

پایش خشکسالی در کشت‌های غیرآبی با استفاده از تکنیک سنجش از دور

روزبه موذن‌زاده^{۱*}، صالح ارشد^۲، بیژن قهرمان^۳ و کامران داوری^۴

(E-mail: moazenzadeh.r@gmail.com)

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۵/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۹)

چکیده

پوشش گیاهی در هر منطقه نقشی کلیدی در مدل‌سازی تغییرات و یا حفظ اکوسیستم دارد. شاخصه‌های خشکسالی هواشناسی که مستقیماً از روی داده‌های هواشناسی نظیر بارندگی محاسبه می‌شوند، در صورت فقدان داده‌های مذکور، در پایش خشکسالی مفید واقع نخواهند شد، لذا تکنیک سنجش از دور می‌تواند ابزاری مفید در پایش خشکسالی به شمار رود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس روند تغییرات شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در ماه‌های نوامبر تا می سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ در کشت مرتع و اراضی دیم حوضه آبریز نیشابور بررسی شد. به منظور پایش دقیق‌تر خشکسالی، شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) محاسبه و کلاس خشکسالی براساس هر دو شاخص مذکور تعیین شد. نتایج نشان داد که بیشترین ضرایب همبستگی میان شاخص NDVI و مقادیر بارندگی برای بارش‌های با تأخیر زمانی شش ماهه به دست آمده، گرچه بیشترین افزایش ضریب همبستگی برای گذر از باران یک ماهه به دو ماهه (افزایش از ۰/۰۶۸ به ۰/۵۴۷) دیده شد. کمترین و بیشترین ضرایب همبستگی مذکور در طی این ۱۰ سال به ترتیب صفر و ۰/۷۳ در اراضی مرتع و صفر و ۰/۷۱ در اراضی دیم به دست آمد. مقایسه نتایج دو شاخص SPI و VCI در کلاس‌بندی خشکسالی نشان داد که شاخص SPI نمی‌تواند به صورت تمام و کمال بیان‌گر وضعیت خشکسالی کشاورزی باشد. کمترین و بیشترین ضرایب همبستگی میان شاخص VCI و SPI در بازه‌های زمانی یک، سه، شش، نه و ۱۲ ماهه به ترتیب ۰/۲۳-۰، ۰/۸-۰/۰۴، ۰/۶۶-۰/۰۱، ۰/۵۷-۰، ۰/۸۳-۰/۱۵ به دست آمده‌اند. بررسی ضرایب همبستگی میان شاخص VCI و SPI نشان داد که کمترین ضرایب همبستگی (۰/۰۰۱) برای SPI در بازه زمانی یک ماهه به وقوع پیوسته است.

کلمات کلیدی: بارش استاندارد، تصاویر ماهواره‌ای، خشکسالی کشاورزی، شاخصه‌های خشکسالی، نیشابور

۱ - دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی - ایران (نویسنده مسئول مکاتبات *)

۲ - استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت - ایران

۳ - استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی - ایران

۴ - دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی - ایران

مقدمه

مورد مطالعه ندارند. در چنین شرایطی به‌ناچار بایستی از میان‌یابی برای یافتن برخی پارامترهای هواشناسی استفاده کرد که این امر به‌خصوص در مناطق با تغییرات ارتفاعی زیاد منجر به عدم قطعیت خواهد شد زیرا پارامترهای هواشناسی به شدت تحت تأثیر تغییرات ارتفاعی تغییر می‌کنند. استفاده از تکنیک سنجش از راه دور، تصاویر ماهواره‌ای و تعریف شاخص‌های مرتبط با سنجش از راه دور می‌تواند ضمن پوشش این مسائل، ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی را در پایش دقیق‌تر خشکسالی برقرار سازد (۷ و ۱۱).

تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از شاخص‌های NDVI و EVI (شاخص گیاهی ارتفاع‌یافته) حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در ارتباط با پایش اطلاعات مربوط به پوشش‌های گیاهی انجام شده است (۶ و ۱۲). در تحقیقی شاخص‌های گیاهی اخیر به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و پوشش‌های گیاهی اندازه‌گیری شده از نمونه‌های مزرعه‌ای، در سه منطقه شامل مراتع، بوته‌زار و مناطق جنگلی، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان از برتری شاخص NDVI در قیاس با شاخص EVI از نقطه‌نظر ضریب همبستگی و میزان خطا در معادلات رگرسیونی برقرار شده داشته است (۹). در تحقیقی در کشور استرالیا، ارتباط میان شاخص NDVI و SPI در سه بازه زمانی یک، سه و شش ماهه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حکایت از وقوع بالاترین ضریب همبستگی میان NDVI و SPI شش ماهه داشته است (۳). این در حالی است که در تحقیقی مشابه و در کشور آمریکا، از میان SPI های یک تا ۱۲ ماهه، بالاترین ضریب همبستگی میان NDVI و SPI سه ماهه گزارش شده است (۷). به‌نظر می‌رسد که خصوصیت پوشش‌های گیاهی، دوره زمانی مورد مطالعه، خصوصیات مربوط به خاک و چگونگی توزیع و شدت بارندگی عوامل مهمی هستند که بر وقوع بالاترین ضریب همبستگی میان NDVI و دوره تأخیری SPI می‌باشند (۱۴). تحقیقات دیگر نشان داده که شاخص NDVI می‌تواند با سایر خصوصیات پوشش گیاهی نظیر شاخص سطح برگ، دمای سطح و تبخیر و تعرق منطقه‌ای در ارتباط باشد (۲، ۱۸ و ۲۱). مؤثر بودن استفاده از شاخص VCI نیز در پایش خشکسالی در مناطق مختلف جهان مورد ارزیابی قرار گرفته

خشکسالی را می‌توان از جمله عوارض طبیعی تغییرات اقلیمی در سطح دنیا دانست که به آرامی و با روندی تدریجی رخ می‌دهد و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی بخش‌های مختلفی نظیر منابع آبی، کشاورزی و محیط زیست را از نقطه‌نظر اجتماعی و اقتصادی متأثر می‌سازد. این پدیده ممکن است در تمامی مناطق اقلیمی رخ دهد، گرچه ویژگی‌های آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. این پدیده از بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق، محتوای رطوبت قابل دسترس خاک و وضعیت آب زیرزمینی تأثیر می‌پذیرد (۱۳) و خشکسالی را می‌توان به واسطه مهمترین عوامل تأثیرگذار در سه بخش هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی دسته‌بندی نمود (۵). خشکسالی هواشناسی در اثر کمبود بارندگی، خشکسالی کشاورزی در اثر کمبود رطوبت خاک و خشکسالی هیدرولوژیک به دلیل افت سطح آب در آبراه‌ها تعریف می‌شوند. پایش هم‌زمان این سه پدیده و آگاهی از تأثیرات متقابل آنها بر یکدیگر، تعیین دقیق خشکسالی را با مشکل مواجه می‌سازد.

پیش‌بینی خشکسالی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خسارات ناشی از آن در بخش‌های مختلف داشته باشد. پیش‌بینی این پدیده خزننده منوط به تعریف دقیق آن و نحوه مرتبط ساختن با پدیده‌های مؤثر بر آن در دوره‌های زمانی گذشته است. در این ارتباط، شاخص‌های متنوعی تعریف شده‌اند که به‌نظر می‌رسد تخمین‌های متفاوتی از خشکسالی داشته باشند (۲۱). از مهمترین شاخص‌های تعریف شده در تبیین خشکسالی می‌توان به شاخص خشکسالی پالمر (PDSI) و SPI اشاره نمود که شاخص دوم از طرف سازمان اقلیم جهانی به عنوان شاخص خشکسالی مرجع برای توصیف خشکسالی پذیرفته شده است (۱۶). وضعیت پوشش گیاهی و به تبع آن پایش خشکسالی در کشت‌های غیرآبیاری شونده، شامل مراتع و اراضی دیم، به شدت تحت تأثیر بارندگی است. روش‌های سنتی و متداول پایش خشکسالی بر مبنای شاخص‌های هواشناسی که از روی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست می‌آیند، استوار هستند. معمولاً ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های مذکور تعدادشان ناکافی است و یا پراکنش مناسبی در سطح منطقه

شاخص‌های گیاهی مورد استفاده

دو شاخص گیاهی NDVI و VCI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با دقت مکانی ۲۵۰ متر، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ و برای ماه‌های آبان هر سال تا اردیبهشت سال آینده به‌دست آمدند. سنجنده مودیس نصب شده بر روی ماهواره TERRA یکی از کامل‌ترین سنجنده‌های مستقر بر روی ماهواره‌های منابع طبیعی است که در آذر سال ۱۳۷۸ به فضا پرتاب شده است. قدرت تفکیک طیفی و زمانی مناسب، قدرت تفکیک رادیومتری بالا، کالیبراسیون دقیق در حین پرواز در ناحیه حرارتی، قدرت تفکیک‌های زمینی متنوع از جمله ویژگی‌های این سنجنده و انتخاب آن برای انجام این تحقیق بوده‌اند. آماده‌سازی تصاویر شامل اصلاحات اتمسفریک و زمین مرجع نمودن آنها در محیط نرم‌افزار ENVI نسخه ۴/۲ صورت پذیرفت. هدف اصلی از انجام این تحقیق، پایش خشکسالی در اراضی دیم و مراتع حوضه مورد مطالعه است، لذا ماه‌های آبان هر سال تا اردیبهشت سال آینده که عمده بارندگی‌های منطقه در این بازه رخ می‌دهد، انتخاب شدند. شاخص NDVI را می‌توان معیار غیرمستقیمی از فعالیت فتوسنتزیک پوشش گیاهی دانست که به وفور در مطالعات پایش خشکسالی به کمک تکنیک سنجش از راه دور استفاده شده است (۱۵). مقدار آن از صفر تا یک به ترتیب برای کمترین و بیشترین تراکم پوشش گیاهی و از صفر تا منهای یک برای سطوح آبی، ابر و برف تغییر می‌کند. شاخص VCI نیز از شاخص‌های مهم گیاهی است که می‌توان آن را به نوعی شاخص مقیاس شده NDVI دانست. این شاخص در بازه صفر تا یک متغیر است و بسته به مقدار آن، وضعیت خشکسالی کشاورزی تعریف می‌گردد. چنانچه مقدار این شاخص در بازه صفر تا ۰/۳۵، ۰/۳۵ تا ۰/۵ و بزرگتر از ۰/۵ باشد، به ترتیب وضعیت خشکسالی، نرمال و ترسالی اطلاق خواهد شد. مقادیر این دو شاخص از روابط زیر محاسبه می‌شوند (۱۹):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$VCI = \frac{NDVI - (NDVI)_{\min}}{(NDVI)_{\max} - (NDVI)_{\min}} \quad (2)$$

است (۱۹). میان شاخص VCI به‌دست آمده از تصاویر AVHRR و تولیدات کشاورزی در آمریکای جنوبی، آفریقا، شمال آمریکا، اروپا و آسیا همبستگی بالایی خصوصاً در دوره‌های بحرانی رشد برقرار است (۸). همچنین همبستگی بالایی میان شاخص VCI و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی نظیر SPI در ۱۸ فصل رشد در ۲۵۴ بخش از ایالت تگزاس کشور آمریکا گزارش شده است (۱۷).

هدف اول از انجام این تحقیق، بررسی روند تغییرات ماهانه و سالانه شاخص گیاهی NDVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با دقت مکانی ۲۵۰ متر در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ می‌باشد. بررسی و ارزیابی شاخص VCI به منظور پایش خشکسالی و ارتباط آن با بارندگی و شاخص SPI در بازه‌های زمانی یک تا ۱۲ ماهه، برای ماه‌های آبان هر سال تا اردیبهشت سال بعد، دومین هدف از انجام پژوهش حاضر است. استفاده از شاخص VCI می‌تواند خطاهای احتمالی ناشی از کاربرد NDVI را به حداقل برساند زیرا شاخص VCI حالت مقیاس شده‌ای از شاخص NDVI برای یک دوره بلندمدت محسوب می‌گردد (۱۹).

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز نیشابور در شرق حوضه آبریز کویر مرکزی و در استان خراسان رضوی واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۱۳° - ۵۸° تا ۳° - ۵۹° طول شرقی و ۴° - ۳۵° تا ۳۹° - ۳۶° عرض شمالی قرار دارد. در حوضه آبریز نیشابور حدود ۴۸ و ۲۰ درصد از کاربری اراضی به ترتیب به مراتع و اراضی دیم اختصاص یافته که گویای اهمیت این دو نوع پوشش خاص است. ضمناً قسمت عمده مراتع در بخش‌های کوهستانی و ارتفاعات واقع شده‌اند که فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی موردنیاز می‌باشند. در این حوضه، تنها یک ایستگاه سینوپتیک به ارتفاع ۱۲۱۳ متر در شهر نیشابور و یک ایستگاه کلیماتولوژی در ارتفاعات شمال شرقی حوضه (اریه) به ارتفاع ۱۵۲۰ متر وجود دارد. همچنین تعداد ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی و دو ایستگاه تپخیرسنجی فعال در حوضه موجود می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوضه در حدود ۲۶۰ میلی‌متر به‌دست آمده است.

ماه‌های آبان تا اردیبهشت در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ به دست آمدند (شکل ۱ - الف). روند تغییرات متوسط مقادیر این شاخص برحسب سال در شکل (۱ - ب) ارائه شده است. بیشترین مقادیر شاخص NDVI در طی این دوره ۱۰ ساله در ماه‌های فروردین و اردیبهشت رخ داده است (شکل ۱ - الف). این امر بدین دلیل است که بیشترین مقادیر بارندگی در طی بازه ۱۰ ساله مورد استفاده در این تحقیق در حد فاصل ماه‌های آبان و اردیبهشت رخ داده است. از طرف دیگر، همواره مقدار شاخص NDVI با یک تأخیر زمانی چند ماهه از میزان بارندگی تأثیر می‌پذیرد. این بدان معنی است که میزان شاخص NDVI در هر ماه تابعی از مقدار بارندگی همان ماه و ماه‌های قبل از آن می‌باشد (۳، ۴ و ۷). در شکل (۱ - ب) متوسط مقادیر شاخص NDVI در ماه‌های آبان تا اردیبهشت و برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ ارائه شده است. در این شکل نیز مقداری کاهش در شاخص NDVI در سال ۱۳۸۴ نسبت به سال‌های قبل و بعد از آن مشاهده می‌شود که باتوجه به مقادیر بارندگی در مجموع هفت ماه مورد بررسی در این تحقیق توجیه‌پذیر است. مجموع مقادیر بارندگی در این هفت ماه در طی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به ترتیب ۲۳۶، ۲۲۰ و ۲۷۷ میلی‌متر بوده است. قابل ذکر است که کاهش NDVI در سال ۱۳۸۴ نسبت به سال قبل و بعد از آن چشم‌گیر نیست به نحوی که نوسانات این شاخص در طی ۱۰ سال مذکور در کمترین و بیشترین مقادیر در حدود ۱۱ و ۱۸ درصد به ترتیب در پوشش مراتع و اراضی دیم می‌باشد.

در رابطه‌های فوق، NIR و RED به ترتیب طول موج امواج مادون قرمز و قرمز و $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار این شاخص برای دوره مورد مطالعه هستند که با استفاده از نرم‌افزار ENVI و از روی تصاویر مربوطه استخراج شده‌اند.

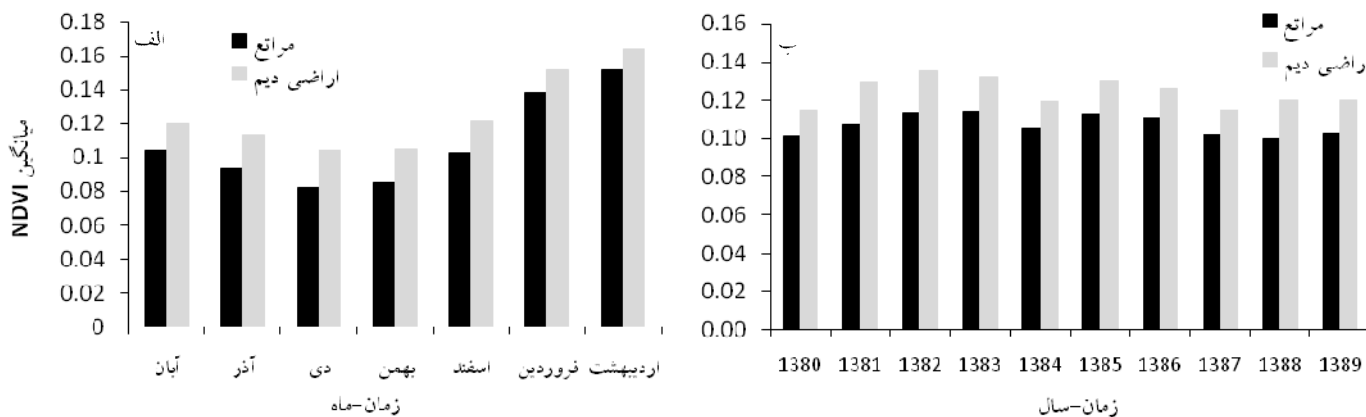
شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد جهت تعیین دوره‌های خشکسالی و ارزیابی شدت آن تعریف شده است. این شاخص در هر منطقه براساس آمار بارندگی‌های ثبت شده در یک دوره زمانی بلندمدت و براساس میانگین متحرک زمانی محاسبه می‌شود (۱). برای محاسبه این شاخص ابتدا یک توزیع آماری مناسب بر داده‌های بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود. برخی محققین تابع گاما را بهترین تابع برای برازش بر روی داده‌های بارندگی معرفی کرده‌اند (۱۱). سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از روابط احتمالاتی به متغیر تصادفی توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌گردد (۱ و ۱۰). در این تحقیق، از داده‌های بارندگی ایستگاه سینوپتیک نیشابور در بازه زمانی ۱۳۴۹ تا ۱۳۸۹ استفاده شده است.

نتایج و بحث

روند تغییرات پوشش گیاهی

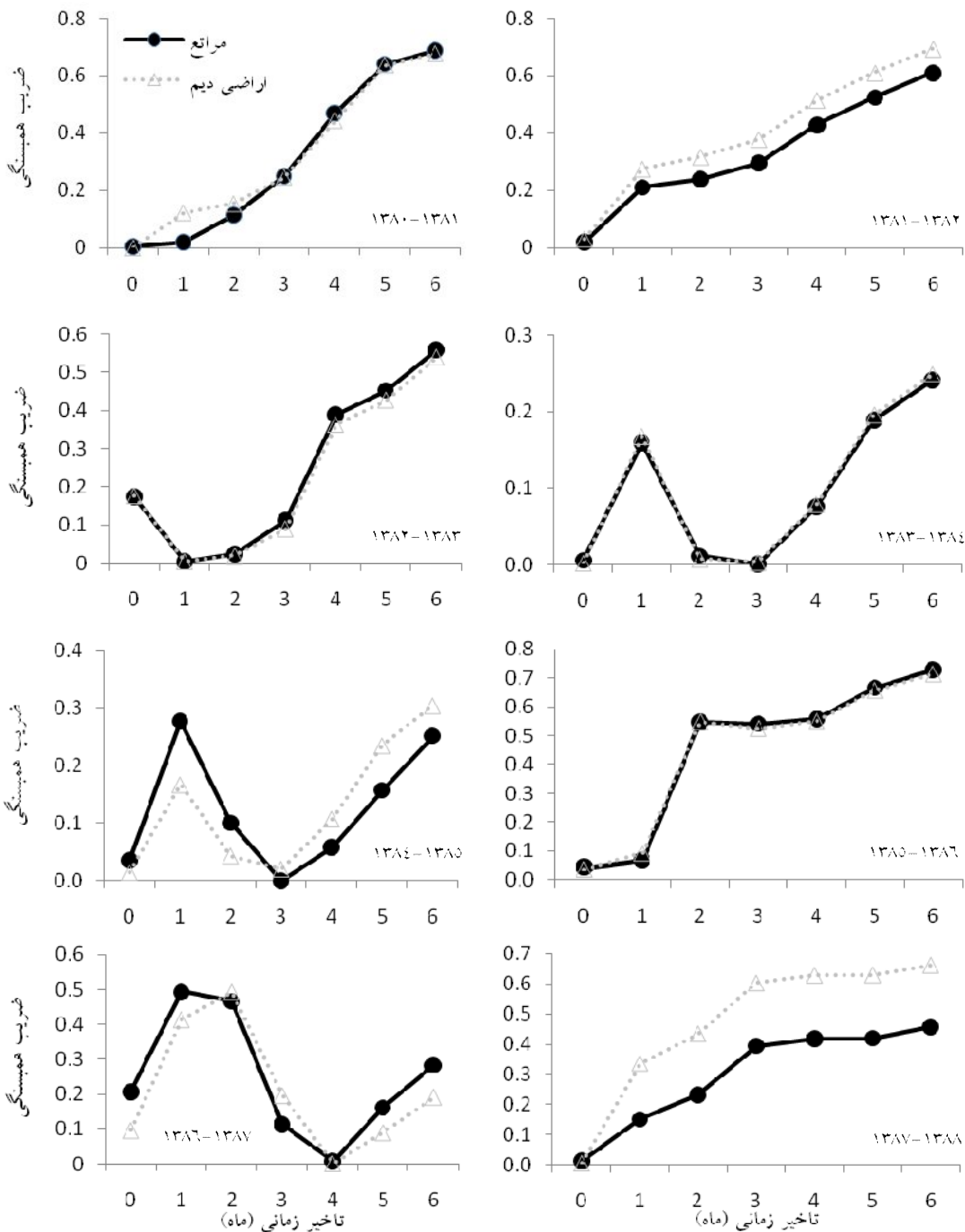
در ابتدا به منظور بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی، متوسط مقادیر شاخص NDVI در هفت ماه منتخب شامل



شکل ۱ - روند تغییرات متوسط شاخص NDVI برحسب ماه (الف) و سال‌های منتخب در این تحقیق (ب)

زمانی) تا هفت ماهه بارندگی بر روی این شاخص ارزیابی شده است (۳، ۴، ۷ و ۱۴). نتایج حاصل از ضرایب همبستگی میان بارندگی با تأخیرهای زمانی یک تا هفت ماهه، از آبان ماه هر سال تا اردیبهشت ماه سال بعد، بر روی شاخص NDVI در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۸ در شکل (۲) ارائه شده‌اند.

به منظور تعیین میزان تأثیرپذیری و تغییرات شاخص NDVI از بارندگی، ضریب همبستگی میان مقادیر این شاخص و بارندگی محاسبه شد. تحقیقات مختلف نشان داد که شاخص مذکور از بارندگی ماه‌های قبل هم تأثیرپذیر است، در این تحقیق نیز تأثیر تأخیرهای زمانی صفر (بدون تأخیر

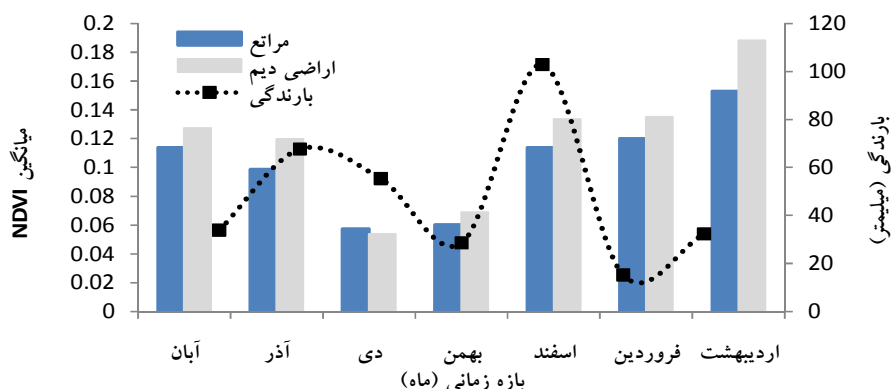


شکل ۲ - ضرایب همبستگی بین شاخص NDVI و میزان بارندگی با تأخیرهای زمانی صفر تا شش ماهه برای بازه زمانی سال‌های ۸۸-۱۳۸۰

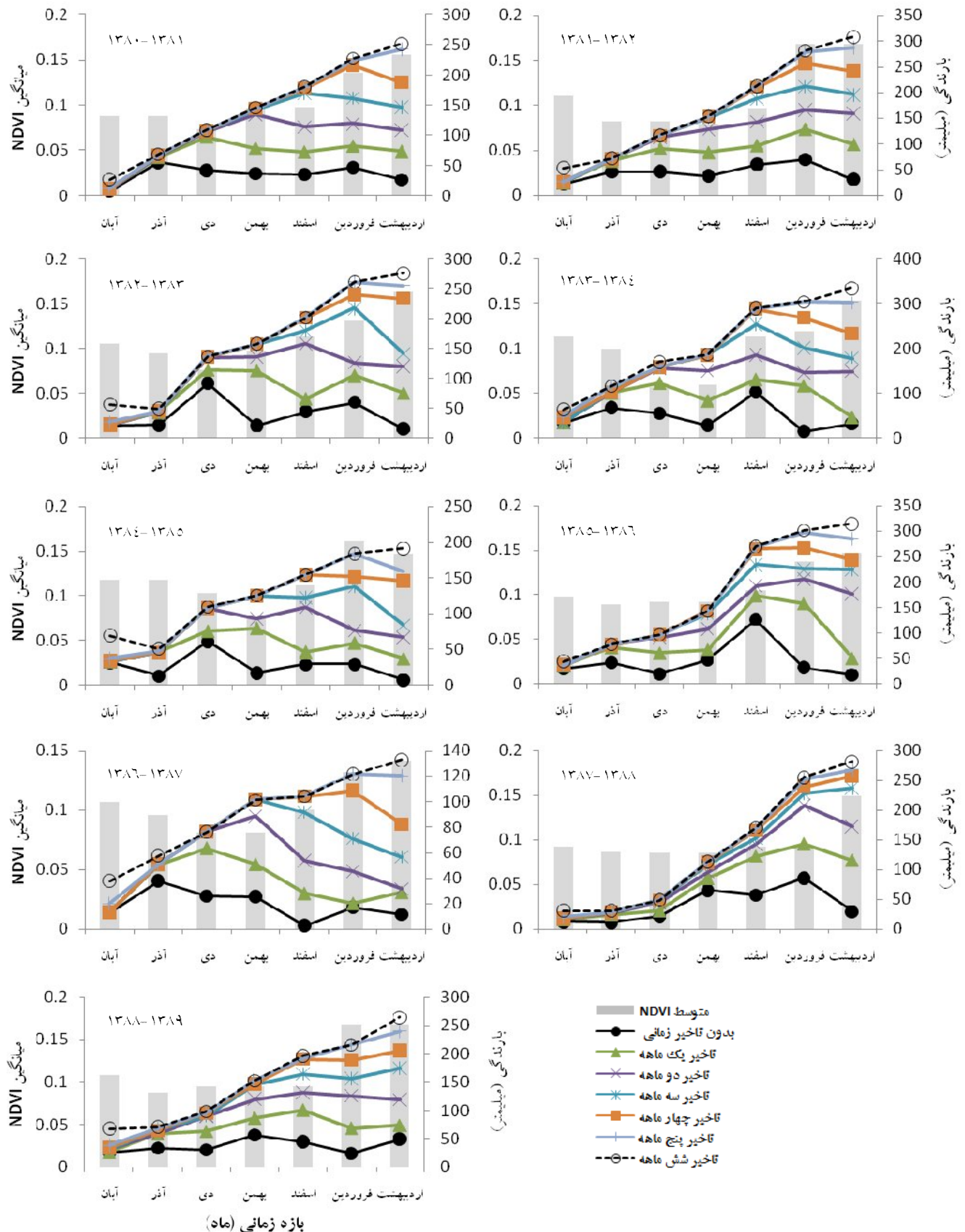
در اکثر سال‌ها بیشترین ضریب همبستگی میان شاخص NDVI و بارندگی با تأخیر زمانی شش ماهه حاصل شده است، اما بیشترین افزایش ضریب همبستگی از ماهی به ماه دیگر نیز حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال، در سال‌های ۱۳۸۱-۸۲، ۱۳۸۳-۸۴، ۱۳۸۴-۸۵، ۱۳۸۶-۸۷ و ۱۳۸۷-۸۸ بیشترین افزایش ضریب همبستگی میان شاخص NDVI و بارندگی، از تبدیل بارندگی با تأخیر یک‌ماهه به بارندگی با تأخیر دو‌ماهه صورت پذیرفته است. این بدان معنی است که پوشش گیاهی در هر ماه بیشترین تأثیر را از بارندگی در ماه قبل می‌پذیرد، اگرچه که ممکن است تأثیر مذکور بالاترین مقدار نباشد.

ارتباط میان شاخص NDVI در مراتع و بارندگی‌های تجمعی با تأخیرهای زمانی صفر تا شش‌ماهه، در ماه‌های آبان هر سال تا اردیبهشت سال بعد، در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ در شکل (۴) نشان داده شده است. روند تغییرات شاخص NDVI به‌نحوی است که عموماً ابتدا حالت نزولی داشته و سپس افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دلیل این امر می‌تواند شدت پراکنش بارندگی‌ها از نقطه‌نظر زمانی، در محدوده مورد مطالعه و طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ در حد فاصل ماه‌های آبان تا اردیبهشت می‌باشد. از طرف دیگر، پوشش گیاهی و به تبع آن، شاخص NDVI همواره با یک تأخیر زمانی از بارندگی تأثیر می‌پذیرد که این تأخیر زمانی بسته به اقلیم منطقه، وضعیت خاک و نوع پوشش گیاهی می‌تواند از مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت (یک ماه) تا بلندمدت (۱۲ ماه و حتی بیشتر) تغییر نماید (۳، ۷، ۹ و ۱۶).

بیشترین ضریب همبستگی میان شاخص NDVI و بارندگی در ماه‌های آبان تا اردیبهشت، برای تأخیر زمانی شش ماهه به‌غیر از سال ۱۳۸۶-۸۷ به‌دست آمده است (شکل ۲). به عبارتی به‌غیر از سال مذکور، میان شاخص NDVI در هر یک از ماه‌های هفتگانه مذکور و بارندگی تجمعی در همان ماه و شش ماه قبلش بیشترین ضرایب همبستگی به‌دست آمده است. بیشترین ضریب همبستگی میان شاخص NDVI و بارندگی در مراتع و اراضی دیم به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۷۱ به‌دست آمده‌اند (سطح معنی‌داری یک درصد). در تحقیقی مشابه در کشور آرژانتین، روابط رگرسیونی میان شاخص NDVI و بارندگی با تأخیرهای زمانی یک، دو و سه ماهه برقرار شده است که بالاترین ضریب همبستگی ارائه شده ۰/۶۸ و برای تأخیر زمانی سه ماهه بوده است (۴). باتوجه به داده‌های شکل (۲)، پایین بودن ضرایب همبستگی به‌خصوص در مورد بارندگی‌هایی با تأخیر زمانی کوتاه‌تر است (شکل ۲). یکی از دلایل این امر، نوسانات پی‌درپی میزان بارندگی و عدم هم‌خوانی پیوسته آهنگ تغییرات شاخص NDVI و بارندگی دانست که به دلیل متأثر بودن شاخص NDVI از بارندگی‌های ماه‌های قبل، این خصیصه در بارندگی‌هایی با تأخیر زمانی کمتر، می‌باشد. این امر مبین تغییرات شاخص NDVI و میزان بارندگی در سال ۱۳۸۳-۸۴ (ماه‌های آبان و آذر سال ۱۳۸۳ و ماه‌های دی تا اردیبهشت ۱۳۸۴) در هر دو پوشش مراتع و اراضی دیم است، نشان داده شده است (شکل ۳). دلیل انتخاب این سال نیز مقادیر پایین ضرایب همبستگی میان شاخص NDVI و بارندگی است. نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، آن است که گرچه



شکل ۳ - تغییرات شاخص NDVI در مراتع، اراضی دیم و بارندگی در ماه‌های آبان تا اردیبهشت بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۳-۸۴



شکل ۴ - رابطه میان NDVI و بارندگی‌های بدون تأخیر تا شش ماه تأخیر زمانی در ماه‌های آبان تا اردیبهشت در مراغه

ماهه از بارندگی محاسبه می‌شود (۱۴). همچنین در این تحقیق شاخص مذکور در پنج سری زمانی، یک، سه، شش، نه و ۱۲ ماهه محاسبه شده است. ضرایب همبستگی نیز میان شاخص SPI در بازه‌های زمانی متفاوت با شاخص VCI به‌دست آمد (جدول ۱).

برای بررسی و پایش خشکسالی در منطقه مورد مطالعه همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، از شاخص‌های SPI و VCI استفاده شده است. برتری استفاده از این دو شاخص در آنست که می‌توان خشکسالی هواشناسی و کشاورزی را توأم ارزیابی نمود. شاخص SPI معمولاً در تأخیرهای زمانی چند

جدول ۱ - ضرایب همبستگی ($p \text{ value} < 0.001$) میان شاخص SPI و VCI در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۸۹

سال	SPI یک ماهه		SPI سه ماهه		SPI شش ماهه		SPI نه ماهه		SPI ۱۲ ماهه	
	دیم	مراع	دیم	مراع	دیم	مراع	دیم	مراع	دیم	مراع
۱۳۸۰-۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۷۱
۱۳۸۱-۸۲	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۷۳	۰/۷۲	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۷۳	۰/۷۸
۱۳۸۲-۸۳	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۰/۴	۰/۳۵	۰/۳۲
۱۳۸۳-۸۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰	۰/۰۰۲	۰/۱۵	۰/۲
۱۳۸۴-۸۵	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۲۷
۱۳۸۵-۸۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۶۳	۰/۶۴
۱۳۸۶-۸۷	۰/۰۴	۰	۰/۸	۰/۶۳	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۶۸	۰/۴۹
۱۳۸۷-۸۸	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۳	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۶۴
۱۳۸۸-۸۹	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۸۳	۰/۷۵

بررسی وضعیت خشکسالی

کلاس‌بندی خشکسالی در مقیاس ماهانه برای بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ و براساس شاخص‌های SPI و VCI به‌ترتیب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان داده شده است. در شکل (۵) مقادیر شاخص SPI به‌دست آمده در بازه‌های زمانی یک تا ۱۲ ماهه و کلاس‌بندی خشکسالی براساس مقادیر این شاخص نشان داده شده است. در اکثر ماه‌ها از نقطه‌نظر خشکسالی هواشناسی با وضعیت نرمال روبرو هستیم. نوسانات موجود در این شکل که مبین گذر از یک کلاس خشکسالی به کلاس دیگری از خشکسالی است، با افزایش بازه زمانی SPI کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که در مورد SPI ۱۲ ماهه با کمترین تغییر کلاس خشکسالی روبرو هستیم. دلیل این امر آن است که شاخص SPI مستقیماً از روی داده‌های بارندگی به‌دست می‌آید. از آنجا که توزیع بارندگی در ماه‌های منتخب در منطقه مورد مطالعه دارای نوسانات نسبتاً

نتایج نشان داد که در بیشتر سال‌ها، بالاترین ضریب همبستگی میان شاخص VCI و SPI در بازه زمانی ۱۲ ماهه برقرار شده است. با این‌حال بیشترین درصد افزایش در ضریب همبستگی از سالی به سال دیگر متفاوت بوده است. به‌عنوان مثال، بیشترین افزایش ضریب همبستگی در سال‌های ۱۳۸۲-۸۳ و ۱۳۸۶-۸۷ به ترتیب در افزایش بازه زمانی SPI از شش به نه و یک به سه ماه رخ داده است. در تحقیقی مشابه ضریب همبستگی میان SPI و NDVI در سه بازه زمانی یک، سه و شش ماهه مورد بررسی قرار گرفته و بیشترین مقدار ضریب همبستگی (۰/۶۶) برای بازه زمانی شش ماهه گزارش شده است (۳). در تحقیقی دیگر در کشور آمریکا کمترین ضرایب همبستگی میان SPI و NDVI در بازه‌های یک، دو، سه و شش ماه به‌ترتیب -۰/۰۴، ۰/۰۲، ۰/۰۱ و ۰/۰۷- و بیشترین ضرایب همبستگی ۰/۶۳، ۰/۷۶، ۰/۸۵ و ۰/۸۲ گزارش شده است (۷).

که جداکننده شرایط خشکسالی (VCI کمتر از ۰/۳۵)، نرمال (VCI بین ۰/۳۵ تا ۰/۵) و ترسالی (VCI بزرگتر از ۰/۵) است به صورت خط‌چین مشخص شده است. مقادیر به‌دست آمده برای شاخص VCI در تمامی سال‌ها و ماه‌های آبان تا اردیبهشت کمتر از ۰/۳۵ بوده است که باتوجه به تعریف انجام شده برای این شاخص در تمامی ایام با وضعیت خشکسالی مواجه هستیم، اگرچه که شدت خشکسالی در ماه‌های مختلف، متغیر بوده و در تأیید نتایج به‌دست آمده قبلی، در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که ماه‌های بلافاصله پس از ماه‌های پرباران (آبان تا اسفند) هستند، از شدت خشکسالی کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، روند تغییرات شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در ماه‌های آبان تا اردیبهشت سال‌های ۸۹-۱۳۸۰ در کشت مرتع و اراضی دیم حوضه آبریز نیشابور بررسی شده است. تحلیل همبستگی میان بارندگی و شاخص مذکور نشان داد که تأخیرهای زمانی در مورد بارندگی بر روی مقادیر این شاخص اثرگذار است و بیشترین تأثیر در تأخیر زمانی شش ماهه مشاهده شد، اگرچه بیشترین افزایش ضریب همبستگی در گذر از تأخیر یک ماهه به دو ماهه دیده شد. پایش خشکسالی هواشناسی و کشاورزی منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب از طریق شاخص‌های SPI و VCI صورت پذیرفت که نتایجی نسبتاً متفاوت به‌دست آمد. نتایج نشان داد که وضعیت غالب منطقه از نقطه‌نظر خشکسالی هواشناسی و کشاورزی به‌ترتیب در کلاس نرمال و خشکسالی جای گرفته است. باتوجه به نتایج پژوهش حاضر، تحقیقات بیشتر در مورد تأثیر عواملی نظیر ارتفاع، توپوگرافی، درجه حرارت، اقلیم، نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، وضعیت نگهداشت رطوبتی خاک، باران مؤثر و شاخص‌های منتخب در بخش سنجش از راه دور در زمینه تعیین دقیق شدت خشکسالی و همچنین درک بهتر از پایش توأم خشکسالی هواشناسی و کشاورزی پیشنهاد می‌گردد. شاخص SPI که به صورت گسترده در مطالعات پایش خشکسالی به‌کار می‌رود، صرفاً بر داده‌های بارندگی استوار است و شاخص VCI نیز با این

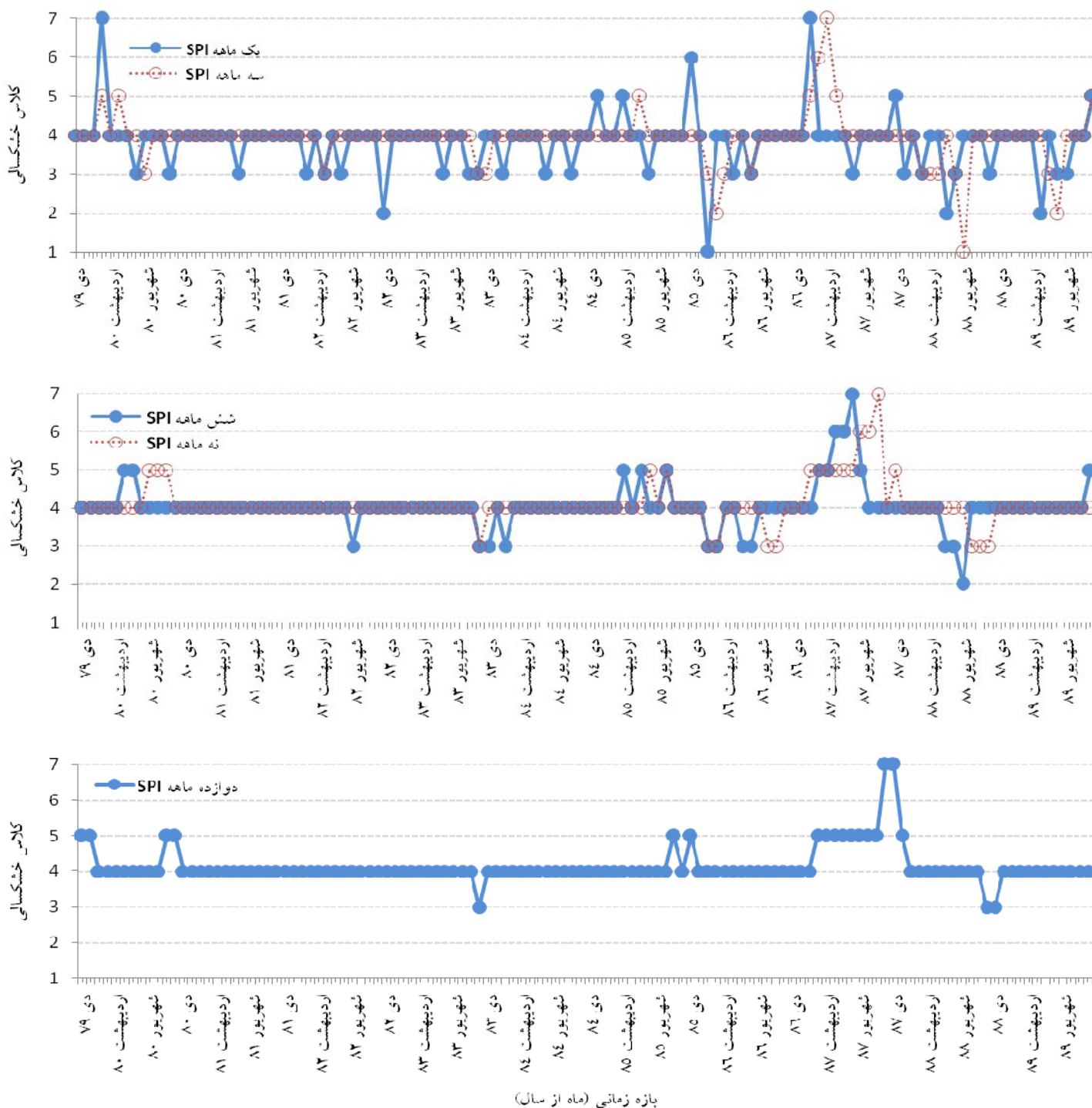
زیادی است، نمود این نوسانات در شاخص SPI نیز مشاهده می‌شود اما با افزایش بازه زمانی تأثیر آن کمتر می‌شود.

همچنین نتایج این شکل نشان می‌دهد که تغییرات شدید کلاس خشکسالی، به‌عنوان مثال، تغییر بیشتر از یک کلاس خشکسالی، در مورد SPI با بازه زمانی کوتاه‌تر، بیشتر به وقوع می‌پیوندد. نتایج این بخش تا حدودی مشابه نتایج گزارش شده دیگر تحقیقات می‌باشد (۱۴). البته نتایج مذکور تنها براساس شاخص SPI استوار است و تا حدودی با نتایج به‌دست آمده که کلاس‌بندی خشکسالی را براساس وضعیت پوشش گیاهی در سطح زمین تعیین می‌کند و نمودی از خشکسالی کشاورزی است، متفاوت می‌باشد (شکل ۶). در توضیح مطلب اخیر، ذکر این نکته ضروری است که عامل تأثیرگذار و تعیین‌کننده شرایط شدت خشکسالی در دو بخش هواشناسی و کشاورزی به ترتیب بارندگی و پوشش گیاهی هستند که اگرچه پوشش گیاهی از بارندگی تأثیر می‌پذیرد، اما میزان تأثیرپذیری و زمان تأثیرپذیری آن منجر به تفاوت کلاس‌بندی خشکسالی در این دو بخش می‌گردد. به عبارت دیگر، اگرچه وقوع بارندگی‌های با مقدار زیاد ممکن است منطقه‌ای را از نقطه‌نظر هواشناسی که SPI می‌تواند معرف آن باشد در وضعیت نرمال یا حتی مرطوب قرار دهد که البته خود آن نیز بسته به نوع تابع برازش داده شده به داده‌های بلندمدت بارندگی و بازه زمانی SPI دارد، اما این مطلب که بارندگی رخ داده در چه زمان و به چه میزان در دسترس پوشش گیاهی قرار گیرد، می‌تواند کلاس متفاوتی از خشکسالی در بخش کشاورزی که VCI می‌تواند معرفی از آن باشد، به همراه داشته باشد. البته در این خصوص بحث در مورد تأثیر عواملی چون ارتفاع منطقه، درجه حرارت، اقلیم کلی منطقه، نوع پوشش گیاهی، نوع خاک، توپوگرافی منطقه، باران مؤثر و شاخص‌های منتخب برای بیان وضعیت خشکسالی هواشناسی و کشاورزی بسیار مهم و ضروری به‌نظر می‌رسند که لازم است تحقیقات آتی بر روی آنها متمرکز شوند. شاید پیچیدگی در تأثیرات متقابل موارد مذکور بر روی یکدیگر است که تعیین دقیق وضعیت خشکسالی در یک منطقه را مشکل می‌سازد (۱۶).

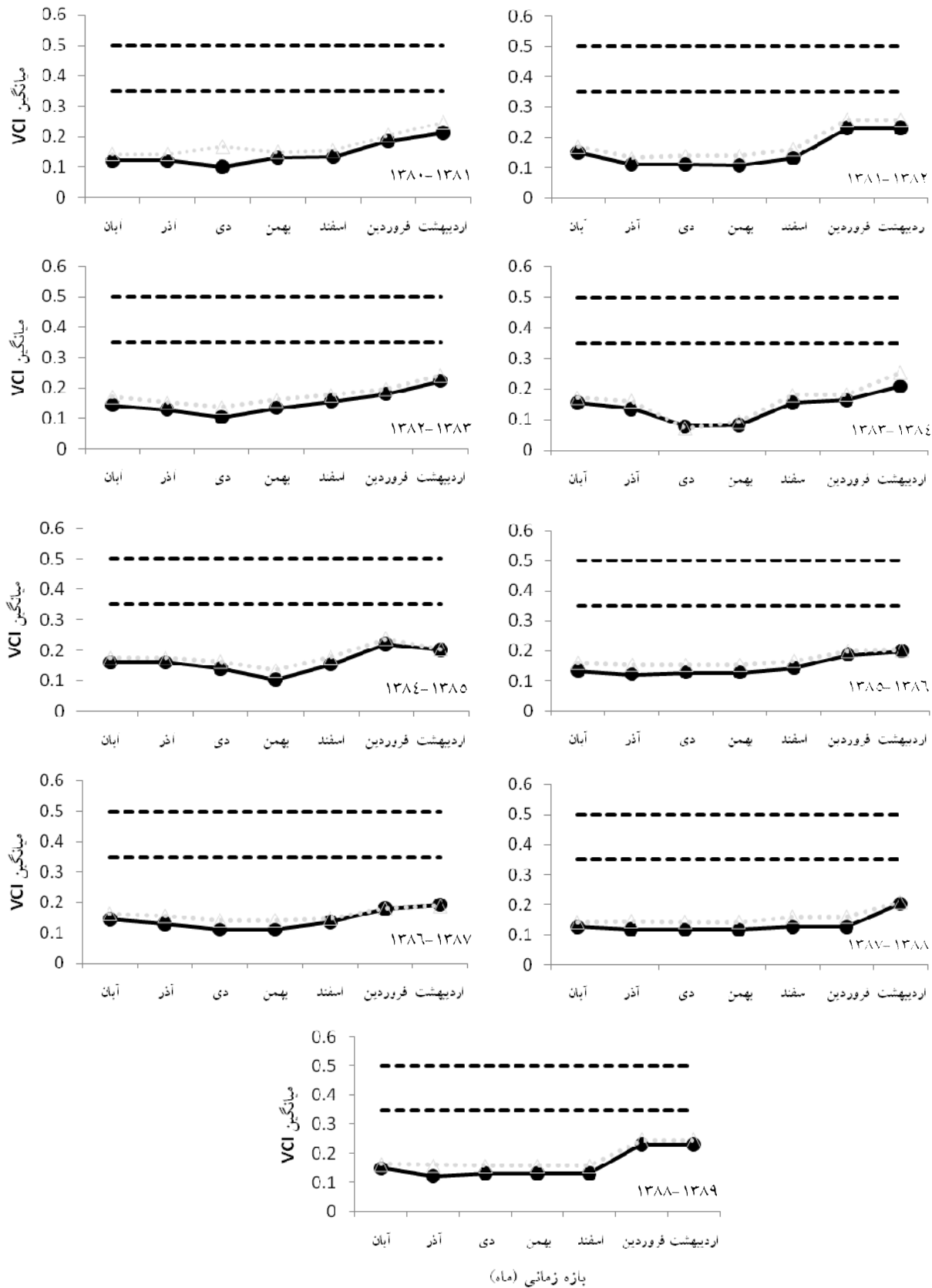
در شکل (۶) مقادیر مرزی شاخص VCI (۰/۳۵ و ۰/۵)،

در پایش خشکسالی را منوط به ارزیابی بیشتر و دقیق تر در اقلیم های متنوع می سازد.

محدودیت مواجه است که مقادیر فراوانی از این شاخص در یک کلاس خشکسالی قرار می گیرند که کاربرد این شاخص



شکل ۵ - کلاس بندی خشکسالی در مقیاس ماهانه برای سال های ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸، براساس تعریف مک کی و همکاران (۱۹۹۵) و برای SPI های یک تا ۱۲ ماهه، کلاس ۱ (ترسالی بسیار شدید)، ۲ (ترسالی شدید)، ۳ (نسبتاً ترسالی)، ۴ (نرمال)، ۵ (نسبتاً خشکسالی)، ۶ (خشکسالی شدید) و ۷ (خشکسالی بسیار شدید)



شکل ۶ - مقادیر محاسبه شده شاخص VCI برای مراتع (دوایر پر) و اراضی دیم (مثلث توخالی، نقطه‌چین) در حد فاصل سال‌های ۸۹-۱۳۸۰ مقادیر مرزی این شاخص (خط‌چین)

منابع مورد استفاده

- ۱ . عیوضی م.، مساعدی ا. و دهقانی ا. ا (۱۳۸۸) مقایسه روش‌های مختلف پیش‌بینی شاخص خشکسالی SPI. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۶(۲): ۱۶۷-۱۴۵.
- 2 . Boegh E and Soegaard H (2004) Remote sensing based estimation of evapotranspiration rates. *International Journal of Remote Sensing*. 25: 2535-2551.
- 3 . Caccamo J, Chisholm LA, Bradstock RA and Puotinen ML (2011) Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing Environment*. 115: 2626-2639.
- 4 . Fabricante I, Oesterheld M and Paruelo JM (2009) Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Arid Environments*. 73: 745-753.
- 5 . Heim RR (2002) A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83: 1149-1165.
- 6 . Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez EP, Gao X and Ferreira LG (2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83: 195-213.
- 7 . Ji L and Peters AJ (2003) Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*. 87: 85-98.
- 8 . Kogan FN (1990) Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Remote Sensing of Environment*. 11: 1405-1419.
- 9 . Li Z, Li X, Wei D, Xu X and Wang H (2010) An assessment of correlation on MODIS-NDVI and EVI with natural vegetation coverage in Northern Hebei Province, China. *Procedia Environmental Sciences*. 2: 964-969.
- 10 . Lloyd-Hughes B and Saunders MA (2002) A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*. 22: 1571-1592.
- 11 . McVicar TR, Van Niel TG, Li LT, Hutchinson MF, Mu XM and Liu ZH (2007) Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. *Hydrology*. 338: 196-220.
- 12 . Mildrexler DJ, Zhao MS and Running SW (2009) Testing a MODIS global disturbance index across North America. *Remote Sensing of Environment*. 113: 2103-2117.
- 13 . Montandon LM and Small EE (2008) The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*. 112: 1835-1845.
- 14 . Moreira EE, Coelho CA, Paulo AA, Pereira LS and Mexia JT (2008) SPI-based drought category prediction using loglinear models. *Hydrology*. 354: 116-130.
- 15 . Onema JM and Taigbenu A (2009) NDVI-rainfall relationship in the Semliki watershed of the equatorial Nile. *Physics and Chemistry of the Earth*. 34: 711-721.
- 16 . Potop V, Mozny M and Soukup J (2012) Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 156: 121-133.
- 17 . Quiring SM and Ganesh S (2010) Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150: 330-339.
- 18 . Reynolds MK, Comiso JC, Walker DA and Verbyla D (2008) Relationship between satellite-derived land surface temperatures, arctic vegetation types, and

- NDVI. Remote Sensing of Environment. 112: 1884-1894.
- 19 . Shahabfar A, Ghulam A and Eitzinger J (2012) Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 18: 119-127.
- 20 . Tucker CJ and Choudhury BJ (1987) Satellite remote sensing of drought conditions. Remote Sensing of Environment. 23: 243-251.
- 21 . Wang Q, Adiku S, Tenhunen J and Granier A (2005) On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. Remote Sensing of Environment. 94: 244-255.

Drought monitoring in unirrigated lands based on the remote sensing technique

R. Moazzenzadeh ^{1*}, S. Arshad ², B. Ghahraman ³ and K. Davari ⁴

(E-mail: moazzenzadeh.r@gmail.com)

(Received: 5 August 2012, Accepted: 9 March 2013)

Abstract

Regional vegetation plays an important role in modeling ecosystem changes and conservation. Meteorological drought indices which are directly obtained from such meteorological data as precipitation can't be useful in drought monitoring if those data are absence. Therefore, remote sensing techniques may provide an efficient technique for drought monitoring. In this study, the values of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) changes was investigated in the pasture and rainfed lands of Neishabour watershed during November to May, 2001 to 2010 using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellite images. In order to practice a more precise drought monitoring, standardized precipitation (SPI) and vegetation indexes (VCI) were also computed and drought class determined based on both values. The results showed that the highest correlation coefficients between NDVI and precipitation were obtained for 6-months time step; however the highest increment in correlation coefficients were as transition from one to two month(s) precipitation (increment from 0.068 to 0.547). The lowest and highest mentioned correlation coefficients during 2001 to 2010 were achieved as zero and 0.73 for pastures, zero and 0.71 for rainfeds, respectively. Comparison of SPI and VCI results as for drought classing showed that SPI index cannot exactly describe agricultural drought conditions perfectly. The lowest and highest correlation coefficients between VCI and SPI with time series of 1, 3, 6, 9 and 12 months were obtained as (0-0.23), (0.04-0.8), (0.001-0.66), (0-0.57) and (0.15-0.83), respectively. Analysis of the correlation coefficients between SPI and VCI showed that its lowest value (0.001) was happened for monthly SPI.

Keywords: Agricultural drought, Drought indices, Neishabour, Satellite images, Standardized precipitation

1 - Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad - Iran

(Corresponding Author *)

2 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht - Iran

3 - Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad - Iran

4 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad - Iran