

## بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی و شاخص SDI در حوزه آبخیز مادیان رود لرستان

- ❖ **لیلا عبدالهی؛** دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان.
- ❖ **محمد فرجی\*؛** استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان.
- ❖ **علی حقی‌زاده؛** دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان.
- ❖ **سمیه دهداری؛** استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان.

### چکیده

وقایع خشکسالی با تأثیر روی منابع آب سطحی و آب زیرزمینی مقدار آب در دسترس بخش‌های مختلف را کاهش می‌دهد. خشکسالی هیدرولوژیک ابتدا با کاهش مقدار بارندگی شروع و به‌طور عادی با کاهش سطح دریاچه‌ها و منابع ذخیره‌ای مرتبط می‌شود. بدین منظور برای اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب برای جلوگیری از آثار زیان‌بار خشکسالی، باید با ارزیابی و پایش خشکسالی به شناسایی ویژگی‌های این پدیده پرداخت. در این پژوهش برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک در ایستگاه هیدرومتری برآفتاب مادیان رود طی دوره سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۴ از تکنیک تحلیل سری‌های زمانی و شاخص SDI استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از شاخص SDI، منطقه مادیان رود در طول ۳۳ سال، ترسالی‌ها و خشکسالی‌هایی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده است. نتایج خشکسالی هیدرولوژیک ایستگاه برآفتاب نشان داد که بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها به ترتیب مربوط به خشکسالی‌های ملایم با ۲۹/۴۱ درصد، خشکسالی شدید با ۱۱/۷۴ درصد و خشکسالی متوسط نیز دارای ۲/۹۴ درصد می‌باشد. روند خشکسالی از سال ۸۳ شروع و دارای شدت‌های مختلفی از خشکسالی می‌باشد بطوریکه در تمامی ماه‌های ایستگاه برآفتاب به‌جز ماه آبان و آذر (غیر معنی‌دار) در دوره زمانی ۱۳۶۱-۱۳۹۴ تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج در صد معنی‌دار، و تغییرات ناگهانی سری زمانی در همه ماه‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار و دارای روند کاهشی هستند. همچنین نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت نشان داد که تغییرات ناگهانی و جهشی در داده‌های دبی جریان در سری زمانی در همه ماه‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار است.

**کلید واژگان:** تحلیل سری‌های زمانی، خشکسالی هیدرولوژیک، لرستان، مادیان رود، SDI

## ۱. مقدمه

همه ایستگاه‌ها (به جز ۴ ایستگاه) تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی است و در بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌ها روند منفی معنی‌دار مشاهده شد. بررسی شیب خط روند نشان داد که بطور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سانتی متر در سال افت دارد.

در زمینه روند خشکسالی هیدرولوژیک همچنین مطالعات متعددی انجام شده است. به‌عنوان مثال [۱۳] به بررسی شاخص خشکسالی هیدرولوژیک در لبنان پرداخت. نتایج تحقیق نشان داد که، در مقیاس‌ها و جنبه‌های مختلف کاهش قابل توجه در مقدار آب رخ داده است. این کاهش از یک شاخص به شاخص دیگر متفاوت است اما کاهش در همه شاخص‌ها نشان‌دهنده هشدار در مقدار آب در لبنان می‌باشند. [۱۶] اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص خشکسالی هیدرولوژیک *SDI* در شمال غرب ایران کردند که نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که تقریباً تمام ایستگاه‌ها از خشکسالی شدید رنج می‌برند. [۱۱] به تجزیه و تحلیل شدت خشکسالی هیدرولوژیک با در صد شاخص نرمال (*PNI*) در شمال غرب ایران پرداختند. که نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که شدیدترین خشکسالی هیدرولوژیک در تمامی ایستگاه‌ها در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۲-۲۰۰۱ رخ داده است و شدت خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس *PNI* در طول ۳۴ سال گذشته افزایش یافته است [۱۹] با بررسی خشکسالی هیدرولوژیک شمال غرب ایران با استفاده از روش *SDI* نشان دادند که بیشترین فراوانی وقوع خشکسالی در طی ۱۲ سال اخیر (۲۰۰۸-۱۹۹۷) رخ داده است. [۱۸] با استفاده از دو شاخص *SDI* و *RDI* به بررسی تأثیر شرایط آب و هوایی و خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک در مقیاس زمانی ۳ تا ۱۲ ماهه پرداختند. نتایج نشان داد، بیشترین همبستگی بین *SDI* ۹ ماهه و *RDI* ۱۲ ماهه بوده است. [۱۴] در یک مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک را با استفاده از شاخص *SDI* در حوضه هلیل رود ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها

خشکسالی رخدادی طبیعی است که ناشی از کاهش بارش نسبت به میانگین بلندمدت آن هست و می‌تواند در هر اقلیمی رخ دهد. این پدیده صدمات فراوانی را به بخش‌های مختلف از جمله بخش منابع آب وارد می‌سازد [۱۷]. یکی از شاخص‌های خشکسالی، خشکسالی هیدرولوژیک هست که ابتدا با کاهش میزان بارندگی شروع و به‌طور عادی با کاهش سطح دریاچه‌ها و منابع ذخیره‌ای مرتبط می‌شود [۶]. خشکسالی هیدرولوژیک با کمبود جریان در جریان سطحی رودخانه‌ها، سطح مخازن و افت سطح ایستابی در سفره‌های آب زیرزمینی بروز می‌کند [۳] در این میان استفاده از تحلیل سری‌های زمانی می‌تواند به تشخیص خشکسالی و اثر آن‌ها بر روی منابع آب کمک شایانی نماید. یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی است که ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد [۲].

جهت تحلیل روند سری‌های زمانی بصورت زمانی و مکانی و بررسی اثرات خشکسالی بر روی منابع آب تحقیقات متعددی انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

[۲۳]، الگوی مکانی و زمانی مقادیر حداقل و حداکثر تراز آب زیرزمینی در ناحیه دلتای رودخانه پهل چین را با روش مان-کندال و روش پیش سفید کردن شناسایی کردند. آن‌ها گزارش کردند که در قسمت بالایی دلتا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی کاهش و در قسمت‌های میانی و پایینی آن افزایشی است. [۲۴]، به بررسی تجزیه و تحلیل روند آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های پارامتری در دشت اردبیل پرداختند. در این مطالعه روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ ایستگاه پیژومتری در مقیاس ماهانه در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۶۷ با آزمون پارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در

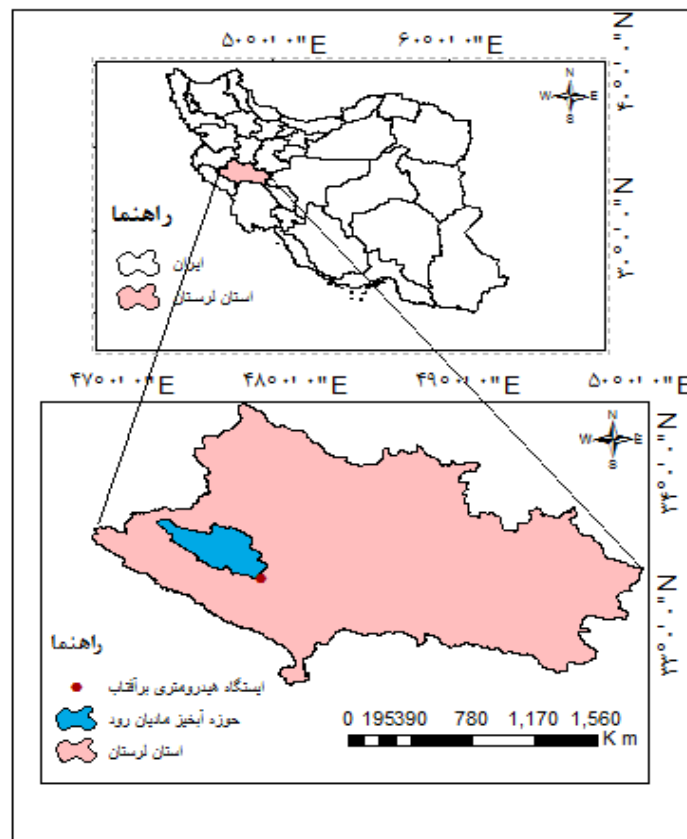
<sup>1</sup> Reconnaissance Drought Index

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مادیان رود با مساحت ۱۰۷۴۷۶/۷۴ هکتار در شهرستان کوهدشت، استان لرستان، از زیر حوزه‌های ۳۰ گانه حوزه آبخیز کرخه هست. حوزه آبخیز مادیان رود از نظر موقعیت جغرافیایی بین  $33^{\circ} 15' 47''$  تا  $33^{\circ} 33' 33''$  طول شرقی و  $48^{\circ} 41' 33''$  تا  $47^{\circ} 32' 33''$  عرض شمالی در بخش میانی سلسله جبال زاگرس واقع شده است. مادیان رود، از ارتفاعات گاوچان در شمال غربی حوزه سرچشمه گرفته و پس از طی مسافت ۸۰/۲۵ کیلومتری در ارتفاعات ۷۰۰ متری از حوزه خارج و به کشکان که از شمال می‌آید، می‌ریزد. محدوده و موقعیت حوزه آبخیز مادیان رود در شکل ۱ نشان داده شده است.

بیانگر همبستگی بالا بین شاخص هیدرولوژیک و شاخص بارش استاندارد به عنوان شاخص هواشناسی بود. [۱۵] به ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص  $SDI^1$  و  $SPI^2$  در حوزه سد درودزن در استان فارس پرداختند که با مقایسه نتایج دو شاخص معلوم شد که در سالهای ۶۸-۶۴ دوره کوتاه مدت خشکسالی وجود داشته و پس از آن خشکسالی در وضعیت نرمال بوده اما در سال‌های اخیر وضعیت تغییر کرده و خشکسالی در وضعیت شدیدتری قرار گرفته است. به دلیل بحران کم آبی که در کشور و مخصوصاً در کوهدشت وجود دارد، هدف از این پژوهش بررسی وضعیت حوزه مادیان رود از منظر خشکسالی هیدرولوژیک و ارتباط آن با خشکسالی اقلیمی و بهره‌برداری بیش از حد از رودخانه‌ها است و گرفتن تصمیمی برای مدیریت منابع آب مبتنی بر تهدید خشکسالی است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز مادیان رود در استان لرستان

*SDI* با توجه به جدول طبقه‌بندی خشکسالی، طبقه‌بندی شاخص خشکسالی مشخص گردید.

#### ۴،۲. تحلیل سری‌های زمانی

در این تحلیل مراحل زیر طی شد:

#### ۱،۴،۲. آزمون مان-کندال

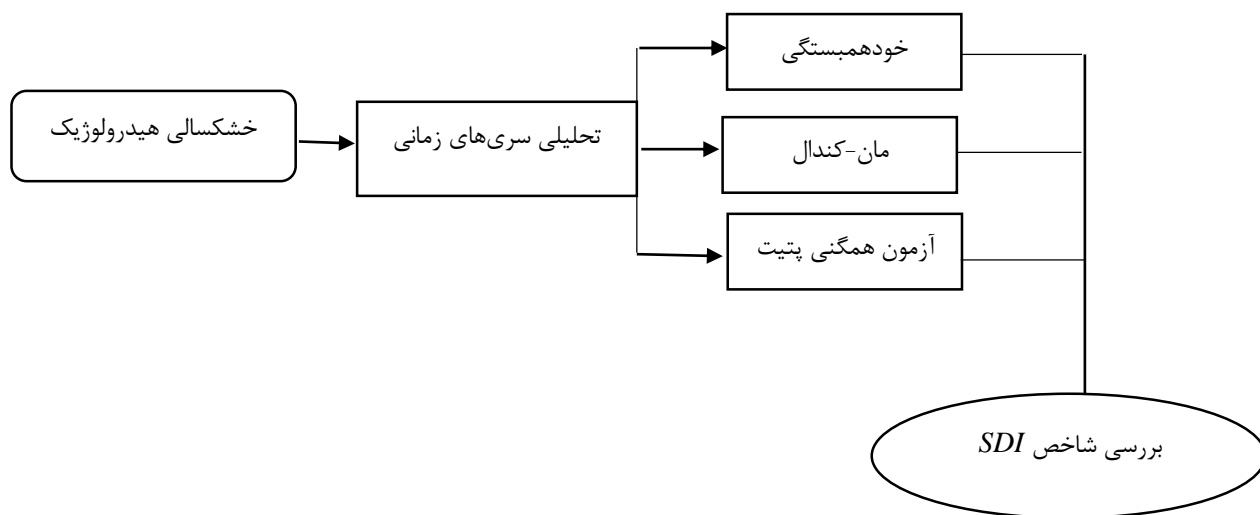
آزمون مان-کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند به شمار می‌رود. این آزمون توسط *Mann* [۹] و *Kendall* [۶] بر پایه‌ی رتبه‌ی داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. هدف از این آزمون بررسی وجود سیر افزایشی یا کاهش‌ی در سری زمانی داده‌هاست. روش‌های ناپارامتریک برای سری داده‌هایی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، مناسب است [۱۰]. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است [۵].

#### ۲،۲. زمین‌شناسی منطقه

در محدوده مورد مطالعه سازندهای دوران دوم تا سوم رخنمود دارند که از قدیم به جدید عبارتند از: بخش امام حسن، سازند گورپی، امیران، تله‌زنگ، کشکان، آسماری - شهبازان، آسماری، گچساران، آغاچاری، بختیاری و آبرفت‌های دوره چهارم که شامل ماسه، رس، سیلت و گراول می‌باشند.

#### ۳،۲. روش انجام پژوهش

در این تحقیق به منظور تعیین خشکسالی هیدرولوژیک و بررسی اثرات این خشکسالی‌ها بر روی آب‌های زیرزمینی حوزه‌ی مادیان رود از تکنیک‌های تحلیل سری‌های زمانی مان-کندال و پتیت و شاخص *SDI* استفاده گردید. جهت بررسی این خشکسالی از آمار مربوط به ایستگاه هیدرومتری پرافتاب تهیه شده از وزارت نیرو و سازمان آب منطقه‌ای استفاده شد. با محاسبه شاخص



شکل ۲. نمودار جریان‌ی روش کار

همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر *S* به شرح زیر است [۸] و [۲۱].

مراحل محاسبه آماری این آزمون شامل ۳ بخش می‌باشد که شامل:

الف- محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با

داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود [۲۱].

## ۵.۲. تعیین نقطه تحول با استفاده از آزمون پتیت

زمان ایجاد تغییر معنی‌دار در سری‌های زمانی (نقطه تحول) از اهمیت ویژه‌ای در توصیف رفتار آن‌ها برخوردار است. به منظور تشخیص نقطه تحول در سری‌های زمانی، روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این تحقیق از روش غیر پارامتری پیشنهاد شده توسط [۱۲] استفاده خواهد شد. این روش زمان وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. آماره آزمون  $U_{t,N}$  می‌باشد که آزمون می‌کند آیا دو مجموعه نمونه  $X_1, \dots, X_t$  و  $X_{t+1}, \dots, X_N$  از یک جامعه آماری هستند و به صورت معادله ۳-۱۲ تعریف می‌گردد. [۴].

$$U_{t,N} = U_{t+1} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(X_t - X_j) \quad (7)$$

for  $t = 2, \dots, N$

که در آن  $N$  تعداد کل مشاهدات،  $X_t$  مجموعه اول و  $X_j$  مجموعه دوم می‌باشد. تابع علامت نیز بر اساس معادله (۱۱) محاسبه خواهد شد [۸].

آماره آزمون  $K_N$  و احتمال وقوع مرتبط با آن توسط معادلات (۸) و (۹) محاسبه خواهند شد [۴].

$$K_N = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (8)$$

$$P \cong 2 \exp \left\{ -6 \frac{(K_N^2)}{(N^3 + N^2)} \right\} \quad (9)$$

## ۶.۲. شاخص خشکسالی هیدرولوژیک (SDI)

این شاخص توسط نالبانتیس در سال ۲۰۰۸ ارائه شد و سپس در سال ۲۰۰۹ نالبانتیس و همکاران برای مشخص کردن خشکسالی هیدرولوژیک توسعه داده شد. معادله آن در رابطه (۱۰) نشان داده شده است.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j X_k) \quad (1)$$

که  $n$  تعداد مشاهدات سری،  $X_k$  و  $X_j$  به ترتیب داده‌های  $k$ ام و  $j$ ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

ب- محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر (به نقل از [۲۰]).

$$n > 10 \quad V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^n t_i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad n \leq 10 \quad (4)$$

که  $n$  تعداد داده‌های مشاهده‌ای و  $m$  معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.  $t$  نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج- استخراج آماره  $Z$  به کمک یکی از روابط زیر:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z\alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\frac{\alpha}{2}$  استفاده شده است. در این مطالعه، آزمون مان-کندال برای سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ به کار گرفته خواهد شد. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد روند سری

حجم دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنای (k) و (i) اندیس سال هیدرولوژیک است. جدول شماره (۱) وضعیت طبقه‌بندی این شاخص را نشان می‌دهد.

$$SDI_{ik} = (V_{ik} - V_k) / S_k \quad (10)$$

$$K = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

$S_k$  و  $V_k$  به ترتیب حجم دبی، میانگین مجموع

جدول ۱. طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هیدرولوژیک به روش SDI

حالت	محدوده	وضعیت خشکسالی
۰	$SDI \geq 0$	فاقد خشکسالی
۱	$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی ملایم
۲	$-1/5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط
۳	$-2 \leq SDI < -1/5$	خشکسالی شدید
۴	$SDI \geq -2$	خشکسالی خیلی شدید

است. به عبارتی در همه ماه‌ها به جز ماه آبان و آذر P-value کمتر از ۵ درصد است و در ماه آبان و آذر بیشتر از ۵ درصد است. همچنین روند همه ماه‌ها به صورت نزولی می‌باشد. در نتیجه می‌توان اظهار داشت که در حوزه مادیان رود در طی سه دهه اخیر تغییراتی در میزان دبی و خشکسالی هیدرولوژیک ایجاد شده است.

### ۳. نتایج

#### ۱،۳. نتایج حاصل از محاسبات سری زمانی

نتایج تحلیل سری زمانی دبی با توجه به جدول ۲ در تمامی ماه‌های ایستگاه برآفتاب به جز ماه آبان و آذر (غیر معنی‌دار) در دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۶۱ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار

جدول ۲. نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته ایستگاه هیدرومتری بر آفتاب مادیان رود

ماه	Tau	P-value	Trend
مهر	-۰/۶۲۴*	۰/۰۰۰۱	↓
آبان	-۰/۴۴۶ <sup>n.s.</sup>	۰/۳۸۴	↓
آذر	-۰/۴۷۱ <sup>n.s.</sup>	۰/۵۶۰	↓
دی	-۰/۴۵۷*	۰/۰۰۰۱	↓
بهمن	-۰/۵۹۶*	۰/۰۰۰۱	↓
اسفند	-۰/۴۲۸*	۰/۰۰۰۱	↓
فروردین	-۰/۵۱۴*	۰/۰۰۰۱	↓
اردیبهشت	-۰/۴۷۵*	۰/۰۰۰۱	↓
خرداد	-۰/۶۴۸*	۰/۰۰۰۱	↓
تیر	-۰/۶۶۷*	۰/۰۰۰۱	↓
مرداد	-۰/۷۹۸*	۰/۰۰۰۱	↓
شهریور	-۰/۷۱۷*	۰/۰۰۰۱	↓

\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی‌دار؛ ↓: روند نزولی را با توجه به علامت - Tau نشان می‌دهد

نقاط تغییر در سری زمانی ماه‌های ایستگاه هیدرومتری

نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص

۱۳۷۳، ماه دی ۱۳۷۵-۱۳۷۴، برای ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد ۱۳۷۶-۱۳۷۵، و برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور ۱۳۷۷-۱۳۷۶ می‌باشد (جدول ۲).

برآفتاب در جدول ۳ نشان داده شده است. در نتیجه می‌توان گفت که تغییرات ناگهانی سری زمانی در همه ماه‌ها با توجه به پارامتر P در سطح پنج درصد معنی‌دار است که نقطه تغییر همه آن‌ها به صورت نزولی و به ترتیب برای ماه مهر ۱۳۷۹-۱۳۷۸، ماه آبان و آذر ۱۳۷۴-

جدول ۳. نتایج به دست آمده از آزمون پتیت در سری زمانی پیوسته ایستگاه هیدرومتری برآفتاب مادیان رود

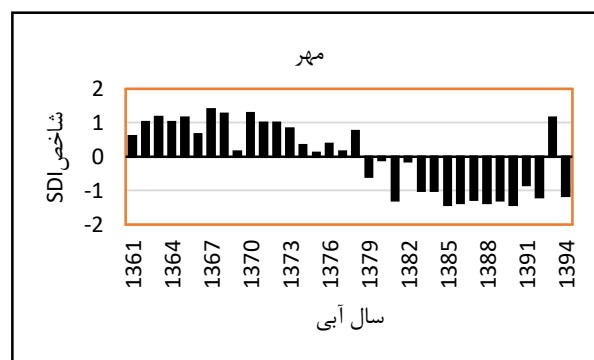
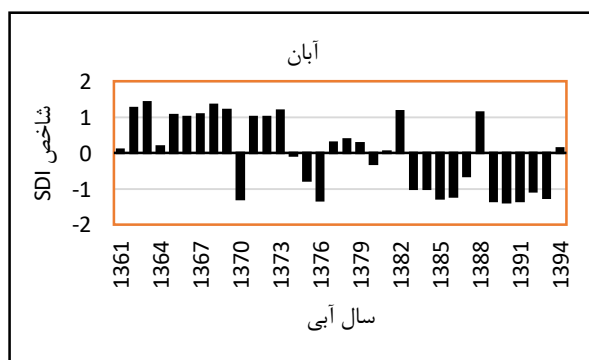
ماه	$K_T$	P	Shift	T
مهر	۰/۹۸	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۸-۱۳۷۹
آبان	۲/۱۴	۰/۰۰۳*	↓	۱۳۷۳-۱۳۷۴
آذر	۲/۲۴	۰/۰۰۳*	↓	۱۳۷۳-۱۳۷۴
دی	۲/۷۸	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۵-۱۳۷۴
بهمن	۱/۷۶	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۶-۱۳۷۵
اسفند	۲/۴۸	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۶-۱۳۷۵
فروردین	۲/۵۵	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۶-۱۳۷۵
اردیبهشت	۱/۴۵	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۶-۱۳۷۵
خرداد	۰/۹۴	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۶-۱۳۷۵
تیر	۰/۴۱	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۷-۱۳۷۶
مرداد	۰/۴۲	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۷-۱۳۷۶
شهریور	۰/۵۰	۰/۰۰۰۱*	↓	۱۳۷۷-۱۳۷۶

\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی‌دار

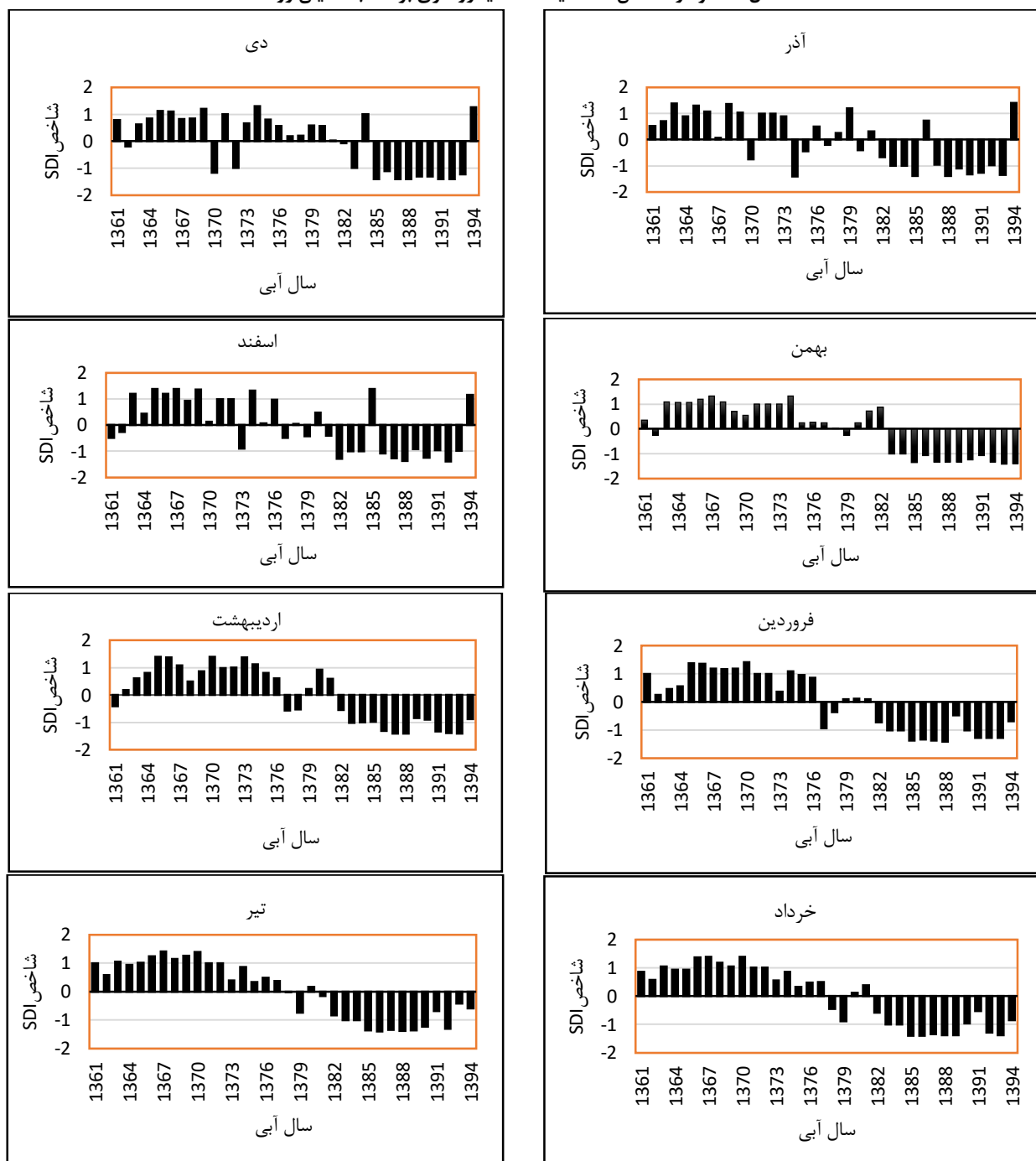
ملازم با ۲۹/۴۱ درصد و خشکسالی شدید با ۱۱/۷۴ درصد بوده است. خشکسالی متوسط نیز دارای ۲/۹۴ درصد می‌باشد. روند خشکسالی از سال ۱۳۸۳ شروع و دارای شدت‌های مختلف از خشکسالی می‌باشد. با توجه به نمودارهای شکل شماره ۳ بیشترین مقدار خشکسالی هیدرولوژیک مربوط به ماه مرداد می‌باشد. کمترین خشکسالی نیز مربوط به ماه آذر می‌باشد.

### ۲.۳. نتایج حاصل از محاسبات شاخص SDI

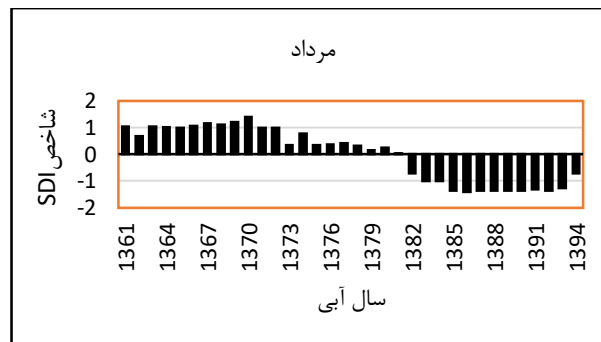
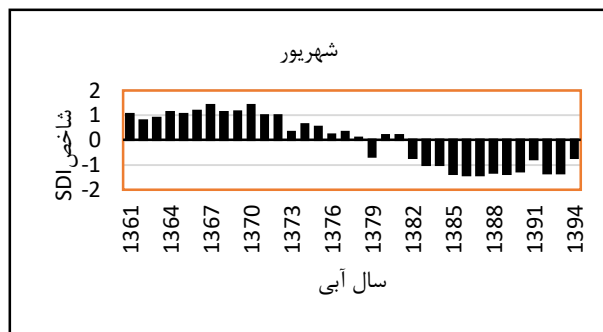
بر اساس نتایج حاصل از شاخص SDI، حوزه مادیان رود در طول ۳۴ سال موردمطالعه (۱۳۹۴-۱۳۶۱)، به تناوب ترسالی‌ها و خشکسالی‌های گوناگونی را با شدت‌های مختلف تجربه کرده است؛ به طوری که بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها به ترتیب مربوط به خشکسالی‌های



شکل ۳. نمودار شاخص SDI ایستگاه هیدرومتری برآفتاب مادیان رود







ادامه شکل ۳.

همچنین در مطالعه [۱] که به بررسی رابطه کاربری اراضی و خشکسالی هواشناسی با خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه مادیان رود پرداخته‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که بین خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیک رابطه معناداری وجود ندارد و دارای همبستگی پایینی می‌باشند. همچنین بین کاربری اراضی و خشکسالی هیدرولوژیک در سطح اطمینان ۹۵٪ بین این دو متغیر ارتباط معناداری وجود ندارد. بین تغییر کاربری و شاخص هیدرولوژیک SDI،  $\text{sig} = 0/25$  به دست آمده است.

همچنین با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، در بازه زمانی حدود ۳۳ سال، خشکسالی اتفاق افتاده به صورت ملایم بوده، لذا نمی‌توان آن را به احداث سازه‌های آبی مانند سدها نسبت داد، چراکه احداث سدها سبب خشکسالی هیدرولوژیک شدید در اثر کاهش دبی خواهند شد. قابل ذکر است که در منطقه مورد مطالعه سازه آبی احداث نشده است.

با توجه به مباحث بالا در ایجاد خشکسالی هیدرولوژیک می‌توان دلایل دیگری را از جمله برداشتن آب از رودخانه ذکر کرد.

روند خشکسالی از سال ۱۳۸۳ شروع و دارای شدت‌های مختلف از خشکسالی می‌باشد. لذا می‌توان فرض بر این داشت که این خشکسالی ادامه دارد و روز به روز به بحران کم‌آبی نزدیک‌تر می‌شویم. بنابراین بررسی شرایط خشکسالی منطقه به مدیریت منابع آب در حوزه مورد مطالعه کمک مضاعف نموده تا بتوان برای کنترل و تعدیل خشکسالی، راهکارهای مناسبی ارائه کرد. برای رفع معضل خشکسالی در حوزه، می‌توان به تغییر الگوی

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به شواهد امر و نمودارهای فوق می‌توان نتیجه گرفت که خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه مادیان رود حاکم بوده و روند صعودی خشکسالی کاملاً مشهود است و این خطر بزرگی است که استان لرستان مخصوصاً شهرستان کوهدشت با آن روبرو شده است. با توجه به نمودارهای تهیه شده بیشترین خشکسالی حاکم بر منطقه، خشکسالی ملایم با ۲۹/۴۱ درصد می‌باشد. بیشترین میزان خشکسالی در فصل تابستان می‌باشد و دلایل متعددی از جمله کمبود بارندگی، درجه حرارت بالا و به تبع آن تبخیر بالا می‌تواند داشته باشد. با توجه به گزارش‌های آب منطقه‌ای استان، بیشترین مقدار متوسط سالانه مربوط به سال آبی ۷۱-۷۲ به میزان ۳/۱۱ مترمکعب بر ثانیه و کمترین آن مربوط به سال آبی ۹۳-۹۴ به میزان ۰/۲۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

مطالعات محققان دیگری در سراسر کشور گویای این امر هستند که با این خشکسالی مواجه هستیم. به عنوان مثال می‌توان به مطالعات [۱۶ و ۱۳] در شمال غرب ایران، [۱۹ و ۷] در حوزه چغلوندی استان لرستان و [۱۸] اشاره کرد. تمامی این محققان در مناطق مورد مطالعه خود به این نتیجه رسیده‌اند که دهه اخیر اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی خود دارای افت دبی شده‌اند و کشور با خشکسالی هیدرولوژیک مواجه شده است و همه ایستگاه‌ها با توجه نتایج به دست آمده از این تحقیق همسو بوده‌اند و دارای نتایج مشابهی هستند.

آبی کمی دارند، پرداخت. همچنین استفاده از روش‌های مدرن آبیاری مثل بارانی یا قطره‌ای به حفاظت بیشتر از منابع آب حوزه کمک می‌کند.

کشت در سال‌های خشک جهت کاهش بهره‌برداری از آب زیرزمینی و حفظ تعادل آبخوان [۲۰] اشاره کرد. کشت هندوانه، ذرت و خیار در این منطقه در زمان خشکی حذف و به‌جای آن به کشت حبوبات و محصولات که نیاز

## References

- [1] Alikhani, F (2019). Investigation of land use and drought variations on hydrological drought using object-oriented classification method, SPI, EDI, SWI and SDI indices in Marian watershed of Lorestan watershed, Master's thesis, Lorestan University.
- [2] Brooks C.E.P. and Camthers N. (1982). Handbook of Statistical Method Meteorology, London, H.M.S.O. 412. (In Persian).
- [3] Eslami, A. and Shokohi, A. (2013). Analysis of stream flow conditions using hydrologic environmental drought index. Journal of Watershed Management and Engineering. 5: 16-26.
- [4] Gao, Z. L. Fu, Y. L. Li, Y. H. Liu. J. X. Chen, N. and Zhang, X. P. (2012). Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades. Hydrology and Earth System Sciences. 16:3219-3231.
- [5] Gharekhani, A. Ghahremani. N. (2010). Seasonal and Annual Trend of Relative Humidity and Dew Point Temperature in Several Climatic Regions of Iran. Journal of Water and Soil. 24: 636-646 (In Persian).
- [6] Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods.
- [7] Maleki nezaad, M. Soleimani matlagh, M. (2011). Analysis of Climatologiyca drought and hydrological drought indices in Chaghalvandi watershed. Journal of Water resources Iran.25: 61-72.
- [8] Memarian H. Balasundram, S. K. Talib, J. B. Sood, A. M. and Abbaspour. K.C. (2012). Trend analysis of water discharge and sediment load during the past three decades of development in the Langat basin, Malaysia. Hydrological Sciences Journal. 57: 1207-1222.
- [9] Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica. Journal of the Econometric Society.21: 245-259.
- [10] Mirabbasi Najafabadi R, Dinpashoh Y. Trend Analysis of Streamflow Across the North West of Iran in Recent Three Decades, Journal of Water and Soil, 2010; Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 757-768.
- [11] Nikbakht, J. Tabari, H. and Talaee, P. H. (2013). Streamflow drought severity analysis by percent of normal index (PNI) in northwest Iran. Theoretical and applied climatology. 112: 565-573.
- [12] Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 1979; 126-135.
- [13] Shaban, A. (2009). Indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. Water resources management. 23: 1875-1891
- [14] Soleimani, S and beneficiary, A. (2015). Hydrological Drought Analysis Using SDI Index in Iran's Hillroads Basin. International Journal of Natural Resources Research, No. 3, p. 564-
- [15] Soltani, S., Mehrabi, M., 1391. Drought Evaluation using River Criterion Index (SDI) and Standard Precipitation Index (SPI) (Case Study: Dorodzan Dam Area in Fars Province), First National Conference on Desertification, Tehran, Research Center Tehran International
- [16] Tabari, H. Nikbakht J. and Hoosseinzadeh Talaee, P. (2013). Hydrological Drought Assessment in Northwestern Iran Based on Stramflow Drought Index (SDI). Water Resource Manage. 27: 137-151.

- [17] Tabuzadeh, SH. Zarei, H. Bazrafshan A. and Shokri kuchak, S. (2013). Comparative study of meteorological and hydrological droughts in Bakhtegan watershed. thirty-second gathering and the first international congress of geosciences. 7 pages (in Persian).
- [18] Tigkas D. Vangelis, H. and Tsakiris, G. (2012). Drought and climate change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*. 440: 33-41.
- [19] Torabi Poodeh H. and Emamgholizadeh, S. (2015). Trend analysis changes discharge of riveres of river basin kerkhe and the effect of autocorrelation coefficient on Process flow changes. *Iranian Water Research Journal*. 1: 143-151.
- [20] Yue S., Pilon P., and Cavadias, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 2002; 259 (1-4), 254-271.
- [21] Zare Abianeh1 H. Bayat Varkeshi, M. and Marof, S. (2012). Investigating Water Table Depth Fluctuations in the Malayer Plain. *Soil and Water of Journal*. 22: 2. (In Persian).
- [22] Zare baghaberi, M. (2002). Management of Operation of Alluvial Juice Alluvial Water in Drought Years . Phd thesis . Shiraz University.
- [23] Zhang X. Zhang, L. Zhao, J. Rustomji, P. and Hairsine, P. (2008). Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. *Water Resources Research*. 44(7).
- [24] Vousoughi, F. D. Dinpashoh, Y. Aalami, M. T. and Jhajharia, D. (2013). Trend analysis of groundwater using non-parametric methods (case study: Ardabil plain). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 27:547-559.

