

## بررسی عملکرد روش الاستیسته اقلیمی و مدل SIMHYD به منظور ارزیابی کمی عوامل مؤثر بر خشکسالی هیدرولوژیک

- ۱- طاهره ابراهیمیان، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
- ۲- علی حقی زاده، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان  
Haghizadeh.a@lu.ac.ir
- ۳- حسین زینی وند، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
- ۴- ناصر طهماسبی پور، دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
- ۵- رضوان علیجانی، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱

### چکیده

نوسان در متغیرهای اقلیمی و افزایش فعالیت‌های انسانی، دگرگونی در فرآیندهای هیدرولوژیک و به تبع آن تخریب ساختار اکوسیستم‌ها را به دنبال دارد؛ بنابراین به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و توسعه پایدار اقتصادی-زیست محیطی، ارزیابی کمی تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به‌عنوان دو فاکتور عمده اثرگذار بر فرآیندهای هیدرولوژیک بسیار مهم می‌باشد. هدف از این پژوهش تحلیل روند و آشکارسازی نقطه تغییرمتغیرهای هیدروکلیماتیک در حوزه آبخیز وسج همدان و همچنین تخمین سهم تغییرات متأثر از اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر میزان دبی سالانه این حوضه می‌باشد. در این مطالعه ابتدا روند و نوسانات در سری داده‌های هیدروکلیماتیک حوضه رودخانه وسج در طی سال‌های ۱۳۶۶-۱۳۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. سپس از دو روش مدل هیدرولوژیکی SIMHYD و روش الاستیسته اقلیمی به‌منظور ارزیابی کمی خشکسالی هیدرولوژیک به تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی استفاده شد. نتایج نشان داد که کاهش ۷/۱۳ درصدی در بارش، افزایش ۳/۱۲ درصدی در تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین وجود فعالیت‌های انسانی کاهش ۸۳/۹۲ درصدی در رواناب را به دنبال خواهد داشت. سهم فعالیت‌های انسانی و تغییرپذیری اقلیمی در کاهش رواناب به‌وسیله روش الاستیسته اقلیمی به دو روش تورک و ژانگ به دست آمد که به ترتیب در روش تورک ۸۴/۸۰ و ۱۵/۱۹ و در روش ژانگ ۸۴/۹۷ و ۱۵/۰۲ برآورد شد. بر این اساس فعالیت‌های انسانی عامل اصلی کاهش رواناب حوضه رودخانه وسج می‌باشند همچنین کارایی مدل هیدرولوژیکی SIMHYD در شبیه‌سازی دبی جهت محاسبه تغییر دبی در حد قابل قبولی نبود. با توجه به این‌که در حوضه مورد مطالعه تغییرات چشمگیری در کاربری اراضی رخ داده است. تغییر کاربری به‌عنوان یکی از بارزترین دخالت‌های بشر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مساحت باغات و تاکستان، قبل از نقطه تغییر نسبت به بعد از نقطه تغییر به ترتیب (۲/۰۴۸ درصد) و ۱۵۰۷۱/۴ و ۱۵۳۷۵/۶۹ هکتار افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: خشکسالی هیدرولوژیک؛ روش الاستیسته اقلیمی؛ مدل SIMHYD.

### مقدمه

بنابراین ضروری است که اثرات این دو عامل (نوسانات طبیعی اقلیم<sup>۱</sup> و فعالیت‌های انسانی) بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه (میزان دبی) به‌منظور توسعه راه کارهای پایدار مدیریت منابع آب به‌طور کمی بررسی شود. جدا کردن اثر این دو عامل و کمی سازی آن بسیار مهم است. شناسایی کمی عامل تعیین‌کننده در تغییرات دبی بدون انجام چنین جدایی غیرممکن است. در

آگاهی از عوامل تأثیرگذار بر خشکسالی برای مدیریت منابع آب ضروری است. از جمله عوامل مؤثر بر این پدیده شرایط اقلیمی و فعالیت‌های انسانی شامل تغییر کاربری اراضی و ایجاد طرح‌های توسعه منابع آب است [۱]. بیشتر مطالعاتی که در زمینه ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب انجام شده است، با فرض عدم تغییر در کاربری اراضی و پوشش زمین بوده است، این در حالی است که رشد جمعیت، گسترش کشاورزی و تغییر کاربری اراضی از عوامل مهم تغییر در رژیم هیدرولوژیکی است [۵].

1- Natural climate variability

انسانی است [۴]. همچنین در تحلیل اثر اقلیمی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از روش الاستیسیته اقلیمی بر روی حوزه رودخانه زرد چین نتایج نشان داد که تغییرات آب و هوایی در حدود ۵۱ درصد و فعالیت‌های انسانی در حدود ۴۹ درصد در کاهش دبی مؤثر بوده است [۹].

حوزه رودخانه وسج بستر تغییرات گسترده‌ای در حوزه آب و خاک شامل احداث سد، تغییر کاربری زمین، تغییر پوشش زمین و غیره بوده است. هدف از این پژوهش ارزیابی کمی اثر تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روی خشکسالی هیدرولوژیک حوزه رودخانه وسج همدان می‌باشد.

## مواد و روش

### منطقه تحقیق

حوزه رودخانه وسج با مساحت تقریبی ۳۰۶۲ کیلومترمربع، در جنوب استان همدان واقع شده است. از نظر تقسیمات کشوری جزء شهرستان تویسرکان، گوشه جنوب شرقی حوضه، جزء استان مرکزی، بخشی از جنوب آن جزء استان لرستان و قسمت اعظم حوضه را محدوده شهرستان ملایر در برمی‌گیرد. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده  $۴۶^{\circ} ۶'$  و  $۴۹^{\circ} ۱۰'$  طول شرقی و  $۳۰^{\circ} ۵۸'$  و  $۳۴^{\circ} ۵۶'$  عرض شمالی قرار دارد. متوسط بارش حوزه رودخانه ۳۲۰ میلی‌متر است. این حوزه آبخیز از نظر طبقه‌بندی اقلیمی جهان براساس روش دومارتن در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار دارد.

ایستگاه هیدرومتری حوزه رودخانه وسج در قسمت خروجی حوزه واقع گردیده است و از سال ۱۳۳۳ آماربرداری از آن انجام شده است.

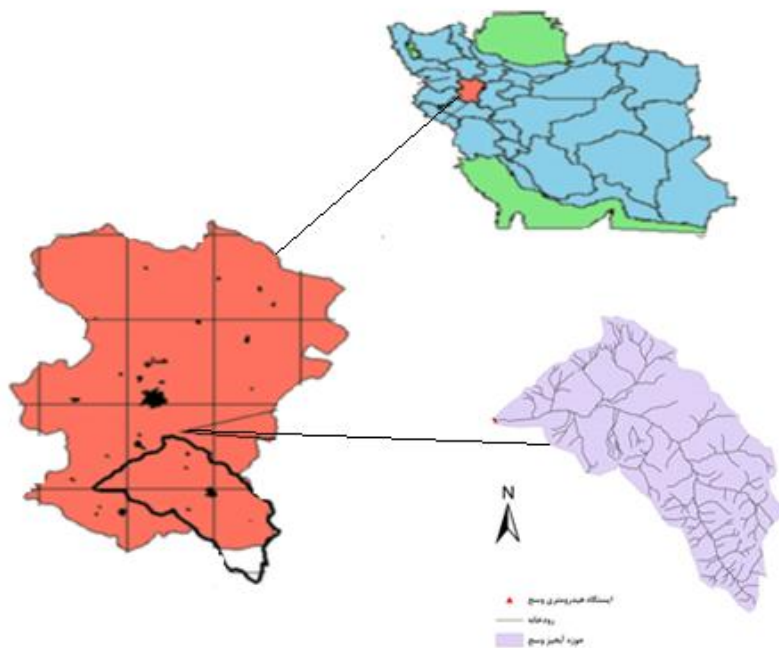
سال‌های اخیر شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات منطقه‌ای دبی به‌طور گسترده مورد توجه هیدرولوژیست‌ها قرار گرفته است.

در پژوهشی با استفاده از روش الاستیسیته اقلیمی به تحلیل کمی اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر روی دبی حوزه آبخیز وای وی چین پرداختند. نتایج نشان داد که سهم تغییر اقلیم در تغییر دبی این حوزه ۴۰ درصد است و مابقی به فعالیت‌های انسانی مربوط می‌شود [۲۸]. نتایج مطالعات در تحلیل اثر تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از روش الاستیسیته اقلیمی در شمال چین نشان داد که ۶۱ درصد کاهش در میانگین سالانه جریان نتیجه کاهش در بارش است و جریان در حوزه شیانگ حساسیت بیشتری به تغییرات بارش نسبت به تغییرات تبخیر و تعرق دارد [۱۶].

نتایج تغییر دبی ناشی از تغییر اقلیم و اقدامات بشری در حوزه رودخانه هایفا با استفاده از آزمون من کندال نشان داد که افزایش سطح زیر کشت به میزان ۲۵ درصد، باعث کاهش دبی شده است [۲۶]. اثرات آب و هوا بر اساس معادله بودیکو<sup>۱</sup> در حدود ۴۳ درصد در کاهش دبی سالانه در حوزه رودخانه تای در شمال چین مؤثر بوده است [۲۹].

در پژوهشی اثر تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های بشری بر دبی حوزه‌ای در چین نشان داد که در دوره ۲۰۰۸-۱۹۸۰، اقدامات بشری سهم زیادی در کاهش دبی به میزان ۸۹ تا ۹۳ درصد داشته است [۱۱]. بررسی‌ها بر روی دبی حوزه نینجیانگ در شمال چین با استفاده از روش الاستیسیته اقلیمی نشان داد که تغییرپذیری اقلیمی، عامل تعیین‌کننده در کاهش دبی حوضه می‌باشد که در مجموع ۶۹/۶ تا ۸۰/۳ درصد از این کاهش مربوط به عوامل اقلیمی است [۶].

با ارزیابی کمی اثر تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی به روش الاستیسیته اقلیمی بر روی حوزه آبخیز کایدو در شمال غربی چین نشان داد که در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۹ دبی این حوزه حساسیت بیشتری نسبت به تغییرپذیری اقلیمی داشته و تنها ۹/۵ درصد کاهش دبی سالانه حوضه مربوط به فعالیت‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی وسج در ایران و استان همدان

### روش تحقیق

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تاثیر تغییرپذیری اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر روی خشکسالی هیدرولوژیک است. داده‌های روزانه بارندگی از همبستگی چهار ایستگاه هواشناسی خیرآباد، وسج، ملایر، بروجرد تهیه شد. سپس متوسط بارش حوزه با روش چند ضلعی تیسن محاسبه شد. بازه زمانی سری داده‌ها از سال آبی ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۹۳ می‌باشد. مراحل تحقیق به ترتیب شامل آزمون روند من کندال، تعیین نقطه شکست، برازش شاخص‌های SPI و SSFI، اجرای مدل SIMHYD و روش الاستیسته اقلیمی است. به منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل حوزه از روش هارگرویزسامانی<sup>۱</sup> استفاده شد:

### الف) آزمون شناسایی و تحلیل روند رواناب سالانه:

آزمون من کندال ابتدا توسط من ارائه و سپس توسط کندال تکامل یافت [۱۷ و ۱۲]. این آزمون جزو متداول‌ترین روش‌های پارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود [۱۸].

### ب) آزمون تحلیل تغییر نقطه:

آزمون ناپارامتری Pettitt توسط پتیت (۱۹۷۹) به منظور تجزیه و تحلیل تغییر نقطه برای جدا کردن سری درازمدت رواناب به کار گرفته شد در این پژوهش برای ارزیابی تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی از آزمون غیر پارامتریک پتی استفاده شد [۲۰]. آزمون Pettitt یکی از مهم‌ترین روش‌های آماری در تشخیص یک تغییر ناگهانی در سری زمانی است.

### پ) شاخص هیدرولوژیک<sup>۲</sup> (SSFI):

چگونگی محاسبه‌ی شاخص جریان استاندارد مشابه با شاخص بارش استاندارد<sup>۳</sup> (SPI) بوده و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$SSFI = \frac{F_i - F^-}{\sigma} \quad (1)$$

که در آن:

$F_i$  مقدار جریان در زمان  $i$ ،  $F^-$  میانگین سری زمانی و  $\sigma$  انحراف معیار سری است. طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۱ ارائه شده است [۱۹].

2- Standard stream flow Index

3- Standardized Precipitation Index

1- Hargreaves-Samani

$$\Delta Q = f(C, H) \quad (2)$$

در حالی که عامل H ترکیبی از نتایج عوارض طبیعی، خاک، کاربری و پوشش اراضی و فعالیت‌های انسانی مانند احداث شبکه‌های زهکشی به منظور انتقال آب، سدسازی،... می‌باشد. چنانچه توپوگرافی و خاک منطقه، در طول دوره مطالعه ثابت باقی بماند H می‌تواند معرف فعالیت‌های انسانی باشد؛ بنابراین، تغییرات دبی می‌تواند چنین بیان شود.

$$\Delta Q = \Delta QH + \Delta QC \quad (3)$$

که در آن:

$\Delta Q$ ، مجموع تغییر دبی،  $\Delta QC$  و  $\Delta QH$  به ترتیب ارائه‌دهنده تغییرات دبی ناشی از تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است. مجموع تغییر در دبی ( $\Delta Q$ ) نیز از تفاضل میانگین دوره قبل و بعد از تغییر محاسبه خواهد شد.

$$\Delta Q = Q_{obs_1} - Q_{obs_2} \quad (4)$$

که در آن:

رابطه  $Q_{obs_1}$  متوسط جریان مشاهده‌شده در طول دوره پایه و  $Q_{obs_2}$  متوسط جریان سالانه مشاهده‌شده در طول دوره تغییر است.

قابلیت الاستیسیته اقلیم از دبی ( $\varepsilon_X$ ) می‌تواند به‌عنوان تغییر متناسب دبی (Q) نسبت به تغییر در متغیرهای اقلیمی (X) (مانند تغییرات در بارش یا تبخیر تعرق پتانسیل) تعریف شود [۷].

$$\varepsilon_X = \frac{\partial Q / Q}{\partial X / X} \quad (5)$$

با توجه به رابطه مدت بیلان آبی ( $Q = P - E$ ) فرض بر این است که پاسخ دبی به عوامل اقلیمی به‌طور عمده به‌وسیله بارش و تبخیر تعرق پتانسیل ایجاد می‌شود. با توجه به نظریه معادلات دیفرانسیل کامل، شکل دیفرانسیلی به شرح زیر است:

$$\Delta Q_C = \varepsilon_P \frac{Q}{P} \Delta P + \varepsilon_{PET} \frac{Q}{PET} \Delta PET \quad (6)$$

$$\varepsilon_P + \varepsilon_{PET} = 1 \quad (7)$$

که در آن:

$\Delta CQ$  نمایانگر تغییر دبی ناشی از تغییر اقلیم،  $\Delta P$  و  $\Delta PET$  تغییرات بارش و تبخیر تعرق پتانسیل و  $\varepsilon_P$  و  $\varepsilon_{PET}$

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص SSFI	
طبقات شدت خشک‌سالی	SSFI
بسیار مرطوب	$SSFI > 2$
مرطوب	$1/5 < SSFI \leq 2$
تقریباً مرطوب	$1 < SSFI \leq 1/5$
شرایط نرمال	$-1 < SSFI \leq 1$
تقریباً خشک	$-1/5 < SSFI \leq -1$
خشک	$-2 < SSFI \leq -1/5$
بسیار خشک	$SSFI \leq -2$

علاوه بر بررسی روند و دگرگونی داده‌های بارش (به‌عنوان اصلی‌ترین عامل) بر خشک‌سالی هیدرولوژیک، شاخص استاندارد بارش (SPI) نیز بر روی این داده‌ها اعمال گردید.

### ت) مدل هیدرولوژیکی SIMHYD:

SIMHYD یکی از مهم‌ترین مدل‌های بارش رواناب است که اولین بار در استرالیا به کار گرفته شد. این مدل یک مدل مفهومی و یکپارچه بارش-رواناب است که جریان روزانه را با استفاده از داده‌های بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه شبیه‌سازی می‌کند. در مدل از آمار روزانه بارش میانگین حوزه، دبی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری و تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دست‌آمده از معادله هارگرویز-سامانی، برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. این مدل به شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیک می‌پردازد، دوسوم از داده‌های مشاهده‌شده برای کالیبراسیون و یک‌سوم باقی‌مانده از داده‌های مشاهده‌شده برای اعتبارسنجی استفاده می‌شود. پس از اعتبارسنجی مدل با مقایسه میانگین دبی پیش‌بینی‌شده و دبی مشاهداتی مقدار تغییر آبدهی رودخانه مشخص می‌شود؛ که این تغییرات می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد. به‌منظور ارزیابی کمی اثر تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی از روش الاستیسیته اقلیمی برای تعیین سهم دو عامل تغییر دبی استفاده شد.

### ث) روش الاستیسیته (انعطاف پذیری) اقلیمی

کندال روش الاستیسیته اقلیمی را در سال ۱۹۹۰ ارائه کرد. دبی را می‌توان به‌عنوان تابعی از تغییرپذیری اقلیمی (C) و دیگر خصوصیات (H) در نظر گرفت [۲۲ و ۸].

به منظور برآورد  $F(\phi)$  از فرض بودیکو استفاده می‌شود (جدول ۲). بر اساس جدول ۲ می‌توان قابلیت الاستیسیته بارش  $\varepsilon_P$  و قابلیت الاستیسیته تبخیر تعرق پتانسیل  $\varepsilon_{PET}$  را تعیین کرد. با انجام محاسبات فوق سهم تغییر دبی ناشی از اقلیم محاسبه می‌شود. عامل رابطه [۲۸]، با توجه به وضعیت پوشش زمین و کاربری اراضی حوزه برآورد می‌شود. ضریب آب موجود در گیاه " $\omega$ " را بین ۲ برای جنگل و ۰/۵ برای مرتع در نظر گرفتند [۲۸]. اختصاص عامل " $\omega$ " برای مناطقی با پوشش مخلوط دشوار است، چرا که در هیچ حوزه حقیقی پوشش به صورت مجزا وجود ندارد و جدا نمودن پوشش‌های علفی و جنگلی در حوزه‌های مختلف مشکل است. در این پژوهش، عامل " $\omega$ " به وسیله مقایسه تبخیر و تعرق واقعی سالانه محاسبه شده به وسیله منحنی ژانگ و معادله بیلان آبی واسنجی می‌شود [۲۸].

به ترتیب الاستیسیته بارش و تبخیر تعرق پتانسیل است. منحنی بودیکو الگوهای مشاهده شده بین آب و هوا، دبی و تبخیر و تعرق حوزه را توصیف می‌کند و این منحنی یک روش مفید برای پیش‌بینی و توازن آب حوزه آبخیز است. چارچوب فرضیه بودیکو براین است که حوزه در وضعیت پایدار است و به سادگی اصول اساسی و فیزیکی حاکم بر تعادل آب را بیان می‌کند با توجه به فرضیه بودیکو [۳]، تبخیر تعرق واقعی (E) تابعی از شاخص‌های خشکی که با توجه به رابطه زیر است:

$$\phi = (PET / P) \quad (8)$$

$$E = P \cdot F(\phi) \quad (9)$$

و الاستیسیته بارش و تبخیر تعرق پتانسیل از جریان را می‌توان چنین بیان نمود.

$$\varepsilon_P = \frac{1 + \phi F'(\phi)}{(1 - F(\phi))} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{PET} = \frac{-\phi F'(\phi)}{(1 - F(\phi))}$$

جدول ۲- روابط مختلف برای فرض بودیکو

$F'(\phi)$	$F(\phi)$
$1 / [\phi^3 (1 + \phi^{-2})^{1/5}]$	$(1 + \phi^{-2})^{-1/5}$ [۲۴] و [۲۱]
$W + \frac{2W}{\phi - 1} + \frac{1}{\phi^2} / (1 + W\phi + 1/\phi^2)^2$	$+W\phi / (1 + W\phi + 1/\phi^2)$ [۲۸]

کشاورزی آبی، پوشش درختی (درختان مثمر و غیرمثمر)، تاکستان و سایر کاربری‌ها (کوه، تپه، بیرون زدگی سنگی، اراضی بایر و رها شده)، است. سپس جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر مذکور با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه‌بندی گردید.

### نتایج

آزمون من کندانال برای شناخت و درک صحیحی از نسبت تغییرات در متغیرهای اقلیمی و فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه استفاده شد. آزمون ناپارامتری من کندانال در تحلیل روند بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی حوزه نشان داد که داده‌های تبخیر در طی یک دوره ۲۷ ساله دارای روند معنی‌دار و افزایشی بوده‌اند. داده‌های

پس از تعیین سهم فعالیت‌های انسانی درصد تغییر کاربری اراضی که یکی از مهم‌ترین عوامل در تغییر جریان هیدرولوژیک و یکی از بخش‌های مهم فعالیت‌های انسانی محسوب می‌شود، به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست تعیین می‌شود. تصاویر ماهواره لندست ۵ سنجنده TM (۵ ژوئیه ۱۹۸۷ و ۱ ژوئن ۱۹۹۸)، و ماهواره لندست ۸ سنجنده‌های OLI/TIRS (۲۸ مه ۲۰۱۴)، به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی قدیم و فعلی استفاده شد. همچنین در این پژوهش از نرم‌افزارهای ENVI ۴/۷، ENVI ۵/۱ و ArcMap ۱۰/۲ استفاده شد. پس از انجام تصحیحات، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه با توجه به بازدید میدانی شامل اراضی مسکونی، اراضی تحت کشت دیم،

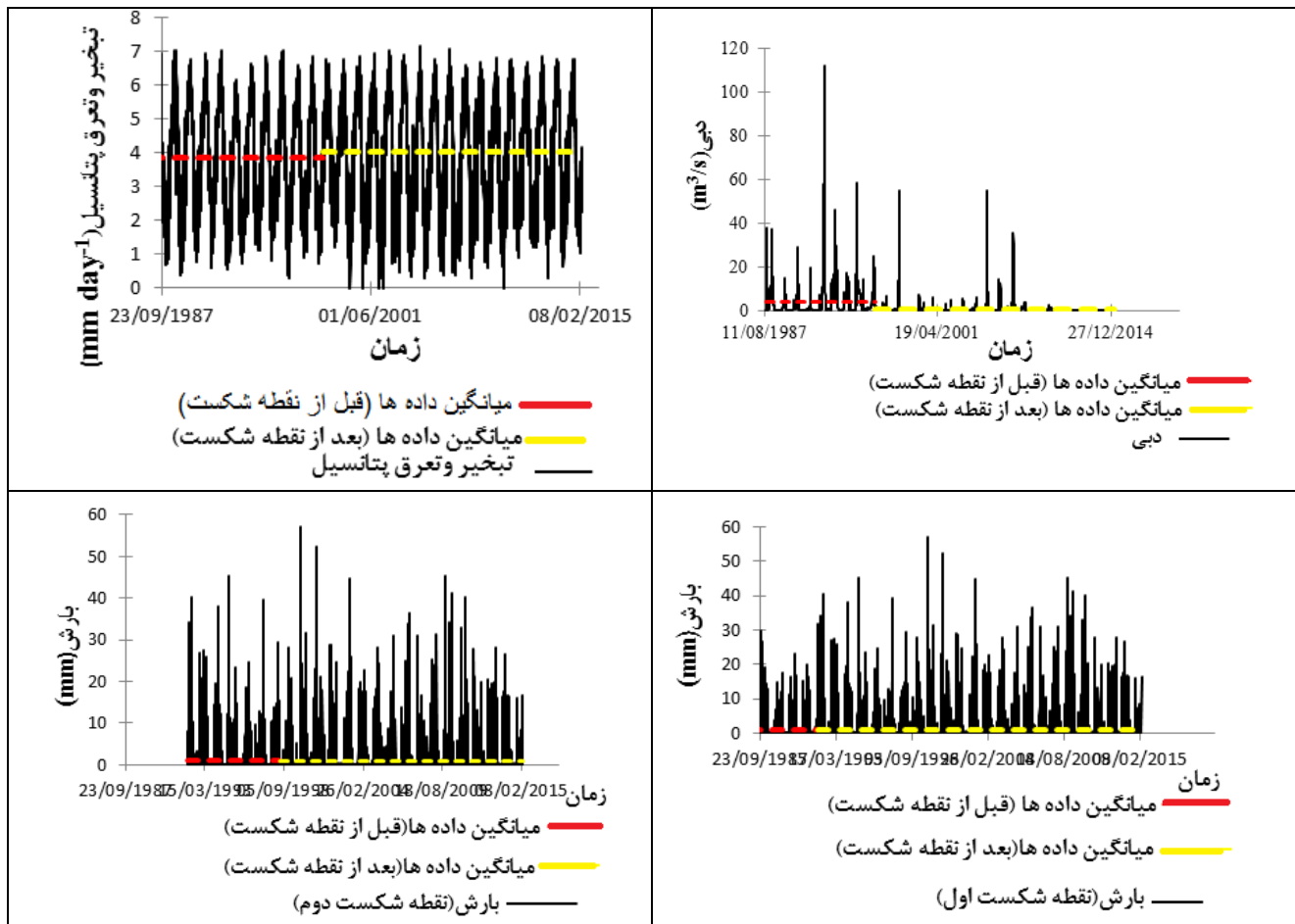
بارندگی و رواناب نیز دارای یک روند کاهنده و معنی‌دار در جدول ۳ آورده شده است. نتایج این آزمون بر هریک از متغیرهای موردبررسی

جدول ۳- نتایج آزمون من کندال

معادله	سطح معنی‌داری	تای کندال	میانگین سالانه (میلی متر بر روز)	متغیر مورد بررسی
$y = -0.5E - 0.7X + 0.9865$	0/002	0.24	359/1002	بارش
$y = 1E - 5X + 3/4427$	0.003	0.20	1445/6525	تبخیر و تعرق پتانسیل
$y = -0.004X + 17/191$	<0/0001	-0/402	16/48	دبی

شکست دبی در سال ۱۹۹۶، تبخیر و تعرق پتانسیل در سال ۱۹۹۸ و بارندگی در ابتدا در سال ۱۹۹۲ و دوره بعدی در سال ۱۹۹۸ است (شکل ۲).

به‌منظور تفکیک رواناب به دو دوره طبیعی و دوره تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی از آزمون پتی استفاده شد. در این سری‌های زمانی وجود نقطه شکست معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد تأیید شده است. نقطه



شکل ۲- نتایج اعمال آزمون پتی بر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک

که در شکل ۲ دیده می‌شود، ابتدا نقطه شکست افزایشی و سپس کاهشی است که معنی‌داری آزمون من کندال را تأیید می‌کند. نتایج آزمون پتی نشان داد که نقطه شکست

عدم همخوانی بین روند کاهشی و نقطه شکست افزایشی در داده‌های بارندگی موجب شد که داده‌های بارش در دو مرحله مورد آزمون پتی قرار گیرد. همان‌گونه

۷/۱ درصدی در بارش و افزایش ۳/۱ درصدی در تبخیر و تعرق پتانسیل نمی‌تواند کاهش ۸۳/۹ درصدی در دبی را به دنبال داشته باشد (جدول ۴). بنابراین، عامل یا عوامل دیگری تأثیرگذار بوده است که در پژوهش‌های گذشته به‌عنوان فعالیت انسانی از آن یاد شده است [۲۸، ۱۱ و ۱۰]. تغییرات دبی در این حوزه بدین معنی است که شرایط اقلیمی و فعالیت‌هایی که در سطح زمین اتفاق افتاده به شیوه‌های پیچیده‌ای بر دبی حوزه اثرگذار بوده‌اند.

دبی و روند کاهنده‌ی آن پیش از بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل اتفاق افتاده و بارندگی تا سال ۱۹۹۸ یک روند افزایشی داشته است. همچنین، برای قطعیت یافتن نسبت به صحت نقاط تغییر تعیین شده و تحلیل واضح‌تر تغییرات اقدام به بررسی شاخص انحراف از معیار و ضریب تغییرات بین دو دوره، شد. نتایج این بررسی نشان داد که بارش ۷/۱۳ درصد کاهش و تبخیر نیز ۳/۱۲ درصد افزایش داشته است، درحالی‌که بررسی ضریب تغییرات دبی نمایانگر کاهش ۸۳/۹ درصد است. با توجه به اینکه کاهش

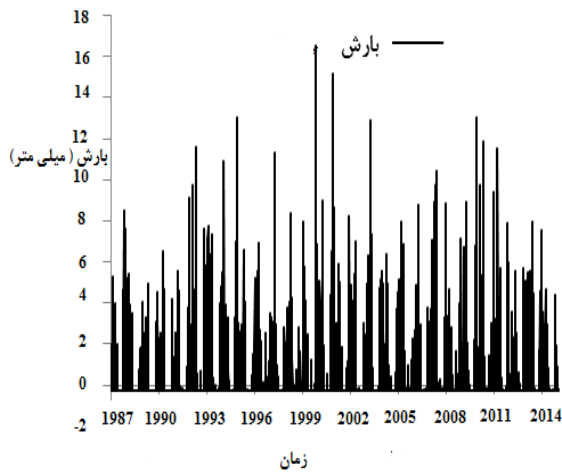
جدول ۴- خلاصه‌ای از تحلیل تغییر نقاط بر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیک

دوره پس از تغییر				دوره پیش از تغییر			نقطه تغییر
تغییرات	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	حوزه آبخیز وسج
(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(mm)	
۳/۱۲	۰/۰۲۳	۳۴/۲۰	۱۴۶۱/۴۸	۰/۰۴۱	۵۹/۲۸	۱۴۱۷/۱۶	تبخیر و تعرق پتانسیل
-۷/۱۳	۰/۱۲	۴۵/۴۲	۳۴۹/۵۱	۰/۰۲۸	۱۰۶/۷۱	۳۷۶/۳۵	بارش
-۸۳/۹۲	۱/۳۲	۷/۶۱	۵/۷۵	۰/۰۷۰	۲۵/۳۴	۳۵/۸۰	دبی

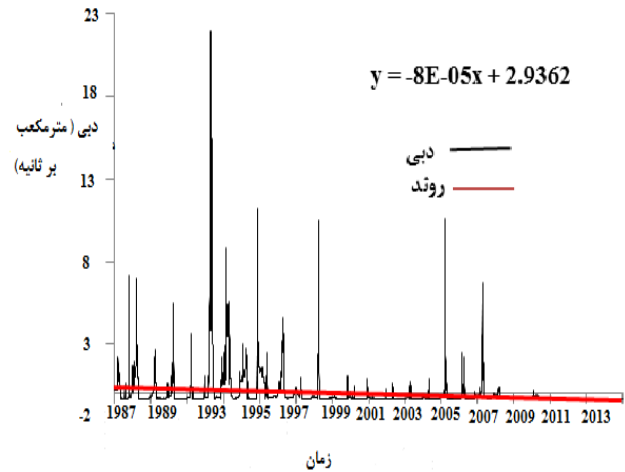
بارش بر روی خشکسالی هیدرولوژیک تأثیر زیادی نداشته است.

پس از قطعیت یافتن نسبت این موضوع که دبی حوزه آبخیز وسج تغییرات گسترده‌ای به خود دیده، از دو روش مدل هیدرولوژیکی SIMHYD و روش الاستیسته اقلیمی برای ارزیابی کمی اثرات تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر دبی این حوزه استفاده شد. در مدل هیدرولوژیکی SIMHYDE داده‌ها از سال ۲۰۱۴-۱۹۸۷ وارد مدل شدند. با توجه به نقطه شکست، دبی داده‌ها به دو دوره قبل از تغییر و بعد از تغییر تقسیم شد، و دوسوم از داده‌های قبل از تغییر برای قسمت کالیبراسیون و یک‌سوم برای صحت‌سنجی در نظر گرفته شد. هدف شبیه‌سازی دوره دوم بود و دیگر آن که از اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی دوره دوم سهم ناشی از فعالیت‌های انسانی محاسبه شود [۲۷]. در ادامه با توجه به اختلاف دبی می‌توان سهم ناشی از تغییرات اقلیمی را به دست آورد. اما ضریب کارایی این مدل برای منطقه در قسمت کالیبراسیون ۰/۶۱۷ و برای صحت‌سنجی ۰/۶۰۳ به دست آمد و از آنجایی که ضریب کارایی زیر ۰/۹ برای این مدل قابل قبول نیست، بنابراین این مدل برای منطقه مورد استفاده قرار نگرفت.

در این پژوهش برای بررسی خشکسالی هیدرولوژیک از شاخص جریان استاندارد SSFI و خشکسالی هواشناسی از شاخص بارش استاندارد SPI استفاده شد. نتایج شاخص SSFI در مقیاس روزانه نشان داد که درصد روزهای خشک قبل از نقطه شکست، ۶۲/۳ درصد و روزهای مرطوب ۳۷/۷ درصد است. در ضمن درصد روزهای خشک بعد از نقطه شکست ۹۳/۸ درصد و روزهای مرطوب ۶/۲ درصد محاسبه شد. نتایج حاکی از این است که خشکسالی هیدرولوژیک در طی دوره بعد از نقطه شکست در حدود ۳۱/۵ درصد نسبت به دوره قبل از نقطه شکست افزایش یافته است. نتایج شاخص SPI نشان داد که درصد روزهای خشک قبل از نقطه شکست ۸۴/۹ درصد و روزهای مرطوب ۱۵/۱ درصد بوده است. همچنین درصد روزهای خشک بعد از نقطه شکست ۸۵ درصد و روزهای مرطوب ۱۵ درصد به دست آمد. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت که با توجه به افزایش خشکسالی هیدرولوژیک در طی دوره دوم، افزایش چندانی در خشکسالی هواشناسی مشاهده نشده است. این نتایج می‌تواند تایید کند که عامل دیگری بر روی خشکسالی هیدرولوژیک تأثیر گذاشته و

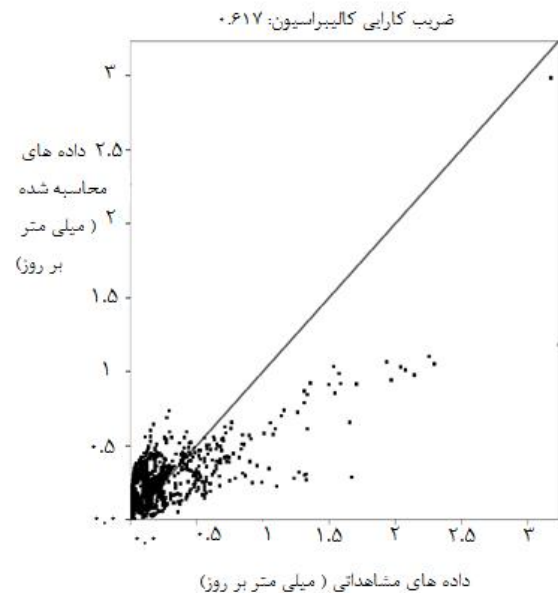
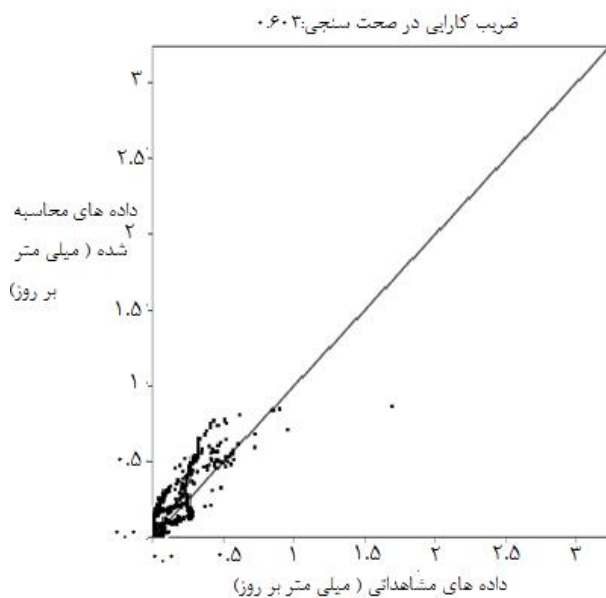


۱- شاخص (SPI)



۲- شاخص (SSFI)

شکل ۳- شاخص‌های خشکسالی



شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیکی SIMHYD

### ارزیابی کمی اثر تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر دبی

#### واسنجی و اعتبارسنجی مدل:

ضریب آب موجود در گیاه ( $\omega$ ) در فرمول ژانگ عاملی کلیدی به‌منظور برآورد توابع شاخص خشکی  $F(\theta)$  و  $F'(\theta)$  و متعاقب آن محاسبه الاستیسیته بارش ( $\epsilon_p$ ) و الاستیسیته تبخیر تعرق پتانسیل (EPET) است. در این پژوهش، با توجه به نقاط تغییر تعیین‌شده، دوره مطالعه به دو دوره، دوره پیش از تغییر و دوره پس از تغییر تقسیم

روش الاستیسیته اقلیمی بر مبنای دو رابطه Turck و Pinke و Zhang، برای ارزیابی کمی اثر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر دبی این حوزه به کار گرفته شد. علاوه بر سادگی و عدم نیازمندی به داده‌های پیچیده، استفاده از دو رابطه که یکی دارای عامل الاستیسیته اقلیمی و دیگری بدون عامل الاستیسیته اقلیمی دلایل اصلی انتخاب این دو روش به‌منظور برآوردهای کمی بود [۲۸، ۲۴ و ۲۱].



شد. دوره پیش از تغییر، وقتی فعالیت‌های انسانی تأثیر اندکی بر دبی می‌گذارند، به عنوان یک دوره پایه به منظور واسنجی و اعتبارسنجی عوامل مدل‌ها در نظر گرفته شد. بنابراین پس از تفکیک دو دوره عامل (w) با استفاده از مقایسه تبخیر تعرق واقعی سالانه محاسبه شده به وسیله منحنی ژانگ و معادله بیلان آبی واسنجی شد.

### روش الاستیسته اقلیمی

به منظور ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر دبی ابتدا از رابطه (۱۹) برای محاسبه بارش (εp) و الاستیسته تبخیر تعرق پتانسیل (εPET) استفاده شد. نتایج ارزیابی‌های کمی نشان داد که فعالیت‌های انسانی سهم بزرگ‌تری در کاهش دبی حوزه رودخانه وسج

داشته‌اند. برآوردهای روش الاستیسته اقلیمی آشکار ساخت که تغییر متناسب در دبی سالانه در نتیجه فعالیت‌های انسانی حدود ۸۴/۸ در روش تورک و ۸۵ در روش ژانگ و سهم تغییرپذیری اقلیمی در روش تورک ۱۵/۲ و ۱۵ در روش ژانگ محاسبه شد. (جدول ۵). بر این اساس فعالیت‌های انسانی عامل اصلی کاهش رواناب حوزه رودخانه وسج است.

بعد از اینکه مشخص شد فعالیت‌های انسانی بیشترین تأثیر را بر کاهش دبی این حوزه داشته است تغییر کاربری اراضی به عنوان یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های انسانی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. تبعات ناشی از تغییر کاربری اراضی بر چرخه آب به تدریج آشکار می‌گردد اما می‌تواند تحول اساسی در رژیم جریان ایجاد نماید.

جدول ۵- اثرات تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر رواناب حوزه رودخانه وسج "روش الاستیسته اقلیمی"

دوره	روش	بارش mm	تبخیر و تعرق پتانسیل Mm	الاستیسته بارش	الاستیسته تبخیر و تعرق پتانسیل	تغییرات دبی کل mm	تغییرات دبی ناشی از تغییر اقلیم Mm	تغییرات دبی ناشی از فعالیت‌های انسانی mm	تغییرات نسب %
تورک -۲۰۱۴ ۱۹۸۷	(۱۹۵۴)	۳۵۹/۱۰۰۲	۱۴۴۵/۶۵۳	۲/۹۱	-۱/۹۱	-۳۰/۰۵	-۴/۵۶	۱۵/۱۹	-۲۵/۴۸
ژانگ -۲۰۱۴ ۱۹۸۷	(۱۹۶۴)	۳۵۹/۱۰۰۲	۱۴۴۵/۶۵۳	۲/۸	-۱/۸	-۳۰/۰۵	-۴/۵۱	۱۵/۰۲	-۲۵/۵۳

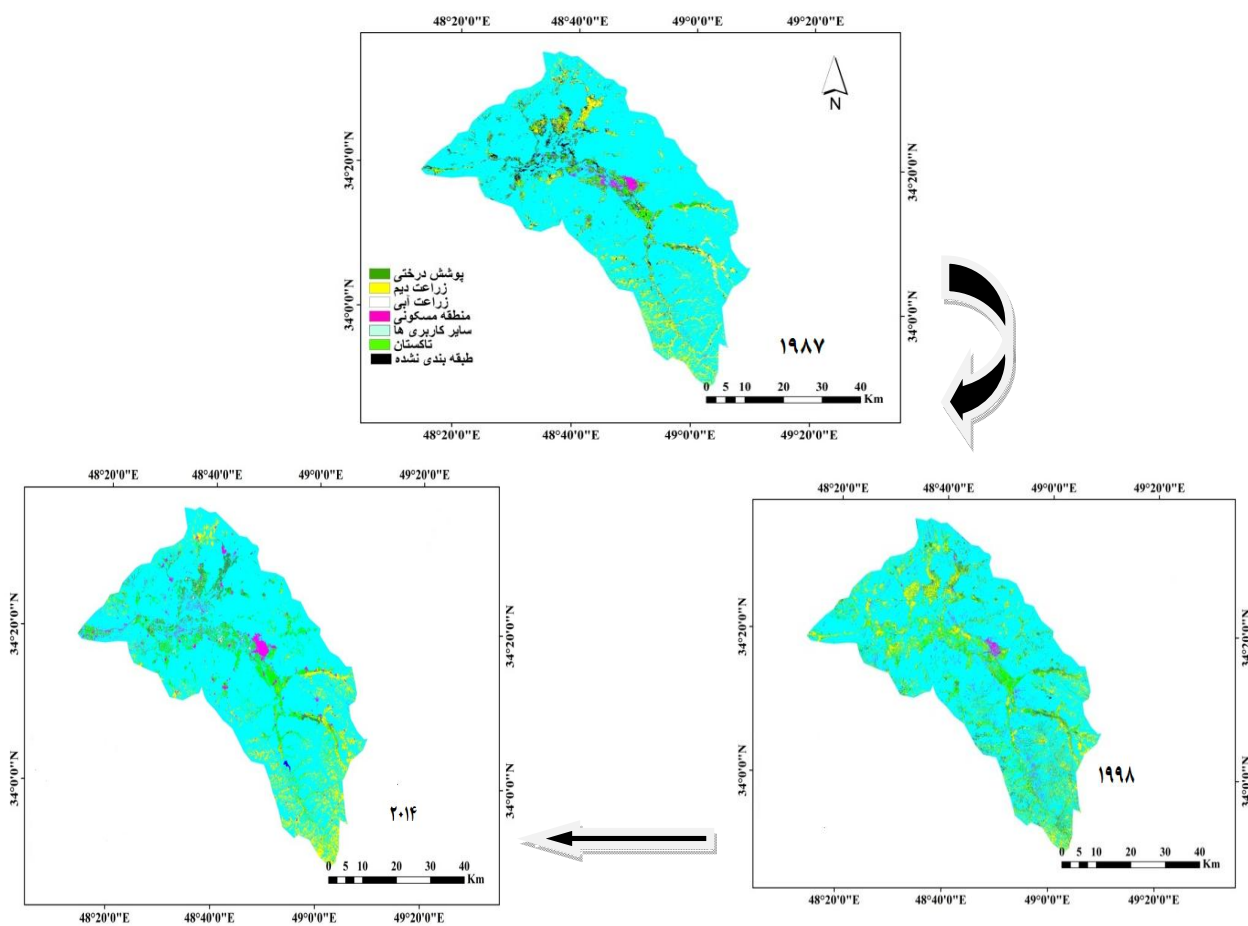
### ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده

پس از پایان مراحل طبقه‌بندی تصاویر، اقدام به انجام ارزیابی دقت طبقه‌بندی گردید. برای این منظور تعدادی نقطه به صورت نمونه‌گیری تصادفی تعیین شده و به کمک GPS در مطالعات میدانی، دقت طبقه‌بندی مربوط به هر

تصویر محاسبه شده است. دقت طبقه‌بندی و ضریب کاپا نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده از تصاویر مورد بررسی در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده

نقشه کاربری اراضی	ضریب کاپا	ارزیابی دقت (درصد)
۱۹۸۷	۰/۹۲۹۰	۹۷
۱۹۹۸	۰/۷۲۵۴	۸۱
۲۰۱۴	۰/۹۱۶۳	۹۴



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز وسج

جدول ۷- مساحت کلاس‌های کاربری اراضی در سال‌های مختلف (هکتار)

کاربری‌ها	۱۹۸۷	۱۹۹۸	۲۰۱۴
تاکستان	۷۷۵۶/۹۲	۱۹۴۶۵/۲	۲۳۱۳۲/۶۱
زراعت دیم	۲۴۷۵۸/۱۹	۳۴۱۳۳/۴	۲۲۴۰۰/۱۹
زراعت آبی	۱۹۱۰/۷	۷۰۸/۳	۲۴۱۵/۳۳
اراضی مسکونی (شهری و روستایی)	۳۸۹۷/۵۴	۴۴۷۸/۰۴	۸۹۹۷/۳۹
پوشش درختی	۹۲۳/۴۹	۴۵۳۰/۸۷	۱۵۹۹۴/۸۹
سایر کاربری‌ها	۲۶۶۹۷۸/۰۷	۲۴۲۹۰۹/۱	۲۳۳۱۲۶/۰۱
آب	-	-	۱۵۸/۴۹
مجموع	۳۰۶۲۲۴/۹۱	۳۰۶۲۲۴/۹۱	۳۰۶۲۲۴/۹۱

۶۶۸۴ مترمکعب در هکتار در سال است. اصلی‌ترین درخت میوه‌ای که در دشت پرورش داده می‌شود، درخت انگور است. از سال ۲۰۱۴-۱۹۸۷ باغات انگور به‌طور مداوم در حال افزایش است به‌گونه‌ای که طی این ۲۶ سال ۱۵۳۷۵.۶۹ هکتار بر وسعت باغات انگور افزوده شده است. نیاز آبی انگور در ملایر ۴۵۸۰ مترمکعب در هکتار در سال است. کاربری مناطق مسکونی از سال ۲۰۱۴-۱۹۸۷ به

نتایج حاصل از طبقه‌بندی برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه موردنظر نشان می‌دهد که کاربری پوشش درختی که شامل باغات میوه (به‌استثنای انگور) و درختان غیر مثمر می‌شود از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ روند افزایشی پیدا کرده است در طی این دوره ۲۶ ساله ۱۵۰۷۱/۴ هکتار بر وسعت باغات افزوده شده است. نیاز آبی درختان میوه موجود در دشت به‌طور متوسط

در سری زمانی است که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت [۲۷].

همچنین اعمال شاخص بارش استاندارد (SPI) نشان‌دهنده یکسان بودن تعداد روزهای خشک در قبل و بعد نقطه شکست بود. برای تأیید وجود خشکسالی هیدرولوژیک در این منطقه از شاخص استاندارد جریان (SSFI) استفاده شد. نتایج این شاخص نشان داد که تعداد روزهای خشک در دوره دوم حدود ۳۱/۵ درصد افزایش یافته است. نتایج بررسی شاخص خشکسالی هیدرولوژیک در لبنان نشان داد در مقیاس‌ها و جنبه‌های مختلف کاهش قابل توجه در مقدار آب رخ داده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد [۲۳].

در ادامه به منظور جدا کردن اثر دو عامل (تغییر پذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی) از روش الاستیسته اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی SIMHYD استفاده شد. مدل هیدرولوژیکی SIMHYD نتایج قابل قبولی را ارائه نکرد و برای منطقه مورد استفاده قرار نگرفت. نتایج روش الاستیسته اقلیمی نشان داد که در روش تورک سهم تغییرپذیری اقلیمی ۱۵/۲ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی ۸۴/۸ درصد است. همچنین در روش ژانگ سهم تغییرپذیری اقلیمی ۱۵ درصد و سهم فعالیت‌های انسانی ۸۵ درصد برآورد شد. براین اساس فعالیت‌های انسانی، عامل اصلی کاهش دبی رودخانه وسج است. این یافته‌ها با نتایج [۲۶]، که عامل اصلی کاهش رواناب را در رودخانه هایفا چین فعالیت انسانی برشمردند، موافقت دارد. با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SIMHYD و روش الاستیسته اقلیمی در سه حوزه استرالیا، دریافند که تأثیرات تغییر کاربری اراضی (فعالیت‌های انسانی) به میزان ۴۰-۳۱ درصد، رواناب حوزه را کاهش می‌دهد که موافق با نتایج این پژوهش است [۱۴].

با بررسی تغییر کاربری در این منطقه مشخص شد که عمده فعالیت‌های انسانی به دو صورت تغییر کاربری اراضی کشاورزی و باغی به مناطق مسکونی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی و مراتع به باغات رخ داده است. نتایج بررسی پاسخ هیدرولوژیک به تغییر اقلیم و فعالیت‌های بشری در حوزه ساحلی چین نشان داد که جریان ۱۰ ساله حوضه‌های شمالی و غربی، به ترتیب ۹/۲ و ۶/۷ درصد

میزان ۵۰۹۹ افزایش داشته است. سطح زیر کشت محصولات دیم از سال ۱۹۹۸-۱۹۸۷ به دلیل بارندگی زیاد در این منطقه افزایش و از سال ۲۰۱۴ کاهش داشته است. گندم و جو آبی از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ به میزان ۵۰۴/۶ هکتار افزایش یافته است. بنابراین بیشترین تغییر کاربری در حوزه وسج شامل تغییر کاربری اراضی کشاورزی و باغی به مناطق مسکونی و تغییر کاربری اراضی کشاورزی و مراتع به باغات است.

### بحث و نتیجه‌گیری

خشکسالی هیدرولوژیک به دلیل تأثیر بر منابع آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و شناسایی عوامل مؤثر و تأثیر آن‌ها بر تغییرات منطقه‌ای دبی امری ضروری است. هدف از این پژوهش ارزیابی کمی تغییرپذیری اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روی خشکسالی هیدرولوژیک است. در ابتدا برای محاسبه جهت و معنی‌داری روند سری زمانی داده‌های دبی، تبخیر و بارش از آزمون ناپارامتری من کندال استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که داده‌های تبخیر در طی یک دوره ۲۷ ساله دارای روند معنی‌دار و افزایشی است.

داده‌های بارندگی و دبی نیز دارای یک روند کاهنده و معنی‌دار است. با نتایج بررسی روند تغییرات سالانه پارامترهای هواشناسی در اقلیم سرد و گرم ایران مشابه است [۲۵]. همچنین یافته‌های بهره مند و همکاران در تحلیل روند تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در غرب دریاچه اورمیه با نتایج این پژوهش، همخوانی داشت. نتایج بررسی بر روی دبی حوزه نینجیانگ در شمال چین به کمک آزمون من کندال، تغییرات معنی‌داری در روند جریان رودخانه است [۲ و ۶].

نتایج تشخیص نوسانات و نقاط تغییر در سری زمانی دبی، نشان داد که نقطه شکست این سری زمانی در سال ۱۹۹۶ رخ داده است. و با نتایج [۱۳]، که از آزمون پتی جهت تحلیل روند جریان‌های رودخانه‌ای استفاده کردند، هم خوانی دارد و جهش کاهشی در سطح ۵ درصد در طی دهه ۱۳۷۰ را نشان می‌دهد. نتایج مطالعه بر روی دبی حوزه لوان<sup>۱</sup> در چین، نشان دادند نقطه شکست معنی‌داری

بخشی از ورودی‌های موردنیاز برای تدوین برنامه‌های مد نظر در راستای مدیریت بهینه منابع آب منطقه‌ای بهره برد و به کمک آن‌ها در سیاست‌ها و رویه‌های فعلی، سبک و شیوه مدیریت آب در ابعاد مختلف تغییر جدی ایجاد کرد. این نتایج در پی‌ریزی آینده مدیریت آب کشور به مدیران ما کمک شایانی خواهد کرد.

کاهش یافته است. این کاهش به دلیل اقدامات بشری از جمله احداث سد، تغییرات اراضی و توسعه اجتماعی - اقتصادی است [۱۰].

با این حال با وجود عدم قطعیت‌های مختلف ناشی از داده‌های ورودی و در نظر گرفتن فرض دوره پایه که دوره‌های فاقد اختلالات انسانی در نظر گرفته شد، خطاهای مرتبط به برآورد عامل (ω) از نتایج حاصله می‌توان به‌عنوان

## References

- [1]. Ashofteh, P., & Bozorg Haddad, O. (1393). The interactions assessment between the climate natural fluctuations and human activities on runoff. *Iran's water and soil Research*, 45 (1): 103-112 (in Farsi).
- [2]. Bahreman, A.R., Hamdami, Qh., & Saniei., E. (1392). Analyze of long-term changes trend in rainfall and discharge of West of Orumieh Lake. *Journal of the watershed management*, 4(8): 43-57 (in Farsi).
- [3]. Budyko, M. (1974). *Climate and Life*, 508 pp. Academic, San Diego, Calif, 72-191.
- [4]. Chen, Z., Chen, Y., & Li, B. (2013). Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff for Kaidu River Basin in arid region of northwest China. *Theoretical and applied climatology*, 111(3-4): 537-545.
- [5]. Cong, Z., Yang, D., Gao, B., Yang, H., & Hu, H. (2009). Hydrological trend analysis in the Yellow River basin using a distributed hydrological model. *Water Resources Research*, 45(7).W00A13.
- [6]. Dong, L., Zhang, G., & Xu, Y. (2012). Effects of climate change and human activities on runoff in the Nenjiang River Basin, Northeast China. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9(10): 11521-11549.
- [7]. Fu, G., Charles, S. P., & Chiew, F. H. (2007). A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. *Water Resources Research*, 43(11):W11419.
- [8]. Hu, S., Liu, C., Zheng, H., Wang, Z., & Yu, J. (2012). Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake. *Journal of Geographical Sciences*, 22(5): 895-905.
- [9]. Hu, Z., Wang, L., Wang, Z., Hong, Y., & Zheng, H. (2015). Quantitative assessment of climate and human impacts on surface water resources in a typical semi-arid watershed in the middle reaches of the Yellow River from 1985 to 2006. *International Journal of Climatology*, 35(1): 97-113.
- [10]. Huang, J., Zhang, Z., Feng, Y., & Hong, H. (2013). Hydrologic response to climate change and human activities in a subtropical coastal watershed of southeast China. *Regional Environmental Change*, 13(6): 1195-1210.
- [11]. Jiang, S., Ren, L., Yong, B., Singh, V., Yang, X., & Yuan, F. (2011). Quantifying the effects of climate variability and human activities on runoff from the Laohahe basin in northern China using three different methods. *Hydrological Processes*, 25(16): 2492-2505.
- [12]. Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods* (4th Edn) Griffin: London. 212 pages
- [13]. Kazem Zadeh, M., Malekian, A., & Rasul Zadeh, A. (1392) Analysis of river flow trend by using usparametric and nonparametric statistical approaches in Ardebil provincei, scientific-research Journal / research of Earth Science, 4 (15):63-51 (in Farsi).
- [14]. Li, H., Zhang, Y., Vaze, J., & Wang, B. (2012). Separating effects of vegetation change and climate variability using hydrological modelling and sensitivity-based approaches. *Journal of Hydrology*, 420: 403-418.
- [15]. Ma, H., Yang, D., Tan, S. K., Gao, B., & Hu, Q. (2010). Impact of climate variability and human activity on streamflow decrease in the Miyun Reservoir catchment. *Journal of Hydrology*, 389(3): 317-324.
- [16]. Ma, Z., Kang, S., Zhang, L., Tong, L., & Su, X. (2008). Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow

- for a river basin in arid region of northwest China. *Journal of Hydrology*, 352(3): 239-249.
- [17]. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- [18]. McBean, E., & Motiee, H. (2006). Assessment of impacts of climate change on water resources? a case study of the Great Lakes of North America. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions*, 3(5): 3183-3209.
- [19]. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. 17-22 Janvier, Anaheim, 179-184.
- [20]. Pettitt, A. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 126-135.
- [21]. Pike, J. (1964). The estimation of annual run-off from meteorological data in a tropical climate. *Journal of Hydrology*, 2(2): 116-123.
- [22]. Schaake, C. (1990). From climate to flow, in *Climate Change and U.S. Water Resources*. John Wiley, New York, 107-206
- [23]. Shaban, A. (2009). Indicators and aspects of hydrological drought in Lebanon. *Water resources management*, 23(10): 1875-1891.
- [24]. Turc, L. (1954). Le bilan d'eau des sols, Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. 5: 491-595; 6: 5-131.
- [25]. Tabari, H., Sabziparvar, A.A., & Marufi, S. (1387). Assessment of trend annual changes in meteorological parameters in both cold and warm climate of Iran, *Agriculture research: water, soil and plants in agriculture*, 1(1): 87, (in Farsi).
- [26]. Yang, Y., & Tian, F. (2009). Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China. *Journal of Hydrology*, 374(3): 373-383.
- [27]. Zeng, S., Zhan, C., Sun, F., Du, H., & Wang, F. (2015). Effects of Climate Change and Human Activities on Surface Runoff in the Luan River Basin. *Advances in Meteorology*. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology*, Article ID 740239, 12 pages  
<http://dx.doi.org/10.1155/2015/740239>
- [28]. Zhang, L., Dawes, W., & Walker, G. (2001). Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37(3): 701-708.
- [29]. Zhang, Y., Guan, D., Jin, C., Wang, A., Wu, J., & Yuan, F. (2011). Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in northeast China. *Journal of Hydrology*, 410(3): 239-247.

## Performance investigation of the climate elasticity method and the model of SIMHYD For quantitative evaluation of the effective factors on hydrological drought

1-T. Ebrahimian, MSc, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources Lorestan University

2-A. Haghizadeh, Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

Haghizadeh.a@lu.ac.ir

3-H. Zeinivand, Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

4-N. Tahmasebipour, Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

3-R. Alijani, PhD Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

Received: 12 Aug 2016

Accepted: 12 Aug 2017

### Abstract

Fluctuation in climatic variables and increasing human activities, transformation in hydrological processes and consequently it will follow the destruction of ecosystem structure. Therefore, quantitative evaluation of climate variability and human activity as the main factors influencing the hydrological processes are very important for water resources management and planning and for economic-environmental and sustainable development. The purpose of this study is to analyze the detection of changing point hydro climatic variables in Vasaj watershed in Hamadan, also estimation of the impact of climate change and human activities on the watershed annual discharge. Therefore, hydro climatic series trends and fluctuations during 1393-1366 were investigated Then, SIMHYD hydrological model and climate elasticity method were used for quantitative evaluation of hydrological drought regard to climate variability and human activity. The results showed 7.13% decrease in rainfall, 12.3% increase in evapotranspiration and 83.92% decrease in human activities in the runoff. The contribution of human activity and climate variability in runoff reduction using the elasticity method in two techniques of climate Torque and Zhang were obtained in Torque 84.80 and 15.19 and 19.15, and in Zhang method 84.97 and 15.02, respectively. Hence, human activities is the main factor in runoff production. In addition, hydrological SIMHYD model simulations of discharges was not acceptable. Due to the significant changes in land use, it is considered as one of the most obvious human interference in the watershed. The results showed that the area of orchards and vineyards has increased 15071.4 and 15375.69 ha compared to before the change point respectively.

**Keywords:** Hydrologic drought; Climate elasticity method; SIMHYD model.