

صص ۱۱۹-۱۳۵

## سنجش رابطه میان وقوع خشک‌سالی و تغییرات پهنه آبی تالاب انزل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست

**کیوان اسدی**

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

**پرویز رضائی\***

دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

**بهمن رمضانی گورابی**

استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۲

### چکیده

تغییر اقلیم یکی از بزرگ‌ترین خطرهای پیش روی بشر در حال حاضر و نیز در نسل‌های آینده است. پدیده تغییر اقلیم موجب تغییرات زیادی در الگوهای مکانی بارندگی شده و افزایش پدیده‌های حدی همچون خشک‌سالی را به دنبال دارد. همچنین پیش‌بینی شده است که تغییر اقلیم بر فراوانی، شدت و مدت خشک‌سالی تأثیر خواهد داشت. خشک‌سالی در تمامی اقلیم‌ها، حتی در اقلیم‌های مرطوب و نیمه مرطوب به وقوع می‌پیوندد از این جهت تالاب‌ها نیز که از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های کره زمین می‌باشند، مستثنا نیستند. در این پژوهش به بررسی رخدادهای خشک‌سالی در تالاب انزلی و ارتباط آن با تغییرات پهنه تالاب در طول دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۱۶ پرداخته شده است. به‌منظور بررسی خشک‌سالی از دو شاخص SPI و RDI استفاده شده است. جهت تعیین پهنه آبی، تصاویر ماهواره‌های لندست مورد استفاده قرار گرفت. بررسی شاخص‌های خشک‌سالی در حوزه تالاب انزلی نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده توسط شاخص RDI نسبت به مقادیر به دست آمده توسط شاخص SPI، خشک‌سالی را با شدت کمتری برآورد می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که مساحت پهنه آبی تالاب انزلی در طول سال‌های مورد بررسی روند کاهشی دارد که با روند افزایشی پدیده خشک‌سالی از لحاظ دفعات وقوع و شدت کاملاً همسو است.

**واژگان کلیدی:** تالاب انزلی، شاخص خشک‌سالی SPI، شاخص خشک‌سالی RDI، تصاویر ماهواره‌ای لندست

### مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین خطرهای پیش روی بشر در حال حاضر و نیز در نسل‌های آینده، تغییر اقلیم است. (hosseinzadeh et al, 2015, 2) طی سال‌های گذشته، پژوهش‌های زیادی انجام شده است که دلیل متقاعد کننده‌ای بر وقوع پدیده

تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع آب، محیط‌زیست، بهداشت و سلامتی ارائه شده است (Ranjan et al, 2006, 388). بر اساس گزارش‌های IPCC، دمای سطحی کره زمین تا پایان قرن ۲۱ بین ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ گرم‌تر خواهد شد (IPCC, 2013). اقلیم گرم‌تر موجب تغییرات بیشتر در الگوهای مکانی بارندگی شده و ممکن است موجب بروز بیشتر پدیده‌های حدی مانند خشک‌سالی شود. بنابراین پیش‌بینی شده است که تغییر اقلیم موجب افزایش فراوانی، شدت و مدت خشک‌سالی شود. در نتیجه اثرات تغییر اقلیم در مناطق خشک که به‌طور طبیعی مقدار بارش و رطوبت خاک کم است، قابل‌توجه‌تر است. تالاب انزلی به‌عنوان یکی از ۲۴ تالاب بین‌المللی ایران است که در سال ۱۳۵۴ به همراه ۱۸ تالاب دیگر به دفتر کنوانسیون رامسر معرفی شدند و به‌عنوان شاهکار خلقت، گنجینه طبیعت، زیستگاه بسیاری از گونه‌های جانوری و گیاهان آبی‌زی بشمار می‌آید و نقش بسیار زیادی در زندگی ساکنان آن دارد. با توجه به این‌که مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که تغییر اقلیم می‌تواند موجب افزایش فراوانی، شدت و مدت خشک‌سالی شود. و با توجه به این نکته که خشک‌سالی در تمامی نواحی حتی در محیط‌های مرطوب و نیمه مرطوب نیز به وقوع می‌پیوندد. (Yoshikawa, 2018, 789) از این جهت تالاب انزلی نیز مستثنا نیست و تحت تأثیر اقدامات انسانی و یا طبیعی دچار معضلاتی همچون آلودگی آب، پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری، کاهش سطح آب و... است (Ozesmi and Bauer, 2002, 381).

به‌طور کلی خشک‌سالی را معلول یک دوره شرایط خشک غیرعادی در نظر می‌گیرند که به اندازه کافی دوام داشته باشد، به‌صورتی که موجب ایجاد عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژی یک ناحیه شود (Rossi, 2000). اثرات پدیده خشک‌سالی نه‌تنها بر تولید محصولات کشاورزی مؤثر بوده است، بلکه به‌طور هم‌زمان بر روی تمام موجودات زنده شامل گونه‌های گیاهی و جانوری (اهلی و وحشی) و همچنین انسان‌ها تأثیرگذار است. یکی از مهم‌ترین کاربردهای شاخص خشک‌سالی تهیه گزارش دوره‌ای شدت و وسعت خشک‌سالی است. شاخص خشک‌سالی وسیله‌ای است که با خلاصه کردن اطلاعات خشک‌سالی به‌صورت دوره‌ای این اطلاعات و شرایط رطوبتی محصول در منطقه را گزارش می‌دهد (Tsakiris, 2004, 1). در زمینه خشک‌سالی مطالعاتی در خارج و داخل کشور انجام شده است که در ادامه تعدادی از آن‌ها آورده شده است. لی و دوان با مطالعه خشک‌سالی و دوره‌های خشک طولانی مدت چین، نشان دادند همراه با خشک‌سالی‌های چین شمالی در تابستان، افزایش طول دوره‌های خشک بلند مدت چین شمالی با فقدان بارش و شاخص منفی شدت خشک‌سالی پالم (PDSI) در فصل مرطوب همراه است. در طی ۵۱ سال گذشته مدت دوره‌های خشک بلند مدت به‌طور معنی‌داری بر روی چین شمالی و دره رودخانه زرد در طی فصل خشک افزایش یافته است (Lie and Duan, 2011). یو و همکاران به پایش خشک‌سالی تالاب حوضه رودخانه Tumen بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ با استفاده از Landsat TM/ETM + پرداختند، آن‌ها در این مطالعه، شاخص درجه حرارت گیاهی (VTCI) حاصل از شاخص پوشش گیاهی استاندارد (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) برای مشاهده وضعیت خشک‌سالی تالاب حوضه رودخانه Tumen در مرزهای چین و کره شمالی از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۶ محاسبه کردند. نتایج نشان داد اکثر نواحی با

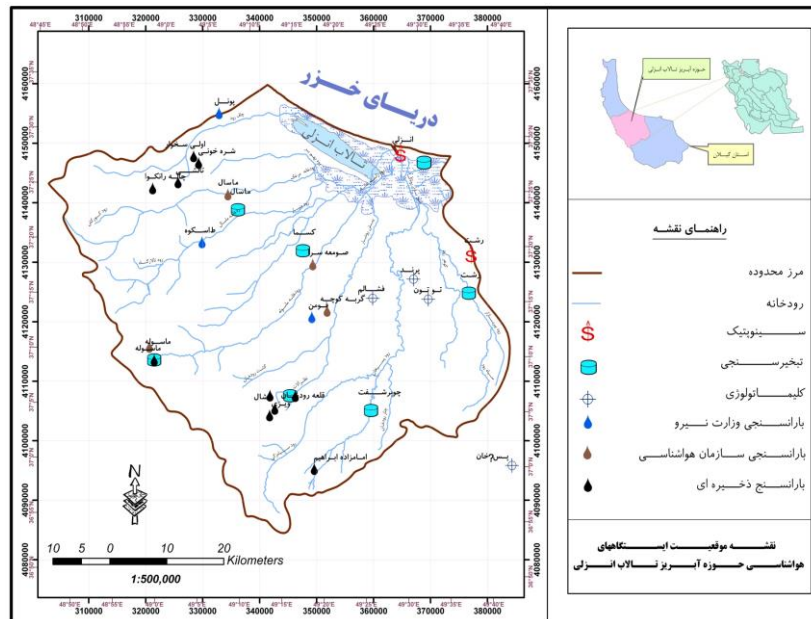
سطح رطوبت نرمال (۲۵/۸٪ کاهش)، خشک‌سالی ضعیف را تجربه می‌کنند (۲۹/۷٪ افزایش). ضریب تعیین ( $R^2$ ) بین VTCI و رطوبت خاک به ترتیب برابر با ۰/۶۹، ۰/۳۲ و ۰/۲ در ضخامت ۰ تا ۵ سانتی‌متر، ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر به دست آمد. اگر چه تغییرات آب و هوایی احتمالاً موجب تشکیل خشک‌سالی با کاهش بارش (کاهش ۵۰ میلی‌متر در بخش چینی) و افزایش دمای (۰/۵ درجه سانتی‌گراد در بخش کره شمالی) می‌شود، اما فعالیت‌های انسانی مانند افزایش مصرف آب روزانه به‌عنوان تهدید اصلی مطرح شده و عامل خشک‌سالی در این تالاب محسوب می‌گردد (Yu et al, 2018). شارما و کومار در مطالعه‌ای تغییرات میزان بارش و دما در حوضه رودخانه تستا در منطقه هیمالیا هندوستان متأثر از تغییر اقلیم را در دوره ۱۹۵۱-۲۱۰۰ مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها ضمن استفاده از چهار مدل گردش عمومی جو (GCMs) نشان دادند که تغییرات قابل توجهی در میزان بارش، دما و الگوهای شدید آب و هوایی را برای هر دو نوع داده مشاهده شده و پیش‌بینی شده وجود دارد. نتایج کلی حاکی از افزایش دما و بارش در منطقه مورد مطالعه بود (Sharma and Kumar, 2020). جهان زیب و کیم (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی تأثیر خشک‌سالی ناشی از تغییر اقلیم در تالاب ناکدونگ در کشور کره جنوبی پرداختند. در این مطالعه از مدل گرافیکی (PGM) برای برآورد احتمال تبدیل حالات مختلف خشک‌سالی هواشناسی به خشک‌سالی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی استفاده شد. نتایج این پژوهش اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با خشک‌سالی ارائه می‌دهد که در تصمیم‌گیری‌ها، مدیریت و ترمیم تالاب‌ها مفید خواهد بود (Jehanzaib and Kim, 2020). فنایی و عطایی (۱۳۹۳) خشک‌سالی تالاب بین‌المللی گاوخونی و پیامدهای زیست‌محیطی آن را در مقیاس ماهانه با استفاده از شاخص‌های DI، PNI و در مقیاس سالانه با به‌کارگیری شاخص‌های DI، PNI، SPI، CZI و ZSI بررسی و روند شاخص‌های مذکور را نیز توسط آزمون نا پارامتری من-کندال شناسایی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص‌های SPI، CZI، DI و ZSI در معرفی سال‌های خشک و مرطوب و شاخص DI در تعیین روند و مقایسه آن با روند پارامتر بارش نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. عیسوی و رضائی چیانه (۱۳۹۳) تأثیر خشک‌سالی و تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر تالاب‌های منطقه سولدوز را بررسی کردند. در این پژوهش از داده‌های ماهواره لندست برای پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی و از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک نیز برای تحلیل خشک‌سالی به کار گرفته شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که کاربری‌های منطقه مورد مطالعه و اقلیم محلی نوساناتی را در طی زمان داشته‌اند. به‌طوری که این تغییرات، بر روی اکوسیستم تالاب‌ها نیز تأثیر گذاشته و موجب نوسان مساحت آن در طی زمان شده است. جعفری‌گلو و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی تأثیرات خشک‌سالی بر تالاب هشیلان پرداختند. در این راستا ابتدا با استفاده از شاخص SPI، سال خشک‌سالی فرین انتخاب و تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به یک سال قبل و بعد از خشک‌سالی (۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷) در دوره کم آبی تالاب انتخاب شدند. نتایج حاکی از آن بود که وسعت تالاب نسبت به سال قبل از خشک‌سالی ۴۷٪ کاهش یافته است. فیروزی و همکاران (۱۳۹۸) مطالعه‌ای را با هدف مشاهده واکنش دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در یکی از دشت‌های خشک ایران یعنی دشت سیستان انجام دادند. همچنین برای شناسایی فراوانی درجات مختلف

خشک‌سالی و ترسالی‌های دشت سیستان نیز از شاخص خشک‌سالی مؤثر (EDI) استفاده کردند. نتایج نشان داد که در سال خشک تفاوت قابل توجه بین این دو شاخص در طبقه پوشش گیاهی نرمال مشاهده شد در حالی که شاخص NDVI برای این طبقه مساحتی را قائل نبوده است در حالی که در زمان ترسالی شاخص EVI مقداری نتایج بهتری را در اختیار گذاشته است. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص NDVI شاخص بسیار مناسب‌تری برای پویایی پوشش گیاهی در دشت‌هایی مانند دشت سیستان است. شاخص EVI نیز با توجه به ماهیت محاسباتی آن برای مناطقی با پوشش گیاهی متراکم‌تر مناسب می‌باشد. قایماتی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز تجن از شاخص‌های اصلاح شده بارندگی استاندارد (SPImod) و خشک‌سالی جریانات رودخانه‌ای (SDImod) جهت ارزیابی و تحلیل زمانی وقوع خشک‌سالی‌ها استفاده نمودند. برای این منظور از آمار ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۴ ایستگاه هیدرومتری در حوزه آبریز تجن استفاده شد و شاخص‌ها در شش بازه زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت در نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. نتایج همبستگی پیرسون در کل حوزه و همچنین به تفکیک زیر حوضه‌ها حاکی از همبستگی بالا در سطح ۹۹ درصد معنی‌داری را در رابطه زمانی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با یکدیگر است و این همبستگی در حوزه آبریز تجن در گام زمانی ۹ ماهه حداکثر بود. همچنین وقوع خشک‌سالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه، اثر خود را در همان ماه و با تأخیرهای ۱ تا ۷ ماهه روی منابع آب سطحی نشان داد. مرتضایی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای در استان کردستان فاصله زمانی بین وقوع خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی هیدرولوژیکی، در جهت تمهیدات لازم برای مقابله با خشک‌سالی ناشی از کمبود منابع آبی سطحی و زیرزمینی تعیین نمودند. ایشان وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی استان کردستان را با استفاده از شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) و شاخص خشک‌سالی جریانات رودخانه‌ای (SDI) ارزیابی و با شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی مقایسه نمودند. مطابق نتایج، شاخص GRI طی دوره آماری ۹۰ ساله (۲۹۶۹-۲۹۱۹) در مقایسه با شاخص SDI در مقیاس زمانی و دوره آماری یکسان از مقادیر بالاتر بیشینه شدت خشک‌سالی و بیشینه تداوم خشک‌سالی برخوردار بود. زبردست و جعفری (۱۳۹۰) به ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که تالاب انزلی طی دوره ده ساله (۱۹۹۱-۲۰۰۱)، دچار تخریب شده و تغییرات پدیده‌های مرتبط با آن مانند نوع پوشش گیاهی و مساحت بخش آبریز تالاب به سمت افزایش تغذیه گرای است.

در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات مساحت تالاب انزلی و ارتباط آن با خشک‌سالی و ترسالی در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. جهت پایش خشک‌سالی از دو شاخص SPI و RDI استفاده شده است و همچنین جهت تعیین پهنه آبی از تصاویر ماهواره‌های لندست MSS و ETM+ استفاده شده است.

## موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی در جنوب غربی دریای خزر و در استان گیلان در طول جغرافیایی  $39^{\circ}14'20''$  تا  $36^{\circ}49'45''$  و عرض جغرافیایی  $37^{\circ}12'23''$  تا  $37^{\circ}32'8''$  قرار گرفته و به عنوان یکی از مهم ترین تالاب های ایران و جهان بر اساس کنوانسیون رامسر است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## داده‌ها و روش‌ها

### داده‌های پژوهش

ایستگاه‌های هواشناسی داخل حوضه، شامل ایستگاه‌های سینوپتیک فرودگاه رشت، انزلی و ماسوله است و سایر ایستگاه تبخیرسنجی وزارت نیرو می‌باشند. این ایستگاه‌ها عمدتاً از سال ۱۳۶۳ فعال می‌باشند.

ابتدا داده‌های روزانه بارش و دما ایستگاه‌هایی که داخل و اطراف حوضه می‌باشند تهیه شد، سپس برای آزمودن همگنی داده‌های سالانه، از روش RUNS TEST و برای به دست آوردن بارش و دمای متوسط روزانه حوضه، از روش گرادیان بارش - ارتفاع و دما - ارتفاع داده‌های متوسط ماهانه استفاده شد.

آزمون توالی داده‌ها، در سطح اعتماد ۵ درصد با استفاده از آزمون NONPARAMETRIC-RUNTEST انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. با اطمینان ۹۵ درصد فرض همگن بودن داده‌ها تایید و احتیاجی به حذف یا نرمال سازی داده‌های بارش و دما در این ایستگاه‌ها نیست. بنابراین نتایج نشان گر وضعیت همگنی داده‌های ایستگاه‌های مدنظر است.

جدول ۱: نتایج آزمون همگنی داده‌ها - ران آزمون

پارامتر	دمای انزلی	بارش انزلی	دمای رشت	بارش رشت
مقدار آزمون	۱۶	۱۸۱۱	۱۶	۱۳۰۳
کمتر از مد	۳۱	۱۲	۲۹	۱۲
بیشتر از مد	۳۲	۱۳	۲۹	۱۳
کل	۶۳	۲۵	۵۸	۲۵
Z	-۲	-۱	-۲	-۱
SIG	۰/۵	۰/۰۸	۰/۶	۰/۰۸

مأخذ: نگارندگان

## داده‌های رقومی

در این مطالعه از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور واقع در دو بلوک ۱۴ و ۱۵ به ترتیب بندر انزلی و رشت استفاده شده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در داخل این دو بلوک قرار داشت، لذا با استفاده از نرم‌افزار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در کنار هم چیده شدند و مرز محدوده مورد مطالعه بر روی آن مشخص گردید، از این نقشه‌ها به‌عنوان داده‌های مرجع یا کمکی، در مراحل مختلف همچون تهیه نقشه DEM یا مدل رقومی ارتفاعی زمین و تصحیح ژئورفرنس تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

## سنجش از دور

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه، شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست MSS و ETM+ است. این تصاویر به فرمت Geo Tiff تهیه شده و فاقد هرگونه علائم ناخواسته بودند.

جدول ۲: مشخصات تصاویر سنجنده‌های ماهواره لندست در این پژوهش

تاریخ	سنجنده	Satellite	Row	PatH	CELSIZE	پوشش ابری
۱۹۷۵/۷/۲۷	MSS	۲	۳۴	۱۶۶	۵۷متر	۱۰
۱۹۸۷/۷/۵	MSS	۵	۳۴	۱۶۶	۳۰متر	۵
۱۹۹۶/۷/۱۳	TM	۵	۳۴	۱۶۶	۳۰متر	۷
۲۰۰۶/۷/۹	TM	۵	۳۴	۱۶۶	۳۰متر	۱۱
۲۰۱۶/۷/۲۰	OLI	۸	۳۴	۱۶۶	۳۰متر	۵

مأخذ: نگارندگان

## روش پژوهش

## شاخص SPI

شاخص استاندارد شده بارش (SPI) روشی است که برای اولین بار توسط مک کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ معرفی شد و در سال ۱۹۹۷، ادواردز و مک کی از این روش برای مطالعاتشان در ایالت کلرادو استفاده کردند. (Mackee et al, 1993) روش SPI روشی است که اقلیم شناسان برای انجام مطالعات بر روی خشک سالی ها استفاده می کنند. شاخص بارش استاندارد شده دارای ویژگی های متعددی است که سادگی و انعطاف پذیری این روش استفاده از آن را نسبت به شاخص های دیگر ارجحیت می دهد (معدنچی و همکاران، ۹۸).

با محاسبه فاصله زمانی بین شروع و خاتمه خشک سالی در یک دوره آماری مدت آن مشخص می شود به عبارت دیگر زمانی که SPI به طور پیوسته منفی باشد خشک سالی رخ داده و پایان آن زمانی است که SPI مثبت شود؛ جهت محاسبه مقدار SPI از مقادیر واقعی بارش به شیوه زیر عمل می گردد:

- از داده های بارش لگاریتم گرفته و به لوگ نرمال (Ln) تغییر می یابد و سپس میانگین این مقادیر محاسبه می شود، مقدار ثابت  $U$  و همچنین مقادیر شکل و مقیاس از رابطه زیر محاسبه می گردد :

$$\bar{x}_{Ln} = \sum_{i=1}^n Lnxi / N \quad (1)$$

$$U = Ln(xi) - \bar{x}_{Ln} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{4U} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}} \right] \quad (3)$$

$$a = \frac{\bar{x}}{\beta} \quad (4)$$

در ادامه به منظور آشکار نمودن مقادیر شکل و مقیاس از تابع گاما که جزء خلاصه شده ای از توزیع نمایی است استفاده می شود.

$$G(x) = \frac{1}{\alpha^{\beta} \Gamma \beta} \int_0^x X^{\beta-1} e^{-x/\alpha} dx \quad (5)$$

در این فرمول مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  مقادیر بیشتر از صفر را به دست می آورند ( $\alpha, \beta > 0$ ) و داده ها (داده های بارش) باید دارای مقادیر بالای صفر باشند ( $x > 0$ ) زیرا تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است.  $\Gamma(\beta)$  نیز تابع گاما است که به صورت زیر تعریف می شود:

$$SPI = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{if: } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (6)$$

$$SPI = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{if: } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (7)$$

در همین راستا میانگین و واریانس از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\beta-1} dx \quad (8)$$

با توجه به اینکه تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است احتمال تجمعی به صورت زیر است:

$$H(x) = q + (1-q) G(x) \quad (9)$$

در رابطه فوق  $G(x)$  معادل تابع توزیع برآورد شده است به طوری که مقادیر تهی در آن دخیل نمی‌باشند و  $q$  نیز نسبت تعداد داده‌های صفر به تعداد کل داده‌های بارش است به این ترتیب که اگر  $m$  تعداد داده‌های صفر باشد و  $n$  تعداد کل داده‌های بارش  $q=m/n$  است.  $H(x)$  نیز احتمال تجمعی تابع گاما می‌باشد که باید به متغیر تصادفی نرمال استاندارد  $Z$  با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ جابه‌جا شود. متغیر جدید به دست آمده همان شاخص  $SPI$  است. جهت محاسبه شاخص استاندارد شده بارش در ارتباط با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی، از طریق داده‌های بارندگی طی روابط ذکر شده در بالا مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه می‌گردد و سپس بعد از محاسبه احتمال توزیع تجمعی گاما با استفاده از تقریب آبراموتیزو- استوگان به توزیع نرمال مقادیر  $SPI$  جابه‌جا می‌شود؛ مراحل جابه‌جایی احتمال تجمعی گاما به توزیع نرمال به صورت زیر است:

برای مقادیر  $H(x)$  که بین ۰ و ۰/۵ یا ۰/۵ تا ۱ باشند مقدار  $t$  برابر است با:

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (11)$$

خواهد بود. در نهایت با استفاده از  $t$  به دست آمده مقادیر  $SPI$  محاسبه می‌شود به طوری که برای مقادیر مشخص شده ذیل توابع مختص آن استفاده می‌شود. مقادیر ثابت مورد استفاده در فرمول‌های بالا مربوط به محاسبه  $SPI$  به صورت زیر است:

$$\begin{array}{lll} c0=2/515517 & c1=0/802853 & c2=0/010328 \\ d1=1/432788 & d2=0/189269 & d3=0/0130 \end{array}$$

### شاخص RDI

در روش  $RDI$  بارندگی ( $P$ ) را به عنوان ورودی و تبخیر و تعرق پتانسیل ( $PET$ ) را به عنوان خروجی در نظر می‌گیرد. جهت تعیین خشک‌سالی با استفاده از  $RDI$  می‌بایست از آمار ماهانه و یا مجموع سالانه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل



استفاده کرد بدین ترتیب که ابتدا با استفاده از فرمول زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود.

$$a_0(i) = \left( \sum_{j=1}^{12} P_{ij} \right) / \left( \sum_{j=1}^{12} ET_{ij} \right) \quad (12)$$

در این فرمول P بارندگی و ET تبخیر و تعرق پتانسیل در زامین ماه سال i هستند. مقدار  $\bar{a}$  از ۱ تا N (تعداد سال‌های آمار موجود) متغیر است. در مرحله بعد از طریق رابطه زیر شاخصی تعیین می‌گردد که به‌عنوان شاخص RDI نرمال یا RDI(n) شناخته می‌شود.

$$RDI_n(i) = (a_0(i) / \bar{a}_0) - 1 \quad (13)$$

در این رابطه  $\bar{a}_0$  میانگین حسابی اعداد  $a_0$  هر سال است و همچنین شاخص استاندارد شده RDI یا (RDIs) نیز بدین گونه محاسبه می‌شود که ابتدا از مقادیر  $a_0$  لگاریتم گرفته سپس انحراف معیار استاندارد و میانگین آن‌ها محاسبه می‌گردد. در نهایت شاخص استاندارد شده RDI از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$RDI_s^{(i)} = (y_k^{(i)} - \bar{y}_k) / \sigma_{y_k} \quad (14)$$

### محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش تورنت وایت

در محاسبه RDI نیاز به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) از اطلاعات بارش و دما است که یکی از روش‌های محاسبه آن روش ترنت وایت (Thornthwaite) است. در روش ترنت وایت تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه‌های سال محاسبه می‌شود؛ مراحل محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش ترنت وایت بدین ترتیب است:

ابتدا نمایه حرارتی  $i_m$  برای هر یک از ماه‌های سال از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود. (Safavi et al, 2015, 80)

$$i_m = (T_m / 5)^{1.51} \quad (15)$$

در این معادله  $T_m$  متوسط دمای هوا به درجه سانتی‌گراد است. این کار برای تمام ماه‌های سال انجام گرفته و در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد  $i_m$  برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود. سپس نمایه حرارتی سال (I) از جمع نمایه‌های حرارتی ماهانه محاسبه می‌شود.

$$I = \left( \sum_{j=1}^{12} i_m \right) \quad (16)$$

در ادامه با استفاده از نمایه حرارتی سالانه (I) ضریب a از معادله زیر محاسبه می‌گردد.

$$a = (6.75 \times (10)^{-7}) I^3 - (7.71 \times (10)^{-5}) I^2 + (1.792 \times (10)^{-2}) I + 0.492 \quad (17)$$

در نهایت تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) برای هر یک از ماه‌های سال برحسب میلی‌متر از فرمول زیر محاسبه می‌گردد. برای اینکه مقدار PET با توجه به عرض جغرافیایی مطابق با تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعات روشنایی اصلاح شود ضریب  $N_m$  پس از استخراج از جدول ضرایب اصلاحی ترنت وایت، فرمول ذیل باید اعمال شود.

$$PET = 16(10T_m/D)^a \quad (18)$$

$$PET = 16N_m(10T_m/D)^a \quad (19)$$

### تعیین حدود پهنه آبی

به منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌بایست حدود اولیه آن را به سایت زمین‌شناسی امریکا معرفی کرد تا بتوان تصاویر دلخواه را از آن دریافت نمود. لذا بر این اساس، حدود این پهنه آبی بر مبنای تصاویر گوگل ارث، تعیین و سرور سایت مذکور معرفی شد. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه، شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست MSS و ETM+ است. این تصاویر به فرمت Geo Tiff تهیه شده و فاقد هرگونه نویز بودند.

**پیش‌پردازش و پردازش تصاویر:** زمانی که سنجنده‌ها در ماهواره مشغول ثبت پدیده‌ها می‌باشند سه نوع اشتباه رخ می‌دهد که نوع اول مربوط به سنجنده‌هاست، نوع دوم مربوط به کروی بودن زمین است و دسته سوم متأثر از عوامل جوی در میزان بازتاب رسیده به سنجنده است. اطلاعات ماهواره در حالت اول به دلیل داشتن پیچیدگی‌های هندسی و اتمسفری نیازمند اصلاحاتی است. این اصلاحات باید بر روی کلیه باندها اعمال شود. این مرحله شامل تصحیح خطاهای سنجنده‌ها، تغییر و تبدیل داده‌ها، بررسی باندهای مختلف و تولید مجموعه‌های جدید اطلاعاتی با استفاده از رایانه می‌باشد. که در نهایت تصاویری با کیفیت مطلوب برای طبقه‌بندی، شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی که هدف اصلی تفسیر عکس‌های هوایی است، حاصل شود (Knorn, 2009, 957).

**تصحیح رادیو متریک:** تصحیح رادیو متریک زمانی ضرورت پیدا می‌کند که از تصاویر چند زمانه یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف و یا سنجنده‌های مختلف هستند استفاده شود. در چنین شرایطی باید تصحیح رادیومتری صورت گیرد تا اثرات اتمسفر، توپوگرافی سنجنده که به هنگام ثبت داده‌ها بر روی داده‌های رقومی تأثیر گذاشته است، برطرف شود. تصاویر خام سنجش از دوری همیشه دارای خطاهایی در مقادیر ثبت شده برای پیکسل‌ها می‌باشند که به خطاهای رادیو متریک معروف است (Schott, 1988, 1).

**بارز سازی:** جهت بارز سازی تصویر و افزایش تفاوت بین درجات روشنایی پیکسل‌ها که خود به شناسایی بهتر پدیده‌ها منجر می‌شود عملیات خاصی صورت می‌گیرد که به‌طور کلی تحت عنوان افزایش وضوح تصاویر تعریف می‌شود

(ایرانمنش، ۱۳۸۳). بارز سازی تصاویر شامل انواع پردازش‌ها نظیر افزایش کنتراست، فیلترگذاری و انواع آنالیزها است. افزایش کنتراست تصویر جدیدی با اختلاف بارزتر بین پدیده‌ها ایجاد می‌کند. ایجاد تصویر رنگی متعدد از این فایل‌های کنتراست شده، باعث شناسایی بسیاری از این پدیده‌ها از جمله تپه‌های شنی، مناطق مسکونی و شهری، اراضی کشاورزی و نقاط دارای ویژگی‌های بازتابی یکسان می‌شود. جهت ایجاد ترکیبات رنگی کاذب می‌توان ترکیبات متفاوتی از باندها ایجاد کرد.

**انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی:** در این نوع طبقه‌بندی می‌توان از طریق تعریف الگوهای خاص در تصاویر ماهواره‌ای کامپیوتر را طوری تعلیم داد که پیکسل‌های مشابه را در کلاس‌های معینی دسته‌بندی کند. اصولاً طبقه‌بندی‌های حاصله باید مطابق با واقعیت‌های زمین (پوشش زمین یا کاربری اراضی) باشند و هر کلاس موجود در مدل نهایی باید مشابه الگویی باشد که از قبل انتظار آن را داشتیم (خزاعی، ۱۳۹۸، ۱۶۵).

### شاخص‌های جداسازی آب

**شاخص آب تفاضلی نرمال شده:** شاخصی برای استخراج پهنه‌های آبی در تصاویر ماهواره‌ای که از دو باند GREEN و NIR برای محاسبه مناطق آبی از تابع زیر استفاده می‌کند. مقادیر نهایی پهنه‌های آبی از صفر بزرگ‌تر می‌باشند.

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (20)$$

**شاخص اصلاح شده آب تفاضلی نرمال شده:** این شاخص مزیت آن نسبت به شاخص قبلی این است که مناطق ساخت و ساز شده را به خوبی از پوشش گیاهی و خاک تفکیک می‌کند. در واقع به جای باند NIR از MIR استفاده می‌کند.

$$MNDWI = (GREEN - MIR) / (GREEN + MIR) \quad (21)$$

**شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی:** از این شاخص برای تشخیص سلامتی، شادابی و همچنین تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود. این شاخص همان‌طور که از نام آن پیداست مقادیر نرمال دارد، بدان معنا که دارای قدر مطلق مساوی یا کمتر از یک است و مقدار آن بین (-۱+۱) متغیر است. فرمول این شاخص به شرح ذیل است و داده‌های کمتر از صفر به معنای حضور رطوبت و منهای یک نیز آب می‌باشد.

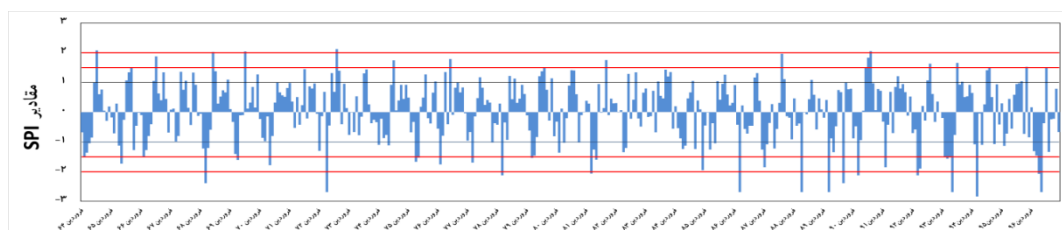
$$NDVI = (NIR - RED) / (RED + NIR) \quad (22)$$

شاخص نسبی آب: این شاخص نسبت کل بازتابش باندهای قرمز و سبز به باندهای مادون قرمز میانی و نزدیک است. در این شاخص مقادیر بزرگ‌تر از یک آب هستند.

$$WRI = (GREEN + RED) / (MIR + NIR) \quad (23)$$

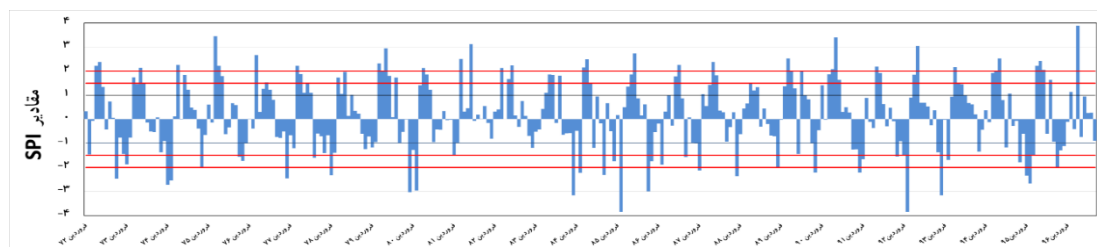
## یافته‌ها و بحث

مطالعه و بررسی داده‌های ماهانه بارش در ۲ ایستگاه سینوپتیک منتخب استان گیلان نشان می‌دهد که در کل دوره ۲۴ ساله آماری (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶)، میانگین بارش در ایستگاه رشت از کمترین مقدار ۸۲۳ تا بیشترین مقدار با ۱۸۸۱ میلی‌متر و در بندر انزلی به ترتیب از ۱۳۴۲ تا ۲۹۰۳ متغیر است و مقایسه سری‌های زمانی بارش با متوسط آن حاکی از آن است که میزان بارش در این ایستگاه‌ها به‌طور مکرر، نسبت به مقدار میانگین دچار تغییرات شده‌اند. همچنین فراوانی ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌های رخ داده هر دو ایستگاه در طی آماری ۳۲ ساله (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶) که در مجموع شامل ۳۹۶ ماه است از طریق شمارش ماه‌هایی که شاخص محاسبه شده SPI برای آن ماه زیر صفر یا بالای صفر قرار داشتند به ترتیب معرف خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها مورد بررسی قرار گرفت و به دنبال آن فراوانی خشک‌سالی‌های ۱ ماهه تا ۱۳ ماهه محاسبه شد. شکل ۲ و ۳ مقادیر شاخص SPI برای ایستگاه رشت و انزلی را در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: سری مقادیر SPI برای ایستگاه رشت

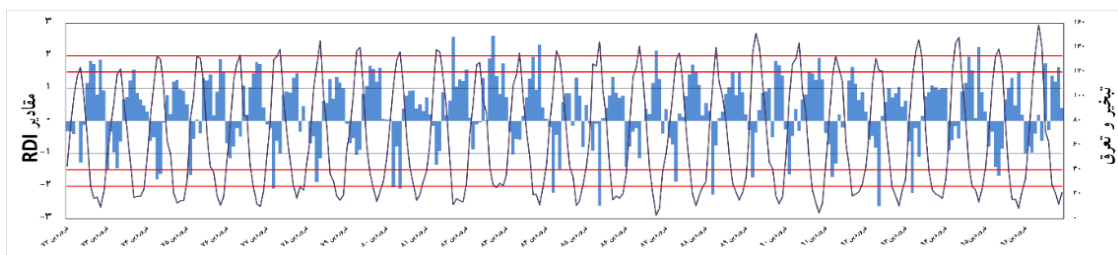


مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: سری مقادیر SPI برای ایستگاه انزلی

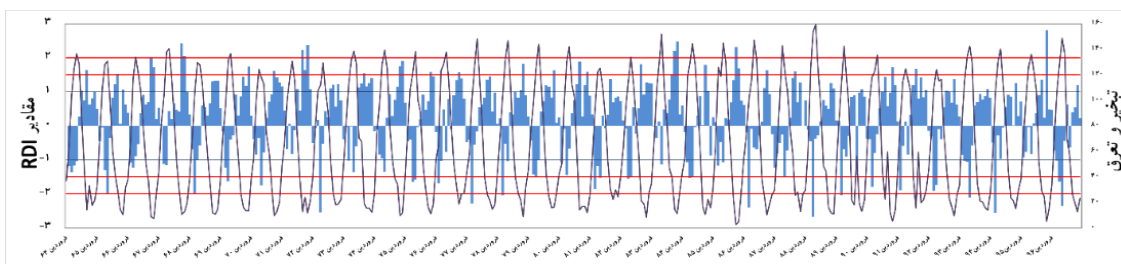
جهت محاسبه شاخص RDI از داده‌های بارش و دمای هر ایستگاه مطابق با داده‌های بارش استفاده شده به‌منظور محاسبات شاخص SPI و منطبق با همان دوره آماری (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۶) استفاده گردید. تبخیر و تعرق پتانسیل از طریق روش ترنت وایت محاسبه و در نهایت شاخص RDI برای هر ایستگاه و برای تمامی ماه‌ها محاسبه شد. در این روش نیز مقادیر مثبت RDI نشان‌دهنده ترسالی‌ها و مقادیر منفی RDI نشان‌دهنده خشک‌سالی‌ها است. هرچه مقدار دما افزایش پیدا کند مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل نیز افزایش می‌یابد. طبیعی است میزان خشکی در هر جا که تبخیر و تعرق بالاتری داشته باشد نسبت به‌جای دیگر با همان میزان بارش ولی با تبخیر و تعرق کمتر با شدت بیشتری تظاهر می‌نماید.

شکل ۴ و ۵ مقادیر شاخص RDI برای ایستگاه رشت و انزلی را در طول دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد، به‌طور کلی هرچه ایستگاه‌ها در مناطق با دماهای بالاتر قرار گیرند مجموع احتمال وقوع خشک‌سالی‌ها بیشتر می‌گردد و این بدان دلیل است که در روش RDI علاوه بر فاکتور بارش عامل دما نیز در نظر گرفته می‌شود. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده توسط شاخص RDI نسبت به مقادیر به دست آمده توسط شاخص SPI خشک‌سالی را با شدت کمتری نشان می‌دهد. به‌طور کلی عملکرد دو شاخص ذکر شده در ایستگاه‌های مختلف نسبت به یکدیگر متفاوت است به این ترتیب که در ماه‌های پربارش میزان انطباق دو شاخص بیشتر می‌گردد و در ماه‌های با شرایط اقلیمی گرم‌تر مقادیر RDI خشکی خفیف‌تری را نسبت به شاخص SPI نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: سری مقادیر RDI برای ایستگاه رشت



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: سری مقادیر RDI برای ایستگاه انزلی

### بررسی تغییرات پهنه آبی

مطالعات بی‌شماری در زمینه استفاده از الگوریتم‌ها و شاخص‌ها برای شناسایی سطوح آبی از خشکی در داخل و خارج از ایران صورت گرفته است. این الگوریتم‌ها و شاخص‌ها در نرم‌افزارهای مختلفی مورد بحث و آزمون قرار گرفته‌اند که در این میان، نرم‌افزارهای سنجش از دور، جایگاه ویژه‌ای در برآورد و ارزیابی پهنه‌های آبی به خود اختصاص داده است (لرستانی و اسماعیلی، ۱۳۹۹، ۸۷). از آنجاکه هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر خشک‌سالی بر تغییر سطح تالاب یا درواقع تفکیک آب و خشکی هست لذا تعیین بهترین شاخص ماهواره‌ای برای استخراج مساحت تالاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat از اهمیت فراوانی برخوردار است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه، شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست MSS و ETM+ است. در شکل ۶ نمونه‌ای از تصویر ماهواره‌ای اصلاح شده و تصاویر

مربوط به شاخص‌های جداسازی آب: شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)، شاخص اصلاح شده آب تفاضلی نرمال شده (MNDWI)، شاخص تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص نسبی آب (WRI) مربوط به سال ۲۰۱۶ است.

جدول ۳: خلاصه نتایج تصویر سال ۲۰۱۶

شاخص	مساحت (هکتار)
NDWI	۴۳۴
MNDWI	۳۳۱۶
NDVI	۲۹۲
WRI	۵۶۲

مأخذ: نگارندگان



نقشه تصویر اصلاح شده سال ۲۰۱۶



نقشه شاخص MNDWI سال ۲۰۱۶

نقشه شاخص NDWI سال ۲۰۱۶



نقشه شاخص WRI سال ۲۰۱۶

نقشه شاخص NDVI سال ۲۰۱۶

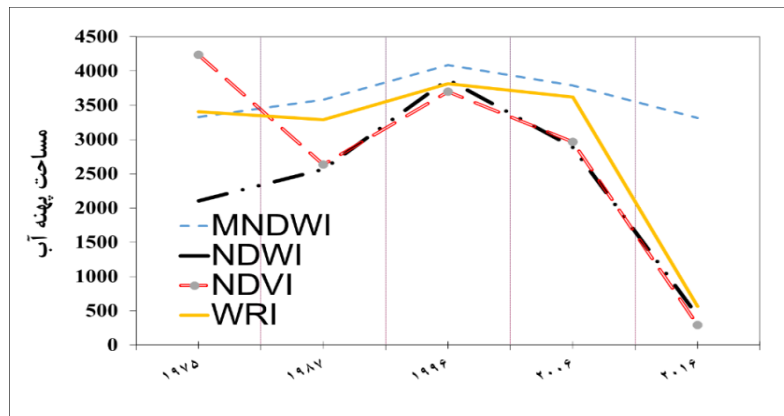
مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶

مطابق شکل ۶ برای سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۷، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۶ نیز نقشه شاخص‌های پهنه آبی رسم می‌شود که نتایج

آن در نمودار شکل ۷ قابل مشاهده است.

در نمودار شکل ۷، تغییرات مساحت پهنه آبی منتج از شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که قابل مشاهده است مساحت پهنه آبی در طول سال‌های مورد بررسی روند کاهشی دارد که با روند افزایشی خشک‌سالی مشاهده شده در تصاویر ۲، ۳، ۴، ۵ کاملاً همسو می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: تغییر مساحت پهنه آبی منتج از شاخص‌های مختلف

همچنین بررسی نمودارهای شاخص خشک‌سالی در ایستگاه رشت از همین سال به بعد تعداد خشک‌سالی‌های متوسط و شدید به ۱۸ مورد رسیده است که در شکل ۵ به‌خوبی تراکم دوره‌های خشک‌سالی از سال ۱۳۷۵ به بعد را به نمایش گذاشته است.

## نتیجه‌گیری

بررسی شاخص‌های خشک‌سالی در تالاب انزلی نشان می‌دهد که مقادیر به دست آمده توسط شاخص RDI نسبت به مقادیر به دست آمده توسط شاخص SPI خشک‌سالی را با شدت کمتری نشان می‌دهد. به‌طور کلی عملکرد دو شاخص ذکر شده در ایستگاه‌های مختلف نسبت به یکدیگر متفاوت است به این ترتیب که در ماه‌های پربارش میزان انطباق دو شاخص بیشتر می‌شود و در ماه‌های با شرایط اقلیمی گرم‌تر مقادیر RDI خشکی خفیف‌تری را نسبت به شاخص SPI نشان می‌دهد.

بررسی مقایسه‌ای نمودارهای شاخص‌های خشک‌سالی RDI و SPI با گراف تغییرات مساحت پهنه آبی مربوط به سطح تالاب که از نتایج تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده است، نشان می‌دهد که از سال ۱۳۷۵ سطح تالاب با یک شیب تند در حال کم شدن می‌باشد که نهایتاً در انتهای دوره آماری (۱۳۹۵) مساحت آن به ۵۶۲ هکتار می‌رسد. لذا با بررسی نمودارهای شاخص خشک‌سالی در ایستگاه رشت از همین سال به بعد تعداد خشک‌سالی‌های متوسط و شدید به ۱۸ مورد رسیده است که در شکل ۴ و ۲ به‌خوبی تراکم دوره‌های خشک‌سالی از سال ۱۳۷۵ به بعد را به نمایش گذاشته است.

## منابع

- ۱- ایران‌منش، فاضل، چرخابی، امیرحسین، جلالی، نادر، غفاری، علیرضا (۱۳۸۳). بررسی تغییرات و روند رشد فرسایش خندقی با استفاده از روش‌های پردازش اطلاعات رقومی در منطقه دشتیاری چابهار، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۲- جعفری‌گلگو، منصور، ویسی، عبدالکریم، نورایی صفت، ایثار، نادری، سیروس. ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیرات خشک‌سالی بر تالاب هشیلان. اکو بیولوژی تالاب. ۷ (۳): ۸۱-۹۲.
- ۳- خزائی، مرضیه، زارع، محمد، مختاری، محمدحسین، رشتیان، آناهیتا، عربی علی‌آباد، فهیمه (۱۳۹۸). مقایسه دقت انواع روش‌های طبقه‌بندی در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهر یزد). کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۷(۱): ۱۶۵-۱۷۸.
- ۴- زبردست، لعبت، جعفری، حمیدرضا. (۱۳۹۰). ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارائه راه حل مدیریتی. محیط‌شناسی، ۳۷(۵۷): ۸-۱.
- ۵- عیسوی، وحید، رضائی چپانه، اسماعیل (۱۳۹۳). تحلیل تأثیر خشک‌سالی و تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر تالاب‌های منطقه سولدوز. اکو بیولوژی تالاب. ۶ (۱): ۱۰۱-۹۱.
- ۶- فنایی، راضیه، عطایی، هوشمند (۱۳۹۳). بررسی خشک‌سالی تالاب بین‌المللی گاوخونی و پیامدهای زیست‌محیطی آن. اولین همایش ملی محیط‌زیست.
- ۷- فیروزی، فاطمه، طاووسی، تقی، محمودی، پیمان (۱۳۹۸). بررسی حساسیت دو شاخص پوشش گیاهی NDVI و EVI به خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطالعه موردی دشت سیستان. نشریه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. ۲۸، (۱۱): ۱۷۹-۱۶۳.
- ۸- قایناتی، شبنم، فضل‌اولی، رامین، مسعودیان، محسن، نادری، مهدی (۱۳۹۸). استفاده از دو شاخص SPImod و SDImod به منظور بررسی تطبیقی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه آبریز تجن. نشریه علمی-پژوهشی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۳): ۶۲۶-۶۱۳.
- ۹- لرستانی، قاسم، اسماعیلی، رضا (۱۳۹۹). امکان‌سنجی استفاده از پارامترهای طیفی چهارگانه در استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی دریاچه سد لار). هیدرو فیزیک. ۵ (۱): ۹۶-۸۷.
- ۱۰- مرتضایی فریز هندی، قاسم، لطفی مناجوقی، جعفر، خلیقی سیگارودی، شهرام، محسنی ساروی، محسن، نظری سامانی، علی‌اکبر (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی استان کردستان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲(۲): ۴۴۱-۴۵۳.
- ۱۱- معدنچی، پیمان، شاهدی، کاکا، حبیب‌نژاد، محمود، سلیمانی، کریم، فاتحی مرج، احمد (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های اقلیمی و بزرگی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI و روش زمین‌آمار کریجینگ (مطالعه موردی: استان کرمان). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۲): ۲۰۵-۲۲۸.

- 12- Hosseinizadeh, A., Seyedkaboli, H., Zareie, H., Akhondali, A., & Farjad, B. (2015): Impact Of Climate Change On The Severity, Duration, And Frequency Of Drought In A Semi-Arid Agricultural Basin. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1), 1-9.
- 13- IPCC (Intergovernmental Panel Of Climate Change). (2013): Working Group I Contribution To The IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basis-Summary For Policymakers. Intergovernmental Panel Of Climate Change, Stockholm.
- 14- Jehanzaib, M., Kim, T-W. (2020): Exploring The Influence Of Climate Change-Induced Drought Propagation On Wetlands. *Ecological Engineering*. 149:105799.
- 15- Knorn, J., A. Rabe, C.V. Radeloff, T. Kuemmerle, J. Kozak And P. Hostert. (2009): Land Cover Mapping Of Large Areas Using Chain Classification Of Neighboring Landsat Satellite Images. *Remote Sens. Environ.* 113: 957-964.
- 16- Lei, Y., Duan, A. (2011): Prolonged Dry Episodes And Drought Over China, *International Journal Of Climatology*. 31(12): 1831-1840.



- 17- Mckee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993): The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales. In Proceedings Of The 8th Conference On Applied Climatology, 17: 184-179.
- 18- Ozesmi, S. L., E.M., Bauer. (2002): Satellite Remote Sensing Of Wetlands. *Wetlands Ecology And Management*. (10): 381-402.
- 19- Ranjan, P., Kazama, S. Sawamoto, M. (2006): Effects Of Climate Change On Coastal Fresh Groundwater Resources. *Global Environmental Change*, 16(4): 388–399.
- 20- Rossi, G. (2000): Drought Mitigation Measures: A Comprehensive Framework. In *Drought And Drought Mitigation In Europe*. J. Voght And F. Somma (Eds) Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- 21- Safavi, M. Asareh, A. And Zeynivand, N. (2015): Evaluating Estimation Methods Of Potential Evaporation- Transpiration In Deylam City. *Walia Journal* 31(S4). 80-84.
- 22- Schott, J.R., Salvaggio, C. And Volchok, W.J. (1988): Radiometric Scene Normalization Using Pseudo-Invariant Features, *Remote Sensing Of Environment* 26 (1), 1–16.
- 23- Sharma, A., Kumar Goyal, M. (2020): Assessment Of The Changes In Precipitation And Temperature In Teesta River. *Atmospheric Research* 231: 104670.
- 24- Tsakiris, G. & Vangelis, H. (2004): Towards A Drought Watch System Based On Spatial SPI. *Water Resources Management*, 18, 1–12.
- 25- Yoshikawa, S., Pokhrel, Y., Kanae, S. (2018): A Global Hydrological Simulation To Specify the Sources Of Water Used By Humans. *Hydrology And Earth System Sciences*, 22(1): 789-817.
- 26- Yu, H., Li, L., Zhu, W., Piao, D., Cui, G., Kim, M., Jeon, S, W., Lee, W-K. (2018): Drought Monitoring Of The Wetland In The Tumen River Basin Between 1991 And 2016 Using Landsat TM/ETM+. *International Journal Of Remote Sensing*. 40(4): 1445-1459.