

تلفیق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی خشک‌سالی

(مطالعه موردی: دشت ملایر)

احمد اسدی می آبادی^۱

داود اختری^{۲*}

d_akhzari@yahoo.com

حمید نوری^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۵

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشک‌سالی، کاهش تراکم پوشش گیاهی است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی و خطر بروز سیل فراهم می‌شود. بر این اساس، ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف تحقیق حاضر این است که با استفاده از نمایه تأثیر خشک‌سالی (IDI)، امکان بهره‌گیری از داده‌های تلفیقی زمینی و ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه سنجیده شود.

روش بررسی: در این پژوهش شاخصی به نام نمایه تأثیر خشک‌سالی (IDI) استفاده شده است که بیانگر تأثیرات درازمدت شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی، بر وضعیت پوشش گیاهی آن منطقه است. در این مطالعه نمایه IDI با تلفیق داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دشت ملایر برای تهیه نقشه‌های بارندگی و دمای دشت (آمار ۵ ایستگاه سینوپتیک موجود در داخل و خارج منطقه مورد مطالعه، با مقیاس ۲۰ ساله) و یک سری از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده لندست OLI، TM و ETM+ برای تهیه نقشه پوشش گیاهی NDVI (مشمول بر ۶ تصویر در ماه مه و سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ میلادی) محاسبه و سپس پهنه‌بندی شد. پژوهش حاضر در اردیبهشت سال ۱۳۹۸ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد ارتباط خوبی بین داده‌های تلفیقی (IDI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برقرار است که نشان‌دهنده کارایی بالای داده‌های تلفیقی است. نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص SPI و IDI همبستگی بالایی برابر با ۰/۹۶۳ در سطح معنی‌داری $P < 0/01$ وجود دارد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.

۲- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر. * (مسول مکاتبات)

۳- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.

بحث و نتیجه گیری: تاکنون برای مطالعه خشک‌سالی‌ها از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به‌وفور استفاده‌شده است، اما شاخصی که از تلفیق این داده‌ها به‌دست‌آمده باشد کمتر موردتوجه محققان قرار گرفته است، بنابراین هدف و نوآوری این تحقیق این است که با استفاده از نمایه تأثیر خشک‌سالی (IDI)، امکان بهره‌گیری از داده‌های تلفیقی زمینی و ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه سنجیده شود.

واژه‌های کلیدی: نمایه تأثیر خشک‌سالی، پوشش گیاهی، سنجش از دور، دشت ملایر.

Zoning of Drought by Integrating Satellite Imagery and Ground-Based Climate Data (Case study: Malayer Plain)

Ahmad Asadi Meyabadi¹

Davoud Akhzari^{2*}

d_akhzari@yahoo.com

Hamid Nouri³

Admission Date: January 2, 2021

Date Received: October 27, 2019

Abstract

Background and Objective: One of the most important consequences of drought is reducing the amount of vegetation. Reducing vegetation and environmental conditions lead various problems such as soil erosion, increased runoff levels and flood risk. Accordingly, evaluation of the effects of drought on vegetation has a great importance. The purpose of this study is to use the Drought Effect Index (IDI), remotely sensed data and terrestrial data in the study area.

Method: The IDI index indicates the long-term effects of climate conditions in the study area on the vegetation cover in area. In this study, the IDI index combines data of the meteorological stations of Malayer Plain to prepare rainfall and temperature maps (information from 5 synoptic stations inside and outside of study area with a 19-years scale) and a series of Landsat TM satellites and ETM⁺ were calculated for the NDVI vegetation mapping (including 6 images in May and 2000, 2002, 2007, 2009, 2013 and 2015). The zonation map was prepared based on this information. This investigation has been done in May 2019.

Findings: The results showed that there is a meaningful correlation between aggregate data (IDI) and SPI index, indicates the efficiency of combined data. Results of Pearson correlation showed that there is a significant correlation between the mean SPI and IDI of 0.963 at a significant level of $P < 0.01$.

Discussion and Conclusions: So far, land and satellite data have been widely used for the study of droughts, but the index derived from the integration of these data has received little attention from researchers, so the aim and innovation of this research is to make it possible to use drought impact index (IDI). Combine terrestrial and satellite data in the study area.

Keywords: Drought Effect Index, Vegetation, Remote Sensing, Malayer Plain.

1- M.Sc., Student of Rangeland Science, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

2- Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. **(Corresponding Author)*

3- Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

مقدمه

اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی طراحی شده‌اند. اساس کار این شاخص‌ها بر روی اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگ‌دانه‌های موجود در کلروفیل، که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند و انعکاس شدید در باند مادون قرمز نزدیک داشته باشیم (6). برای مطالعه و پایش خشک‌سالی نیاز به کمی سازی اثرات آن با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی است. این شاخص‌ها بر اساس نوع داده‌های قابل دسترسی به دودسته کلی زمینی و ماهواره‌ای تقسیم می‌شوند از این شاخص‌ها برای مطالعه خشک‌سالی به‌وفور استفاده شده که نمونه‌هایی از آن در ادامه مشاهده می‌شود. اسدی زارچ و همکاران (7) با بررسی خشک‌سالی در آب‌وهوای گرم با استفاده از ارزیابی جهانی شاخص بارش استاندارد شده SPI (Standardized Precipitation Index) و شاخص شناسایی خشک‌سالی RDI (Reconnaissance Drought Index) به این نتیجه رسیدند که در مناطق خشک این دو شاخص ارتباط و تطابق خوبی باهم دارند، اما در منطقه مرطوب این تطابق کاهش می‌یابد، همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در طول زمان و تغییرات آب و هوایی شاخص‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری باهم دارند و با توجه به پدیده گرمایش زمین شاخص RDI به‌طور فزاینده با SPI متفاوت خواهد شد. سبرال و همکاران (8) به بررسی تنوع فضایی شاخص‌های خشک‌سالی SPI و RDI در دوره‌های شدید خشک‌سالی در ایالت ریودوژانیرو برزیل پرداختند. در این مطالعه داده‌ها از ۹۹ ایستگاه بارش و ۱۷ ایستگاه درجه حرارت در مقیاس زمانی ۳۱ ساله جمع‌آوری شده و برای تولید شاخص‌های خشک‌سالی در مقیاس سالانه استفاده شد. نتایج فضایی با استفاده از روش اسپلین کشش که به پنج رویداد خشک‌سالی مربوط می‌شود، نشان داد که شاخص‌های SPI و RDI شباهت‌های زیادی در رابطه با تغییرات فضایی ارائه داده و شاخص SPI به علت داده‌های کمتر مورد نیاز به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای

برای برآورد خشک‌سالی یک منطقه روش‌های متفاوتی وجود دارد که این روش‌ها نیاز به داشتن داده‌های قابل اطمینان از گذشته دارند، ولی به دلیل عدم دقت در برداشت داده‌ها، امر محاسبه خشک‌سالی را با مشکلاتی مواجه ساخته است. در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشک‌سالی، بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت نقطه‌ای و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به‌خصوص در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشک‌سالی به وجود آورده است. در چهار دهه اخیر، سنجش‌ازدور ابزار پایش خشک‌سالی را به‌صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشک‌سالی زیادی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطحی زمین (LST Land Surface Temperature)، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است (۱). کسب اطلاعات درباره وضعیت پوشش گیاهی از قبیل میزان و پراکنش آن‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است (۲). گردآوری اطلاعات در مورد تغییرات پیوسته پوشش گیاهی توسط روش‌های معمولی بسیار مشکل و پرهزینه است. در این حالت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد (۳). از نکات با اهمیت در زمینه مطالعه پوشش گیاهی به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب شاخص مناسب از بین انبوهی از شاخص‌های متعدد برای مطالعه پوشش گیاهی است. بیش از ۱۵۰ شاخص گیاهی در مقالات علمی منتشر شده‌اند، اما تنها تعداد کمی از آن‌ها پایه بیوفیزیکی قابل قبول یا با روش مشخص آزمایش شده وجود دارند. یک شاخص گیاهی (پوشش گیاهی برآورد شده) که از داده‌های قابلیت انتشار استفاده می‌کند می‌تواند به‌جای اندازه‌گیری پوشش گیاهی به‌کار رود (۴). واضح است که شاخص گیاهی فوایدی در مقایسه با پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده به‌طور ویژه در اراضی کشاورزی وسیع دارد. به‌طور کلی فواید آن شامل کاهش زمان، فراوانی داده در دسترس، صرفه‌جویی در هزینه و نیروی کار حداقل است (۵). شاخص‌های گیاهی، تبدیلات ریاضی هستند که بر

خشک‌سالی در مورد VCI در کلاس‌های آب‌وهوای نیمه‌خشک (مناطقی که آب عامل محدودکننده گیاهی هستند) بیشتر مشهود است درحالی‌که اثر خشک‌سالی در TCI برای کلاس‌های آب‌وهوا (منطقه‌ای که در آن عامل محدودکننده تابش خورشید است) نمود بیشتری دارد. نتایج نشان می‌دهد که نقش نسبی شاخص VCI و TCI را در شاخص VHI جهت پایش مناطق مختلف آب و هوایی باید در نظر گرفت. پی و همکاران (7) به پایش فعالیت گیاهی با استفاده از شاخص سلامت گیاه در چین پرداختند. در این پژوهش، عملکرد دو شاخص ماهواره‌ای، یعنی شاخص شرایط گیاهی (VCI) و شاخص سلامت گیاهان (VHI) برای شناسایی پاسخ گیاهان به تغییرات مربوط به آب‌وهوا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که هیچ توافقی بین دو شاخص در الگوی فضایی و کل منطقه‌ای وجود ندارد. این اختلاف می‌تواند به دلیل فرض منفی همبستگی VHI بین VCI و دمای روشنایی باشد. آن‌ها دریافتند که رابطه بین VCI و درجه حرارت در مناطق مختلف، به‌ویژه در چین با توپوگرافی پیچیده، شرایط آب و هوایی مختلف و انواع پوشش گیاهی، قابل تغییر است. همان‌گونه که اشاره شد تاکنون برای مطالعه خشک‌سالی‌ها از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای به‌وفور استفاده شده است، اما شاخصی که از تلفیق این داده‌ها به‌دست‌آمده باشد کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است، بنابراین در این تحقیق سعی شده با استفاده از نمایه تأثیر خشک‌سالی (Index of Drought Impact) IDI، امکان بهره‌گیری از داده‌های تلفیقی زمینی و ماهواره‌ای در منطقه مورد مطالعه سنجیده شود. نمایه تأثیر خشک‌سالی با تلفیق عواملی چون بارندگی و دما (به‌عنوان مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار بر پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی) و شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شود.

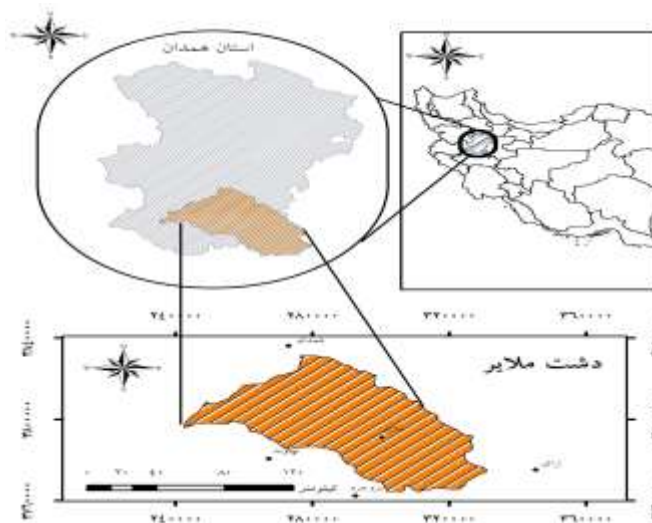
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: دشت ملایر در بخش حوزه آبریز علیای رودخانه‌ی کرخه واقع شده و میان دو استان همدان

تحلیل خشک‌سالی منطقه شناخته شد. محققان زیادی از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش خشک‌سالی استفاده کرده‌اند. کریمی و شاهدی (9) به بررسی خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی در حوزه آبخیز قره‌سو پرداختند. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی NDVI (Normalized Deference) و شاخص جریان رودخانه‌ای SDI (Vegetation Index Standardized Discharge) و شاخص همبستگی بالایی به ترتیب برابر با ۰/۷۰۶ و ۰/۷۸۸ در سطح معنی‌دار ۰/۰۱ وجود داشته است. رحیم زاده و همکاران (10) امکان استفاده از شاخص‌های NDVI و شاخص شرایط گیاهی VCI (Vegetation Condition Index) مستخرج از تصاویر سنجنده ماهواره نوا را برای پایش خشک‌سالی در شمال غرب ایران بررسی کردند. ایشان بهترین همبستگی بین NDVI و VCI را با بارش سه‌ماهه (ماه جاری به‌علاوه دو ماه قبل) به دست آوردند. مطالعات نشان می‌دهد که شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیر همگون‌اند، نشان می‌دهد (11) و (12). لیو و همکاران (13) با استفاده از شاخص اصلاح شده دمایی گیاهی MTVDI (Microwave Temperature Vegetation Drought Index) به ارزیابی خشک‌سالی طولانی‌مدت در سراسر چین پرداختند، ارزیابی خشک‌سالی سری زمانی در سراسر چین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ نشان داد که شاخص MTVDI معیار مناسبی برای پایش خشک‌سالی است. بنتو و همکاران (14) به ارزیابی شاخص سلامت گیاه VHI (Vegetation Healthy Index) جهت پایش خشک‌سالی در مناطق مختلف آب و هوایی مدیترانه پرداختند. شاخص VHI از دو شاخص VCI و شاخص شرایط دمایی TCI (Temperature Condition Index) تشکیل شده که نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سهم نسبی VCI و TCI در شاخص سلامت گیاه بستگی به پوشش گیاهی دارد: اثر

است. وسعت کل حوزه، ۲۹۶۵ کیلومترمربع، شامل ۸۰۰ کیلومترمربع دشت و ۲۱۶۵ کیلومترمربع ارتفاعات حاشیه است (شکل ۱).

(شهرستان ملایر) و استان مرکزی (شهرستان اراک) قرار دارد. این حوزه در محدوده‌ی جغرافیایی $34^{\circ}, 30'$ تا $34^{\circ}, 07'$ عرض شمالی و $48^{\circ}, 30'$ تا $49^{\circ}, 01'$ طول شرقی واقع شده



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه های سینوپتیک

Figure 1. Map of the study area and location of synoptic stations

تمام تصاویر در نرم افزار ENVI، به محاسبه شاخص‌های گیاهی اقدام شد. هر یک از شاخص‌های گیاهی گفته شده، به صورت تصاویر جداگانه برای کل منطقه مطالعاتی تولید شدند. در این پژوهش نقشه‌های بارش (P) و دما (T) به عنوان عناصر مهم اقلیمی با استفاده از داده های ایستگاه‌های موجود در منطقه و با روش IDW تهیه شدند. سپس ارتباط آماری بین این عناصر و شاخص‌های گیاهی محاسبه شده در مرحله پیش، با استفاده از روش رگرسیون فضایی و با نرم افزار EDRIKI KLIMANJARO همبستگی آن‌ها بررسی شد. تحلیل رگرسیون فضایی یکی از ابزارهای مهم آماری است که کاربرد وسیعی در زمینه‌های مختلف پژوهشی دارد و ارتباط بین متغیرها را که هر یک به صورت یک فایل رستری هستند، نشان می‌دهد (15 و 16). به کمک این همبستگی، از بین شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شده در پژوهش، یکی از آن‌ها به عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شد. این شاخص بیشترین همبستگی را با عناصر اقلیمی بررسی شده داشت. ارتباط بین پوشش گیاهی و دما، به صورت معکوس (منفی) و ارتباط بین پوشش گیاهی و بارش، به صورت مستقیم (مثبت)

جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز از منطقه مطالعاتی، نخستین گام این پژوهش است. این اطلاعات شامل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و داده‌های اقلیمی هستند. تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این مطالعه، شامل تصاویر لندست مربوط به سنجنده OLI، TM و ETM+ است که از درگاه اینترنتی USGS¹ (<http://earthexplorer.usgs.gov>)، سازمان نقشه برداری های زمین شناسی امریکا دانلود گردید. به دلیل وجود پوشش گیاهی مناسب تصاویر دانلود شده مربوط به ماه می (MAY سال ۲۰۱۹) می‌باشند به همین جهت امکان مقایسه و پایش تغییرات وجود دارد.

نرم‌افزارهای ENVI 5، ARC GIS 10.4.1 و Google Earth 7.1.2 جهت تصحیحات اولیه و طبقه‌بندی نهایی به کار گرفته شدند. در مراحل پیش‌پردازش اقدامات موردنیاز بر روی تصویر مانند زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ و تصحیحات اتمسفری بر پایه روش کسر عددی پیکسل‌های تیره، انجام شد. پس از تهیه و پردازش اولیه

1-United States Geological Survey

استفاده از داده های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب ترین شاخص برای تحلیل خشک سالی به ویژه تحلیل های مکانی شناخته می شود (۲۷-۱۸).

افزایش مقادیر عددی این شاخص، نشان دهنده ی بروز ترسالی و کاهش آن نشان دهنده بروز خشک سالی در یک منطقه است. با توجه به آنچه پیش از این در مورد IDI گفته شده است، انتظار می رود که دو شاخص SPI و IDI عکس یکدیگر عمل کنند و افزایش یکی با کاهش دیگری همراه باشد. با مشخص شدن اعتبار و صحت عملکرد IDI، به پهنه بندی این نمایه در منطقه مطالعاتی اقدام شد. این کار با تقسیم مقادیر عددی IDI به پنج محدوده عدم خشک سالی، خشک سالی ضعیف، خشک سالی متوسط، خشک سالی شدید و خشک سالی بسیار شدید انجام گرفت. پوشش های گیاهی در مناطقی که در محدوده خشک سالی ضعیف قرار می گیرند، کمترین تأثیرپذیری و پوشش هایی که در محدوده شدید و بسیار شدید قرار می گیرند،

نتایج

بهترین شاخص نشان دهنده پوشش گیاهی در منطقه

مطالعاتی

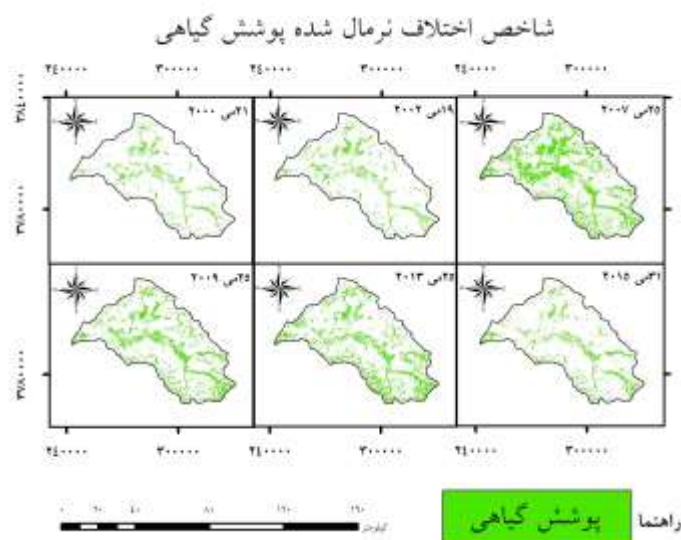
برای انتخاب بهترین شاخص نشان دهنده پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی از روش رگرسیون فضایی استفاده شد. در این مدل رگرسیونی شاخص گیاهی ماهواره ای، ARVI، SAVI، SR، RA، NDVI، IR1، IR2 و IPVI به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای: نقشه دما و نقشه بارش منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۹ به عنوان متغیرهای مستقل وارد معادله شده اند. این تحلیل رگرسیونی با استفاده از تصاویر با فرمت tif هشت بیتی انجام شد. ضرایب رگرسیونی نشان دهنده اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته هستند. نتایج حاصل از رگرسیون چندگانه بین شاخص پوشش گیاهی ARVI، SAVI، SR، RA، NDVI، IR1، IR2 و IPVI منطقه با نقشه های دما و بارش در سال بررسی شده نشان می دهد که

است؛ بنابراین با افزایش دما و کاهش بارندگی، باید انتظار تشدید آثار خشک سالی بر پوشش گیاهی منطقه را داشت. با این استدلال از شاخص نمایه تأثیر خشک سالی (IDI Index of Drought Impact) استفاده شد که می تواند نسبت و رابطه منطقی بین عوامل بیان شده را نشان دهد (17). برای این که متغیرهای به کار رفته در این رابطه دارای واحدی یکسان شوند هر یک از این متغیرها منهای میانگین کل خود شده و بر انحراف معیار کل خود تقسیم شدند و متغیرهای بدون بعد دما (T^*)، بارندگی (P^*) و پوشش گیاهی (VI^*) شکل گرفت.

نمایه IDI بدون واحد است و مقادیر عددی بزرگ تر آن نشان دهنده حادثه بودن شرایط محیطی و آسیب پذیری پوشش گیاهی آن منطقه است. به عبارتی دیگر هر منطقه از دشت که دارای پوشش گیاهی بیشتر، بارش بیشتر و دمای کمتر باشد مقادیر عددی شاخص کم و مناطقی که دارای پوشش گیاهی کمتر، بارش کمتر و دمای بیشتر باشد، شدت تأثیر خشک سالی بر آن مناطق شدیدتر بوده و در نتیجه، مقدار عددی آن منطقه نیز بزرگ تر خواهد شد. در ادامه برای ارزیابی شاخص IDI از شاخص متداول و شناخته شده SPI استفاده شد. در این پژوهش بعد از آماده سازی داده ها شاخص بارش استاندارد، در پایه زمانی ۱۲ ماهه و در مقیاس ۲۰ ساله با استفاده از نرم افزار DIC (Drought Indicis Calculator) مقدار شاخص SPI برای هر ایستگاه محاسبه شد. در نهایت در نرم افزار Arc GIS 10.4.1 با استفاده از روش زمین آمار IDW (Inverse distance weighted)، پهنه بندی منطقه ی مورد مطالعه برای هر سال انجام شد و طبقه بندی آن بر اساس وضعیت شاخص SPI صورت گرفت. در این مطالعه به دلیل انتخاب بازه زمانی مشترک (سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۷)، از میان ایستگاه های موجود در منطقه از داده های بارش پنج ایستگاه واقع در داخل و خارج از منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در حال حاضر شاخص SPI به طور گسترده ای در امور تحقیقاتی و اجرایی در سراسر جهان جهت پایش خشک سالی استفاده می شود. این شاخص به علت سادگی محاسبات،

و بارش حاصل از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و با ایجاد همبستگی بین این نقشه‌ها و شاخص‌های ماهواره‌ای، بهترین شاخص برای آشکارسازی پوشش گیاهی منطقه شاخص ARVI، SR و NDVI است که ضریب همبستگی بسیار بالایی با متغیرهای مورد بررسی دارد. از طرفی با توجه به این که ضریب متغیر دما بسیار بالا است در نتیجه می‌توان گفت که ارتباط پوشش گیاهی بیشتر به تغییرات دما وابسته است تا تغییرات بارش، با توجه به این که در شاخص NDVI ضریب متغیر دما نسبت به شاخص‌های ARVI و SR بالاتر است در نتیجه شاخص NDVI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص پوشش گیاهی برای بررسی خشک‌سالی دشت ملایر انتخاب شد (شکل ۲).

متغیرهای دما و بارش رابطه مثبت با همه شاخص‌های استخراج‌شده دارند، متغیر بارش به میزان بسیار کم‌تری بر شاخص‌های پوشش گیاهی ARVI، SAVI، SR، RA، NDVI، IR1، IR2 و IPVI منطقه اثر می‌گذارد. ارزیابی ارتباط کمی بین پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش‌ازدور در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. بارش و دما به‌طور مستقیم بر توازن آب اثر می‌گذارند و به‌نوبه خود جزو عوامل تغییر در رطوبت خاک و رشد گیاه هستند. در مورد این معادله رگرسیونی پس از اصلاح اثرات مربوط به تعداد متغیرها تغییر چشم‌گیری در مقادیر R و R^2 مشاهده نمی‌شود. در این معادله ضریب معادله رگرسیونی دارای F-statistic، برای هر یک از شاخص‌ها نشان می‌دهد که این معادله در سطح ۹۹ درصد معنادار است. با استناد به نقشه دما

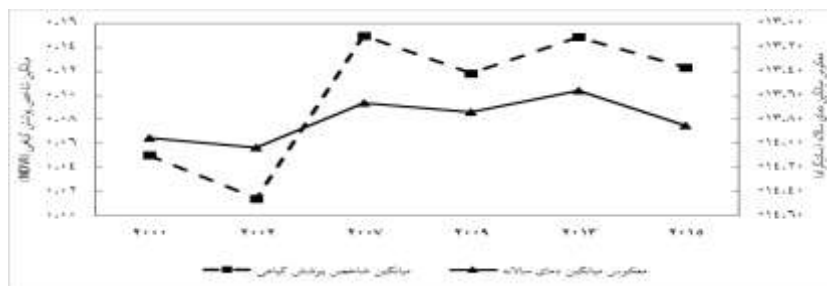


شکل ۲- نقشه‌های پوشش گیاهی (NDVI) دشت ملایر در سال‌های مورد بررسی

Figure 2. Vegetation maps (NDVI) of Malayer plain in the studied years

نوسان‌های دما و تغییرات پوشش گیاهی به صورتی است که هرگاه دما کم شده است، پوشش گیاهی نیز در آن سال افزایش یافته است. ضریب تعیین (R^2) بین دو متغیر ۰/۹۲۱ با سطح معنی‌داری ۰/۰۱ است، ضمن این که ارتباط معنی‌داری بین میانگین بارندگی سالانه با میانگین شاخص NDVI دیده نشد.

ارتباط پوشش گیاهی بیشتر با عنصر اقلیمی دماست. شکل ۳، تغییرات میانگین شاخص NDVI در دشت ملایر را طی بازه زمانی (۲۰۰۹-۲۰۰۹ میلادی) نشان می‌دهد. روی این نمودار مقادیر معکوس دمای سالانه نمایش داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، هم‌خوانی بیشتری بین شاخص NDVI و معکوس مقادیر دما وجود دارد، به‌گونه‌ای که



شکل ۳- رابطه بین دما و پوشش گیاهی (NDVI) در دشت ملایر

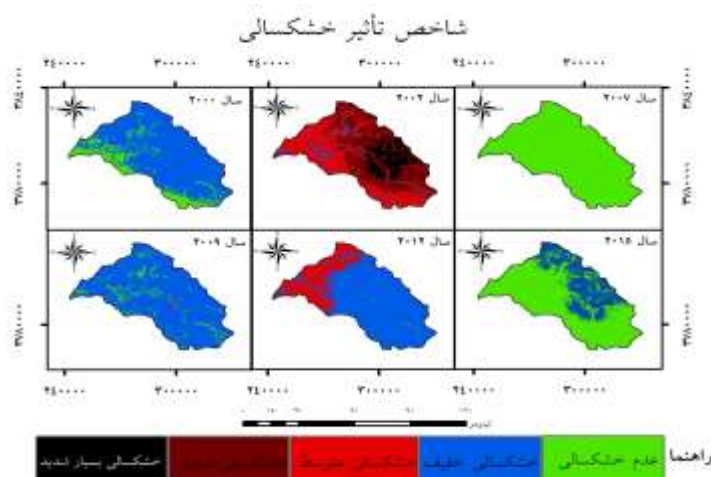
Figure 3. Relationship between temperature and vegetation (NDVI) in Malayer plain

گیاهی در منطقه مطالعاتی) نیاز است. شکل ۴، نشان دهنده نقشه های IDI منطقه است که از تلفیق نقشه های بدون بعد بارش، دما و شاخص NDVI برای منطقه مطالعاتی تولید شده است.

پهنه بندی تأثیرات خشک سالی بر پوشش گیاهی به

کمک نمایه IDI

همان گونه که پیش از این گفته شده، برای محاسبه ی IDI، به نقشه های بدون بعد بارش (P^*)، دما (T^*) و شاخص پوشش گیاهی NDVI (به عنوان مناسب ترین شاخص بررسی پوشش

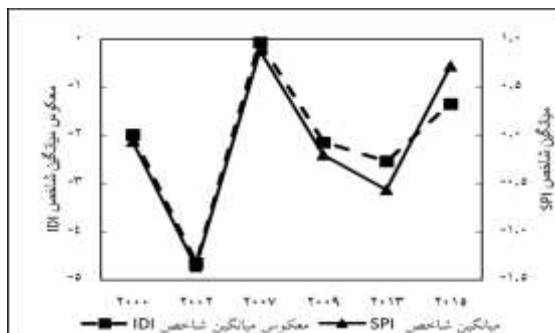


شکل ۴- نقشه ی نمایه تأثیر خشک سالی طی سال های مورد بررسی

Figure 4. Drought Impact Index Map during the studied years

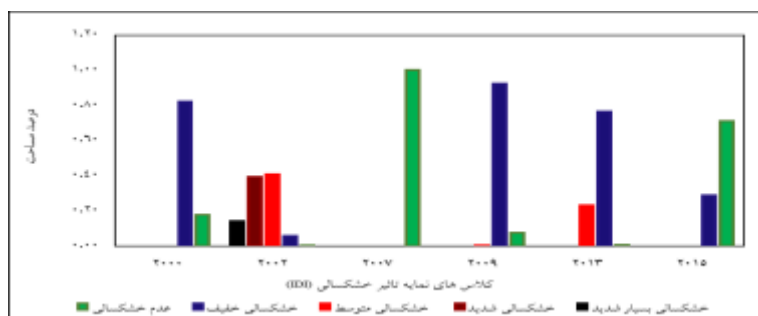
برای ارزیابی نمایه ی تأثیر خشک سالی، مقایسه ای بین مقادیر IDI سالانه و شاخص SPI انجام گرفت. همان گونه که پیش از این اشاره شده است، این دو شاخص در ماهیت خود رابطه عکس با یکدیگر دارند و بنابراین در نمودار مربوطه نیز، از معکوس شاخص IDI برای نمایش بهتر میزان تطابق آن با شاخص SPI استفاده شده است (شکل ۵).

بیشتر بودن مقدار عددی نمایه یاد شده، نشان دهنده شدیدتر بودن خشک سالی در هر ناحیه از منطقه ی مطالعاتی است. با توجه به شکل ۴، شدت خشک سالی در سال ۲۰۰۲ بیشتر بوده و تأثیر بیشتری روی پوشش گیاهی داشته است. همچنین خشک سالی در قسمت هایی از دشت که بدون پوشش گیاهی است بازتاب بیشتری یافته است. عدم پوشش گیاهی مناسب و همچنین دمای زیاد و بارش کم را می توان از دلایل افزایش تأثیرات خشک سالی در این مناطق دانست.



شکل ۵- ارزیابی نمایه تأثیر خشک‌سالی (IDI) به کمک شاخص SPI

Figure 5. Evaluation of Drought Impact Index (IDI) using SPI index



شکل ۶- درصد مساحت اختصاص یافته به کلاس‌های مختلف نمایه IDI

Figure 6. Allocated area percentage to different IDI index classes

زمینی) و شاخص پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه می‌شود. جهت انتخاب بهترین شاخص پوشش گیاهی از روش رگرسیون فضایی استفاده شد. از بین شاخص‌های استخراج‌شده، شاخص NDVI که بیشترین همبستگی را با عناصر مهم اقلیمی داشت انتخاب شد. همچنین نتایج نشان داد که از بین عناصر اقلیمی بیشترین رابطه بین متغیر دما و شاخص پوشش گیاهی وجود دارد. یانگ و همکاران (28)، وانگ و همکاران (29)، ریچارد و پوکارد (30)، لی و همکاران (31) و جی و پیترز (32) در نتایج تحقیقی خود بیان نمودند: ارتباط بین NDVI و دما کمتر ولی معنی‌دار ارزیابی شده است. درحالی‌که یانگ و همکاران (33) همبستگی بالایی بین NDVI و دمای خاک در نبراسکای آمریکا ایالات متحده یافتند و نشان دادند که دما تأثیر مستقیمی روی رشد گیاه دارد. همچنین هائو و همکاران (34) با برقراری ارتباط بین دو عنصر اقلیمی دما و بارش و شاخص پوشش گیاهی NDVI در حوضه بالایی رودخانه زرد بیان داشتند که دما همبستگی بیشتری با شاخص NDVI داشته است. جان و همکاران (35) به بررسی

با توجه به این نمودار (شکل ۶)، بیشترین مساحت عدم خشک‌سالی مربوط به سال ۲۰۰۷ و کمترین میزان این کلاس مربوط به سال ۲۰۰۲ است، همچنین سال ۲۰۰۲ از نظر شدت خشک‌سالی بین سال‌های موردبررسی دارای شدت بیشتری بوده، به‌گونه‌ای که کلاس‌های خشک‌سالی متوسط و خشک‌سالی شدید نیز به وجود آمده‌اند که بیانگر تأثیرپذیری بیشتر پوشش گیاهی از پدیده خشک‌سالی‌ها و شرایط حاد محیطی است. با توجه به روند شاخص SPI در منطقه‌ی مطالعاتی (شکل ۶)، ملاحظه می‌شود که سال ۲۰۰۲ بین سال‌های مورد مطالعه شرایط حادتری داشته و سال ۲۰۰۷ دارای شرایط به نسبت بهتری از لحاظ میزان بارندگی است که با مقایسه با شاخص IDI می‌توان تطابق این دو شاخص را بهتر درک کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

نمایه تأثیر خشک‌سالی با تلفیق عواملی چون بارندگی و دما (به‌عنوان مهم‌ترین عناصر اقلیمی از داده‌های ایستگاه‌های

Reference

1. Matkan, A.A., Darvishzadeh, R., Hosseiniasl, A., Ebrahimi Khosofi, M., & Ebrahimi Khosofi Z. (2011). Drought risk zoning of arid regions using GIS based knowledge methods (Case study: Sheithour Watershed, Yazd). *Journal of Climate Research* 2(5-6), 103-116.
2. Kaim, D., Kozak, J., Kolecka, N., Ziolkowska, E., Ostafin, K., Ostapowicz, K., Gimmi, U., Munteanu, C., & Radeloff, V.C. (2016). Broad scale forest cover reconstruction from historical topographic maps. *Applied Geography* 67: 39-48.
3. Alavipanah, S.K. (2003). *The Use of Remote Sensing in Geosciences (Soil Sciences)*. Tehran, Tehran University Press 496 p.
4. Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y., & Vidal, A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote sensing of environment* 49(3):246-263.
5. Tanriverdi, C. (2003). Available water effects on water stress indices for irrigated corn grown in sandy soils. *UMI*.
6. Fatemi, S.B., & Rezaee, Y. (2006). *Basics of Remote Sensing*. Azadeh Publications 257 p.
7. Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Wang, K., Xu, L., & Xia, G. (2018). Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 215-227.
8. Zarch, M.A., Sivakumar, B., & Sharma, A. (2015). Droughts in a

رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی و شدت تغییرات آب و هوایی در منطقه مغولستان داخلی پرداختند، نتایج نشان داد که در مقیاس سالیانه، شاخص NDVI روند مشابهی با شدت بارش و دمای بسیار کم دارد، درحالی که روند متضاد با دمای بسیار زیاد دارد. همچنین یافته های این پژوهش نشان داد که ارتباط بسیار خوبی بین داده های تلفیقی (شاخص IDI) و شاخص SPI برقرار است (شکل ۴) که نشان دهنده کارایی بالای داده های تلفیقی است. از نکات حائز اهمیت در مورد نمایه ی IDI، این است که خشک سالی را تنها با در نظر گرفتن یک شاخص اقلیمی (مثل بارش در شاخص SPI) بررسی و تحلیل نکرده و عوامل دیگری از جمله، دما و پوشش گیاهی نیز در تعیین شدت و وسعت آثار آن دخالت داده است. همچنین این پژوهش نشان می دهد که سال ۲۰۰۲ دارای بیشترین مقدار IDI در بین سال های مورد بررسی است. بیشتر بودن مقدار عددی این نمایه، نشان دهنده تأثیرپذیری بیشتر پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه از پدیده خشک سالی ها و شرایط حاد محیطی در این شرایط اقلیمی است. با توجه به تلفیق پارامتر پوشش با پارامترهای دما و بارش می توان شرایط اکوسیستم را از نظر سطح تاج پوشش، تنوع زیستی و منابع آب در شرایط اقلیمی آینده و تحت تاثیر تغییر اقلیم پیش بینی نمود. مقیاس مطالعات منطقه ای در رگرسیون فضایی در مقایسه با مقیاس نقطه ای می تواند تحلیل مناسب تری در یافتن ارتباط شاخص های پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی داشته باشد. تحلیل شاخص IDI مسیر مناسبی در مدیریت منطقه ای و محلی حوزه های آبخیز در اقلیم های مختلف به ویژه در مقیاس های زمانی فصلی و سالانه ارایه می کند. نتایج این تحقیق با مطالعات یانگ و همکاران (33)، پورمحمدی و همکاران (17)، هائو و همکاران (34) و جان و همکاران (35) مطابقت دارد. همچنین با نتایج یانگ و همکاران (28)، وانگ و همکاران (29)، ریچارد و پوکارد (30)، لی و همکاران (31) و جی و پیترز (32) در مورد معنی دار بودن ارتباط بین دما و شاخص NDVI همسو است.

- Index (MTVDI) based on AMSR-E brightness temperatures for long-term drought assessment across China (2003–2010). *Remote Sensing of Environment*, 199:302-320.
15. Bento VA, Gouveia CM, DaCamara CC, Trigo IF. A. 2018. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259: 286-295.
 16. Akhzari, D., & Asadi Meyabadi, A. (2016). Soil salinity mapping using spectral analysis of OLI and field data (Case Study: South of Malayer Plain). *Remote sensing and GIS in natural resources* 7(2), 87-100.
 17. Tamasoki, E., Khourani, A., Darvishi Bolourani, A., & Nohegar, A. (2015). Monitoring and prediction of dust storms using telescope data, spatial information system and terrestrial data based on vegetation and climate change surveys (Case Study: South and Southeast of Iran). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS* 7(4), 27-44.
 18. Pourmohammadi, S., Rahimian, M., Kalantar, M., & Pourmohammadi, S. (2012). Mapping of Drought Impacts on Vegetation Cover in Yazd-Ardakan Plain Using Remote Sensing. *Journal of Natural Geography Research* 44(2), 125-140.
 19. Akhtari, R., Mahdian, M. H., & Morid, S. (2006). Spatial analysis of SPI and EDI indices in Tehran province. *Iranian Water Resources Research Journal* 2(3), 27-38.
 20. Raziee, T., Daneshkar Arasteh, P., Akhtari, R., & Saghifian, B. (2007). Study of meteorological drought in Sistan and Baluchestan province using warming climate: A global assessment of Standardized precipitation index (SPI) and Reconnaissance drought index (RDI). *Journal of Hydrology* 526: 183-195.
 9. Sobral BS, Oliveira-Júnior JF, de Gois G, Pereira-Júnior ER. 2018. Spatial variability of SPI and RDIst drought indices applied to intense episodes of drought occurred in Rio de Janeiro State, Brazil. *International Journal of Climatology*, 38(10): 3896-3916.
 10. Karimi, M., & Shahedi, K. (2018). Investigation of meteorological, hydrological and agricultural droughts using drought indices (Case Study: Gharasu Watershed). *Remote sensing and GIS in natural resources* 9(2), 1-16.
 11. Bajgiran, P. R., Darvishsefat, A. A., Khalili, A., & Makhdoum, M. F. (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(6), 1086-1096.
 12. Kogan, FN. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11) :91-100.
 13. Thenkabail PS, Enclona EA, Ashton MS, Legg C, Jean De Dieu M. 2004. The Use of Remote Sensing Data for Drought Assessment and Monitoring in Southwest Asia, International Water Management Institute, PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka
 14. Liu L, Liao J, Chen X, Zhou G, Su Y, Xiang Z, Wang Z, Liu X, Li Y, Wu J, Xiong X. 2017. The Microwave Temperature Vegetation Drought

- length of record on the standardized precipitation index calculation. *International journal of climatology*, 25(4): 505-520.
29. Yang L, Wylie BK, Tieszen LL, Reed BC. 1998. An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grasslands over the US northern and central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 65(1): 25-37.
 30. Wang J, Price KP, Rich PM. 2001. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International journal of remote sensing*, 22(18): 3827-3844.
 31. Richard Y, Pocard I. 1998. A statistical study of NDVI sensitivity to seasonal and interannual rainfall variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19(15): 2907-2920.
 32. Li J, Lewis J, Rowland J, Tappan G, Tieszen LL. 2004. Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. *Journal of Arid Environments*, 59(3): 463-480.
 33. Ji L, Peters AJ. 2004. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR-NDVI and climate in the northern Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 25(2): 297-311.
 34. Yang W, Yang L, Merchant JW. 1997. An assessment of AVHRR/NDVI-ecoclimatological relations in Nebraska, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 18(10): 2161-2180.
 35. Hao F, Zhang X, Ouyang W, Skidmore AK, Toxopeus AG. 2012. SPI index and Markov chain model. *Iranian Water Resources Research Journal* 3(1), 25-35.
 21. Yaghoubi, S., Faramarzi, M., Karimi, H., & Sarvarian, J. (2016). Evaluation of artificial neural network performance in desertification prediction using GIS (Case study: Dehloran Plain, Ilam). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources* 7(3), 61-77.
 22. Guttman NB. 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35(2): 311-322.
 23. Liu D, You J, Xie Q, Huang Y, Tong H. 2018. Spatial and Temporal Characteristics of Drought and Flood in Quanzhou Based on Standardized Precipitation Index (SPI) in Recent 55 Years. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(08): 25-37.
 24. Lloyd Hughes B, Saunders MA. 2002. A drought climatology for Europe. *International journal of climatology*, 22(13): 1571-1592.
 25. Mishra AK, Singh VP. 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2): 202-216.
 26. Mukherjee S, Mishra A, Trenberth KE. 2018. Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4: 145-163.
 27. Tsakiris G, Pangalou D, Vangelis H. 2007. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management*, 21(5): 821-833.
 28. Wu H, Hayes MJ, Wilhite DA, Svoboda MD. 2005. The effect of the

36. Jun L, Richa W, Shan H, Yuhai Y, Yayeh BD. 2018. Relationship between vegetation change and extreme climate indices on the Inner Mongolia Plateau, China, from 1982 to 2013. Ecological indicators. Vegetation NDVI linked to temperature and precipitation in the upper catchments of Yellow River. Environmental Modeling & Assessment, 17(4): 389-398.