

بررسی استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی وضعیت خشک‌سالی کشاورزی (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)

سمیرا نوری^۱، سید حسین ثنائی‌نژاد^{۲*}، کامران داوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۴

چکیده

خشک‌سالی پدیده‌ای تدریجی، گسترده و در مقیاس وسیع ویرانگر است. گستردگی مکانی و طولانی مدت بودن این پدیده، بررسی توزیع مکانی و زمانی آن را نسبت به وقایعی مانند سیل با اهمیت‌تر می‌کند. در پژوهش پیش رو سعی بر این است تا شرایط خشک‌سالی استان خراسان شمالی با مطالعه نتایج شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، EVI و شاخص رطوبت گیاه و خاک NDWI در دو سال خشک (۱۳۸۰-۱۳۷۹) و نرمال (۱۳۸۵-۱۳۸۶) مورد مطالعه قرار گیرد. به منظور برآورد شاخص‌های مذکور از تصاویر ماهواره‌ای سطح ۳ سنجنده مودیس مستقر بر روی ماهواره ترا استفاده شد. نتایج همبستگی شاخص‌ها با ۷ الگوی مختلف بارش تجمعی نشان داد که در میان سه شاخص استفاده شده، شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه با مقادیر همبستگی معنی‌دار بیش‌تر با الگوهای بارش تجمعی، بهتر از دو شاخص دیگر عمل کرده است. با توجه به تصحیحات اتمسفری اعمال شده بر روی تصاویر، برخلاف انتظار شاخص EVI نسبت به NDVI همبستگی به نسبت کم‌تری با مقادیر بارش از خود نشان داد. شاخص NDWI نیز با مقدار همبستگی معنی‌دار کم‌تر با الگوهای بارش تجمعی، با اختلاف زیادی در جایگاه سوم قرار گرفت. همچنین نتایج نشان داد میزان همبستگی شاخص‌ها با بارش‌های تجمعی ۳۰ روز طی ۹۰ روز فصل رشد در استان خراسان شمالی، بیش‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خراسان شمالی، خشک‌سالی کشاورزی، NDVI، EVI، NDWI

(al., 2011; Zhang et al., 2017)

مقدمه

گو و همکاران (Gu et al. 2007) از شاخص‌های NDVI^۴ و NDWI^۵ برای بررسی خشک‌سالی در منطقه‌ای با پوشش گیاهی علف‌زار در آمریکا استفاده نمودند. طبق نتایج ایشان شاخص NDWI نسبت به شاخص NDVI پاسخ سریع‌تری به خشک‌سالی نشان داد و بنابراین شاخص حساس‌تر به شرایط خشک‌سالی است. وان و همکاران (Wan et al., 2004) با استفاده از شاخص شرایط دمایی گیاهی (VTCI)^۶ و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس شرایط خشکی در آمریکا را پایش نمودند و نتایج را با داده‌های بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های این منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. آنالیز همبستگی بین شاخص VTCI، مقادیر تجمعی بارش ماهانه و انحراف از بارش ماهانه نرمال نشان داد که شاخص مذکور نه تنها همبستگی نزدیکی با وقایع بارندگی اخیر دارد بلکه با مقادیر بارش در گذشته نیز همبسته است. گائو و همکاران (Gao et al., 2011) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، مقادیر دمای

خشک‌سالی‌ها از دیرباز تاکنون مناطق وسیعی از جهان را تحت-تأثیر خود قرار داده و خواهند داد. با توجه به خسارت‌های گسترده و عظیم خشک‌سالی، پایش و بررسی توزیع زمانی و مکانی آن به منظور اتخاذ و اجرای تصمیم‌های مدیریتی مناسب در زمینه مدیریت ریسک و بحران از اهمیت به سزایی برخوردار است.

تاکنون روش‌های زیادی اعم از نقطه‌ای (در محل ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی) و نقشه‌های توزیع مکانی (با استفاده از روش‌های زمین آمار و روش‌های مبتنی بر سنجش از دور) به منظور ارزیابی انواع خشک‌سالی ارایه شده است. خشک‌سالی کشاورزی نیز از این مقوله جدا نبوده و محققین بسیاری در سرتاسر جهان تلاش‌های فراوانی در این زمینه نموده‌اند (Shakya et al., 2006; Zhong et

۱ - دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ - دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳ - استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

sanaei@um.ac.ir

* نویسنده مسئول:

4 - Normalized Difference Vegetation Index

5 - Normalized Difference Water Index

6 - Vegetation Temperature Condition Index

از آنجا که در پژوهش‌های صورت گرفته در ایران به‌طور عمده از شاخص NDVI بدون اعمال تصحیحات اتمسفری استفاده شده (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰) و همین عامل باعث عملکرد ضعیف این شاخص علی‌رغم نتایج جهانی آن است، در این پژوهش سعی بر این است تا با استفاده از تصاویر دارای تصحیح اتمسفری، کارایی سه شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص گیاهی EVI و شاخص رطوبت گیاهی NDWI در زمینه بررسی وضعیت و تهیه نقشه خشک‌سالی در استان خراسان شمالی ارزیابی شود. از طرفی تولید هرگونه شاخص ترکیبی مانند VTCI برای پایش منطقه‌ای خشک-سالی مستلزم شناخت و ارزیابی شاخص‌های پایه مانند NDVI، NDWI و EVI است، بنابراین ارزیابی این شاخص‌ها به منظور پژوهش‌های اصولی در آینده ضروری می‌باشد.

همچنین از آنجا که شاخص NDVI دارای محدودیت‌هایی است از جمله (۱) زود اشباع شدن و عدم توانایی تفکیک مقادیر مترکم پوشش گیاهی، (۲) تحت تاثیر شرایط جوی بودن به‌خصوص زمانی که تصحیحات اتمسفری بر روی آن اعمال نشود (۳) تحت تاثیر خاک پس زمینه بودن (Yuan et al., 2007)، از این رو سعی شده است تا امکان جایگزینی شاخص پوشش گیاهی EVI به جای شاخص پوشش گیاهی NDVI به منظور پایش خشک‌سالی در منطقه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش استان خراسان شمالی است که در شمال شرق ایران با مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه الی ۵۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه الی ۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). میزان متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۳۰ میلی‌متر است. ارتفاع منطقه از ۴۰۰ متر تا ۳۱۰۰ متر با متوسط ارتفاع ۱۳۲۶ متر در منطقه تغییر می‌کند. اقلیم استان نیز طبق روش دومارتن نیمه‌خشک تا خشک می‌باشد. حدود ۱۲٪ مساحت استان را اراضی کشاورزی تشکیل داده است که از این مقدار ۳۵٪ اراضی آبی، ۵۲٪ اراضی دیم و ۱۳٪ اراضی باغی می‌باشد. (سیمای کشاورزی خراسان شمالی، ۱۳۹۴).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های استفاده شده در این تحقیق، شامل دو گروه داده‌های هواشناسی و داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد

سطح زمین (LST)^۱ و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) را در مقابل هم رسم نمودند. نتایج مقایسه شده با مقادیر بارش نشان داد که شاخص خشکی دمایی- گیاهی (TVDI) توانسته است به خوبی شرایط خشکی و کمبود بارش را نشان دهد. یوان و همکاران (Yuan et al., 2007) با استفاده از محصول LST و شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده EVI^۲ به جای شاخص گیاهی NDVI، مقادیر شاخص خشکی دما- گیاه اصلاح شده (MTVDI)^۳ را محاسبه نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص MTVDI بهتر از شاخص TVDI، که در فرمولاسیون آن شاخص NDVI استفاده می‌شود، می‌تواند خشک‌سالی را پایش کند. لیون و همکاران (Leeuwen et al., 2013) از سری زمانی شاخص NDVI به دست آمده از تصاویر AVHRR برای ارزیابی شرایط خشک‌سالی استفاده کردند. ایشان همچنین تلاش نمودند تا با استفاده از سری زمانی داده‌های شاخص انسو خشک‌سالی را در آمریکای جنوبی پایش‌بینی کنند.

در ایران نیز تلاش‌هایی صورت گرفته است که عمدتاً به صورت ارزیابی‌های نقطه‌ای بوده و در مواردی نیز با استفاده از روش‌های زمین آمار به نقشه‌های توزیع مکانی تبدیل شده است (انصاری و داوری، ۱۳۸۹؛ امیدی و همکاران، ۱۳۹۲). کوشش‌هایی نیز در رابطه با روش‌های مبتنی بر سنجش از دور شده که در اکثر آن‌ها از شاخص‌های NDVI و SAVI^۴ استفاده شده است.

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۱) از شاخص پوشش گیاهی NDVI به دست آمده از تصاویر مودیس و شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI^۵ که با استفاده از داده‌های بارندگی TRMM به دست آمده است، نقشه خطر خشک‌سالی استان فارس را تهیه نمودند. یزدان پناه و همکاران (۱۳۹۱) از شاخص NDVI و SPI ۱۲ ماهه به‌منظور بررسی وضعیت خشک‌سالی در خوزستان استفاده نمودند. میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) نیز تحقیق مشابهی با استفاده از این دو شاخص در استان کردستان انجام داده‌اند. در مطالعه‌ای که توسط پرویز و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد کارایی شاخص‌های NDVI، SAVI و همچنین NDWI در حوضه آبریز سفیدرود با استفاده از تصاویر مودیس مورد بررسی قرار گرفت. ایشان دریافتند شاخص SAVI نسبت به شاخص NDVI در تعیین شاخص سطح برگ از خطای کم-تری برخوردار است. همچنین شاخص‌های NDVI و NDWI با یک ماه تاخیر نسبت به بارندگی شرایط خشک‌سالی منطقه را نشان می‌دهند.

- 1 - Land Surface Temperature
- 2 - Enhanced Vegetation Index
- 3 - Modified Temperature-Vegetation Dryness Index
- 4 - Soil-Adjusted Vegetation Index
- 5 - Standardized Precipitation Index

نزدیک) و ρ_2 انعکاس طیفی باند ۲ مودیس (باند قرمز) می‌باشد. با وجود استفاده گسترده از شاخص NDVI در مطالعات پیرامون گیاه، این شاخص نیز در شرایطی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: (۱) این شاخص در مناطقی که با پوشش گیاهی کم‌تر پوشیده شده است، تحت تاثیر خاک پس زمینه می‌باشد. (۲) وجود آئروسول‌ها در هوا روی باند قرمز اثرگذار است بنابراین باید قبل از استفاده، تصحیح اتمسفری انجام شود. این امر زمانی که میزان آئروسول‌های هوا زیاد باشد از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. (۳) شاخص NDVI سریع به حالت اشباع می‌رسد و بنابراین در مقادیر متراکم و بالای پوشش گیاهی کارایی مناسبی ندارد. با توجه به مشکلاتی که در زمینه شاخص NDVI وجود دارد، امکان استفاده از شاخص دیگری تحت عنوان شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده (EVI) نیز بررسی شده است (Li et al., 2009; Yuan et al., 2007). شاخص EVI طبق معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$EVI = 2.5 \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{\rho_{NIR} + c_1 \rho_{Red} - c_2 \rho_{Blue} + L} \quad (2)$$

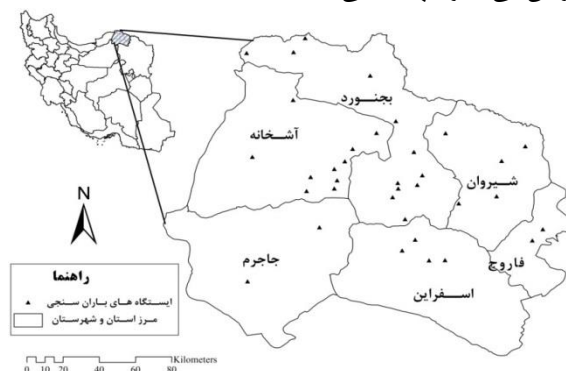
$$NDWI = \frac{\rho_2 - \rho_7}{\rho_2 + \rho_7} \quad (3)$$

که در آن ρ مقدار انعکاس مربوط به هر باند است (باندهای NIR، Red و Blue). L ضریب اصلاحی خاک و مقادیر C1 و C2 ضرایب ثابتند که به ترتیب ۶ و ۷/۵ می‌باشند. همان‌طور که در این معادله پیداست علاوه بر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک که در شاخص NDVI مورد استفاده قرار می‌گیرند، در شاخص EVI از باند آبی نیز استفاده می‌شود. به دلیل اختلاف پخش ایجاد شده توسط آئروسول‌ها در دو باند قرمز و آبی، اثری که وجود آئروسول‌ها در جو بر مقادیر طیفی در باند قرمز می‌گذارد حذف می‌شود. از طرفی با استفاده از ضریب اصلاح خاک در معادله، اثر خاک پس زمینه نیز کاهش می‌یابد. علاوه بر این‌ها، دیر اشباع شدن این شاخص باعث می‌شود شرایط پوشش گیاهی متراکم، بهتر در نظر گرفته شود (Li et al., 2009).

شاخص NDWI یکی از شاخص‌هایی است که طی چند سال اخیر به منظور بررسی شرایط خشک‌سالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص از باندهای مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) استفاده می‌کند، که هم تغییرات در محتوای آب و هم تغییرات در سلول‌های اسفنجی مزوفیل در کانوپی گیاهان را نشان می‌دهد (Gao et al., 2011). از آن‌جا که شاخص NDWI تحت تاثیر شرایط خشکی و پژمردگی پوشش گیاهی است، در مقایسه با شاخص NDVI به شرایط خشک‌سالی در جوامع گیاهی حساس‌تر است. این شاخص به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Gu et al., 2007):

استفاده، مقادیر روزانه بارندگی ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی مستقر در استان می‌باشد. نحوه پراکنش و موقعیت ایستگاه‌های مذکور در منطقه، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

تصاویر ماهواره‌ای که در مطالعه حاضر استفاده شد، داده‌های انعکاس سطحی با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز (محصول MOD13A1) سنجنده مودیس^۱ مستقر بر روی ماهواره ترا^۲ می‌باشد. تصاویر در بازه فروردین ماه الی اوایل مهرماه (طول فصل رشد) برای دو سال نرمال (۱۳۸۵-۱۳۸۶) و بسیارخشک (۱۳۷۹-۱۳۸۰) اخذ گردید. تصاویر مذکور از سایت <https://lpdaac.usgs.gov/products> دریافت شدند. پس از آن که پیکسل‌های fill value و پیکسل‌های ابری تصاویر ماسک شدند، شاخص‌های مورد نظر، محاسبه و استخراج شدند. تصاویر مذکور با عنوان روز ژولایوسی نام‌گذاری شدند که در واقع شماره روز ژولایوسی نشان دهنده اولین روز شروع دوره ۱۶ روزه تصویر است. به‌عنوان مثال تصویر ۹۷، مربوط به دوره‌ای ۱۶ روزه است که اولین روز آن روز ۹۷ ژولایوسی (شروع از ۱ ژانویه) است و معادل دوره‌ی ۱۶ روزه ۱۸ فروردین الی ۲ اردیبهشت می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شده

$$NDWI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (1)$$

محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی

در این پژوهش سعی بر این است تا کارایی سه شاخص NDVI (شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی)، EVI (شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده) و NDWI (شاخص تفاضلی نرمال شده آب) در ارزیابی شرایط خشک‌سالی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر شاخص NDVI بر اساس معادله ۱ برای پیکسل‌های تصاویر مورد استفاده محاسبه شد.

که در آن ρ_1 انعکاس طیفی باند ۱ مودیس (باند مادون قرمز

1 - MODIS

2 - Terra

ضریب همبستگی پیرسون است. نتایج همبستگی شاخص‌ها و الگوهای بارندگی سال‌های خشک (۱۳۷۹-۱۳۸۰) و نرمال (۱۳۸۵-۱۳۸۶) در جدول‌های ۱ و ۲ ارایه شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تمامی شاخص‌ها با مقادیر بارندگی همبستگی معنی‌دار داشته‌اند و این مسئله به این معنی است که هر سه شاخص در میان سه شاخص NDVI و EVI که میزان و شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهند و شاخص NDWI که محتوای آب خاک و گیاه را نشان می‌دهد، شاخص NDVI همبستگی بیش‌تری با مقادیر بارندگی داشته است و بهتر عمل کرده است. از آن‌جا که تصحیحات مختلف از جمله تصحیح اتمسفری بر روی تصاویر انجام شده است، شاخص EVI نتوانست برتری خود را نسبت به NDVI در صورت عدم انجام تصحیحات اتمسفری به دلیل دخالت باند آبی در فرمولاسیون خود، نشان دهد. البته برتری این شاخص نسبت به شاخص NDVI در صورت عدم تصحیح اتمسفری نیاز به بررسی دارد. همچنین باید اضافه نمود از آن‌جا که اقلیم منطقه خشک و نیمه‌خشک است و در مقیاس پیکسل‌های مودیس احتمال وجود مناطق بزرگ پوشیده از گیاهان متراکم کاهش می‌یابد، اشباع شدن سریع NDVI نمی‌تواند در این منطقه مشکل جدی ایجاد نماید. بنابراین ضرورت جایگزینی NDVI با شاخص دیگر به این علت، در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد.

شاخص NDWI نیز که با توجه به پایش آب خاک و گیاه انتظار می‌رفت بتواند به خشک‌سالی سریع‌تر پاسخ دهد نتوانست از دو شاخص دیگر بهتر عمل کند و در مقایسه با دو شاخص مذکور، حتی با بارش‌های ۱۶ روز جاری و ۱۶ روز قبل، همبستگی بهتری را نشان نداد. نتایج به‌دست آمده با نتایج چاندراسکار و همکاران (Chandrasekar et al., 2010) که رابطه شاخص NDWI را با بارش‌های ۲ هفته جاری و ۲ هفته قبل از تصاویر، در هند بررسی کرده‌اند؛ همخوانی ندارد. علت این امر احتمالاً اقلیم خشک و نیمه‌خشک منطقه است.

که در آن ρ_1 انعکاس طیفی باند ۱ مودیس (باند مادون قرمز نزدیک) و ρ_2 انعکاس طیفی باند ۷ مودیس (باند مادون قرمز کوتاه) هستند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از شاخص‌ها، از رابطه همبستگی داده‌های بارندگی‌های تجمعی ۱۶ روز جاری (هم‌زمان با دوره تصویر)، ۱۶ روز قبل، ۳۰ روز قبل، ۴۵ روز قبل، ۶۰ روز قبل، ۷۵ روز قبل و ۹۰ روز قبل تصویر هر دوره و مقادیر شاخص‌ها استفاده شد. با توجه به نوع داده‌ها، از همبستگی پیرسون استفاده شد و ضرایب همبستگی (r) بین مقادیر شاخص‌ها و مقادیر الگوهای بارندگی تعیین شدند. سپس مقایسه همبستگی‌ها (مقایسه معنی‌داری) با استفاده از آزمون t برای داده‌های جفت انجام شد. از آن‌جا که پیکسل‌های متناظر هر ایستگاه، معمولاً از پوشش گیاهی ضعیفی برخوردار بود (مراعات با تراکم پایین)، پس از بررسی محدوده‌های به شعاع ۱، ۲ و ۳ کیلومتر اطراف هر ایستگاه و پوشش گیاهی قرار گرفته در هر محدوده و همچنین بررسی میزان همبستگی میانگین شاخص در هر محدوده با مقادیر بارندگی، بهترین محدوده برای ارزیابی شاخص‌ها و مقادیر بارندگی، محدوده با شعاع ۳ کیلومتر اطراف هر ایستگاه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

رابطه شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI و مقادیر بارندگی

به منظور بررسی شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش برای ارزیابی خشک‌سالی، ارتباط بین این شاخص‌ها با ۷ الگوی مقادیر تجمعی بارندگی مورد مطالعه قرار گرفت. از آن‌جا که پوشش گیاهی و رطوبت خاک رفتاری تجمعی در طبیعت دارند، از مقادیر تجمعی بارندگی به جای مقادیر میانگین استفاده شد. الگوهای بارش تجمعی در نظر گرفته شده شامل بارش‌های تجمعی ۱۶ روز جاری هم‌زمان با دوره تصویر و دوره‌های ۱۶ روز، ۳۰ روز، ۴۵ روز، ۶۰ روز، ۷۵ روز و ۹۰ روز قبل از تصویر می‌باشند. آماره مورد استفاده در پژوهش نیز،

جدول ۱- نتایج همبستگی خطی بین شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI و الگوهای مختلف بارش در سال خشک (۱۳۷۹-۱۳۸۰)

NDWI	NDVI	EVI	الگوهای بارندگی	
P value	value	P value	Precipitation schemes	
۰/۰۰۰	۰/۲۰۴**	۰/۰۰۰	۰/۳۱۸**	بارندگی تجمعی ۱۶ روز مصادف با دوره تصویر
۰/۰۰۰	۰/۱۸۵**	۰/۰۰۰	۰/۳۲۵**	بارندگی تجمعی ۱۶ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۴۸**	۰/۰۰۰	۰/۳۹۰**	بارندگی تجمعی ۳۰ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۴۸**	۰/۰۰۰	۰/۳۹۴**	بارندگی تجمعی ۴۵ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۳۳**	۰/۰۰۰	۰/۳۸۲**	بارندگی تجمعی ۶۰ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۴۶**	۰/۰۰۰	۰/۴۰۷**	بارندگی تجمعی ۷۵ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۵۵**	۰/۰۰۰	۰/۴۰۷**	بارندگی تجمعی ۹۰ روز قبل

سطح معنی‌داری ضریب همبستگی: $P < 0.05$; *، $P < 0.01$ ؛ **، درجه آزادی (df) = ۴۳۹

جدول ۲- نتایج همبستگی خطی بین شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI و الگوهای مختلف بارش در سال نرمال (۱۳۸۶-۱۳۸۵)

NDWI		NDVI		EVI		الگوهای بارندگی
P value	value	P value	value	P value	value	
۰/۰۱۹	۰/۱۲۳*	۰/۰۴۷	۰/۱۰۴*	۰/۸۰۱	-۰/۰۱۳	بارندگی تجمعی ۱۶ روز مصادف با دوره تصویر
۰/۰۰۲	۰/۱۵۸**	۰/۰۰۰	۰/۲۸۸**	۰/۰۰۱	۰/۱۷۷**	بارندگی تجمعی ۱۶ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۲۶۳**	۰/۰۰۰	۰/۴۰۴**	۰/۰۰۰	۰/۳۵۶**	بارندگی تجمعی ۳۰ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۳۶۸**	۰/۰۰۰	۰/۵۴۳**	۰/۰۰۰	۰/۴۷۷**	بارندگی تجمعی ۴۵ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۴۱۴**	۰/۰۰۰	۰/۶۰۴**	۰/۰۰۰	۰/۵۵۲**	بارندگی تجمعی ۶۰ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۴۰۸**	۰/۰۰۰	۰/۵۹۲**	۰/۰۰۰	۰/۵۴۶**	بارندگی تجمعی ۷۵ روز قبل
۰/۰۰۰	۰/۳۸۹**	۰/۰۰۰	۰/۵۵۳**	۰/۰۰۰	۰/۵۰۹**	بارندگی تجمعی ۹۰ روز قبل

سطح معنی‌داری ضریب همبستگی: $P < ۰/۰۵$ ؛ * $P < ۰/۰۱$ ؛ **، درجه آزادی (df) = ۳۶۲

گیاه سال نرمال به‌طور محسوس‌تری بیش‌تر شود. شکل ۲ مقادیر شاخص NDVI که نسبت به سایر شاخص‌ها در منطقه بهتر عمل کرده است را به همراه الگوهای بارندگی ۴۵، ۶۰ و ۷۵ روز که در هر دو سال همبستگی بالایی با شاخص‌ها از خود نشان دادند، نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۲ پیداست پوشش گیاهی در سال نرمال به‌طور محسوس‌تری بیش‌تر از سال خشک می‌باشد و الگوی تغییرات پوشش گیاهی در سال نرمال (۲۰۰۷) به خوبی از تغییرات بارندگی تجمعی تبعیت می‌کند.

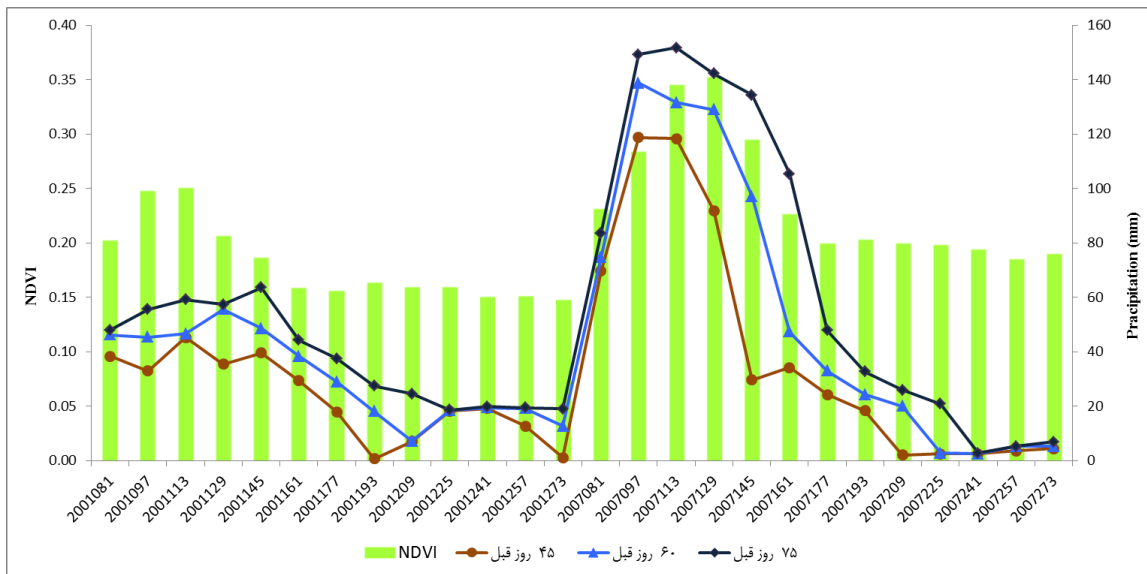
تغییرات زمانی شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI

در این بخش، چگونگی تغییرات زمانی شاخص‌های استفاده شده طی دو سال نرمال و خشک برای کل منطقه (شکل ۳) و همچنین تعدادی از ایستگاه‌ها به‌صورت نمونه (شکل ۴) بررسی شده است. با توجه به اطلاعات ارایه شده در شکل ۳، مشاهده می‌شود مقادیر میانگین هر سه شاخص در ایستگاه‌ها، وجود خشک‌سالی را در سال ۲۰۰۱ (۱۳۸۰-۱۳۷۹) در مقایسه با سال نرمال ۲۰۰۷ (۱۳۸۶-۱۳۸۵) تایید می‌کنند. اما با نگاهی به نمودارهای ارایه شده در شکل ۴ می‌توان دریافت در حالی که مقادیر میانگین ایستگاهی، حکایت از وقوع خشک‌سالی طی سال ۲۰۰۱ (۱۳۸۰-۱۳۷۹) دارند؛ خشک‌سالی در همه ایستگاه‌های منطقه رخ نداده است. با توجه به نتایج ارایه شده در شکل ۴، در حالی که ایستگاه‌های رسالت، گرم‌خان، حصه‌گاه و فاروج وقوع خشک‌سالی را در سال ۱۳۸۰-۱۳۷۹ (۲۰۰۱) نشان می‌دهند؛ در ایستگاه‌های آشخانه و چری تغییرات محسوس‌تری در پوشش گیاهی و شرایط رطوبتی گیاهان و خاک دیده نمی‌شود. به عبارت دیگر نتایج این شکل نشان می‌دهد همه‌ی مناطق استان هم-زمان درگیر خشک‌سالی و آثار و تبعات آن بر روی گیاهان نشده است. این در حالی است که برخی مناطق استان از جمله ایستگاه جاجرم از پوشش گیاهی ضعیفی برخوردار بوده و شرایط خشک‌سالی مانند سایر ایستگاه‌ها تاثیر زیادی بر روی پوشش گیاهی آن در سال خشک نداشته است.

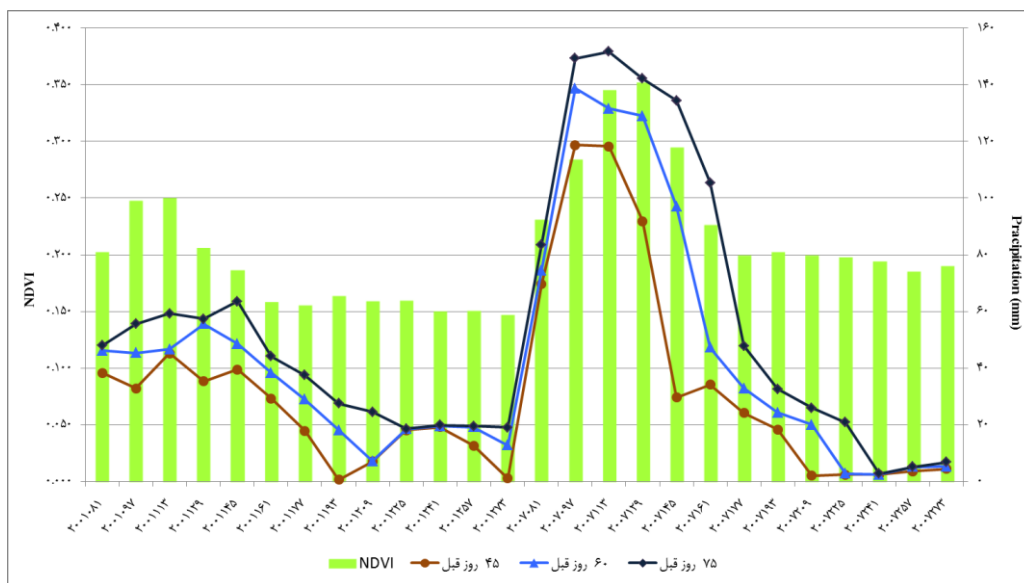
در خراسان شمالی بارش‌ها به نسبت اقلیم‌های مرطوب و دارای فصل موسمی بسیار کم‌تر بوده و تمرکز بارش‌ها بیش‌تر در ماه‌های انتهای پاییز الی اواسط بهار است. از این رو رطوبت خاک و پوشش گیاهی با مقادیر بارش کم طی فصل رشد همبستگی خوبی نشان نمی‌دهد.

همچنین از آن‌جا که در تعداد زیادی از ایستگاه‌ها روزهای بدون بارندگی طی ماه‌های تابستان وجود داشت، بارندگی تجمعی ۱۶ روز جاری و ۱۶ روز قبل نیز در همان ایستگاه‌ها در تابستان صفر و یا ناچیز بود. همین امر سبب کاهش همبستگی شاخص‌ها با مقادیر بارندگی کوتاه‌مدت شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان همبستگی با بارش‌های ۳۰ روز الی ۹۰ روز بیش‌تر است.

با توجه به نتایج ارایه شده در جدول ۲، مشاهده می‌شود همانند سال خشک در میان سه شاخص استفاده شده برای پایش خشک-سالی، شاخص NDVI توانسته است نتیجه بهتری تولید کرده و همبستگی بیش‌تری نسبت به دو شاخص دیگر با الگوهای مختلف بارندگی از خود نشان دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان همبستگی در سال نرمال نیز با بارش‌های ۳۰ روز الی ۹۰ روز بیش‌تر است. مقایسه نتایج بیان شده در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد میزان همبستگی شاخص‌ها با بارش‌های ۱۶ روز جاری و ۱۶ روز قبل در سال خشک نسبت به سال نرمال بیش‌تر است. این مسئله در مورد هر سه شاخص استفاده شده صدق می‌کند. علت این امر این است که در سال نرمال با توجه به بیش‌تر بودن میزان بارش‌ها نسبت به سال خشک، پوشش گیاهی از ابتدا رشد خوبی داشته است (میانگین شاخص NDVI در ایستگاه‌ها طی سال نرمال ۰/۲۳۹ می‌باشد). اما در سال خشک به دلیل کمبود بارش‌ها و وقوع خشک‌سالی، پوشش گیاهی تراکم و رشد کم‌تری داشته و در مقایسه با سال نرمال ضعیف‌تر بوده است (میانگین شاخص NDVI در ایستگاه‌ها طی سال نرمال ۰/۱۸۰ می‌باشد). بنابراین وقوع بارندگی در سال خشک سبب می‌شود صرف‌نظر از شرایط جغرافیایی منطقه، گیاه ضعیف و دچار کمبود آب نسبت به گیاهی که در سال نرمال رشد کرده، به وقوع بارندگی بیش‌تر پاسخ دهد و میزان رشد و سبزی‌نگی‌اش در مقایسه با



شکل ۲- تغییرات شاخص NDVI با سه الگوی بارندگی در منطقه مورد مطالعه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷).



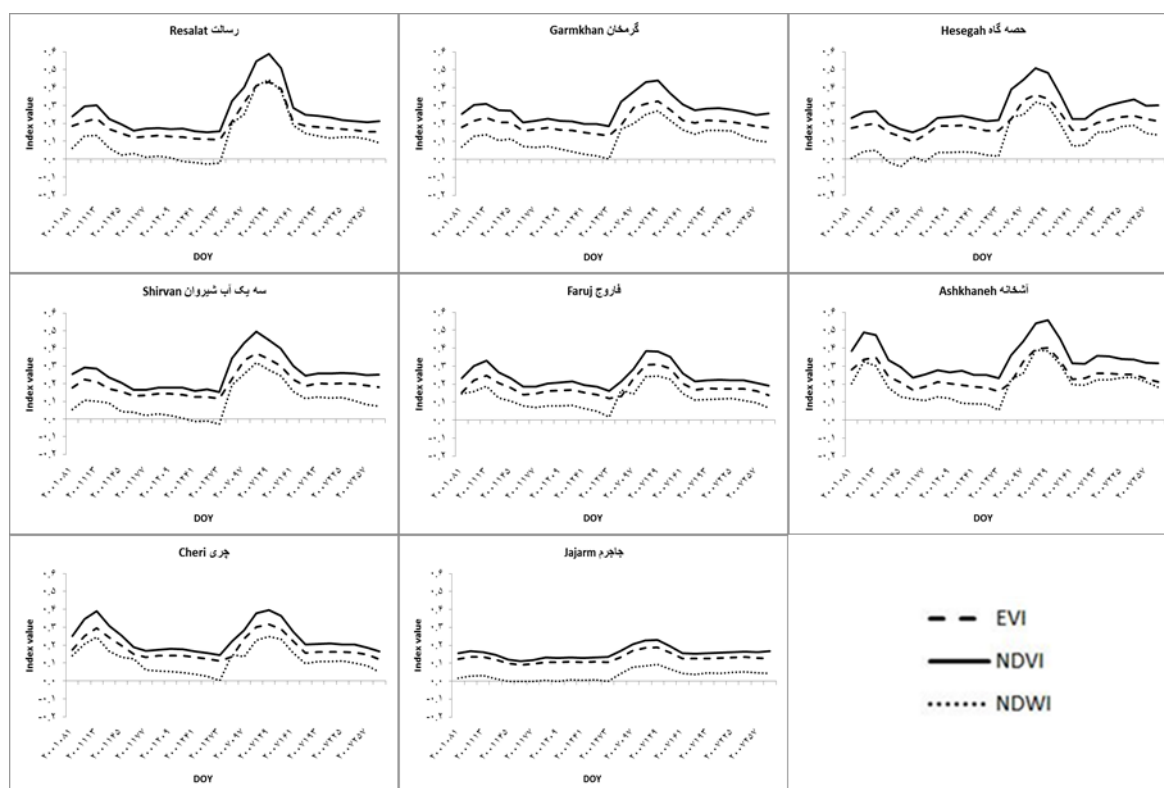
شکل ۳- تغییرات میانگین شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI در ایستگاه‌های منطقه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷).

توجه کرد این است که چنانچه شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی مانند SPI یک سال را خشک، تر و یا نرمال تشخیص دادند، برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی نباید تنها به این داده‌ها اکتفا نمود و در کنار آن بهتر است از شاخص‌های خشک‌سالی کشاورزی مانند شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش استفاده کرد. زیرا کشاورزی دیم و مراتع بیش‌تر تحت تاثیر بارش‌های نزدیک به فصل رشد و بارش‌های طی فصل رشد می‌باشند، بنابراین کاهش در بارش‌های پاییز و اوایل زمستان لزوماً منجر به وقوع خشک‌سالی در مراتع و زمین‌های دیم در منطقه نخواهد شد. از این رو چگونگی توزیع بارش

این عدم هماهنگی بین ایستگاه‌ها می‌تواند بیان کننده چند نکته باشد. اول آنکه مناطق مختلف استان تحت تاثیر سیستم‌های مختلف آب و هوایی هستند بنابراین انتظار می‌رود چنانچه در جنوب استان کمبود بارش اتفاق افتاده لزوماً در شمال شرق منطقه که بیش‌تر تحت تاثیر سیستم‌های آب و هوایی دریای خزر است، به همان میزان کاهش در بارندگی رخ ندهد. از طرف دیگر خشک‌سالی بر روی زمین‌های زراعتی آبی که منبع تغذیه کننده رطوبتی غیر از بارندگی مستقیم دارند، اثرات بسیار کمی خواهد گذاشت (از جمله این اثرات تنش گرمایی ناشی از افزایش دما است). نکته دیگری که باید به آن

کشاورزی در کنار هم، به چگونگی توزیع بارش به منظور بررسی سال-های خشک، تر و نرمال نیز پرداخت.

نیز در بحث وقوع خشک‌سالی کشاورزی بسیار حایز اهمیت است و نیاز است علاوه بر استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی و



شکل ۴- تغییرات زمانی شاخص‌های EVI، NDVI و NDWI در ایستگاه‌های نمونه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷).

حالی است که در همین زمان در سال خشک (۲۰۰۱) پوشش گیاهی استان در نتیجه کمبود بارندگی در بسیاری از مناطق، کاهش شدیدی داشته است. بیش‌ترین پوشش گیاهی نیز مربوط به مناطق مرکزی استان است. تغییرات مکانی شاخص NDVI نیز در شکل ۶ نمایش داده شده است. شاخص NDVI میزان پوشش گیاهی را به نسبت شاخص EVI بیش‌تر برآورد کرده است. براساس نتایج این شاخص، تفاوت در پوشش گیاهی منطقه طی دو سال کاملاً مشهود و به غیر از بخش‌هایی از جنوب استان، سایر مناطق از پوشش گیاهی خوبی در سال نرمال برخوردار است. همانند نتایج EVI بیش‌ترین پوشش گیاهی حتی در سال خشک در اوایل بهار (دوره‌های با شروع روزهای ژولایوسی ۸۱، ۹۷ و ۱۱۳) مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶ نیز مشخص است همه‌ی مناطق استان طی سال ۲۰۰۱ دچار خشک-سالی نشده‌اند و توزیع مکانی کاهش پوشش گیاهی در سطح استان متفاوت است. خشک‌سالی ابتدا در مناطق شمال شرق و شرق استان ظاهر شده و با پیشرفت فصل رشد مناطق شمالی و غربی را نیز در بر گرفته است. همان‌طور که در تصاویر دیده می‌شود طی فصل تابستان (دوره‌های با شروع روز ژولایوسی ۱۷۷ تا ۲۵۷) به دلیل کاهش

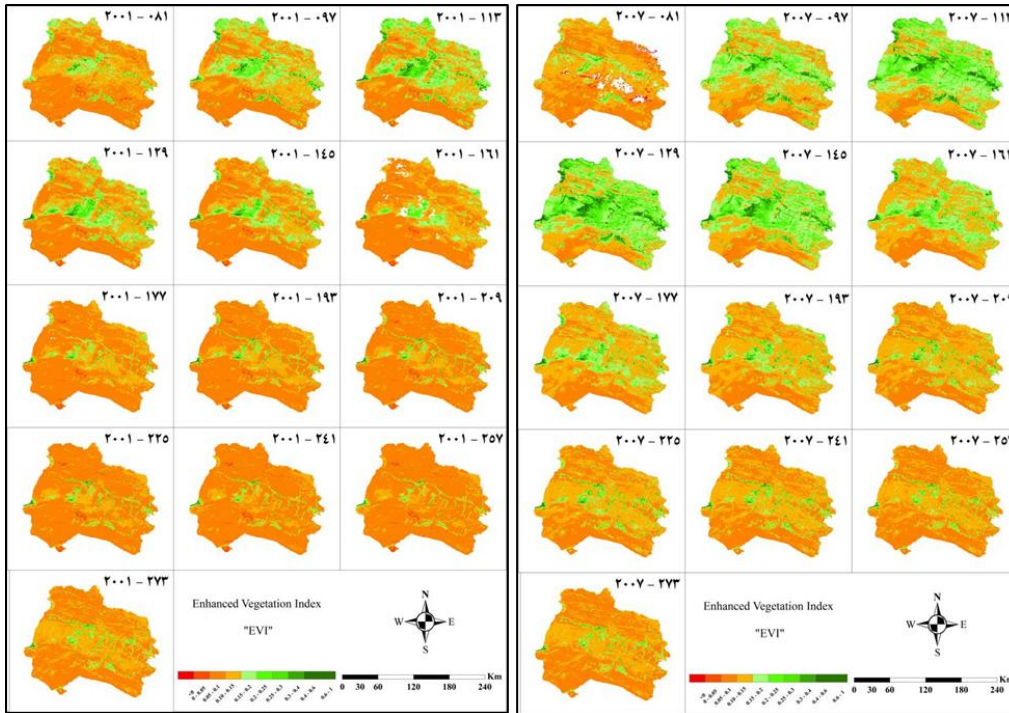
تغییرات درون سالانه شاخص‌ها نشان می‌دهد پوشش گیاهی از اوایل فروردین شروع به زیاد شدن می‌کند به گونه‌ای که طی اردیبهشت‌ماه بیش‌ترین میزان پوشش گیاهی در منطقه مشاهده می‌شود. سپس میزان پوشش گیاهی شروع به کاهش می‌کند به طوری که از اواخر خردادماه میزان پوشش گیاهی تقریباً ثابت می‌شود. افزایش گیاهان در فصل بهار ناشی از رشد گیاهان یک‌ساله و همچنین چندساله است. هنگامی که پوشش گیاه کاهش یافته و تقریباً ثابت می‌شود هم‌زمان با بارش‌های کم و صفر در طی فصل تابستان است. سبزی‌نگی که در منطقه طی این فصل مشاهده می‌شود بیش‌تر در نتیجه وجود گیاهان چندساله می‌باشد.

تغییرات مکانی شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI

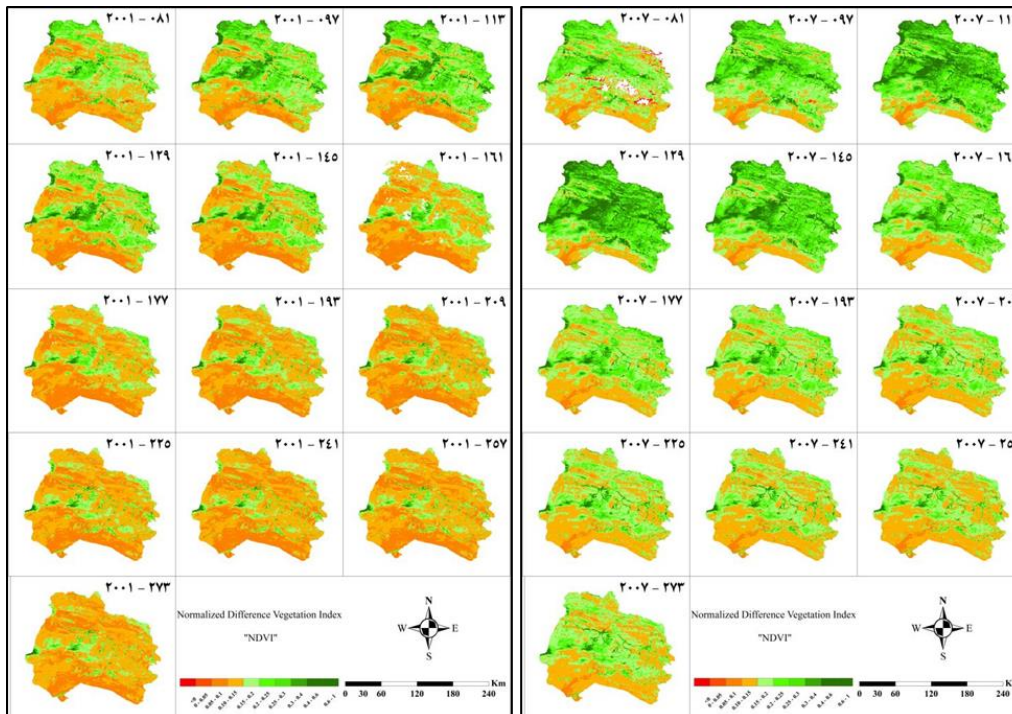
تغییرات مکانی شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI در شکل‌های ۵ الی ۷ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود با توجه به شاخص EVI، در سال نرمال (۲۰۰۷) طی فصل بهار (روز ۸۱ ژولایوسی) الی اوایل تیرماه (روز ۱۷۷ ژولایوسی) مناطق وسیعی از استان دارای پوشش گیاهی خوبی هستند. این در

ژولیوسی ۲۷۳ (اوایل مهرماه) به دلیل شروع بارش‌های پراکنده پاییزی، پوشش دوباره مقداری افزایش داشته است.

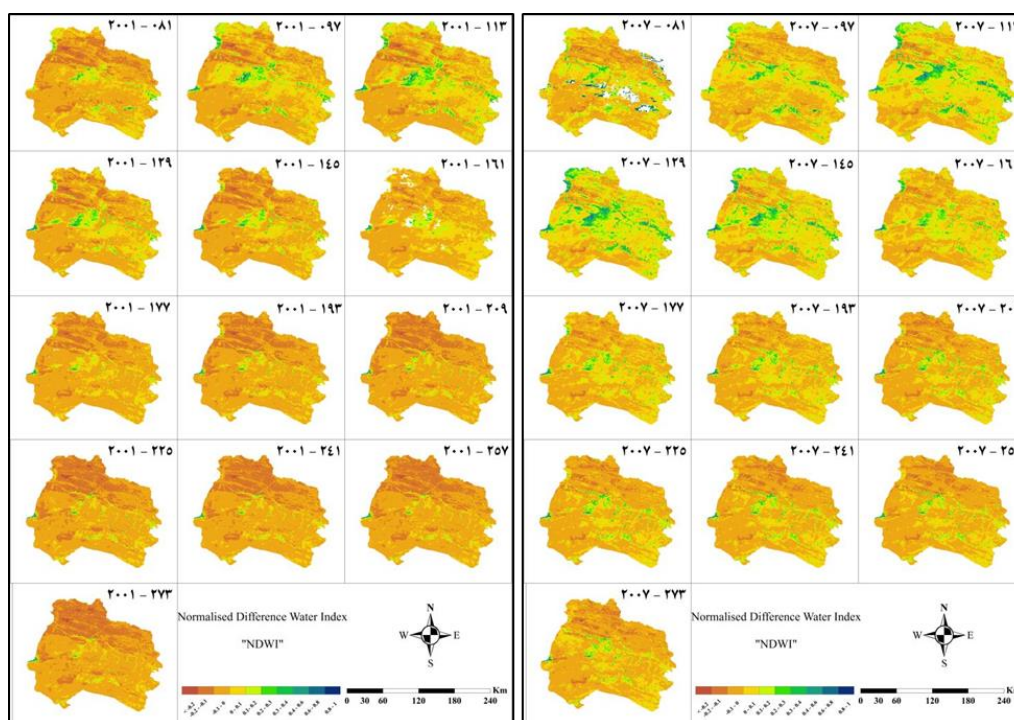
بارندگی، پوشش گیاهی در سال نرمال نیز کاهش می‌یابد اما میزان کاهش آن نسبت به سال خشک کم‌تر است. در دوره با شروع روز



شکل ۵- تغییرات مکانی شاخص EVI در منطقه مورد مطالعه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷).



شکل ۶- تغییرات مکانی شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷).



شکل ۷- تغییرات مکانی شاخص های NDWI در منطقه مورد مطالعه طی سال خشک (۲۰۰۱) و سال نرمال (۲۰۰۷)

NDWI برای دو سال خشک و نرمال در منطقه مورد مطالعه و ارزیابی آن‌ها با مقادیر بارش‌های تجمعی ۱۶ روز جاری تصویر، ۱۶ روز قبل از تصویر و ۳۰ روز، ۴۵ روز، ۶۰ روز، ۷۵ روز و ۹۰ روز قبل از تصویر نشان داد که هر سه شاخص می‌توانند شرایط خشک‌سالی را در منطقه پایش کنند. اما در این میان شاخص NDVI، از سایر شاخص‌ها بهتر عمل کرده و با الگوهای بارش تجمعی، همبستگی بهتری داشت. از این نظر شاخص EVI در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. در حالی‌که شاخص NDWI با اختلاف زیادی از نظر شدت همبستگی، در جایگاه سوم بوده و بنابراین این شاخص به تنهایی برای پایش خشک‌سالی در منطقه پیشنهاد نمی‌شود. بیش‌ترین همبستگی شاخص‌ها نیز با بارش‌های ۳۰ روز الی ۹۰ روز است که این امر به‌خاطر اقلیم خشک و نیمه‌خشک منطقه و عدم وجود بارندگی گاه تا ۱ ماه، در ماه‌های تابستان می‌باشد. تغییرات مکانی شاخص‌ها و به‌خصوص شاخص‌های NDVI و EVI در منطقه نشان داد که هر چند شاخص‌های هواشناسی بتوانند یک سال را خشک، نرمال و یا تر نشان دهند، اما به دلیل تاثیر سیستم‌های آب و هوایی مختلف در منطقه، همه‌ی مناطق به یک اندازه تحت تاثیر اثرات خشک‌سالی قرار نمی‌گیرند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش و عملکرد خوب شاخص NDVI پیشنهاد می‌شود از شاخص‌ها و تصاویر بدون اعمال تصحیحات اتمسفری در بررسی پوشش گیاهی، خشک‌سالی و سایر تحقیقات وابسته به گیاه اجتناب شود زیرا عدم انجام تصحیحات

تغییرات پوشش گیاهی در مناطق مختلف استان در نقشه‌های شاخص NDVI به‌خوبی مشخص است. شاخص NDWI (شکل ۷) نیز مانند دو شاخص دیگر در سال نرمال، مناطق مرکزی و شمالی استان را بدون تنش ناشی از کمبود بارندگی نشان می‌دهد. اما این شاخص نتوانسته است به خوبی میان بخش‌های متأثر از خشک‌سالی در سال خشک و همچنین بین دو سال نرمال و خشک تمایز قایل شود.

با بررسی نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه‌های شاخص‌های NDVI، EVI و NDWI مشخص شد که نواحی که طی دو سال خشک و نرمال خیلی تحت تاثیر کمبود بارندگی قرار نگرفته‌اند از جمله مناطق مرکزی و غرب و شمال‌غرب استان، عموماً مناطق کشاورزی تحت آبیاری و یا باغات و مناطق جنگلی می‌باشند. همچنین در برخی از این نواحی مقدار بارندگی به میزان کم‌تری نسبت به سال خشک کاهش یافته بود و همان‌طور که در نمودارهای پیشین نمایش داده شد به دلیل اثرگذاری سیستم‌های آب و هوایی مختلف در استان، همه‌ی مناطق به یک میزان دچار پیامدهای ناشی از وقوع خشک‌سالی نشده‌اند و خشک‌سالی با درجات مختلف در سطح استان به وقوع پیوسته است.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های NDVI، EVI و

۲۰۵۴: ۸۵-۹۸.

Agricultural landscape of Khorasan Shomali province. 2015. Available at <http://portal.nkj.ir/?partid=7340> (visited 20 September 2015).

Chandrasekar, K., Sessa Sai, M.V.R., Roy, P.S. and Dwevedi, R.S. 2010. Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS Vegetation Index product, International Journal of Remote Sensing. 31.15: 3987-4005.

Gao, Z., Gao, W. and Chang, N.B. 2011. Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 13:495-503.

Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P. and Wardlow, B. 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. Journal of Geophysical Research Letters. 34: 1-6.

Leeuwen, W.V., Hartfield, K., Miranda, M. and Meza, F.J. 2013. Trends and ENSO/AAO Driven Variability in NDVI Derived Productivity and Phenology alongside the Andes Mountains. Journal of Remote Sensing. 5: 1177-1203.

Li, B., Tang, H., Chen, D. 2009. Drought Monitoring Using the Modified Temperature/Vegetation Dryness Index, 2nd International Congress on Image and Signal Processing. 17-19 October. 2009, China.

Shakya, N., Yamaguchi, Y. 2006. Drought Monitoring Using Vegetation and LST Indices in Nepal and Northeastern India, Proceedings of the Conference of the Remote Sensing Society of Japan. 203-204.

Wan, Z., Wang, P., Li, X. 2004. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains USA, International Journal Remote Sensing. 25.1: 61-72.

Yuan, L., Heping, T. and Hua, W. 2007. Dynamic Drought Monitoring in Guangxi Using Revised Temperature Vegetation Dryness Index, Wuhan University Journal of Natural Sciences. 12.4:663-668.

Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C. and Tong, Q. 2017. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices, Remote Sensing of Environment. 190: 96-106.

Zhong, D., Lin, P., Tian, S., Chi, H., Zhang, X., Wen-Ying, W. 2011. Drought monitoring in Southwest China with HJ data, International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC). 9-11 September. 2011. China. 235- 238

اتمسفری می‌تواند منجر به خطاهای غیرواقعی و نتیجه‌گیری‌های نادرست گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود ترکیب شاخص NDVI با تصحیحات اتمسفری در کنار سایر شاخص‌های دمایی و رطوبتی به منظور حصول شاخص مناسب برای پایش خشک‌سالی مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

امیدی، ر.، رتدمنش، ف. و قربانی، م. ۱۳۹۲. کارایی نمایه‌های خشک-سالی هواشناسی در مدیریت خشک‌سالی سه دهه اخیر (منطقه مورد مطالعه: شهرستان بیران شهر). اولین همایش ملی چالش-های منابع آب و کشاورزی. ۲۴ بهمن ۱۳۹۲. دانشگاه آزاد اسلامی. خوزستان. ایران.

انصاری، ح. و داوری، ک. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص پالم (PDSI). نشریه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۲۰: ۱۲۵-۱۴۰.

پرویز، ل.، خلقی، م. ف.، ولی‌زاده، خ.، عراقی‌نژاد، س.، ایران‌نژاد، پ. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI. از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی. همایش ملی ژئوماتیک ۸۹. تهران. ایران.

پرویز، ل.، خلقی، م. ف.، ولی‌زاده، خ.، عراقی‌نژاد، س.، ایران‌نژاد، پ. ۱۳۹۰. بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی؛ مطالعه موردی، حوضه ابریز سفیدرود. نشریه جغرافیا و توسعه، ویژه‌نامه مخاطرات محیطی، ۲۲: ۱۴۷-۱۶۴.

سیمای کشاورزی خراسان شمالی، ۱۳۹۴، قابل دسترس در:

<http://www.nkj.ir/portal/index.php?page&id=242>

عرفانیان، م.، وفایی، ن. و رضاییان‌زاده، م. ۱۳۹۱. آرایه روش نوین برای ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۱۰۴۶: ۹۳-۱۰۸.

میرموسوی، ح. و کریمی، ح. ۱۳۹۲. مطالعه‌ی اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی MODIS مورد: استان کردستان. نشریه جغرافیا و توسعه. ۳۱: ۵۷-۷۶.

یزدان‌پناه، ح.، مومنی، م.، حسین قلی‌نژاد، ح.، موحدی، ح. و سلیمانی-تبار، م. ۱۳۹۱. مقایسه شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور به منظور پایش خشک‌سالی. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

Investigate of Using of Vegetation Indices Based on Satellite Imagery in Assessing Agricultural Drought (Case Study: North Khorasan Province in Iran)

S. Noori¹, S. H. Sanaei-Nejad^{2*}, K. Davary³
Recived: Feb.19, 2017 Accepted: Dec.15, 2017

Abstract

Drought is a gradual, widespread and devastating phenomenon in large-scale. Spatial extent and long duration of drought causes devastating of it; move important than another natural phonemes as floods. The aim of this research is studying the drought conditions in North Khorasan province in Iran by analyzing results of NDVI, EVI vegetation indices with NDWI index of plant and soil moisture. One normal year (2007) has been compared with one year of dry year (2001). To estimate the mentioned indices, it was used Level 3 MODIS imagery on Terra satellite. Results showed that correlation between 7 different patterns of cumulative rainfalls with three indices used in this study is more meaningful in NDVI index. Due to atmospheric correction applied to the images, the EVI index showed lower correlation with cumulative rainfall amounts. NDWI has the lowest correlation with rainfall patterns. Also at the final, the results of research show that during the growing season in North Khorasan Province (30 to 90 days), the correlation between indices and cumulative rainfalls is more than other days of the year.

Keywords: Agricultural drought, EVI, NDVI, NDWI, North Khorasan

1 - Ph.D. Student of Agrometeorology, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2 - Associate Professor in Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3 - Professor in Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: sanaei@um.ac.ir)