Wilhite, ۲۰۰۰).

امروزه تعداد زیادی از مطالعات صورت گرفته در مورد خشکسالی های هیدرولوژیک بر پایه روش سطح آستانه<sup>۵</sup> بوده که بر اساس تئوری (Run, ۱۹۶۷) بنا گذاشته شده است. بر اساس این دیدگاه، خشکسالی بعنوان طول دوره ای که در آن متغیرهای هیدرولوژیک (دبی) پائین تر از سطح آستانه مشخصی قرار می گیرند معرفی شده است.

(Hisdal و Tallaksen, ۲۰۰۰) با استفاده از روش سطح آستانه و روش تحلیل کمبود جریان خشکسالی های کل قاره اروپا را بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. متخصصین کشورهای اروپائی در دو پروژه مشترک به نام ARIDE و FRIEND پدیده خشکسالی هیدرولوژیک را در سطح قاره اروپا در دست مطالعه دارند. در این پروژه، خشکسالی هیدرولوژیک و آبهای سطحی و ارتباط آنها با تغییر سیستم های سینوپتیکی در سطح قاره اروپا مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی این پروژه بررسی و تحقیق پیرامون رژیم جریانهای سطحی و رودخانه ها در مقیاس منطقه ای در سطح اروپا و شناسایی چگونگی تغییرات زمانی و مکانی آن می باشد. هدف پروژه ARIDE نیز شناخت شدت، بزرگی، فراوانی، گستره مکانی و تغییرات فصلی خشکسالی در رودخانه های اروپا و چگونگی روند آن در سالهای آینده عنوان شده است (Hisdal و Stahl, ۲۰۰۴).

(وفاخواه، ۱۳۷۸) در تحقیق خود اقدام به برآورد فراوانی منطقه ای جریانات حداقل رودخانه های فصلی منطقه مرکزی- حوضه دریاچه نمک با استفاده از آمار ۲۲ ایستگاه هیدرومتری انتخابی نمودند. جریانات حداقل انتخابی ایشان ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه بوده که از طریق ترسیم منحنی های تداوم جریان سالانه بدست آورده بودند ایشان بعد از آزمون هشت تابع توزیع آماری مختلف، تابع توزیع احتمال لوگ نرمال سه پارامتری را بعنوان مناسب ترین آنها انتخاب کرده و جریانات حداقل دوره های مذکور را با دوره برگشت های مختلف برای حوضه دریاچه نمک برآورد کرده اند. (خزائی و همکاران، ۱۳۸۲) در تحقیقی به تحلیل توزیع فراوانی خشکسالی هیدرولوژیک حوضه رودخانه قره سو پرداختند. در این تحقیق با استفاده از آمار روزانه جریان رودخانه ی قره سود در دو ایستگاه ده کهنه و قورباغستان در یک دوره آماری ۴۳ ساله از شاخص جریان حداقل سالیانه در تحلیل فراوانی استفاده کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که توزیع لوگ پیرسون نوع سوم بهترین برازش را داده های جریان حداقل سالیانه ایستگاه های مورد مطالعه داشته و با استفاده از آن، سری جریان سالیانه برای تداوم های ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ روزه را در سطح اطمینان ۹۵ درصد و برای دوره های بازگشت مختلف محاسبه کردند و نشان دادند که دبی جریان حداقل روزانه برای تداوم های ۱ الی ۳۰ روزه در هر دو ایستگاه تغییرات چندانی نسبت به هم ندارند.

1 - Meteorological Drough  
2 - Hydrological Drought  
3- Agricultural Drought  
4 -Social -Economic Drought  
5- Truncation level

(مرید و همکاران، ۱۳۸۴) در پروژه‌های اقدام به طراحی سیستم پایش خشکسالی در استان تهران کرده که در آن از شاخص‌های مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده کردند. در این فعالیت، با استفاده از روش چانگ و آمار بلند مدت ایستگاه‌های هیدرومتری کرج و جاجرود در قسمت آب‌های سطحی در بازه زمانی (۸۰-۱۳۵۰) و بیلان آب زیرزمینی دشت کرج اقدام به طراحی سیستم پایش خشکسالی با انجام تغییرات جزئی در آن نمودند.

(اسدی و همکاران، ۱۳۸۴) در قالب یک طرح تحقیقاتی به سفارش سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، اقدام به تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی حوزه آبریز آجی چای در استان آذربایجان شرقی نمودند. در این طرح، با استفاده از داده‌های بلند مدت دبی ماهانه (سال آبی منتهی به ۱۳۸۳) پنج ایستگاه هیدرومتری واقع در آن حوضه و با استفاده از تئوری ران خصوصیات خشکسالی از قبیل تداوم، حداکثر مقدار کمبود حجم و مجموع مقدار کمبود حجم برای هر دوره خشکی هر یک از ایستگاه‌های پنجگانه را محاسبه کرده و بمنظور پیش بینی رویدادهای خشکسالی در سال‌های آتی از مدل‌های مختلف سری‌های زمانی استفاده کردند و در نهایت پس از انتخاب بهترین مدل که مناسب ترین برازش را با داده‌های مشاهداتی داشته اقدام به تولید آمار دبی‌های ماهانه برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه کرده و از روی آمار تولید شده با استفاده از تئوری ران مشخصات خشکسالی‌های آتی پیش بینی نمودند.

(نصرتی و همکاران، ۱۳۸۵) برای مطالعه خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه آبریز اترک با روش تحلیل منطقه‌ای، از داده‌های روزانه ۱۲ ایستگاه آب سنجی استفاده کرده و جریان کمینه با تداوم هفت روزه در هر ایستگاه را محاسبه نمودند. (بایزیدی و همکاران، ۱۳۸۹) با استخراج منحنی تداوم جریان از سری زمانی داده‌های روزانه ایستگاه پل شالو واقع در حوضه کارون اقدام به تحلیل خشکسالی‌های هیدرولوژیکی آن نمودند. ایشان با استفاده از تئوری ران و انتخاب دبی Q70 بعنوان سطح آستانه، با استخراج سری‌های حداکثر سالانه (AMS) برخی ویژگی‌های دوره‌های خشکی از قبیل مدت، کمبود حجم و شدت و... را برای ایستگاه پل شالو در بازه زمانی (۸۰-۱۳۳۶) محاسبه کردند. نتایج بررسی‌های آنها نشان داد که سری‌های حداکثر سالانه خشکسالی با سطح آستانه انتخابی فوق الذکر از توزیع پارامتر تعمیم یافته (GP1) تبعیت می‌کند. براساس یافته آنها، اغلب دوره‌های خشکی دارای دوره بازگشت زیر ۳۰ سال بوده و بیشترین مقادیر کمبود حجم خشکسالی‌ها به ۱۱ سال اول و ۵ سال آخر دوره آماری مورد بررسی‌ها محدود می‌شد.

(بایزیدی و ثقفیان، ۲۰۰۹) پهنه بندی خشکسالی‌های رودخانه ای در جنوب غرب ایران را با انتخاب سطح Q70 براساس دبی روزانه ۵۴ ایستگاه هیدرومتری انجام دادند. در این تحقیق، تحلیل فراوانی ویژگی‌های دوره‌های خشکی از قبیل شدت و مدت را براساس سری‌های حداکثر سالانه (AMS<sup>۲</sup>) انجام داده و از ۳۵ متغیر مستخرج از برخی پارامترهای فیزیوگرافی، اقلیمی و زمین شناسی منطقه جهت تجزیه و تحلیل عاملی بمنظور انتخاب مناطق همگن هیدرولوژیکی استفاده کرده اند.

(طبری و همکاران، ۲۰۱۳) اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی در شمال غرب ایران کردند که نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که تقریباً تمامی ایستگاه‌ها از خشکسالی شدید رنج می‌برند.

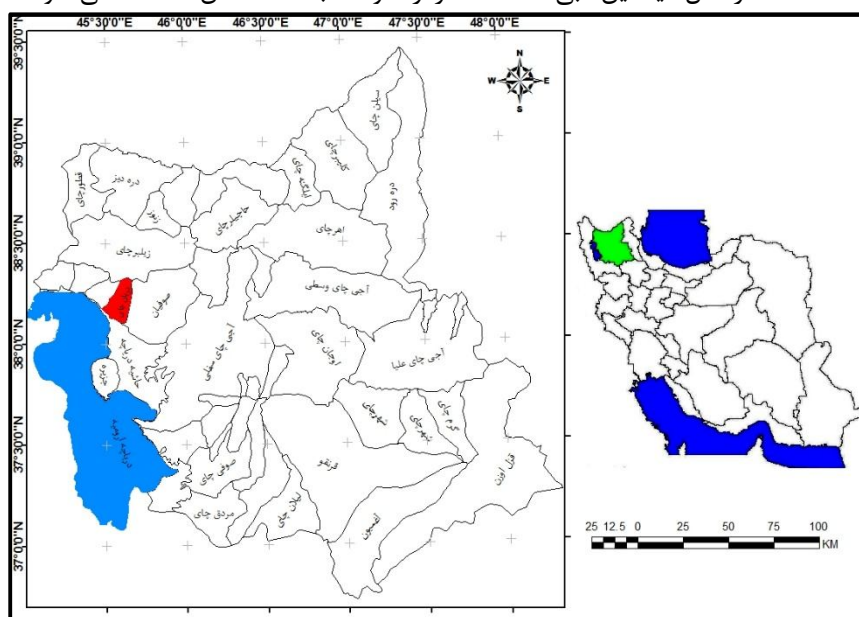
(خسروی و همکاران، ۱۳۹۴) به بررسی و تحلیل زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرو لوژیکی در استان تهران نمودند که نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که تاثیر همزمان وقع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی بیانگر عکس العمل هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه و زیرحوضه‌های آن می‌باشد.

واقعیت این است که تاکنون پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه خشکسالی‌های هیدرولوژیکی در ایران زیاد نبوده و مطالعات انجام شده در این زمینه در مقایسه با خشکسالی‌های هواشناسی، بسیار اندک بوده و عمده مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته نیز خشکسالی‌های هیدرولوژیکی را در بازه زمانی ماهانه و سالانه مد نظر قرار داده‌اند

## روش تحقیق:

### موقعیت دریاں چای

این ایستگاه بر روی رودخانه دریاں چای تاسیس شده است. ایستگاه دریاں چای از کنار ناحیه دشتی در مختصات جغرافیایی ۳۷° و ۴۵° طول شرقی و ۱۴° و ۳۸° عرض شمالی در ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته که حاکی از شیب تند بستر می باشد. مساحت حوضه آبخیز دریاں چای ۶۲/۶ کیلومترمربع می باشد (شکل ۱). بررسی ارقام جریانات ماهانه آن نشان می دهد که در هیچ ماهی از سال جریان به صفر نرسیده و رودخانه کاملاً دائمی می باشد. محاسبات متکی بر ارقام اندازه گیری شده این رقم میانگین جریان سالانه را در بازه زمانی (۹۳-۱۳۶۱) برابر ۰/۴۳ مترمکعب در ثانیه برابر ۳/۶ میلیون مترمکعب در سال نشان می دهد. بررسی مقادیر دبی مربوط به جریانات ماهانه در این ایستگاه نشان می دهد که اوج اصلی جریان در دو ماهه اول بهار می باشد که منشاء آن بارش های بهاری و ذوب برف می باشد. در این رودخانه ۸ ماه از سال میانگین دبی ماهانه کمتر از متوسط بلند مدت آن مشاهده می شود.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوزه آبخیز دریاں چای (به رنگ قرمز)

### روش کار:

در این تحقیق، برای تشخیص و بررسی خشکسالی های هیدرولوژیکی در حوزه دریاں چای از روش سطح آستانه استفاده شده است. مطابق این روش، خشکسالی های هیدرولوژیکی به دوره های اطلاق می شود که در آن جریان رودخانه ای کمتر از مقدار حد آستانه انتخابی باشد.

مراحل اجرای بصورت فهرست وار بشرح زیر می باشد:

۱. آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری دریاں چای از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی تهیه گردید.
۲. با کنترل طول دوره آماری ایستگاه هیدرومتری دریاں چای، سال آبی (۱۳۵۱-۵۲) مناسب ترین زمان شروع دوره آماری انتخاب شده است
۳. تبدیل آمار روزانه از تاریخ هجری شمسی به میلادی جهت استفاده در برنامه NIZOWKA2003
۴. آماده سازی داده های دبی با فرمت txt داده های دبی روزانه ایستگاه های هیدرومتری حوزه دریاں چای جهت استفاده در برنامه کامپیوتری NIZOWKA2003
۵. انتخاب حد آستانه با تهیه منحنی مدت جریان (FDC<sup>۱</sup>) بر مبنای آمار دبی روزانه ایستگاه جهت آگاهی از رژیم جریان آن رودخانه و انتخاب مقدار عددی سطح آستانه.

۶. استخراج داده‌های مربوط به ویژگی‌های دوره‌های خشکی هیدرولوژیکی از قبیل: مدت، شدت یا کمبود حجم، زمان شروع و خاتمه دوره‌های خشکی، تاریخی که حداقل رواناب مشاهده شده در رودخانه در طی دوره خشکی محاسبه شده. محاسبه و استخراج دوره-های خشکی هیدرولوژیکی با استفاده از برنامه کامپیوتری NIZOWKA2003 و بر مبنای روش سطح آستانه صورت گرفته است. این برنامه از روش<sup>۱</sup> c جهت ادغام دوره‌های ریز خشکی استفاده می‌کند. بدین منظور، بایستی در این قسمت از برنامه مقادیر مناسب برای tc (حداقل فاصله زمانی بین دو دوره خشکی متوالی) بطوریکه فاصله زمانی دو دوره خشکی متوالی کمتر از این مقدار باشد آن وقت آن دو دوره در هم ادغام شده و dmin (حداقل مدت دوره خشکی) بطوریکه اگر مدت یک رخداد خشکی کمتر از این مقدار باشد بعنوان یک رخداد خشکی مستقل در نظر گرفته نخواهد شد.

۷. تحلیل فراوانی ویژگی‌های رخداد‌های خشکی هیدرولوژیکی: بعد از اینکه ویژگی‌های رخداد‌های خشکی از قبیل کسری جریان و مدت دوره خشکی رودخانه در بیان چای که بر اساس سری زمانی جزئی (PDS) بروش سطح آستانه محاسبه شده و دوره‌های ریز و وابسته آن نیز بروش معیار داخلی (IC) در دوره‌های بزرگتر خشکی ادغام شدند، توزیع احتمالاتی و تحلیل فراوانی دوره‌های خشکی بتفکیک برای احتمال وقوع تعداد رخداد خشکی و مشخصات دوره‌های خشکی (مدت و کسری حجم) با برازش انواع مختلف توزیع‌های آماری و انتخاب مناسب ترین آنها بر مبنای مقادیر نکوئی برازش (کای اسکور) با استفاده از برنامه کامپیوتری NIZOWKA2003 محاسبه شده است. در این جا فرض بر آن است که ویژگی‌های خشکسالی‌ها بصورت تصادفی و مستقل بوده و وقوع آنها تابع قانون توزیع پواسون می باشد. در همین راستا، تابع توزیع بزرگترین رخداد خشکسالی جریان رودخانه‌ای برای فاصله زمانی مورد نظر مطابق پیشنهاد زیلینهایسک و سالوائی (۱۹۸۷) با استفاده از معادله زیر محاسبه شده است.

$$F_t(x) = \Pr(Z_t = 0) + \sum_{k=1}^{\infty} H_t^k(x) \Pr(Z_t = k) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن:

$F_t(x)$ : تابع توزیع احتمال بزرگترین رخداد خشکسالی جریان رودخانه ای (بصورت کمبود جریان یا مدت) در فاصله زمانی مورد نظر  $\{0, t\}$

$\Pr(Z_t = k)$ : احتمال اینکه k رخداد‌های خشکی در مدت فاصله زمانی  $\{0, t\}$  اتفاق بیفتند که همان فرایند توزیع پواسون است. برنامه NIZOWKA2003 بغیر از توزیع پواسون، توزیع احتمالاتی پاسکال را نیز در این قسمت برازش می‌دهد و یکی از اینها بر اساس مقادیر کای اسکوار انتخاب می‌کند.

$H_t(x)$ : تابع توزیع همه وقایع دوره‌های خشکی (بصورت کمبود جریان یا مدت) در فاصله زمانی مورد نظر  $\{0, t\}$ .

در اینجا، توزیع‌های احتمالاتی: پیرسون تیپ سه، ویبول، لوگ نرمال، جانسون، مجذورنمایی<sup>۲</sup>، توزیع پارانو تعمیم یافته<sup>۳</sup> جهت برازش مدت و شدت رخداد‌های خشکی شناسائی شده بکار گرفته شده و نهایتاً مناسب‌ترین توزیع بر اساس برازش نکوئی و مقادیر کای اسکوار انتخاب خواهد شد. محاسبه دوره بازگشت  $T(x)$  بر اساس احتمال تجمعی رخداد خشکی محاسبه می‌شود. بر اساس احتمال تجمعی  $F_x(x)$ ، احتمال تجاوز از حد معین  $E_x(x)$  بصورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$F_x(x) = \Pr\{X \leq x\} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$E_x(x) = \Pr\{X > x\} = 1 - F_x(x) \quad \text{معادله (۳)}$$

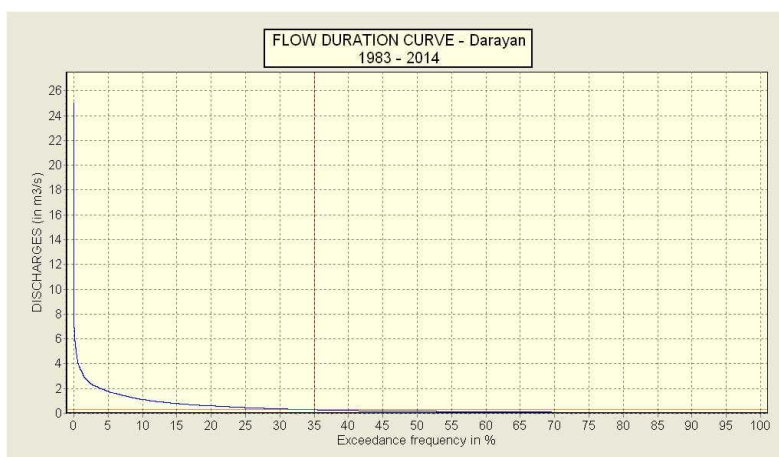
بعداز آن دوره بازگشت بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$T(x) = \frac{1}{E_x(x)} = \frac{1}{1 - F_x(x)} \quad \text{معادله (۴)}$$

## نتایج:

### انتخاب سطح آستانه

همانطوریکه ذکر شد، جهت انتخاب سطح آستانه، از منحنی تداوم جریان (FDC<sup>۱</sup>) استفاده شده است. شکل (۲) منحنی تداوم جریان در محل ایستگاه هیدرومتری دریان را نشان می‌دهد. براساس اطلاعات موجود در این تصویر و بررسی اطلاعات آماری سری آمار دبی‌های مشاهداتی و نهایتاً قضاوت‌های کارشناسی سطح آستانه در محل این ایستگاه ۳۵ درصد در نظر گرفته شد که معادل دبی ۰/۲۹ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.



شکل ۲: منحنی مدت جریان (FDC) در محل ایستگاه هیدرومتری دریان

### حذف دوره‌های خشک ریز و وابسته

باتوجه باینکه استفاده از سطح آستانه با سری داده‌های دبی روزانه در مقایسه با پایه‌های زمانی طولانی‌تر (ماهانه و سالانه)، اطلاعات ریز و دقیق‌تری از وضعیت رودخانه ارائه می‌دهد؛ با این وجود، استفاده از آن دو تا مشکل عمده در بر خواهد داشت. یکی از این مشکلات مربوط به دوره‌های ریز خشکسالی بوده و دیگری رخداد‌های متوالی خشکسالی‌های وابسته دوطرفه<sup>۲</sup> می‌باشد. در تحقیق حاضر، از روش روش معیار داخلی یا همان IC<sup>۴</sup> جهت حذف دوره‌های خشکی ریز و وابسته استفاده شده است. بدین منظور، معیار  $d_{min}$  ۲۰ روز و  $t_c$  نیز ۱۳ روز انتخاب شد.

### استخراج مشخصات دوره‌های خشکی هیدرولوژیکی:

در همین راستا، بعد از انتخاب سطح آستانه و انجام تنظیمات مربوط به حذف دوره‌های ریز خشکی، مشخصات دوره‌های خشکی هیدرولوژیکی آب‌های سطحی رودخانه دریان‌چای در محل ایستگاه هیدرومتری دریان طی سال آبی (۶۲-۱۳۶۱) تا (۹۳-۱۳۹۲) استخراج شده است. بر همین اساس، در مجموع ۳۸ دوره خشکی هیدرولوژیکی در این رودخانه شناسایی شده است. تقریباً نزدیک به دو سوم از این تعداد (۲۰ رخداد خشکی) دارای تداومی بیشتر از ۲۰۰ روز هستند. بزرگترین طول دوره خشکی ۵۷۷ روز تداوم داشته است که از اواخر خرداد سال ۱۳۶۷ شروع شده و اواسط اسفند ۱۳۶۸ خاتمه می‌یابد. انتهای این دوره خشکی تقریباً با شروع بارش‌های بهاره سال بعدی انطباق داشته بطوریکه در ادامه، دومین دوره بزرگ خشکی هیدرولوژیکی نیز با فاصله کمتر از دو ماه با تداوم ۳۶۵ روز از اول اردیبهشت ماه سال ۱۳۶۹ شروع و تقریباً در انتهای خرداد ماه سال ۱۳۷۰ خاتمه می‌یابد. اگر فاصله دو ماه این دو دوره خشکی را

1Flow Duration Curve(FDC)

2Minor drought

3Mutual dependency

4 Interevent Critria

در نظر نگیریم؛ می توان گفت که یک دوره خشکسالی هیدرولوژیکی با تداوم ۹۵۰ روزه در محل این ایستگاه شناسایی شده از سال ۱۳۶۷ شروع شده و به سال ۱۳۷۰ خاتمه می یابد و در حقیقت بزرگترین دوره خشکسالی در این حوزه آبخیز بشمار می رود. شدت خشکسالی هانیز به تبعیت از تداوم آن بوده بطوریکه شدیدترین دوره های خشکی نیز به ترتیب با ۸۹۸۷ و ۶۱۳۳ هزار مترمکعب منطبق همان بزرگترین دوره های خشکی هیدرولوژیکی یاد شده می باشد. محاسبات این جدول نشان می دهد که در طول ۳۱ سال این تحقیق، در مجموع بالغ بر ۱۱۷ میلیون مترمکعب کاهش حجم جریان سطحی در این رودخانه داشته ایم. این موضوع و تعمیم آن به دیگر رودخانه های حوزه آبریز دریاچه ارومیه و تاثیر آن در کاهش سطح آب این دریاچه و خشک شدن آن بسیار حائز اهمیت است.

### بررسی توزیع احتمالاتی وقوع رخداد های خشکی:

در تحقیق حاضر، چندین توزیع احتمالاتی از قبیل: توزیع پیرسون تیپ سه، ویبول، لوگ نرمال، جانسون، مجذورنمایی<sup>۱</sup>، توزیع پاراتو تعمیم یافته<sup>۲</sup> جهت برازش مدت و شدت رخداد های خشکی شناسایی شده مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب مناسب ترین توزیع احتمالاتی برای هر کدام از آنها براساس نتایج آزمون نکوئی برازش (کای اسکوار) و معیار آکایکا<sup>۳</sup> انجام گرفت. نتایج آزمون نکوئی برازش در زمینه تداوم جریان حداقل نشان داد که توزیع پواسن مناسب ترین توزیع آماری احتمال وقوع رخداد خشکی بوده و از میان توزیع های مختلف احتمالاتی نیز، توزیع آماری ویبول مناسب تر از بقیه براساس مقادیر معیار آکایکا (۱۶/۴۰) و کای اسکوار (۰/۰۵) انتخاب شد. نتایج مربوط به محاسبات احتمالاتی مختلف به روش توزیع ویبول برای تداوم خشکی هیدرولوژیکی در جدول شماره (۱) برای رودخانه دریا چای در محل ایستگاه هیدرومتری دریا ن ارائه شده است. همانطوریکه از اطلاعات این جدول مشخص است، وقوع دوره خشکی حداقل ۱۳ روزه با احتمال زیاد در این رودخانه همیشه وجود دارد. در این میان، حداکثر مدت خشکی مشاهداتی ۵۷۸ روز با احتمال عدم تجاوز ۰/۹۹ درصد در محل ایستگاه دریا ن برآورد گردید.

در ارتباط با شدت دوره های خشکی شناسایی شده نیز، مناسب ترین توزیع های احتمالی همانند مشخصه تداوم دوره های خشکی به ترتیب توزیع احتمالی پواسن و ویبول تشخیص داده شد. در اینجا مقادیر کای اسکوار (۰/۰۵۵) و معیار آکایکا (۲۱/۸۸) بدست آمد. نتایج محاسبات احتمالاتی شدت خشکی هیدرولوژیکی در سطوح مختلف به روش ویبول برای رودخانه دریا چای در محل ایستگاه آبسنجی دریا ن نشان داد که حداکثر کسری حجم آب ۱۳۷۳۰ هزار مترمکعب با احتمال وقوع پائین (۰/۰۱ درصد) می باشد. در مقابل، بالاترین احتمال وقوع شدت خشکی (حدود ۷۰ درصد) در رودخانه دریا چای ۲۵۳ هزار متر مکعب برآورد شده است. در این میان، برای احتمال وقوع شدت خشکی بالاتر از این حد، مقدار کسری جریان صفر محاسبه شده است.

### محاسبه دوره های بازگشت تداوم و شدت خشکی هیدرولوژیکی:

نتایج محاسبات احتمالاتی تداوم خشکی هیدرولوژیکی و شدت آن در دوره های بازگشت مختلف برای رودخانه دریا چای در جدول شماره (۱) ارائه شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که در ۵۰ درصد احتمال امکان وقوع دوره خشکی با تداوم ۱۷۰ روزه و شدت ۲۲۷۶ هزار مترمکعب با دوره بازگشت ۲ ساله وجود دارد. احتمال وقوع دوره های خشکی با تداوم بیشتر و شدت های بالاتر، کمتر از ۵۰ درصد بوده و این امر نشان می دهد که احتمال وقوع دوره های خشکی با تداوم و شدت بیشتر دارای دوره های بازگشت طولانی تری خواهد بود. بطوریکه، طولانی ترین دوره خشکی محاسبه شده در این رودخانه با تداوم ۵۷۹ روزه با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بوده و احتمال وقوع آن یک درصد می باشد. نمودار توزیع احتمالی حداکثر مدت دوره خشکی هیدرولوژیکی در این ایستگاه در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطوریکه پیداست محور افقی آن درصد احتمال عدم وقوع و محور عمودی نیز مدت بر حسب روز را نشان می دهد. نقاط ستاره دار اطراف خط برازش داده شده نیز، توزیع مقادیر تداوم دوره های خشکی محاسباتی می باشد.

1 Double Exponential

2 Generalized Pareto

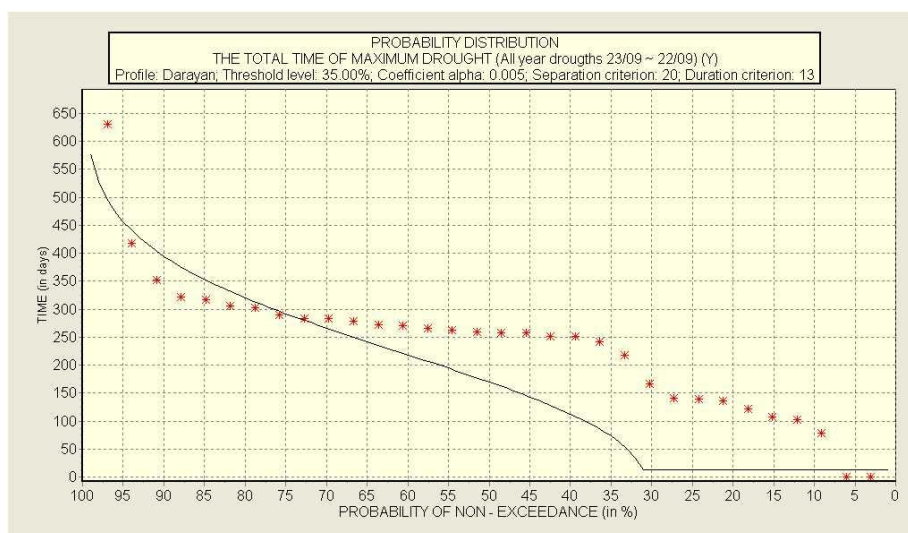
3 Akaike criterion

نمودار توزیع احتمالی برازش داده شده به روش ویبول در ارتباط با حداکثر شدت خشکی در محل ایستگاه دریان در شکل (۳) ارائه شده است. محور افقی این نمودار نیز همانند مورد قبلی، درصد احتمال عدم وقوع را بیان می کند در حالیکه محور عمودی مقادیر کسری حجم جریان بر حسب هزار مترمکعب می باشد.

همانطوریکه از این شکل ها پیداست حداکثر مقادیر تداوم دوره های خشکی و شدت آن با احتمال وقوع کمتری مطابقت داشته و برعکس، دوره های خشکی کوتاه مدت با شدت کمتر از احتمال وقوع بالاتری برخوردار است. این امر بیانگر آن است که در واحد هیدرولوژیکی دریان چای، احتمال وقوع دوره خشکی هیدرولوژیکی با شدت یک میلیون مترمکعب و تداوم ۱۰۰ روز ۹۰ درصد وجود دارد. بنابراین، ضرورت توجه به مدیریت بهینه منابع آب سطحی، با توجه به وابستگی شدید مصارف کشاورزی و عدم تغذیه مناسب جریانات سطحی از نزولات جوی و همچنین روند کاهش جریانات سطحی در سال های اخیر، بیش از پیش نمایان می شود.

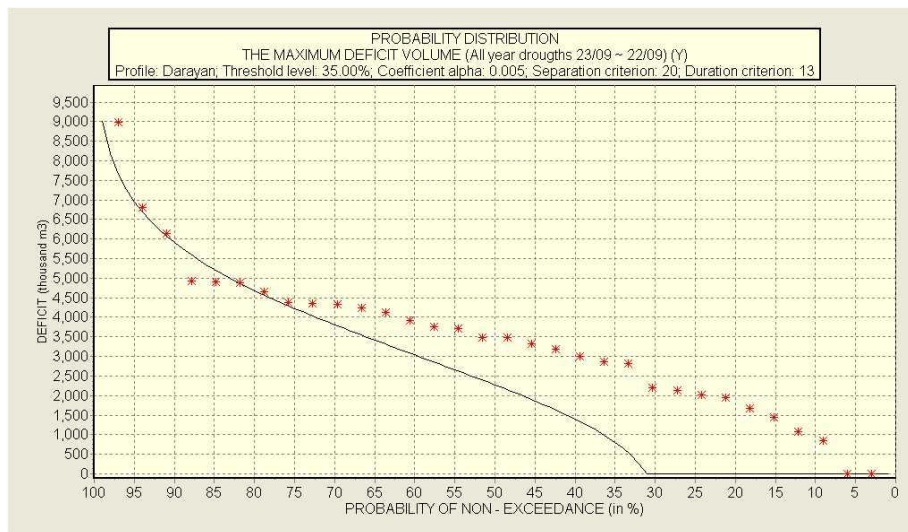
جدول ۱- نتیجه محاسبات احتمال تداوم و شدت دوره های خشکی رودخانه دریان چای

دوره بازگشت (سال)	احتمال عدم وقوع (%)	حداکثر شدت دوره خشکی کسری حجم ( $10^3 \cdot m^3$ )	حداکثر تداوم دوره خشکی مدت (روز)
۲	۵۰	۲۲۷۶	۱۷۰
۵	۸۰	۴۶۸۶	۳۲۰
۱۰	۹۰	۵۹۱۲	۳۹۴/۴
۲۰	۹۵	۶۹۵۵	۴۵۶/۸
۵۰	۹۸	۸۱۷۷	۵۲۹
۱۰۰	۹۹	۹۰۲۳	۵۷۸/۵



شکل ۳- نمودار توزیع احتمالی عدم تجاوز تداوم دوره خشکی رودخانه دریان چای - ایستگاه دریان





شکل ۴- نمودار توزیع احتمالی عدم تجاوز کسری جریان دوره خشکی رودخانه دریاں چای- ایستگاه دریاں

#### بحث و نتیجه گیری:

شناخت پدیده خشکسالی و اطلاع از خصوصیات رویدادهای بوقوع پیوسته و نیز چگونگی گسترش این پدیده در یک منطقه نیازمند تحقیق و پایش آن براساس خشکسالی های تاریخی می باشد. از این رو در تحقیق حاضر، اقدام به پایش خشکسالی های هیدرولوژیکی در واحد هیدرولوژیکی دریاں چای در محل ایستگاه هیدرومتری دریاں در شمال دریاچه ارومیه و در محدوده سیاسی استان آذربایجان شرقی نموده و مشخصات دوره های خشکی را از نقطه نظر خشکسالی جریانات رودخانه ای در بازه زمانی ۳۱ ساله (۱۳۶۱-۹۳) نموده است. در این تحقیق، استخراج دوره های خشکی و مشخصات آن، از روش سطح آستانه استفاده شده است. علیرغم اینکه این روش در سطح گسترده ای در مطالعات خشکسالی ها بکارگرفته شده (یوجویچ، ۱۹۶۷) (Sen، ۱۹۸۰)، (Dracup و همکاران، ۱۹۸۰)، (Hisdal و Tallaksen، ۲۰۰۳)، (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۴)، (Wu و همکاران، ۲۰۰۷) ولی نحوه انتخاب آن همچنان یکی از موضوعات بحث برانگیز در این قبیل مطالعات می باشد (Sharma، ۲۰۰۰)، (Byczkowski و همکاران، ۲۰۰۲). انتخاب سطح آستانه از روی منحنی مدت جریان از جمله روش های رایج می باشد بطوریکه تهیه منحنی مدت جریان ضمن فراهم آوردن امکان انتخاب سطح آستانه اطلاعات مفیدی را در زمینه رژیم جریان رودخانه ای و دبی پایه آن ارائه می دهد. درحالیکه استفاده از سری زمانی روزانه می تواند اطلاعات کامل و دقیقی از تاریخ شروع و خاتمه رخداد های خشکی ارائه کند، اما متأسفانه، استفاده از این پایه زمانی در مطالعات خشکسالی ها بخصوص خشکسالی هیدرولوژیکی در سطح جهانی و ایران زیاد رایج نبوده است. مطالعه (بایزیدی و همکاران، ۱۳۸۶) (یاراحمدی، ۱۳۹۲) تنها موارد قابل ذکر در ایران در پایه زمانی روزانه می باشد و تقریباً بقیه مطالعات در پایه زمانی ماهانه و یا سالانه بوده است. با این حال، استفاده از پایه زمانی روزانه اغلب با مشکل وجود دوره های ریز و وابسته دو سویه همراه بوده و روش های مختلفی جهت رفع این مشکل موجود است از جمله این متدها روش IC بوده و در تحقیق حاضر نیز بکار رفته شده است و کارائی این روش قبلاً توسط (زیلینهاسیک و سالوائی، ۱۹۸۷)، (Fleig، ۲۰۰۶)، (Hisdal و همکاران، ۲۰۰۴)، (Tallaksen و همکاران، ۲۰۰۴)، (Kaznowska، ۲۰۱۱)، (بایزیدی و همکاران، ۱۳۸۶) گزارش شده است.

#### منابع:

۱. اسدی، ا، فاخری فرد، ا، دین پژوه، ی، بخشمندی، ا، شیرگیر، م، ت، (۱۳۸۴)، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ارزیابی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بمنظور بررسی پدیده خشکسالی در استان آذربایجان شرقی، جلد دوم. آنالیز خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه آبریز آجی چای، سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی
۲. بایزیدی، م، ثقفیان، ب، صدقی، ح، کاوه، ف، (۱۳۸۹)، تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی حوضه کارون براساس داده‌های روزانه، فصلنامه پژوهش و سازندگی، ویژه نامه پژوهش‌های آبخیزداری، ۲۳ (۸۶)، صفحات ۶۳-۵۲
۳. قوامی، م، و (مترجمان)، (۱۳۸۰)، شاخص‌های خشکسالی، نشریه شماره ۱، دفتر برنامه ریزی آب- واحد برنامه ریزی و تخصیص آب، سازمان آب منطقه ای
۴. فرج زاده اصل، منوچهر، (۱۳۷۴)، تحلیل و پیش بینی خشکسالی در ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس
۵. مرید، س، مقدسی، م، پایمزد، ش، قائمی، ه، (۱۳۸۴)، گزارش نهایی طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
۶. نصرتی، ک، شهبازی، ا، (۱۳۸۵)، برآورد جریان کمینه به روش هیبرید در شمال شرق ایران، نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۶۰ (۳)، صفحات ۸۴۱-۸۲۹
۷. وفاخواه، م، مهدوی، م، (۱۳۷۸)، انتخاب مناسبترین تابع توزیع آماری جهت برآورد جریانهای حداقل یک و هفت روزه، پژوهش و سازندگی، شماره ۴۴، صفحات ۶۴-۶۰
۸. یاراحمدی، ج، (۱۳۹۲)، پایش روند تاریخی و پهنه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی در استان آذربایجان شرقی، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
9. Byczkowski, A., Meyer, W., Glogwska, E., (2002). Analysis of relations between the stream flow of drought parameters according to the different truncation level, Department of hydraulic engineering and environmental recultivation, Warsaw agricultural university, Ul. Norwoursynowska, internet source
10. Byzedi, M., and saghafian, B. (2009). Regional analysis of streamflow drought: A case study for sought western Iran, world academy of science, Engineering and technology
11. Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson, E.G. (1980). on the definition of droughts, water resource research, 16(2):297-302
12. Fleig, A.k., Tallaksen, L.M., Hisdal, H., and Demuth, S. (2006). A global evaluation of streamflow drought characteristics, Hydrology and Earth System Sciences, [www.hydrol-syst-sci.net/10/535/2006](http://www.hydrol-syst-sci.net/10/535/2006)
13. Hisdal, H., Tallaksen, L. M. (2000). Drought event definition, Technical Report No. 6
14. Hisdal, H., Tallaksen, L.M. (2003). Estimation of regional, meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark,” Journal of Hydrology, vol. 281, 2003, pp. 230-247
15. Hisdal, H., Clausen, B., Gustard, A., Peters, E. & Tallaksen, L.M. (2004) Event Definitions and Indices. In: Tallaksen, L.M. & Lanen, H.A.J., van eds. Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science
16. Kaznowska, EWA, and kaimierz, B. (2011). streamflow drought and probability of their occurrence in a small agricultural catchment, annals of Warsaw University of Life Science-SGGW, Land reclamation No.43(1), 57-69
17. Sen, Z. (1980). Regional drought and flood frequency analysis: theoretical consideration, Journal of Hydrology vol. 46, 1980, pp. 265-279.
18. Sharma, T. C., (2000). Drought parameters in relation to truncation levels, Hydrological Processes, 14. 1279-1288(2000), John Wiley & Sons, Ltd
19. Stahl, K. & Hisdal, H. (2004) Hydroclimatology. In: Tallaksen, L.M. & Lanen, H.A.J., van. Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V.

20. Tallaksen, L.M., Madsen, H. & Hisdal, H. (2004). Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V
21. Wilhite, D.A. (2000). Drought as a Natural hazard, Concepts and Definition, In: D.A. Wilhite(ed), drought, vol.1, A global assessment, Routledge
22. Yevjevich, V. (1967). An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts, Hydrology papers, 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.
23. Zelenhasić, E. & Salvai, A. (1987). A Method of Streamflow Drought Analysis. Water Resources Research, 23(1), 156-168