

## بازسازی جریان رودخانه با استفاده از گاه‌شناسی درختی، و مدل‌سازی و طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه کرخه

فرید فروغی<sup>۱\*</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۲</sup>، قاسم عزیزی<sup>۳</sup>، محسن ارسلائی<sup>۴</sup>

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

۲. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۲۲)

### چکیده

با اندازه‌گیری حلقه‌های رویشی سالیانه درختان و ساخت گاه‌شناسی از آن‌ها، امکان مطالعه و بازسازی جریان رودخانه‌ها در محدوده رویشگاه‌ها فراهم می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بازسازی جریان رودخانه با استفاده از گاه‌شناسی درختی، و مدل‌سازی و طبقه‌بندی خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه کرخه است. 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 جریان رودخانه در حوضه کرخه استفاده شده است. سه ایستگاه آب‌سنجی در حوضه رودخانه کرخه انتخاب و دوره‌ی پرابی آن‌ها تعیین شد. با توجه به همبستگی مثبت و معنادار جریان رودخانه در دوره پرابی سه ایستگاه آب‌سنجی در این حوضه با شاخص گاه‌شناسی درختی منطقه‌ای، میانگین جریان رودخانه در دوره پرابی برای این سه ایستگاه طی سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بازسازی شد. مقادیر مشاهداتی جریان رودخانه و مقادیر بازسازی‌شده آن در دوره آماری مشترک به خوبی با هم مطابقت دارد. در ادامه، وضعیت هیدرولوژیکی در طول دوره گاه‌شناسی و بر اساس آن خشکسالی هیدرولوژیکی در حوضه کرخه برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. شدت و تداوم خشکسالی‌ها، همچنین دهه‌های پراب و کم‌آب تعیین شد. همچنین، نتایج این تحقیق با سایر محققان نیز مقایسه شد. پس از بازسازی جریان رودخانه، از مدل شبکه عصبی احتمالاتی برای طبقه‌بندی دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پراب و بسیار پراب استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ارائه‌شده با دقت زیاد قادر به تشخیص دوره‌های نامبرده در منطقه مورد نظر است.

**کلیدواژگان:** اقلیم‌شناسی درختی، بازسازی جریان رودخانه، حلقه‌های درختی، حوضه کرخه، طبقه‌بندی خشکسالی.

### مقدمه

دستیابی به داده‌های بلندمدت اقلیمی پیش‌نیاز بسیاری از مطالعات مختلف مانند هیدرولوژی و اقلیم‌شناسی است. با توجه به کوتاه‌بودن 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 می‌توان شواهدی را بررسی کرد مانند حلقه‌های درخت، مرجان‌ها، فسیل‌ها، رسوبات دریاچه‌ای، گرده‌های گیاهی، و یخچال‌ها که آثار اقلیمی بلندمدت را در خود ثبت می‌کند، بر تغییر اقلیم رشد درختان تأثیر می‌گذارد و سبب می‌شود تا بررسی اجمالی چگونگی اقلیم گذشته از روی

حلقه‌های رویشی امکان‌پذیر باشد. مطالعه حلقه‌های رویشی به‌منظور برآوردهای اقلیمی جانشینی برای سنجش‌های هواشناسی است و اطلاعات ارزشمندی را با هزینه‌ای کم برای دوره و مناطق فاقد اطلاعات هواشناسی فراهم می‌آورد (Ekstain, 2005). به‌طور کلی، اقلیم‌شناسی درختی<sup>۱</sup> به مطالعه رابطه بین متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های مرتبط با درختان حساس به شرایط آب‌وهوایی می‌پردازد که هدف نهایی آن بازسازی آب‌وهوای گذشته و فراهم کردن داده‌های آب‌وهوایی طولانی‌مدت است (Fritts, 1976).

مطالعات در زمینه اقلیم‌شناسی درختی نشان داده است که دما و بارندگی از فاکتورهای بسیار مهم اقلیمی و تأثیرگذار بر

*infectoria*) و بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) بازسازی کرد. Arsalani و همکاران (2015) دمای حداکثر می- جون زاگرس میانی را با استفاده از حلقه‌های درختی گونه بلوط مازو (*Quercus infectoria*) بازسازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که دمای حداکثر در فصل رویش و ماه‌های قبل از فصل رویش تأثیر منفی بر رویش درختان این منطقه دارد. آن‌ها بر اساس رابطه همبستگی معنادار بین دمای حداکثر می- جون با گاه‌شناسی درختی در دوره آماری مشترک، اقدام به بازسازی دمای حداکثر ماه‌های ذکر شده طی دوره ۱۸۴۰-۲۰۱۰ کردند.

Büntgen و همکاران (2005) برای بازسازی دما از درخت کاج اروپایی (*Larch*) در چهار منطقه مختلف رشته‌کوه‌های آلپ استفاده کردند و دریافتند که بیشترین تأثیرپذیری درختان منطقه از دمای متوسط ماه‌های ژوئن تا آگوست است. در مطالعه دیگری در شمال اسپانیا Rozas (2005) با بررسی رویش شعاعی گونه‌ای از درخت بلوط دریافت که رشد بلوط‌های جوان با دمای ماه ژوئن دوره رشد و بلوط‌های کهنسال با دماهای فصل تابستان و زمستان محدود می‌شود.

Touchan و همکاران (2005a) با استفاده از گاه‌شناسی درختان ارس گونه *Juniperus excelsa* در جنوب‌غربی و جنوب ترکیه شاخص استاندارد بارندگی<sup>۱</sup> (SPI) را بازسازی کردند. نتایج نشان داد که مجموع بارندگی ماه می تا جولای بیشترین همبستگی را با گاه‌شناسی درخت دارد. Touchan و همکاران (2007) بارش می- ژوئن در جنوب غربی آناتولی ترکیه را در ۹۰۰ سال اخیر با استفاده از حلقه‌های درخت صنوبر بازسازی کردند. گاه‌شناسی ارائه شده ۵۱ درصد واریانس بارش مشاهداتی می- جون را بیان می‌کند. نتایج نشان داد که سال‌های ۱۵۱۸ تا ۱۵۸۷ مرطوب‌ترین و سال‌های ۱۱۹۵ تا ۱۲۶۴ خشک‌ترین وضعیت را داشته است. Touchan و همکاران (2008) بارش شمال غرب تونس را در دوره‌ای ۲۳۲ ساله با استفاده از حلقه‌های رویشی درختان کاج بازسازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که طولانی‌ترین خشکسالی در قرن ۱۹ به مدت دو سال رخ داده است. Shah و همکاران (2007) به بررسی رابطه اقلیم و رشد درختان ساج در قسمت مرکزی هند پرداختند. نتایج بررسی همبستگی‌ها نشان داد که بارش ماه‌های ژوئن تا سپتامبر فصل رشد و ماه اکتبر قبل از فصل رشد اثر مثبت و بارندگی ژانویه و می فصل رشد اثر منفی بر رشد درختان دارد، ولی در مورد دما در هیچ یک از ماه‌ها همبستگی معنادار به دست نیامد. Liu و همکاران (2010) بارش سالانه جنوب مرکزی تبت

رشد درختان است. اگر شرایط آب‌وهوایی و دیگر عوامل بهینه رویشی برای رشد درخت فراهم باشد، باعث افزایش پهنای حلقه‌های سالیانه درخت می‌شود و برعکس. برای بررسی رابطه بین فاکتورهای اقلیمی و حلقه‌های رویشی سالیانه معمولاً از درختانی استفاده می‌شود که حساسیت بیشتری نسبت به شرایط آب‌وهوایی دارند. از نظر علمی، در نواحی جنگلی درختان مناطق مرتفع نسبت به مناطق کم‌ارتفاع حساسیت بیشتری به تغییرات آب‌وهوایی دارد. درختان سالانه حلقه‌های رویشی متوالی با پهنای متفاوتی تشکیل می‌دهد 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 سال‌های مرطوب است. بنابراین، تغییرات سالانه بارندگی و دما در حلقه‌های سالیانه درختان اثرمی‌گذارد. لذا، می‌توان گفت که توالی سالانه اقلیم مساعد و نامساعد (سال‌های پرباران و خشک یا گرم و سرد) بر رشد سالیانه درختان (پهنای حلقه‌های رویشی) اثرمی‌گذارد که با شمارش حلقه‌های رشد و مطالعه پهنای آن‌ها تقویم (گاه‌شناسی درختی) دقیقی از سال‌های مرطوب و خشک تهیه می‌شود (Ekstain, 2005). بنابراین، حلقه‌های درختی داده‌های آب‌وهوایی مربوط به گذشته را برای مناطق یا دوره‌های زمانی فاقد داده آب‌وهوایی فراهم می‌کند (Garcia-Suarez et al., 2009).

Knight و همکاران (2010) برای بازسازی بارش در شمال ایالت یوتا در آمریکا از گاه‌شناسی ۲۳۰۰ ساله استفاده کردند. Carson and Munroe (2005) با استفاده از حلقه درختان صنوبر گونه *Pseudotsuga menzeisii* و کاج گونه *Pinusedulis* دبی رودخانه اشلی کریک در شمال شرق یوتا را برای سال‌های ۱۶۳۷ تا ۱۹۷۰ بازسازی کردند. مدل نهایی ۷۱ درصد تغییرپذیری دبی رودخانه را توجیه می‌کند. Patskoski (2012) مدل‌هایی را برای پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از حلقه درخت و نینو 3.4 ارائه کرد. Watson and Luckman (2004) در بازسازی بارندگی در رشته‌کوه‌های جنوب کانادا نشان دادند که مجموع بارندگی جون- جولای بیشترین همبستگی را با گاه‌شناسی درختان دارد.

Azizi و همکاران (2013) با استفاده از حلقه‌های درختی، نوسانات بارش زاگرس میانی را بازسازی کردند. Arsalani (2012) دما و بارش زاگرس میانی (ایلام، کرمانشاه و لرستان) را با استفاده از حلقه‌های درختی دو گونه بلوط مازو (*Quercus*)

1. Standard Precipitation Index

(۱۷۱ سال) و ارائه مدل طبقه‌بندی جریان رودخانه به منظور تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در مناطق مورد مطالعه است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های آب‌سنجی

حوضه رودخانه کرخه با مساحت ۵۱۶۴۰ کیلومتر مربع در جنوب غرب ایران در محدوده ۵۸' ۳۰° تا ۵۶' ۳۴° عرض شمالی و ۰۶' ۴۶° تا ۱۰' ۴۹° طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع حوضه از ۳ متر در جنوب (دشت آزادگان) تا ۳۶۴۵ متر در کوه‌های کارین متغیر است. رودخانه کرخه ۹۰۰ کیلومتر طول دارد و سومین رودخانه بزرگ کشور بر اساس متوسط آبدهی سالانه (۸/۵ میلیارد مترمکعب) است. با توجه به وسعت نسبتاً زیاد حوضه رودخانه کرخه، این منطقه در فصول مختلف تحت تأثیر سیستم‌های آب‌وهوایی مختلفی قرار می‌گیرد. اقلیم این منطقه خشک و نیمه‌خشک (Hessari et al., 2012) و به‌طور کلی می‌توان گفت که این منطقه دارای یک فصل خشک و یک فصل بارانی است. در قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه، به دلیل ارتفاع زیاد میزان دریافت بارش بیشتر و بخشی از این بارش‌ها عمدتاً به صورت برف است. در قسمت‌های میانی و پایین‌دست حوضه، از میزان دریافت بارش‌ها کاسته می‌شود و طول دوره مرطوب نیز کم می‌شود. متوسط بارش حوضه از ۱۵۰ میلی‌متر در جلگه‌های خشک جنوبی تا ۷۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمالی متغیر است (Jamab consulting engineers, 2006).

داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. در این تحقیق برای اولین بار در ایران از داده‌های گاه‌شناسی درختی برای بازسازی و مدل‌سازی جریان رودخانه استفاده شد. به‌منظور بازسازی جریان رودخانه‌های واقع در محدوده حوضه کرخه، ایستگاه‌های شاخص جلوگیری (۱۹۵۶-۲۰۱۰)، قورباستان (۱۹۵۵-۲۰۱۰) و پل‌دختر (۱۹۶۵-۲۰۱۰) انتخاب شد که آورد آن‌ها بیشترین همبستگی را با داده‌های گاه‌شناسی درختی داشت و به نقاط نمونه‌گیری نیز نزدیک بود (شکل ۱).

### نقاط نمونه‌برداری و گاه‌شناسی درختی

برای انجام این تحقیق داده‌های گاه‌شناسی درختی از سه رویشگاه گونه درختی بلوط مازو و بلوط ایرانی در غرب ایران و در محدوده حوضه رودخانه کرخه در استان‌های لرستان رویشگاه شینه (۳۳°۴۶' عرض شمالی و ۴۷°۵۷' طول شرقی و ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا) کرمانشاه رویشگاه فریادرس (۳۳°۵۸')

را از سال ۱۴۸۰ با استفاده از حلقه‌های درخت بازسازی کردند. آن‌ها توانستند دوره‌های ترسالی و خشکسالی منطقه را طی دوره بیان‌شده بازسازی کنند.

Wilson و همکاران (2005) بارش بهار- تابستان را از روی

پهنای حلقه‌های درختان صنوبر نوژی و الوارهای باستانی منطقه جنگلی باواریا در آلمان برای دوره‌های ۵۲۰ ساله بازسازی کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های میانگین بارش سالانه در دوره آماری مشترک ۸۲ ساله (۱۹۱۳-۱۹۹۵) ضمن تعیین دوره‌های مرطوب و خشک به این نتیجه رسیدند که قرن بیستم نسبت به چهار قرن گذشته شرایط مرطوب‌تری را سپری کرده است.

خشکسالی هیدرولوژیکی هنگامی رخ می‌دهد که میزان دبی جریان سطحی در منطقه‌ای معین برای تأمین نیاز از پیش تعیین‌شده کافی نباشد. برای تحلیل مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از داده‌های تجربی سری زمانی، از روش آزمون ران<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. در این روش با انتخاب یک آستانه (برای مثال، میانگین یا درصدی از آن) می‌توان دوره‌های متوالی مازادها و کمبودها را تعریف کرد. برای مثال، وقایع خشکسالی برای رودخانه‌ای خاص به این صورت تعریف می‌شود که اطلاعات تاریخی سالانه بر اساس میانگین درازمدت جریان، به سال‌های کم‌آب (خشک) و پرآب (مرطوب) تفکیک می‌شود و همه سال‌های متوالی که در آن‌ها رواناب سالانه زیر میانگین درازمدت باشد، وقایع خشکسالی دسته‌بندی می‌شود. به‌طور مشابه، تمامی سال‌هایی که در آن‌ها جریان سالانه بالای میانگین درازمدت باشد، در دسته وقایع پرآب قرار می‌گیرد (Karamouz and Araghinejad, 2010; Yevjevich, 1967). نتایج حاصل از این مرحله در تعریف مشخصه خشکسالی، تداوم و شدت به شرح زیر لحاظ می‌شود (Karamouz and Araghinejad, 2010):

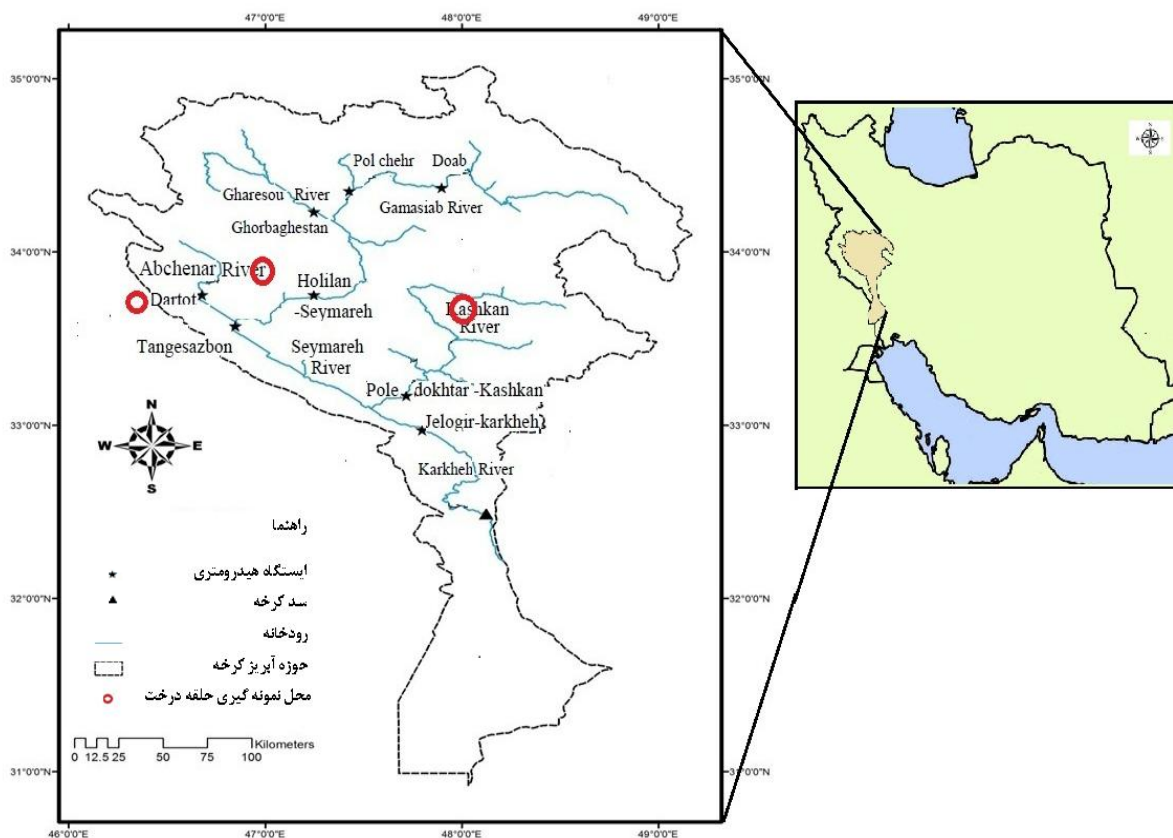
۱. تداوم: تعداد سال‌های متوالی که برای آن‌ها جریان سالانه پایین میانگین درازمدت یا در دوره خشکسالی قرار دارد.
۲. شدت<sup>۲</sup>: تجمع مقادیر کمبود جریان برای تداوم واقعه مورد بررسی.

هدف این تحقیق بازسازی و تطویل جریان رودخانه به منظور تعیین سال‌های کم‌آب، پرآب و نمادین در طول دوره بازسازی (۱۸۴۵۰-۲۰۱۰)، بررسی وضعیت هیدرولوژیکی ایستگاه‌های مورد بررسی در طول دوره گاه‌شناسی درختی

1. Run theory  
2. Severity

نمونه‌برداری از درختان با ایستگاه‌های آب‌سنجی ذکر شده حدوداً ۵۰ کیلومتر است و مناطق نمونه‌برداری تقریباً در قسمت میانی حوضه کرخه قرار دارد.

عرض شمالی و  $47^{\circ}00'$  طول شرقی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا) و ایلام رویشگاه دالاب ( $33^{\circ}40'$  عرض شمالی و  $46^{\circ}17'$  طول شرقی و ارتفاع ۱۳۰۰ متر از سطح دریا) اخذ شد (Arsalani, 2012). لازم به ذکر است که فاصله محل‌های



شکل ۱. موقعیت محل نمونه‌برداری و ایستگاه‌های مورد نظر در حوضه کرخه

ذکر شده در حوضه رودخانه کرخه انتخاب شد. سپس، همبستگی بین گاه‌شناسی درختی و متغیر جریان رودخانه در دوره آماری مشترک تعیین شد. این همبستگی شامل همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی با دبی هر کدام از ماه‌های دی تا خرداد (شکل ۲الف)، همبستگی شاخص گاه‌شناسی درختی با متوسط دبی ۶ ماه (دی تا خرداد) دبی دوره پربابی (شکل ۲ب) است. با توجه به مقادیر ضریب همبستگی، اساس کار بر بازسازی متوسط دبی ۶ ماهه دوره پربابی دی تا خرداد قرار گرفت.

پس از تعیین همبستگی معنادار بین شاخص گاه‌شناسی درختی و متغیر جریان رودخانه، کار بازسازی برای طول دوره گاه‌شناسی با به‌کارگیری روش رگرسیون خطی انجام شد. معادله بازسازی جریان رودخانه با استفاده از حلقه درخت، معادله رگرسیون خطی ساده است که باید کالیبره شود (Fritts, 1990). برای بازسازی ابتدا دوره آماری مشترک شاخص گاه‌شناسی و

طول گیاه‌شناسی منطقه‌ای اخذ شده ۳۰۵ سال (۱۷۰۵-۲۰۱۰) است. طول گاه‌شناسی درختی از طریق شمارش و اندازه‌گیری حلقه‌های درختی تمام درختان نمونه‌برداری می‌شود و تبدیل آن‌ها به سری‌های زمانی به دست می‌آید که با توجه به ضریب  $EPS^1$  که آستانه مقدار آن  $0/85$  است، سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ در طول گاه‌شناسی بالاترین اطمینان جهت بازسازی متغیرهای اقلیمی را دارد و این دوره زمانی اساس کار این مقاله برای بازسازی قرار گرفت.

#### تحلیل داده‌های گاه‌شناسی درختی و جریان رودخانه

#### همبستگی داده‌های گاه‌شناسی با دبی رودخانه و روش بازسازی آن

برای بررسی ارتباط و همبستگی بین گاه‌شناسی درختی با متغیر جریان رودخانه، ابتدا دوره آماری مشترک بین داده‌های گاه‌شناسی درختی و جریان رودخانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی

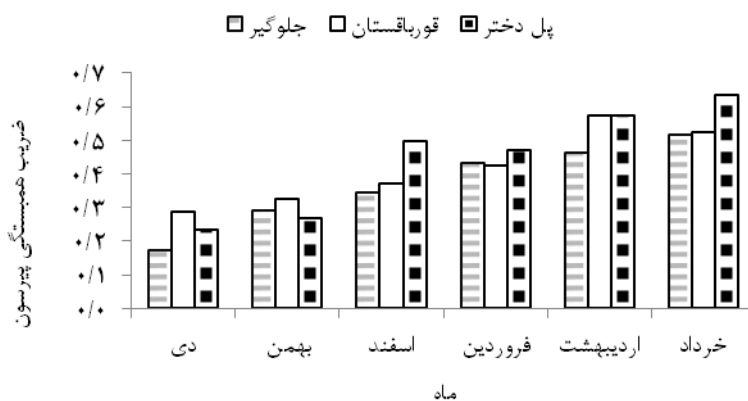
1. Expressed population signal

**شبکه‌های عصبی احتمالاتی**

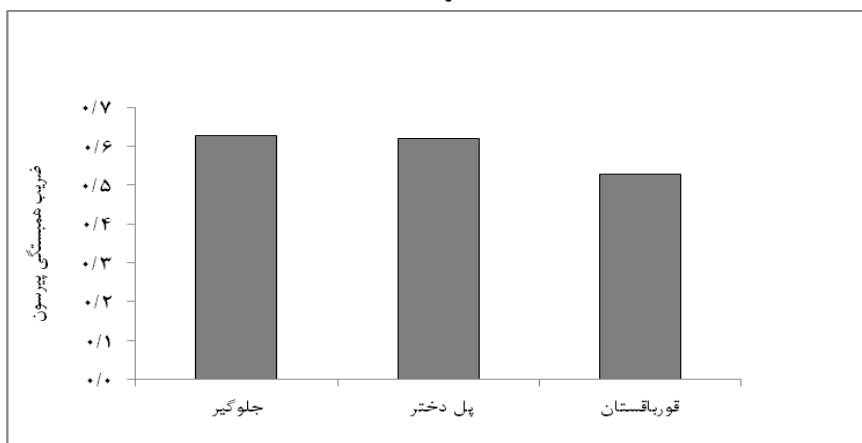
شبکه‌های عصبی احتمالاتی (PNN) ابزاری مؤثر برای حل بسیاری از مسائل طبقه‌بندی است. ایده PNN را اولین بار Specht (1988) مطرح کرد. PNN فرمی از شبکه‌های عصبی است که در آن از تابع فعال‌سازی گوسین به جای تابع زیگموییدی (که در اغلب شبکه‌های عصبی کاربرد دارد) استفاده می‌شود.

PNN بر اساس نظریه طبقه‌بندی بیزین و تخمین تابع چگالی احتمال عمل می‌کند. به منظور طبقه‌بندی بر اساس روش بیزین می‌توان از معادله زیر استفاده کرد (Wasserman, 1993).

جریان رودخانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی جلوگیر، قورباقستان و پل دختر حوضه رودخانه کرخه انتخاب و به دو دوره مساوی تقسیم شد. سپس، با استفاده از داده‌های دوره اول پارامترهای معادله بازسازی برآورد و در دوره دوم ارزیابی شد و برعکس (Fritts, 1990). ضرایب به دست آمده بررسی شد تا دقت روابط تعیین شود. چنانچه روابط از دقت کافی برخوردار بود، از داده‌های کل دوره آماری مشترک برای تعیین معادله بازسازی جریان رودخانه‌های مورد نظر استفاده می‌شود. در این تحقیق برای تحلیل آماری و تعیین آماره‌ها (برای ارزیابی) از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.



شکل ۲. الف) ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص گاه‌شناسی درختی و جریان رودخانه در ماه‌های دی تا خرداد در ایستگاه‌های مورد بررسی (سطح معناداری ۱ درصد)



شکل ۲. ب) ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص گاه‌شناسی درختی و متوسط جریان رودخانه در ماه‌های دی تا خرداد در ایستگاه‌های جلوگیر، پل دختر و قورباقستان (سطح معناداری ۱ درصد)

کلاس،  $d(X)$  تصویر  $X$  در مجموعه کلاس مشخص،  $I_i$  ضریب کاهش ارتباط طبقه‌بندی نادرست یک بردار از کلاس  $\lambda_m$  به کلاس دیگر،  $I_i$  احتمال قبل از وقوع در کلاس  $\lambda_m$  و  $f(X)$  تابع

$$d(x) = \begin{cases} C_i & \text{if } l_i h_{f_1}(x) > l_i h_{f_2}(x) \\ C_j & \text{if } l_i h_{f_1}(x) < l_i h_{f_2}(x) \end{cases} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در معادله فوق  $X$  بردار تصادفی  $p$  بعدی،  $C_i$  برابر  $\lambda_m$ ین

اردیبهشت و خرداد بالاترین همبستگی بین جریان رودخانه و گاه‌شناسی درختی وجود دارد و در دی ماه کمترین میزان همبستگی مشاهده می‌شود. شکل ۲ نیز همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی درختی با متوسط دبی شش ماهه دی تا خرداد را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شاخص گاه‌شناسی درختی با دبی متوسط شش ماهه (دی تا خرداد) همبستگی مثبت و معناداری در سطح ۱ درصد دارد. کمترین مقدار ضریب همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی و جریان رودخانه برای ایستگاه قورباقستان برابر ۰/۵۳ به دست آمد. مقدار ضریب همبستگی برای ایستگاه‌های جلوگیر و پل‌دختر تقریباً با هم برابر بود (به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۶۲) و بیشتر از ایستگاه قورباقستان به دست آمد.

### بازسازی جریان رودخانه

بعد از مشخص شدن همبستگی معنادار بین شاخص گاه‌شناسی درختی و متغیر جریان رودخانه، کار بازسازی برای طول دوره گاه‌شناسی با به‌کارگیری روش رگرسیون خطی انجام شد. نتایج رگرسیون برای دوره واسنجی، ارزیابی و مدل‌نهایی ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوضه رودخانه کرخه در جدول ۱ آمده است. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) معادله نهایی ( $P < 0.01$ ) برای ایستگاه‌های جلوگیر، قورباقستان، و پل‌دختر به ترتیب برابر ۰/۳۹، ۰/۲۸، و ۰/۳۸ از واریانس مدل نهایی را توضیح می‌دهد. ضریب همبستگی در همه دوره‌های واسنجی، ارزیابی و مدل‌نهایی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنادار است که نشان‌دهنده دقت مناسب معادله بازسازی در تشخیص سال‌های مرطوب (پرآب) و خشک (کم‌آب) است. آماره کاهش خطا<sup>۱</sup> (RE) (Fritts, 1976) در هر دو دوره (واسنجی و ارزیابی) بیش از صفر و هر مقدار مثبت این آماره نشان‌دهنده وجود توافق بین سری مشاهداتی و بازسازی و معرف دقت مناسب بازسازی است.

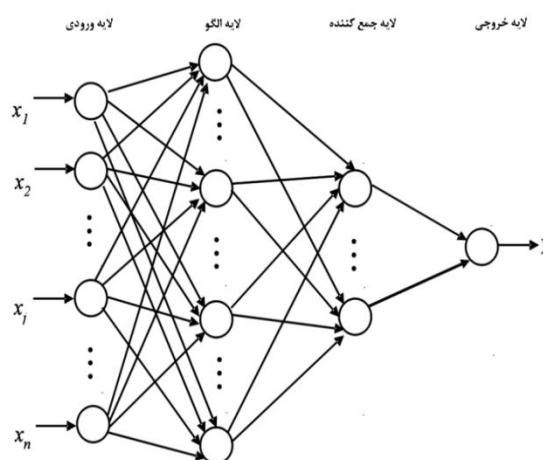
مقدار RMSE معادله نهایی در ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباقستان به ترتیب ۸۵/۶، ۲۶/۹ و ۱۷/۴ mcm بود. آزمون علامت در سطح ۵ درصد معنادار نشد و این بدان معناست که تعداد توافقاتها به‌طور معناداری از تعداد عدم توافقاتها بیشتر است. مقادیر آورد اندازه‌گیری‌شده و بازسازی‌شده ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباقستان در دوره زمانی مشخص در شکل ۵ رسم شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقادیر بازسازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده به خوبی مطابقت دارد.

توزیع احتمال PDF برای کلاس نام است. این معادله برای کمینه‌کردن ریسک مورد انتظار به کار می‌رود (Kim et al., 2005). تابع شعاع پایه گوسین تخمین‌زننده تابع چگالی احتمال پارزن است که با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$f_i(X) = \frac{1}{n_i (\sqrt{2\pi})^p \sigma^p} \sum_{k=1}^{n_i} e^{-\frac{(X-X_{i,k})^T (X-X_{i,k})}{2\sigma^2}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن  $X$  بردار تصادفی  $p$  بعدی،  $f_i(X)$  تابع چگالی احتمال  $X$  برای نامین کلاس،  $n_i$  تعداد مشاهدات در نامین کلاس،  $\sigma$  پارامتر هموارکننده،  $X_{i,k}$  برابر  $k$ امین مشاهده در نامین کلاس و  $T$  علامت ترانهاد است.

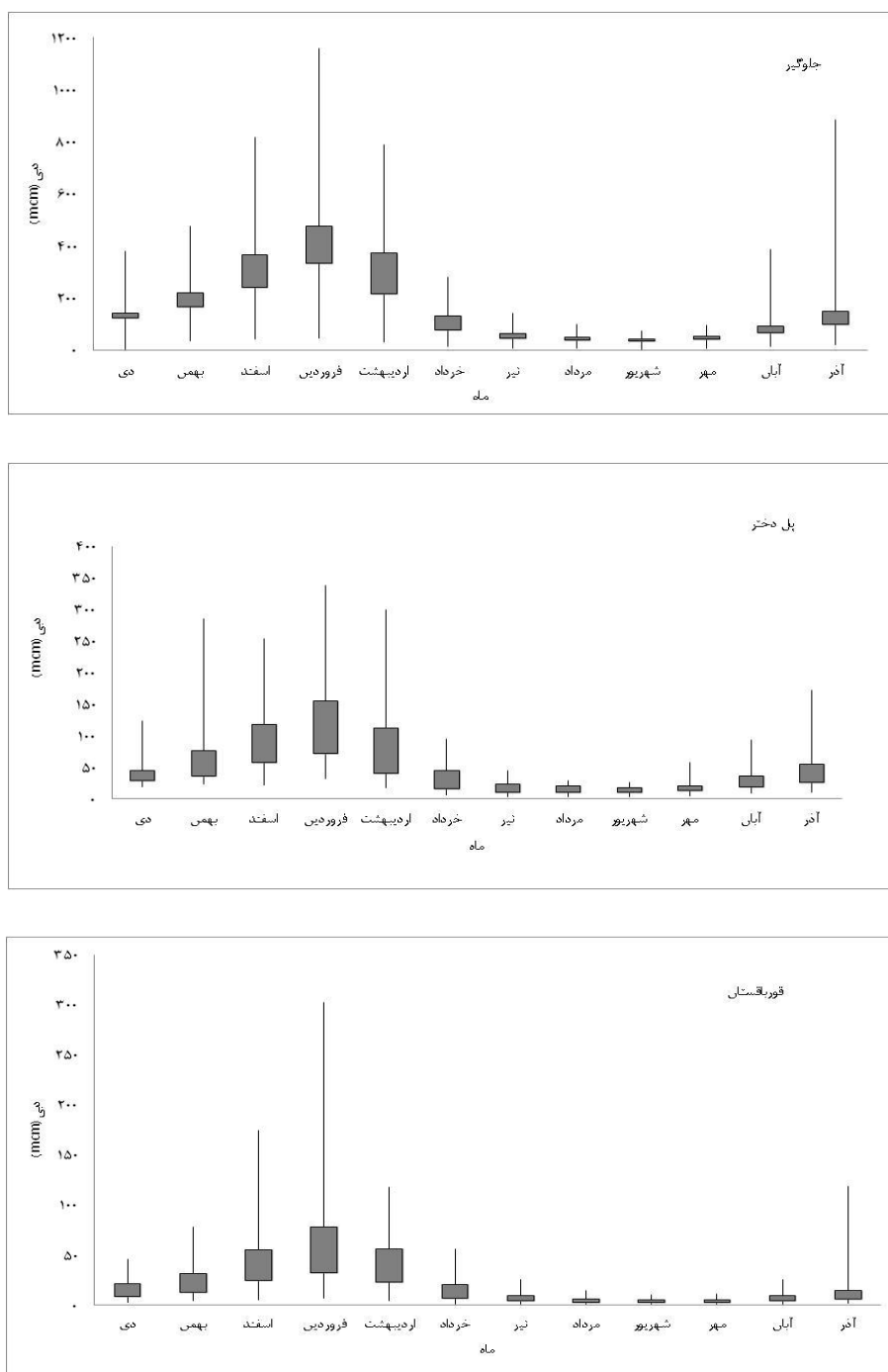
یک شبکه PNN از چهار لایه تشکیل شده است، شامل لایه ورودی، لایه الگو، لایه جمع‌کننده و لایه تصمیم (شکل ۳). لایه ورودی بردار ورودی را دریافت می‌کند. تعداد گره‌ها در این لایه برابر تعداد عامل‌هاست. تعداد گره‌ها در لایه الگو برابر تعداد بردارهای آموزشی است. تعداد گره در لایه جمع‌کننده برابر تعداد کلاس‌هاست و لایه تصمیم بزرگ‌ترین مقدار لایه جمع‌کننده را به عنوان نتیجه طبقه‌بندی انتخاب می‌کند.



شکل ۳. طرحواره شبکه عصبی احتمالاتی (Wasserman, 1993)

### یافته‌ها و بحث

روابط بین جریان رودخانه و گاه‌شناسی درختی جریان رودخانه‌های این حوضه از باران و برف نشأت می‌گیرد. با توجه به منحنی توزیع احتمالات ۲۵ و ۷۵ درصد دبی که در شکل ۴ رسم شده دوره پرآبی رودخانه‌های این حوضه در فصل زمستان و بهار (دی تا خرداد) است. شکل ۲ همبستگی بین شاخص گاه‌شناسی درختی با دبی هر کدام از ماه‌های دی تا خرداد سه ایستگاه آب‌سنجی جلوگیر، پل‌دختر و قورباقستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ماه‌های



شکل ۴. منحنی توزیع دبی برای احتمالات ۲۵ و ۷۵ درصد در ایستگاه‌های آب‌سنجی جلوگیر، پلدختر و قورباقستان در حوضه کرخه

درخت در 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 می‌شود (Nadi et al., 2014). هر مقدار از شاخص معیار  $Z$  که بیشتر (کمتر) از حد  $1.95$  ( $0.5$ ) داده‌ها یعنی  $1/64$  ( $-1/64$ ) بود به عنوان سال‌های نمادین بسیار پرآب (نمادین بسیار کم‌آب) و سال‌هایی که مقدار شاخص معیار  $Z$  بین صفر تا  $1/64$  (صفر تا  $-1/64$ ) باشد سال

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

##### سال‌های کم‌آب، پرآب و نمادین<sup>۱</sup>

در بررسی گاه‌شناسی درختی مورد استفاده در این تحقیق، در برخی سال‌ها حلقه‌هایی مشاهده شد که پهنای بسیار زیاد یا باریک داشت. چنین حلقه‌های رویشی معرف سالی از رویش

1. Pointer years

بسیار کم‌آب، و بسیار پرآب به ترتیب برابر ۱۲ و ۱۰ و تعداد دوره‌های کم‌آب و پرآب به ترتیب برابر ۷۴ و ۷۵ بوده است.

پرآب (کم‌آب) نام‌گذاری شد. طول دوره بازسازی ۱۷۱ سال است که در این مدت کم‌آب‌ترین و پرآب‌ترین سال به ترتیب سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۹۲ بوده است. تعداد دوره‌های نمادین

جدول ۱. نتایج بازسازی جریان رودخانه در مرحله واسنجی، ارزیابی و مرحله نهایی (سطح معناداری ۱ درصد)

ایستگاه جلوگیر											
DW	ST*	RE	R <sup>2</sup>	R	ارزیابی	DW	SE	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	واسنجی
۱/۹	۰/۰۷۸	۰/۲۳	۰/۳۷	۰/۶۱	۱۹۸۵-۲۰۱۰	۲/۱	۸۶/۲۷	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۶۸	۱۹۵۸-۱۹۸۴
۲/۱	۰/۴۴۱	۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۶۸	۱۹۵۸-۱۹۸۴	۱/۹	۸۶/۰۷	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۶۱	۱۹۸۵-۲۰۱۰
RMSE (mcm)						DW	SE (mcm)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	مدل نهایی
۸۵/۶						۱/۷	۸۶/۴۴	۰/۳۸	۰/۳۹۳	۰/۶۳	۱۹۵۸-۲۰۱۰
ایستگاه قورباستان											
DW	ST*	RE	R <sup>2</sup>	R	ارزیابی	DW	SE	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	واسنجی
۱/۶	۰/۱۸۶	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۵۴	۱۹۸۳-۲۰۱۰	۲/۲	۱۹/۶۸	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۵۶	۱۹۵۵-۱۹۸۲
۲/۲	۰/۹۵	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۵۶	۱۹۵۵-۱۹۸۲	۱/۶	۱۴/۷۱	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۵۴	۱۹۸۳-۲۰۱۰
RMSE (mcm)						DW	SE (mcm)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	مدل نهایی
۱۷/۴						۱/۸	۱۷/۶	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۵۳	۱۹۵۵-۲۰۱۰
ایستگاه پلدختر											
DW	ST*	RE	R <sup>2</sup>	R	ارزیابی	DW	SE	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	واسنجی
۱/۸	۰/۹	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۶۲	۱۹۸۴-۲۰۱۰	۲/۱	۲۷/۰۶	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۶۲	۱۹۵۶-۱۹۸۳
۲/۱	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۶۲	۱۹۵۶-۱۹۸۳	۱/۸	۲۸/۳	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۶۲	۱۹۸۴-۲۰۱۰
RMSE (mcm)						DW	SE (mcm)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	R <sup>2</sup>	R	مدل نهایی
۲۶/۹						۱/۷	۲۷/۱	۰/۳۷	۰/۳۸۳	۰/۶۲	۱۹۵۶-۲۰۱۰

\* سطح معناداری ۵ درصد

تداوم پنج سال دو مورد مشاهده شد. برای پرآبی (ترسالی) علاوه بر تداوم‌های یک و دو سال تداوم‌های سه سال سه مورد، تداوم چهار سال دو مورد، تداوم پنج سال یک مورد و تداوم هفت سال دو مورد مشاهده شد. دهه‌های ۱۸۴۰، ۱۸۵۰، ۱۸۸۰، ۱۹۰۰، ۱۹۲۰، ۱۹۵۰، ۱۹۶۰ و ۲۰۰۰ دهه‌های کم‌آب و دهه‌های ۱۸۶۰، ۱۸۹۰، ۱۸۷۰، ۱۹۱۰، ۱۹۳۰، ۱۹۴۰، ۱۹۷۰، ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ دهه‌های پرآب است. کم‌آب‌ترین و پرآب‌ترین دهه به ترتیب ۲۰۰۰ و ۱۹۷۰ است.

بر اساس نظریه ران، دوره‌های طولانی کم‌آبی (خشکسالی) بازسازی شده از ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ تعیین شد (جدول ۲). بر این اساس شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) در کل دوره بازسازی ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ مربوط به سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۳ بوده است. همچنین، شدیدترین کم‌آبی (خشکسالی) بازسازی شده در قرن ۱۹ و ۲۰ به ترتیب در سال‌های ۱۸۵۳ تا

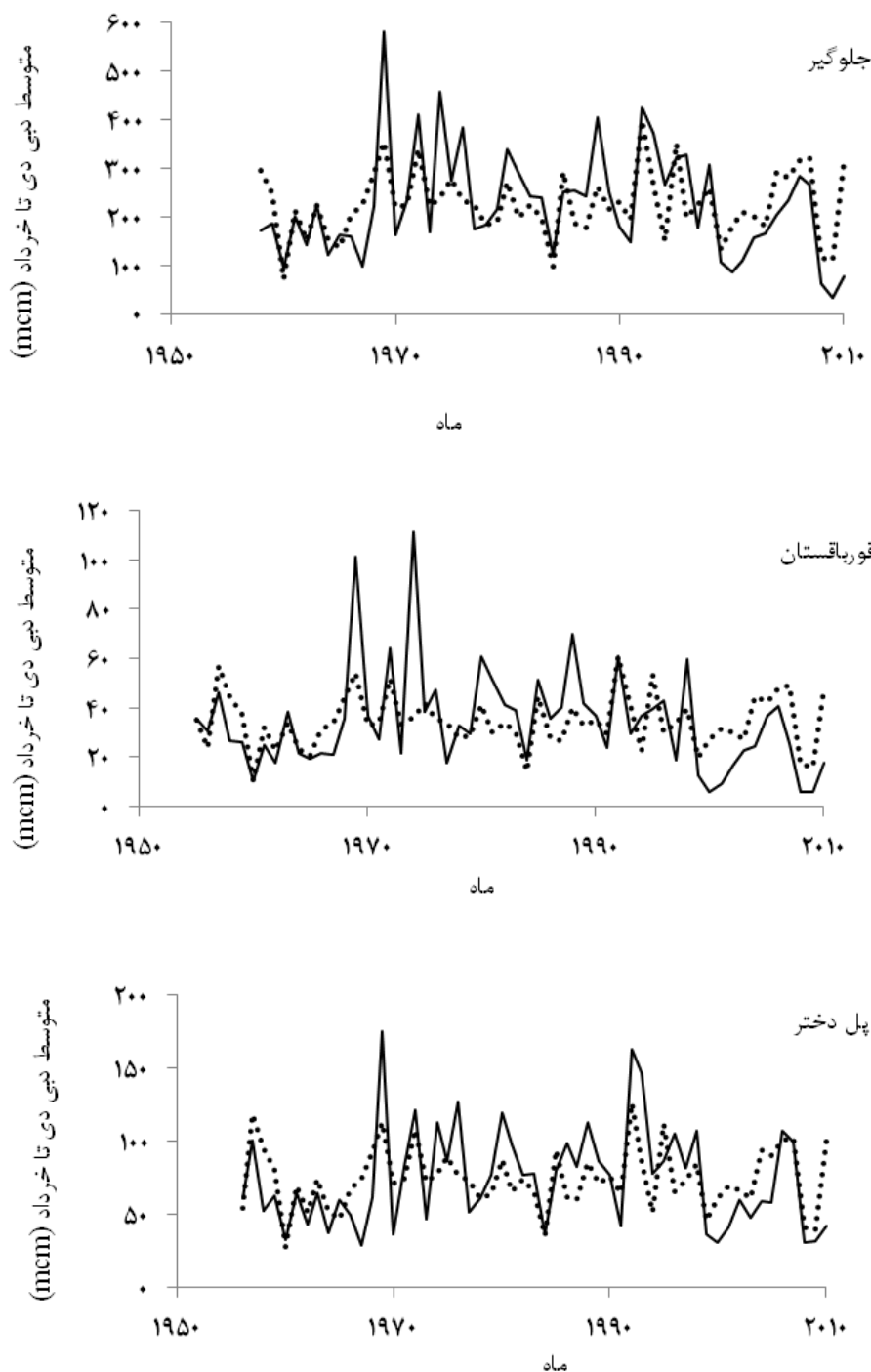
### تداوم‌های کم‌آبی و پرآبی

با بررسی مقادیر جریان رودخانه بازسازی شده برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ تداوم‌های کم‌آبی و پرآبی و دهه‌های کم‌آب و پرآب به شرح زیر مشخص شد.

تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ سال برای کم‌آبی (خشکسالی) و تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ سال برای پرآبی (ترسالی) مشاهده شد. سال ۱۹۲۲ و ۱۹۴۳ مقدار جریان رودخانه‌ها برابر میانگین دوره ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ بوده است. بیشترین تداوم‌ها برای کم‌آبی (خشکسالی) و پرآبی (ترسالی)، تداوم‌های ۱ و ۲ ساله بوده است. تداوم ۱ و ۲ ساله برای کم‌آبی (خشکسالی) به ترتیب برابر ۲۳ و ۱۱ مورد و برای پرآبی (ترسالی) به ترتیب برابر ۲۵ و ۱۰ مورد بود. کم‌آبی (خشکسالی)‌های با تداوم بیش از دو سال از نظر مدیریت منابع آب بسیار بااهمیت است. خشکسالی با تداوم‌های سه سال پنج مورد، تداوم چهار سال چهار مورد و



۱۸۵۵ و ۱۹۶۰ تا ۱۹۶۲ بوده است. شاخص شدت خشکسالی برای جریان بازسازی‌شده سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳ در ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباقستان به ترتیب ۵۰/۱، ۱۵۲/۵ و ۱۰۲/۸ mcm بوده است.



شکل ۵. مقادیر آورد اندازه‌گیری‌شده (خط ممتد) و بازسازی‌شده (خط چین) در ایستگاه‌های جلوگیر، قورباقستان و پل‌دختر

(ترسالی) بازسازی‌شده برای دوره ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ در ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباقستان است که این دوره‌ها با نتایج کار (بازسازی با استفاده از حلقه درخت) سایر محققان مطابقت داشته است. برای مثال، Akkemic و همکاران (2011) بارش ماه مه تا جون و جریان رودخانه فصل بهار و تابستان (مه

مقایسه نتایج بازسازی جریان رودخانه با نتایج سایر محققان در ادامه به مطابقت نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان و گزارش‌های موجود در آرشیو (منبع شماره ۹ جدول ۳) در خصوص سال‌های وقوع خشکسالی و ترسالی اشاره می‌کنیم. جدول ۳ حاوی اطلاعات دوره‌های کم‌آب (خشکسالی) و پرآب

شده است. همچنین، سال‌های ۱۹۱۶-۱۹۱۵ مقدار جریان بیش از میانگین بوده است. نتایج بازسازی مقادیر جریان در این تحقیق نیز ترسالی را در سال‌های ۱۹۱۱ تا ۱۹۱۷ نشان می‌دهد.

تا آگوست) شمال غرب ترکیه در سال‌های ۱۶۵۰ تا ۱۹۳۰ میلادی را بازسازی کردند. آن‌ها گزارش کردند که سال‌های ۱۹۱۳-۱۹۱۴ و ۱۹۱۷ بیشترین مقدار جریان رودخانه بازسازی

جدول ۲. طولانی‌ترین خشکسالی بازسازی شده در حوضه کرخه و شدت خشکسالی (mcm)

ایستگاه آب‌سنجی				
زمان	تداوم (سال)	قورباقستان	پل دختر	جلوگیر
۱۸۴۴-۱۸۴۷	۴	۳۴/۹	۶۷/۸	۲۲۷/۱
۱۸۵۳-۱۸۵۵	۳	۵۲/۵	۱۰۱/۹	۳۴۱/۴
۱۸۶۸-۱۸۷۱	۴	۴۹/۵	۸۱/۸	۲۷۴
۱۸۸۱-۱۸۸۴	۴	۲۲/۲	۴۳/۱	۱۴۴/۲
۱۸۹۲-۱۸۹۵	۴	۲۰/۴	۳۹/۶	۱۳۲/۶
۱۹۲۵-۱۹۲۹	۵	۳۰	۵۸/۳	۱۹۵
۱۹۳۱-۱۹۳۳	۳	۳۱/۵	۶۱/۲	۲۰۴/۵
۱۹۶۰-۱۹۶۲	۳	۴۲/۱	۸۱/۱	۲۳۸/۹
۱۹۶۲-۱۹۶۶	۳	۳۹/۲	۷۴/۴	۲۳۱/۵
۱۹۷۷-۱۹۷۹	۳	۲۱/۹	۳۲/۲	۱۰۲/۲
۱۹۹۹-۲۰۰۳	۵	۱۰۲/۸	۱۵۲/۵	۵۰۱/۱

جدول ۳. مقایسه دوره‌های کم‌آب (خشک) و پرآب (مرطوب) بازسازی شده در حوضه کرخه با نتایج سایر محققان و اسناد موجود در آرشیو

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

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, ۱۰) Purgstall (1983)

کرخه، از نرم‌افزار متلب برای مدل شبکه عصبی احتمالاتی به‌منظور طبقه‌بندی جریان رودخانه به دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پرآب و بسیار پرآب (کلاس ۱ تا ۴) استفاده شد. برای تعیین کلاس واقعی داده‌ها شامل دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پرآب و بسیار پرآب (کلاس ۱ تا ۴) از روش شاخص معیار Z

طبقه‌بندی جریان رودخانه با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی

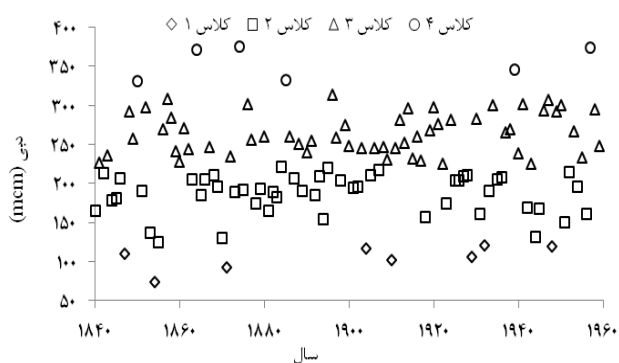
مدلسازی جریان رودخانه

پس از بازسازی جریان رودخانه برای سال‌های ۱۸۴۰ تا ۲۰۱۰ در هر سه ایستگاه جلوگیر، پل دختر و قورباقستان در حوضه

توزیع، داده‌های سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ برای طبقه‌بندی دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پرآب و بسیار پرآب (کلاس ۱ تا ۴) آزمون شد (جدول ۴). مقدار ضریب توزیع بهینه در ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباغستان به ترتیب ۰/۵، ۰/۲ و ۰/۱ است. میزان خطا (Er) در مرحله واسنجی در هر سه ایستگاه‌های آب‌سنجی جلوگیر، پل‌دختر و قورباغستان ۰/۸۳، ۰/۸۳ و ۰/۸۳ درصد و مقدار خطا (Ev) در مرحله واسنجی در هر سه ایستگاه ۱ بود. در مرحله صحت‌سنجی مقدار خطا (Ev) در ایستگاه‌های جلوگیر، پل‌دختر و قورباغستان به ترتیب ۵، ۳ و ۳ و میزان خطا (Er) در هر سه ایستگاه ۵/۹ درصد بود. نتایج کاربرد مدل در منطقه مورد نظر حاکی از آن است که مدل ارائه‌شده با دقت بسیار زیاد قادر به تشخیص دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پرآب و بسیار پرآب در حوضه کرخه است.

#### نتیجه‌گیری

مقدار میانگین جریان در ماه‌های پرآب (دی تا خرداد) در سه ایستگاه جلوگیر، پل‌دختر و قورباغستان در حوضه کرخه بیشترین هم‌بستگی را با گاه‌شناسی حلقه درخت (۱۸۴۰-۲۰۱۰) در منطقه زاگرس میانی داشت که بر این اساس جریان رودخانه بازسازی و دوره‌های خشک (کم‌آب) و مرطوب (پر آب) تعیین شد. تداوم‌های یک، دو، سه، چهار و پنج سال برای خشکسالی و یک، دو، سه، چهار، پنج و هفت سال برای ترسالی مشاهده شد. بیشترین تداوم‌ها برای خشکسالی و ترسالی، تداوم‌های یک و دو ساله بوده است. تعداد تداوم یک و دو ساله برای خشکسالی به ترتیب ۲۳ و ۱۱ مورد و برای ترسالی به ترتیب ۲۵ و ۱۰ مورد بود. خشکسالی با تداوم‌های سه سال پنج مورد، تداوم چهار سال چهار مورد و تداوم پنج سال دو مورد مشاهده شد. برای ترسالی علاوه بر تداوم‌های یک و دو سال تداوم‌های سه سال سه مورد، تداوم چهار سال دو مورد، تداوم پنج سال یک مورد و تداوم هفت سال دو مورد مشاهده شد. خشک‌ترین و مرطوب‌ترین دهه به ترتیب ۲۰۰۰ و ۱۹۷۰ است.



شکل ۶. کلاس واقعی داده‌های واسنجی بر اساس شاخص معیار  $Z_{Scor}$

استفاده شد. برای طبقه‌بندی مقدار جریان رودخانه داده‌ها به دو دسته واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم شد. داده‌های سال‌های ۱۸۴۰ تا ۱۹۵۹ برای واسنجی و داده‌های سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ برای صحت‌سنجی استفاده شد. شکل ۶ کلاس واقعی داده‌های مرحله واسنجی (۱۸۴۰ تا ۱۹۵۹) بر اساس روش شاخص معیار  $Z_{Scor}$  را نشان می‌دهد.

در مرحله واسنجی شبکه عصبی آماری، پارامتری به نام ضریب توزیع<sup>۱</sup> وجود دارد که بیانگر پارامتر  $\sigma$  در معادله (۲) است. مقدار بهینه ضریب توزیع نقش مهمی در نتایج شبکه عصبی آماری ایفا می‌کند که با سعی و خطا و اعتبارسنجی متقابل<sup>۲</sup> تعیین می‌شود. بر این اساس در مرحله واسنجی با استفاده از حلقه تکرار مقادیر مختلفی از ضریب توزیع آزمون شد و به ازای هر مقدار ضریب توزیع نیز مقدار میانگین خطای شبکه طی فرایند اعتبارسنجی متقابل تعیین گردید. این خطا به ازای ضریب توزیع‌های مختلف تعیین شد. در نهایت، کمترین مقدار این خطا نشان‌دهنده ضریب توزیع بهینه است.

#### بررسی عملکرد مدل شبکه عصبی احتمالاتی

مدل ارائه‌شده برای طبقه‌بندی جریان رودخانه در حوضه کرخه استفاده شد که عملکرد آن بسیار رضایت‌بخش بود. برای بررسی عملکرد مدل از دو معیار خطا به شرح زیر استفاده شد (Modaresi and Araghenejad, 2014):

$$\text{Error value} = \text{abs}(Ac - Sc) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\text{Error rate} = N_d / N_t \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

در معادله فوق  $\text{abs}$  علامت قدرمطلق،  $Ac$  کلاس واقعی،  $Sc$  کلاس شبیه‌سازی‌شده،  $N_d$  تعداد طبقه‌بندی‌های نادرست،  $N_t$  تعداد کل داده‌هاست.

میزان خطا<sup>۳</sup> (Er) نشان‌دهنده تعداد طبقه‌بندی‌های نادرست و مقدار خطا<sup>۴</sup> (Ev) نشان‌دهنده بزرگی خطای طبقه‌بندی برای داده‌ای است که اشتباه طبقه‌بندی شده است. مقادیر صفر در هر دو معادله نشان‌دهنده عدم وجود خطا در طبقه‌بندی و مقادیر بزرگ‌تر از صفر نشان‌دهنده وجود خطا در طبقه‌بندی است. هر چه این مقادیر از صفر بیشتر باشد، خطا بزرگ‌تر خواهد بود.

در مرحله صحت‌سنجی با استفاده از مقدار بهینه ضریب

1. Spread
2. Cross validation
3. Error rate
4. Error value

جدول ۴. نتایج شبکه عصبی احتمالاتی در ایستگاه‌های جلوگیر، پل دختر و قورباقستان

واسنجی		صحت‌سنجی		ضریب توزیع بهینه	
Er (%)	Ev	Er (%)	Ev		
۱	۰/۸۳	۵	۵/۹	۰/۵	جلوگیر
۱	۰/۸۳	۳	۵/۶	۰/۲	پل دختر
۱	۰/۸۳	۳	۵/۹	۰/۱	قورباقستان

به‌منظور تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی و طبقه‌بندی جریان رودخانه در سه ایستگاه جلوگیر، پل دختر و قورباقستان، مدل شبکه عصبی احتمالاتی ارائه شد. مدل ارائه‌شده برای طبقه‌بندی جریان رودخانه به‌منظور تحلیل خشکسالی هیدرولوژیکی در کلاس‌های ۱ تا ۴ به ترتیب شامل دوره‌های بسیار کم‌آب، کم‌آب، پرآب و بسیار پرآب استفاده شد. با توجه به مقدار کم خطای مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، می‌توان گفت که مدل شبکه عصبی احتمالاتی ارائه‌شده با دقت بسیار زیاد قادر به تفکیک دوره‌های مورد نظر و تشخیص خشکسالی هیدرولوژیکی است.

## 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.
- Azizi, Gh., Arsalani, M., Bräuning, A., and Moghimi E. (2013). Precipitation variations in the central Zagros Mountains (Iran) since A.D. 1840 based on oak tree rings. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 386, 96–103.
- Büntgen, U., Esper, J., Frank, D. C., Nicolussi K., and Schmidhalter, M. (2005). A 1052-year tree-ring proxy for Alpine summer temperatures. *Climate Dynamics*, 25, 141–153.
- 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.
- D'Arrigo, R., and Cullen, H. M. (2001). A 350-year (AD 1628–1980) reconstruction of Turkish precipitation. *Dendrochronologia*, 19(2), 169–177.
- 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.
- 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.
- 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.
- Karamoz, M., and Araghinejad, Sh. (2010) Advance Hydrology. *Amir Kabir University Press*, Tehran, Iran.
- Kim, D.K., Lee, J. J., Lee, J. H., and Chang, S. K. (2005). Application of probabilistic neural networks for prediction of concrete strength. *ASCE, Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(3), 353–362.
- Knight, T.A., Meko, D. M., and Baisan, C. H. (2010). A bimillennial-length tree-ring reconstruction of precipitation for the Tavaputs Plateau, Northeastern Utah. *Quaternary Research*, 73, 107–117.

- 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.
- Modaresi, F., Araghinead, Sh. (2014). A comparative assessment of support vector machines, probabilistic Neural Networks, and K-nearest neighbor algorithms for water quality classification. *Journal of Water Resource Management*, 28(12), 4095-4111.
- Nadi M., Bazrafshan J., Pourtahmasi K., Brauning A., and Najafi H. F. (2014). 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*, In Press.
- Ottoman Archive. 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).
- 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.
- Rozas, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: establishment patterns and the management history. *Annals of Forest Science*, 62(3), 209-218.
- Shah, S. K., Bhattacharya, A., and Chaudhary, V. (2007). Reconstruction of June-September precipitation based on tree-ring data of teak (*Tectona grandis*L.) from Hoshangabad, Madhya Pradesh. *India Dendrochronologia*, 25, 57-64.
- Specht D. (1988). Probabilistic neural networks for classification, mapping, or associative memory. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 525-532.
- 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.
- Touchan, R., Meko, D. M., and Aloui, A. (2008). Precipitation Reconstruction for Northwestern Tunisia from Tree Rings. *Journal of Arid Environments*, 72, 1887-1896.
- Wasserman, P. D. (1993). *Advanced methods in neural computing*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Watson, E., and Luckman, B. H. (2004). Tree-ring based reconstructions of precipitation for the southern Canadian cordillera. *Climatic Change*, 65, 209-241.
- 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 objective approach to definition and investigations of continental droughts. *Hydrology Paper*, 23, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.