

## پایش خشکسالی در دو قرن اخیر در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از گاه‌شناختی درختی، مطالعه

### موردی حوضه کرخه

فرید فروغی<sup>۱\*</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۲</sup>، قاسم عزیزی<sup>۲</sup>، محسن ارسلانی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

و مربی دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، شیراز

۲. دانشیار مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

۴. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دیرینه، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۶/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۷/۱۸)

### چکیده

با اندازه‌گیری حلقه‌های رویشی سالیانه درختان و ساخت گاه‌شناسی از آن‌ها، امکان مطالعه و بازسازی شاخص شدت خشکسالی پالم در محدوده رویشگاه‌ها فراهم می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بازسازی شاخص شدت خشکسالی پالم با استفاده از گاه‌شناسی درختی و پایش خشکسالی در حوضه کرخه می‌باشد. در این تحقیق از شاخص گاه‌شناسی درختی منطقه‌ای زاگرس مرکزی دو گونه درختی، بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و بلوط مازو (*Quercus infectoria*) طی دوره ۱۸۴۰-۲۰۱۰ برای بازسازی شاخص شدت خشکسالی پالم در حوضه کرخه استفاده شده است. با توجه به همبستگی مثبت و معنادار شاخص شدت خشکسالی پالم با شاخص گاه‌شناسی درختی منطقه‌ای، مقادیر شاخص شدت خشکسالی پالم طی سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بازسازی شد. مقادیر محاسباتی شاخص شدت خشکسالی پالم و مقادیر بازسازی‌شده آن در دوره آماری مشترک به‌خوبی با هم مطابقت دارند. در ادامه وضعیت هیدرولوژیکی در طول دوره گاه‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه کرخه برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. شدت و تداوم خشکسالی‌ها و همچنین دهه‌هایی با بیشترین تعداد رویدادهای خشکسالی و ترسالی تعیین گردید. همچنین نتایج این تحقیق با سایر محققین نیز مقایسه گردید. بر این اساس شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) در کل دوره بازسازی ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ برای ایستگاه کاکارضا مربوط به سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۹ بوده است. شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) بازسازی‌شده در قرن ۱۹ و ۲۰ به ترتیب در سال‌های ۱۸۵۳ تا ۱۸۵۵ و ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۸ بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص شدت خشکسالی پالم، اقلیم‌شناسی درختی، حلقه‌های درختی، پایش خشکسالی، حوضه کرخه

### مقدمه

با توجه به کوتاه بودن طول دوره‌های برداشت آمار هواشناسی و هیدرولوژی در ایران، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مطالعات اقلیمی، عدم دسترسی به داده‌های مفید و درازمدت است. برای رفع این مشکل از علوم استفاده می‌گردد که با مطالعه شواهدی مانند حلقه‌های درخت، یخچال‌ها، رسوبات دریاچه‌ای و ... (که آثار اقلیمی بلندمدت را در خود ثبت می‌کند) به توان تغییرات اقلیمی را رصد نمود. یکی از این علوم، دانش اقلیم‌شناسی درختی است که با مطالعه ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و حلقه‌های درخت به بازسازی اقلیم گذشته می‌پردازد.

مطالعاتی که در زمینه اقلیم‌شناسی درختی<sup>۱</sup> انجام گرفته نشان داده است که دما و بارندگی از فاکتورهای بسیار مهم اقلیمی و تاثیرگذار بر رشد درختان می‌باشد. اگر شرایط آب و هوایی و دیگر عوامل بهینه رویشی برای رشد درخت فراهم باشد، باعث افزایش پهنای حلقه‌های سالیانه درخت می‌شود و بالعکس. درختان هر سال حلقه‌های رویشی متوالی با پهنای متفاوتی تشکیل می‌دهند و چوب جدید مطابق لایه‌های قبلی در میان چوب قدیمی و پوست درخت با تأثیرپذیری از دمای هوا، بارندگی و سایر ویژگی‌های رویشگاهی رشد می‌کند. هر درخت سالانه یک لایه چوب به تنه خود می‌افزاید که حلقه‌های کوچک مربوط به سال‌های خشک و حلقه‌های درشت مربوط به

استفاده از گاه‌شناسی درختان صنوبر گونه *Pseudotsuga menzeisii* و کاج گونه *Pinusedulis* مقدار جریان رودخانه اشلی‌کریک در شمال‌شرق یوتا برای سال‌های ۱۶۳۷ تا ۱۹۷۰ را بازسازی کردند. مدل نهایی ارائه‌شده ۷۱ درصد تغییرپذیری آورد رودخانه را توجیه می‌کند.

Arsalani (2012) دما و بارش زاگرس میانی (ایلام، کرمانشاه و لرستان) را با استفاده از گاه‌شناسی درختی دو گونه بلوط مازو (*Quercus infectoria*) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) بازسازی نمود. Arsalani *et al.* (2015) در یک تحقیقی در منطقه زاگرس میانی با استفاده از گاه‌شناسی درختان گونه بلوط مازو (*Quercus infectoria*) دمای حداکثر در ماه می-جون طی دوره ۱۸۴۰-۲۰۱۰ را بازسازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای حداکثر در فصل رویش و ماه‌های قبل از فصل رویش تأثیر منفی بر روی رویش درختان این منطقه دارند. Toucha *et al.* (2005a) در یک تحقیقی در جنوب‌غربی و جنوب ترکیه شاخص استاندارد بارندگی<sup>۱</sup> (SPI) را با استفاده از گاه‌شناسی درختان ارس گونه (*Juniperus excelsa*) را بازسازی کردند و گزارش کردند که مجموع بارندگی ماه می تا جولای بیشترین هم‌بستگی را با گاه‌شناسی درختی دارد. Touchan *et al.* (2007) در یک تحقیقی در جنوب غربی آناتولی ترکیه، بارش ماه می-ژوئن را در ۹۰۰ سال اخیر با استفاده از حلقه‌های درخت صنوبر بازسازی کردند. نتایج نشان داد که سال‌های ۱۵۱۸ تا ۱۵۸۷ مرطوب‌ترین و سال‌های ۱۱۹۵ تا ۱۲۶۴ خشک‌ترین وضعیت را داشته است. همچنین گاه‌شناسی ارائه‌شده ۵۱ درصد واریانس بارش مشاهداتی می-جون را بیان می‌کند.

Liu *et al.* (2010) با استفاده از گاه‌شناسی درختی بارش سالانه‌ی جنوب مرکزی تبت را از سال ۱۴۸۰ بازسازی کردند. آن‌ها توانستند دوره‌های ترسالی و خشکسالی منطقه را طی دوره‌ی بیان‌شده بازسازی کنند.

کشور ایران در کمربند خشک کره زمین واقع شده است و همواره با مشکل خشکسالی در بخش‌های مختلف مواجه بوده است. خشکسالی و کمبود آب می‌تواند موجب بروز بحرانهای جدی در زندگی انسانها شود و هر ساله خسارت‌های زیادی را به منابع آب سطحی و زیرزمینی، پوشش گیاهی طبیعی، کشاورزی و جامعه وارد کند. یکی از راه‌های پایش خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌باشد. در این راستا شاخصی که متغیرهای مختلف آب و هواشناسی مانند بارش، تبخیر تعرق

سال‌های مرطوب می‌باشد. به‌منظور بررسی رابطه بین حلقه‌های رویشی سالیانه و فاکتورهای اقلیمی معمولاً از درختانی استفاده می‌شود که حساسیت بیشتری نسبت به شرایط آب و هوایی دارند. در نواحی جنگلی، درختانی که در مناطق مرتفع قرار دارند نسبت به درختانی که در مناطق کم ارتفاع واقع شده‌اند، حساسیت بیشتری به تغییرات آب و هوایی دارند، تغییرات سالانه بارندگی و دما در حلقه‌های سالیانه درختان اثر می‌گذارد لذا می‌توان گفت که توالی سالانه اقلیم مساعد و نامساعد (سال-های پر باران و خشک یا گرم و سرد) بر رشد سالیانه درختان (پهنای حلقه‌های رویشی) اثر می‌گذارد که با شمارش حلقه‌های رشد و مطالعه پهنای آنها تقویم (گاه‌شناسی درختی) دقیقی از سال‌های مرطوب و خشک تهیه می‌شود (Eckstein, 2005). مطالعه حلقه‌های رویشی به‌منظور برآوردهای اقلیمی می‌تواند جانشینی برای سنجش‌های هواشناسی باشد و اطلاعات ارزشمندی را با هزینه‌ای کم برای دوره و مناطقی که فاقد اطلاعات هواشناسی هستند فراهم آورد (Eckstein, 2005). تغییر اقلیم رشد درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث می‌گردد تا بررسی وضعیت اقلیم گذشته با مطالعه حلقه‌های رویشی امکان‌پذیر باشد. به‌طور کلی، اقلیم‌شناسی درختی، به مطالعه رابطه بین متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های مرتبط با درختان حساس به شرایط آب و هوایی می‌پردازد که هدف نهایی آن بازسازی آب و هوای گذشته و فراهم نمودن داده‌های آب و هوایی طولانی‌مدت می‌باشد (Fritts, 1976). بنابراین با استفاده از گاه‌شناختی درختی می‌توان داده‌های آب و هوایی مربوط به گذشته را برای مناطق یا دوره‌های زمانی فاقد داده آب و هوایی فراهم نمود (Garcia- Suarez *et al.*, 2009).

در آلمان Wilson *et al.* (2005) بارش فصل بهار-تابستان را با استفاده از گاه‌شناسی درختان صنوبر نروژی و الوارهای باستانی منطقه جنگلی باواریا، برای یک دوری ۵۲۰ ساله بازسازی کردند و ضمن تعیین دوره‌های مرطوب و خشک به این نتیجه رسیدند که قرن ۲۰ نسبت به چهار قرن گذشته شرایط مرطوب‌تری را داشته است.

Watson and Luckman (2004) مقادیر مجموع بارندگی جون-جولای در رشته کوه‌های جنوب کانادا را با استفاده از گاه‌شناسی درختی بازسازی کردند و گزارش کردند که مجموع بارندگی جون-جولای بیشترین همبستگی را با گاه‌شناسی درختان دارد.

Patskoski (2012) از گاه‌شناسی درختی و روش رگرسیون غیر خطی برای بازسازی مقادیر جریان سالانه رودخانه در جنوب شرق ایالات‌متحده استفاده کرد. Carson and Munroe (2005) با

1. Standard Precipitation Index

دارد.

۲- شدت<sup>۲</sup>: تجمع مقادیر کمبود جریان برای تداوم واقعه مورد بررسی.

هدف از این تحقیق بازسازی و تطویل شاخص خشکسالی پالمر به منظور پایش خشکسالی، تعیین سال‌های خشک، مرطوب و نمادین در طول دوره بازسازی (۲۰۱۰-۱۸۴۰) و بررسی وضعیت هیدرولوژیکی در طول دوره گاه‌شناسی درختی (۱۷۱ سال) و تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی مرتبط با شاخص شدت خشکسالی پالمر در حوضه کرخه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مطالعاتی

مساحت حوضه رودخانه کرخه ۵۱۶۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در جنوب غرب ایران در محدوده ۵۸' ۳۰° تا ۵۶' ۳۴° عرض جغرافیای شمالی و ۴۶° ۰۶' تا ۴۹° ۱۰' طول جغرافیایی شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع حوضه از سه متر در جنوب (دشت آزادگان) تا ۳۶۴۵ متر در کوه‌های کارین متغیر است. رودخانه کرخه سومین رودخانه بزرگ کشور بر اساس متوسط آبدهی سالانه (۸/۵ میلیارد مترمکعب) است و ۹۰۰ کیلومتر طول دارد. به دلیل مساحت نسبتاً زیاد حوضه رودخانه کرخه، این منطقه در فصول مختلف سال تحت تأثیر سیستم‌های آب و هوایی مختلفی قرار می‌گیرد. اقلیم این منطقه خشک و نیمه‌خشک است (Hessari et al, 2012) و به‌طور کلی می‌توان گفت که این منطقه دارای یک فصل خشک و یک فصل بارانی می‌باشد. به دلیل ارتفاع زیاد در قسمت‌های شمالی حوضه کرخه، میزان دریافت بارش بیشتر از سایر قسمت‌های حوضه بوده و بخشی از این بارش‌ها عمدتاً به‌صورت برف می‌باشد. در قسمت‌های میانی و پائین دست حوضه کرخه، از میزان دریافت بارش‌ها کاسته می‌شود و طول دوره مرطوب نیز کم می‌شود. در جلگه‌های خشک جنوبی متوسط بارش حوضه برابر ۱۵۰ میلی‌متر است و در ارتفاعات شمالی حوضه کرخه متوسط بارش تا ۷۵۰ میلی‌متر متغیر است (Jamab consulting engineers, 2006).

در این تحقیق داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه گردید. به منظور بازسازی شاخص شدت خشکسالی پالمر واقع در محدوده حوضه کرخه (شکل ۱) از داده‌های شبکه جهانی نقاط استفاده شد که این داده‌ها از سایت سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده<sup>۳</sup> (NOAA) قابل استخراج می‌باشد.

پتانسیل، رطوبت پیشین خاک و رواناب را برای یک موازنه آبی ساده در خاک تحلیل می‌کند و شرایط خشکسالی یا ترسالی را به‌صورت پدیده‌های پویا در نظر می‌گیرد شاخص شدت خشکسالی پالمر می‌باشد (Palmer, 1965).

مطالعات گسترده‌ای در رابطه با شاخص پالمر در مناطق مختلف جهان صورت گرفته که می‌توان به مواردی مانند: Kothavala (1999) در سرتاسر استرالیا، Kim et al (2002) در حوضه رودخانه کنجوس واقع در مکزیک، Dai et al (2004) برای مناطق مختلف جهان، Yinpeng et al (2009) در سراسر جهان و Somaru et al (2011) در هند اشاره نمود که در اکثر آنها عملکرد شاخص تاحدی رضایت‌بخش بوده است.

Shafiei et al., (2011) شبیه‌سازی تصادفی شدت خشکسالی براساس شاخص پالمر در شهر مشهد را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که طولانی‌ترین دوره خشک بیش از پنج سال (از سپتامبر ۱۹۹۸ تا نوامبر ۲۰۰۳) تداوم داشته است. Azadi et al (2015) شاخص خشکسالی پالمر در حوضه‌ها مرکزی ایران در دوره آماری ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۲ را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که شدیدترین ترسالی و خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۱ بوده است.

آزمون ران<sup>۱</sup> یکی از روش‌هایی است که برای تحلیل مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از داده‌های تجربی سری زمانی استفاده می‌شود. در این روش با انتخاب یک آستانه (به‌عنوان مثال میانگین یا درصدی از آن) می‌توان دوره‌های متوالی کمبود و مازاد را تعریف نمود. به‌عنوان مثال برای یک منطقه خاص وقایع خشکسالی به این شکل تعریف می‌شود که اطلاعات تاریخی سالانه براساس میانگین درازمدت شاخص موردنظر (مثلاً شاخص خشکسالی پالمر یا جریان رودخانه)، به سال‌های خشک (کم آب) و مرطوب (پر آب) تفکیک شده و همه سال‌های متوالی که در آنها مقدار شاخص موردنظر زیر میانگین دراز مدت باشد به‌عنوان وقایع خشکسالی دسته‌بندی می‌شود. به‌طور مشابه کلیه سال‌هایی که در آنها مقدار شاخص موردنظر بالای میانگین درازمدت باشد در دسته وقایع مرطوب (پر آب) قرار می‌گیرد (Karamouz and Araghinejad, 2010; Yevjevich, 1967). نتایج حاصل از این مرحله در تعریف مشخصه خشکسالی، تداوم و شدت به‌شرح زیر لحاظ می‌گردد (Karamouz and Araghinejad, 2010):

۱- تداوم: تعداد سال‌های متوالی که مقدار شاخص موردنظر پایین میانگین درازمدت یا در دوره خشکسالی قرار

2. Severity  
3. National Oceanic and Atmospheric Administration

1. Run theory

بالاترین اطمینان جهت بازسازی متغیرهای اقلیمی بوده‌اند که این دوره زمانی اساس کار این مقاله برای بازسازی قرار گرفته است. میزان EPS با محاسبه آستانه آن که معمولاً ۰/۸۵ در نظر گرفته می‌شود، با توجه به تعداد و هم‌پوشانی نمونه‌های بکاررفته در ساخت گاهشناسی، مطمئن‌ترین بخش از گاهشناسی را جهت بازسازی نشان می‌دهد. در واقع EPS شدت سیگنال‌های موجود در یک گاهشناسی را طی یک دوره زمانی اندازه‌گیری می‌کند و آن بخش از گاهشناسی که درصد بالایی از اطمینان را به عنوان یک گاهشناسی کامل دارا می‌باشد را مشخص می‌کند. (Wigley *et al.*, 1984). میزان EPS از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$EPS(t) = \frac{t\bar{r}_{bt}}{t\bar{r}_{bt} + (1-\bar{r}_{bt})} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن:  $t$  تعداد درختان و  $\bar{r}_{bt}$  میانگین همبستگی بین تمام سری‌های زمانی حلقه‌های درختی رویشگاه می‌باشد.

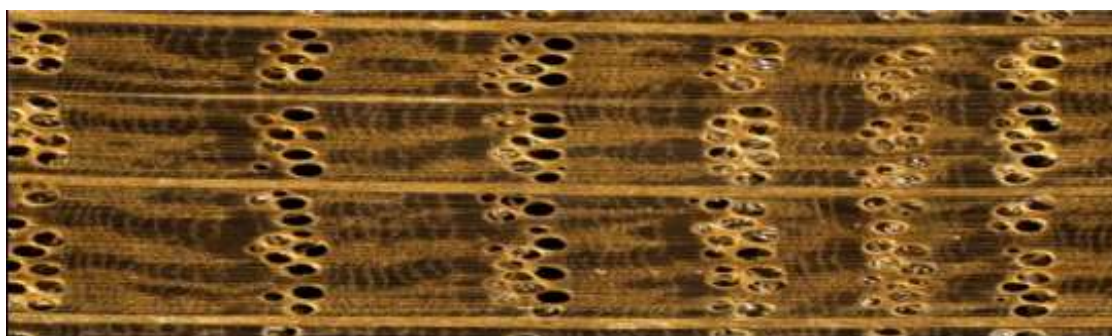


شکل ۱. موقعیت حوضه کرخه

گاه‌شناسی درختی و نقاط موردبررسی در شبکه جهانی نقاط در این تحقیق از داده‌های گاه‌شناسی درختی از سه رویشگاه گونه درختی بلوط مازو و بلوط ایرانی در غرب ایران و در محدوده حوضه رودخانه کرخه در استان ایلام رویشگاه دالاب (۳۳°۴۰' عرض شمالی و ۴۶°۱۷' طول شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا)، استان کرمانشاه رویشگاه فریادرس (۳۳°۵۸' عرض شمالی و ۴۷°۰۰' طول شرقی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) و استان لرستان رویشگاه شینه (۳۳°۴۶' عرض شمالی و ۴۷°۵۷' طول شرقی و ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا) اخذ شد (Arsalani, 2012). رویش سالیانه هر درخت علاوه بر اقلیم، تحت تأثیر عواملی نظیر سن درخت و عوامل غیر اقلیمی دیگری نیز قرار دارد. بنابراین جهت حذف این گرایش‌های غیراقلیمی، کار استانداردسازی حلقه‌های رویشی توسط برنامه ARSTAN (Cook, 1985) انجام شد. با انتخاب نوع گاه‌شناسی از طریق آن، باعث می‌شود که ناهنجاری‌های رویشی که در منحنی‌های رویشی درختان انعکاس یافته است و در بین تمام منحنی‌های رویشی یکسان نیست، با بکارگیری روش‌های آماری توسط این برنامه استانداردسازی شده و اثر آن‌ها نرمال‌سازی شود (Arsalani, 2012).

مناطق نمونه‌برداری تقریباً در قسمت میانی حوضه کرخه قرار دارند. شکل (۲) حلقه‌های رویشی سالیانه درختان را نشان می‌دهد که هر حلقه سالیانه از دو بخش چوب آغاز (آوندهای بزرگ) و چوب پایان (آوندهای بسیار کوچک) تشکیل شده است. در هر سال رویشی یک حلقه سالیانه تشکیل شده است که اندازه پهنای هر حلقه رویشی اندازه‌گیری شده است.

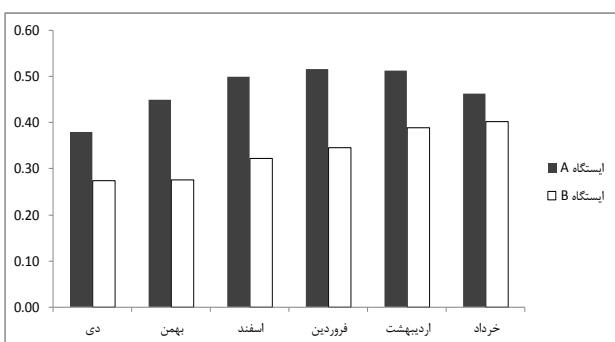
طول گاه‌شناسی منطقه‌ای اخذشده ۳۰۵ سال (۱۷۰۵-۲۰۱۰) است. طول گاه‌شناسی درختی با شمارش و اندازه‌گیری حلقه‌های درختی تمام درختان نمونه‌برداری شده و تبدیل آن‌ها به سری‌های زمانی به دست می‌آید که با توجه به ضریب EPS (Expressed population signal) که آستانه مقدار آن ۰/۸۵ است، سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ در طول گاه‌شناسی دارای



شکل ۲. بخشی از مقطع حلقه‌های رویشی در یک نمونه درختی، ارسلانی (۲۰۱۲)

شناسی درختی با شاخص خشکسالی پالم، ابتدا دوره آماری مشترک (۲۰۰۵-۱۹۵۵) بین داده‌های گاه‌شناسی درختی و شاخص خشکسالی پالم در حوضه کرخه ایستگاه‌های A و B انتخاب گردید. سپس همبستگی بین گاه‌شناسی درختی و شاخص خشکسالی پالم در دوره آماری مشترک تعیین شد. این همبستگی شامل همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی با شاخص خشکسالی پالم برای هر کدام از ماه‌های دی تا خرداد (شکل ۳)، همبستگی شاخص گاه‌شناسی درختی با شاخص خشکسالی پالم برای ماه‌های دی تا خرداد (دوره پرآبی رودخانه‌های حوضه کرخه) (شکل ۴) می‌باشد. با توجه به مقادیر ضریب همبستگی، اساس کار بر بازسازی شاخص خشکسالی پالم برای دوره پر آبی (دی تا خرداد) رودخانه‌های حوضه کرخه قرار گرفت.

پس از تعیین همبستگی معنادار بین شاخص گاه‌شناسی درختی و شاخص خشکسالی پالم، کار بازسازی برای طول دوره گاه‌شناسی با به‌کارگیری روش رگرسیون خطی انجام شد. معادله بازسازی شاخص خشکسالی پالم با استفاده از حلقه درخت، معادله رگرسیون خطی ساده می‌باشد که باید کالیبره گردد (Fritts, 1990). شیوه بازسازی به این شکل است که ابتدا دوره آماری مشترک شاخص گاه‌شناسی و شاخص خشکسالی پالم در ایستگاه‌های مورد نظر حوضه کرخه انتخاب و به دو دوره تقسیم می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های دوره اول پارامترهای معادله بازسازی برآورد شده و در دوره دوم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و بلعکس (Fritts et al., 1990). ضرایب به‌دست‌آمده مورد بررسی قرار می‌گیرد تا دقت روابط تعیین شود. چنانچه روابط از دقت کافی برخوردار بود آنگاه از داده‌های کل دوره آماری مشترک برای تعیین معادله بازسازی شاخص خشکسالی پالم در نقطه موردنظر استفاده می‌شود. در این تحقیق برای تحلیل آماری و تعیین آماره‌ها (برای ارزیابی) از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.



شکل ۳. ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص گاه‌شناسی درختی و شاخص شدت خشکسالی پالم در ماه‌های دی تا خرداد برای ایستگاه‌های مورد بررسی A و B در سطح معناداری ۱ درصد.

برای تعیین مقادیر شاخص شدت خشکسالی پالم از داده‌های شبکه جهانی نقاط مربوط به سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA) (در قاره‌های آسیا، اروپا، آفریقا و اقیانوسیه) در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۰ با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه در ۲/۵ درجه استفاده شده است. این اطلاعات از درگاه <http://www.esrl.noaa.gov> استخراج گردید. این اطلاعات برای مکان‌ها و زمان‌های مختلف در قالب فایل NC ارائه شده که برای استخراج داده‌ها در محیط نرم‌افزار متلب کدنویسی انجام شد و اطلاعات موردنظر استخراج گردید. با توجه به محدوده جغرافیایی حوضه کرخه تعداد دو نقطه از شبکه جهانی نقاط به مختصات (E= ۴۶/۲۵ و A(N=۳۳/۷۵ و E= ۴۸/۲۵) و B (N=۳۳/۷۵ در محدوده این حوضه قرار می‌گیرد که برای بررسی در نظر گرفته شد.

#### شاخص شدت خشکسالی پالم

یکی از شاخص‌هایی که در بسیاری از نقاط جهان جهت بررسی شرایط خشکسالی و تداوم آن مورد استفاده قرار می‌گیرد شاخص شدت خشکسالی پالم است که متغیرهای مختلف آب و هواشناسی را برای یک موازنه آبی ساده در خاک تحلیل می‌کند و شرایط خشکسالی یا ترسالی را به صورت پدیده‌ای پویا در نظر می‌گیرد. شاخص خشکسالی پالم ترکیبی از بارندگی رخ داده، ذخیره رطوبتی و نیاز رطوبتی است که بر اساس محاسبه بیلان آبی معرفی شده است. در محاسبات این شاخص علاوه بر داده‌های درجه حرارت برای محاسبه تبخیر و تعرق و بارندگی، نیاز به داده‌های رطوبت خاک می‌باشد که در صورت فقدان داده‌های رطوبت خاک، به کمک مدل بیلان حجمی، داده‌های رطوبت خاک برآورد می‌شود. به جهت حجم بالای معادلات و محاسبات شاخص پالم و عدم امکان ارائه همه آن‌ها در یک مقاله، گام‌های اساسی محاسبه شاخص خشکسالی پالم فقط نام برده می‌شود که به ترتیب شامل محاسبات هیدرولوژیکی، محاسبه ضرایب اقلیمی، محاسبه شرایط مناسب اقلیمی برای شرایط موجود<sup>۱</sup> (Cafec)، محاسبه شاخص آنومالی رطوبت و محاسبه شدت خشکسالی می‌باشد که برای مطالعه بیشتر می‌توان به Heim (2000) مراجعه کرد.

تحلیل داده‌های شدت خشکسالی پالم و گاه‌شناسی درختی همبستگی داده‌های گاه‌شناسی درختی با شدت خشکسالی پالم و روش بازسازی آن برای بررسی ارتباط و همبستگی بین گاه-

1. Climatically appropriate for existing conditions

باقیمانده‌های معادله رگرسیونی به کار می‌رود. این آزمون به مقایسه باقیمانده‌های زمان  $t$  و  $t-1$  پرداخته و همبستگی بین مقایسات پی‌درپی را اندازه می‌گیرد. آماره این آزمون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n (e_t^2)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن  $e_t$  و  $e_{t-1}$  مقدار باقیمانده در زمان  $t$  و  $t-1$  است.

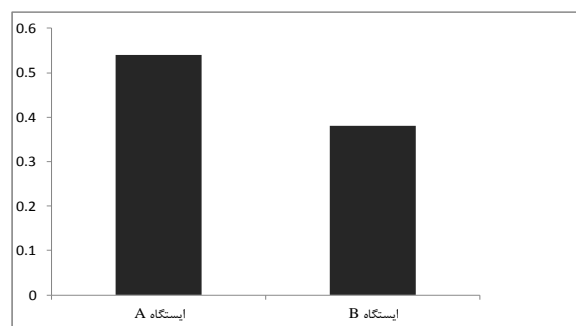
### یافته‌ها و بحث

#### روابط بین شدت خشکسالی پالم و گاه‌شناسی درختی

شکل (۳) همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی درختی با شاخص خشکسالی پالم در هر کدام از ماه‌های دی تا خرداد برای دو ایستگاه A و B را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بالاترین همبستگی بین شاخص خشکسالی پالم و گاه‌شناسی درختی وجود دارد و در دی ماه کمترین میزان همبستگی مشاهده می‌شود. شکل (۴) نیز همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی درختی با شاخص خشکسالی پالم در دوره‌ی دی تا خرداد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص گاه‌شناسی درختی با شاخص خشکسالی پالم همبستگی مثبت و معناداری در سطح ۱ درصد دارد. کمترین مقدار ضریب همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی و شاخص خشکسالی پالم برای ایستگاه B برابر ۰/۳۷ به دست آمد. مقدار ضریب همبستگی برای ایستگاه A برابر ۰/۵۴ بوده و بیشتر از ایستگاه B به دست آمد. با توجه به این مطلب در این تحقیق، اساس کار بر بازسازی شاخص خشکسالی پالم در ایستگاه A قرار گرفت.

#### بازسازی شاخص شدت خشکسالی پالم

بعد از مشخص شدن همبستگی معنادار بین شاخص گاه‌شناسی درختی و شاخص خشکسالی پالم، کار بازسازی برای طول دوره گاه‌شناسی با بکارگیری روش رگرسیون خطی انجام شد. نتایج رگرسیون برای دوره واسنجی، ارزیابی و مدل نهایی ایستگاه A در حوضه کرخه در جدول (۱) ارائه شده است. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادله نهایی ( $P < 0/01$ ) برای ایستگاه A برابر ۰/۲۹ از واریانس مدل نهایی را توضیح می‌دهد. ضریب همبستگی در همه دوره‌های واسنجی، ارزیابی و مدل نهایی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است که نشان‌دهنده دقت مناسب معادله بازسازی در تشخیص سال-های مرطوب (پر آب) و خشک (کم آب) است.



شکل ۴. ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص گاه‌شناسی درختی و شاخص شدت خشکسالی پالم در دوره پربابی دی تا خرداد برای ایستگاه‌های مورد بررسی A و B، در سطح معناداری ۱ درصد.

#### جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE)

این آماره نشان‌دهنده تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد و یک ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است. این آماره از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن  $Y_t$  مقدار واقعی متغیر وابسته،  $\hat{Y}_t$  مقدار پیش‌بینی شده آن و  $n$  تعداد این متغیرها می‌باشد. هرچه این آماره کمتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است.

#### آماره کاهش خطا<sup>۲</sup> (RE)

این آماره توسط Lorenz (1956) برای اندازه‌گیری میزان توافق بین سری داده‌های واقعی و برآوردی ارائه شد که این آماره به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_c)^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این معادله  $Y_t$  و  $\hat{Y}_t$  به ترتیب مقادیر واقعی و برآوردی در زمان  $t$  در دوره ارزیابی بوده و  $\bar{Y}_c$  میانگین داده‌های واقعی در دوره واسنجی است. مقدار این آماره بین ۰+ (بهترین توافق بین داده‌های واقعی و برآوردی) تا منفی بینهایت تغییر می‌کند. چنانچه مقدار این آماره منفی به دست آید آن را صفر در نظر گرفته که بیان‌کننده عدم وجود توافق بین داده‌ها می‌باشد. هر مقدار مثبت از این آماره را می‌توان به عنوان وجود توافق بین داده‌های واقعی و برآوردی فرض کرد که البته هر چه این مقدار به ۰+ نزدیک‌تر باشد توافق بین دوسری نیز بیشتر است.

#### آماره دوربین-واتسون<sup>۳</sup> (DW)

این آماره برای بررسی وجود خودهمبستگی مرتبه اول در

1. Root Mean Square Error  
2. Reduction Error  
3. Durbin-Watson Statistic

نشان می‌دهد که خشکسالی ابتدای قرن ۲۱ در طول دوره ۱۷۱ سال گاه‌شناسی نظیر نداشته است. از بین ۷ مورد ساله‌های نمادین بسیار مرطوب، دو مورد در قرن ۱۹، پنج مورد در قرن ۲۰ بوده است.

#### تداوم‌های خشک و مرطوب

با بررسی مقادیر شاخص خشکسالی پالمر بازسازی‌شده برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۰۵ تداوم‌های خشک و مرطوب و دهه‌های خشک و مرطوب به شرح زیر مشخص گردید:

تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ سال برای دوره خشک (خشکسالی) و تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ سال برای دوره مرطوب (ترسالی) مشاهده گردید. بیشترین تداوم‌ها برای دوره خشک (خشکسالی) و مرطوب (ترسالی)، تداوم‌های ۱ و ۲ ساله بوده است. تداوم ۱ و ۲ ساله برای دوره خشک (خشکسالی) به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۱ مورد و برای دوره مرطوب (ترسالی) به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۰ مورد بود. دوره خشک (خشکسالی)‌های با تداوم بیش از دو سال از نظر مدیریت منابع آب بسیار با اهمیت می‌باشد. خشکسالی با تداوم‌های ۳ سال ۳ مورد، تداوم ۴ سال ۵ مورد و تداوم ۵ سال ۱ مورد و تداوم ۸ سال ۱ مورد مشاهده گردید. برای دوره مرطوب (ترسالی) علاوه بر تداوم‌های ۱ و ۲ سال تداوم‌های ۳ سال ۳ مورد، تداوم ۴ سال ۴ مورد، تداوم ۵ سال ۱ مورد و تداوم ۷ سال ۲ مورد مشاهده گردید. دهه دوم قرن ۲۰ و دهه اول قرن ۲۱ به ترتیب بیشترین تعداد رویدادهای ترسالی و خشکسالی را به خود اختصاص داده است. Akkemik *et al.*, (2011) در شمال غرب ترکیه سال‌های ۱۹۱۳ تا ۱۹۱۷ را رویداد ترسالی گزارش کردند.

برای تعیین شدت خشکسالی از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کاکارضا در حوضه کرخه استفاده شد. بر اساس تئوری ران دوره‌های طولانی خشک (خشکسالی) بازسازی شده از ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. بر این اساس شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) در کل دوره بازسازی ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ برای این ایستگاه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۴ بوده است. Shafiei *et al.* (2011) گزارش کردند که طولانی‌ترین دوره خشک در مشهد بیش از پنج سال، از سپتامبر ۱۹۹۸ تا نوامبر ۲۰۰۳ تداوم داشته است. شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) بازسازی‌شده در قرن ۱۹ و ۲۰ به ترتیب در سال‌های ۱۸۵۳ تا ۱۸۵۵ و ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۸ بوده است. شاخص شدت خشکسالی برای جریان بازسازی‌شده برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ برای ایستگاه کاکارضا برابر ۴۰/۵ MCM بوده است.

آماره کاهش خطا<sup>۱</sup> (RE) (Fritts, 1976) در هر دو دوره (واسنجی و ارزیابی) بیشتر از صفر بوده و هر مقدار مثبت این آماره نشان‌دهنده وجود توافق بین سری مشاهداتی و بازسازی‌شده است که نشان‌دهنده دقت مناسب بازسازی است. مقدار RMSE معادله نهایی برای ایستگاه A برابر ۱/۳ MCM بود. آزمون علامت در سطح ۱ درصد معنادار نشد و این بدان معنا است که تعداد توافقاتها به‌طور معناداری از تعداد عدم توافقات بیشتر است. مقادیر شاخص خشکسالی پالمر محاسبه‌شده و بازسازی‌شده برای ایستگاه A برای دوره زمانی مشخص در شکل (۵) رسم گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر بازسازی‌شده و استخراج‌شده به خوبی مطابقت دارند.

#### بررسی وضعیت هیدرولوژیکی در طول دوره گاه‌شناسی (۲۰۱۰-۱۸۴۰)

##### سال‌های خشک، مرطوب و نمادین<sup>۲</sup>

در بررسی گاه‌شناسی درختی مورداستفاده در این تحقیق، در برخی سال‌ها حلقه‌هایی مشاهده شد که دارای پهنای بسیار زیاد و یا باریک هستند. چنین حلقه‌های رویشی معرف سالی از رویش درخت می‌باشد که شرایط بسیار مناسب یا بسیار نامناسب (از لحاظ رویشی) بوده است که به این سال‌ها سال‌های نمادین گفته می‌شود. برای تشخیص سال‌های نمادین از روش محاسبه شاخص معیار  $Z$  ( $Z_{score}$ ) استفاده شد (Nadi *et al.*, 2015). هر مقدار از شاخص معیار  $Z$  که بیشتر (کمتر) از حد ۹۵٪ (۵٪) داده‌ها یعنی ۱/۶۴ (-۱/۶۴) بود به‌عنوان سال‌های نمادین بسیار مرطوب (نمادین بسیار خشک) و سال‌هایی که مقدار شاخص معیار  $Z$  بین صفر تا ۱/۶۴ (صفر تا -۱/۶۴) باشد سال مرطوب (خشک) نام‌گذاری گردید. طول دوره بازسازی ۱۷۱ سال است که در این مدت خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال، با توجه به شاخص خشکسالی پالمر به ترتیب سال‌های ۲۰۰۱ و ۱۹۵۷ بوده است. Azadi *et al.*, (2015) شدیدترین خشکسالی در حوضه‌ها مرکزی ایران را سال ۲۰۰۱ گزارش نمود.

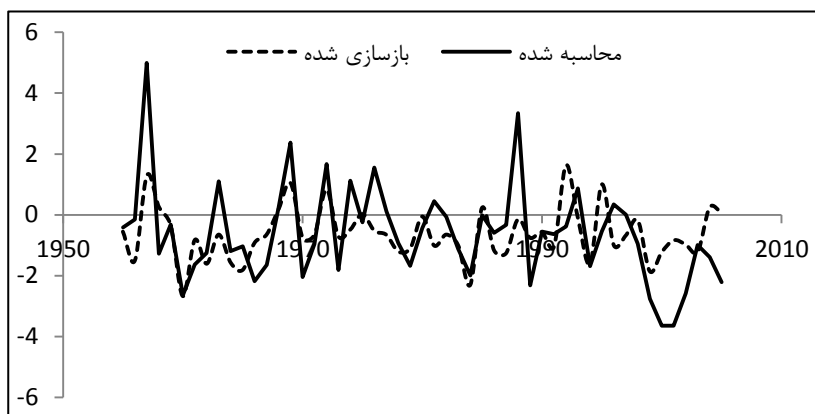
تعداد دوره‌های نمادین بسیار خشک و بسیار مرطوب به ترتیب برابر ۶ و ۷ و تعداد دوره‌های خشک و مرطوب به‌ترتیب برابر ۷۸ و ۸۰ بوده است. از بین ۶ مورد ساله‌های نمادین بسیار خشک، یک مورد در قرن

۱۹، یک مورد در قرن ۲۰ و ۴ مورد آن در ابتدای قرن ۲۱ (مربوط به سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲) بوده است. این مطب

1. Reduction of error  
2. Pointer years

جدول ۱. نتایج بازسازی شاخص خشکسالی پالمر در مرحله واسنجی، ایستگاه A ارزیابی و مرحله نهایی سطح معناداری ۱ درصد است.

واسنجی	R	R <sup>2</sup>	R <sub>adj</sub>	SE	DW	ارزیابی	R	R <sup>2</sup>	RE	ST	DW
۱۹۵۵-۱۹۸۱	۰/۵۱	۰/۳۳	۰/۲۳	۱/۵	۱/۷	۱۹۵۵-۱۹۸۱	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۳۳	۰/۵۴	۱/۶
۱۹۸۲-۲۰۰۵	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۳	۱/۳	۱/۶	۱۹۸۲-۲۰۰۵	۰/۵۱	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۴۲	۱/۷
مدل نهایی											
R	R <sup>2</sup>	R <sub>adj</sub>	SE (MCM)	DW	RMSE(MCM)						
۰/۵۴	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۷۴	۱/۶	۱/۳						



شکل ۵. مقادیر شاخص خشکسالی پالمر محاسبه شده (خط ممتد) و بازسازی شده (خط چین) برای ایستگاه A.

۱۹۵۴ تقسیم گردید. سپس درصد اوقات دوره‌های بسیار خشک، خشک، بسیار مرطوب و مرطوب در طول دوره گاه‌شناسی مشخص گردید و نمودار ستونی آن برای این سه دوره و کل دوره ۱۸۴۰-۲۰۱۰ رسم گردید (شکل ۶). این نمودار اطلاعات مفیدی را در خصوص شرایط اقلیمی در طول دوره گاه‌شناسی در اختیار قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال با مشاهده این نمودار می‌توان گفت که در دوره میانی یعنی سال‌های ۱۹۵۳-۱۸۹۷ شرایط بسیار خشک و یا بسیار مرطوب وجود نداشته است به‌عبارتی دیگر سال‌های نمادین وجود نداشته است. همچنین می‌توان گفت که در دوره انتهایی یعنی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۵۴ بیشترین درصد دوره‌های بسیار خشک و بیشترین درصد دوره‌های بسیار مرطوب وجود داشته است به‌عبارتی دیگر بیشترین سال‌های نمادین مربوط به دوره انتهایی بوده است.

### نتیجه‌گیری

مقدار شاخص خشکسالی پالمر (دی تا خرداد) در ایستگاه A در حوضه کرخه بیشترین همبستگی را با گاه‌شناسی درختی (۱۸۴۰-۲۰۱۰) در منطقه زاگرس میانی، داشت که بر این اساس شاخص خشکسالی پالمر بازسازی شد و دوره‌های خشک (کم آب) و مرطوب (پر آب) تعیین گردید.

بر این اساس تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۸ سال برای دوره خشک (خشکسالی) و تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سال برای

### مقایسه نتایج بازسازی شدت خشکسالی پالمر با نتایج سایر محققین

در ادامه به مطابقت نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین و گزارش‌های موجود در آرشیو (منبع شماره ۹ جدول ۳) در خصوص سال‌های وقوع خشکسالی و ترسالی اشاره می‌گردد. جدول (۳) حاوی اطلاعات دوره‌های کم آب (خشکسالی) و پر آب (ترسالی) بازسازی شده برای دوره ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ برای ایستگاه A است که این دوره‌ها با نتایج کار (بازسازی با استفاده از حلقه درخت) سایر محققین مطابقت داشته است. به‌عنوان مثال Akkemik et al., (2011) بارش ماه مه تا آگوست) برای شمال غرب رودخانه فصل بهار و تابستان (مه تا آگوست) ترکیه برای سال‌های ۱۶۵۰ تا ۱۹۳۰ میلادی بازسازی کردند. آنها گزارش کردند که سال‌های ۱۹۱۴-۱۹۱۳ و ۱۹۱۷ بیشترین مقدار جریان رودخانه بازسازی شده است. همچنین سال‌های ۱۹۱۵-۱۹۱۶ مقدار جریان بیش از میانگین بوده است. نتایج بازسازی مقادیر جریان در این تحقیق نیز ترسالی را در سال‌های ۱۹۱۱ تا ۱۹۱۷ نشان می‌دهد.

### مقایسه دوره‌های خشک و مرطوب برای بازه زمانی مختلف در طول گاه‌شناسی

در ادامه بازه زمانی ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ که برابر ۱۷۱ سال می‌باشد به سه دوره ۵۷ سال شامل دوره ابتدایی برابر ۱۸۹۶-۱۸۴۰، دوره میانی برابر ۱۹۵۳-۱۸۹۷ و دوره انتهایی برابر ۲۰۱۰-



است. شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) بازسازی‌شده در قرن ۱۹ و ۲۰ به ترتیب در سال‌های ۱۸۵۳ تا ۱۸۵۵ و ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۸ بوده است. شاخص شدت خشکسالی برای جریان بازسازی‌شده برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴ برای ایستگاه کاکارضا برابر ۴۰/۵ mcm بوده است. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققین که در جدول (۳) گزارش گردیده است، مطابقت خوبی داشته است.

جدول ۲. طولانی‌ترین خشکسالی هیدرولوژیکی بازسازی‌شده و شدت خشکسالی (MCM) در حوضه کرخه، ایستگاه هیدرومتری کاکارضا

زمان	تداوم (سال)	ایستگاه آب‌سنجی کاکارضا
۱۸۴۴-۱۸۴۷	۴	۱۵/۴
۱۸۵۳-۱۸۵۵	۳	۲۳/۲
۱۸۶۸-۱۸۷۱	۴	۱۸/۶
۱۸۸۱-۱۸۸۴	۴	۹/۸
۱۸۹۲-۱۸۹۵	۴	۹
۱۹۲۵-۱۹۲۹	۵	۱۳/۲
۱۹۳۱-۱۹۳۳	۳	۱۳/۹
۱۹۵۹-۱۹۶۴	۳	۲۹
۱۹۶۶-۱۹۶۸	۳	۱۸/۵
۱۹۷۷-۱۹۷۹	۳	۱۳/۷
۱۹۹۹-۲۰۰۴	۵	۴۰/۵

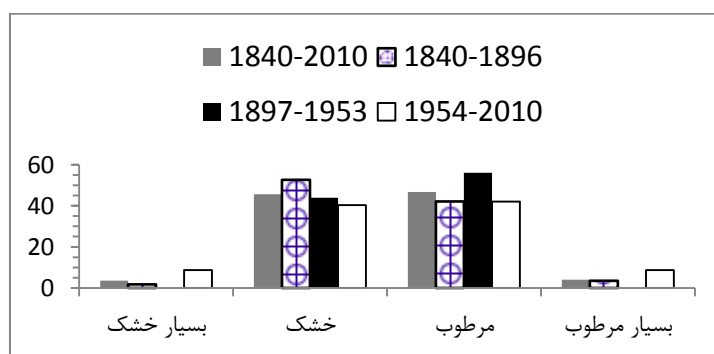
دوره مرطوب (ترسالی) مشاهده گردید. بیشترین تداوم‌ها برای دوره خشک (خشکسالی) و مرطوب (ترسالی)، تداوم‌های ۱ و ۲ ساله بوده است. تداوم ۱ و ۲ ساله برای دوره خشک (خشکسالی) به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۱ مورد و برای دوره مرطوب (ترسالی) به ترتیب برابر ۲۰ و ۱۰ مورد بود. دوره خشک (خشکسالی)‌های با تداوم بیش از دو سال از نظر مدیریت منابع آب بسیار با اهمیت می‌باشد. خشکسالی با تداوم‌های ۳ سال ۳ مورد، تداوم ۴ سال ۵ مورد و تداوم ۵ سال ۱ مورد و تداوم ۸ سال ۱ مورد مشاهده گردید. برای دوره مرطوب (ترسالی) علاوه بر تداوم‌های ۱ و ۲ سال تداوم‌های ۳ سال ۳ مورد، تداوم ۴ سال ۴ مورد، تداوم ۵ سال ۱ مورد و تداوم ۷ سال ۲ مورد مشاهده گردید. دهه دوم قرن ۲۰ و دهه اول قرن ۲۱ به ترتیب بیشترین تعداد رویدادهای ترسالی و خشکسالی را به خود اختصاص داده است.

برای تعیین شدت خشکسالی از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کاکارضا در حوضه کرخه استفاده شد. بر این اساس شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) در کل دوره بازسازی ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ برای این ایستگاه مربوط به سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۴ بوده

جدول ۳. مقایسه دوره‌های خشک و مرطوب بازسازی‌شده شاخص پالمر در حوضه کرخه ایستگاه A با نتایج سایر محققین و اسناد موجود در آرشیو

قرن ۱۹ و ۲۰	
دوره پر آب (مرطوب)، (شماره منبع) سال	دوره کم آب (خشک)، (شماره منبع) سال
۱۸۴۳ (۸، ۱۱)	۱۸۴۰ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۱۱)
۱۸۷۷ (۱، ۲، ۶، ۸، ۱۱)	۱۸۴۲ (۱، ۸، ۱۱)
۱۸۸۵ (۱، ۲، ۴، ۵، ۸، ۱۱)	۱۸۷۵ (۱، ۶، ۸، ۱۱)
۱۸۹۷ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۱۱)	۱۸۸۷ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱)
۱۹۰۳ (۸، ۱۱)	۱۸۹۳ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۱)
۱۹۰۶ (۱، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۱)	۱۹۰۴ (۶، ۸، ۹، ۱۱)
۱۹۱۷ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۱)	۱۹۲۷ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱)
۱۹۲۲ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۱)	۱۹۲۸ (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱)

۱) Touchan *et al.* (2005a)، ۲) Touchan *et al.* (2005b)، ۳) Touchan *et al.* (2003)، ۴) D'Arrigo and Cullen (2001)، ۵) Akkemik and Aras (2005)، ۶) Akkemik *et al.* (2005)، ۷) Kuniholm, (1996) and Hughes *et al.*, (2001)، ۸) Akkemik *et al.* (2008)، ۹) Ottoman Archive (2008)، ۱۰) Purgstall (1983)، ۱۱) Foroughi *et al.* (2016)



شکل ۶. نمودار مقایسه دوره‌های بسیار خشک، خشک، مرطوب و بسیار مرطوب در طول دوره‌های ابتدایی، میانی، انتهایی و کل دوره گاه‌شناسی حسب درصد.

## REFERENCES

- Akkemik, U., and Aras, A. (2005). Reconstruction (1689–1994) of April-August precipitation in southwestern part of central Turkey. *International Journal of Climatology*, 25, 537–548.
- Akkemik, U., Dagdeviren, N., and Aras, N. (2005). A preliminary reconstruction (A.D. 1635–2000) of spring precipitation using oak tree rings in the western Black Sea region of Turkey. *International Journal of Biometeorology*, 49(5), 297–302.
- Akkemik, U., D'Arrigo, R., Cherubini, P., Köse, N., and Jacoby G. C. (2008). Tree-ring reconstructions of precipitation and streamflow for north-western Turkey. *International Journal of Climatology*, 28, 173–183.
- Akkemik, U., Nüzhet, D. H., and Ozeren, M. S. (2011). Tree-ring Reconstructions of May–June Precipitation for Western Anatolia. *Quaternary Research*, 75(3), 438–450.
- Arsalani, M. (2012). Reconstruction of precipitation and temperature variations using Oak tree rings in central Zagros, M.A. dissertation, University of Tehran, Faculty of Geography, Tehran, Iran.
- Arsalani, M., Azizi, GH., and Bräuning, A. (2015). Dendroclimatic reconstruction of May–June maximum temperatures in the central Zagros Mountains, western Iran. *International Journal of Climatology*, 35: 408–416.
- Azadi, S., Soltani, S., Faramarzi, M., Soltani todeskhi, A. R., and Pour manafi, S. (2015). Palmer drought index in areas of Central Iran. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, water and soil sciences*, 19(72), 305–318.
- Carson, E. C., and Munroe, J. S. (2005). Tree-ring based streamflow reconstruction for Ashley Creek, northeastern Utah: implications for palaeohydrology of the southern Uinta Mountains. *The Holocene*, 15(4), 602–611.
- Cook, E. R., (1985). A time series analysis approach to tree-ring standardization. Un published Ph.D. Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ, USA, P. 171.
- D'Arrigo, R., and Cullen, H. M. (2001). A 350-year (AD 1628–1980) reconstruction of Turkish precipitation. *Dendrochronologia*, 19(2), 169–177.
- Dai, A., K. E. Trenberth and T. Qian. 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorol*, 5, 1117–1130.
- Eckstein, D. (2005). Human time in tree rings. Abstract book of Eurodendro. *International Conference of Dendrochronology*, September, 28–October 2<sup>nd</sup>, Viterbo – Italy.
- Foroughi, F., Araghinejad, Sh., Azizi, Gh., and Arsalani, M. (2016). Streamflow reconstruction using dendrochronology, and modeling and classification of hydrological drought in Karkheh basin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(4), 617–629.
- Fritts, H. C. (1976) Tree rings and climate. *Academic press*, University of Arizona, Tucson, 567p.
- Fritts, H. C., Guiot, J., Gordon, G. A., and Schweingruber, F. (1990.) *Methods for calibration, verification and reconstruction*. In: *Kairiukstis L, Cook E, eds Methods of Tree-Ring Analysis: Applications in the Environmental Sciences*, Reidel Press, Dordrecht. pp. 163–218.
- Garcia- Suarez, A. M., Butler, C.J., Bailli, and M. G. L. (2009). Climate signal in tree-ring chronologies in temperature climate: A multi-species approach. *Dendrochronologia*, 27, 183–198.
- Heim R.R. (2000). Drought indices: a review. In: Wilhite DA (ed) *Drought: a global assessment*. Routledge, London.
- Hessari, B., Bruggeman, A., Akhoond-Ali1, A., Oweis, T., and Abbasi, F. (2012). Supplemental irrigation potential and impact on downstream flow of Karkheh River Basin of Iran. *Hydrology and Earth System Science. Discussions*, 9, 13519–13536.
- Hughes, M. K, Kuniholm, P. I, Garfin, G. M, Latini, C, and Eischeid, J. (2001). Aegean tree-ring signature years explained. *Tree-ring Research*, 57(1), 67–73.
- Jamab Consulting Engineers. (2006). Water balance report of Karkheh River basin area: Preliminary analysis, Ministry of Energy, Tehran. Iran.
- Karamouz, M., and Araghinejad, Sh. (2010) *Advance Hydrology. Amir Kabir University Press*, Tehran, Iran.
- Kim, T. J., B. Valdes and J. Aparicio.(2002). Frequency and spatial characteristics of in the Conchos River Basin, Mexico. *Water International*, 27,(3) 420–430.
- Kothavala, Z. (1999). The duration and severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean–atmosphere GCM with a transient increase in CO<sub>2</sub>. *J. Environ. Model. Softw.* 14: 243–252.
- Kuniholm, P.I. 1996. Long tree-ring chronologies for the eastern Mediterranean. *Archaeometry* 1994. In *Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry*, Ankara, Turkey; 401–409.
- Liu J., Yang, B., and Chun, Q. (2010). Tree-ring Based Annual Precipitation Reconstruction Since AD 1480 in South Central Tibet. *Quaternary International*, 236, 75–81.
- Lorenz, E. N. (1956). Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction. *M. I. T. stat. forecasting proj.* Sci. Rep 1, Contract No. AF 19(604)-1566.
- Nadi M., Bazrafshan J., Pourtahmasi K., and Brauning A. (2015). Relationship between oak's tree-ring width and climatic indices (in regional and global scales) in Javanroud region, Kermanshah. *Journal of water and soil conservation*, 22(3), 57–71.

- Ottoman Archive. (2008) Documents (correspondences between Ottoman Palace and provinces) in the directory of State Archives of Prime Ministry of Republic of Turkey, (In Turkish) reported by Akkemik *et al* (2008).
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. Research. Paper No. 45, U. S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
- Patskoski, J. (2012). Predicting streamflow in the southeastern United States using SST and tree ring chronologies. MSc. Thesis, Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh.
- Purgstall B. J. V. H. (1983). Ottoman State History, Translator: Vecdi Bürün, 1-7, Ücdal Publishing (In Turkish), Istanbul.
- Shafiei, M., Ghahraman, B., Ansari, H., and Sharifi, M. B. (2011). Stochastic Simulation of Drought Severity Based on Palmer Index. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(1), 1-13.
- Somaru, R., H. P. Borgaonkar. A. A. Munot and A. B. Sikder. 2011. Tree-ring variation in teak *Tectona grandis* from Allapalli, Maharashtra in relation to moisture and Palmer Drought Severity Index. *J. Earth. Syst. Sci*, 120,713-721.
- Touchan, R., Garfin, G. M, Meko, D. M, Funkhouser, G., Erkan, N., Hughes, M. K, and Wallin, B. S. (2003). Preliminary reconstructions of spring precipitation in southwestern Turkey from tree-ring width. *International Journal of Climatology*, 23, 157-171.
- Touchan, R., Funkhouser, G., Malcolm, K., Hughes, M. K., and Erkan, N. (2005a). Standardized precipitation index reconstructed from Turkish tree-ring widths. *Climatic Change*; 72(3), 339-353.
- Touchan, R., Xoplaki, E., Funkhouser, G., Luterbacher, J., Hughes, M. K., Erkan, N., Akkemik, U., and Stephan, J. (2005b). Reconstruction of spring/summer precipitation for the Eastern Mediterranean from tree ring widths and its connection to large-scale atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, 25, 75-98.
- Touchan, R., Akkemik, U., Hughes, M. K., and Erkan, N. (2007). May-June Precipitation reconstruction of southwestern Anatolia, Turkey during the Last 900 years from tree rings. *Quaternary Research*, 68, 196-202.
- Watson, E., and Luckman, B. H. (2004). Tree-ring based reconstructions of precipitation for the southern Canadian cordillera. *Climatic Change*, 65, 209-241.
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series with applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23, 201-213.
- Wilson, R. J. S., Luckman, B. H, Esper, H. (2005). A 500 year dendroclimatic reconstruction of spring-summer precipitation from the lower Bavarian forest region. Germany, *International Journal of Climatology*, 25(5), 611-630.
- Yevjevich, V. (1967). An objectives approach to definition and investigations of continental droughts. *Hydrology Paper*, 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Yinpeng, L., Y. Wei, W. Meng and Y. Xiaodong. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop yield impacts. *J. Clim*, 39, 31-46.