

جغرافیا و توسعه شماره ۳۱ تابستان ۱۳۹۲

وصول مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۹/۱۴

صفحات: ۵۷-۷۶

مطالعه‌ی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS

مورد: استان کردستان

دکتر سیدحسین میرموسوی^۱، حمیده کریمی^۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشکسالی، کاهش مقدار پوشش گیاهی است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی و خطر بروز سیل و... فراهم می‌شود. بر این اساس، ارزیابی اثرات خشکسالی بر روی پوشش گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این رابطه، استفاده از روش‌های سنجنش از دور انعکاسی، جهت ارزیابی اثرات خشکسالی، به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها شناخته شده است.

در این مطالعه، به منظور بررسی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در استان کردستان، از داده‌های هواشناسی و سنجنش از دور استفاده شده است. در ابتدا، شاخص بارندگی استاندارد (SPI)، برای ۶ ایستگاه هواشناسی استان، طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ محاسبه گردید. در مرحله‌ی بعد، بر اساس ۴۰ تصویر برگرفته از سنجنده Terra/MODIS ۱۶ روزه، در ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شد. با در نظر گرفتن این شاخص، پوشش گیاهی منطقه به ۶ گروه طبقه‌بندی شده و مساحت هر کدام از طبقات نیز محاسبه شد. در نهایت دو شاخص SPI و NDVI مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که بین میانگین شاخص‌های SPI و NDVI، همبستگی بالایی (۰/۷۷+) در سطح معناداری ۰/۰۱ وجود دارد و با کاهش تقریباً ۰/۲۰- از میزان شاخص SPI، به طور متوسط ۱/۲ درصد (معادل ۳۵۰ کیلومتر مربع) سطح پوشش گیاهی ضعیف افزایش می‌یابد. این میزان کاهش برای شاخص NDVI تقریباً معادل ۰/۰۱ می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI، نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ خشکسالی متوسط در استان کردستان رخ داده است محاسبه شاخص NDVI در این دو سال نشان داد که میزان پوشش گیاهی ضعیف به طور قابل محسوسه افزایش یافته است (به ترتیب با ۰/۸۰٪ و ۰/۷۶٪) در حالی که در سال ۲۰۰۷ به عنوان سال تقریباً نرمال، میزان پوشش گیاهی ضعیف بر مبنای شاخص NDVI، حدود ۰/۶۹٪ محاسبه گردید. مقایسه بین سال‌های ۲۰۰۱ با ۲۰۰۷ (تغییر تقریباً ۱۱ درصدی پوشش گیاهی ضعیف)، به خوبی نشان‌دهنده‌ی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در استان کردستان است.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، سنجنش از راه دور، سنجنده MODIS، شاخص NDVI، استان کردستان.

hossein.mousavi@znu.ac.ir

karimih82@yahoo.com

۱- استادیار جغرافیا طبیعی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسؤل)

۲- کارشناس ارشد اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی

مقدمه

خشکسالی را به عنوان یک پدیده، می‌توان بخشی از اقلیم هر منطقه از سطح کره‌ی زمین، محسوب کرد. این پدیده به کندی شروع شده و دارای ماهیتی، پنهانی است. در مواقعی که مدت‌زمان وقوع آن طولانی می‌شود، خسارت‌های ناشی از آن نیز در بخش‌های مختلف نظیر کشاورزی، اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و... به تدریج ظاهر می‌شود. خسارات و آثار ناشی از این پدیده در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی مانند سیل، زمین‌لرزه بسیار زیاد و فراگیرتر می‌باشد.

به منظور مدیریت خشکسالی، کسب اطلاعات از دوره‌ی زمانی قبل از وقوع، هنگام وقوع و پس از آن اهمیت زیادی دارد. در دهه‌های گذشته مطالعات بسیاری برای بررسی و پایش خشکسالی صورت گرفته و از روش‌های مختلف خصوصاً روش‌های آماری، جهت بررسی آن استفاده شده است؛ اما بسیاری از این مطالعات دقت لازم را نداشته و هر کدام از این روش‌ها مشکلات خاص خود را دارند. برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص جهت تعیین دقیق دوره‌های تر و خشک بسیار ضروری است. شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای نقشه‌برداری زمین‌های کشاورزی، بررسی بارش، تخمین اثرات آب و هوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فرآوری چراگاه، شرایط خشکسالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (Dabrowska-Z, at all, 2002:1113). یکی از مؤثرترین شاخص‌ها، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی^۱ NDVI می‌باشد (Jensen, J. R, 1996: 835) که نخستین بار توسط تکر به عنوان شاخص سلامت تراکم پوشش گیاهی مطرح گردید (Tucker, C. J, 1979: 130).

شاخص NDVI برگرفته از داده‌های^۲ AVHRR، به طور گسترده‌ای برای ارزیابی پوشش گیاهی، برآورد محصولات کشاورزی و تشخیص خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است (Benedetti, R at all, 1993: 320; Moulin, S. A, at all, 1998: 1025).

آثار پدیده خشکسالی بر روی پوشش گیاهی، به صورت تدریجی ظاهر می‌شود. بنابراین اگر با الگوریتمی بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش شود، می‌توان با کاهش تدریجی پوشش گیاهی مناطق، پدیده‌ی مخرب خشکسالی را به موقع هشداردهی نمود.

در زمینه‌ی برخورداری از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI، مطالعات مختلفی در سراسر جهان انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

سو^۳ و همکاران (2003:89)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA/AVHRR ارتباط رطوبت خاک با این داده‌ها را ارزیابی نمودند. همچنین از شاخص رطوبت خاک برای پایش شدت خشکسالی در دشت شمال چین استفاده نمودند. در مطالعات ایشان، مقایسه بین شاخص رطوبت خاک و اندازه‌گیری‌های واقعی رطوبت خاک، اعتبار و توانایی این تئوری را نشان داد.

تنکابیل^۴ و همکاران (2004: 121)، در مطالعه‌ی خود، با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، خشکسالی را در جنوب غرب آسیا، پایش کردند. آنها در مناطق مورد بررسی خود شامل افغانستان، پاکستان و قسمت‌های غربی هند، از دو شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص شرایط گیاهی استفاده نمودند.

2- Advanced Very High Resolution Radiometer

3- Su

4-Thenkabail

1- Normalized Difference Vegetation Index

۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و مخصوصاً مهم‌ترین آن در سال ۲۰۰۵ شناسایی شد.

فانک و بود^۷ (2009: 185)، خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص MODIS/NDVI در زیمبابوه بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای پایش دقیق خشکسالی کشاورزی، مناسب است. از جمله مطالعات دیگر در این زمینه می‌توان به مطالعات جینو همکاران^۸ (2009: 2653) در مناطق غربی هند، مورثی و همکاران^۹ (2009: 2897) در ایالت هایانا^{۱۰} هند، یوهاس و سودری^{۱۱} (2009: 34) در شمال غربی آمریکا، وی‌مین و همکاران^{۱۲} (2008: 27) در شرق حوضه‌ی سیچون^{۱۳} چین، ون‌جیانگ و همکاران^{۱۴} (2008: 748) در استان هنان^{۱۵} چین، ایکس‌آی و همکاران^{۱۶} (2007: 201) در چین اشاره نمود.

در سال‌های اخیر استفاده از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی به خصوص NDVI مورد توجه محققان و سازمان‌های مختلف در سطح کشورمان نیز بوده است.

به عنوان نمونه چنار (۲۳: ۱۳۸۰) در مطالعات خود، خشکسالی را در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۸ با استفاده از تصاویر NOAA/AVHRR ارزیابی نمود. در این مطالعه، نتایج محاسبه شاخص NDVI در مورد تغییرات تراکم پوشش گیاهی، ارزیابی زمینی خسارت خشکسالی را در استان آذربایجان شرقی تأیید کرده و نتایج به دست آمده به استان‌های آذربایجان غربی و اردبیل نیز تعمیم داده شد. همچنین در این تحقیق اثبات شد که

شارما^۱ (2006: 3)، در مطالعه‌ی خود، خشکسالی را در استان کاراناکای^۲ کشور هند با دو روش ارزیابی نمود. وی در این مطالعه از داده‌های بارش، طی دوره‌ی آماری مربوط به سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۷۰ برای محاسبه شاخص بارش استاندارد و از تصاویر ماهواره NOAA/AVHRR/NDVI جهت محاسبه‌ی شاخص شرایط گیاهی در هند استفاده نموده است. در نهایت دو روش را با هم مقایسه نموده و به این نتیجه رسید که دقت شاخص NDVI بیشتر است. وایسنت و سرانو^۳ (2006: 511)، در مطالعه‌ی خود، با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA/AVHRR/NDVI و شاخص‌های خشکسالی، تولید محصولات گندم و جو را در یکی از مناطق خشک اروپا (دره ابرو^۴ در اسپانیا) پیش‌بینی کردند. این پیش‌بینی برای ماه‌های فوریه و ماه‌های قبل از برداشت، انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این پیش‌بینی‌ها، می‌تواند برای مدیریت تولید محصول در سطوح داخلی، مفید واقع شود.

لیو و وا^۵ (2008: 141)، با استفاده از شاخص‌های NDVI برگرفته از سنجنده MODIS، خشکسالی کشاورزی را در چین میانی بررسی کردند. نتایج مطالعه‌ی آنها نشان داد که این شاخص می‌تواند در محدوده‌های زمانی و طیفی متفاوت از خشکسالی منطقه‌ای، قاره‌ای و جهانی مورد استفاده قرار گیرد. گوویا^۶ و همکاران (2009: 185)، از شاخص NDVI به‌دست آمده از ماهواره‌های SPOT4 و SPOT5 برای بررسی وسعت، شدت و تداوم خشکسالی طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ در سراسر کشور پرتقال استفاده کردند. شدت حادثه خشکسالی بر اساس شرایط خشکسالی بر روی پوشش گیاهی تعیین گردید. در دهه‌های گذشته خشکسالی‌های سال

7-Funk and Budd
8-Jain at all
9-Murthy at all
10-Haryana
11-Yuhas and Scuderi
12-WeiMin at all
13-Sichun
14-WenJiang at all
15-Henan
16-Xi at all

1-Sharma
2-Karanataka
3-Vicente-Serrano
4-Ebro
5-Liu and Wu
6-Gouveia

بررسی رابطه بین شاخص‌ها نشان داد که از بین سری‌های مختلف SPI، شاخص ماهواره‌ای NDVI با SPI سه ماهه همبستگی بهتری را نشان می‌دهد و روند تغییرات در مقادیر مربوط به شاخص SPI در دوره‌ی آماری مشترک، نسبت به مقادیر محاسبه شده شاخص ماهواره‌ای NDVI، از هماهنگی کمتری برخوردار است.

محمودزاده و همکاران (۱۳۸۷: ۲)، از دو شاخص SPI و NDVI طی سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۸ برای بررسی خشکسالی در منطقه‌ی فریدون‌شهر استفاده کرده و در نهایت این دو شاخص را با هم مقایسه نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بین تصاویر NDVI ماه‌های آوریل و می و SPI ماه‌های دسامبر و ژانویه همبستگی معناداری وجود دارد. از جمله مطالعات دیگر در این زمینه می‌توان به مطالعات ثنائی نژاد و همکاران (۱۳۸۷: ۱۱) در مشهد، جوادنیا و مباشری (۱۳۸۷: ۲) در شمال شهر اهواز، طاهرزاده (۱۳۸۵: ۲۵) در حوضه‌ی میناب، باجگیران و همکاران (۲۰۰۸: ۸۵) در شمال غرب ایران و شمسی‌پور و همکاران (۲۰۰۸) در دشت‌های مرکزی ایران اشاره نمود. هدف اصلی این مطالعه، بررسی آثار خشکسالی بر پوشش گیاهی در استان کردستان با استفاده از تصویر ماهواره‌ای TERRA/MODIS ۱۶ روزه طی ده سال اخیر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ برای چهار ماه رشد پوشش گیاهی شامل ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر می‌باشد. در این راستا، استخراج شاخص ماهواره‌ای NDVI، بررسی عملکرد شاخص NDVI، بررسی ارتباط بین بارندگی و شاخص NDVI با استفاده از شاخص آماری SPI و مقایسه‌ی دو شاخص NDVI و SPI، به دست آوردن نقشه‌های تغییر و عدم تغییر و تهیه جداول ماتریس تغییرات، از جمله اهداف اصلی این مطالعه می‌باشد.

بارندگی‌های فصلی مخصوصاً زمستانی که به صورت برف هستند، نقش زیادی در بروز یا عدم بروز خشکسالی دارند. کبیری و آبکار (۱۳۸۱: ۲)، برای بررسی کمی و کیفی خشکسالی در ایران در سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ میلادی، از مدل بارندگی استفاده کردند که بررسی‌ها نشان‌دهنده‌ی آن بود که رابطه‌ی خطی بین مقادیر تجمعی بارندگی و مقادیر میانگین شاخص NDVI وجود دارد.

احترامیان و همکاران (۱۳۸۲: ۱)، در مطالعات خود با استفاده از نقشه‌ی شاخص پوشش گیاهی کل کشور و داده‌های مادون قرمز نزدیک باندهای ۱ و ۲ سنجنده AVHRR ماهواره NOAA در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ میلادی، ابتدا وضعیت پوشش گیاهی کشور را مورد بررسی قرار دادند. سپس جهت بررسی دقیق خشکسالی با بهره‌گیری از هم‌پوشانی دو تصویر شاخص پوشش گیاهی، نقشه‌ی تغییر دو ساله‌ی پوشش گیاهی کشور را تهیه کردند.

جلیلی (۱۳۸۴: ۳۱) در مطالعه‌ی خود از آمار بارندگی ماهانه و روزانه‌ی ایستگاه‌های استان تهران جهت محاسبه‌ی شاخص‌های SPI و از تصاویر ماهواره‌ای NOAA/AVHRR جهت محاسبه‌ی شاخص‌هایی مانند VCI، NDVI استفاده نمود. در این مطالعه پس از استخراج شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای، با استفاده از روش رگرسیون خطی ساده، تحلیل آماری روی نتایج انجام گرفته است. نتایج مطالعه‌ی وی نشان داد که شاخص SPI ضرایب همبستگی بهتری را با شاخص‌های ماهواره‌ای در اغلب موارد داشته است. همچنین در بین مقیاس‌های زمانی یک ماهه و سه ماهه، شاخص‌های هواشناسی سه ماهه در بیشتر موارد، همبستگی بهتری را نشان دادند. باعقیده (۱۳۸۶: ۲۱)، در مطالعه‌ی خود، خشکسالی را در استان اصفهان با استفاده از تصاویر چند زمانه NOAA/AVHRR/NDVI و شاخص SPI ارزیابی نمود.

داده و روش‌ها

داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه آمار مربوط به بارش ماهانه و سالانه برای شش ایستگاه سینوپتیک استان کردستان می‌باشد (جدول ۱). همچنین از

تصاویر ماهواره‌ای Terra/Modis مربوط به چهار ماه آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر طی ده سال اخیر (۲۰۰۹-۲۰۰۰) با فاصله ۱۶ روز یک تصویر از تاریخ ۲۰۰۰/۷/۲۷ تا ۲۰۰۹/۱۰/۳۰ جهت تحلیل‌های ماهواره‌ای استفاده شده است.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا	طول دوره آماری	تعداد سال
۱	بیجار	۱۸۸۳/۴	۱۹۸۸-۲۰۰۵	۱۷
۲	زرینه اوباتو	۲۱۴۲/۶	۱۹۹۰-۲۰۰۵	۱۵
۳	سقز	۱۵۲۲/۸	۱۹۶۲-۲۰۰۵	۴۳
۴	سنندج	۱۳۷۳/۴	۱۹۶۰-۲۰۰۵	۴۵
۵	قروه	۱۹۰۶	۱۹۹۰-۲۰۰۵	۱۵
۶	مریوان	۱۲۸۷	۱۹۹۲-۲۰۰۵	۱۲

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

روش‌ها

در این مطالعه از دو روش استفاده شده است. روش اول، تعیین وضعیت خشکسالی به وسیله‌ی شاخص بارش استاندارد است که بر اساس رابطه‌ی زیر انجام شده است (لشنی‌زند، ۱۳۸۳: ۶۸):

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (1)$$

در رابطه ۱: SPI شاخص استاندارد بارش، P_i معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر، \bar{P} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است.

به منظور استفاده از شاخص SPI ابتدا نسبت به آزمون همگنی داده‌های بارندگی اقدام شد و پس از اطمینان از همگنی داده‌ها در کلیه‌ی ایستگاه‌ها، نسبت به تشکیل سری‌های زمانه ۱۲ ماهه و برآزش داده‌ها با روش‌های مختلف اقدام شد. نتایج حاصل از بررسی روش‌های مختلف، حاکی از برآزش مناسب توزیع گاما نسبت به سایر روش‌ها بود. با توجه به اینکه محاسبه‌ی شاخص بارش استاندارد با برآزش تابع احتمال چگالی گاما برای مقادیر فراوانی بارش ایستگاه‌ها انجام می‌شود، بر این اساس، جهت تخمین بهینه

پارامترهای گاما از دو روش گشتاور و حداکثر درست‌نمایی استفاده شد. در نهایت با استفاده از نتایج پارامترهای گاما نسبت به محاسبه احتمال تجمعی بارندگی برای دوره‌ی مورد نظر در ایستگاه‌ها اقدام و با استفاده از تقریب آبراموتیز و استوگان، احتمالات تجمعی به متغیر تصادفی نرمال استاندارد، تبدیل شد. روش دوم محاسبه‌ی شاخص $NDVI$ می‌باشد. این شاخص یکی از بهترین شاخص‌های پوشش گیاهی ماهواره‌ای است که بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود (Thenkabail, 2004:780):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۲: NIR انعکاس نور در باندهای مادون قرمز و RED انعکاس نور در باند قرمز می‌باشد. دامنه‌ی به دست آمده از این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است. اعداد منفی برای پوشش‌های آبی مانند دریاها و دریاچه‌ها، اعداد مثبت برای پوشش گیاهی و اعداد اطراف صفر بیانگر مناطق خشک و یا فاقد گیاه می‌باشد. سپس بر اساس جداول فراوانی هر کدام از طبقات بر اساس هر تصویر (در کل ۴۰ تصویر) تعداد پیکسل‌های

مرحله‌ی آخر، شامل مقایسه دو روش آماری و سنجش از دور است که در آن شاخص SPI و خشکسالی‌ها و ترسالی‌های به دست آمده با شاخص NDVI مقایسه شده است. این مقایسه بر اساس میانگین NDVI و میانگین سالانه SPI با استفاده از همبستگی پیرسون بر اساس رابطه‌ی زیر انجام شده است (مهدوی، ۱۳۷۷: ۱۳۶):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

مقدار این همبستگی، بین -۱ تا +۱ می‌باشد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده‌ی همبستگی بالا و مقادیر منفی نشان‌دهنده‌ی همبستگی پایین می‌باشد. مقدار همبستگی صفر، نشان‌دهنده‌ی عدم همبستگی بین دو متغیر X و Y است.

محاسبه‌ی شاخص بارش استاندارد در استان کردستان محاسبه‌ی شاخص بارش استاندارد نشان داد که بیشترین میزان خشکسالی در استان در سال ۲۰۰۸ با میانگین SPI -۱/۴۳ (خشکسالی متوسط) و سال ۲۰۰۱ با میانگین SPI -۱/۴۲ (خشکسالی متوسط) رخ داده است. سال ۲۰۰۶ مرطوب‌ترین سال بوده که میانگین SPI آن برابر ۰/۳۱ (مرطوب نرمال) می‌باشد (شکل ۱). بر اساس نتایج حاصل از محاسبه SPI سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان کردستان، شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۱ با میزان SPI ۲/۱۰- (خشکسالی خیلی شدید) در ایستگاه بیجار و شدیدترین ترسالی در سال ۲۰۰۹ با میزان SPI ۳/۱۳ (ترسالی خیلی شدید) در ایستگاه زربنه اوباتو رخ داده است.

هر طبقه به صورت کیلومتر مربع (هر پیکسل * ۲۳۱/۵ متر تقسیم بر ۱۰۰۰۰) و در نهایت به صورت درصد مشخص شده است. بر اساس این داده‌ها نمودارهای تغییرات NDVI بر حسب کیلومتر مربع و درصد ترسیم شده است. از جمله کارهایی که با استفاده از تصاویر NDVI انجام می‌شود، تهیه تصاویر تغییرات و عدم تغییرات بر اساس روش تفریق تصاویر می‌باشد. تصاویر تهیه شده با این روش می‌توانند تغییرات مربوط به پوشش گیاهی را نشان دهند. ماتریس تغییرات بر اساس جداول حاصل از این تصاویر تهیه شده و بر این اساس، تغییر هر پیکسل در ماه مورد نظر، نسبت به همان ماه در سال دیگر مقایسه می‌شود. در این مطالعه نیز با استفاده از این روش، تغییرات پوشش گیاهی در ماه‌های مورد نظر بررسی شده است. روابط ریاضی مربوط به تفریق تصاویر که در این مطالعه از آن استفاده شده است به صورت زیر است (Thenkabail, 2004:782):

$$Cp_{vijk} = Dn_{ijk}(1) - Dn_{ijk}(2) + c \quad (3)$$

در رابطه (۳):

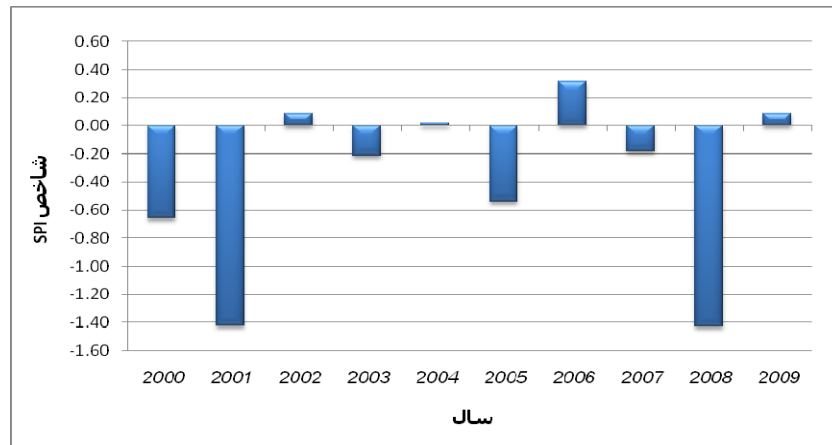
Cp_{vijk} : تفریق تصاویر

(1) Dn_{ijk} : ارزش روشنایی پیکسل i, j در باند k در تاریخ اول

(2) Dn_{ijk} : ارزش روشنایی پیکسل i, j در باند k در تاریخ دوم

C : مقدار ثابت می‌باشد.

در تصاویر تفریقی، هیستوگرام درجات روشنایی معمولاً به صورت توزیع نرمال با میانگین نزدیک به صفر است و ارزش درجات روشنایی پیکسل‌هایی که تغییر نکرده باشند، نزدیک به میانگین و پیکسل‌های مربوط به تغییرات دور از میانگین در دنباله‌های (مثبت و منفی) به شکل توزیع نرمال قرار دارند (Gong, 1993:22).



شکل ۱: نمودار میانگین SPI سالانه در استان کردستان طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۹-۲۰۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

۲۰۰۱، میزان پوشش گیاهی ضعیف، ۷۲/۸٪ مساحت استان^۱ (۲۱۱۴۷ کیلومتر مربع) محاسبه گردید. در این ماه، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۲۵/۱٪ (۷۳۰۰ کیلومتر مربع) و طبقه پوشش گیاهی خوب ۱/۹٪ (۵۵۹ کیلومتر مربع) از مساحت کل استان را شامل می‌شوند. همچنین بررسی نقشه‌های مربوط به ماه آگوست نشان داد سال ۲۰۰۴ بیشترین میزان پوشش گیاهی را طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه دارد. در این سال، طبقه پوشش گیاهی ضعیف ۵۴٪ (۱۵۶۸۶ کیلومتر مربع)، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۴۲/۹٪ (۱۲۴۵۲ کیلومتر مربع) و طبقه پوشش گیاهی خوب ۲/۹٪ (۸۵۵ کیلومتر مربع) از مساحت کل استان کردستان را به خود اختصاص داده‌اند. در نقشه‌های تهیه شده، پوشش گیاهی خوب بیشتر در حوضه‌ی رودخانه‌ها و اطراف دریاچه‌ی زریوار در ایستگاه مریوان مشاهده می‌شود (شکل ۲).

ارزیابی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی

در تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS

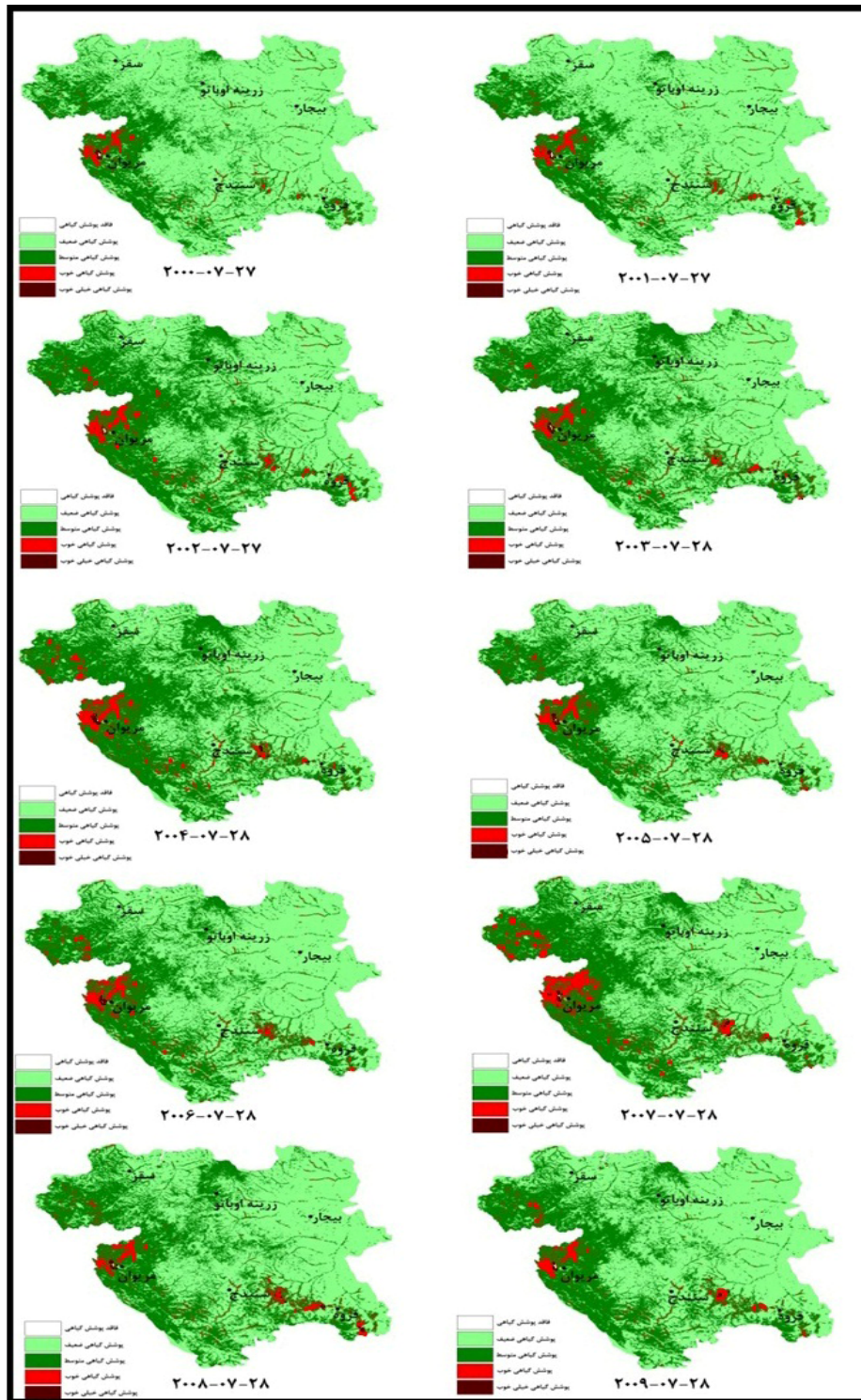
با توجه به اینکه بیشترین میزان پوشش گیاهی در استان کردستان، از ماه آگوست (مردادماه) به بعد می‌باشد به همین دلیل چهار ماه آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر به عنوان ماه‌های اصلی، جهت ارزیابی شاخص NDVI انتخاب شدند.

محاسبه‌ی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش

گیاهی در ماه آگوست

بررسی شاخص NDVI در ماه آگوست نشان می‌دهد که طبقه‌ی پوشش گیاهی خیلی خوب و طبقه فاقد پوشش گیاهی، کمتر از یک درصد مساحت استان را در بر می‌گیرند و ۹۹٪ مساحت استان تنها در سه طبقه پوشش گیاهی ضعیف، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی خوب قرار دارد. کمترین مقدار پوشش گیاهی، طی این ده سال، در سال ۲۰۰۱ و ماه آگوست دیده می‌شود. بر اساس نقشه NDVI ماه آگوست سال

۱- مساحت کل استان کردستان ۲۹۰۵۷/۲۲ کیلومتر مربع است.



شکل ۲: تصاویر NDVI طبقه‌بندی شده ماه آگوست در استان کردستان طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹

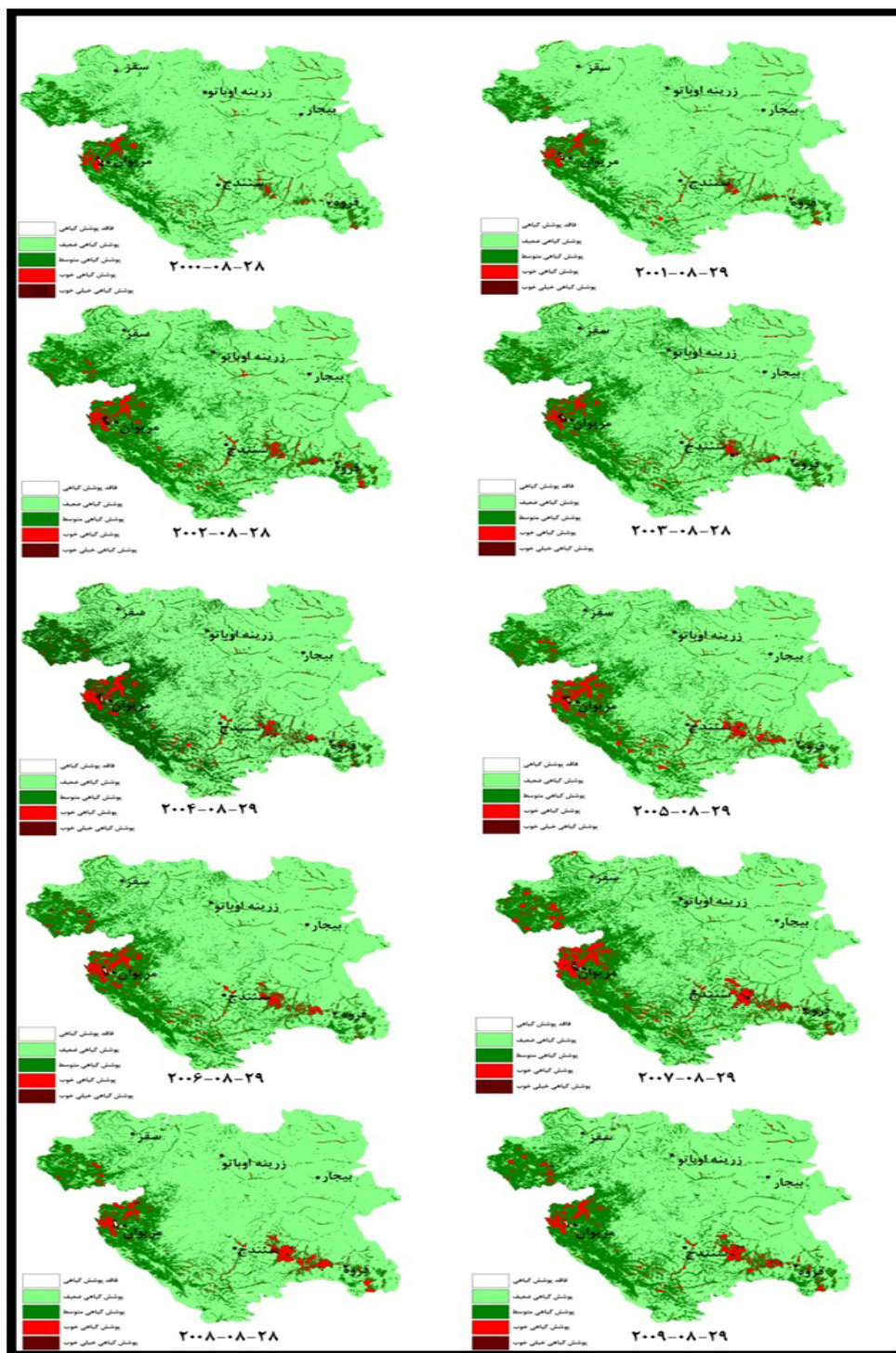
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

- محاسبه شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در ماه سپتامبر

در ماه سپتامبر نیز طبقه پوشش گیاهی خیلی خوب و طبقه فاقد پوشش گیاهی کمتر از یک درصد مساحت استان را در برمی‌گیرد و ۹۹٪ مساحت استان، تنها در سه طبقه پوشش گیاهی ضعیف، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی خوب قرار دارد. بررسی نقشه‌ی NDVI ماه سپتامبر سال ۲۰۰۱ نشان‌دهنده‌ی آن است که کمترین مقدار پوشش گیاهی در طی دوره‌ی ده ساله در این ماه وجود دارد. در ماه مذکور، طبقه‌ی پوشش گیاهی ضعیف ۸۱/۹٪ (۲۳۸۰۷ کیلومترمربع)، طبقه‌ی پوشش گیاهی متوسط ۱۶/۵٪ (۴۸۰۴ کیلومترمربع) و طبقه‌ی پوشش گیاهی خوب ۱/۴٪ (۴۰۸ کیلومترمربع) از مساحت کل استان را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، بیشترین میزان پوشش گیاهی مربوط به ماه سپتامبر سال ۲۰۰۷ می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل تصاویر در این ماه، طبقه پوشش گیاهی ضعیف ۶۸/۴٪ (۱۹۸۶۱ کیلومترمربع)، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۲۸/۱٪ (۸۱۶۳ کیلومترمربع) و طبقه پوشش گیاهی خوب ۳/۲٪ (۹۳۰ کیلومترمربع) از مساحت کل استان را به خود اختصاص داده‌اند. پوشش گیاهی خوب در این ماه نیز بیشتر در حوضه‌ی رودخانه‌ها و اطراف دریاچه‌ی زریوار در ایستگاه مریوان مشاهده می‌شود (شکل ۳).

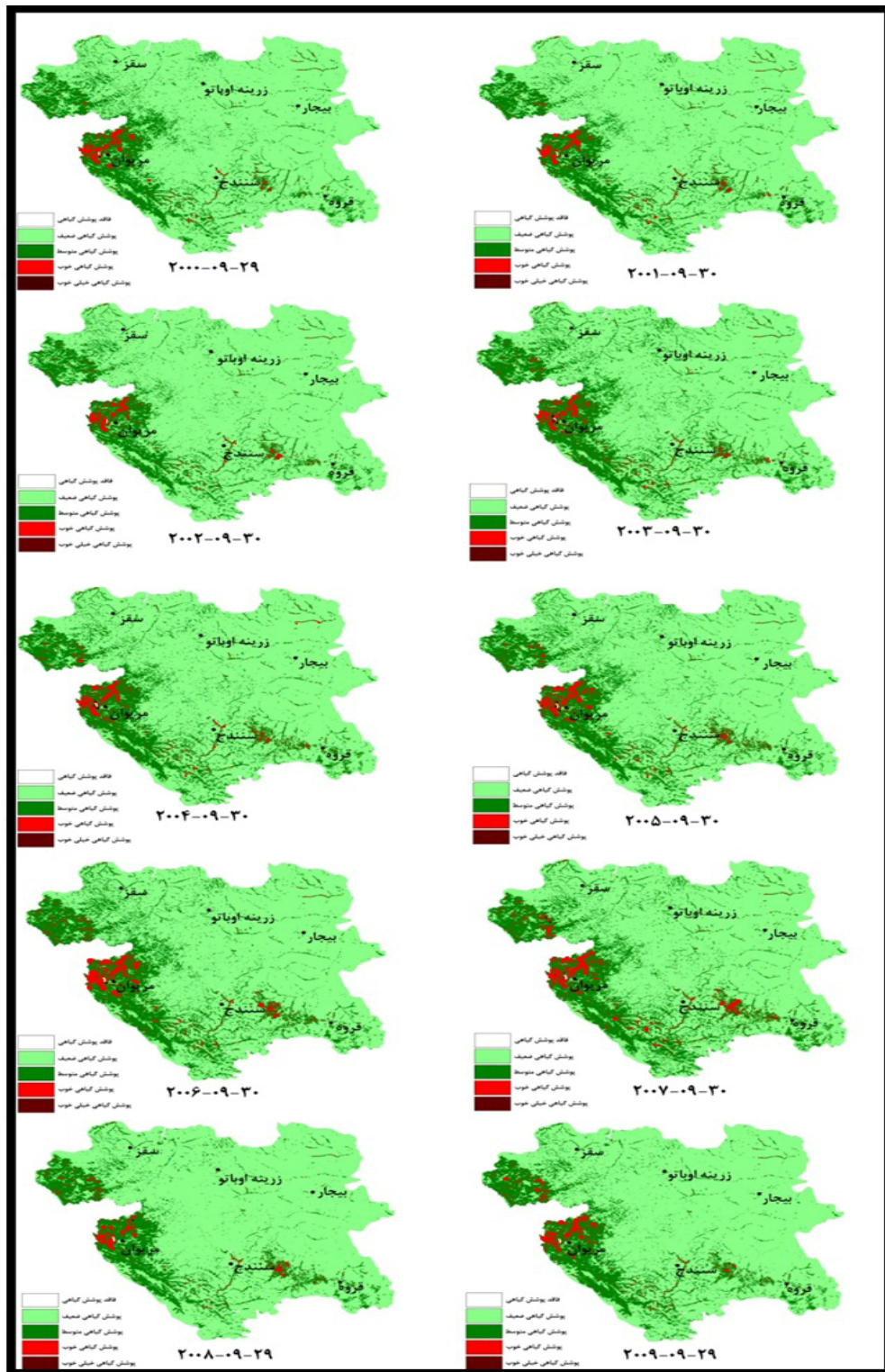
- محاسبه شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در ماه اکتبر

بررسی‌ها در ماه اکتبر نشان می‌دهد که طبقه‌ی پوشش گیاهی خیلی خوب و طبقه‌ی فاقد پوشش گیاهی، کمتر از یک درصد مساحت استان را در بر گرفته و ۹۹٪ مساحت استان تنها در سه طبقه‌ی پوشش گیاهی ضعیف، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی خوب قرار دارد. سال ۲۰۰۸ کمترین مقدار پوشش گیاهی را طی این ده سال در ماه اکتبر داشته است. در ماه اکتبر، طبقه‌ی پوشش گیاهی ضعیف ۸۲/۷٪ (۲۴۰۳۸ کیلومترمربع)، پوشش گیاهی متوسط ۱۶/۱٪ (۴۶۷۸ کیلومترمربع) و طبقه‌ی پوشش گیاهی خوب ۱/۱٪ (۳۱۱ کیلومترمربع) از مساحت کل استان را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی‌های انجام شده بر روی نقشه NDVI نشان داد که بیشترین میزان پوشش گیاهی طی ده سال دوره‌ی مورد مطالعه در ماه اکتبر مربوط به سال ۲۰۰۷ است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل تصاویر در این ماه، طبقه‌ی پوشش گیاهی ضعیف ۷۵/۵٪ (۲۱۹۴۸ کیلومترمربع)، طبقه‌ی پوشش گیاهی متوسط ۲۲/۱٪ (۶۴۳۶ کیلومترمربع) و طبقه‌ی پوشش گیاهی خوب ۲/۱٪ (۶۲۴ کیلومترمربع) از مساحت کل استان را شامل می‌شوند (شکل ۴).



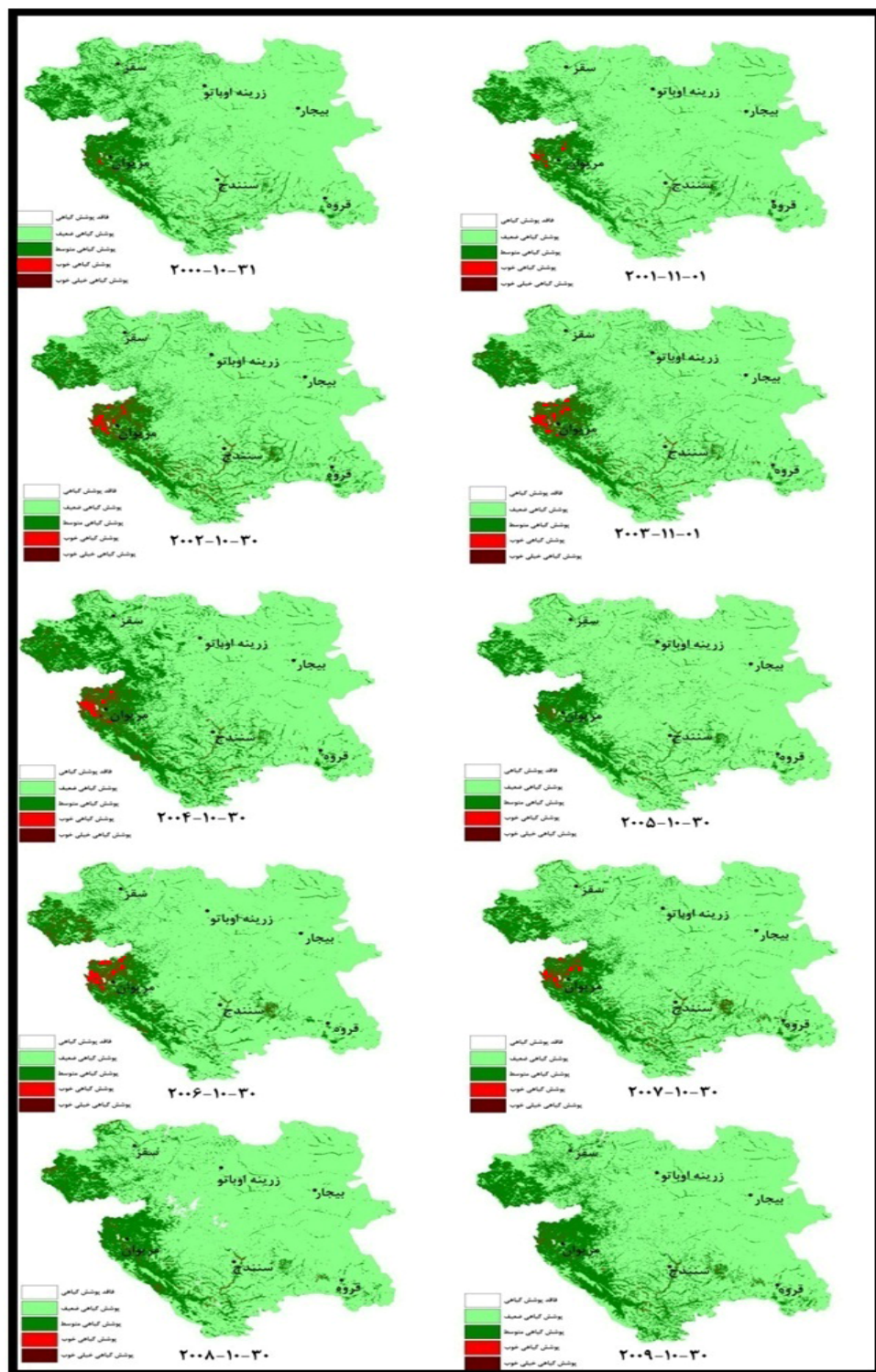
شکل ۳: تصاویر NDVI طبقه‌بندی شده ماه سپتامبر در استان کردستان طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۴: تصاویر NDVI طبقه‌بندی شده ماه اکتبر در استان کردستان طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹



شکل ۵: تصاویر NDVI طبقه‌بندی شده ماه نوامبر در استان کردستان طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

- محاسبه‌ی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در ماه نوامبر

ماه نوامبر کمترین مقدار پوشش گیاهی را بین سه ماه قبل دارد. این موضوع به علت شرایط فصلی رشد گیاه است. سال ۲۰۰۱ کمترین مقدار پوشش گیاهی را طی این ده سال در ماه نوامبر داشته است. در نتیجه طبقه‌ی پوشش گیاهی ضعیف $۳/۸۵\%$ (۲۴۷۷۷ کیلومتر مربع)، طبقه‌ی پوشش گیاهی متوسط $۳/۱۴\%$ (۴۱۵۳ کیلومتر مربع) و طبقه‌ی پوشش گیاهی خوب $۴/۰\%$ (۱۱۳ کیلومتر مربع) از مساحت کل استان را در بر گرفته است.

سال ۲۰۰۴ بیشترین میزان پوشش گیاهی را طی ده سال داشته است. بر اساس ارزیابی نقشه‌های تهیه شده در این ماه، طبقه پوشش گیاهی ضعیف $۷/۷۴\%$ (۲۱۷۱۳ کیلومتر مربع)، طبقه پوشش گیاهی متوسط $۹/۲۳\%$ (۶۹۴۹ کیلومتر مربع) و طبقه پوشش گیاهی خوب $۳/۱\%$ (۳۶۸ کیلومتر مربع) از مساحت کل استان را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۵).

نتایج محاسبه‌ی شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی در استان کردستان

به طور کلی محاسبه‌ی شاخص NDVI برای چهار ماه آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر نشان می‌دهد که هر چه از ماه آگوست به سمت ماه نوامبر برویم، از میزان پوشش گیاهی کاسته می‌شود، در نتیجه درصد پوشش گیاهی ضعیف افزایش یافته و درصد پوشش گیاهی متوسط و خوب کاهش می‌یابد.

در این مرحله، به منظور مقایسه‌ی میزان پوشش گیاهی در سال‌های مختلف مورد مطالعه، نسبت به میانگین‌گیری میزان پوشش گیاهی هر سال اقدام شده است. میانگین این چهار ماه می‌تواند نماینده پوشش گیاهی در یک سال باشد.

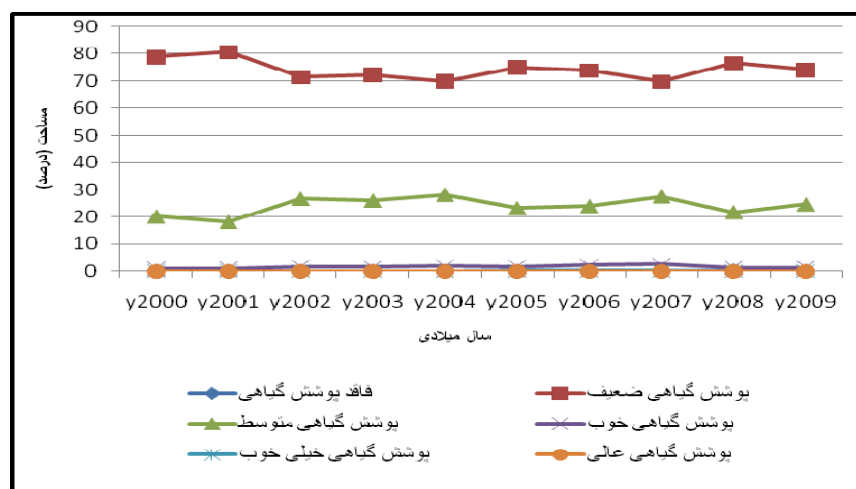
نتایج حاصل از میانگین چهار ماهه وضعیت پوشش گیاهی بر اساس شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۱ با $۶/۸۰\%$ پوشش گیاهی ضعیف، $۱/۱۸\%$ پوشش گیاهی متوسط و $۲/۱\%$ پوشش گیاهی خوب، حداقل میزان پوشش گیاهی را طی ده سال اخیر داشته و سال ۲۰۰۸ با $۶/۷۶\%$ پوشش گیاهی ضعیف، $۷/۲۱\%$ پوشش گیاهی متوسط و $۴/۱\%$ پوشش گیاهی خوب، پس از سال ۲۰۰۱ کمترین پوشش گیاهی را داشته است که این امر به خوبی اثر خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ را بروی پوشش گیاهی منطقه نشان می‌دهد.

در مقابل سال ۲۰۰۷ با $۷/۶۹\%$ پوشش گیاهی ضعیف، $۵/۲۷\%$ پوشش گیاهی متوسط و $۵/۲\%$ پوشش گیاهی خوب بیشترین مقدار پوشش گیاهی را طی این دوره داشته است. سال ۲۰۰۴ نیز با $۸/۶۹\%$ پوشش گیاهی ضعیف، $۱/۲۸\%$ پوشش گیاهی متوسط و $۹/۱\%$ پوشش گیاهی خوب پس از سال ۲۰۰۷ از وضعیت پوشش گیاهی بهتری برخوردار بوده است (جدول ۲ و نمودار ۶).

جدول ۲: تغییرات کل شاخص NDVI در استان کردستان (۲۰۰۹-۲۰۰۰) برحسب کیلومتر مربع

سال میلادی	فقد پوشش گیاهی	پوشش گیاهی ضعیف	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی خوب	پوشش گیاهی خیلی خوب
۲۰۰۰	۱۶	۲۲۸۸۰	۵۸۴۴	۳۰۶	۱۲
۲۰۰۱	۱۴	۲۳۴۱۷	۵۲۶۲	۳۴۷	۱۷
۲۰۰۲	۱۵	۲۰۷۷۳	۷۷۴۲	۵۰۴	۲۲
۲۰۰۳	۱۴	۲۱۰۰۱	۷۵۴۱	۴۷۷	۲۴
۲۰۰۴	۱۶	۲۰۲۸۴	۸۱۶۸	۵۵۹	۲۹
۲۰۰۵	۱۵	۲۱۷۸۷	۶۷۳۶	۴۸۸	۳۱
۲۰۰۶	۱۹	۲۱۴۵۸	۶۹۴۰	۶۱۰	۳۲
۲۰۰۷	۲۱	۲۰۲۶۶	۷۹۹۰	۷۳۳	۴۸
۲۰۰۸	۶۷	۲۲۲۶۴	۶۳۰۰	۳۹۷	۳۰
۲۰۰۹	۲۰	۲۱۴۹۸	۷۱۲۴	۴۲۱	۱۵

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

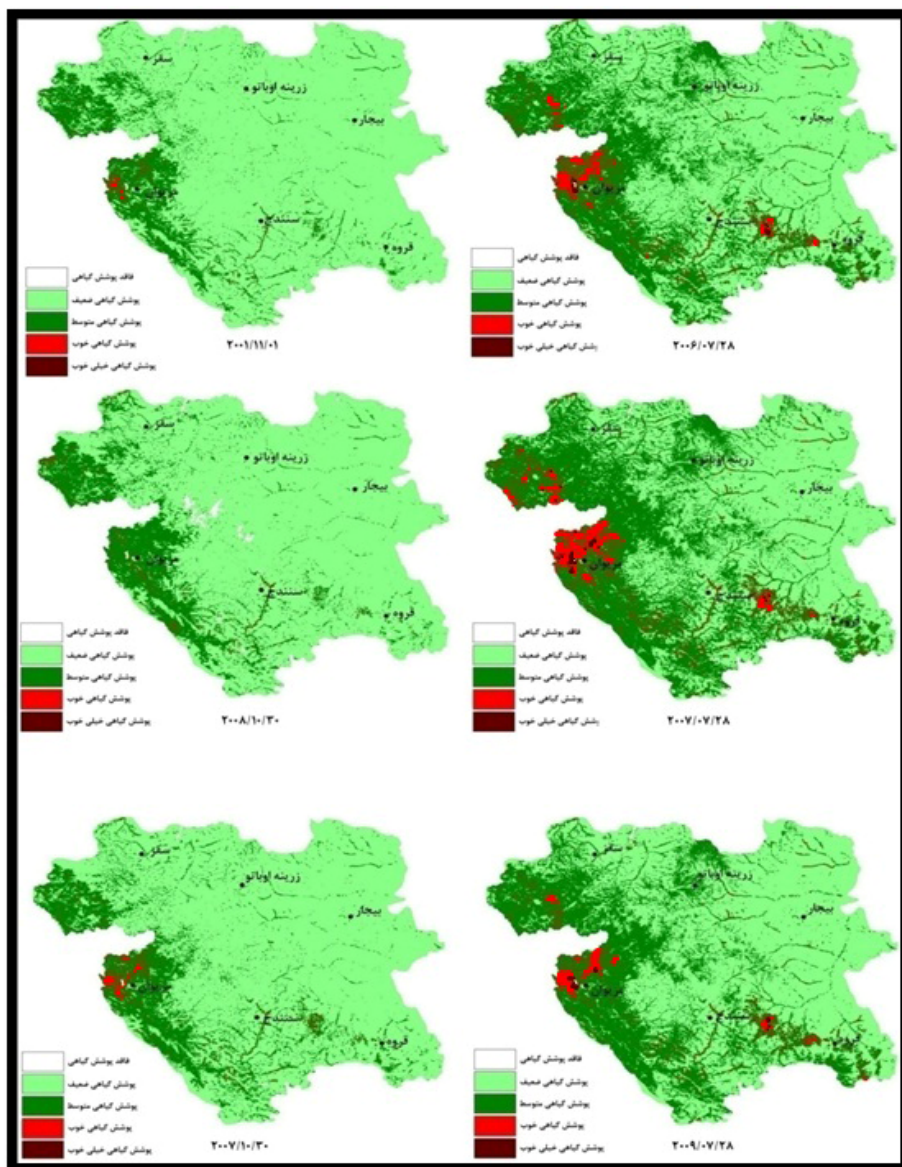


شکل ۶: درصد تغییرات کل شاخص NDVI در استان کردستان (۲۰۰۹-۲۰۰۰)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

خشک و سمت راست سال‌های مرطوب را نشان می‌دهد (زمان هر نقشه در پایین آن نوشته شده است) که به وضوح تغییرات پوشش گیاهی مشاهده می‌شود.

به منظور درک بهتر تأثیر خشکسالی‌ها بر روی پوشش گیاهی در استان کردستان، نقشه‌های مربوط به سه سال خشک و سه سال مرطوب مقایسه شده است (شکل ۷). در این نقشه، سمت چپ تصاویر سال‌های



شکل ۷: مقایسه‌ی تصاویر سه سال خشک و سه سال مرطوب در استان کردستان طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۹-۲۰۰۰
 مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

تفریق تصاویر NDVI و محاسبه‌ی تغییرات پوشش گیاهی در استان کردستان

در این مرحله با استفاده از شاخص NDVI تغییرات پوشش گیاهی در استان کردستان محاسبه گردید. بدین منظور هر کدام از تصاویر NDVI چهار ماه آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر (در طی دوره‌ی مورد مطالعه) مورد مقایسه قرار گرفته (تفریق تصاویر) و

مقدار تغییرات آن مشخص گردید. بر این اساس، هر سال نسبت به سال قبل و یا سال بعد در یک تاریخ یکسان مورد مقایسه قرار گرفت و نتیجه به صورت یک جداول ماتریسی و تصاویر تفریقی تنظیم گردید. نتایج حاصل از این مقایسه شامل ۳۶ جدول ماتریسی و ۳۶ تصویر تغییرات می‌باشد که به علت زیاد بودن تعداد جداول و تصاویر تنها یک مورد به عنوان نمونه ارائه

گیاهی ضعیف در سال ۲۰۰۴ کمتر بوده و پوشش گیاهی خوب وسعت بیشتری از مساحت استان را در بر گرفته است. همچنین در سال ۲۰۰۴ طبقه‌ی پوشش گیاهی خیلی خوب ۵/۷ کیلومتر مربع از مساحت کل را در بر گرفته ولی سال ۲۰۰۵ فاقد این طبقه است. طبقه‌ی اول یعنی فاقد پوشش گیاهی در این دو سال تقریباً بدون تغییر بوده است. پوشش گیاهی خوب در سال ۲۰۰۵، ۷۱/۲ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۰۴، ۳۶۷/۸ کیلومتر مربع بوده است (جدول ۴ و ۳).

شده است. یکی از بیشترین مقدار تغییرات مشاهده در سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۲۰۰۴ در ماه نوامبر می‌باشد (جدول ۴). در این جدول که به صورت ماتریسی است، تغییرات هر کدام از طبقات پوشش گیاهی ماه نوامبر در سال ۲۰۰۵ (ستون) نسبت به سال ۲۰۰۴ (سطر) در همان تاریخ به صورت کیلومتر مربع به دست آمده است. مجموع کل طبقات در هر سال برابر با مساحت کل استان است. با توجه به این داده‌ها مشخص می‌شود که سال ۲۰۰۴ نسبت به سال ۲۰۰۵ مرطوب‌تر است. به این علت که مقدار پوشش

جدول ۳: درصد تغییرات کل شاخص NDVI در استان کردستان (۲۰۰۹-۲۰۰۰)

سال میلادی	نمایه SPI سالانه	میانگین SPI سالانه	میانگین NDVI	پوشش گیاهی ضعیف (%)	پوشش گیاهی متوسط (%)	پوشش گیاهی خوب (%)
۲۰۰۰	نزدیک نرمال	-۰/۶۶	۰/۱۰۴	۷۸/۷	۲۰/۱	۱/۱
۲۰۰۱	خشکسالی متوسط	-۱/۴۲	۰/۱	۸۰/۶	۱۸/۱	۱/۲
۲۰۰۲	مرطوب نرمال	۰/۰۹	۰/۱۱	۷۱/۵	۲۶/۶	۱/۷
۲۰۰۳	نزدیک نرمال	-۰/۲۱	۰/۱۰۹	۷۲/۳	۲۶	۱/۶
۲۰۰۴	نزدیک نرمال	۰/۰۲	۰/۱۱۶	۶۹/۸	۲۸/۱	۱/۹
۲۰۰۵	نزدیک نرمال	-۰/۵۴	۰/۱۰۴	۷۵	۲۳/۲	۱/۷
۲۰۰۶	مرطوب نرمال	۰/۳۱	۰/۱۰۶	۷۳/۸	۲۳/۹	۲/۱
۲۰۰۷	نزدیک نرمال	-۰/۱۸	۰/۱۰۸	۶۹/۷	۲۷/۵	۲/۵
۲۰۰۸	خشکسالی متوسط	-۱/۴۳	۰/۱۰۱	۷۶/۶	۲۱/۷	۱/۴
۲۰۰۹	مرطوب نرمال	۰/۰۹	۰/۱۰۸	۷۴	۲۴/۵	۱/۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

جدول ۴: مقایسه تغییرات NDVI سال ۲۰۰۴-۲۰۰۵ ماه نوامبر در استان کردستان بر حسب کیلومتر مربع

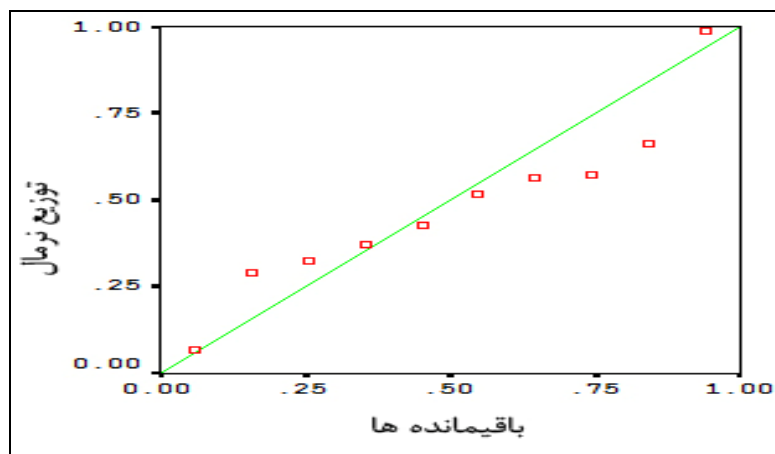
مجموع	پوشش گیاهی خیلی خوب	پوشش گیاهی خوب	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی ضعیف	فاقد پوشش گیاهی	طبقات پوشش گیاهی
۲۲	۰	۰/۱	۰/۳	۹/۶	۱۲	فاقد پوشش گیاهی
۲۱۷۱۲/۶	۰	۱/۵	۵۳۹/۵	۲۱۱۶۵/۸	۷/۸	پوشش گیاهی ضعیف
۶۹۴۹	۰	۱۶/۸	۳۵۵۱/۴	۳۳۷۹/۳	۱/۶	پوشش گیاهی متوسط
۳۶۷/۸	۰	۴۹/۹	۳۱۵/۵	۲/۴	۰/۱	پوشش گیاهی خوب
۵/۷	۰	۳	۲/۷	۰/۱	۰	پوشش گیاهی خیلی خوب
۲۹۰۵۷/۲	۰	۷۱/۲	۴۴۰۹/۳	۲۴۵۵۷/۲	۱۹/۵	مجموع

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

برای اطمینان از وجود رابطه بین میانگین شاخص NDVI و میانگین سالانه SPI از همبستگی پیرسون استفاده شده است که معادله‌ی آن برای دو شاخص مذکور به صورت زیر است :

$$SPI = -11.2 + 102NDVI \quad (5)$$

$$NDVI = 0.109 + 0.00588 SPI$$



شکل ۸: نمودار همبستگی بین میانگین شاخص NDVI و میانگین سالانه SPI در استان کردستان
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۹

و در ایستگاه‌های سقز و مریوان، خشکسالی متوسط رخ داده است. در سال ۲۰۰۸ نیز در سنندج و مریوان، خشکسالی شدید و در ایستگاه‌های زرینه اوباتو و قروه خشکسالی متوسط اتفاق افتاده است. در نتیجه در این دو سال شدیدترین خشکسالی‌ها رخ داده است. در سال ۲۰۰۷، در ایستگاه قروه، ترسالی متوسط و در ایستگاه بیجار شاخص SPI وضعیت مرطوب نرمال (مرطوب‌ترین سال) را نشان داد. ایستگاه سقز در این سال خشکسالی متوسط را تجربه کرده است. همچنین در سال ۲۰۰۶، ایستگاه‌های بیجار، سقز و سنندج، در شرایط مرطوب نرمال بودند.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص SPI، نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ خشکسالی متوسط در استان کردستان رخ داده است. محاسبه شاخص NDVI در این دو سال نیز نشان داد که میزان پوشش گیاهی ضعیف به طور قابل محسوسی افزایش یافته است (به ترتیب با ۸۰/۱٪ و ۷۶/۶٪) در حالی که در

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص NDVI و میانگین سالانه شاخص SPI همبستگی مثبت بالایی برابر ۰/۷۷۳+ در سطح معناداری ۰/۰۱، مشاهده می‌شود (شکل ۸). این همبستگی نشان می‌دهد که با کاهش مقدار NDVI، میزان شاخص SPI نیز کاهش می‌یابد که نشانه افزایش شدت خشکسالی می‌باشد. به‌طور کلی با کاهش تقریباً ۲۰/۰- میزان شاخص SPI به‌طور متوسط ۱/۲ درصد (معادل ۳۵۰ کیلومتر مربع) سطح پوشش گیاهی ضعیف افزایش می‌یابد. این میزان کاهش برای شاخص NDVI تقریباً معادل ۰/۰۱ می‌باشد.

نتیجه

به طور کلی نتایج اصلی این مطالعه به شرح ذیل می‌باشد:

با توجه نتایج حاصل از محاسبه SPI مشخص شد که در سال ۲۰۰۱ در ایستگاه بیجار، خشکسالی بسیار شدید، در ایستگاه‌های سنندج و قروه خشکسالی شدید

- ۴- جلیلی، شیدا (۱۳۸۴). مقایسه شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی‌ها (مطالعه موردی: استان تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- ۵- جوادنیا، اسلام؛ محمدرضا مباحثی (۱۳۸۷). ارتقاء شاخص NDVI برای پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از تصاویر Aster و Modis، همایش ژئوماتیک ۸۷. سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۵ صفحه.
- ۶- چنار، علیرضا (۱۳۸۰). ارزیابی و نظارت بر خشکسالی در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل با استفاده از تصاویر AVHRR. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- ۷- طاهرزاده، علی (۱۳۸۵). تحلیل خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در حوضه‌ی میناب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. تهران. دانشگاه تربیت مدرس.
- ۸- کبیری، کیوان؛ علی‌اکبر آبکار (۱۳۸۱). مونیتورینگ خشکسالی در ایران با استفاده از مدل بارندگی Kerr at all 1989 و اندیس گیاهی NDVI، همایش ژئوماتیک ۸۱. سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۳ صفحه.
- ۹- لشنی‌زند، مهران (۱۳۸۳). بررسی اقلیمی خشکسالی‌های ایران و راهکارهای مقابله با آن، رساله دکتری. دانشگاه اصفهان.
- ۱۰- مهدوی، مسعود (۱۳۷۷). آمار و روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها در جغرافیا، نشر قومس.
- ۱۱- محمودزاده، عبدالحسین؛ بهرام ثقفیان؛ احمد مختاری (۱۳۸۷). بررسی همبستگی شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI منطقه فریدون شهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. دانشگاه تبریز. دانشکده مهندسی عمران. ۸ صفحه.

سال ۲۰۰۷ به عنوان سال تقریباً نرمال، میزان پوشش گیاهی ضعیف بر مبنای شاخص NDVI، حدود ۶۹/۷٪ محاسبه گردید. مقایسه بین سال‌های ۲۰۰۱ با ۲۰۰۷ (تغییر تقریباً ۱۱ درصدی پوشش گیاهی ضعیف)، به خوبی نشان‌دهنده‌ی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در استان کردستان است.

مقایسه‌ی بین دو شاخص SPI و NDVI در این مطالعه نشان‌دهنده‌ی دقت بسیار بالای شاخص NDVI نسبت شاخص SPI است. چرا که میانگین SPI سالانه از شش ایستگاه سینوپتیک در پهنه‌ی استان کردستان گرفته شده است اما شاخص NDVI وضعیت پوشش گیاهی را در پهنه استان کردستان (در ابعاد هر پیکسل برابر ۲۳۱/۵ متر مربع) نشان می‌دهد و این مسأله باعث افزایش دقت در تفکیک پدیده‌ی خشکسالی و تأثیرات آن بر پوشش گیاهی می‌شود.

منابع

- ۱- احترامیان، کوروش؛ علیرضا شهابفر؛ سیدمحمدجعفر ناظم‌السادات (۱۳۸۲). پیش‌بینی شرایط خشکسالی با استفاده از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) در ایران، همایش ژئوماتیک ۸۲. سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱۱ صفحه.
- ۲- باعقیده، محمد (۱۳۸۶). بررسی و پایش خشکسالی‌های استان اصفهان با استفاده از تصاویر چندزمانه‌ای NOAA/AVHRR. شاخص NDVI و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، رساله دکترای اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- ۳- ثنائی‌نژاد، سیدحسین؛ امیررضا شاه‌طهماسبی؛ رضا صدرآبادی حقیقی؛ کیومرث کلارستانی (۱۳۸۷). مطالعه تغییرات طیف بازتابی مزارع گندم در مشهد با استفاده از تصاویر MODIS، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۵.

- central plains of Iran through an employment of NOAA-AVHRR data, *Desert*, 13 (2).
- 24- Sharma, A (2006). Spatial data mining for drought monitoring: An approach using temporal NDVI and relationship, Thesis Geo-Information Science and Earth Observation, India.
 - 25- Su ,ZB, Yacob A, Wen J, Roerink G, He YB, Gao BH, Boogaard H, van Diepen C (2003). Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28 (1-3).
 - 26- Thenkabail, P. S., Gamage, M. S. D. N., Smakhtin, V. U (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia, Research Report 85, International water management Institute.
 - 27- Tucker, C. J (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8.
 - 28- Vicente-Serrano SM, Cuadrat-Prats JM, Romo A (2006). Early prediction of crop production using drought indices at different time-scales and remote sensing data: application in the Ebro valley (North-East Spain), *International Journal of Remote Sensing*, 27(3).
 - 29- WeiMin, K, YuXiang, L, XiaoBo, Z, Juan, Ch (2008). The characteristic of temperature/vegetation drought index (TVDI) and its application in remote sensing drought monitoring in Guizhou, *Guizhou Agricultural Sciences*, 4.
 - 30- WenJiang, Z, QiFeng, L, ZhiQiang, G, Jian, P (2008). Response of remotely sensed Normalized Difference Water Deviation Index to the 2006 Drought of eastern Sichuan Basin, *Science in China Series D: Earth Sciences*, 51(5).
 - 31- Xi, Y, Jianjun, W, Peijun, Sh, Hong, X (2007). Validation of MODIS land surface temperature product as a drought indicator in China, 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2007 Barcelona, Spain.
 - 32- Yuhas, A. N., Scuderi, L. A (2009). MODIS-derived NDVI characterisation of drought-induced evergreen dieoff in western North America, *Geographical Research*, 47(1).
 - 12- Bajgiran, PR, Darvishsefat, AA, Khalili, A, Makhdoum, MF (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran, *Journal of Arid Environments*, 72 (6)
 - 13- Beenedetti, R., Rossin, P (1993). On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: The case study of Wheat estimate and forecast in Emilia, *Remote Sensing of Environment*.
 - 14- Dabrowska-Zielinska, K.,Kogan, F.,Ciolkosz, A., Gruszynska, M., Kowalik, W (2002). Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. *International Journal of Remote Sensing*, 23.
 - 15- Funk, C., Budd, M. E (2009). Phenologically-Tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe, *Remote Sensing of Environment*, 113.
 - 16- Gong, P (1993). Change detection using principal component analysis and fuzzy set theory, *J. Remotesens*, 19 (1).
 - 17- Gouveia, C., Trigo, R. M., Dacamra, C. C (2009). Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9.
 - 18- Jain , SK, Keshri , R, Goswami , A, Sarkar , A, Chaudhry , A (2009). Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 30(10).
 - 19- Jensen, J. R (1996). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
 - 20- Liu, C. L., Wu, J. J (2008). Crop drought monitoring using MODIS NDVI over Mid-Territory of China, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
 - 21- Moulin, S. A., Bondeau, A, Delecolle, R (1998). Combining regional scale, *International Journal of Remote Sensing*, 19.
 - 22- Murthy, C. S., Sai, M. V. R. S., Chandrasekar, K., Roy, P. S (2009). Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural drought: a study in Haryana state, India using NOAA AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 30(11/12).
 - 23- Shamsipour, A. A., Alavipanah, S. K., Mohammadi, H., Azizi, G., Khoshakhlagh, F (2008). An analysis of drought events for

