



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گوار

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره ششم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

دو قرن بازسازی حلقه - درختی خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) در منطقه جوانرود کرمانشاه

مهدی نادى^۱، کامبیز پورطهماسی^۲،* جواد بذرافشان^۳ و آخیم براونینگ^۴

^۱ استادیار گروه آبیاری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه تهران،

^۲ دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، استاد گروه جغرافیا، دانشگاه ارلانگن- نورمبرگ آلمان

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: داده‌های بلندمدت آب و هوایی اهمیت ویژه‌ای در مطالعات آب و هواشناسی دارد. متأسفانه دوره ۶۰ ساله داده‌برداری هواشناسی در ایران جوابگوی مطالعه پدیده‌های حدی آب و هوایی نیست. یکی از راه‌های نسبتاً مطمئن برای بازسازی داده‌های هواشناسی گذشته استفاده از داده‌های پهنای دواير سالانه درختان حساس به شرایط آب و هوایی است. در دهه‌های اخیر در این زمینه بر خلاف ایران مطالعات زیادی در دنیا انجام شده است. با توجه به تأثیرگذاری هم‌زمان منابع رطوبتی کوتاه‌مدت و بلندمدت بر رشد درختان در یک سال، هدف از این مطالعه اولاً بررسی تأثیر منابع مختلف رطوبتی بر رشد درختان منطقه و سپس بازسازی شرایط رطوبتی در طی دوره موجود حلقه‌های درختان است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از گاه‌شناسی پهنای دواير سالانه درختان بلوط مازودار واقع در شهرستان جوانرود استان کرمانشاه در ارتفاع ۲۳۰۰ متری از سطح دریا، استفاده شد که مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۸۱۸ می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ۷ ایستگاه هواشناسی (۳ ایستگاه از سازمان هواشناسی کشور و ۴ ایستگاه از وزارت نیرو) تهیه شد. برای بررسی تأثیر هم‌زمان منابع رطوبتی کوتاه‌مدت و بلندمدت بر رشد درختان از شاخص خشکسالی چندمتغیره بارش استاندارد (MSPI) (مبتنی بر شاخص بارندگی استاندارد اصلاح شده: SPI_{mod}) استفاده شد که اساس شاخص مذکور بر تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است.

یافته‌ها: نتایج بررسی همبستگی MSPI با پهنای دواير سالانه درختان در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۶۸ نشان داد که وضعیت کلی منابع مختلف رطوبتی در ماه‌های ژانویه قبل از رشد تا ماه سپتامبر دوره رشد بیش‌ترین تأثیر را بر رشد درختان بلوط منطقه دارد و بیش‌ترین همبستگی مربوط به MSPI ماه ژوئیه است. بنابراین بر مبنای رابطه خطی پهنای دواير سالانه درختان بلوط با MSPI ماه ژوئیه، این شاخص در دوره آماری ۲۰۰۸-۱۸۱۸ بازسازی شد. بر اساس نتایج این پژوهش خشکسالی‌های این منطقه به‌طور متوسط ۲ ساله دارند اما خشکسالی‌های شدید معمولاً تداوم ۳ و ۴ ساله داشته‌اند. همچنین شدیدترین خشکسالی‌های دو قرن گذشته به‌ترتیب در دوره‌های ۱۹۶۳-۱۹۶۰، ۱۸۳۰-۱۸۲۷ و

* مسئول مکاتبه: jbazr@ut.ac.ir

۱۹۹۹-۲۰۰۱ به‌وقوع پیوسته است. نتایج این پژوهش تطابق خوبی با گزارش‌های تاریخی قحطی‌ها و خشکسالی‌های ایران و همچنین نتایج پژوهشگران از کشورهای همسایه شرقی (چین) و بیش‌تر کشورهای غربی (ترکیه و پیرامون دریای مدیترانه) مخصوصاً در مورد خشکسالی‌های شدید دارد. البته بهترین تطابق نتایج این پژوهش مربوط به مطالعات انجام شده در مناطق عبور توده‌های مدیترانه‌ای به‌سمت ایران (جنوب دریای مدیترانه و منطقه خاورمیانه) بود.

نتیجه‌گیری: بررسی ارتباط شاخص MSPI با پهنای دواير سالانه درختان برای اولین بار در این مطالعه به انجام رسید و نتایج بیانگر افزایش ضرایب همبستگی پهنای دواير سالانه درختان با این شاخص نسبت به داده‌های بارندگی بود که به‌نظر می‌رسد دلیل آن در نظرگیری منابع آبی کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌طور هم‌زمان در این شاخص است. نتایج بازسازی ترسالی و خشکسالی‌ها در این پژوهش تطابق بسیار خوبی با نتایج پژوهشگران در کشورهای مجاور و همچنین گزارش‌های تاریخی دارد و به‌نظر می‌رسد که با داده‌های بازسازی شده در این پژوهش با اطمینان زیادی می‌توان آب و هوای گذشته منطقه خاورمیانه را بررسی نمود.

واژه‌های کلیدی: بازسازی، شاخص بارش استاندارد چندمتغیره، حلقه درخت، کرمانشاه

مقدمه

دستیابی به داده‌های بلندمدت آب و هوایی پیش‌نیاز بسیاری از مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. با توجه به این‌که در ایران متوسط دوره داده‌برداری داده‌های هواشناسی از ۶۰ سال بیش‌تر نیست، تطویل داده‌های هواشناسی اهمیت بسیاری دارد. یکی از راه‌های نسبتاً مطمئن برای دستیابی به این هدف استفاده از داده‌های حلقه‌های درختان است. تحلیل نوسانات حلقه‌های درختی بازسازی‌های سالانه و چند صد ساله تاریخ اقلیم را امکان‌پذیر می‌سازد (47). این داده‌ها که از مناطق جنگلی که آب و هوا مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد درختان می‌باشد، تهیه شده و می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند برای تطویل سری‌های بلندمدت پدیده‌های تاریخی مانند خشکسالی‌ها باشد (21). در زمینه بازسازی حلقه درختی داده‌های هواشناسی، مطالعات زیادی در جهان به انجام رسیده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات انجام شده در اروپا (8, 9, 10, 11, 15, 35, 48) آمریکا (24, 37, 14, 23, 27) شرق آسیا و چین

(7, 17, 18, 30, 31, 33, 34) منطقه مدیترانه (1, 2, 28, 42, 52) اشاره نمود. همچنین، مطالعات اندکی در منطقه خاورمیانه نیز انجام شده است (3, 4, 51). در ایران، بیش‌تر مطالعات انجام شده صرفاً به بررسی ارتباط بین پهنای دواير سالانه درختان با عوامل هواشناسی پرداخته‌اند (5, 39, 40, 41, 43, 44). همچنین، برخی پژوهشگران در ایران نظیر فروزان و همکاران (2013) و رضایی و همکاران (2013) ارتباط عوامل هواشناسی را با تغییرات نسبت ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و کربن بررسی نمودند (20, 46). اما در زمینه بازسازی متغیرهای هواشناسی تنها عزیزی و همکاران (2013) و ارسلانی و همکاران (2014) با استفاده از یک گاه‌شناسی منطقه‌ای در غرب کشور به‌ترتیب بارش و دمای حداکثر را در دوره (۲۰۱۰-۱۸۴۰) بازسازی نمودند (3, 4). درباره نوع متغیرهای هواشناسی بازسازی شده توسط حلقه‌های درخت در دنیا مطالعات کم‌تری برای بازسازی شاخص‌های خشکسالی نسبت به بازسازی دما و بارش انجام شده است در حالی‌که به‌نظر می‌رسد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها: سایت نمونه‌برداری حلقه‌های درخت در شهرستان جوانرود (استان کرمانشاه) در محدوده طول جغرافیایی ۳۴ درجه ۴۷ دقیقه شمالی و عرض ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۳۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. اقلیم این منطقه در سیستم دوماترن گسترش یافته نیمه‌خشک سرد است (45).

منابع داده‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

- کرونولوژی پهنای دواير سالانه درخت بلوط مازودار (*Quercus infectoria*) که توسط نجفی و همکاران (2012) تهیه شده است. این درخت، گونه بلوط غالب منطقه است که نسبت به تغییرات آب و هوایی حساس بوده و دیرزیستی زیادی دارد. گاهشناسی به‌دست آمده مربوط به دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۸۱۸ می‌باشد.
- داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه که مجموعاً ۷ ایستگاه (۳ ایستگاه از سازمان هواشناسی کشور و ۴ ایستگاه از وزارت نیرو) را شامل می‌شوند.

شاخص‌های خشکسالی درک بهتری از تغییرات حلقه‌های درختی به‌دست می‌دهند (29). در زمینه بازسازی خشکسالی، بیش‌تر مطالعات به بازسازی PDSI (9, 19) و SPI (29, 48, 50) پرداخته‌اند. همچنین در بازسازی SPI نیز فقط یک مقیاس زمانی خاص مورد بررسی و بازسازی قرار گرفته است. البته نادى و همکاران (2015) همبستگی ۱۲ مقیاس زمانی شاخص SPI (۱ تا ۱۲ ماه) را با پهنای دواير سالانه درختان بلوط بررسی نموده و دریافتند که همه مقیاس‌های SPI همبستگی مثبت و معنادار با رشد درختان بلوط دارند اما بیش‌ترین همبستگی مربوط به مقیاس‌های زمانی ۵ تا ۸ ماه می‌باشد (39).

با توجه به این‌که درختان در یک دوره رشد از منابع مختلف رطوبتی اعم از کوتاه‌مدت (رطوبت خاک) و بلندمدت مدت (آب‌های زیر زمینی) تأثیرپذیرند، بررسی تأثیر همزمان همه منابع رطوبتی (مقیاس‌های مختلف SPI) بر رشد درختان در یک دوره رشد بسیار دارای اهمیت است. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر منابع مختلف رطوبتی بر رشد درختان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده چندمتغیره^۱ (MSPI) و بازسازی شاخص مذکور در طی دو قرن اخیر در منطقه جوانرود کرمانشاه است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی به سایت نمونه‌برداری درختی.

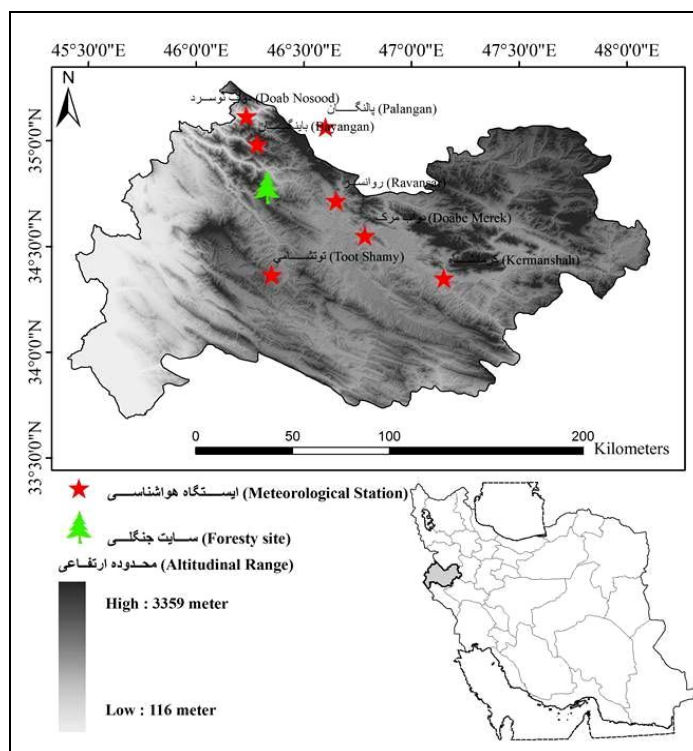
Table 1. Geographical characteristic of nearest meteorological stations to tree ring sampling site.

دوره آماری	فاصله از سایت	ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه هواشناسی
Statistical period	Distance from site (Km)	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Meteorological station
1975-2009	46.1	1550	46.4	34.4	Tootshami
1967-2009	56.7	1290	46.8	34.6	Doab merek
1976-2009	43.9	1000	46.6	35.1	Palangan
1967-2009	39.1	650	46.2	35.1	Doab nosard
1951-2009	103.2	1318	47.2	34.4	Kermanshah
1988-2005	36.4	1379	46.7	34.7	Ravansar
1990-2004	23.3	1590	46.3	35.0	Bayangan

1- Multivariate Standardized Precipitation Index

استفاده از تکنیک زمین‌آماری وزنی عکس مربع فاصله (IDW) به انجام رسید. موقعیت مکانی سایت نمونه‌برداری حلقه درخت به همراه ایستگاه‌های هواشناسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی‌های اولیه داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که در برخی از ماه‌های دوره آماری، داده‌های بارندگی گزارش نشده‌اند. بازسازی داده‌های مفقود در ایستگاه‌های هواشناسی با



شکل ۱- موقعیت سایت نمونه‌برداری حلقه‌های درخت و ایستگاه‌های هواشناسی در استان کرمانشاه.

Figure 1. Location of tree ring sampling site and meteorological stations in Kermanshah province.

بررسی قرار گرفت. اساس شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، برازش یک توزیع احتمال مناسب بر سری مجموع بارندگی‌های ماهانه در پنجره زمانی معین است. سپس، احتمال عدم تجاوز مقادیر بارندگی از روی تابع توزیع تجمعی مناسب تعیین و احتمال به‌دست آمده از این طریق به متغیر تصادفی نرمال استاندارد (یعنی، SPI) تبدیل می‌شود (36). در نسخه تعدیل شده SPI که توسط کائو و گوین دراجو (2010) توسعه یافت و شاخص بارندگی استاندارد تعدیل شده (SPImod) نامیده شد، ماه پایانی یک پنجره زمانی نیز در محاسبه SPI مهم است، بدین

شاخص بارش استاندارد چندمتغیره: فصل رشد درختان بلوط در منطقه مورد مطالعه تقریباً از ماه آوریل شروع شده و در ماه سپتامبر به اتمام می‌رسد. با توجه به تأثیرگذاری احتمالی عوامل هواشناسی در ماه‌های قبل از فصل رشد، متغیرهای هواشناسی به‌صورت سپتامبر قبل از دوره رشد تا سپتامبر دوره رشد مرتب شدند. در این پژوهش همبستگی پهنای دوایر سالانه درختان با متغیر بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه گردید. به‌علاوه، تأثیر خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها بر رشد درختان با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده اصلاح‌شده (SPImod) مورد

اولاً مستقل از یکدیگرند (بر هم عمودند)، ثانیاً تعداد آن‌ها می‌تواند حداکثر به اندازه تعداد متغیرهای اولیه باشد، و ثالثاً آن‌چنان استخراج می‌شوند که اولین مؤلفه اصلی (PC_1) بتواند درصد زیادی از واریانس K متغیر اصلی را توجیه کند. PCA هنگامی مفید است که همبستگی بین متغیرهای اصلی زیاد باشد. این وضعیت سبب می‌شود که اولین مؤلفه اصلی بتواند بخش زیادی از واریانس موجود در متغیرهای اولیه را توجیه کند (ویلکس، ۲۰۱۱). تشکیل ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرهای اولیه، پیش‌نیاز تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) است. با تشکیل این ماتریس، مقدار ویژه‌ها و بردار ویژه متناظر با هر مقدار ویژه محاسبه می‌شود. عناصر بردار ویژه متناظر با بزرگ‌ترین مقدار ویژه، در واقع، همان ضرایب وزنی اولین مؤلفه اصلی (PC_1) به‌شمار می‌روند. ضرایب وزنی دومین مؤلفه اصلی (PC_2)، عناصر بردار ویژه متناظر با دومین مقدار ویژه بزرگ است و الی آخر.

شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) مبتنی بر اولین مؤلفه اصلی (PC_1) است. PC_1 ترکیبی خطی از K متغیر اولیه K سری زمانی SPI متناظر با K مقیاس زمانی، در اینجا $K=10$ است که می‌تواند بیش‌ترین درصد تغییرپذیری در K متغیر اولیه را توضیح است. به‌دلیل خصلت جبری PC_1 ، مقادیر آن نیز بین ماه‌ها و مکان‌های مختلف قابل مقایسه نیست، یعنی بر خلاف SPI، که دارای میانگین صفر و واریانس یک است، PC_1 از چنین ویژگی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین، لازم است سری زمانی PC_1 نسبت به میانگین و انحراف معیار ماه‌های مختلف سال استاندارد شود:

$$Z_{1ym} = \frac{PC_{1ym} - \overline{PC_{1m}}}{SD_{1m}} \approx \frac{PC_{1ym}}{SD_{1m}} \quad (2)$$

معنا که اگر یک پنجره زمانی مانند پنجره سه ماهه انتخاب شده باشد، نسخه اولیه SPI بدون توجه به ماه پایانی، برازش توزیع‌های آماری را بر کل سری زمانی مجموع بارندگی در پنجره سه ماهه بررسی می‌کند، اما در نسخه تعدیل‌شده با ۱۲ سری زمانی سه ماهه (هر یک از سری‌ها به یک ماه معین از سال ختم می‌شود) مواجه هستیم که لازم است برازش توزیع بر هر یک از آن‌ها به‌طور مجزا صورت گیرد (25).

با توجه به این‌که مقیاس‌های زمانی مختلف SPI نشان‌دهنده وضعیت منابع رطوبتی متفاوت می‌باشد و از طرفی درختان همزمان تحت‌تأثیر منابع کوتاه‌مدت و درازمدت رطوبتی هستند، به‌منظور بررسی همزمان همه منابع رطوبتی از شاخص چندمتغیره بارش استاندارد (MSPI) استفاده شد (6). نیاز اولیه شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) تعدادی سری زمانی شاخص بارندگی استاندارد تعدیل‌شده (SPImod)، هر یک معرف یک مقیاس زمانی خاص، در یک ایستگاه معین است. در این مطالعه، SPImod در ۱۲ مقیاس زمانی (۱ تا ۱۲ ماه) در هر یک از ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردید. سپس، با استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی ۱۲ گام زمانی با یکدیگر ترکیب شدند و ۱۲ مؤلفه اصلی محاسبه شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) یا توابع متعامد تجربی (EOF) که گاهاً به اشتباه تحلیل عاملی (FA) نامیده می‌شود، ترکیبات خطی از K متغیر اولیه را به فرم زیر ارائه می‌دهند (54):

$$PC_i = E_i^T X = \sum_{k=1}^K e_{ki} X_k \quad , \quad k=1,2,3,\dots,K \quad (1)$$

که در آن، PC_i مؤلفه اصلی i ام، E_i^T بردار-ویژه i ام، X_k متغیر اولیه k ام، و e_{ki} عنصر k ام بردار ویژه i ام است. این ترکیبات خطی (یعنی، مؤلفه‌های اصلی)

ناچیز و نزدیک به صفر است، از این روی، می‌توان از آن در صورت کسر معادله ۲ صرف‌نظر نمود (26). به‌منظور تعیین کلاس‌های شدت خشکسالی (طبقه‌بندی MSPI) می‌توان از جدول ۲ استفاده کرد.

که در آن، $Z_{1,y,m}$: مقدار استاندارد شده PC_1 در سال y ام و ماه m ام، $\overline{PC_{1m}}$ میانگین PC_1 در ماه m ام، SD_{1m} : انحراف معیار PC_1 در ماه m ام می‌باشد. $Z_{1,y,m}$ همان شاخص بارندگی استاندارد چندمتغیره (MSPI) است. مقدار $\overline{PC_{1m}}$ به لحاظ آماری بسیار

جدول ۲- حدود احتمال و مقادیر MSPI برای طبقات مختلف شدت خشکسالی.

Table 2. Probability range of MSPI for different drought severity class.

حدود احتمال	حدود طبقات MSPI	وضعیت
Probability range	MSPI range class	Situation
84.1 – 15.9 (%)	-1 - +1	نرمال Normal
15.9 – 6.7 (%)	-1.5 - -1	خشکسالی متوسط Moderate drought
6.7 – 2.3 (%)	-2 - -1.5	خشکسالی شدید Severe drought
Less than 2.3 %	less than -2	خشکسالی استثنائی Exceptional drought

شدند. آزمون‌های مورد استفاده برای ارزیابی معادله بازسازی شامل ضریب همبستگی پیرسون (r)، آزمون علامت^۲ (ST)، آماره ضریب کارایی^۳ (CE) و کاهش خطا^۴ (RE) می‌باشند (21).

$$RE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_c)^2} \right] \quad (3)$$

$$CE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_v)^2} \right] \quad (4)$$

واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی شاخص خشکسالی: برای بازسازی خشکسالی در منطقه مطالعاتی، همبستگی ماهانه شاخص بارش استاندارد چندمتغیره با پهنای دوایر سالانه درختان محاسبه گردید و با استفاده از کروئولوژی پهنای سالانه درختان به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده، شاخص MSPI با استفاده از رابطه رگرسیون خطی ساده در دوره آماری موجود حلقه‌ها بازسازی شد. به‌منظور ارزیابی معادله واسنجی، کل دوره آماری به دو دوره مساوی تقسیم شد (۱۹۶۸-۱۹۸۷ و ۱۹۸۸-۲۰۰۸) و در یکی از دوره‌ها پارامترهای معادله بازسازی برآورد و سپس با استفاده از پارامترهای برآورد شده معادله بازسازی در دوره دیگر ارزیابی گردید (12). همچنین به روش ارزیابی متقاطع^۱ نیز بازسازی‌ها در کل دوره ارزیابی

2- Sign Test

3- Coefficient of Efficiency

4- Reduction Error

1- Cross Validation

سالانه درختان بلوط منطقه و بارندگی ماهانه مربوط به هفت ایستگاه مجاور سایت نمونه برداری حلقه های درختان محاسبه شد تا اولاً ایستگاه هواشناسی معرف سایت نمونه برداری حلقه های درختان مشخص شود و ثانیاً تحلیل های همبستگی عرض حلقه های درختان و بارندگی به کمک داده های ایستگاه معرف ارائه شود.

ضرایب همبستگی پهنای دواير سالانه درختان بلوط با داده های بارش ماهانه ایستگاه های هواشناسی مجاور سایت نمونه برداری درختی در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج این جدول نشان می دهد که در بین همه ایستگاه های هواشناسی، ایستگاه دو آب مرککه حدوداً در ۵۷ کیلومتری جنوب شرقی سایت نمونه برداری قرار دارد، اولاً دارای دوره آماری مناسب ۴۱ ساله است و ثانیاً بیش ترین تعداد ماه با همبستگی معنادار با پهنای دواير سالانه درختان را دارد. بنابراین این ایستگاه به عنوان نقطه زمینی مرجع برای مطالعات اقلیم شناسی درختی استفاده شد. با توجه به ضرایب همبستگی ایستگاه مذکور از جدول ۳، تأثیر مثبت بارش ماه های قبل از فصل رشد و همچنین ماه های آوریل و می دوره رشد را به ترتیب می توان به دلیل نقش ذخیره آبی در ماه های قبل و افزایش رطوبت خاک در دوره رشد دانست. به علاوه، بارش سالانه نیز (مجموع بارش اکتبر قبل از فصل رشد تا سپتامبر فصل رشد) تأثیر بسیار معناداری بر رشد درختان دارد.

فرمول محاسبه شاخص های CE و RE به ترتیب در رابطه های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در این معادله \hat{x}_i و x_i به ترتیب مقادیر واقعی و برآوردی در سال i در دوره ارزیابی بوده و \bar{x}_c و \bar{x}_p به ترتیب میانگین داده های واقعی در دوره واسنجی و ارزیابی است. این شاخص ها هر چقدر به عدد یک نزدیک تر باشند نشان دهنده قدرت بالای معادله بازسازی هستند. البته مقدار مثبت این شاخص ها اعتبار کافی مدل را نشان می دهند. آزمون ST نشان دهنده تعداد برآوردهای درست به نادرست بوده که چنانچه تعداد برآوردهای نادرست از حداکثر مجاز آن در سطح ۹۵٪ کم تر باشد، بازسازی ها قابل قبول است. پس از بازسازی MSPI، ابتدا دوره های خشکسالی تعیین شد سپس به منظور تحلیل ساختار خشکسالی ها برای هر خشکسالی چهار مشخصه سختی خشکسالی به عنوان مساحت سطح بین نمودار تغییرات شاخص MSPI و خط شروع خشکسالی ($MSPI=0$) در دوره وقوع پدیده خشکسالی در نظر گرفته شد. تداوم خشکسالی به فاصله زمانی بین شروع و خاتمه خشکسالی تلقی شد (دوره ای که طی آن $MSPI < 0$ است). بزرگی خشکسالی از تقسیم سختی بر تداوم محاسبه شد. به علاوه کم ترین مقدار MSPI در هر دوره خشکسالی به عنوان اوج خشکسالی در آن دوره در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

تحلیل همبستگی عرض حلقه های درخت با بارندگی: در این مطالعه، همبستگی بین پهنای دواير

جدول ۳- ضرایب همبستگی و P-value پهنای دایره سالانه درختان مازو با بارش ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی.

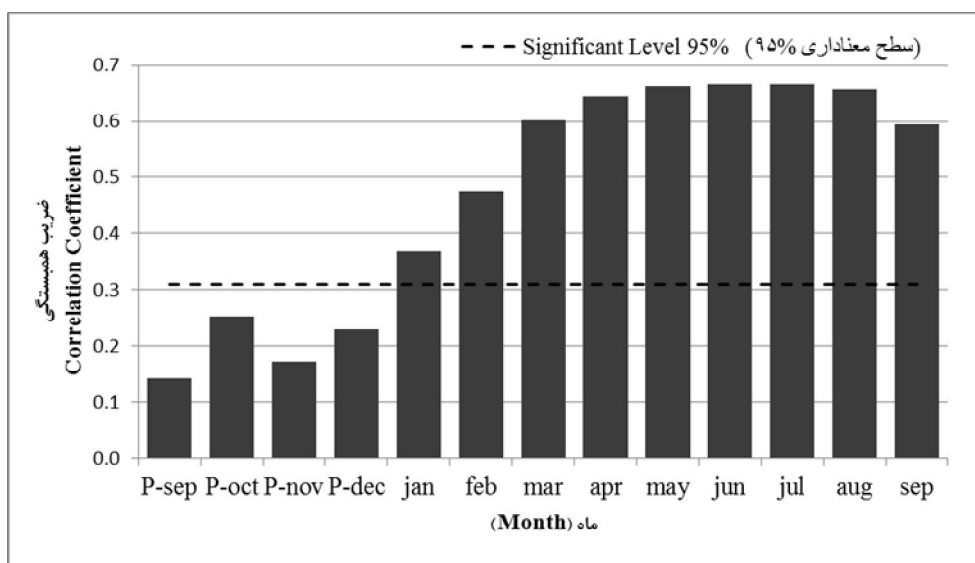
Table 3. Correlation coefficient and P-value of tree ring data and monthly precipitation.

ماه Month	بایگان		توتشامی		دوآب مرک		پالنگان		دوآب نوسرد		کرمانشاه		روانسر	
	r	P	r*	P**	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
Pre Sep.	0.28	0.33	0.32	0.07	0.26	0.10	0.29	0.09	0.29	0.06	0.06	0.65	-0.06	0.82
Pre Oct.	0.44	0.12	0.21	0.22	0.29	0.06	0.20	0.26	0.20	0.20	0.14	0.29	0.33	0.20
Pre Nov.	0.05	0.86	0.04	0.81	0.13	0.40	0.10	0.56	0.16	0.31	0.08	0.53	0.04	0.87
Pre Dec.	0.35	0.22	0.20	0.26	0.10	0.53	0.05	0.79	0.15	0.33	-0.01	0.97	0.18	0.48
Jan.	0.14	0.63	0.44	0.01	0.46	0.00	0.53	0.00	0.37	0.02	-0.03	0.84	-0.37	0.13
Feb.	0.15	0.60	0.48	0.00	0.48	0.00	0.51	0.00	0.35	0.02	0.22	0.10	0.14	0.57
Mar.	0.60	0.02	0.51	0.00	0.51	0.00	0.39	0.02	0.42	0.01	0.36	0.01	0.41	0.09
Apr.	-0.33	0.25	0.40	0.02	0.44	0.00	0.15	0.40	0.27	0.08	0.23	0.08	0.22	0.37
May.	0.25	0.39	0.24	0.17	0.40	0.01	0.03	0.84	0.19	0.23	0.33	0.01	0.39	0.11
Jun.	0.38	0.18	0.13	0.46	0.18	0.25	0.24	0.17	0.14	0.37	0.27	0.04	0.44	0.07
Jul.	-0.58	0.03	-0.28	0.11	-0.30	0.05	-0.15	0.40	-0.15	0.33	-0.21	0.12	-0.44	0.07
Aug.	0.05	0.86	-0.20	0.26	-0.13	0.40	-0.01	0.94	0.16	0.31	-0.07	0.62	-0.43	0.08
Sep.	0.12	0.69	-0.35	0.04	-0.19	0.23	0.08	0.66	-0.09	0.56	-0.14	0.28	-0.46	0.06
Pre Oct.-Sep.	-0.16	0.58	0.58	0.00	0.62	0.00	0.37	0.03	0.44	0.00	0.42	0.00	0.38	0.14

P-Value** *Correlation Coefficient

همبستگی این شاخص با پهنای دایر سالانه درختان محاسبه گردید که در شکل ۲ نشان داده شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که وضعیت کلی منابع رطوبتی سه ماه قبل تا انتهای فصل رشد تأثیر مثبت و معناداری بر رشد پهنای دایر سالانه درختان منطقه دارد. با توجه به این‌که بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی مربوط به MSPI ماه ژوئیه فصل رشد می‌باشد، در این پژوهش شاخص MSPI ماه ژوئیه بازسازی شد. البته شایان ذکر است که این شاخص تنها مربوط به ماه ژوئیه نبوده و وضعیت خشکسالی ۱ تا ۱۲ ماه قبل از خود را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۳، تأثیرگذاری منابع آبی کوتاه‌مدت (رطوبت خاک) و درازمدت (آب‌های سطحی و زیرزمینی) بر رشد سالانه درختان کاملاً مشهود است. بنابراین در این پژوهش سعی شد تأثیر همه منابع رطوبتی در قالب مقیاس‌های مختلف شاخص SPI در نظر گرفته شود. با توجه به این‌که برای هر ماه از سال ۱۲ وضعیت متفاوت خشکسالی (SPI ۱ تا ۱۲) محاسبه شد و از طرفی رشد سالانه درختان هم‌زمان تحت تأثیر منابع آبی کوتاه‌مدت و درازمدت است، به‌منظور در نظرگیری توأم همه منابع رطوبتی در یک ماه از شاخص چندمتغیره بارش استاندارد برای پایش خشکسالی استفاده شد و سپس



شکل ۲- ضرایب همبستگی پهنای دایر درختان مازو با شاخص چندمتغیره بارش استاندارد در ماه‌های مختلف.

Figure 2. Correlation coefficient of tree ring data and multivariate standardized precipitation index in different months.

سال‌های تر و خشک را به درستی تشخیص می‌دهد. همچنین آماره‌های CE و RE در هر دو دوره بیش‌تر از صفر بوده که قابل قبول می‌باشند. با توجه به نبود اختلاف معنی‌دار آماره دوربین واتسون (DW) از عدد ۲ در همه دوره‌ها، می‌توان از عدم وجود خود همبستگی مرتبه اول در باقیمانده‌های معادله

واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی: همه نتایج واسنجی و ارزیابی معادله رگرسیونی در جدول ۴ نشان داده شده است. ضرایب همبستگی در همه دوره‌های واسنجی و ارزیابی در سطح احتمال ۹۹٪ معنادار است. نتایج آزمون علامت در همه دوره‌های ارزیابی نشان داد که معادله بازسازی به‌طور معناداری

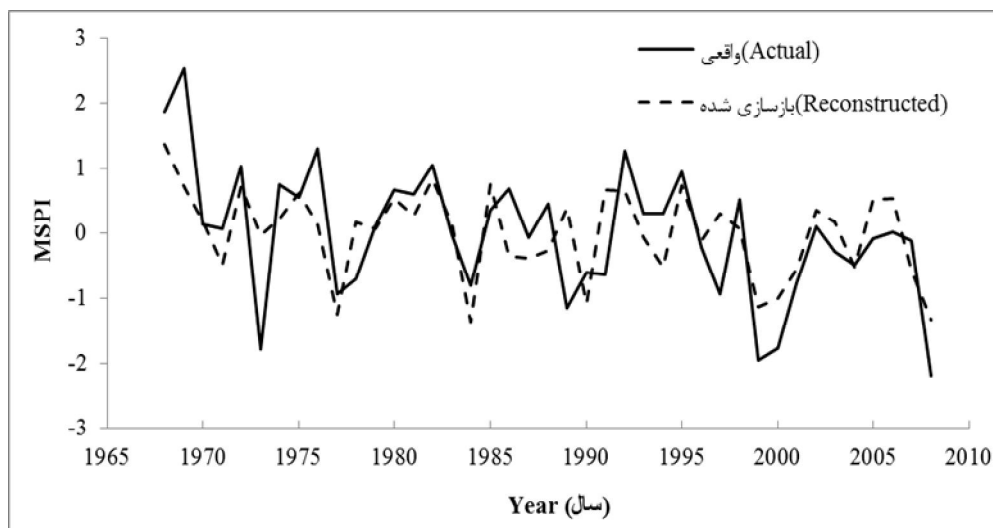
می‌توان گفت در حدود ۴۵ درصد از تغییرات پهنای دوایر سالانه درختان تحت تأثیر شاخص MSPI ژوئیه است. در شکل ۳ روند مقادیر واقعی و بازسازی شده MSPI در دوره آماری داده‌های موجود در ایستگاه هواشناسی (۱۹۶۸-۲۰۰۸) ترسیم شده است. این شکل به خوبی روند تغییرات مشابه و همسوی داده‌های بازسازی شده و محاسبه شده این شاخص را نشان می‌دهد.

رگرسیون مطمئن بود. به علاوه مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) در همه دوره‌های ارزیابی از مقدار انحراف استاندارد داده‌های محاسبه شده MSPI ژوئیه کل دوره آماری ایستگاه (SD=1) کم‌تر بوده که نشان‌دهنده خطای قابل قبول معادله بازسازی است. نتایج کلی جدول ۴ بیانگر قدرت خوب معادله بازسازی در بازسازی سال‌های تر و خشک است. نتایج ارزیابی متقاطع کل دوره آماری ایستگاه (۱۹۶۸-۲۰۰۸) نیز بسیار خوب بوده و در مجموع

جدول ۴- نتایج واسنجی و ارزیابی معادله بازسازی در دوره‌های مختلف زمانی.

Table 4. Calibration and validation results of reconstruction equation in different period.

RE	CE	RMSE	DW	R	ST	دوره ارزیابی Validation	R^2_{adj}	R^2	R	معادله واسنجی Calibration Equation	دوره واسنجی Calibration
0.48	0.19	0.82	1.66	0.67	16.5	1988-2008	0.41	0.44	0.66	$MSPI=4.23*Tr - 4.04$	1968-1987
0.48	0.13	0.86	1.83	0.63	16.4	1968-1987	0.37	0.40	0.63	$MSPI=3.77*Tr - 4.04$	1988-2008
---	---	0.77	2.25	0.63	30.11	1968-2008	0.43	0.45	0.67	$MSPI=4.32*Tr - 4.35$	1968-2008 (Full Period)



شکل ۳- مقادیر واقعی و بازسازی شده شاخص MSPI ژوئیه.

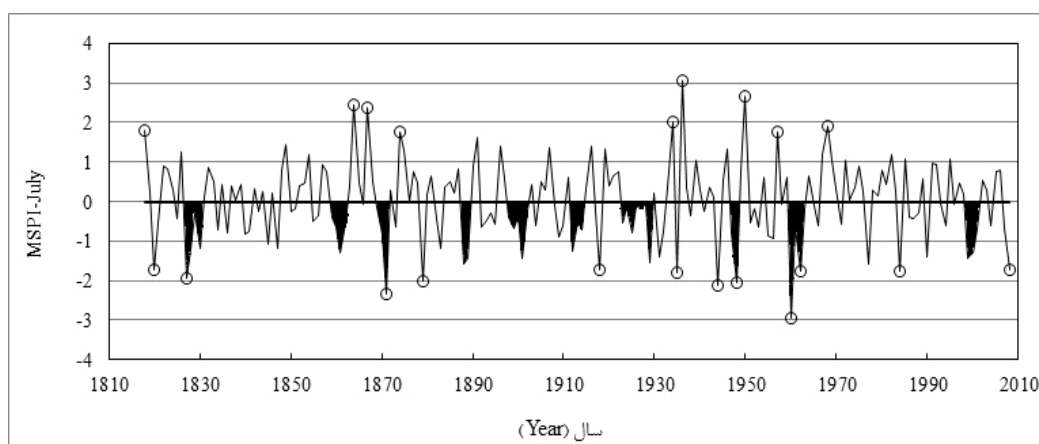
Figure 3. Actual and Reconstructed MSPI-July.

دوره آماری موجود پهنای دوایر سالانه درختان (۱۸۱۸-۲۰۰۹) بازسازی گردید که در شکل ۴ داده‌های MSPI بازسازی شده نشان داده شده است.

معادله نهایی بازسازی (معادله واسنجی کل دوره در جدول ۴) با استفاده از داده‌های MSPI کل دوره (۱۹۶۸-۲۰۰۸) واسنجی شد. سپس MSPI در کل

آنالیز ساختار خشکسالی‌های بازسازی شده: به‌منظور تحلیل ساختار خشکسالی‌ها برای هر خشکسالی چهار مشخصه سختی، تداوم، بزرگی و اوج در نظر گرفته شد. قبل از محاسبه خصوصیات خشکسالی سری بازسازی شده استاندارد شد. شکل ۴ سری زمانی استاندارد MSPI ژوئیه بازسازی شده را در دوره زمانی ۱۸۱۸-۲۰۰۸ در منطقه جوانرود کرمانشاه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در مجموع دو قرن گذشته در این منطقه ۳۹ دوره خشکسالی به‌وقوع پیوسته است که شامل ۲۰ خشکسالی یک‌ساله، ۱۰ خشکسالی دو ساله، ۴ خشکسالی سه‌ساله، ۳ خشکسالی چهار ساله، ۱ خشکسالی پنج‌ساله و ۱ خشکسالی هفت‌ساله می‌باشند. شایان ذکر است که هیچ‌کدام از خشکسالی‌های هفت، پنج و چهار ساله در دوره آماری ایستگاه مورد بررسی ثبت نشده‌اند.

به‌منظور تشخیص سال‌های نمادین^۱ از شاخص Zscore استفاده شد و در سال‌هایی که مقدار این شاخص از ۱/۶۴ (حد ۹۵٪ داده‌های نرمال استاندارد) بیش‌تر بود به‌عنوان سال نمادین مثبت و در سال‌هایی که این شاخص از ۱/۶۴- (حد ۵٪ داده‌های نرمال استاندارد) کم‌تر بود به‌عنوان سال‌های نمادین منفی در نظر گرفته شد که این سال‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌طورکلی در ۲۰۰ سال گذشته این منطقه تعداد ۱۲ سال نمادین منفی بازسازی شد که شدیدترین آن‌ها به‌ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۶۰، ۱۸۷۱، ۱۹۴۴، ۱۹۴۸ و ۱۸۷۹ می‌باشد. همچنین تعداد ۹ سال نمادین مثبت نیز بازسازی شدند که سال‌های ۱۹۳۶، ۱۹۵۰، ۱۸۶۴، ۱۸۶۷ و ۱۹۳۴ به‌ترتیب مرطوب‌ترین سال‌های بازسازی شده بودند.



شکل ۴- سری زمانی MSPI بازسازی شده در دوره زمانی ۱۸۱۸-۲۰۰۸ در منطقه مورد بررسی. دایره‌های توخالی روی شکل معرف سال‌های نمادین هستند.

Figure 4. Reconstruction of MSPI in 1818-2008. Hollow Circle indicates pointer years.

1- Pointer Years

به‌منظور اطمینان بیشتر، نتایج این پژوهش با گزارش‌های تاریخی قحطی‌ها و خشکسالی‌های ایران تطبیق داده شد که بعضی از سال‌های نمادین منفی بازسازی شده در این گزارش‌ها مشاهده شد. به‌عنوان مثال سال‌های: ۱۸۷۰-۱۸۷۱، ۱۹۲۹، ۱۹۴۸ توسط ملویل (1984) به‌عنوان سال‌های وقوع خشکسالی و قحطی در ایران گزارش شده است. همچنین دایره‌المعارف مطالعات ایران^۱ نیز به نقل از مورخین تاریخ ایران، سال‌های ۱۸۶۱، ۱۸۷۹، اوایل قرن بیستم و اواخر دهه ۱۹۲۰ را به‌عنوان سال‌های قحطی در ایران گزارش کرده است (دی‌پلنهور، 2012). که همگی این سال‌ها با سال‌های خشک بازسازی شده در این پژوهش مطابقت دارد. به‌علاوه خشکسالی و قحطی معروف دهه ۱۹۲۰ در ایران (قلی‌مجد، 2003) نیز بازسازی شد که بر اساس نتایج به‌دست آمده نیز به‌عنوان طولانی‌ترین دوره خشک در ۲۰۰ سال گذشته این منطقه شناخته می‌شود.

برای درک بهتر در مورد خشکسالی‌های طولانی‌مدت منطقه، جدول ۵ مشخصات ده مورد از شدیدترین خشکسالی‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه را ارائه می‌دهد که پنج مورد مربوط به قرن نوزده و پنج مورد مربوط به قرن بیستم است. این ده مورد خشکسالی حداقل دو و حداکثر ۷ ساله بودند که شدیدترین خشکسالی دو قرن گذشته منطقه (از نظر سختی) در خلال سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۶۳ به‌مدت چهار سال به وقوع پیوست (مورد شماره ۱ در جدول ۵). به‌علاوه کم‌ترین مقدار MSPI دو قرن گذشته (۲/۹۶-) نیز در طی این دوره به وقوع پیوست. پس از آن خشکسالی ۱۸۳۰-۱۸۲۷ در قرن ۱۸ به‌عنوان شدیدترین خشکسالی بازسازی گردید. همچنین طولانی‌ترین دوره خشک منطقه نیز به‌مدت بیش از هفت سال بین سال‌های ۱۹۲۹-۱۹۲۳ به وقوع پیوسته است.

جدول ۵- شدیدترین خشکسالی‌های بازسازی شده در دوره زمانی ۲۰۰۸-۱۸۱۸ در منطقه مورد بررسی.

Table 5. Severe droughts reconstructed in 1818-2008.

دوره زمانی	اوج	بزرگی	تداوم (سال)	شدت	شماره خشکسالی
Time span	Peak	Magnitude	Duration (year)	Severity	Drought Num
1960-1963	-2.96	-1.29	4	-5.21	1
1827-1830	-1.95	-0.93	4	-4.21	2
1999-2001	-1.45	-0.92	3	-3.17	3
1869-1871	-2.34	-1.00	3	-3.13	4
1923-1929	-1.54	-0.43	7	-3.12	5
1898-1902	-1.43	-0.61	5	-2.86	6
1859-1862	-1.29	-0.67	4	-2.61	7
1888-1889	-1.58	-1.09	2	-2.49	8
1947-1948	-2.06	-1.11	2	-2.34	9
1912-1914	-1.27	-0.65	3	-2.20	10

مطالعه دیگری توخان و همکاران (2005) با بازسازی شاخص *SPI* در جنوب غربی و جنوب ترکیه، خشکسالی دهه ۱۸۲۰، اواخر دهه ۱۸۶۰، دهه اول قرن بیستم و خشکسالی معروف دهه ۱۹۲۰ و همچنین دهه ۱۹۶۰ را به طور مشابه بازسازی نمودند (50). همچنین بعضی از سال‌های خشک بازسازی شده در این پژوهش مانند ۱۸۴۰، ۱۸۹۳، ۱۹۲۷ و ۱۹۲۸ توسط کوسه و همکاران (۲۰۱۱) در ترکیه نیز بازسازی شدند (28). به منظور بررسی دقیق‌تر، نتایج این پژوهش با مطالعات انجام شده در جنوب دریای مدیترانه هم مقایسه شد. به عنوان مثال مقایسه یافته‌های این پژوهش با نتایج حاصل از بازسازی بارش در شمال غرب تونس بیانگر الگوی مشابه تغییرات خشکسالی‌ها بود به طوری که دوره‌های خشکسالی ۱۸۳۰-۱۸۲۷، دهه ۱۹۶۰، دهه ۱۹۲۰، دهه ۱۸۴۰ و اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم در هر دو پژوهش بازسازی شده بودند (52). اما بیش‌ترین تطابق و همخوانی نتایج این مطالعه با مطالعات خارجی مربوط به نتایج بازسازی بارش در جنوب اردن توسط توخان و همکاران (1999) بود (51). مثلاً خشکسالی‌های شدید بازسازی شده در این پژوهش مانند ۱۹۶۳-۱۹۶۰ و ۱۸۷۱-۱۸۶۹ عیناً در اردن نیز به وقوع پیوسته بود. علاوه بر آن خشکسالی‌های متوسط منطبق بر نتایج این پژوهش مانند خشکسالی‌های اوایل دهه‌های ۱۹۱۰ و ۱۹۳۰ و همچنین خشکسالی‌های اواخر دهه‌های ۱۸۵۰، ۱۹۲۰ و ۱۹۴۰ نیز به خوبی بازسازی شده بود.

نتیجه‌گیری

بررسی اسناد و مدارک قابل دسترس نشان می‌دهد که بازسازی *MSPI* با استفاده از پهنای دواير سالانه درختان برای اولین بار در این مطالعه به انجام رسیده است. استفاده از این شاخص در مطالعات اقلیم‌شناسی

مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش‌های انجام شده در کشورهای مجاور: به منظور ارزیابی نتایج این پژوهش، دوره‌های تر و خشک بازسازی شده با نتایج سایر پژوهشگران مورد مقایسه قرار گرفت. به عنوان مثال عزیزی و همکاران (2013) در بازسازی بارش در کوه‌های زاگرس مرکزی ایران نیز مشابه نتایج این پژوهش سال‌های ۱۸۷۱، ۱۹۲۹، ۱۹۴۴، ۱۹۴۸، ۱۹۶۰، ۱۹۸۴ و ۲۰۰۸ را به عنوان سال‌های بسیار خشک شناسایی کرده بودند (4). بررسی پژوهش‌های انجام شده برای بازسازی بارش سالانه (ژوئیه تا ژوئن) در شمال و شمال شرق فلات تبت توسط لیانگ و همکاران (2009) و شائو و همکاران (2005) تطابق خوب دوره‌های خشکسالی ۱۸۳۰-۱۸۲۷، دهه ۱۹۲۰، ۱۹۶۳-۱۹۶۰ و اوایل قرن بیست و یک را با نتایج این پژوهش نشان داد (32, 49). همچنین، نتایج بازسازی *PDSI* در قسمت شمال مرکزی چین توسط لیو همکاران (2007) ما را به این نتیجه رساند که خشکسالی‌های تاریخی شدید در این منطقه، شباهت زیادی با نتایج این پژوهش دارد (34). همچنین، دوره ۱۹۲۵-۱۹۱۰ توسط فن و همکاران (2008) به عنوان خشک‌ترین دوره در ۳۵۰ سال گذشته جنوب غربی فلات تبت بازسازی شد که سال‌های انتهایی این دوره مقارن با طولانی‌ترین دوره خشک در ۲۰۰ سال گذشته ایران می‌باشد (18). البته، خشکسالی معروف دهه ۱۹۲۰ در مطالعات زیادی در شمال و شمال غرب چین و جنوب فلات تبت به عنوان خشکسالی شدید و طولانی معرفی شده است (18). همچنین نتایج این پژوهش با مطالعات انجام شده در قسمت غربی منطقه نیز مقایسه شد به عنوان مثال توخان و همکاران (2007) همانند نتایج این پژوهش خشکسالی‌های ۱۸۷۱-۱۸۶۹، دهه ۱۹۲۰ و اواخر قرن ۱۹ را در آناتولی ترکیه بازسازی نمودند (53). در

(۴) با محاسبه شاخص $Zscore$ ۱۳ سال نمادین منفی و ۸ سال نمادین مثبت در ۲۰۰ سال گذشته این منطقه بدست آمد.

(۵) تحلیل خصوصیات پنج خشکسالی مهم بازسازی شده منطقه در ۲۰۰ سال گذشته نشان داد که از نظر سختی خشکسالی شدیدترین خشکسالی‌ها در منطقه مورد بررسی در سال‌های ۱۹۶۳-۱۹۶۰، ۱۸۳۰-۱۸۲۷، ۲۰۰۱-۱۹۹۹، ۱۸۷۱-۱۸۶۹ و ۱۹۲۹-۱۹۲۳ به وقوع پیوسته است. اما در این بین، خشکسالی معروف دهه ۱۹۲۰ (که در اکثر مطالعات انجام شده در شرق و غرب منطقه و همچنین در همه گزارش‌های تاریخی قحطی‌های ایران گزارش شده بود) از دیدگاه سختی در رتبه پنجم در بین خشکسالی‌های گذشته منطقه قرار دارد ولی دوره مذکور از نظر تداوم، بی‌سابقه‌ترین دوره خشک (۷ سال) در ۲۰۰ سال گذشته این منطقه محسوب می‌شود. در شدیدترین دوره خشک منطقه (۱۹۶۳-۱۹۶۰) کم‌ترین مقدار شاخص $MSPI$ کل دوره آماری نیز رخ داد و این دوره در اکثر مطالعات انجام شده در غرب منطقه و در بعضی از مطالعات انجام شده در شمال‌غرب، جنوب و جنوب‌غرب فلات تبت نیز بازسازی شده بود. همچنین خشکسالی شدید ۱۸۳۰-۱۸۲۷ و خشکسالی‌های اوایل و اواخر قرن بیستم پایش شده در این مطالعه در اکثر مطالعات انجام شده در شرق مدیترانه بازسازی شده بودند. در مجموع می‌توان گفت مطالعات انجام شده در شرق دریای مدیترانه نسبت به مطالعات شمال‌غربی و غرب چین، تطابق بهتری با نتایج بازسازی شده در این پژوهش دارند و در بین پژوهش‌های خارجی انجام شده در کشورهای واقع در غرب ایران، مطالعه توخان و همکاران (2008) در شمال تونس و مخصوصاً مطالعه توخان و همکاران (1999) در

درختی می‌تواند بسیار دارای اهمیت باشد. زیرا تأثیر منابع آبی کوتاه‌مدت و بلندمدت را به‌طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد. همچنین برای محاسبه آن تنها به داده‌های بارش ماهانه نیاز است که تقریباً در همه ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود. خلاصه نتایج کلیدی به‌دست آمده در این مقاله به‌شرح زیر است:

(۱) برای بازسازی $MSPI$ ماه ژوئیه از سری زمانی ۲۰۰ ساله حلقه‌های درختان بلوط گونه مازودار در منطقه جوانرود کرمانشاه (غرب ایران) استفاده شد. تکنیک مورد استفاده برای بازسازی $MSPI$ ماه ژوئیه، معادله رگرسیون ساده بین $MSPI$ و پهنای دواير سالانه درختان در دوره زمانی ۱۹۶۸-۲۰۰۸ بود.

(۲) بررسی رابطه بارندگی ثبت شده در چندین ایستگاه هواشناسی مجاور سایت نمونه‌برداری حلقه درختی با پهنای دواير سالانه درختان نشان داد که ایستگاه دو آب مرک مناسب‌ترین ایستگاه هواشناسی برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی در این منطقه است.

(۳) بررسی ارتباط شاخص $MSPI$ با پهنای دواير سالانه درختان نشان داد که شرایط رطوبتی سه ماه قبل تا ماه‌های پایانی دوره رشد یعنی ژانویه-سپتامبر تأثیر مثبت و معنادار بر رشد درختان دارند. ولی بیش‌ترین همبستگی مربوط به ماه ژوئیه بود. بنابراین شاخص $MSPI$ ماه ژوئیه در دوره ۲۰۰۸-۱۸۱۸ بازسازی شد. نتایج ارزیابی معادله بازسازی بیانگر قدرت خوب معادله رگرسیونی در بازسازی سال‌های تر و خشک و همچنین همخوانی بسیار خوب روند داده‌های بازسازی و واقعی بود. بر مبنای نتایج بازسازی $MSPI$ مشخص شد که اکثر خشکسالی‌های شدید منطقه دو، سه و چهار ساله بودند و تنها یک مورد خشکسالی ۷ ساله بازسازی شد.

جنوب اردن بیشترین تطابق را با نتایج این پژوهش داشت (51, 52). که این خود به دلیل قرارگیری این دو منطقه در مسیر حرکت توده‌های باران‌زای مدیترانه‌ای باشد. بنابراین می‌توان گفت نتایج بازسازی دوره‌های تر خشک در این پژوهش می‌تواند حلقه اتصال رخدادهای تاریخی خشکسالی مناطق واقع در شرق و غرب منطقه مطالعاتی باشد.

منابع

1. Akkemik, Ü., and Aras, A. 2005. Reconstruction (1689-1994 AD) of April–August precipitation in the southern part of central Turkey. *Int. J. Climatol.* 25: 537-548.
2. Akkemik, Ü., D'Arrigo, R., Cherubini, P., Köse, N., and Jacoby, G.C. 2008. Tree-ring reconstructions of precipitation and streamflow for north-western Turkey. *Int. J. Climatol.* 28: 173-183.
3. Arsalani, M., Azizi, Gh., and Bräuning, A. 2014. Dendroclimatic reconstruction of May-June maximum temperatures in the central Zagros Mountains, western Iran. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.3988.
4. 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.
5. Balapour, Sh., Jalilvand, H., Raeini, M., and Asadpour, H. 2010. Relationship between tree rings of Beech (*Fagus orientalis*) with some climatic variables in experimental forest of Natural Resources Faculty (Darabcola). *Water. Manage. Res. J. (Pajouhesh & Sazandegi).* 88: 1-10. (In Persian)
6. Bazrafshan, J., Hejabi, S., and Rahimi, J. 2014. Drought Monitoring Using the Multivariate Standardized Precipitation Index (MSPI). *Water Resour. Manage.* 28: 1045-1060.
7. Bräuning, A. 2006. Tree-ring evidence of 'Little Ice Age' glacier advances in southern Tibet. *The Holocene.* 16: 3. 369-380.
8. 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.
9. Büntgen, U., Trouet, V., Frank, D., Leuschner, H.H., Friedrichs, D., Luterbacher, J., and Esper, J. 2010. Tree-ring indicators of German summer drought over the last millennium. *Quaternary Science Reviews.* 29: 1005-1016.
10. Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., and Kaplan, J. 2011 a. 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science.* 331: 578-582.
11. Büntgen, U., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Trnka, M., and Kyncl, T. 2011b. Five centuries of Southern Moravian drought variations revealed from living and historic tree rings. *Theor Appl Climatol.* 105: 1. 167-180.
12. Cook, E.R., and Kairiukstis, L.A. 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 394p.
13. Cook, E.R., Anchukaitis, K.J., Buckley, B.M., D'Arrigo, R.D., Jacoby, G.C., and Wright, W.E. 2010. Asian monsoon failure and mega drought during the last millennium. *Science.* 328: 5977. 486-489.
14. Cook, E.R., Woodhouse, C.A., Eakin, C.M., Meko, D.M., and Stahle, D.W. 2004. Long-term aridity changes in the western United States. *Science.* 306: 1015-1018.
15. Coppola, A., Leonelli, G., Salvatore, M.C., Pelfini, M., and Baroni, C. 2013. Tree-ring-based summer mean temperature variations in the Adamello-Presanella Group (Italian Central Alps), 1610-2008 AD. *Clim. Past.* 9: 211-221.
16. De Planhol, X. 2012. "Famines" *Encyclopædia Iranica.* IX/2, P 203-206. An updated version is available online at <http://www.iranicaonline.org/articles/famines>.

17. Esper, J., Treydte, K., Gartner, H., and Neuwirth, B. 2001. A Tree ring Reconstruction of Climatic Extreme Years Since 1427 AD for Western Central Asia. *Palaeobotanist*. 50: 141-152.
18. Fan, Z.X., Brauning, A., and Cao, K.F. 2008. Tree-ring based drought reconstruction in the central Hengduan Mountains region (China) since A.D. 1655. *Int. J. Climatol*. 28: 1879-1887.
19. Fang, K., Gou, X., Chen, F., Liu, C., Davi, N., Li, J., Zhao, Z., and Li, Y. 2012. Tree-ring based reconstruction of drought variability (1615-2009) in the Kongtong Mountain area, northern China. *Global and Planetary Change*. 80-81: 190-197.
20. Foroozan, Z., Pourtahmasi, K., and Bräuning, A. 2013. Stable Oxygen isotope ratios in Juniper and Oak tree rings from forest in northern Iran as precipitation and temperature indicators, during last 50 years. The 3rd International Conference of Asian Dendrochronology Association.
21. Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London, 567p.
22. Gholi Majd, M. 2003. *The Great Famine and Genocide in Persia, 1917-1919*. University Press of America, 157p.
23. Graham, N.E., Hughes, M.K., Ammann, C.M., Cobb, K.C., Hoerling, M.P., Kennett, D.J., Kennett, J.P., Rein, B., Stott, L., Wigand, P.E., and Xu, T. 2007. Tropical Pacific-mid latitude teleconnections in medieval times. *Climatic Change*. 83: 241-285.
24. Grissino-Mayer, H.D. 1996. A 2129-year reconstruction of precipitation for northwestern New Mexico, P 191-204. In: Dean, J.S., D.M. Meko and T.W. Swetnam (Eds.), *Tree-rings, Environment, and Humanity*. Radiocarbon, Tucson.
25. Kao, Sh., and Govindaraju, R. 2010. A copula-based joint deficit index for droughts. *J. Hydrol*. 380: 121-134.
26. Keyantash, J.A., and Dracup, J.A. 2004. An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*. 40, W09304. doi:10.1029/2003WR002610.
27. 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.
28. Köse, N., Akkemik, Ü., Dalfes, H.N., and Özeren, M.S. 2011. Tree-ring reconstructions of May-June precipitation for western Anatolia. *Quaternary Research*. 75: 438-450.
29. Levanič, T., Popa, I., Poljanšek, S., and Nechita, C. 2013. A 323-year long reconstruction of drought for SW Romania based on black pine (*Pinus Nigra*) tree-ring widths. *Int. J. Biometeorol*. 57: 703-714.
30. Li, J., Chen, F., Cook, E.R., Gou, X., and Zhang, Y. 2007. Drought reconstruction for north central China from tree rings: the value of the Palmer drought severity index. *Int. J. Climatol*. 27: 903-909.
31. Li, Z.S., Zhang, Q.B., and Ma, K. 2012. Tree ring reconstruction of summer temperature for A.D. 1475-2003 in the central Hengduan Mountains, Northwestern Yunnan, China. *Climatic Change*. 110: 455-467.
32. Liang, E., Shao, X., and Liu, X. 2009. Annual Precipitation Variation Inferred from Tree Rings Since A.D. 1770 for the Western Qilian Mts., Northern Tibetan Plateau. *Tree-Ring Research*. 65: 2. 95-103.
33. Liu, Y., Bao, G., Song, H.M., Cai, Q.F., and Sun, J.Y. 2009. Precipitation Reconstruction from Hailar Pine Tree Rings in the Hailar Region, Inner, Mongolia, China Back to 1865 AD. *Palaeo*. 282: 81-87.
34. Liu, Y., Sun, J., Yang, Y., Cai, Q., Song, H., Shi, J., An, Zh., and Li, X. 2007. Tree-ring-derived precipitation records from Inner Mongolia, China, since A.D. 1627. *Tree-Ring Research*. 63: 1. 3-14.
35. Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Rickli, R., Jacobeit, J., Beck, C., Gyalistras, D., Schmutz, C., and Wanner, H. 2002. Reconstruction of Sea Level Pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500. *Clim. Dyn*. 18: 545-561.

36. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and duration to Time Scales. Eighth Conference on Applied Climatology. January 17-22. Boston, USA. 179-184.
37. Meko, D.M., Therrell, M.D., Baisan, C.H., and Hughes, M.K. 2001. Sacramento River flow reconstructed to A.D. 869 from tree rings. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 37: 4. 1029-1040.
38. Melville, C. 1984. Meteorological Hazards and Disasters in Iran: A Preliminary Survey to 1950. *Iran.* 22: 113-150. DOI: 10.2307/4299740.
39. Nadi, M., Bazrafshan, J., Pourtahmasi, K., Brauning, A., and Najafi, H.F. 2015. Relationship between oak's tree-ring width and climatic indices (in regional and global scales) in Javanroud region, Kermanshah. *J. Water Soil Cons.* 22: 3. 57-71. (In Persian)
40. Nadi, M., Khalili, A., Pourtahmasi, K., and Bazrafshan, J. 2013. Comparison of various interpolation techniques of climatic data for determining the most important factors affecting the trees growth at the elevated areas of Chaharbagh, Gorgan. *J. For. Wood Prod.* 66: 1. 83-95. (In Persian)
41. Najafi Harsini, F., Pourtahmasi, K., and Karimi, A.N. 2012. Dendrochronological investigation of radial growth of *Quercus infectoria* in Kermanshah Oak Forests. *J. For. Wood Prod.* 65: 1. 119-129. (In Persian)
42. Nicault, A., Alleaume, S., Brewer, S., Carrer, M., Nola, P., and Guiot, J. 2008. Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Clim Dyn.* DOI:10.1007/s00382-007-0349-3.
43. Pourtahmasi, K., Parsapjough, D., Bräuning, A., Esper, J., and Schweingruber, F.H. 2007. Climatic analysis of pointer years in tree-ring chronologies from northern Iran and neighbouring high mountain areas. *Geoökö.* 28: 27-42.
44. Pourtahmasi, K., Poursartip, L., Bräuning, A., and Parsapjough, D. 2009. Comparison between the radial growth of juniper (*Juniperus polycarpus*) and oak (*Quercus macrantera*) trees in two sides of the Alborz Mountains in Chaharbagh region of Gorgan. *J. For. Wood Prod.* 62: 2. 159-169. (In Persian)
45. Rahimi, J., Ebrahimpour, M., and Khalili, A. 2013. Spatial changes of Extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and Applied Climatology.* 112: 3-4. 409-418.
46. Rezaei, N., Pourtahmasi, K., and Bräuning, A. 2013. Intera-annual variations of $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ isotopes in tree rings of Oriental Beech (*Fagus orientalis*) in the central Caspian Forests of Iran. The 3rd International Conference of Asian Dendrochronology Association.
47. Schweingruber, F.H. 1988. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology.* D. Reidel, publishing company. 276p.
48. Seftigen, K., Linderholm, H.W., Drobyshev, I., and Niklasson, M. 2012. Reconstructed drought variability in southeastern Sweden since the 1650s. *Inter. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.3592.
49. Shao, X., Huang, L., Liu, H., Liang, E., Fang, X., and Wang, L. 2005. Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China Ser. D Earth Sciences.* 48: 7. 939-949.
50. Touchan, R., Funkhouser, G., Hughes, M., and Erkan, N. 2005. Standardized precipitation index reconstructed from Turkish Tree-ring widths. *Climatic change.* 72: 339-353.
51. Touchan, R., Meko, D., and Hughes, M.K. 1999. A 396-year reconstruction of precipitation in southern Jordan. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 35: 49-59.
52. Touchan, R., Meko, D.M., and Aloui, A. 2008. Precipitation reconstruction for Northwestern Tunisia from tree rings. *J. Arid Environ.* 72: 1887-1896.
53. Touchan, R., Akkemik, Ü., 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. doi:10.1016/j.yqres.2007.07.001.
54. Wilks, D.S. 2011. *Statistical methods in in the Atmospheric Sciences* (third edition). Academic Press, 676p.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(6), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Two century tree ring reconstruction of drought using Multivariate Standardized Precipitation Index (MSPI) in Javanroud-Kermanshah region

M. Nadi¹, K. Pourtahmasi², *J. Bazrafshan³ and A. Braeuning⁴

¹Assistant Prof., Dept. of Irrigation, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Professor, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran,

³Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran,

⁴Professor, Dept. of Geography, University of Erlangen-Nuremberg, Germany

Received: 10/22/2014; Accepted: 02/04/2015

Abstract

Background and Objectives: Long-term weather data is of particular importance in hydrometeorology studies. Unfortunately, the 60-years meteorological data record in Iran is not responsible for study of extreme weather events. Tree-ring width data from sensitive trees to weather conditions are good resources for reconstruction of past climate. In recent decades, unlike Iran many studies in this field have been done. According to simultaneous effect of short and long term moisture sources on annual tree-ring growth, the aim of this study is to investigate the effect of different moisture sources on tree-ring width and reconstruction of moisture conditions during the available tree-ring data period.

Materials and Methods: In this study the tree-ring width chronology was obtained from *Quercus Infectoria* trees located in Javanroud (Kermanshah) at an altitude of 2300 m.a.s.l. which is in the period of 1818-2009. Required climate data was prepared from 7 meteorological stations (3 stations from Islamic Republic of Iranian Meteorological Organization and 4 stations from the Ministry of Energy). Simultaneous effect of short and long-term water resources was investigated on growth of trees by using multivariate standard precipitation index (MSPI), which is based on modified standardized precipitation index (SPImod). The index is based on principal component analysis technique (PCA).

Results: Results of correlation between MSPI and tree rings width during 1968-2008 showed that the overall status of water resources in January to September had the greatest impact on growth of oak trees and the highest MSPI correlation with tree ring width was in July. Then based on linear relationship between tree ring width and MSPI of July, this index was reconstructed over the 1818-2008 periods. According to the results of this research, droughts average duration were 2 years, nevertheless severe droughts duration were 3 and 4 years. The most severe droughts during the past two centuries have occurred in the 1960-1963, 1827-1830 and 1999-2001 periods, respectively. Results have a good agreement with Iran's historical famines and droughts records and also with neighbor countries research results, far east (China) and western countries (Turkey and the Mediterranean zone), especially in the case of severe drought. But the results of this research are most consistent with the results of research conducted in countries on the path of the Mediterranean air masses (south of Mediterranean Sea and Middle East region).

Conclusion: The relationship of MSPI and tree ring width was performed for the first time in this study. The results showed that the correlation coefficient of annual tree ring width with MSPI was increased in comparison with rainfall data that is probably due to considering short and long-term water resources in this Index, simultaneously. Results of drought reconstruction in this study have good agreement with results of neighboring countries as well as historical reports. It seems that the results of this research can be used for investigation of Middle East past climate, confidently.

Keywords: Reconstruction, Multivariate standardized precipitation index, Tree ring, Kermanshah

* Corresponding Author; Email: jbazr@ut.ac.ir