



## بررسی تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران در پاسخ به تغییرات اقلیمی با استفاده از NDVI سنجنده AVHRR در دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۸

مقاله پژوهشی

هادی زارع خورمیزی، حمیدرضا غفاریان مالگیری

دریافت: ۱۲ اسفند ۱۳۹۸ / پذیرش: ۱۷ مرداد ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۱۱ آذر ۱۳۹۹

### چکیده

این رویکرد برای مقیاس‌های کوچک با تعداد سایت‌های برداشت زمینی محدود مناسب است و برای مطالعات در مقیاس وسیع نه تنها کارا و دقیق نیست بلکه هزینه‌بر و در برخی مناطق غیرممکن است. دومین رویکرد که در سال‌های اخیر توسعه یافته است، استفاده از فن‌آوری سنجنده‌های از دور است. تاکنون تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران در پاسخ به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از مطالعه، تعیین تغییرات هرکدام از مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی با استفاده از سری‌های زمانی NDVI سنجنده AVHRR است.

مواد و روش‌ها در این مطالعه از محصول NDVI روزانه سنجنده AVHRR با قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ در ۰/۰۵ درجه بانام AVH13C1 استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران از چهار سری زمانی یک‌ساله مربوط به سال‌های زمان گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و زمان حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸) استفاده شد. استخراج مؤلفه‌های فنولوژی از سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی در ابتدا نیازمند یک سیگنال رشد پیوسته و بدون داده‌های از دست‌رفته و دورافتاده است. برای بازسازی داده‌های از دست‌رفته و دورافتاده در منحنی رشد از الگوریتم HANTS استفاده شد. به منظور استخراج مؤلفه‌های مختلف فنولوژی از

پیشینه و هدف تغییرات آب و هوایی تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی و سیستم‌های زیست‌محیطی کشورهای مختلف داشته است. فنولوژی پوشش گیاهی زمان وقوع رخدادها تکرارپذیر گیاهان را در رابطه با عوامل زنده و غیرزنده توصیف می‌کند. فنولوژی یکی از حساس‌ترین شاخص‌های زیستی برای بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر اکوسیستم‌های زمینی است، زیرا نشان‌دهنده تبادل انرژی، کریب و بخار آب بین سطوح پایین جو و بیوسفر است. تغییرات در فنولوژی گونه‌های گیاهی می‌تواند طیف گسترده‌ای از تأثیرات را در فرآیندهای زیست‌محیطی و کشاورزی به همراه داشته باشد. دو رویکرد متداول برای نظارت بر فنولوژی پوشش گیاهی وجود دارد. اولین رویکرد که در بسیاری از مطالعات قبلی فنولوژی استفاده شده است، مبتنی بر مطالعات میدانی و ثبت تغییرات سالانه رخدادهای فنولوژی در پاسخ به متغیرهای محیطی است.

هادی زارع خورمیزی<sup>۱</sup>، حمیدرضا غفاریان مالگیری<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [hadi.zarekh@gmail.com](mailto:hadi.zarekh@gmail.com)

<http://dor1.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.5.5>

نظیر دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه، ارزش در نقطه شروع رشد، نسبت افزایش در شروع فصل رشد و نسبت کاهش در پایان فصل رشد در ارتفاعات البرز و زاگرس افزایش یافته است و در سایر مناطق که عموماً مناطق با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ را شامل می‌شود این مؤلفه کاهش یافته است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فراوانی موج گرما می‌تواند تبخیر و تعرق گیاه را نیز افزایش دهد که سبب کمبود رطوبت در خاک می‌شود. بنابراین در ارتفاعات که در ابتدای فصل رویش دما عامل کنترل‌کننده است، افزایش دما در سری‌های زمانی جدید منجر به افزایش رشد گیاهان و قابلیت تولید اکوسیستم شده و پارامترهای فنولوژی نظیر دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه و ارزش در نقطه شروع رشد افزایش یافته است. اما در مناطق پست و دشتی و همچنین در اواخر دوره رشد گیاهی در ارتفاعات، افزایش دما منجر به افزایش تبخیر و تعرق شده و دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه و ارزش در نقطه شروع رشد را کاهش داده است.

**نتیجه‌گیری** تغییرات پارامترهای فنولوژی نظیر زمان شروع فصل رشد، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد می‌تواند تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی و سیستم‌های زیست‌محیطی کشور داشته است. شروع زودتر فصل رشد در سری‌های زمانی سال‌های اخیر نسبت به ۳۵ سال گذشته می‌تواند تهدید مهمی برای تولید محصولات کشاورزی و باغی باشد، زیرا سرما و یخبندان از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در زمینه اقلیم کشاورزی است که آسیب‌های ناشی از آن‌ها، امکان تولید بسیاری از محصولات کشاورزی و باغی را در مناطق آسیب‌پذیر کاهش می‌دهد. به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر یک زنجیره وقایع به‌هم‌پیوسته، ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش دما را در مؤلفه‌های مختلف فنولوژی در ارتفاعات البرز و زاگرس و همچنین در مناطق پست و دشتی به‌ویژه در حاشیه خلیج فارس و دریای خزر نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات اقلیمی، فنولوژی، فصل رشد، شاخص تفاضل گیاهی نرمال شده، سنجش‌ازدور

نرم‌افزار Timesat استفاده شد. پارامترهای زمان شروع فصل رشد، زمان پایان فصل رشد، ارزش پایه، زمان وسط فصل رشد، حداکثر ارزش، دامنه فصل رشد، ارزش در نقطه شروع فصل رشد، نرخ افزایش در دوره شروع رشد و نرخ کاهش در دوره پایان رشد با استفاده از Timesat در هر سری زمانی یک‌ساله استخراج شد و سپس میانگین چهارساله مقادیر این پارامترها در سری‌های زمانی گذشته با سری‌های زمانی حال مقایسه شد.

**نتایج و بحث** مقایسه میانگین چهارساله مؤلفه‌های فنولوژی زمان شروع فصل رشد، پایان فصل رشد، طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد در سطح کل ایران نشان داد این شاخص‌ها به ترتیب به میزان ۱۲، ۱۹، ۷، ۱۳ روز کاهش یافته است. تغییرات این مؤلفه‌ها در مناطق پست با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر با مناطق مرتفع که شامل سلسله جبال البرز و زاگرس است؛ کاملاً متفاوت است. به‌طوری‌که زمان پایان فصل رشد، طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد در ارتفاعات البرز و زاگرس تقریباً از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا به ترتیب به‌طور میانگین به میزان ۳۸، ۴۶ و ۱۹ روز کاهش یافته است. در مناطق پست در حاشیه خلیج فارس و دریای خزر مؤلفه‌های فنولوژی زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد تقریباً به ترتیب به میزان ۴۰ و ۴۴ روز افزایش یافته است. طولانی شدن فصل رشد به عوامل مختلف اقلیمی به‌ویژه گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و یا در دسترس بودن آب نسبت داده شده است. در ایران در اکثر مناطق زمان شروع فصل رشد به‌ویژه در ارتفاعات البرز و زاگرس که دما عامل محدودکننده در شروع رشد است، کاهش یافته است. همچنین زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد نیز کاهش یافته است. این امر نشان‌دهنده این است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران در مراحل میانی و پایانی رشد گیاهی، رطوبت و بارندگی عامل محدودکننده برای رشد است. در مناطقی مانند حاشیه خلیج فارس و دریای خزر که رطوبت کمتر عامل محدودکننده بوده است، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد نیز افزایش یافته است. بر اساس نتایج مؤلفه‌های فنولوژی

## مقدمه

در حال حاضر، یکی از چالش‌برانگیزترین مشکلات جهانی، تغییرات آب و هوایی ناشی از گرمایش جهانی است (۲). گرم شدن کره زمین سیستم‌های فیزیکی و بیولوژیکی را در همه قاره‌ها تحت تأثیر قرار داده است (۲ و ۳). تغییرات آب و هوایی تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی و سیستم‌های زیست‌محیطی کشورهای مختلف داشته است. در گزارش اخیر در هیئت بین دولتی تغییرات آب‌وهوا (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) آمده است که در بیشتر کشورهای آسیا، تعداد روزها و شب‌های سرد کاهش یافته است، در حالی که تعداد روزها و شب‌های گرم و همچنین فراوانی موج گرما افزایش یافته است. میانگین دما در سطح جهانی از زمان انقلاب صنعتی (۱۸۸۰-۲۰۱۲) تاکنون ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و این روند گرم شدن از حدود سال ۱۹۵۰ شدت یافته است (۱۰).

فنولوژی پوشش گیاهی زمان وقوع رخدادهای تکرارپذیر زندگی گیاهان را در رابطه با عوامل زنده و غیرزنده توصیف می‌کند (۲۰). فنولوژی یکی از حساس‌ترین شاخص‌های زیستی برای بررسی تأثیر گرمایش جهانی بر اکوسیستم‌های زمینی است (۳۰). زیرا نشان‌دهنده تبادل انرژی، کربن و بخار آب بین سطوح پایین جو و بیوسفر است (۳، ۱۴ و ۱۵). تغییرات در فنولوژی گونه‌های گیاهی می‌تواند طیف گسترده‌ای از تأثیرات را در فرآیندهای زیست‌محیطی، کشاورزی، جنگل‌داری، تأمین مواد غذایی، بهداشت انسان و اقتصاد جهانی به همراه داشته باشد (۹).

دو رویکرد متداول برای نظارت بر فنولوژی پوشش‌های گیاهی وجود دارد (۳). اولین رویکرد که در بسیاری از مطالعات قبلی فنولوژی استفاده شده است، مبتنی بر مطالعات میدانی و ثبت تغییرات سالانه حوادث فنولوژی در پاسخ به متغیرهای محیطی و تغییر آب‌وهوا است. با این حال، چنین رویکردهایی با تعداد سایت‌های برداشت زمینی محدود و با مقیاس‌های کوچک برای به دست آوردن اطلاعاتی در مورد

پاسخ اکوسیستم‌ها به تغییرات آب و هوایی نه تنها کارا و دقیق نیست بلکه هزینه‌بر و در برخی مناطق غیرممکن است. دومین رویکرد که در سال‌های اخیر توسعه یافته است، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فن‌آوری سنجش‌ازدور می‌باشد. تمام مطالعات فنولوژی با استفاده از سنجش‌ازدور بر دو گروه استوار هستند (۲۵)؛ گروه اول بر اساس ترسیم روند تغییرات در شاخص‌های پوشش گیاهی است و گروه دوم بر اساس استخراج و تخمین پارامترهای فنولوژی یا تخمین فنوفازها (Phenophases) می‌باشد. ترسیم روند داده‌های شاخص‌های گیاهی یا ایجاد سری‌های زمانی شاخص‌های گیاهی، خود نیازمند هموارسازی این داده‌ها برای غلبه بر داده‌های ازدست‌رفته و دورافتاده و نویزهای ناشی از پوشش ابر، اثرات پیکسل مختلط و خرابی و ناهنجاری‌های سنسور و ... است. این هموارسازی می‌تواند از سه طریق، روش‌های آماری، برازش منحنی و تکنیک‌های تبدیل داده‌ها انجام شود. همچنین تخمین پارامترهای فنولوژیکی یا تشخیص فنوفازها با استفاده از آستانه‌گذاری (Thresholding)، منحنی مشتق شده (Curve derived) و روش‌های برازش منحنی عملکردی (Functional model fitting methods) انجام می‌گیرد (۱).

تغییرات در فنولوژی پوشش گیاهی در پاسخ به تغییرات آب و هوایی به طور گسترده‌ای در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی مورد بررسی قرار گرفته است (۲۱). در پژوهشی تغییرات فنولوژی در مناطق مختلف اکولوژیکی شمال شرق چین نسبت به تغییرات آب و هوایی از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ بررسی شد. بر اساس نتایج این مطالعه متوسط زمان شروع فصل رشد روند قابل توجهی را در سراسر منطقه مورد مطالعه نشان نداد. با این حال، پایان فصل رشد در ۳۲ سال گذشته به طور معنی‌دار، ۴/۱ روز در سال به تأخیر افتاده است (۲۸). در مطالعه‌ای دیگر تغییرات فنولوژی منطقه معتدله نیمکره شمالی زمین در دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد طول فصل رشد در کل دوره مورد بررسی افزایش یافته است. اما تغییرات شروع و پایان فصل رشد در دوره‌های زمانی مختلف متفاوت می‌باشد. در سطح نیمکره

مدیریت منابع آب و محیط‌زیست، مدیریت مراتع و توصیه‌های مفید و کاربردی به کشاورزان مفید واقع گردد. به طور دقیق‌تر برای مدیریت کاشت در مناطق مختلف کشور می‌توان برنامه‌ای بدون ارایه داد تا از بروز مشکلاتی از جمله عدم تامین نیاز گرمایی برای جوانه‌زنی و نیز از سرمازدگی‌های احتمالی جلوگیری نمود. در ضمن با توجه به توپوگرافی کشور ایران، امکان کشت یک محصول در فصول مختلف سال بدون نیاز به ایجاد شرایط گلخانه‌ای و تنها بر اساس نتایج مورد اشاره در این پژوهش و تغییر محل کشت در ارتفاعات مختلف تا حد زیادی وجود خواهد داشت.

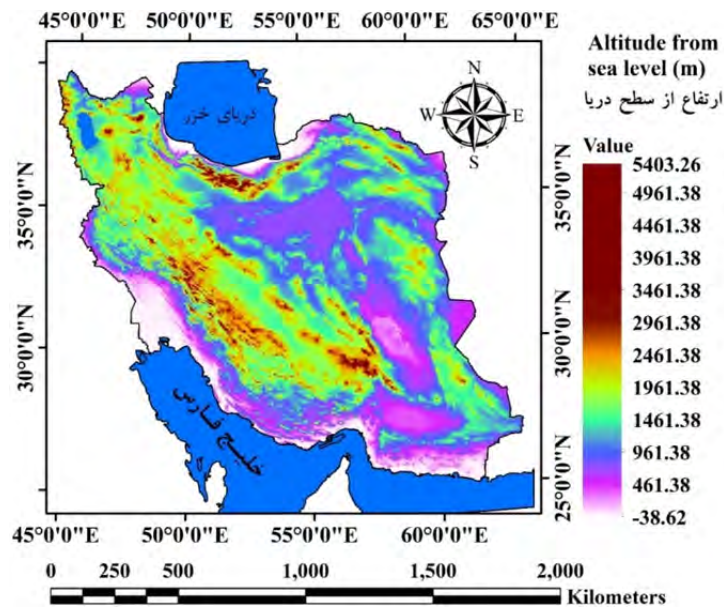
### مواد و روش‌ها

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه کل سطح کشور ایران را شامل می‌شود. کشور ایران بین عرض‌های جغرافیایی  $۲۵^{\circ} ۰۳'$  تا  $۴۷^{\circ}$  شمالی و طول جغرافیایی  $۴۴^{\circ} ۰۵'$  تا  $۱۸^{\circ} ۱۸'$  شرقی واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای تغییرات توپوگرافی شدید می‌باشد، به طوری از مناطق پست در سواحل دریای خزر، دریای عمان و خلیج فارس تا ارتفاعات البرز و زاگرس را در برمی‌گیرد. موقعیت جغرافیایی منحصر بفرد، وسعت زیاد و همچنین تغییرات ارتفاعی زیاد منجر ایجاد آب‌وهوای بسیار متنوع شده است؛ به طوری که شرایط رطوبتی در این سرزمین از زمین‌های فوق‌العاده خشک تا زمین‌های بسیار مرطوب را شامل می‌گردد.

شمالی زمان شروع فصل رشد در دوره اول (۱۹۸۲ تا ۱۹۹۹)،  $۵/۲$  روز و در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸،  $۰/۲$  روز زودتر بوده است و زمان پایان فصل رشد در دوره اول  $۳/۴$  روز در دوره دوم  $۲/۳$  روز با تاخیر مواجه شده است (۱۱). در بررسی تغییرات فنولوژیکی پوشش‌های گیاهی عرض‌های جغرافیایی میانه و بالا در نیمکره شمالی از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ نیز نتایج نشان داد؛ پیشرفت در شروع فصل رشد و تاخیر در پایان فصل رشد در سه دهه گذشته کندتر از دو دهه اخیر بوده است (۲۹). در مطالعه دیگر نیز در منطقه شمال شرق چین خصوصیات مکانی تاریخ شروع فصل رشد، تاریخ پایان فصل و طول فصل رشد از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که به طور معنی‌داری زمان شروع فصل رشد زودتر و زمان پایان فصل رشد دیرتر به وقوع پیوسته است (۲۶). در منطقه کوه‌های خینگان (Khingan) چین نیز نشان داده شد فنولوژی پوشش گیاهی این منطقه در دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۲ تغییرات معنی‌داری کرده است. به طوری که طول فصل رشد  $۱۲/۱$  روز افزایش و زمان شروع فصل رشد  $۳/۳$  روز زودتر و زمان پایان فصل رشد  $۸/۸$  روز با تاخیر مواجه شده است (۲۱).

تاکنون تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران در پاسخ به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از پژوهش حاضر، تعیین تغییرات هر کدام از مؤلفه‌های فنولوژی پوشش‌های گیاهی ایران با استفاده از سری‌های زمانی NDVI سنجنده AVHRR می‌باشد. نتایج این بررسی می‌تواند در تعیین تاریخ فصل کشت و همچنین



شکل ۱. مدل رقمی ارتفاعی کشور ایران

Fig. 1. Digital Elevation Model (DEM) of Iran

مبنایی برای استخراج پارامترهای فنولوژی در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر از چهار سری زمانی یک‌ساله، در زمان‌های گذشته و حال استفاده شد، زیرا استخراج و مقایسه پارامترهای مختلف فنولوژی از یک سری زمانی یک‌ساله در زمان‌های گذشته و حال نمی‌تواند بیانگر تغییرات واقعی باشد. بنابراین مقایسه میانگین چهار ساله برخی از مؤلفه‌های فنولوژی در چهار سری زمانی یک‌ساله در زمان قدیم و جدید می‌تواند به طور دقیق‌تر بیانگر تغییرات باشد.

#### بازسازی سری‌های زمانی داده‌های NDVI

در پژوهش حاضر به منظور استخراج مؤلفه‌های مختلف فنولوژی از نرم افزار تایم‌ست (Timesat 3.3) استفاده شد (۱۲). استخراج مؤلفه‌های فنولوژی از سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی در ابتدا نیازمند یک سیگنال رشد پیوسته بدون داده‌های از دست‌رفته و دورافتاده می‌باشد. با این حال، سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی تصاویر ماهواره‌ای به دلیل گرد و غبارهای جوی، ذرات معلق در هوا، عدم کارایی سنجنده، گازها بویژه حضور ابرها دارای داده‌های از دست‌رفته و دورافتاده می‌باشند (۷). بنابراین در ابتدا لازم

#### تصاویر NDVI سنجنده AVHRR

در پژوهش حاضر از محصولات روزانه NDVI سنجنده NOAA-AVHRR استفاده شد (<https://earthexplorer.usgs.gov>). شاخص NDVI که یکی از شاخص‌های پرکاربرد در زمینه بررسی پویایی‌های گیاهی است؛ که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [1]$$

در این رابطه، NIR و RED به ترتیب بازتاب طیفی باند مادون قرمز نزدیک (باند ۲ سنجنده AVHRR) و باند قرمز (باند ۱ سنجنده AVHRR) است. در این مطالعه از محصول - NDVI روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ در ۰/۰۵ درجه با نام AVH13C1 استفاده شد (۲۳). در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش‌های گیاهی ایران از چهار سری زمانی یک ساله مربوط به سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ (زمان گذشته) و سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ (زمان حال) استفاده شد. همان‌طور که گفته شد با توجه به قدرت تفکیک زمانی روزانه، در هر سال ۳۶۵ تصویر NDVI موجود می‌باشد که هر سال به عنوان

$$w_j = \left(\frac{2\pi}{N}\right) \times i, \quad i=1,2,3,\dots,N \quad [3]$$

در الگوریتم HANTS پس از انتخاب تعداد فرکانس (M) و فرکانس ( $w_j$ )، پارامترهای ناشناخته از سری فوریه دامنه ( $a_j$ ) و ارزش فازها ( $\varphi_j$ ) هستند که توسط برازش سری زمانی از مشاهدات توسط روش کمترین مربعات (Least square method) تعیین می‌شود. به منظور ایجاد یک مدل قابل اعتماد از یک سری زمانی با الگوریتم HANTS پارامترهایی وجود دارد که باید توسط کاربر تعریف شود؛ (۱) محدوده داده‌های معتبر: محدوده قابل قبول از مقادیر مشاهده شده است. مشاهدات خارج از این محدوده در مرحله اول با اختصاص وزن صفر به آن‌ها حذف می‌شوند. (۲) دوره: تعداد نمونه‌های زمانی در هر مؤلفه دوره‌ای در سری فوریه می‌باشد. (۳) تعداد فرکانس (NOF: Number of Frequency): میزان جزئیاتی که می‌تواند در سیگنال بازسازی استفاده شود تعیین می‌کند. تعداد فرکانس پایین، یک سیگنال با جزئیات کمتر از یک تعداد فرکانس بالا ایجاد می‌کند. (۴) جهت نقاط دورافتاده: جهت نقاط دورافتاده (پرت) با اشاره به مدل فعلی منحنی را نشان می‌دهد. (۵) آستانه میزان خطای قابل قبول (Fit Error Tolerance: FET): انحراف مطلق از رقم کنونی منحنی در جهت انتخاب شده را که هنوز هم قابل قبول است، مشخص می‌کند. (۶) درجه فرا معین بودن (Degree of Over Determinedness: DOD): حداقل تعداد نقاط داده‌های اضافی که باید در برازش منحنی استفاده شود را نشان می‌دهد. تعداد مشاهدات معتبر باید همیشه بیشتر از تعداد پارامترهای موردنیاز برای توصیف سیگنال باشد ( $2 \times \text{NOF} - 1$ ).

پارامترهای بکار برده شده برای بازسازی هر کدام از سری‌های زمانی یک‌ساله در زمان قدیم و حال را در نرم افزار HANTS در جدول ۱ آورده شده است. محدوده داده‌های معتبر با توجه محدوده قابل قبول در واحد NDVI برای پوشش گیاهی، از ۰ تا ۱ و دوره پایه با توجه به تعداد تصاویر روزانه NDVI در هر سال، ۳۶۵ در نظر گرفته شد. تعداد فرکانس (NOF) با توجه به اجزای دوره‌ای در یک سال، ۳ و

است این سری‌های زمانی بازسازی شوند. نرم افزار تایم‌ست دارای الگوریتم‌ها و توابع مختلفی نظیر ساویچکی-گولای (Savitzky-Golay)، گوسین نامتقارن (Asymmetric Gaussians) و لجستیک دوتایی (Double logistic) برای برازش یک منحنی بر داده‌های اولیه سری‌های زمانی می‌باشد که برای به دست آوردن اطلاعات کامل می‌توان به راهنمای این نرم افزار مراجعه نمود (۱۲). در پژوهش حاضر برای بازسازی داده‌های ازدست‌رفته و دورافتاده در منحنی رشد از الگوریتم HANTS استفاده شد (۲۲). زیرا الگوریتم HANTS نسبت به الگوریتم‌های مورد استفاده در تایم‌ست از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد (۱۳). در الگوریتم HANTS جزئیات سیگنال بازسازی را می‌توان با تغییر ۵ پارامتر مختلف که در ادامه توضیح داده می‌شود، تعیین نمود.

### الگوریتم HANTS

الگوریتم HANTS برای بازسازی داده‌های ازدست‌رفته و دورافتاده در سری‌های زمانی با رفتار دوره‌ای توسط ورهوف (۲۲) پیشنهاد شد. در اینجا ابتدا الگوریتم توضیح داده می‌شود و سپس پارامترهای موردنیاز به منظور به دست آوردن یک مدل قابل اعتماد توسط الگوریتم شرح داده می‌شود (۷). اگر  $y_i$  یک سری زمانی با  $N$  مشاهده باشد، ( $i$  از ۱ تا  $N$ ) این سری زمانی را می‌توان با یک سری فوریه توصیف کرد (رابطه ۲).

$$y_i = a_0 + \sum_{j=1}^M a_j \cos(w_j t_i - \varphi_j) \quad [2]$$

که در آن  $w_j$  فرکانس  $j$ ام دوره هارمونیک در سری فوریه و  $t_i$  زمانی است که نمونه  $i$  ام گرفته شده است.  $M$  تعداد فرکانس سری فوریه ( $M \leq N$ )،  $a_j$  و  $\varphi_j$  دامنه و فاز  $j$  ام دوره هارمونیک هستند. از آنجاکه فرکانس صفر فاز ندارد، دامنه مربوط به فرکانس صفر ( $a_0$ )، با میانگین همه  $N$  مشاهده از متغیر  $y$  برابر است. فرکانس‌های هارمونیک ( $w_j$ ) از حاصل ضرب یک فرکانس پایه (به عنوان مثال  $w_1 = 2\pi / N$ ) در اعداد صحیح  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) به دست می‌آیند (رابطه ۳).

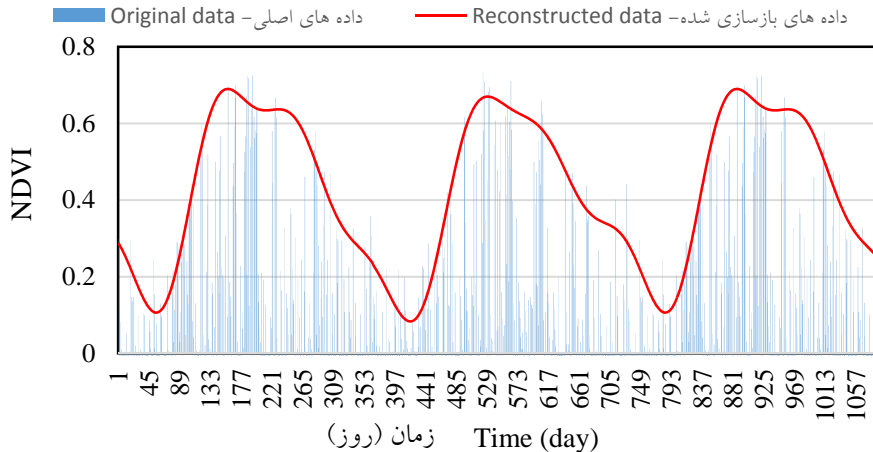
یک سری زمانی سه ساله با داده‌های اولیه و داده‌های بازسازی شده توسط الگوریتم HANTS را نشان می‌دهد.

مقادیر FET، ۰/۱ در نظر گرفته شد و جهت نقاط دورافتاده با توجه به این که پوشش ابر منجر به کاهش مقادیر NDVI می‌شود به صورت کاهشی (Low) در نظر گرفته شد. شکل ۲

جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده به منظور بازسازی سری زمانی NDVI توسط الگوریتم HANTS

Table 1. Defined parameters used to reconstruct the NDVI time series by the HANTS algorithm

مقدار Value	پارامترها Parameters
۰ - ۱	محدوده داده معتبر
0-1	Valid data range
۳۶۵ تصویر 365 Image	دوره پایه Base period
۳	تعداد فرکانس (NOF)
3	Number of Frequency
۰/۱	آستانه میزان خطای قابل قبول (FET)
0.1	Fit Error Tolerance
کاهشی	جهت نقاط دورافتاده
Low	Direction of Outliers
۱۰	DOD
10	Degree of Over Determinedness

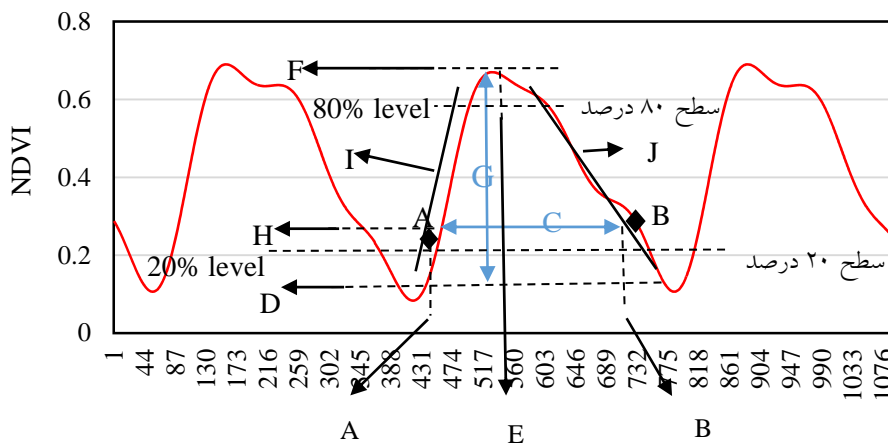


شکل ۲. یک سری زمانی سه ساله NDVI با داده‌های از دست رفته، دورافتاده به همراه منحنی برازش شده توسط الگوریتم HANTS  
Fig. 2. A three-year NDVI time series with gaps and outliers along with the curve fitted by the HANTS algorithm

نشان می‌دهد. مسلماً با استخراج هر کدام از پارامترهای نام برده شده در طول هر پیکسل سری‌های زمانی، در نهایت یک تصویر از آن پارامتر ایجاد خواهد شد. در ادامه هر کدام از پارامترهای نام برده شده در شکل ۳، توضیح داده خواهد شد (۱۲).

### مؤلفه‌های فنولوژی

پس از بازسازی منحنی‌های رشد در سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی می‌توان پارامترهای مختلف فنولوژی را استخراج نمود. شکل ۳ پارامترهای مختلف فنولوژی را در سال دوم یک سری زمانی سه ساله NDVI



شکل ۳. برخی از پارامترهای فنولوژی: شروع فصل رشد (A)، پایان فصل رشد (B)، طول فصل رشد (C)، ارزش پایه (D)، زمان وسط فصل رشد (E)، حداکثر ارزش رشد (F)، دامنه فصل رشد (G)، ارزش NDVI در نقطه شروع رشد (H)، نرخ افزایش در دوره شروع رشد (I) و نرخ کاهش در دوره پایان رشد (J).

Fig. 3. Some of the phonological parameters: beginning of the season (A), end of the season (B), the seasonal length (C), base value (D), time for the mid of the season (E), the point with largest value (maximum value) (F), seasonal amplitude (G), NDVI value for the start of the season (H), rate of increase at the beginning of the season (I) and rate of decrease at the end of the season (J)

Time for the end of the ( ) زمان پایان فصل رشد (season): زمانی که لبه سمت راست منحنی رشد از سطح تعریف شده توسط کاربر بیشتر شده باشد. نقطه مبدا برای شمارش زمان پایان فصل همانند زمان شروع فصل رشد، روز اول ژانویه هر سال می باشد.

طول فصل رشد (Length of the season): زمان بین شروع فصل رشد تا پایان فصل رشد می باشد.

ارزش پایه (Base value): متوسط کمترین مقدار ارزش های منحنی رشد در سمت چپ و راست آن منحنی می باشد. در شکل ۳ کمترین مقدار در سمت چپ و راست منحنی رشد تقریباً برابر می باشد. در مواقعی که این مقادیر متفاوت هستند از مقدار متوسط آن استفاده خواهد شد.

Time for the mid of the ( ) زمان وسط فصل رشد (season): میانگین فاصله زمانی بین ۸۰ درصد سطح بالای منحنی رشد در سمت چپ و راست هر منحنی می باشد. حداکثر ارزش (Maximum value): ارزش شاخص پوشش گیاهی در بالاترین نقطه در منحنی رشد می باشد.

Time for the start of the ( ) زمان شروع فصل رشد (season): زمانی که لبه سمت چپ منحنی رشد از سطح تعریف شده توسط کاربر بیشتر شده باشد. باید توجه داشت در پژوهش حاضر نقطه مبدا برای شمارش زمان شروع فصل رشد، روز اول ژانویه هر سال می باشد (۱۱ دی ماه). به طوری اگر در سری زمانی یک پیکسل، مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI در روز اول ژانویه به حد تعریف شده توسط کاربر برسد؛ زمان شروع فصل رشد برای آن پیکسل ۱ در نظر گرفته خواهد شد. اگر در روزهای بعد از اول ژانویه باشد با توجه به اینکه تصاویر سری زمانی مورد استفاده به صورت روزانه است؛ به صورت روزشمار اندازه گیری خواهد شد و در نتیجه مقدار زمان شروع فصل رشد مثبت خواهد بود. اگر در روز-های قبل از اول ژانویه باشد به صورت روزشمار منفی اندازه گیری خواهد شد و در نتیجه مقدار زمان شروع رشد منفی خواهد بود. به عنوان مثال زمان شروع فصل رشد ۳۰- نشان دهنده این است که یک ماه قبل از روز اول ژانویه (اول دسامبر) مقدار ارزش پیکسل آن سری زمانی به حد تعریف شده دامنه نسبی رسیده است.



مختلف روش مناسبی نخواهد بود. زیرا این مقدار برای تمام پیکسل‌های تصویر یکسان در نظر گرفته خواهد شد.

روش سوم مبتنی بر کسری از دامنه نسبی برای کل سری زمانی (در طول یک پیکسل) در حال پردازش است. دامنه نسبی کل سری زمانی، به صورت میانگین دامنه‌های هر فصل (تفاوت بین حداکثر نقطه اوج در هر فصل و سطح پایه) با حذف ۱۰ درصد کمترین و بالاترین مقادیر، محاسبه می‌شود. برخلاف روش ۱، این روش شاخصی برای شروع و پایان فصل رشد تولید می‌کند، که مقدار نسبی شاخص گیاهی برای رسیدن به زمان شروع و پایان رشد برای یک پیکسل در طول زمان ثابت است اما این مقدار برای پیکسل‌های مختلف متفاوت است.

روش چهارم برای نقاط شروع و پایان فصل رشد برای اساس عبور منحنی رشد از خط روند (STL Seasonal Trend Decomposition by LOESS) می‌باشد. در پژوهش حاضر با توجه به توضیح پاراگراف قبلی و هدف مطالعه و نیز برتری روش سوم، از مقدار  $0/35$  دامنه نسبی برای تعیین نقطه شروع و پایان فصل رشد استفاده شد.

## نتایج

### زمان شروع فصل رشد

نقشه میانگین زمان شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در ارتفاعات البرز و زاگرس زمان شروع فصل رشد نسبت به مناطق پست دیرتر وقوع می‌یابد. در مناطق جنوبی کشور با توجه به اقلیم گرمسیری این مناطق، شروع فصل رشد در این مناطق نسبت به ارتفاعات البرز و زاگرس زودتر رخ خواهد داد. به عبارت دیگر در اواخر پاییز و اوایل زمستان فصل رشد این مناطق شروع خواهد شد. زمان شروع فصل رشد به صورت میانگین در سطح کشور ایران در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال به ترتیب روز ۵۳ و ۴۲ ام از شروع سال

دامنه فصل رشد (Seasonal amplitude): فاصله بین ارزش پایه و حداکثر ارزش در منحنی تغییرات پوشش گیاهی می‌باشد.

ارزش در نقطه شروع فصل رشد (Value for the start of the season): ارزش شاخص پوشش گیاهی در نقطه شروع رشد می‌باشد.

نرخ افزایش در دوره شروع رشد (Rate of increase at the beginning of the season): نسبت اختلاف بین دو سطح ۲۰ و ۸۰ درصد سمت چپ منحنی رشد به اختلاف زمانی این دو نقطه می‌باشد. به عبارت دیگر شیب خط در دو نقطه ۲۰ و ۸۰ درصد سمت چپ منحنی رشد می‌باشد. بالا بودن این نسبت نشان دهنده افزایش پوشش گیاهی در زمان کوتاه و پایین بودن این نسبت نشان دهنده افزایش پوشش گیاهی با سرعت کم می‌باشد.

نرخ کاهش در دوره پایان رشد (Rate of decrease at the end of the season): نسبت اختلاف بین دو سطح ۲۰ و ۸۰ درصد سمت راست منحنی رشد به اختلاف زمانی این دو نقطه می‌باشد. به عبارت دیگر شیب خط در دو نقطه ۲۰ و ۸۰ درصد سمت راست منحنی رشد می‌باشد.

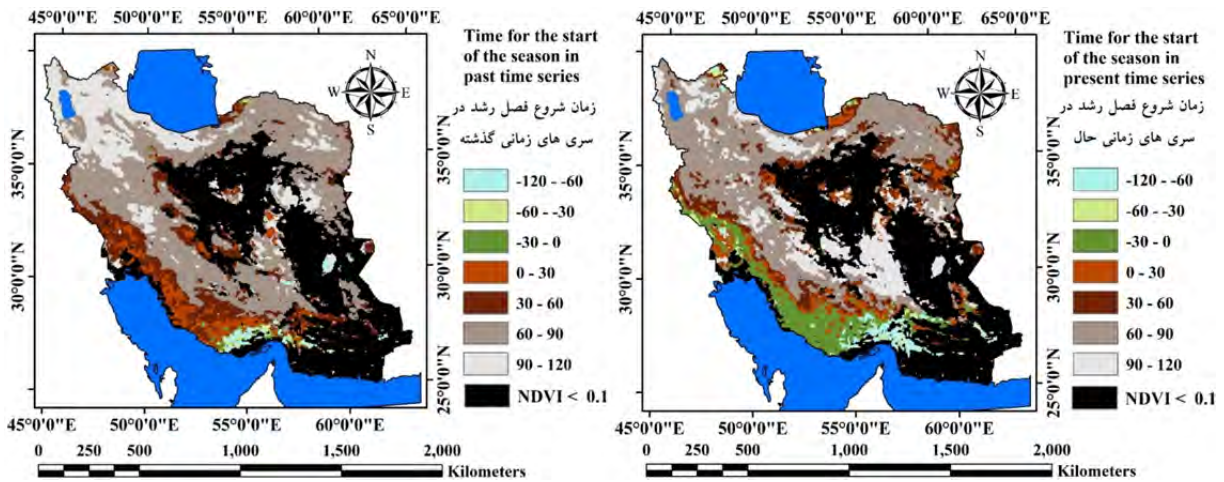
نقطه شروع و پایان فصل رشد در نرم افزار تایم‌ست با چهار روش مختلف قابل تعیین است (۱۲).

روش اول بر اساس دامنه فصلی است که بین سطح پایه و حداکثر مقدار برای هر فصل مشخص تعریف می‌شود. شروع فصل رشد زمانی اتفاق می‌افتد که قسمت سمت چپ منحنی به کسر مشخصی از دامنه که توسط کاربر قابل تعریف است، رسیده باشد (مثلاً  $0/3$  میزان دامنه). پایان فصل رشد نیز به همین طریق در سمت راست منحنی رشد قابل تعیین است.

روش دوم، شروع یا پایان فصل رشد، زمانی اتفاق می‌افتد که منحنی رشد به یک مقدار مطلق که توسط کاربر قابل تعریف است؛ رسیده باشد. به عنوان مثال هنگامی که مقدار NDVI به  $0/2$  برسد؛ از آن نقطه فصل رشد شروع شده است. مسلماً این روش برای مناطق وسیع با پوشش‌های گیاهی

می‌رسد مانند اکثر مناطق کشور باید شروع فصل رشد زودتر وقوع یابد. علت به دست آمدن این نتایج در مناطق مرکزی، پوشش گیاهی ضعیف و همچنین کاهش پوشش گیاهی این مناطق در دوره زمانی مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس نتایج زمان شروع فصل رشد در سطح کل کشور ایران به میزان ۱۲ روز کاهش یافته است.

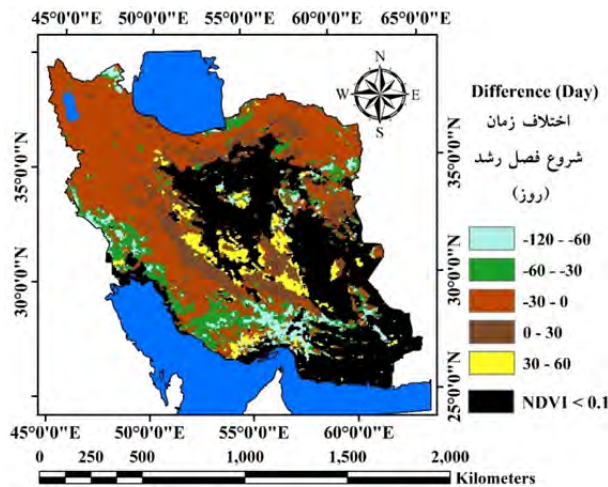
می‌باشد. شکل ۵ نقشه اختلاف زمان شروع فصل رشد سال‌های جدید از قدیم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴ در ارتفاعات البرز و زاگرس و نواحی جنوبی کشور مانند حاشیه خلیج فارس و دریای عمان شروع فصل رشد نسبت به سال‌های گذشته زودتر رخ می‌دهد. در مناطق مرکزی ایران نیز نتایج نشان می‌دهد که شروع فصل رشد نسبت به سری‌های زمانی گذشته دیرتر وقوع می‌یابد. اما در این نواحی نیز به نظر



شکل ۴. میانگین زمان شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

(۲۰۱۸)

Fig. 4. The mean time for the start of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



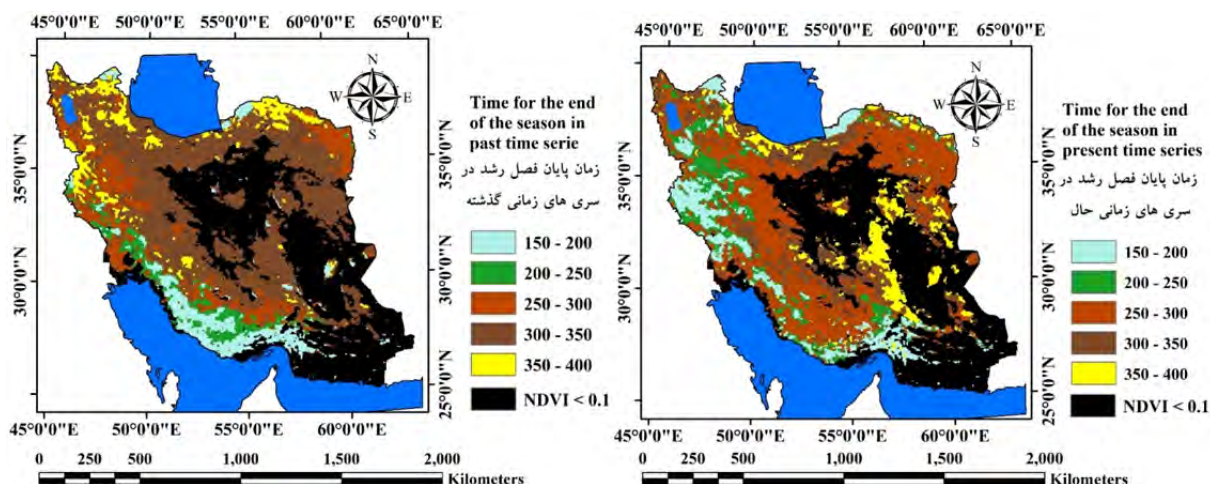
شکل ۵. اختلاف میانگین زمان شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 5. The difference between mean time for the start of the season of the past and present four-year time series

### زمان پایان فصل رشد

ترتیب، روز ۲۸۰ و ۲۶۱ ام از شروع سال میلادی می‌باشد. شکل ۷ نتیجه تفریق نقشه زمان پایان فصل رشد زمان حال از گذشته را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ در قسمت اعظم ایران که عموماً ارتفاعات البرز و زاگرس را شامل می‌شود؛ زمان پایان فصل رشد کاهش یافته است. به عبارت دیگر در این مناطق فصل رشد نسبت به سری‌های زمانی گذشته، زودتر به پایان می‌رسد (مناطق با مقادیر منفی). در حاشیه دریای خزر، حاشیه خلیج فارس و بخشی از مناطق مرکز ایران زمان پایان فصل رشد نسبت به سری زمانی گذشته دیرتر وقوع می‌یابد. با توجه به شکل ۷ زمان پایان فصل رشد در مناطق تحت طبقه ۰ تا ۱۰۰- به طور میانگین به میزان ۳۸ روز کاهش و در طبقات ۰ تا ۱۰۰+ به طور میانگین به میزان ۴۰ روز افزایش یافته است.

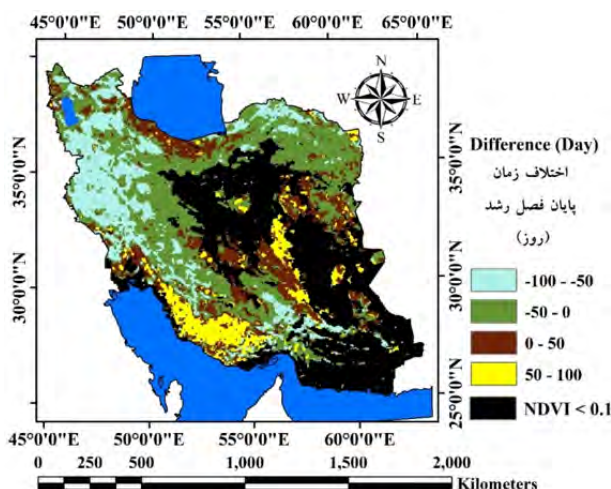
نقشه میانگین زمان پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و سری‌های زمانی چهار ساله حال در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶ در سری‌های زمانی چهار ساله در زمان گذشته، زمان پایان فصل رشد در مناطق حاشیه خلیج فارس و دریای عمان بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ روز به صورت روزشمار از ابتدای سال میلادی (اول ژانویه) می‌باشد. در قسمت اعظم ایران زمان پایان فصل رشد در سری زمانی گذشته بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ روز می‌باشد. با توجه به شکل ۶ چپ مشاهده می‌شود زمان پایان فصل رشد در سری زمانی چهار ساله اخیر نسبت به سری زمانی گذشته تغییرات قابل توجه‌ای پیدا کرده است. به طور میانگین در سطح کشور ایران زمان پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله قدیم و جدید به



شکل ۶. میانگین زمان پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

(۲۰۱۸)

Fig. 6. The mean time for the end of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



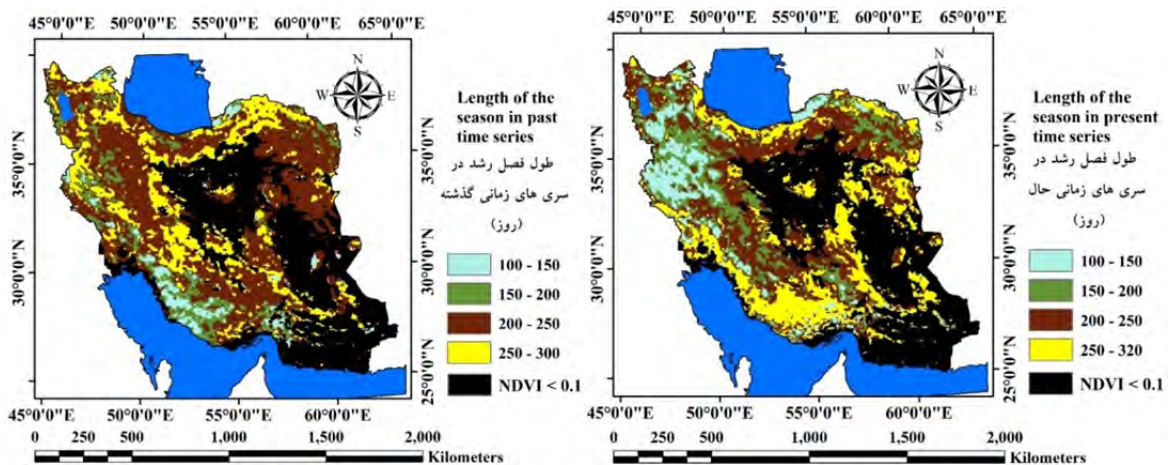
شکل ۷. اختلاف میانگین زمان پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 7. The difference between mean time for the end of the season of the past and present four-year time series

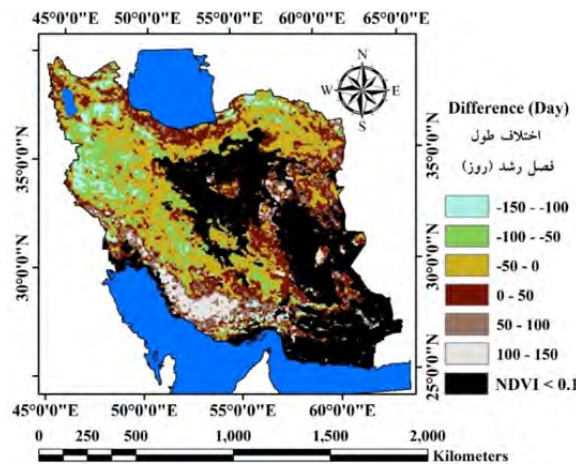
نشان داده شده است. با توجه به شکل ۹ در ارتفاعات البرز و زاگرس طول فصل رشد کاهش یافته است (مقادیر منفی). در حاشیه دریای خزر و خلیج فارس و سایر مناطق پست و دشتی طول فصل رشد افزایش یافته است. البته به نظر می‌رسد افزایش طول فصل رشد در مناطق مرکزی ناشی از کاهش پوشش گیاهی این مناطق در سال‌های اخیر و کاهش دامنه نسبی این مناطق می‌باشد که در نتیجه کاهش دامنه نسبی نقطه شروع و پایان فصل رشد به قسمت پایین منحنی رشد نزدیک خواهد شد؛ در نتیجه این تغییرات، طول فصل رشد به طور غیر واقعی افزایش خواهد یافت. با توجه به شکل ۹ در طبقات ۰ تا ۱۵۰ به طور میانگین طول فصل رشد به میزان ۴۴ روز افزایش و در طبقات ۰ تا ۱۵۰- به طور میانگین طول فصل رشد ۴۶ روز کاهش یافته است.

#### طول فصل رشد

نقشه میانگین طول فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و سری‌های زمانی چهار ساله حال در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ طول فصل رشد در قسمت اعظم ایران به جز حاشیه خلیج فارس بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ روز متغیر می‌باشد. در سری‌های زمانی سال‌های اخیر تغییرات محسوسی در پارامتر طول فصل رشد رخ داده است. به طوری که طول فصل رشد در قسمت غربی ایران کاهش و در حاشیه خلیج فارس و دریای خزر این پارامتر افزایش یافته است. میانگین طول فصل رشد در سطح کشور ایران در سری زمانی چهار ساله قدیم ۲۱۵ روز و در زمان سری‌های زمانی جدید ۲۰۸ روز می‌باشد. تغییرات طول فصل رشد سری‌های زمانی سال‌های اخیر نسبت به سری‌های زمانی گذشته در شکل ۹



شکل ۸. میانگین طول فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)  
 Fig. 8. The mean length of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



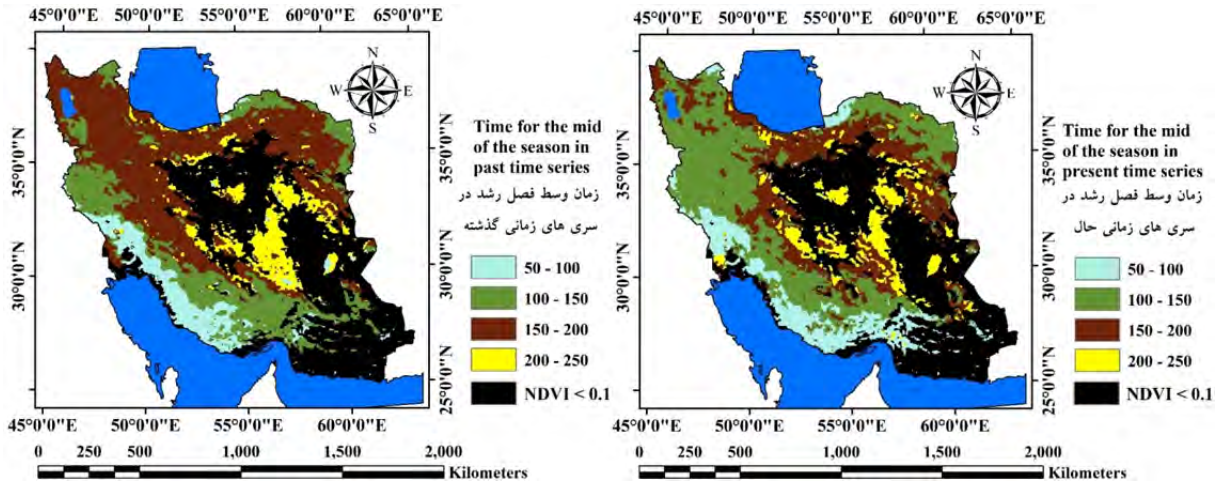
شکل ۹. اختلاف میانگین طول فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 9. The difference between mean length of the season of the past and present four-year time series

اقلیم خشک آن‌ها پوشش گیاهی در ابتدای فصل بهار به حداکثر میزان رشد می‌رسد. علت این امر پوشش گیاهی ضعیف این مناطق است که باعث ایجاد این خطا شده است. متوسط زمان و طول فصل رشد در سطح کل ایران در سری زمانی قدیم و جدید به ترتیب روز ۱۴۰ و ۱۲۷ ام از شروع سال میلادی است. بنابراین زمان و طول فصل رشد در ایران به میزان ۱۳ روز کاهش یافته است. البته با توجه نقشه اختلاف تغییرات (شکل ۱۱) این کاهش در تمام مناطق یکسان نبود به طوری که در مناطق با طبقه ۰ تا ۵۰- به طور میانگین به میزان ۱۹ روز زمان و طول فصل رشد کاهش یافته است.

### زمان و طول فصل رشد

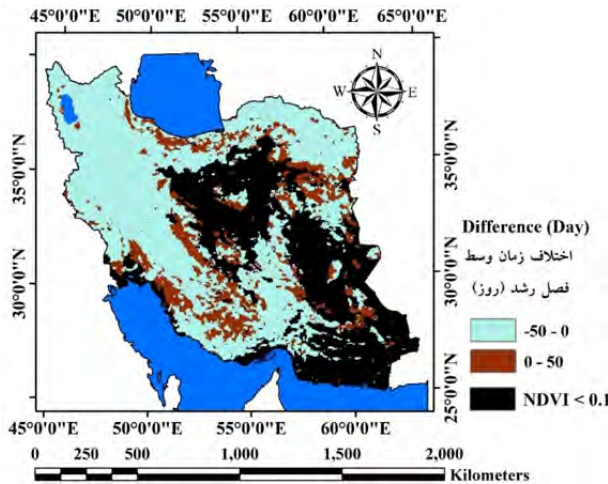
نقشه میانگین زمان و طول فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته یا سال‌های ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ و سری‌های زمانی جدید یا سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۰ زمان و طول فصل رشد در مناطق مختلف ایران متفاوت می‌باشد. در مناطق مرکزی ایران زمان و طول فصل رشد نسبت به ارتفاعات البرز و زاگرس و همچنین حاشیه خلیج فارس بزرگتر نشان داده شده است. با این حال باید توجه داشت این نتایج به نظر غیر واقعی می‌باشد. زیرا در این مناطق با توجه به



شکل ۱۰. میانگین زمان وسط فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

(۲۰۱۸)

Fig. 10. The mean time for the mid of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



شکل ۱۱. اختلاف میانگین زمان وسط فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 11. The difference between mean time for the mid of the season of the past and present four-year time series

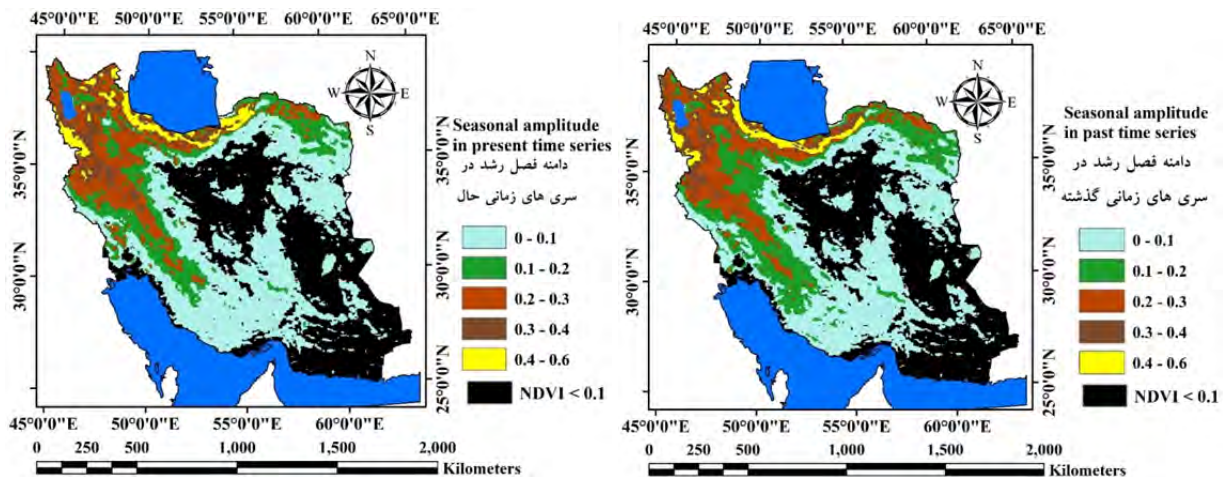
و حاشیه خلیج فارس با توجه به پوشش گیاهی ضعیف این مناطق مشاهده می‌شود. هرچه از مناطق پست و دشتی به سمت ارتفاعات البرز و زاگرس پیش رویم دامنه فصل رشد با توجه به افزایش پوشش گیاهی، افزایش می‌یابد. بالاترین میزان دامنه فصل رشد در جنگل‌های شمال کشور مشاهده می‌شود. میانگین میزان دامنه فصل رشد در سطح ایران در سری‌های زمانی قدیم و جدید به ترتیب، ۰/۱۴۲ و ۰/۱۳۸ می‌باشد که

#### دامنه فصل رشد

دامنه فصل رشد فاصله بین ارزش پایه و حداکثر ارزش در منحنی تغییرات پوشش گیاهی می‌باشد. نقشه میانگین دامنه فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی جدید (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۲ کمترین میزان دامنه فصل رشد در مناطق پست و دشتی مرکز ایران، نواحی شرقی

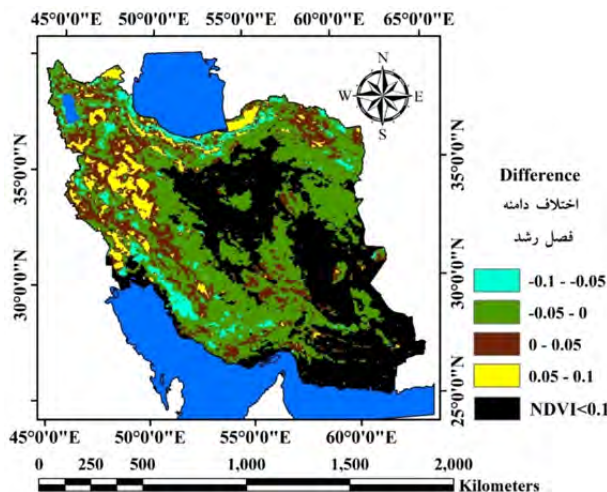
از مناطق که عموماً در ارتفاعات البرز و زاگرس واقع شده‌اند؛ دامنه فصل رشد افزایش یافته است. به طور متوسط در مناطق تحت طبقه ۰ تا ۰/۱ به طور میانگین به میزان ۰/۰۳ دامنه فصل رشد افزایش و مناطق تحت طبقه ۰ تا ۰/۱- به میزان ۰/۰۲- دامنه فصل رشد کاهش یافته است.

نشان دهنده کاهش پوشش گیاهی و میزان نوسانات سری زمانی پوشش گیاهی می‌باشد. شکل ۱۳ اختلاف دامنه فصل رشد سری‌های زمانی جدید از قدیم را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می‌شود در قسمت اعظم ایران دامنه فصل رشد کاهش یافته است (مناطق با مقادیر منفی). این کاهش نشان دهنده تقلیل پوشش گیاهی این مناطق می‌باشد. در برخی



شکل ۱۲. میانگین دامنه فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 12. The mean seasonal amplitude of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



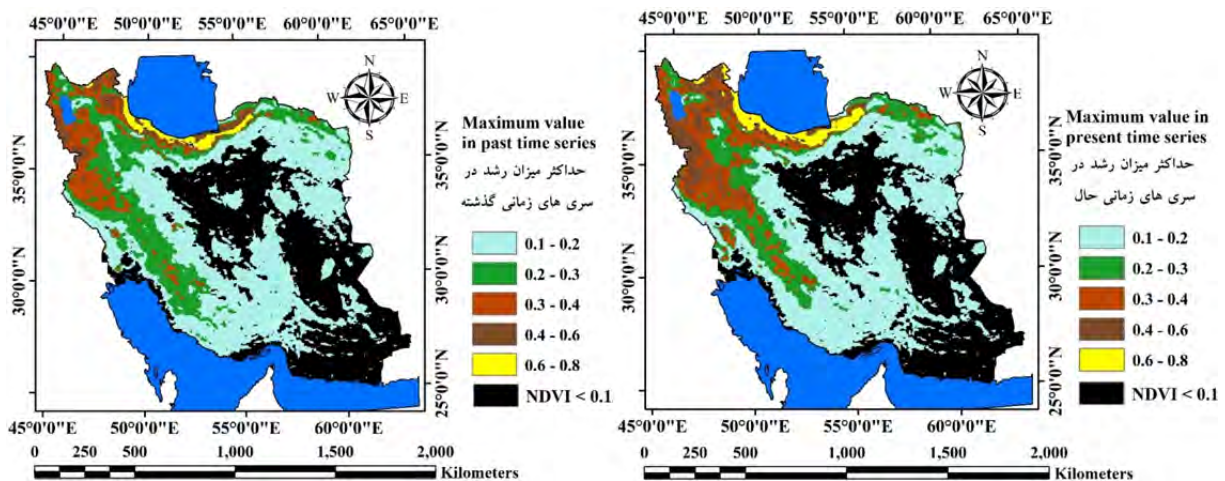
شکل ۱۳. اختلاف میانگین دامنه فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 13. The difference between mean seasonal amplitude of the past and present four-year time series

**حداکثر میزان رشد**

نقشه میانگین حداکثر میزان رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و سری‌های زمانی چهار ساله جدید به ترتیب در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۴ در ارتفاعات البرز و زاگرس و همچنین حاشیه دریای خزر بالاترین مقادیر شاخص پوشش گیاهی NDVI مشاهده شد. کمترین میزان حداکثر رشد در مناطق مرکزی ایران، شرق، جنوب و حاشیه خلیج فارس با توجه به پوشش گیاهی اندک این مناطق مشاهده شد. به صورت میانگین در سطح کشور ایران حداکثر ارزش رشد در سری‌های زمانی ۴ ساله در زمان قدیم و جدید به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۲۲ واحد NDVI می‌باشد.

با این حال با توجه داشت هرچند میانگین ثابت مانده، اما تغییرات حداکثر میزان رشد در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. به طوری که با توجه به نقشه اختلاف حداکثر میزان رشد (شکل ۱۵) در مناطق مرکزی ایران، شرق، جنوب و حاشیه خلیج فارس حداکثر میزان رشد در سری‌های زمانی اخیر نسبت به گذشته کاهش یافته است. در صورتی که در ارتفاعات البرز و زاگرس و حاشیه دریای خزر حداکثر میزان رشد در سری‌های زمانی اخیر نسبت به گذشته افزایش یافته است. به صورت میانگین در طبقات بین ۰ تا ۰/۱- به میزان ۰/۰۲۵ شاخص حداکثر میزان رشد کاهش و در طبقات ۰ تا ۰/۲ به میزان ۰/۰۵۶ شاخص حداکثر میزان رشد افزایش یافته است.

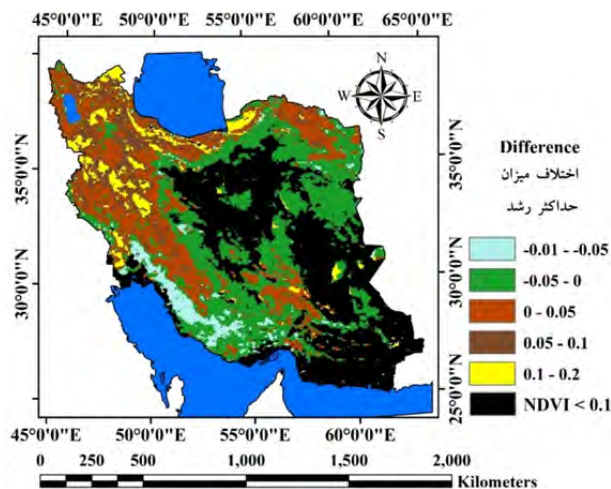


شکل ۱۴. میانگین حداکثر میزان رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

(۲۰۱۸)

Fig. 14. The mean maximum value of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018





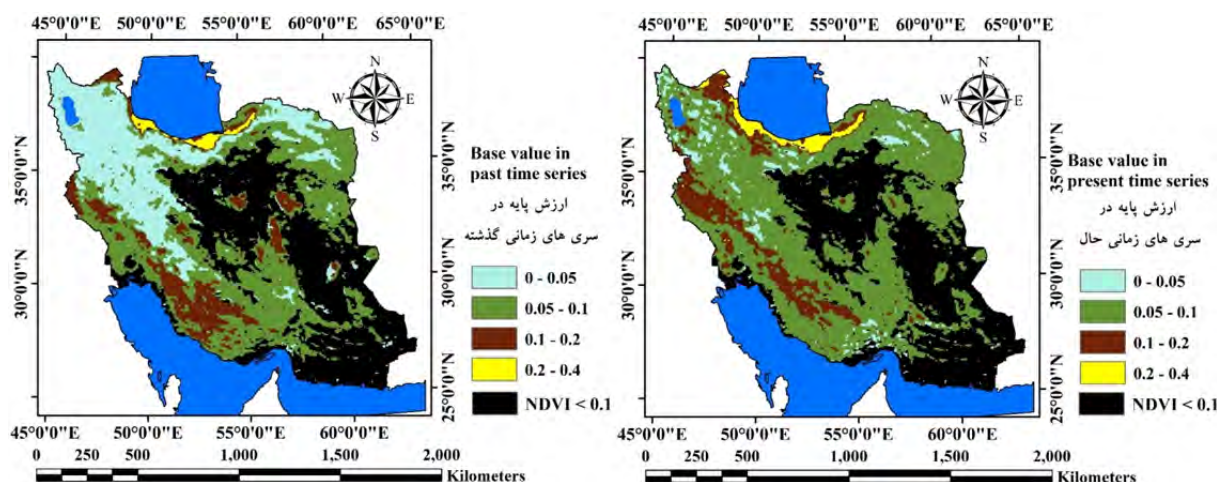
شکل ۱۵. اختلاف میانگین حداکثر میزان رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 15. The difference between mean maximum value of the past and present four-year time series

#### ارزش پایه رشد

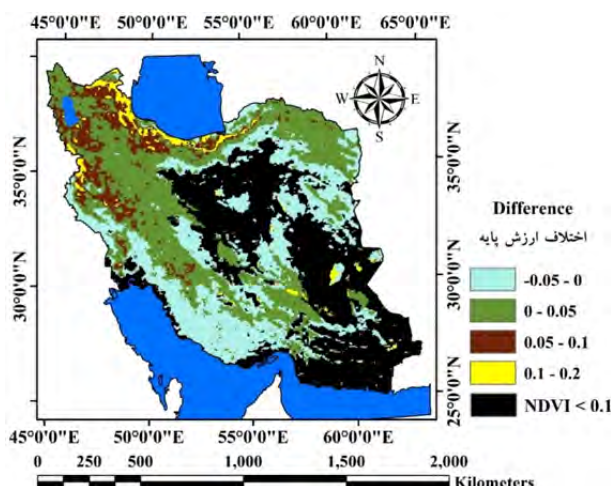
ارزش پایه در منحنی رشد میانگین ارزش پایین‌ترین نقطه در سمت چپ (شروع رشد) و سمت راست منحنی رشد (پایان رشد) را نشان می‌دهد. نقشه میانگین ارزش پایه در منحنی رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی جدید (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در شکل ۱۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۶ راست در سری‌های زمانی گذشته ارزش پایه در ارتفاعات البرز و زاگرس به‌ویژه در شمال غرب ایران بین ۰ تا ۰/۰۵ می‌باشد در صورتی در سری زمانی سال‌های اخیر ارزش پایه در این مناطق افزایش یافته است. با توجه به شکل ۱۶ راست و چپ در جنگل‌های شمال ایران در حاشیه دریای خزر بالاترین میزان

ارزش پایه قابل مشاهده است. شکل ۱۷ تغییرات مقدار میانگین ارزش پایه در سری‌های زمانی چهار ساله اخیر را نسبت به گذشته نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۷ در مناطق پست و دشتی در مرکز، حاشیه خلیج فارس و در قسمت‌های شرقی ایران ارزش پایه در منحنی‌های رشد سری‌های زمانی اخیر کاهش یافته است. در صورتی که در ارتفاعات البرز و زاگرس واقع در غرب، شمال غرب و قسمت‌های شمالی ایران میزان ارزش پایه در منحنی‌های رشد افزایش یافته است. این افزایش نشان دهنده افزایش سطح پوشش گیاهی این مناطق است که ناشی از گرم‌تر شدن این نواحی و ذوب برف و محیا شدن شرایط دمایی و رطوبتی برای پوشش‌های گیاهی می‌باشد.



شکل ۱۶. نقشه میانگین ارزش پایه فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 16. The mean base value of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



شکل ۱۷. اختلاف میانگین ارزش پایه فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 17. The difference between mean base value of the past and present four-year time series

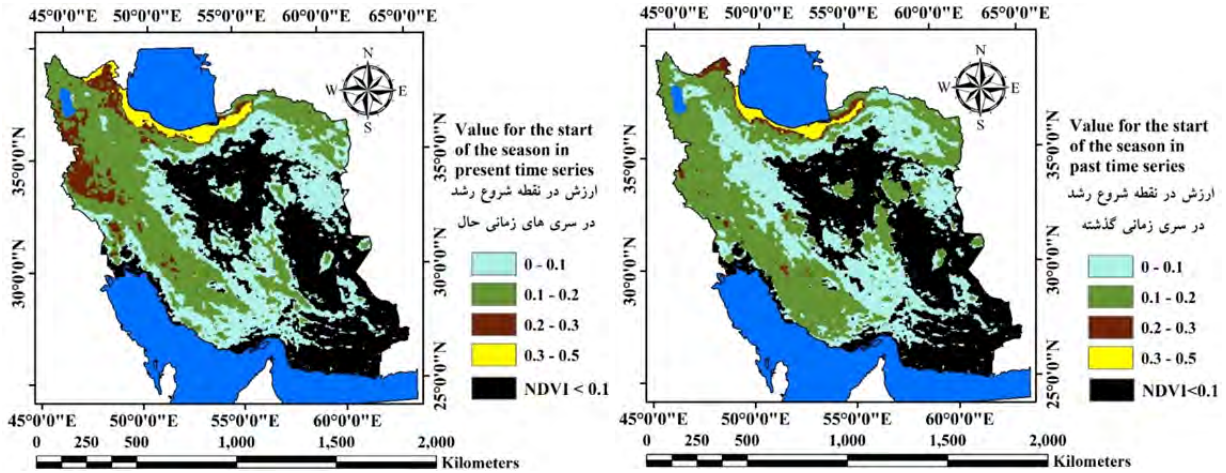
چپ ارزش یا مقدار NDVI در نقطه شروع فصل رشد در سری‌های زمانی قدیم و جدید تفاوت محسوسی دارد. به طوری که مقدار ارزش در نقطه شروع رشد در ارتفاعات البرز و زاگرس به ویژه در شمال غرب کشور افزایش یافته است. شکل ۱۹ اختلاف نقشه ارزش در نقطه شروع رشد سال‌های اخیر از گذشته را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۹ همانند سایر پارامترهای فنولوژی ارزش در نقطه شروع رشد در مناطق پست و در ارتفاعات البرز و زاگرس به دو صورت مختلف

#### ارزش نقطه شروع

همان‌طور که گفته شد نقطه شروع و پایان فصل رشد بر اساس کسری از دامنه نسبی کل سری زمانی در پژوهش حاضر مشخص شد. با توجه به اینکه این کسر برای شروع و پایان فصل رشد مساوی در نظر گرفته شد (مقدار ۰/۳۵)؛ مقدار ارزش شاخص NDVI برای نقطه شروع و پایان فصل رشد مساوی خواهد بود و بنابراین شکل ۱۸ برای ارزش در نقطه پایان رشد نیز صادق خواهد بود. با توجه به شکل ۱۸ راست و

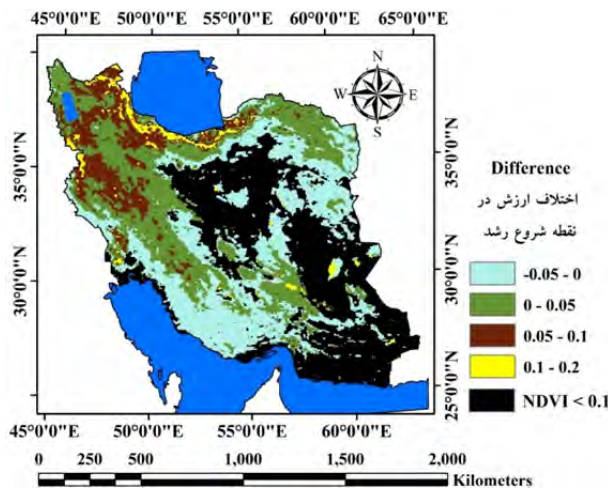
ارتفاعات البرز و زاگرس به‌ویژه در قسمت‌های شمال غربی ایران مقدار این پارامتر افزایش یافته است.

تغییر پیدا کرده است. به‌طوری در مناطق پست و دشتی ارزش NDVI نقطه شروع رشد کاهش پیدا کرده است در صورتی در



شکل ۱۸. میانگین ارزش نقطه شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 18. The mean value for the start of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



شکل ۱۹. اختلاف میانگین ارزش نقطه شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

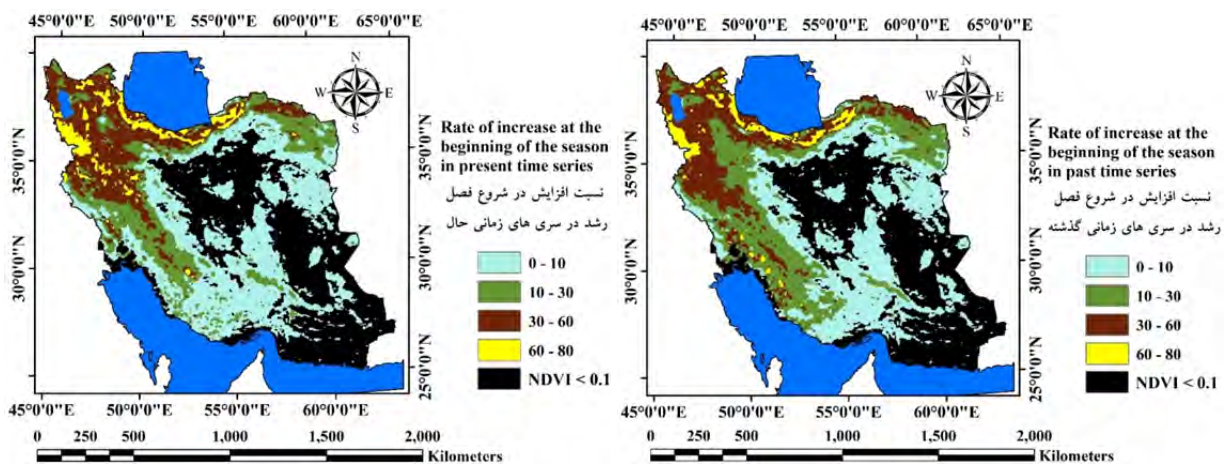
Fig. 19. The difference between mean value for the start of the season of the past and present four-year time series

با ارتفاع کم نظیر مناطق مرکزی و مناطق کوهپایه‌ای ارتفاعات البرز و زاگرس نسبت افزایش در شروع فصل رشد کمتر از نسبت افزایش در ارتفاعات البرز و زاگرس می‌باشد. به عبارت دیگر در ارتفاعات البرز و زاگرس افزایش پوشش گیاهی در ابتدای فصل رشد با سرعت انجام می‌شود. یکی دیگر از

نسبت افزایش در شروع فصل رشد نقشه میانگین نسبت افزایش در شروع فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در شکل ۲۰ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲۰ راست و چپ در مناطقی

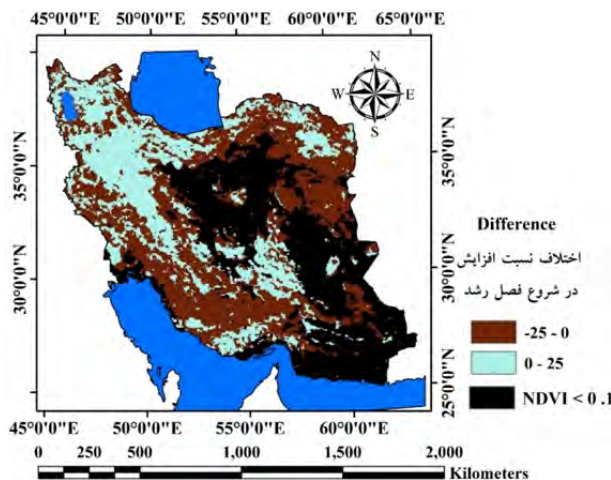
مناطق این نسبت کاهش یافته است. این امر نشان دهنده این است که در ارتفاعات البرز و زاگرس پوشش های برف و یخ کاهش یافته است و شرایط دمایی برای حضور پوشش گیاهی سریع و زودتر فراهم می شود. از طرفی در نتایج مراحل قبل نشان داده شده در ارتفاعات البرز و زاگرس پارامترهای حداکثر ارزش رشد و دامنه افزایش یافته است. که این امر نشان دهنده افزایش شیب منحنی در شروع رشد خواهد بود.

علت های نسبت افزایش بالاتر در ارتفاعات البرز و زاگرس، پوشش گیاهی بیشتر این مناطق می باشد؛ که منجر به ایجاد شیب تند در ابتدای فصل رشد می شود. شکل ۲۱ اختلاف نسبت افزایش در شروع فصل رشد سری های زمانی جدید از قدیم را نشان می دهد. با توجه به شکل به طور پراکنده در ارتفاعات البرز و زاگرس به ویژه در مناطق شمال غربی نسبت افزایش در شروع فصل رشد در سری های زمانی اخیر نسبت به گذشته افزایش یافته است (مناطق با مقادیر مثبت) و در سایر



شکل ۲۰. میانگین نسبت افزایش در شروع فصل رشد در سری های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 20. The mean rate of increase at the beginning of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



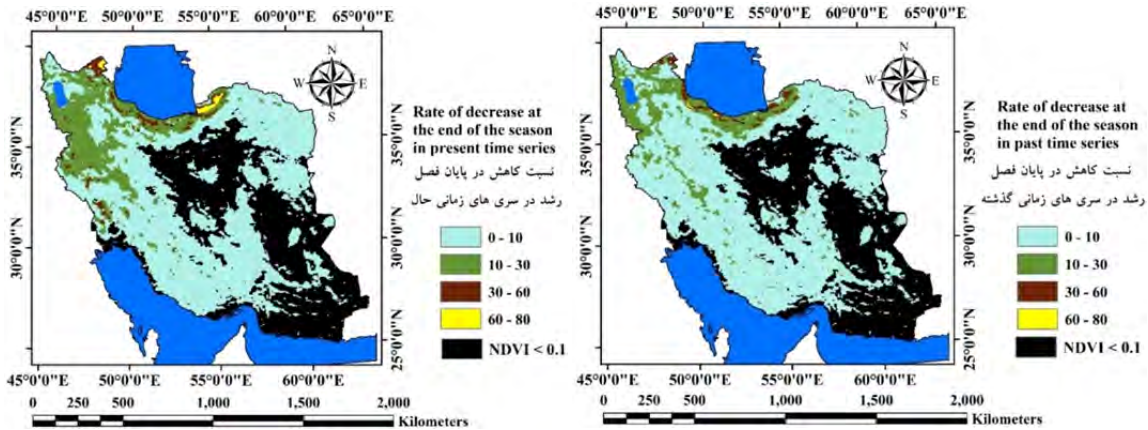
شکل ۲۱. اختلاف میانگین نسبت افزایش در شروع فصل رشد در سری های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 21. The difference between mean rate of increase at the beginning of the season of the past and present four-year time series

نسبت کاهش در پایان فصل رشد

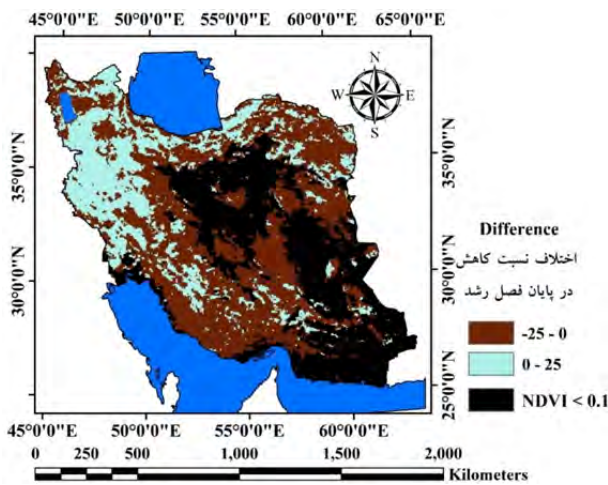
نقشه میانگین نسبت کاهش در پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله جدید (۲۰۱۵-۲۰۱۸) در شکل ۲۲ نشان داده شده است. با توجه شکل ۲۲ راست و چپ نسبت کاهش در پایان فصل رشد در قسمت اعظم ایران به جز مناطق حاشیه دریای خزر و قسمت‌های شمال غربی ایران یکسان می‌باشد. با توجه به نقشه اختلاف نسبت کاهش در پایان فصل رشد در سری‌های زمانی جدید از قدیم مشخص می‌شود در مناطق

شمال و غرب کشور و برخی مناطق دیگر به صورت پراکنده نسبت کاهش در پایان فصل رشد افزایش یافته است (شکل ۲۳). به عبارت دیگر در این مناطق شیب کاهش میزان پوشش گیاهی در پایان فصل رشد، افزایش یافته است. در سایر مناطق که عموماً مناطق پست با پوشش گیاهی اندک را شامل می‌شود نسبت کاهش میزان پوشش گیاهی در پایان فصل کاهش یافته است. به نظر می‌رسد علت این امر کاهش پوشش گیاهی در نتیجه افت شیب کاهش در پایان فصل رشد می‌باشد.



شکل ۲۲. میانگین نسبت کاهش در پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته (۱۹۸۲-۱۹۸۵) و سری‌های زمانی چهار ساله حال (۲۰۱۵-۲۰۱۸)

Fig. 22. The mean rate of decrease at the end of the season of the past four-year time series from 1982 to 1985 and the present four-year time series from 2015 to 2018



شکل ۲۳. اختلاف میانگین نسبت کاهش در پایان فصل رشد در سری‌های زمانی چهار ساله گذشته و حال

Fig. 23. The difference between mean rate of decrease at the end of the season of the past and present four-year time series

## بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران در پاسخ به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج در ارتفاعات البرز و زاگرس زمان شروع فصل رشد نسبت به مناطق پست دیرتر وقوع می‌یابد. علت این امر کاهش دما می‌باشد، که با افزایش ارتفاع رخ می‌دهد. دما یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در شروع رشد و فرایندهای فنولوژی گیاهان می‌باشد. در مناطق کوهستانی فرایندهای فنولوژیکی و شروع رشد گیاهان به شدت به تغییرات آب و هوایی ناشی از ارتفاعات وابسته است (۱۷). پژوهش‌ها در این زمینه نشان داده است با کاهش میانگین دمای فصل بهار، شروع رشد گیاهان با تاخیر مواجه می‌شود (۱۵ و ۱۸). میزان و بزرگی تغییر بسته به منطقه مورد مطالعه، نوع گونه و شرایط اقلیمی متفاوت می‌باشد. مقایسه میانگین چهارساله مؤلفه‌های فنولوژی زمان شروع فصل رشد، پایان فصل رشد، طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد در سطح کل ایران نشان داد این شاخص‌ها به ترتیب به میزان ۱۲، ۱۹، ۷، ۱۳ روز کاهش یافته است. البته باید توجه داشت تغییرات این مؤلفه‌ها در مناطق مختلف به‌ویژه در مناطق پست تقریباً با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر با مناطق مرتفع که شامل ارتفاعات البرز و زاگرس می‌باشد؛ کاملاً متفاوت است. به طوری که زمان پایان فصل رشد، طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد در ارتفاعات البرز و زاگرس تقریباً از ارتفاع ۱۵۰۰ متر به بالا به ترتیب به طور میانگین به میزان ۳۸، ۴۶ و ۱۹ روز کاهش یافته است. در مناطق پست در حاشیه خلیج فارس و دریای خزر مؤلفه‌های فنولوژی زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد تقریباً به ترتیب به میزان ۴۰ و ۴۴ روز افزایش یافته است. پژوهش‌ها در این زمینه نشان داده است در مقیاس‌های مختلف مانند منطقه معتدله نیمکره شمالی زمین (۱۱) و در مناطقی مانند فلات تبت (۲۷)، شمال شرق چین (۲۶ و ۲۸)، آفریقا (۲۴)، اروپا (۶) و عرض‌های جغرافیایی میانه و بالا در نیمکره شمالی (۲۹) زمان شروع فصل رشد

کاهش (زودتر)، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد افزایش یافته است. بزرگی این تغییرات با توجه به مکان، گونه‌ها و دوره تحقیقات متفاوت است (۲۱). طولانی شدن فصل رشد به عوامل مختلف اقلیمی به‌ویژه گرم شدن کره زمین ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای و یا در دسترس بودن آب نسبت داده شده است (۵ و ۲۱). در ایران در اکثر مناطق زمان شروع فصل رشد به‌ویژه در ارتفاعات البرز و زاگرس که دما عامل محدودکننده در شروع رشد می‌باشد، کاهش یافته است. اما بر خلاف پژوهش‌های نام‌برده در بالا، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد و زمان وسط فصل رشد نیز کاهش یافته است. این امر نشان دهنده این است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران در مراحل میانی و پایانی رشد گیاهی، رطوبت و بارندگی عامل محدودکننده برای رشد می‌باشد. در مناطقی مانند حاشیه خلیج فارس و دریای خزر که رطوبت کمتر عامل محدودکننده بوده است، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد نیز افزایش یافته است. تسریع در شروع فصل رشد و کاهش طول دوره رشد و زمان پایان فصل رشد با نتایج سایر پژوهش‌ها در ایران همخوانی دارد (۱۶ و ۱۹). در پژوهشی برای ارزیابی تغییر اقلیم بر تولید و فنولوژی گیاهان در استان تهران، نتایج نشان داد در قسمت‌های شمالی استان تهران زمان شروع و پایان فصل رشد زودتر اتفاق می‌افتد (۱۹). در پژوهشی دیگر نیز نتایج نشان داد طول فصل رشد پوشش گیاهی استان تهران و زنجان در ارتفاع‌ها به ترتیب ۲/۸ و ۷/۴ روز کاهش داشته است (۱۶). تغییرات پارامترهای فنولوژی نظیر زمان شروع فصل رشد، زمان پایان فصل رشد و طول فصل رشد می‌تواند تأثیر منفی بر تولید محصولات کشاورزی و سیستم‌های زیست محیطی کشور داشته است. شروع زودتر فصل رشد در سری‌های زمانی سال‌های اخیر نسبت به ۳۵ سال گذشته می‌تواند تهدید مهمی برای تولید محصولات کشاورزی و باغی باشد. زیرا سرما و یخبندان از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در زمینه اقلیم کشاورزی می‌باشد که آسیب‌های ناشی از آن‌ها، امکان تولید بسیاری از محصولات کشاورزی و باغی را در مناطق آسیب‌پذیر کاهش می‌دهد.

فرایندهایی نظیر زمان آمادگی مراتع برای چرای دام، زمان بهره‌برداری گیاهان دارویی و ... را مشخص نمود. با این حال در راستای پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های سنجنده‌های دیگر تغییرات مؤلفه‌های فنولوژی پوشش گیاهی ایران در مناطق مختلف بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود با استفاده از داده‌های سایر سنجنده‌ها نظیر مودیس در هر سال مؤلفه‌های فنولوژی از سری‌های زمانی استخراج شود و سپس روند و سرعت این تغییرات در گذر زمان مشخص و تغییرات در سال‌های آینده پیش‌بینی شود.

## References

1. Atkinson PM, Jeganathan C, Dash J, Atzberger C. 2012. Inter-comparison of four models for smoothing satellite sensor time-series data to estimate vegetation phenology. *Remote Sensing of Environment*, 123: 400-417. doi:https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.001.
2. Chen A, He B, Wang H, Huang L, Zhu Y, Lv A. 2015. Notable shifting in the responses of vegetation activity to climate change in China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 87-88: 60-66. doi:https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.08.008.
3. Cheng M, Jin J, Zhang J, Jiang H, Wang R. 2018. Effect of climate change on vegetation phenology of different land-cover types on the Tibetan Plateau. *International Journal of Remote Sensing*, 39(2): 470-487. doi:https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1387308.
4. Eastman JR, Sangermano F, Machado EA, Rogan J, Anyamba A. 2013. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982–2011. *Remote Sensing*, 5(10): 4799-4818. doi:https://doi.org/10.3390/rs5104799.
5. Forkel M, Migliavacca M, Thonicke K, Reichstein M, Schaphoff S, Weber U, Carvalhais N. 2015. Codominant water control on global interannual variability and trends in land surface phenology and greenness. *Global Change Biology*, 21(9): 3414-3435. doi:https://doi.org/10.1111/gcb.12950.
6. Fu YH, Piao S, Op de Beeck M, Cong N, Zhao H, Zhang Y, Menzel A, Janssens IA. 2014. Recent spring phenology shifts in western Central Europe based on multiscale observations. *Global Ecology and Biogeography*, 23(11): 1255-1263. doi:https://doi.org/10.1111/geb.12210.
7. Ghafarian Malamiri H, Zare Khormizi H. 2017. Reconstruction of cloud-free time series satellite

بر اساس نتایج مؤلفه‌های فنولوژی نظیر دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه، ارزش در نقطه شروع رشد، نسبت افزایش در شروع فصل رشد و نسبت کاهش در پایان فصل رشد در ارتفاعات البرز و زاگرس افزایش یافته است و در سایر مناطق که عموماً مناطق با ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ را شامل می‌شود این مؤلفه کاهش یافته است. برخی از پژوهش‌ها نشان داده است رشد گیاهان و قابلیت تولید اکوسیستم‌ها به سبب گرمایش کره زمین افزایش یافته است (۴، ۸ و ۱۴). با این حال به نظر می‌رسد در مناطق خشک و نیمه‌خشک، فراوانی موج گرما می‌تواند تبخیر و تعرق گیاه را نیز افزایش دهد که سبب کمبود رطوبت در خاک می‌شود. بنابراین در ارتفاعات که در ابتدای فصل رویش دما عامل محدودکننده می‌باشد افزایش دما منجر به افزایش رشد گیاهان و قابلیت تولید اکوسیستم شده و پارامترهای فنولوژی نظیر دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه و ارزش در نقطه شروع رشد افزایش یافته است. اما در مناطق پست و دشتی و همچنین در اواخر دوره رشد گیاهی در ارتفاعات و افزایش دما منجر به افزایش تبخیر و تعرق شده و دامنه فصل رشد، حداکثر میزان رشد، ارزش پایه و ارزش در نقطه شروع رشد را کاهش داده است. به طور کلی نتایج پژوهش حاضر یک زنجیره وقایع به هم پیوسته، ناشی از تغییرات اقلیمی و افزایش دما را در مؤلفه‌های مختلف فنولوژی در ارتفاعات البرز و زاگرس و همچنین در مناطق پست و دشتی به ویژه در حاشیه خلیج فارس و دریای خزر نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج پژوهش حاضر و به واسطه تغییرات در مؤلفه‌های مختلف فنولوژی لازم است نحوه مدیریت فرآیندهای مختلف کشاورزی و منابع طبیعی تغییر یابد. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار تایم ست می‌توان زمان کاشت و برداشت محصولات مختلف در سطوح ارتفاعی مختلف را مشخص نمود. همچنین در علوم منابع طبیعی با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار تایم ست می‌توان

- observations of land surface temperature (LST) using harmonic analysis of time series algorithm (HANTS). *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science)*, 8(3): 37-55. (In Persian).
8. Guay KC, Beck PS, Berner LT, Goetz SJ, Baccini A, Buermann W. 2014. Vegetation productivity patterns at high northern latitudes: A multi-sensor satellite data assessment. *Global Change Biology*, 20(10): 3147-3158. doi:<https://doi.org/10.1111/gcb.12647>.
  9. Guo L, Dai J, Wang M, Xu J, Luedeling E. 2015. Responses of spring phenology in temperate zone trees to climate warming: A case study of apricot flowering in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.016>.
  10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Cambridge University Press: Cambridge, NY, USA, 688 p.
  11. Jeong SJ, HO CH, GIM HJ, Brown ME. 2011. Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982–2008. *Global change biology*, 17(7): 2385-2399. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x>.
  12. Jönsson P, Eklundh L. 2004. TIMESAT-a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 30(8): 833-845. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.006>.
  13. Julien Y, Sobrino JA. 2019. Optimizing and comparing gap-filling techniques using simulated NDVI time series from remotely sensed global data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76: 93-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.008>.
  14. Liu L, Liang L, Schwartz MD, Donnelly A, Wang Z, Schaaf CB, Liu L. 2015. Evaluating the potential of MODIS satellite data to track temporal dynamics of autumn phenology in a temperate mixed forest. *Remote Sensing of Environment*, 160: 156-165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.011>.
  15. Liu Q, Fu YH, Zhu Z, Liu Y, Liu Z, Huang M, Janssens IA, Piao S. 2016. Delayed autumn phenology in the Northern Hemisphere is related to change in both climate and spring phenology. *Global Change Biology*, 22(11): 3702-3711. doi:<https://doi.org/10.1111/gcb.13311>.
  16. Malayeri F, Ashourloo D, Shakiba A, Matkan AA, Aghighi H. 2018. Investigating the Effects of Climate Change on Vegetation Phenology Using AVHRR Time Series Data. *Journal of Agroecology*, 8(2): 98-117. (In Persian).
  17. Pellerin M, Delestrade A, Mathieu G, Rigault O, Yoccoz NG. 2012. Spring tree phenology in the Alps: effects of air temperature, altitude and local topography. *European Journal of Forest Research*, 131(6): 1957-1965. doi:[10.1007/s10342-012-0646-1](https://doi.org/10.1007/s10342-012-0646-1).
  18. Piao S, Cui M, Chen A, Wang X, Ciais P, Liu J, Tang Y. 2011. Altitude and temperature dependence of change in the spring vegetation green-up date from 1982 to 2006 in the Qinghai-Xizang Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12): 1599-1608. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.06.016>.
  19. Rayegani B, Arzani H, Heydari Alamdarloo E, Moghadami MM. 2019. Application of remote sensing to assess climate change effects on plant productivity and phenology (Case study area: Tehran Province). *Journal of Rangeland*, 3(13): 450-460. (In Persian).
  20. Richardson AD, Keenan TF, Migliavacca M, Ryu Y, Sonnentag O, Toomey M. 2013. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169: 156-173. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>.
  21. Tang H, Li Z, Zhu Z, Chen B, Zhang B, Xin X. 2015. Variability and climate change trend in vegetation phenology of recent decades in the Greater Khingan Mountain area, Northeastern China. *Remote sensing*, 7(9): 11914-11932. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70911914>.
  22. Verhoef W. 1996. Application of Harmonic Analysis of NDVI Time Series (HANTS). In S. Azzali & M. Menenti (Eds.), In: *Fourier analysis of temporal NDVI in southern Africa and America continent*. The Netherlands, DLO Winand Staring Centre, Report 108: 19-24.
  23. Vermote E, Justice C, Csiszar I, Eidsensink J, Myneni R, Baret F, Masuoka E, Wolfe R, Claverie M. 2014. NOAA Climate Data Record (CDR) of normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Version 4. NOAA Natl Clim Data Cent, doi:<https://doi.org/10.7289/V5PZ56R6>.
  24. Vrieling A, De Leeuw J, Said MY. 2013. Length of growing period over Africa: Variability and trends from 30 years of NDVI time series. *Remote sensing*, 5(2): 982-1000. doi:<https://doi.org/10.3390/rs5020982>.
  25. Workie TG, Debella HJ. 2018. Climate change and its effects on vegetation phenology across ecoregions of Ethiopia. *Global Ecology and Conservation*, 13: e00366. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.e00366>.



26. Yu L, Liu T, Bu K, Yan F, Yang J, Chang L, Zhang S. 2017. Monitoring the long term vegetation phenology change in Northeast China from 1982 to 2015. *Scientific Reports*, 7(1): 14770. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-017-14918-4>.
27. Zhang G, Zhang Y, Dong J, Xiao X. 2013. Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11): 4309-4314. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1210423110>.
28. Zhao J, Wang Y, Zhang Z, Zhang H, Guo X, Yu S, Du W, Huang F. 2016. The variations of land surface phenology in Northeast China and its responses to climate change from 1982 to 2013. *Remote Sensing*, 8(5): 400. doi:<https://doi.org/10.3390/rs8050400>.
29. Zhao J, Zhang H, Zhang Z, Guo X, Li X, Chen C. 2015. Spatial and temporal changes in vegetation phenology at middle and high latitudes of the Northern Hemisphere over the past three decades. *Remote Sensing*, 7(8): 10973-10995. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70810973>.
30. Zheng Z, Zhu W, Chen G, Jiang N, Fan D, Zhang D. 2016. Continuous but diverse advancement of spring-summer phenology in response to climate warming across the Qinghai-Tibetan Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223: 194-202. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.04.012>.



## Investigation of phenological components changes of Iranian vegetation in response to climate change using NDVI products of AVHRR sensor from 1982 to 2018

Hadi Zare khormizi, Hamid Reza Ghafarian Malamiri

Received: 2 March 2020 / Accepted: 7 August 2020  
Available online 1 December 2020

### Abstract

**Background and Objective** Climate change has had a negative impact on agricultural products and environmental systems in different countries. Plant phenology describes the periodical plant life events in relation to living and non-living factors. Phenology is one of the most sensitive biological indicators for studying the effect of global warming on terrestrial ecosystems, as it represents the exchange of energy, carbon, and water vapor between low levels of the atmosphere and the biosphere. Plants phenological changes can have a wide range of effects on environmental processes, agriculture, forestry, food supply, human health and the global economy. There are two common approaches to monitoring vegetation phenology. The first approach used in many previous phenology studies is based on field studies and recording annual changes in phenological events in response to environmental variables. So far, the phenological components changes of Iran's vegetation covers in response to climate change and global

warming have not been studied. The purpose of this study is to determine the changes of each component of Iranian vegetation phenology. This approach is suitable for small scales with a limited number of sampling sites and is not only inefficient and inaccurate for large-scale studies but also costly and impossible in some areas. The second approach, developed in recent years, is the use of satellite imagery and remote sensing technology. using NDVI time series of AVHRR sensor. The results of this study can be used in determining the date of cultivation season, environment, rangelands and water resources management, and finally useful and practical recommendations to farmers.

**Materials and Methods** In this study, daily NDVI product of AVHRR sensor, called AVH13C1, was used with a spatial resolution of 0.05 by 0.05 degrees. To investigate the changes in phenological components of Iranian vegetation, four one-year time series related to 1982 to 1985 years (namely as past time) and 2015- 2018 years (namely as present time) were used. Extraction of phenological components from the time series of vegetation indices initially requires continuous gap-free data. The HANTS algorithm was used to reconstruct the gaps and outliers from the time series. Then, in order to extract different phenological components, Timsat software was used.

H. Zare Khormizi<sup>1</sup>, H.R. Ghafarian Malamiri<sup>2</sup>

1. PhD. Student of Range Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Yazd, Yazd, Iran

e-mail: [hadi.zarekh@gmail.com](mailto:hadi.zarekh@gmail.com)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.5.5>

The beginning of the season, end of the season, length of the season, base value, time of mid of the season, maximum value, the seasonal amplitude, value for the start of the season, rate of increase at the beginning of the season and rate of decrease at the end of the season were extracted using Timsat software in each one-year time series, were extracted using Timsat software in each one-year time series, and then the four-year average of the values of these parameters in the past time series was compared to the present time series.

**Results and Discussion** Comparison of the four-year average of phenological components of the time for the start of the season, the time for the end of the season, the Length of the season and the time for the mid of the season in Iran showed that these indicators decreased by 12, 19, 7 and 13 days, respectively. The rate of changes of these components in lowland areas with an altitude of less than 1500 meters are completely different from highland areas which include Alborz and Zagros chains. So that, from an altitude of 1500 meters and above, the time for the start of the season, the length of the season and the time for the mid of the season in the Alborz and Zagros chains have decreased to an average of 38, 46 and 19 days, respectively. In the lowlands area near to the Persian Gulf and the Caspian Sea, the phenological components of the time for the end of the season and the length of the season have increased by approximately 40 and 44 days, respectively. The prolongation of the growing season has been attributed to various climatic factors, especially global warming due to increased greenhouse gases or water availability. In Iran, in most areas, the beginning of the growing season, especially in the Alborz and Zagros highlands, where the temperature is a limiting factor, has decreased. But unlike some studies conducted outside of Iran, the time for the end of the season, the length of the season and the time for the mid of the season have also decreased. This indicates that in arid and semi-arid regions such as Iran, in the middle and final stages of plant growth, moisture and rainfall are limiting factors for growth. In areas such as the Persian Gulf and the Caspian Sea, where low humidity has not been a limiting factor, the end of the growing season and the length of the growing season

have also increased. Based on the results, the phenological components such as seasonal amplitude, maximum value, base value, value for the start of the season, rate of increase at the beginning of the season and rate of decrease at the end of the season have increased in Alborz and Zagros heights. This component is generally reduced to areas with altitudes below 1500. It seems that in arid and semi-arid regions, the high temperature can also increase the evapotranspiration of the plant, which causes a lack of moisture in the soil. Therefore, at the area with high altitudes that temperature is a controlling factor at the beginning of the growing season, the increasing temperature in present time series has led to increased plant growth and ecosystem production capacity, and phenological parameters such as growing season range, maximum growth rate, base value and the value at the starting point of growth have increased. However, in lowland areas, as well as at the end of the plant growth period in high altitudes, the increasing temperature has led to increased evapotranspiration and reduced the seasonal amplitude, maximum value, basal value and value for the start of the season.

**Conclusion** Changes in phenological parameters such as the beginning of the season, the time for the end of the season and the length of the season can have a negative impact on the agricultural products and environmental systems. The recent earlier beginning of the growing season compared to the last 35 years can be a significant threat to the agricultural and horticultural products, because cold and frost are the most important climatic parameters in the field of agricultural climate. As a result, it reduces the possibility of producing many agricultural and horticultural products in vulnerable areas. In general, the results of the present study show a series of interconnected events caused by climate change and increase in temperature in various components of phenology in the Alborz and Zagros highlands, as well as in lowland and plain areas, especially in the Persian Gulf and the Caspian Sea.

**Keywords:** Climate Change, Phenology, Growth season, Normalized difference vegetation index (NDVI), Remote sensing

Please cite this article as: Zare khormizi H, Ghafarian Malamiri HR. 2020. Investigation of phenological components changes of Iranian vegetation in response to climate change using NDVI products of AVHRR sensor from 1982 to 2018. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(4): 87-113.