

تحلیل آشوبی اثرات تغییر اقلیم بر خشکی دریاچه ی پریشان

فرهنگ رحمانی^۱ و محمدهادی فتاحی^{۲*}

۱- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت، ایران

۲- استادیار، بخش مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت، ایران . fattahi.mh@gmail.com

چکیده

در این پژوهش از تئوری آشوب برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکی زیرحوضه ی دریاچه ی پریشان استفاده شده است. شاخص SPI و چند شاخص حدی اقلیمی اندازه گیری شدند و همچنین متغیرهای تاثیر گذار بر خشکی (بارندگی، تبخیر و دما) در نظر گرفته شد. با در نظر گیری متغیرهای ذکر شده، یک زیرحوضه ی کنترلی (رودخانه ی شاپور) برای مقایسه ی رفتار تراژکتوری ها در فضای فاز و نوع جاذب ها با تراژکتوری ها در فضای فاز و نوع جاذب نمودارهای دریاچه ی پریشان در نظر گرفته شد. پس از مقایسه ی رفتار تراژکتوری ها در فضای فاز این نتایج حاصل شد که علاوه بر تغییر اقلیم یک عامل درون حوضه ای باعث شدت بخشیدن به خشکی زیرحوضه ی دریاچه ی پریشان شده است. همچنین این عامل بیش از تغییر اقلیم بر خشکی دریاچه ی پریشان تاثیر گذاشته است. می توان به فعالیت های تخریبی از جمله برداشت بیش از اندازه از منابع آبی و تغییر کاربری زمین برای کشاورزی و غیره اشاره کرد. در نتیجه استخراج از منابع آبی در حد مجاز و وفق پذیری با تغییرات اقلیمی و همچنین اتخاذ سیاست های مناسب برای کنترل منابع آبی پریشان در جلوگیری از خشکی دریاچه موثر و ضروری می باشد.

واژگان کلیدی: بازسازی فضای فاز، زمان تاخیر، شاخص های حدی اقلیمی، شاخص خشکسالی.

مقدمه

شاخص SPI، CZI، MCZI، ZS، PN و DI استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس زمانی کوتاه خشکسالی شدید با فرکانس و شدت کمتر رخ می دهد در حالی که با افزایش مقیاس زمانی رخداد خشکسالی شدید کاهش و مدت زمان خشکسالی افزایش می یابد. تغییر اقلیم سبب تغییراتی در چرخه ی خشکسالی می شود و زمانی که تعداد و مدت زمان خشکسالی شاهد تغییرات می شود نیاز به یک ابزار مناسب برای تحلیل دینامیکی ضروری می باشد (Piña Fulano et al. 2016; Sten Bergström et al. 2001; Teutschbein and Seibert 2012; Maraun et al. 2010; Mitchell 1989; Wood et al. 2004; Mukherje et al. 2018; Salvador et al. 2019). پیشرفت های زیادی در تولید روش های دینامیکی غیر خطی صورت گرفته است که برای سیستم های

در دو دهه ی اخیر دریاچه ی پریشان خشک شده است بطوری که سطح آب دریاچه تقریباً از ۲۳۰ سانتیمتر به صفر سانتیمتر در بازه ی زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ رسیده است (Shafiei et al. 2015). بعد از مطالعه ی دما، بارندگی و تبخیر مربوط به دریاچه ی پریشان آشکار شد که روند خشکی دریاچه همخوانی لازم با نتایج ندارد. مطالعه ی ایزوتوپ های اکسیژن و کربن و همچنین سطح تراز آب زیرزمینی نشان می دهد که یک عامل، فرآیند خشکی دریاچه را سرعت بخشیده است (Noorollahi et al. 2011). در سال ۱۳۹۳ پایش خشکسالی اطراف دریاچه توسط شفیعی و همکاران برای دوره ی آماری ۳۷ ساله صورت گرفت و شش

کنترلی می توان فهمید که آیا تغییرات دینامیکی زیرحوضه ی مطالعاتی با کنترلی برابر می باشد یا نه. برای مطالعه ی تاثیرات تغییر اقلیم بر روی دریاچه تعدادی المان در نظر گرفته شد از جمله تعدادی شاخص های حدی اقلیمی (سه شاخص درصدی) شب های سرد (TN10p)، روزهای سرد (TX10p) و روزهای گرم (TX90p) و سه شاخص مطلق (حداقل دمای حداکثر روزانه (TXn)، حداکثر بارش یک روزه (RX1day) و حداکثر بارش پنج روزه (RX5day)) همچنین المان های تاثیر گذار بر خشکی دریاچه (بارندگی ماهانه، حداقل و حداکثر دمای متوسط، تبخیر و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)). تحلیل آشوبی با کمک بازسازی فضای فاز به روش زمان تاخیر مربوط به سری های زمانی متغیرها و شاخص های ذکر شده انجام گرفت تا تاثیر تغییر اقلیم بر خشکی دریاچه آشکار گردد.

روش تحقیق

دریاچه ی دائمی پریشان توسط رودخانه ها و چشمه های فصلی تغذیه می شود و در ایران، استان فارس، ۱۲ کیلومتری جنوب کازرون بین کوه های فامور قرار دارد. متوسط بارندگی این زیرحوضه برابر ۴۵۰ میلیمتر، متوسط دمای سالانه ی ۲۲/۲ درجه ی سانتیگراد و متوسط تبخیر ۲۴۵۰ میلیمتر می باشد. این ناحیه بین "25°25'51" و "51°43'50" طول جغرافیایی و "29°22'25" و "29°27'40" عرض جغرافیایی قرار گرفته است. هر دو زیرحوضه ی دریاچه ی پریشان و رودخانه ی شاپور در حوضه ی هیدرولوژیکی حله قرار دارند. موقعیت دریاچه پریشان و زیرحوضه ی کنترلی (رودخانه ی شاپور) در حوضه ی حله در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش اطلاعات بارش، دما و تبخیر استفاده شد که از سازمان آب و فاضلاب استان فارس دریافت گردید. اطلاعات استفاده شده مربوط به بازه ی زمانی ۱۳۸۱ تا

هیدرولوژیکی، هواشناسی و سیستم های چند متغیره بسیار کاربردی می باشند. مطالعات اخیر در زمینه ی اقلیم نشان می دهد که شاخص های حدی اقلیمی بسیار مهم و کاربردی در زمینه ی مطالعه ی تغییر اقلیم می باشند که دلیل آن نشان دادن روند تغییرات بارندگی و دمایی یک حوضه بطور مناسب می باشد (Aguilar et al. 2005; Vincent et al. 2005; Alexander et al. 2006; Haylock et al. 2006; Marengo et al. 2010). در مقایسه، مطالعه ی تغییرات دینامیکی شاخص های حدی اقلیمی بسیار کاربردی تر از مطالعه ی سری زمانی خام بارندگی، دمای حداقل و حداکثر می باشد و می توان اطلاعات بیشتری را استخراج کرد. از این رو از این شاخص ها به جای اطلاعات خام استفاده شد. برای وجود گام های متفاوت زمانی بین المان های اقلیمی (بارندگی و تبخیر) از شاخص SPI نیز استفاده شد. تئوری آشوب امکانی را فراهم کرده است تا بتوان سری های زمانی هیدرولوژیکی که پیچیده و متغیر هستند را مورد مطالعه قرار داد (Ding and Dong 2016; Hu et al. 2013; Elshorbagy et al. 2002; Zounemat al. 2016). روش های گوناگونی توسط تئوری آشوب پیشنهاد شده است از جمله بعد همبستگی و روش های غیر خطی پروتکشن (protection). روش بازسازی فضای فاز که در این پژوهش استفاده شده است از نوع روش غیر خطی پروتکشن می باشد. بازسازی فضای فاز با در نظر گیری همه ی متغیر های آشکار و نهفته در یک پدیده، تغییرات دینامیکی سیستم را به تصویر می کشد. از روش بازسازی فضای فاز استفاده شد تا مشخص گردد آیا خشکی دریاچه به دلیل تغییر اقلیم است و یا عامل درون حوضه ای مانند فعالیت های انسانی و یا تغییرات سطحی زمین (پوشش گیاهی و غیره). طبق تئوری آشوب در یک حوضه، تغییرات دینامیکی (رفتار تراژکتوری ها در فضای فاز و نوع جاذب) مربوط به همه ی زیرحوضه ها باید شبیه یک دیگر باشند. بنابراین با در نظر گیری یک زیرحوضه ی

آنکه آب نامحدود وجود داشته باشد. به طور قطع مقدار PET با تبخیر و تعرق در یک منطقه متفاوت می باشد. با تغییرات در اقلیم یک منطقه میزان تبخیر و تعرق می تواند به حداکثر برسد. در سال ۱۹۴۸ تعریفی از PET توسط Thornthwaite ارائه شد که بر مبنای تعداد روزها، متوسط دمای روزانه و طول روزها (ساعت) در یک ماه می باشد. مقدار PET بطور گسترده ای می تواند تحت تاثیر عواملی همچون سطح، دمای هوا و شدت و سرعت باد قرار گیرد. در این روش زمانی که بارندگی سالانه از مقدار تبخیر پتانسیل سالانه کمتر باشد، زمین را خشک فرض می کنند. روش محاسبه ی PET در رابطه ی ۱ آورده شده است.

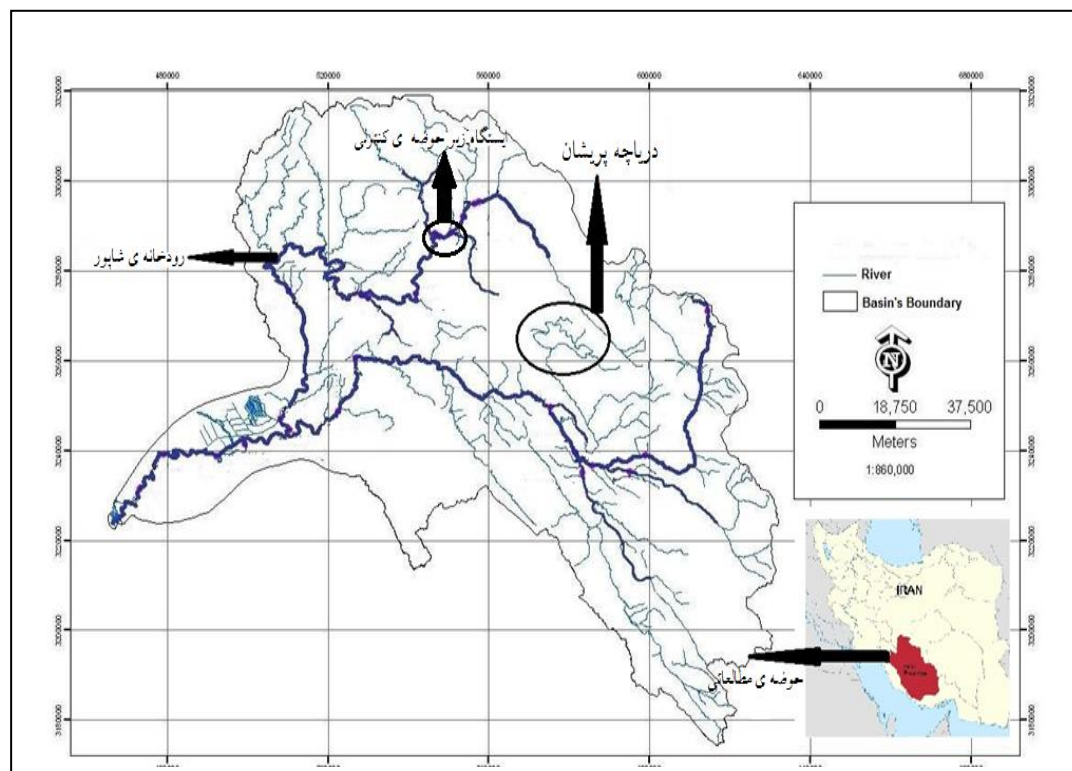
(۱)

$$PET = 16 \left[\frac{L}{12} \right] \times \left[\frac{N}{30} \right] \times \left[\frac{10T_g}{I} \right]^\alpha$$

۱۳۹۷ می باشد (بدلیل بیشترین نوسان در سطح آب دریاچه که منجر به خشکی دریاچه شده است، این بازه انتخاب شد). برای بازسازی فضای فاز همه ی داده ها به صورت ماهانه در نظر گرفته شدند (بجز بارندگی روزانه). در گام اول شاخص های حدی اقلیمی محاسبه شدند که شاخص های استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. شاخص های حدی استفاده شده از نوع درصدی (TX10p, TX90p و TXn) و مطلق (RX1day, RX5day و TXn) می باشند. شاخص های انتخاب شده برای داشتن نگاه کلی به تغییر اقلیم در حوضه ی مورد نظر کافی بنظر می رسند. این شاخص ها نوسانات بارندگی و دمایی در طی زمان به خوبی نشان می دهند.

تبخیر و تعرق پتانسیل

مبنای تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) بر حداکثر مقدار تبخیر و تعرقی است که امکان رخداد آن وجود دارد بشرط



شکل ۱- موقعیت زیر حوضه ی مطالعاتی (دریاچه ی پریشان) و زیر حوضه ی کنترلی (رودخانه ی شاپور) در حوضه ی حله

جدول ۱- تعریف شاخص های حدی استفاده شده (Diaconescu et al. 2017)

ID	نام شاخص	تعریف	واحد
RX1day	حداکثر بارش یک روزه	حداکثر بارش یک روزه در یک ماه	mm
RX5day	حداکثر بارش ۵ روزه	حداکثر بارش ۵ روزه متوالی در یک ماه	mm
TN10p	شب های سرد	$TN^{(1)} < 10th$ درصدی از روزها که	%
TX90p	روزه های گرم	$TX^{(2)} > 90th$ درصدی از روزها که	%
TXn	حداقل دمای حداکثر	مقدار حداقل ماهانه ی دمای حداکثر	°C
TX10p	روز های سرد	درصد روزهایی که $TX < 10th$	%

کمبود بارش را برای مقیاس های زمانی متفاوت ارائه می کند (Guttman 1998). این شاخص میزان خشکسالی را اندازه گیری می کند و کمک می کند تا اهمیت مقیاس های زمانی در مدیریت آب را شناسایی کنیم تا بتوان میزان آب در دسترس و مورد نیاز را محاسبه کرد. مقدار SPI را می توان از رابطه ی ۴ بدست آورد.

(۴)

$$SPI = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

مقدار x بارش، μ متوسط بارندگی و σ انحراف معیار استاندارد بارش می باشد. مقادیر SPI نشان دهنده ی میزان خشکی در مقیاس "خیلی خشک"، "نسبتاً خشک" و "خشک" می باشد و چنین مقیاس هایی برای میزان تری نیز تعریف می شود. در گام بعد مقدار SPI بطور ماهانه محاسبه شد.

تئوری آشوب

یک سیستم دینامیکی می تواند توسط فضای فاز تعریف شود و تراژکتوری های فضای فاز می تواند تحولات یک سیستم از حالت اولیه ی معلوم را توصیف کند (Sivakumar 2002). انحراف و تجمع تراژکتوری ها در قسمتی از فضای فاز، فارغ از در نظر گیری شرایط اولیه، جاذب گفته می شود. سیستم های دارای جاذب زایل شونده هستند و انرژی را در خود

واحد PET میلیمتر بر ماه می باشد و T_{α} برابر است با متوسط دمای ماهانه (درجه ی سلسیوس و برای دمای منفی این مقدار برابر صفر فرض می شود)، N تعداد روزهای یک ماه است و L طول متوسط روز (ساعت) در ماه می باشد.

(۲)

$$\alpha = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239$$

در رابطه ی بالا مقدار I از رابطه ی (۳) بدست می آید.

(۳)

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{ai}}{5} \right)^{1.514}$$

متغیر I شاخص حرارت می باشد که به دمای متوسط ۱۲ ماهه وابسته می باشد. در این مرحله مقدار PET برای بازه ی آماری محاسبه شد.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد (SPI) در سال ۱۹۹۳ توسط McKee معرفی شد و در سال ۱۹۹۵ تکمیل گشت. این شاخص تفسیر مناسبی از تری و خشکی یک حوضه را در گام های زمانی متفاوت ارائه می دهد (سه ماهه، شش ماهه، ماهانه و سالانه). بر خلاف شاخص های دیگر که به طور عمده بر مبنای بیلان آب ماهانه مقادیر بارش، تبخیر و تعرق، رواناب و رطوبت خاک در نظر می گیرند، این شاخص مقدار عددی

خواهد شد. اگر آشوب وجود داشته باشد، جاذب می تواند در یک فضای فاز با بعد پایین تر نشان داده شود. برای تعیین زمان تاخیر مناسب برای ترسیم فضای فاز باید از تئوری خودهمبستگی (autocorrelation) استفاده شود. در اولین زمان تاخیری که مقدار خودهمبستگی به صفر می رسد، بهترین زمان تاخیر برای ترسیم فضای فاز می باشد که برای متغیر های مختلف محاسبه شد و در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مقادیر زمان تاخیر متغیرها و شاخص های حدی در پاسخ به اولین مقدار صفر خودهمبستگی

مقادیر زمان تاخیر	متغیرها و شاخص های حدی
۱۳	بارندگی روزانه
۳	بارندگی ماهانه
۴	متوسط دمای حداکثر ماهانه
۴	متوسط دمای حداقل ماهانه
۴	تبخیر ماهانه
۳	RX1day
۳	RX5day
۲۰	TX90p
۶	TX10p
۳۹	TN10p
۴	TXn
۴	PET
۳	SPI

نتایج و بحث

مهمترین اهداف از بازسازی فضای فاز موارد زیر می باشد:

- تایید تغییر اقلیم در حوضه ی مطالعاتی
- تایید دینامیکی غیر خطی بودن پدیده ی تغییر اقلیم
- تایید تاثیر تغییر اقلیم بر حوضه ی مطالعاتی. در گام بعد جواب به این سوال که آیا عامل خارجی (تغییر اقلیم) باعث خشکی دریاچه شده است و یا عامل

حفظ نمی کنند (Jayawardena and Feizhou Lai 1994). اگر جاذب دارای بعدی فراکتالی (غیر عدد صحیح) باشد، به اصطلاح جاذب عجیب گفته می شود و سیستم دارای جاذب عجیب، سیستم دینامیکی آشوبی می باشد. پنج امکان در فضای فاز وجود دارد: ۱- جاذب نقطه ای که نشان دهنده ی تعادل است ۲ - جاذب حلقه ای که نشان دهنده ی رفتار پریودیک است ۳ - جاذب چنبره ای که نشان دهنده ی رفتار نیمه پریودیک است ۴ - جاذب عجیب که نشان دهنده ی رفتار آشوبناکی است ۵- جاذب وجود ندارد که نشان دهنده ی تصادفی بودن پدیده می باشد (Jagacinski and Flach 2018). با بررسی جاذب ها می توان به ماهیت یک پدیده پی برد. در سال ۱۹۸۱ تیکنر استخراج اطلاعات بر روی دینامیک آشوب توسط بازسازی فضای فاز (فضای حالت) از یک سری زمانی با یک متغیر منفرد را پیشنهاد کرد (ببینید رابطه ی ۵).

(۵)

$$\{X(t), t = 1, 2, 3, \dots, N\}$$

یک بردار در زمان t در این فضای فاز به کمک یک تأخیر زمانی t_1 ساخته می شود که به شکل زیر می باشد:

(۶)

$$Y_t = \{x_t, x_{t-t}, x_{t-2t}, \dots, x_{t-(m-1)t}\}$$

این ساختار یک مسیر در فضای m بعدی تولید می کند. حداقل ابعاد بازسازی برای آشکار شدن سیستم را بعد تعبیه شده می نامند که با m نشان داده می شود. اگر دینامیک غالب بصورت تصادفی باشد، ابری از نقاط بصورت تصادفی در فضای فاز نمایش داده

در شکل ۲-الف که مربوط به RX1day می باشد، تمرکز بارش بین صفر تا ۳۰ میلی متر می باشد و دارای ۳۴ پیک است که ۹ تا آن بالای ۵۰ میلیمتر و ۲۵ تای آن بالای ۳۰ میلیمتر می باشد. با گذر زمان تعداد پیک ها افزایش می یابد و تراژکتوری ها فضای فاز بیشتری را اشغال می کنند. جاذب از نوع نقطه ای می باشد. نتایج نشان می دهد که تعداد سیلاب های احتمالی در حال افزایش است و نوع جاذب نشان دهنده ی تعادل در سری زمانی می باشد. پراکنش تراژکتوری ها در فضای فاز شکل ۲-ب (RX5day) نشان می دهد که جاذب از نوع نقطه ای و تعادل در سری زمانی می باشد، با اشغال فضای بیشتر در فضای فاز توسط تراژکتوری ها مشخص می شود که تعداد سیلاب های احتمالی در حال افزایش است. با توجه به شکل ۲-پ (TN10p) نوع جاذب که از نوع نقطه ای است، آشکار می شود. نتایج نشان می دهد که رفتار تراژکتوری ها بیشتر ماهیت تصادفی دارند و نوع جاذب یک تعادل را در سری زمانی نشان می دهد. تعداد جهش ها در نمودار در حال افزایش می باشد که نشان دهنده ی افزایش تعداد شب های سرد می باشد. شکل ۲-ت (متوسط دمای حداقل) بیانگر این است که حداقل متوسط دمای حداقل ماهانه، مخصوصا برای ماه های زمستانی، در حال کاهش است و می توان برای آینده تعداد روزهای سردتری را پیش بینی کرد. نوع جاذب از نوع حلقوی است که نشان دهنده ی پرئودیک بودن سری زمانی است. شکل ۲-ث (بارش روزانه) آشکار می کند که اندازه و تعداد پیک ها در حال افزایش است. نتایج نشان می دهد که احتمال بارش های شدید روزانه در حال افزایش است. نوع جاذب نقطه ای است که نشانگر تعادل در سری زمانی می باشد. شکل ۲-ج (تبخیر) نشان می دهد که مقادیر تبخیر بطور سینوسی با گذر زمان تغییر می کند و پرئودیک بودن سری زمانی از نوع جاذب نیز آشکار می باشد. شکل ۲-چ (TXn) آشکار می کند که حداقل

درون حوضه ای (فعالیت های انسانی). در ابتدا بر مبنای موجود بودن داده ها و همچنین نزدیک بودن به ایستگاه مطالعاتی، ایستگاه کنترلی (رودخانه ی شاپور) انتخاب گردید. سپس داده های پریشان با داده های شاپور مقایسه شدند. برای انجام این مقایسه بازسازی فضای فاز برای داده های پریشان و همچنین شاپور صورت گرفت و نمودارهای آشوبی با یک دیگر مقایسه شدند (از نظر رفتار تراژکتوری ها در فضای فاز و نوع جاذب ها). از آنجا که هر دو زیرحوضه ی پریشان و شاپور در حوضه ی حله قرار دارند، طبق تئوری آشوب باید دارای نمودارهای آشوبی یکسانی باشند. اگر این چنین باشد، آنگاه تغییر اقلیم بر هر دو زیرحوضه بطور یکسان تاثیر گذاشته است و تغییرات در دو زیرحوضه باید برابر باشند. در غیر این صورت تاثیر تغییر اقلیم بر هر دو زیرحوضه یکسان نیست. اگر تاثیر تغییر اقلیم بر دو زیرحوضه برابر باشد ولی خشکی دو زیرحوضه با هم برابر نباشد، آنگاه عاملی درون حوضه ای باعث تغییر در میزان خشکی زیرحوضه خواهد بود. تراژکتوری های محدود شده در فضای فاز نشان می دهد که یک پدیده از قوانین آشوبی پیروی می کند و تصادفی نمی باشد. بازسازی فضای فاز یک سری زمانی نشان می دهد که یک سری زمانی از قوانین دینامیکی غیر خطی پیروی می کنند. اگر رفتار فضای حالت (فضای فاز) بشکل سینوسی باشد آنگاه رفتار تراژکتوری ها بشکل حلقه ی بسته خواهد بود. در غیر این صورت رفتار تراژکتوری ها به شکل ستاره ای و یا غیر خطی خواهد بود. جهش هایی که در نمودار ها پدیدار می شود نشان دهنده ی مقدار حداکثر یک متغیر می باشد و همچنین با شمارش تعداد دورهای کامل تراژکتوری ها در فضای فاز، تعداد سال های آماری مشخص می گردد. تراکم تراژکتوری ها در فضای فاز نمایانگر میانگین یک متغیر می باشد. با مقایسه ی سال به سال نمودارهای آشوبی دریاچه ی پریشان نتایج زیر حاصل شد نمودار سال اول آماری

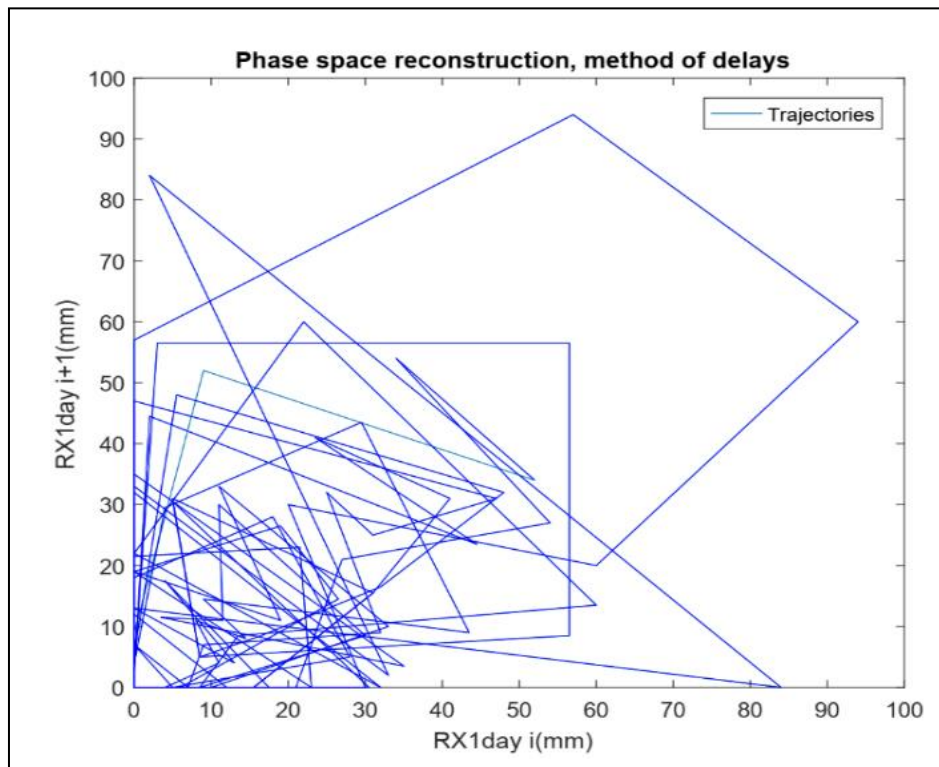
نتایج نشان می دهد که رفتار تراژکتوری ها در فضای فاز بیشتر تصادفی است تا آشوبی و همچنین تعداد روزهای سرد در حال کاهش و از طرف دیگر تعداد روزهای گرم در حال افزایش می باشد. نتایج شکل ۲ نشان می دهد که تغییر اقلیم در حوضه ی مطالعاتی در حال اتفاق می باشد. علاوه بر آن، حوضه ی مطالعاتی بیابانی شدن را تجربه می کند و اقلیم به سمت خیلی خشک در تغییر می باشد. نهایتاً اینکه تعداد روزهای بیشتری با دمای بالاتر برای آینده پیش بینی می شود و خطر سیلاب های احتمالی رو به افزایش می باشد. در گام بعد مقایسه ی سال به سال نمودارهای آشوبی دریاچه ی پریشان با نمودارهای رودخانه ی شاپور صورت گرفت (مقایسه ی نحوه ی پراکنش تراژکتوری ها در فضای فاز و نوع جاذب ها). نتایج نشان داد که نحوه ی پراکنش تراژکتوری ها در فضای فاز و همچنین نوع جاذب ها با یک دیگر یکسان هستند و دارای تفاوت های ناچیز می باشند. از این رو می توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم به یک اندازه بر هر دو زیر حوضه تاثیر گذاشته است و تغییرات در هر دو زیرحوضه باید با یک دیگر برابر باشند. مطالعه بر روی زیرحوضه ی پریشان نشان می دهد که میزان خشکی بطور قابل توجهی از زیرحوضه ی شاپور بیشتر می باشد.

نتیجه می توان گرفت که یک عامل درون حوضه ای باعث شدت بخشیدن به خشکی پریشان شده است و تغییر اقلیم باعث خشکی پریشان نشده است.

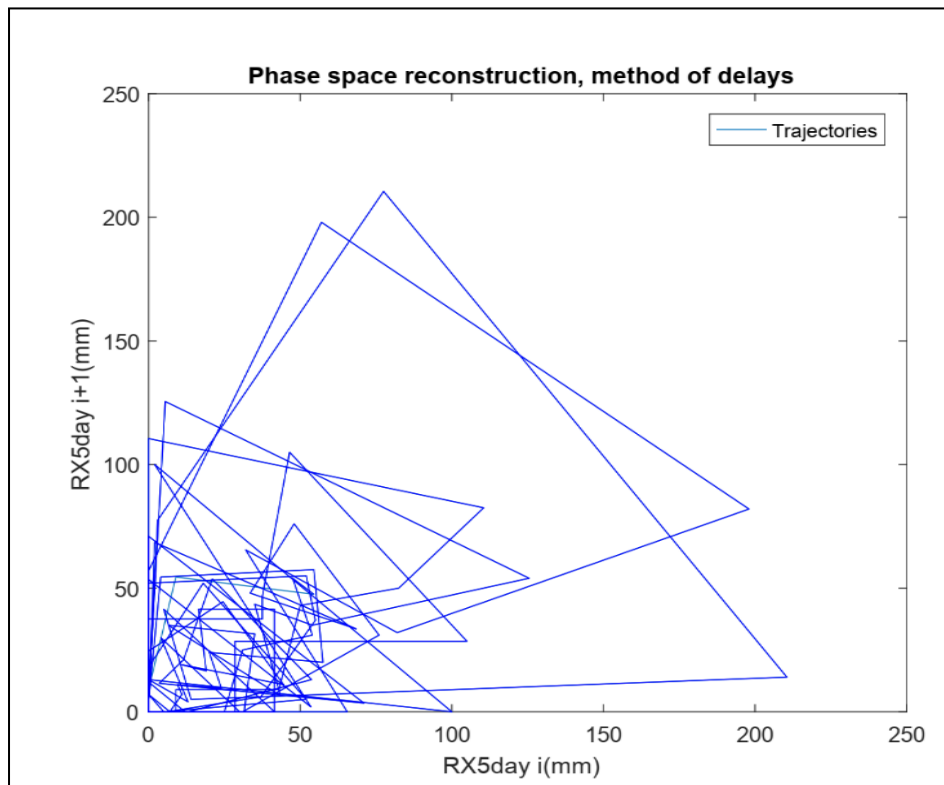
پس از مطالعه ی عوامل گوناگون که می تواند دارای پتانسیل احتمالی برای خشکی دریاچه را داشته باشند، این نتیجه حاصل شد که برداشت بیش از اندازه از آبخوان ها (توسط چاه های غیر مجاز) باعث خشکی پریشان شده است. مطالعه ای توسط Ghazali در سال ۲۰۱۲ نشان می دهد که نتایج حاصه مبنی بر استخراج بیش از اندازه عامل خشکی دریاچه ی پریشان می باشد و تغییر اقلیم سهم ناچیزی دارد.

و حداکثر دمای متوسط حداکثر ماهانه در حال افزایش می باشد روزهای تابستانی گرمتری پیش بینی می شود. نوع جاذب از نوع حلقوی است و نشانگر پرئودیک بودن سری زمانی است. شکل ۲-ح (بارش ماهانه) که بیانگر بارندگی ماهانه است، مشابه نمودار بارندگی روزانه می باشد و دارای خصوصیات یکسان (نوع جاذب و نحوه ی پراکنش تراژکتوری ها در فضای فاز) می باشند. از شکل ۲-خ (متوسط دمای حداکثر ماهانه) می توان فهمید که حداکثر دمای متوسط حداکثر ماهانه در حال افزایش است و روزهای گرمتری در تابستان قابل پیش بینی می باشد. نوع جاذب از نوع حلقوی است و رفتار سینوسی سری زمانی از آن قابل درک می باشد. با توجه به نمودار روزهای گرم (شکل ۲-د) رفتار بیشتر تصادفی تا آشوبی تراژکتوری ها در فضای فاز برداشت می شود. نتایج نشان می دهد که تعداد روزهای گرم در حال افزایش است (از ۲۵ به ۵۵ درصد) و روزهای گرمتری بخصوص در ماه های تابستانی قابل پیش بینی می باشد. نوع جاذب نقطه ای می باشد که نشانگر تعادل در سری زمانی است. شکل ۲-ذ که مربوط به PET می باشد و نشان می دهد که تراژکتوری ها با آشوب متوسطی در فضای فاز پراکنده شده اند و دارای جاذب حلقوی می باشند. نتایج نشان می دهد که نوسانات نسبتاً شدید داده ها در دوره ی آماری وجود دارد و رفتار سری زمانی پرئودیک می باشد. با توجه به نمودار SPI (شکل ۲-ر) رفتار بشدت تصادفی تا آشوبی تراژکتوری ها در فضای فاز مشخص می باشد.

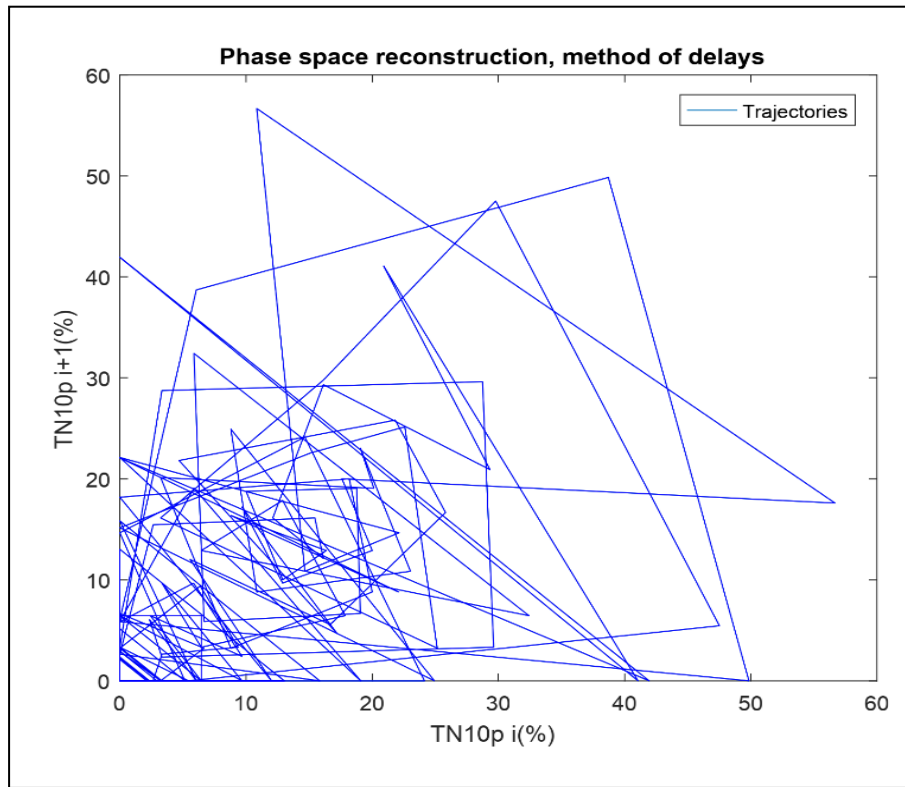
جاذب به شکل حلقوی می باشد که نمایانگر رفتار پرئودیک بودن سری زمانی است. نتایج نشان می دهد که تعداد خشکسالی ها در طول زمان در حال افزایش می باشد و خشکسالی بیشتری می توان پیش بینی کرد. شکل ۲-ز (TX10p) نشان می دهد که اندازه ی سیکل های بسته در نمودار با گذر زمان در حال متراکم تر شدن هستند و جاذب از نوع نقطه ای می باشد.



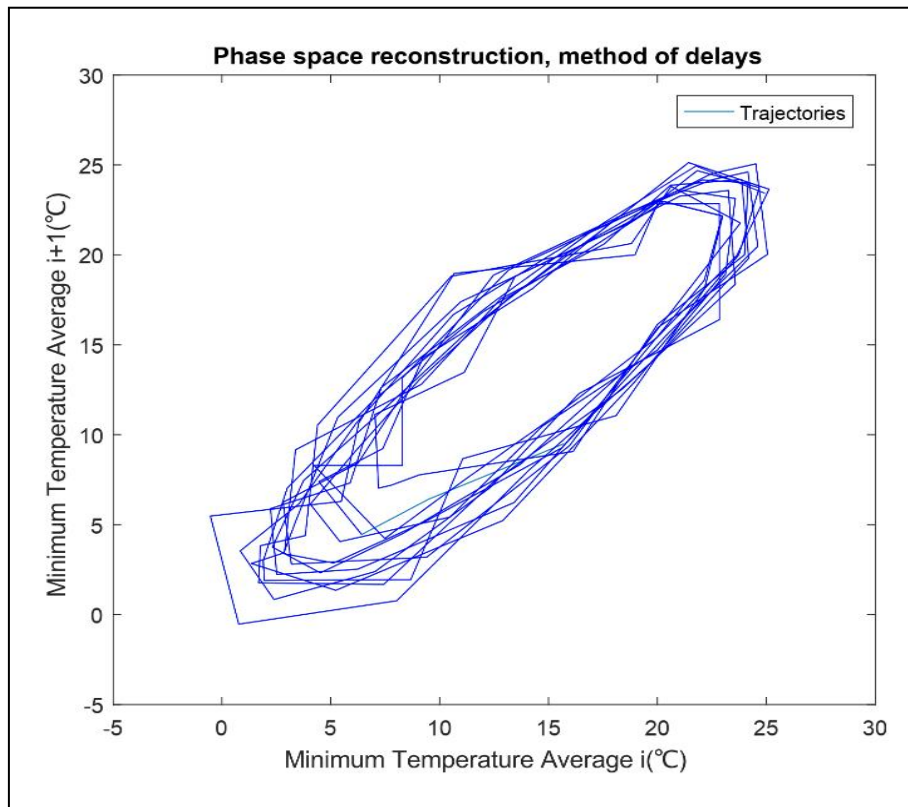
(الف)



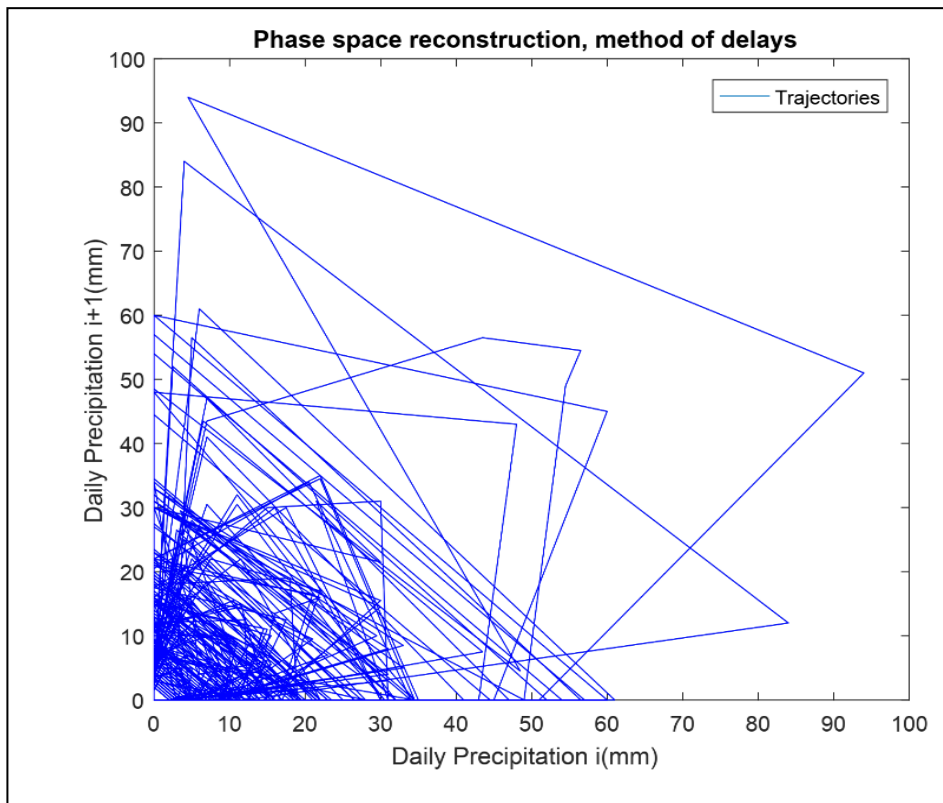
(ب)



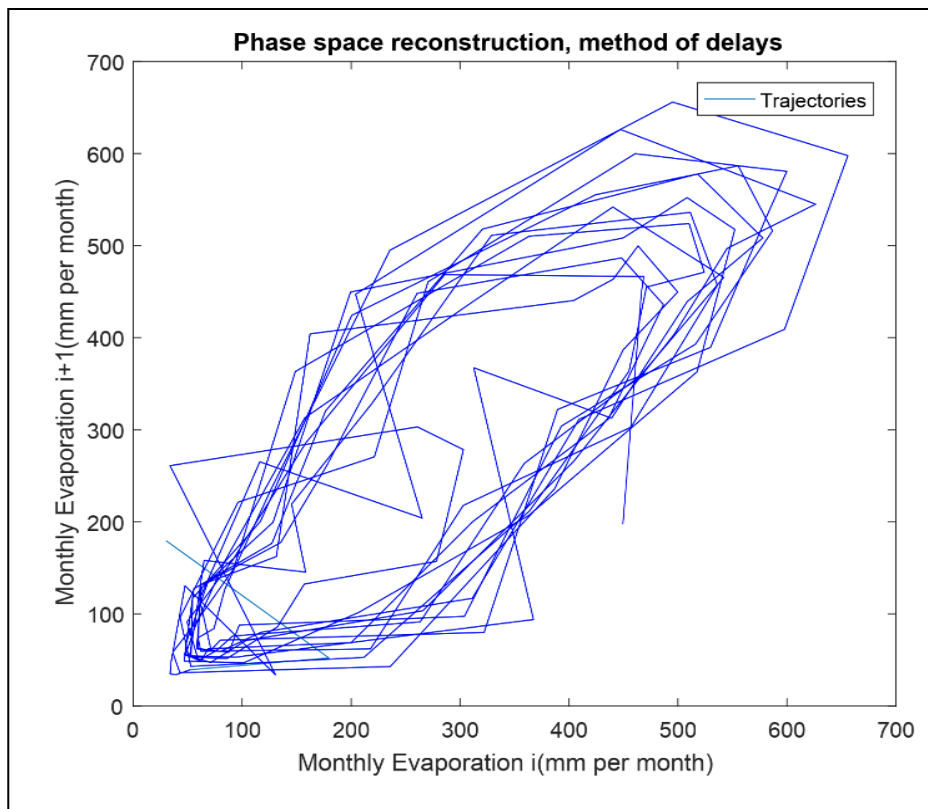
(ب)



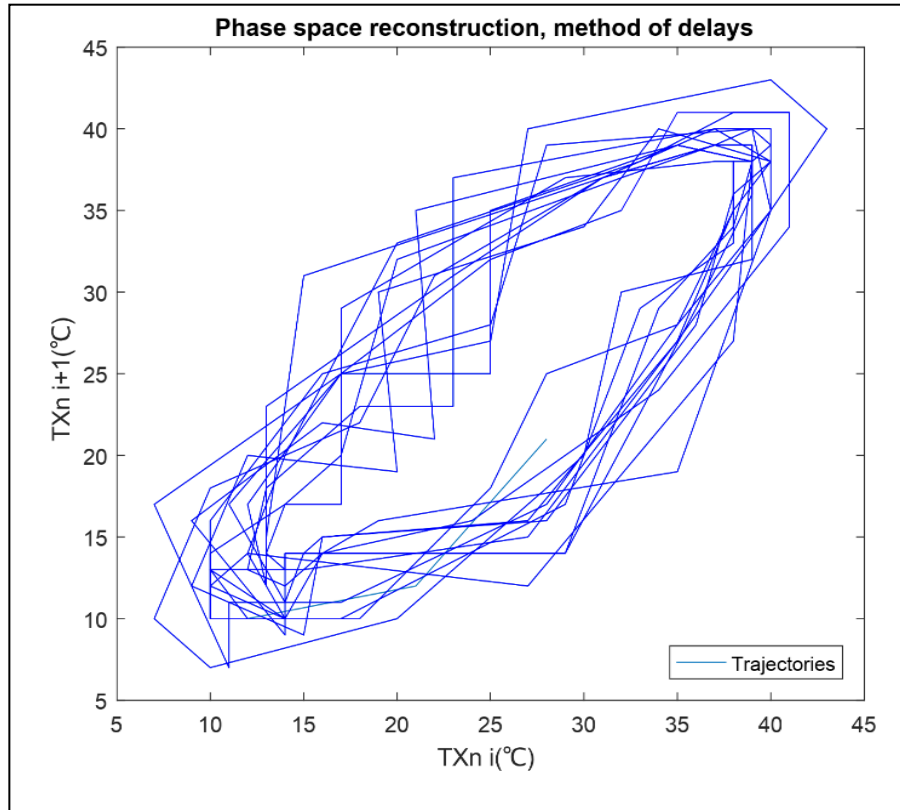
(ت)



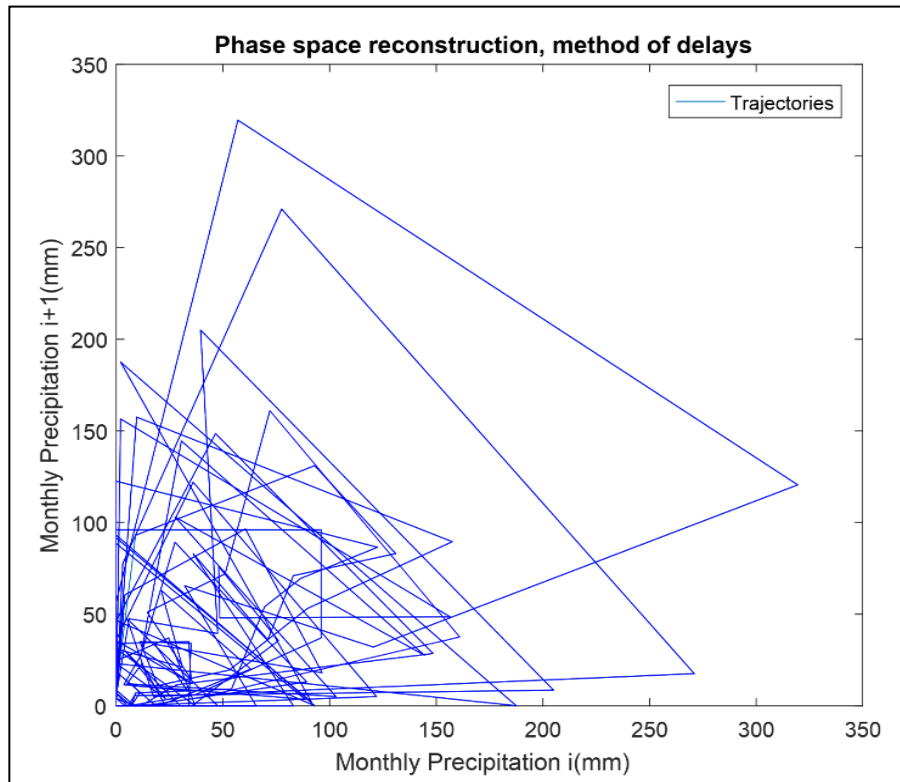
(ث)



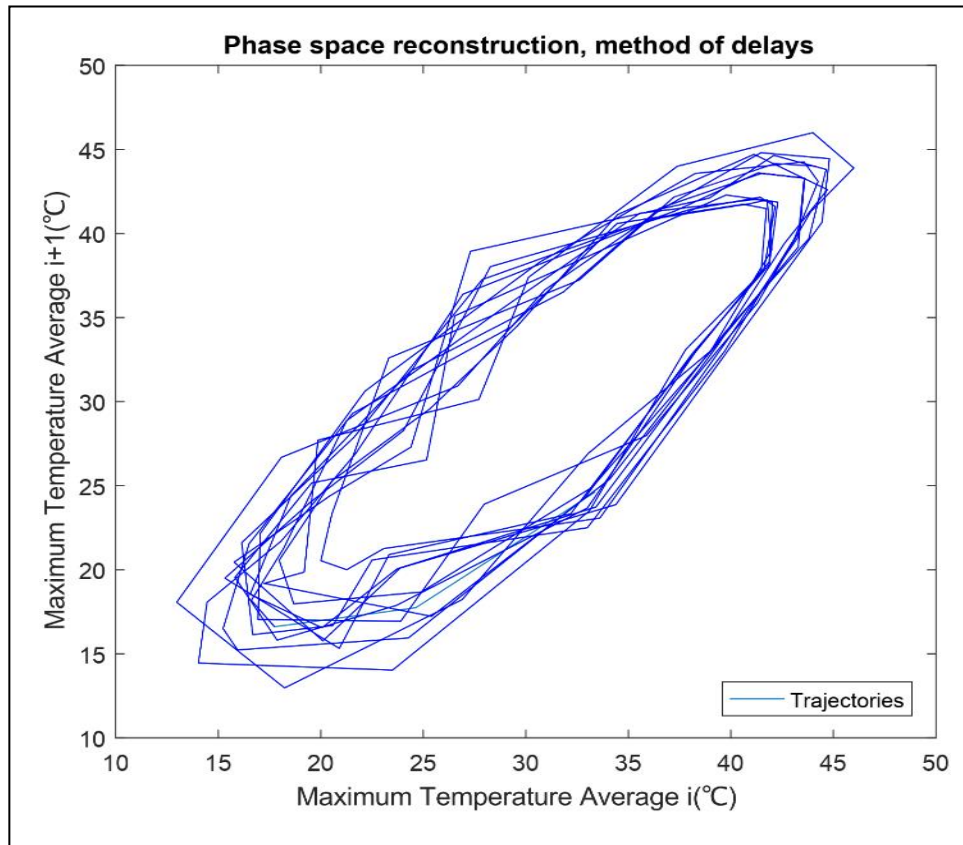
(ج)



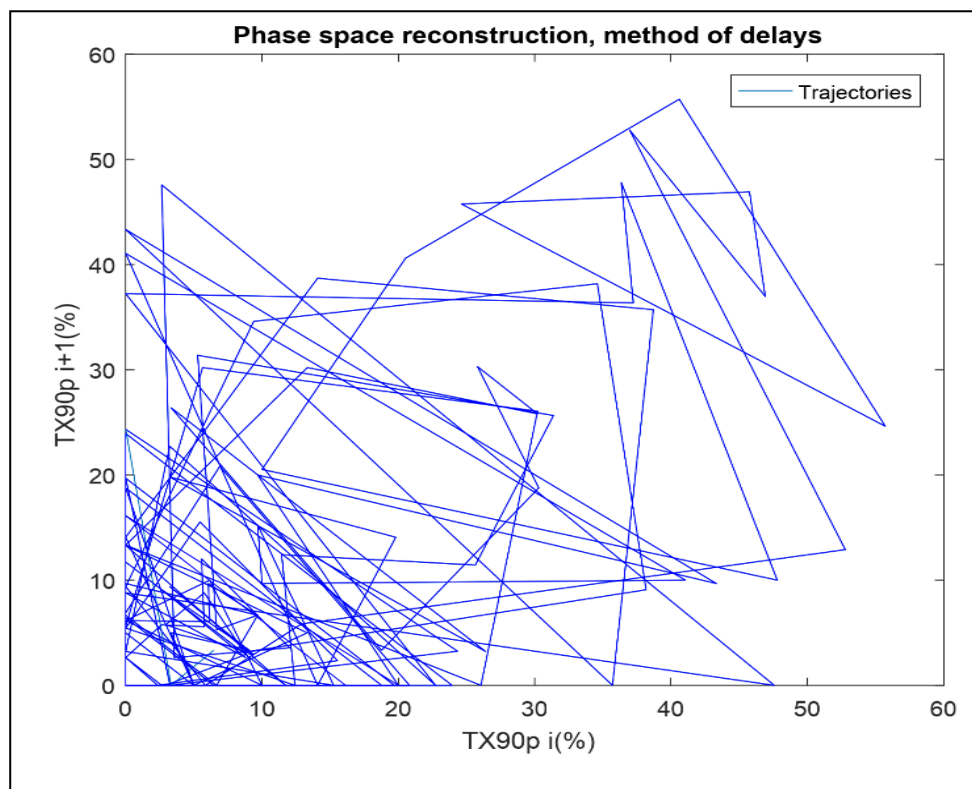
(ج)



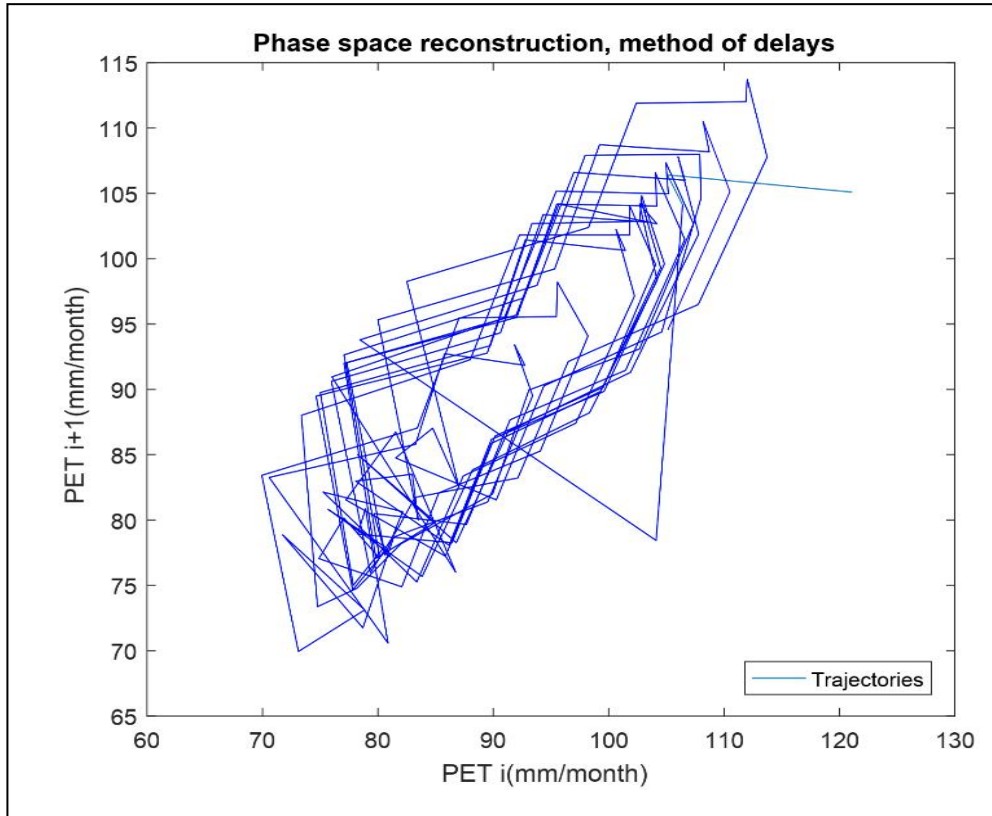
(د)



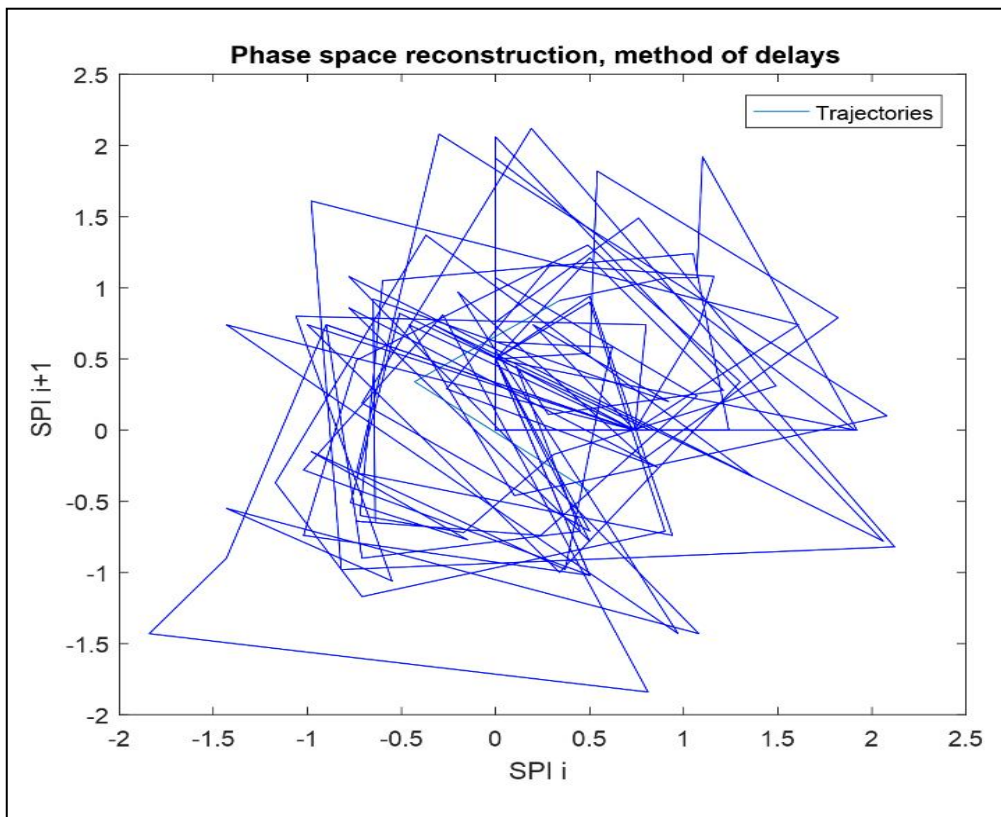
(خ)



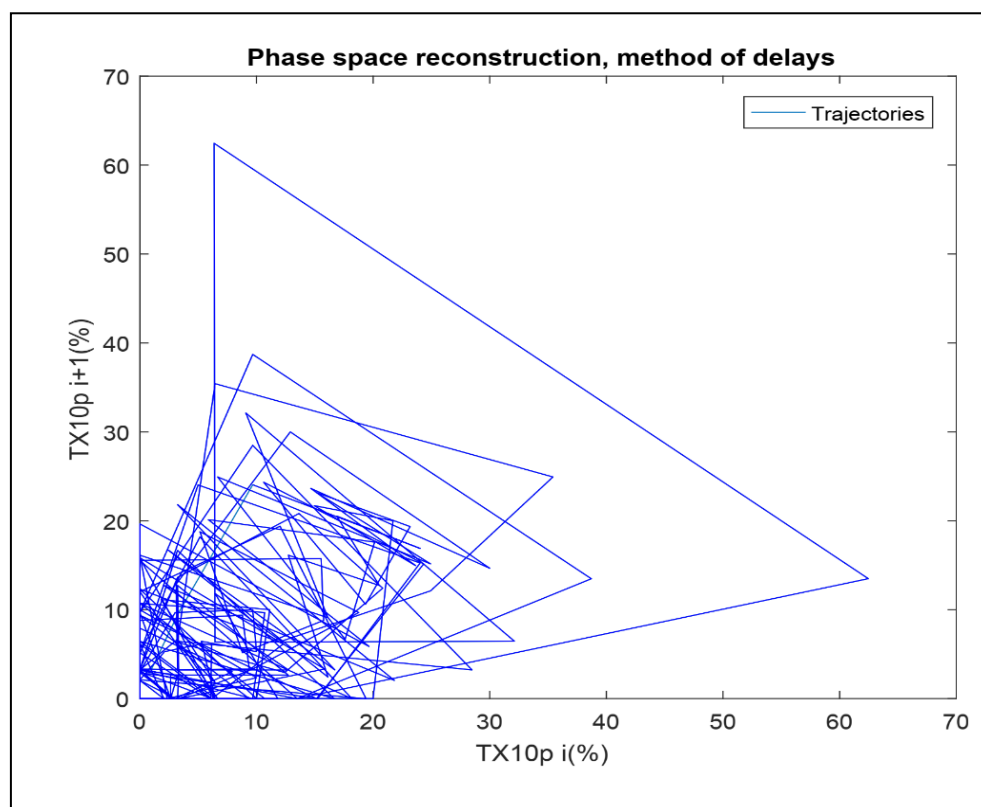
(د)



(د)



(هـ)



(ز)

شکل ۲- فضای فاز بازسازی شده مربوط به زیرحوضه ی دریاچه پریشان

قوانین دینامیکی غیرخطی پیروی می کند. نمودارهای آشوبی در گذر زمان تغییر کردند که اثباتگر تغییر اقلیم می باشد. با مقایسه ی سال به سال نمودارهای آشوبی زیرحوضه ی پریشان با زیرحوضه ی شاپور آشکار گردید که نحوه ی پراکندگی تراکتوری ها در فضای فاز و همچنین نوع جاذب ها با یک دیگر یکسان هستند. از این رو نتیجه می شود که تغییر اقلیم بر هر دو زیرحوضه به یک اندازه تاثیر گذاشته است و باید میزان خشکی هر دو زیرحوضه با هم برابر باشد. از آنجا که خشکی پریشان بیشتر از شاپور می باشد، عامل درون حوضه ای باعث خشکی دریاچه ی پریشان شده است. پس از بررسی ها مشخص شد که برداشت بیش از حد از آبخوان ها علت اصلی خشکی دریاچه ی پریشان می باشد و اتخاذ سیاست های مناسب و کنترلی ضروری می باشد.

به نظر می رسد با اعلام منطقه ی محافظت شده اطراف پریشان و جلوگیری از حفر چاه های غیر مجاز و همچنین جلوگیری از کاشت محصولات کشاورزی با نیاز آبی زیاد می تواند نقش موثری در جلوگیری از خشکی دریاچه بازی کند. نهایتا اتخاذ سیاست های مناسب و جامع ضروری بنظر می رسد.

نتیجه گیری

در این پژوهش قصد بر آن بود تا میزان تاثیر تغییر اقلیم بر خشکی دریاچه ی پریشان ارزیابی شود. تحلیل آشوبی، بازسازی فضای فاز به روش تاخیر زمانی بر روی داده ها صورت گرفت. ماهیت آشوبی شاخص های حدی اقلیمی و متغیر های مورد بررسی با بازسازی فضای فاز آشکار شد و مشخص گردید که سری های زمانی مورد بررسی از

- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993)**, "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales." Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, 179-184.
- Mitchell, J. F. (1989)**, "The Greenhouse effect and climate change." Reviews of Geophysics, 27(1): 115-139.
- Mukherjee, S., Mishra, A. and Trenberth, K.E. (2018)**, "Climate change and drought: a perspective on drought indices". Springer Nature, 4, 145-163
- Noorollahi, D, Lashkari, H, Amirzade, M, Azizi, GH and Sharafi, S. (2011)**, "Climatic and environmental reconstruction based on stable isotopes of parishan lake (Iran)". Journal of rangeland science, 1(3), 203-216.
- **Packard, N. H. and Crutchfield, J. P. and Farmer, J. D. and Shaw, R. S. (1980)**, "Geometry from a Time Series." Phys. Rev. Lett., 45 (9), 712–716.
- Piña Fulano, Jasson & Tilmant, Amaury and Antil, Francois. (2016)**, "Horizontal Approach to Assess the Impact of Climate Change on Water Resources Systems." Journal of Water Resources Planning and Management, 143, 04016081. –
- Salvador, C., Nieton, R., Linares, C., Diaz, J. and Gimeno, L. (2019)**, "Effects of droughts on health: Diagnosis, repercussion, and adaptation in vulnerable regions under climate change. Challenges for future research." Science of The Total Environment, 703, 1-
- Shafiei, M., Raeini Sarjaz, M., Ramin, F. (2014)**, "Drought monitoring of Arjan-Parishan plain (study area of Parishan Lake of Fars province)". Journal of watershed management research, 5(9), 46-63.
- Shafiei, Maryam & Raeini Sarjaz, Mahmoud & Fazloul, Ramin. (2015)**, "Determination effective climate factors on long -term fluctuations Parishan Lake level in Fars Province and prediction water level".
- Sivakumar, B. (2002)**, "A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers". Journal of Hydrology, 258, 149-162.
- Sten Bergström, Carlsson, B., Gardelin, M., Lindström, G., Pettersson, A., Rummukainen, M. (2001)**, "Climate change impacts on runoff in Sweden assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modeling." Climate Research, 16: 101–112.
- Baohui Men, Xiejing Zhao, Chuan Liang. (2004)**, "Chaotic Analysis on Monthly Precipitation on Hills Region in Middle Sichuan of China." Nature and Science, 2(2), 45-51.
- Diaconescu, E.P., Mailhot, A., Brown, R., Chaumont, D. (2018)**, "Evaluation of CORDEX-Arctic daily precipitation and temperature-based climate indices over Canadian Arctic land areas." Climate Dynamics, 50, 2061–2085.
- Ding, H., Dong, W. (2016)**, "Chaotic feature analysis and forecasting of Liujiang River runoff." Soft Comput 20, 2595–2609.
- Elshorbagy, A., Simonovic, S. P., Panu U. S. (2002)**. "Estimation of missing streamflow data using principles of chaos theory." Journal of Hydrology, 255, 123–133.
- Ghazali, S. 2012**, " Relationship between Level of Water in Parishan Lake and Surrounded Wells with Respect to Excessive Groundwater Extraction". Journal of Agricultural Economics Research, 4(14), 121-135.
- Guttman, N.B. (1998)**, "Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index." JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34, 113-121.
- Hu, Z., Zhang, C., Luo, G., Teng, Z., and Jia, C. (2013)**, "Characterizing cross-scale chaotic behaviors of the runoff time series in an inland river of Central Asia." Quaternary international, 311, 132-139.
- Jagacinski, R., & Flach, J. (2018)**, Control Theory for Humans: Quantitative Approaches to Modeling Performance (first ed.). online: CRC Press, Kindle edition
- Jayawardena, A.W. and Feizhou Lai. (1994)**, "Analysis and prediction of chaos in rainfall and stream flow time series". Journal of Hydrology, 153, 23-52.
- Marengo, J.A., Rusticucci, M., Penalba, O. and Renom, M. (2010)**, "An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part 2: historical trends." Climatic Change, 98, 509-529.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. (1995)**, "Drought Monitoring with Multiple Time Scales." Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, 233-236.

-**Takens F. (1981)**, "Detecting strange attractors in turbulence." Dynamical Systems and Turbulence, Warwick 1980, Lecture Notes in Mathematics, Springer, Berlin, Heidelberg, 366-381.

-**Teutschbein, C. and Seibert, J. (2012)**. "Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods." Journal of hydrology, 456-457, 12-29.

-**Thornthwaite, C. W. (1948)**, "An Approach toward a Rational Classification of Climate." American Geographical Society Stable, 38(1): 55-94.

Wood, A.W., Leung, L.R., Sridhar, V., Lettenmaier, D.P. (2004), "Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs." Climatic Change, 62, 189-216.

Zounemat-Kermani, M. (2016), "Investigating Chaos and Nonlinear Forecasting in Short Term and Mid-term River Discharge." Water Resource Management, 30, 1851-1865.

Chaotic Analysis of Climate Change on Parishan Lake's Drought

Farhang Rahmani¹ & Mohammad Hadi Fattahi^{2*}

1-Civil Eng. Department, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran

2-Assistant Professor, Civil Eng. Department, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Marvdasht, Iran

Abstract

Chaos theory has been applied for analyzing the mechanism of climate change effect on the drought of Parishan Lake. SPI, as well as several extreme climate indices, is measured, and several parameters (precipitation, evaporation, and temperature) affecting the drought are considered. A chaos analysis is finally conducted on them. Under these circumstances, a control basin is considered to investigate the behavior of the trajectories in the phase space under the Parishan sub-basin. The findings indicate that besides climate change impacts, an intra-basin factor has intensified the drought phenomenon. Results reveal that this intra-basin parameter affects the lake's drought more than climate change. Destructive activities, such as the excessive use of underground water resources and conversion of the natural land resources for agricultural use, can be mentioned. Consequently, the control of these parameters (or in other words, permitted abstraction of groundwater and adaptation) is likely to lead to control and mitigate the lake's drought.

Keywords: Phase space reconstruction, delay time, extreme climate indices, drought index.