



## روند مشخصه‌های فنولوژیک جنگل‌های زاگرس جنوبی بر مبنای سری زمانی MODIS-NDVI در دامنه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰

مهرنوش مسیح پور<sup>۱</sup>، علی اصغر درویش صفت<sup>۲\*</sup>، رامین رحمانی<sup>۳</sup> و پرویز فاتحی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۲</sup> استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج  
<sup>۳</sup> دانشیار، گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
<sup>۴</sup> استادیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۶)

### چکیده

شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری مستقیم مشخصه‌های جنگل باشد و برای بیان جنبه‌هایی از وضعیت آن از جمله تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک به کار رود. در این تحقیق روند زمان شروع، پایان و طول فصل رویش و رابطه آنها با مشخصه‌های اقلیمی بارش و دما با استفاده از سری زمانی ماهواره‌ای MODIS-NDVI با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در جنگل‌های زاگرس جنوبی بررسی شد. پس از آماده‌سازی‌های لازم، وضعیت هر پیکسل در ۴۱۴ تصویر ۱۶ روزه NDVI در دامنه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۷ تجزیه و تحلیل شد. زمان شروع، پایان و طول فصل رویش به روش نقطه میانی و همچنین حدهای آستانه ۳۵ و ۵۰ درصد به ترتیب برای شروع و پایان فصل، استخراج و روندها و معنی‌داری آنها بررسی شد. بر اساس نتایج، میانگین زمان شروع، پایان و طول فصل رویش به ترتیب، ۲۵ اسفند، ۲۴ مرداد و ۱۵۱ روز بود. با در نظر گرفتن آستانه ۳۵ درصد برای دامنه سالیانه NDVI، میانگین زمان پایان فصل رویش، ۸ شهریور و طول فصل رویش ۱۹۰ روز به دست آمد. بررسی روند فصلی نشان داد که زمان شروع و پایان فصل رویش به ترتیب ۰/۲ و ۱/۰۴ روز در سال زودتر رخ داد. طول دوره رویش نیز ۱/۲۰۲ روز در سال کاهش یافت. تغییرات زمان شروع، پایان و طول فصل رویش به ترتیب در ۹۳، ۸۱ و ۸۱ درصد از منطقه، در سطح اطمینان ۹۰ درصد، معنی‌دار نبود. به طور کلی تغییر در زمان پایان فصل رویش بیشتر از تغییر در زمان شروع فصل رویش بود. بین تغییرات دما و بارش و تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک همبستگی ضعیفی مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** جنگل‌های زاگرس جنوبی، روند، سری زمانی NDVI، فنولوژی سطح زمین.

### مقدمه

نیز بر وضعیت گیاهان مؤثر است. پوشش گیاهی به واسطه تأثیر مهم در رابطه متقابل با زمین سپهر، زیست‌سپهر و هواسپهر، از اجزای اصلی سازگان‌های اقلیمی محسوب می‌شود (de Jong et al., 2011). گرمایش جهانی و تغییرات آب‌وهوایی ناشی از

گیاهان پدیده‌های پویایی هستند که به شدت به تغییر شرایط محیط مانند دما، رطوبت، توازن آب و غلظت دی‌اکسید کربن حساسیت داشته و اثر مهمی در بوم‌سازگان دارند. افزون بر این، دخالت‌های انسان

الکترومغناطیسی را به دلیل ساختار سلول‌های تشکیل‌دهنده برگ منعکس می‌کنند. NDVI از این ویژگی‌های جذب و بازتاب استفاده می‌کند و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که  $\rho_{RED}$  و  $\rho_{NIR}$  به ترتیب بازتاب در محدوده‌های مادون قرمز نزدیک و قرمز مرئی هستند. از آنجا که NDVI ارتباط خطی با تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده<sup>۳</sup> و ارتباط مثبت با تراکم تاج پوشش و شادابی گیاه دارد، شاخصی برای ارزیابی فعالیت پوشش گیاهی است (Fensholt et al., 2004).

ماهواره‌هایی که از چند دهه قبل کره زمین را روزانه پایش می‌کنند، تولید سری زمانی از داده‌های NDVI را میسر کرده است. روند تغییرات ارزش‌ها در سری زمانی NDVI برای دستیابی به اهداف گوناگون مانند تغییرات فصلی پوشش گیاهی، وضعیت محصولات کشاورزی، تخریب سرزمین و بیابان‌زایی بررسی می‌شود (de Jong et al., 2011). در بررسی تغییرات فصلی پوشش گیاهی براساس سری زمانی NDVI، به‌نوعی فنولوژی پوشش گیاهی بررسی می‌شود. فنولوژی را علم بررسی وقایع چرخه زندگی گیاهان و پاسخ آنها به تغییرات فصلی و سالانه اقلیم می‌دانند (Kiapasha et al., 2017)، اما فنولوژی سطح زمین<sup>۴</sup> (LSP) بر مبنای سری زمانی سنسجش از دوری، به تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و در واقع بررسی الگوهای فصلی پوشش گیاهی سطح زمین می‌پردازد (de Beurs & Henebry, 2010). فنولوژی سطح زمین بیانگر فنولوژی گونه‌ها در نواحی وسیع و متنوع است و اغلب به‌عنوان فنولوژی در مقیاس سیمای

فعالیت‌های انسان، یکی از مشکلات اصلی محیط زیست است که در دو دهه اخیر، توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان و همچنین طرفداران محیط زیست را به خود جلب کرده است. به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر اثر تغییر اقلیم بر بوم‌سازگان‌ها، باید چگونگی اثر عوامل محیط زیست و تغییرات آنها بر تغییرات زمانی، مکانی و پویایی پوشش گیاهی بررسی شود. از این‌رو الگوهای تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه‌اند (Horion et al., 2013; Najafi et al., 2020).

دسترسی به داده‌های دقیق و به‌هنگام که شرایط پوشش گیاهی را تشریح کنند، برای ارزیابی توسعه پوشش گیاهی و درک و پایش مطلوب فعالیت‌های کاربری اراضی بسیار حیاتی است. روش‌های بررسی میدانی به‌طور کلی زمان‌بر و پرهزینه‌اند و اغلب برای هدفی خاص و همچنین در مقیاس‌های مکانی و زمانی محدود قابل اجرا هستند که از اثربخشی این روش‌ها می‌کاهد. قابلیت به‌دست آوردن مشاهدات منظم در مقیاس‌های مختلف و جمع‌آوری اطلاعات از نواحی با امکان دسترسی محدود، با استفاده از تصاویر سنسجش از دور ممکن می‌شود که بررسی پوشش گیاهی از مقیاس محلی تا جهانی را میسر می‌سازد.

شاخص‌های پوشش گیاهی<sup>۱</sup> (VI) که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست می‌آیند، اطلاعات مربوط به طول موج‌های مختلف به‌ویژه در طیف قرمز و مادون قرمز نزدیک را ترکیب می‌کنند تا سیگنال پوشش گیاهی را بارز کنند. چنین شاخص‌هایی امکان مقایسه زمانی و مکانی فعالیت فتوسنتزی و تغییرات ساختار تاج پوشش را نیز میسر می‌سازند (Huete et al., 2002). شاخص NDVI<sup>۲</sup> پرکاربردترین شاخص گیاهی برای کمی کردن وضعیت پوشش گیاهی است. برگ گیاهان بخشی از طیف الکترومغناطیسی را برای فرایند فتوسنتز جذب می‌کند (به‌خصوص در باند قرمز مرئی)، اما به‌طور چشمگیری بخش مادون قرمز نزدیک طیف

1. Vegetation Index (VI)

2. Normalized Difference Vegetation index (NDVI)

3. fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR)

4. Land Surface Phenology (LSP)

این پژوهش، روند تغییرات در زمان پایان فصل رویش، نسبت به روند تغییرات در زمان شروع فصل رویش، همبستگی قوی‌تری با داده‌های اقلیمی داشت و تغییر آن نیز در مناطق بیشتری رخ داده است. در نتیجه، طول فصل رویش طی دوره بررسی، متأثر از رخداد پایان فصل رویش بود. (Li et al., 2019). فلات تبت، براساس NDVI داده‌های GIMMS، SPOT و MODIS رابطه زمان پایان فصل رویش زیست‌بوم‌های مختلف را با دما و بارش در سه دامنه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۲، ۱۹۹۹-۲۰۱۲ و ۲۰۱۲-۲۰۰۰ بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که زمان پایان فصل رویش در نواحی مرکزی فلات تبت زودتر و در نواحی شرقی آن با تأخیر رخ داده است. در این بررسی مشخص شد که دمای پیش‌فصل، اثر مهمی در روند تأخیری خزان دارد. از سوی دیگر، میانگین بارش با زمان پایان فصل رویش زیست‌بوم جنگلی همبستگی ضعیفی داشت.

جنگل‌های بالارزش زاگرس که کارکردهای اساسی و مهمی دارد، به‌جز تأثیرپذیری از تغییرات اقلیم، متأثر از ریزگردهای فزاینده، آفات و سوء مدیریت، دچار زوال فراگیر شده است (Zakeri et al., 2015; Attarod et al., 2016). از این‌رو ضروری است که این تغییرات و روند آنها تا حد ممکن به‌صورت کمی تعیین شوند تا با استفاده از آنها و دیگر اطلاعات، تدابیری برای کاهش این اثرهای مخرب اندیشیده و در برنامه‌ها و طرح‌های حفاظتی و احیایی لحاظ شود. این تحقیق با هدف بررسی تغییرات فعالیت پوشش جنگل‌های زاگرس جنوبی برپایه مشخصه‌های فنولوژیک (زمان شروع، زمان پایان و طول فصل رویش) و تعیین روند آنها در دامنه زمانی ۱۸ ساله با استفاده از سری زمانی شاخص گیاهی MODIS-NDVI انجام گرفت. شایان ذکر است که منظور از تغییرات در این پژوهش، تغییرات سطح جنگل نیست، بلکه تغییرات زمانی و مکانی سبزشدگی مدنظر است.

سرزمین لحاظ می‌شود (Garonna et al., 2014). محققان بسیاری با استفاده از سری‌های زمانی ماهواره‌ای به بررسی فنولوژی پرداخته‌اند. Kafaki et al. (2009) در قسمتهایی از غرب و مرکز ایران در دامنه زمانی ۱۹۸۲-۱۹۹۹ مشاهده کردند که شروع فصل رویش ۰/۶۳ روز در سال زودتر و ۰/۳۲ روز در سال دیرتر رخ می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که طول دوره رویش ۰/۹۴ روز در سال افزایش داشت. این پژوهشگران بیان کرده‌اند که زمان شروع فصل رویش با میانگین دما در زمستان سال قبل رابطه‌ای منفی دارد. (Kiapasha et al., 2017) در جنگل‌های هیرکانی روند تغییرات زمان شروع و زمان پایان فصل رویش را با استفاده از سری زمانی<sup>۱</sup> GIMMS در دامنه زمانی ۱۹۸۲-۲۰۱۲ بررسی کردند. نتایج نشان داد که زمان شروع و زمان پایان فصل رویش در هر سال به ترتیب ۰/۱۶ روز زودتر و ۰/۳۲ روز با تأخیر رخ داده، ولی روند تغییرات آنها در بیشتر مناطق معنی‌دار نبوده است. در این پژوهش رابطه رگرسیونی ضعیفی بین مشخصه‌های فنولوژیک و هواشناسی به‌دست آمد که ممکن است ناشی از نامناسب بودن داده‌های اقلیمی و عدم قطعیت آنها باشد. (Khalil tahmasebi & Khalil tahmasebi, 2016) با بررسی سری زمانی EVI و NDVI سنجنده MODIS در دشت خوی در دامنه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۷۹ مشاهده کردند که به‌دلیل تغییر اقلیم، فصل رویش ۲۰ روز زودتر شروع شد و طول فصل رویش ۲۵ روز افزایش یافت. (Garonna et al., 2014) طول فصل رویش در اروپا را با استفاده از سری زمانی GIMMS در دامنه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۲ بررسی کردند. آنها در مناطق قطبی، اسکاندیناوی و غرب روسیه افزایش طول دوره رویش و در جنوب فرانسه و کشورهای اطراف دریای خزر کاهش طول دوره رویش را مشاهده کردند.

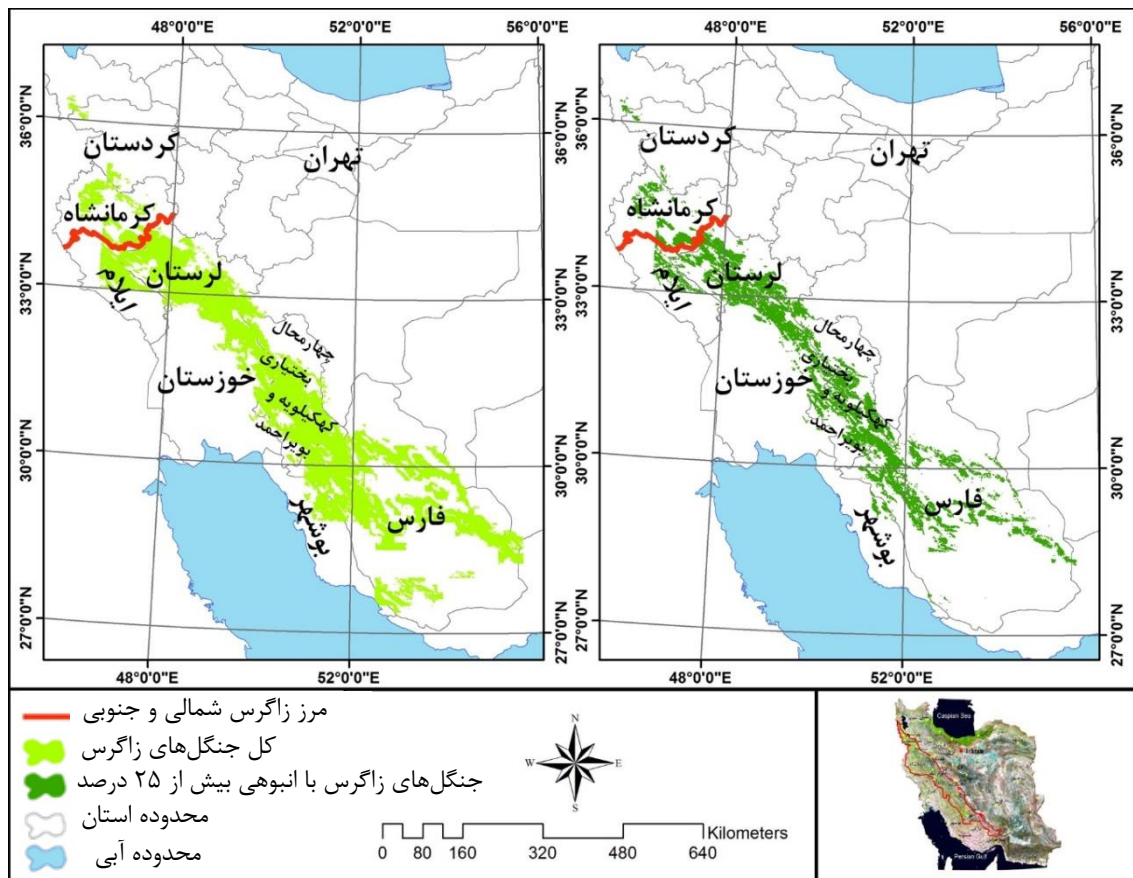
1. Global Inventory Modeling and Mapping System (GIMMS)

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

جنگل‌های زاگرس در غرب ایران بین دو مدار ۳۰ و ۳۸ درجه عرض جغرافیایی شمالی و در دامنه ارتفاعی ۳۲۰۰-۱۲۵۰ متری از سطح دریا می‌رویند. طول این منطقه جنگلی بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر و عرض آن ۵۰ تا ۱۰۰ کیلومتر است (Marvie Mohajer, 2012). اهمیت این جنگل‌ها از نظر حفاظت از منابع آب و خاک، تولید محصولات فرعی و ارزش‌های محیط زیستی منحصره فرد است. در این پژوهش، پوشش جنگلی زاگرس جنوبی واقع

در استان‌های ایلام، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان و فارس که رویشگاه اصلی گونه برودار (*Quercus brantii*) است (Fattahi, 1997)، بررسی شد (شکل ۱). در بسیاری از منابع صحبت از زاگرس‌های شمالی و جنوبی شده، ولی مرز دقیقی، چه از نظر جغرافیایی و چه اکولوژیک، برای آن تعیین نشده است. مرز استفاده‌شده در این پژوهش براساس نظر محققان با تجربه مطالعات پوشش جنگلی زاگرس تعیین شده است.



شکل ۱- نوار سبزرنگ کل جنگل‌های زاگرس (چپ) و جنگل‌های زاگرس با انبوهی بیشتر از ۲۵ درصد (راست) در غرب ایران. خط قرمز، واقع در جنوب کرمانشاه، مرز جداکننده زاگرس شمالی از زاگرس جنوبی است.

زاگرس جنوبی لحاظ شد (شکل ۱). بر این اساس، ۱۴۰۶۷۹۳ هکتار از مناطق جنگلی زاگرس جنوبی که دارای انبوهی بیش از ۲۵ درصد بودند بررسی شدند. همچنین به منظور تحلیل روند و شناسایی رابطه بین تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و مشخصه‌های آب‌وهوا، داده‌های دما و بارش روزانه<sup>۳۳</sup> ایستگاه هواشناسی که در محدوده بررسی شده بودند، در دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ از سازمان هواشناسی دریافت شد. داده‌های روزانه دما و بارش به داده‌های ۱۶ روزه تبدیل و سپس به روش معکوس فاصله<sup>۴</sup> درون‌یابی شده و نقشه‌های پیوسته دما و بارش با اندازه سلولی مشابه داده‌های NDVI (۲۵۰ متر) تهیه شدند.

با استفاده از ۸۲۸ تصویر که جداگانه تهیه شده بودند، پیش‌پردازش‌های لازم مانند تغییر فرمت از HDF به GeoTiff، موزاییک‌سازی و همچنین تغییر سیستم مختصات از سینوسی به طول و عرض جغرافیایی انجام گرفت.

#### استخراج مشخصه‌های فنولوژیک

با اجرای MVC می‌توان ابر و اثرهای آن بر تصاویر را تا حد چشمگیری برطرف کرد، اما ابرهایی که احتمالاً باقی می‌مانند استخراج مشخصه‌های فنولوژیک را با مشکل مواجه می‌کنند. برای رفع این مشکل، ابتدا باید سری زمانی NDVI با اعمال روش‌هایی نرم شوند (de Jong et al., 2011). در این پژوهش از روش تحلیل هارمونی سری زمانی NDVI (HANTS)<sup>۵</sup> استفاده شد. به منظور استخراج مشخصه‌های فنولوژیک از منحنی NDVI نرم‌شده در هر سال و برای هر پیکسل، از روش نقطه میانی<sup>۸</sup> استفاده شد. بر اساس تحقیق White et al. (2009) این روش بر دیگر روش‌های برآورد مشخصه‌های فنولوژی برتری داشته و با داده‌های میدانی مشخصه‌های فنولوژی بیشتر مطابقت دارد. بر اساس این روش، زمان شروع فصل رویش روزی است که در آن روز، مقدار NDVI که در حال افزایش است با ۵۰ درصد دامنه تغییرات سالانه

#### روش تحلیل

در این پژوهش از داده‌های ترکیبی ۱۶ روزه MODIS-NDVI به نام MOD13Q1 با اندازه تفکیک ۲۵۰ متر استفاده شد. ناحیه زاگرس جنوبی در دو بخش<sup>۱</sup> از این داده قرار دارد (h22v05, h22 v06) برای هر بخش، داده‌های محدوده زمانی مورد نظر (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) از درگاه USGS LPDAAC<sup>۲</sup> دانلود شدند که شامل ۲۳ تصویر برای هر سال و در مجموع ۴۱۴ تصویر NDVI به صورت منفرد و مجزا با فرمت HDF<sup>۳</sup> بودند (در مجموع برای دو بخش ۸۲۸ تصویر). این تصاویر پس از اعمال تصحیحات اتمسفری، حذف ابر و تصحیح تابع توزیع بازتاب دوسویه<sup>۴</sup>، تصحیح هندسی در سطح ۳ و سپس تولید داده ترکیبی ۱۶ روزه با الگوریتم ترکیب حداکثر ارزش (MVC)<sup>۵</sup>، در اختیار کاربران قرار می‌گیرد. این الگوریتم با هدف کمینه‌سازی تأثیرات اتمسفری باقی‌مانده و انتخاب بهترین کیفیت NDVI در دوره زمانی مورد نظر طراحی شده است.

برای مشخص کردن محدوده پژوهش، از نقشه رقومی برداری محدوده جنگلی زاگرس که در سال‌های اخیر توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه شده بود، استفاده شد. این نقشه، متناسب با اندازه پیکسل داده NDVI از فرمت برداری به رستری تبدیل شد. در این پژوهش، به منظور کاهش عدم قطعیت، فقط مناطقی که انبوهی جنگل در آنها بیش از ۲۵ درصد (بر اساس راهنمای نقشه) بود، به عنوان محدوده جنگل‌های

1. Tile
2. United States Geological Survey Land Processes Distributed Active Archive Center (<https://earthdata.nasa.gov>)
3. Heirichical Data Format (HDF)
4. Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)
5. Maximum Value Compositing (MVC)
6. Inverse Distance Weighting (IDW)
7. Harmonic Analysis of NDVI Time Series (HANTS)
8. Midpoint

تک‌متغیره استفاده شد. برای بررسی رابطه زمان پایان فصل رویش (متغیر وابسته) با میانگین دما و مجموع بارش در دامنه زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش (متغیرهای مستقل)، از رگرسیون‌های خطی تک‌متغیره، دو‌متغیره و همچنین رگرسیون جزئی استفاده شد.

### نتایج

#### - روند مشخصه‌های فنولوژیک

زمان شروع فصل رویش در زاگرس جنوبی که با روش نقطه میانی براساس داده‌های دامنه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ محاسبه شد، از یکم اسفند تا ۱۱ فروردین و به‌طور میانگین ۲۵ اسفند و زمان پایان فصل رویش از ۱۹ تیر تا ۱۳ مهر و به‌طور میانگین ۲۴ مرداد به‌دست آمد. طول فصل رویش بین ۱۱۴ تا ۲۰۱ روز و میانگین آن ۱۵۱ روز تعیین شد. زمان پایان فصل رویش با لحاظ ۳۵ درصد دامنه سالیانه NDVI به‌عنوان بیانگر پایان فصل رویش، از ۱۱ مرداد تا ۱۳ مهر و به‌طور میانگین ۸ شهریور به‌دست آمد. بر اساس نتایج اخیر، طول فصل رویش به دامنه ۱۶۴ تا ۲۲۳ روز و میانگین ۱۹۰ روز افزایش یافت.

روند مشخصه‌های فنولوژیک با دو معیار شامل ۵۰ و ۳۵ درصد دامنه سالیانه NDVI و با استفاده از برآوردگر تیل-سن تجزیه و تحلیل شد. نتایج حاصل از کاربرد این معیارها برای تعیین زمان شروع فصل رویش در دامنه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰، در ۶۷/۰۵ درصد از جنگل‌های زاگرس جنوبی مشابه بود. به‌عبارت دیگر در نتیجه کاربرد این دو معیار، تغییر زیادی در زمان شروع فصل رویش مشاهده نشد، اما در ۱۵/۹۰ درصد پیکسل‌ها، شروع فصل رویش دیرتر و در ۱۷/۰۵ درصد پیکسل‌ها شروع فصل رویش زودتر رخ داد. در ۴۹ درصد از جنگل‌های زاگرس جنوبی، پایان فصل رویش روند کاهشی داشت به‌عبارت دیگر پایان فصل رویش زودتر رخ داد. به‌طور تقریبی در ۷/۴۹ درصد از منطقه، پایان فصل رویش

NDVI برابر شود؛ پایان فصل رویش روزی است که مقدار NDVI که در حال کاهش است، با ۵۰ درصد دامنه تغییرات سالانه برابر شود. در این روش ابتدا در هر پیکسل مقدار حداقل و حداکثر سالانه NDVI در طی ۱۸ سال محاسبه و سپس مقدار آستانه ۵۰ درصدی تعیین شد. در نهایت با استفاده از روش نقطه میانی، سه مشخصه فنولوژیک شامل زمان شروع، زمان پایان و طول فصل رویش برای هر پیکسل و در هر سال استخراج شد. البته بعضی از محققان حد آستانه را با توجه به شرایط رویشگاهی لحاظ می‌کنند (de Beurs & Henebry, 2010)، از این‌رو در این پژوهش با توجه به تنک و پراکنده بودن پوشش جنگلی، برای تعیین زمان پایان فصل رویش از مقدار آستانه ۳۵ درصد نیز استفاده شد.

#### - روند مشخصه‌های فنولوژی

روند تغییرات سری زمانی مشخصه‌های فنولوژیک در هر پیکسل با استفاده از روش ناپارامتری تیل-سن<sup>۱</sup> محاسبه شد و سپس معنی‌داری روند به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون معنی‌داری من-کندال<sup>۲</sup> در سطح اطمینان ۹۰ درصد آزمون شد.

به‌منظور بررسی رابطه روند تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک با مشخصه‌های اقلیمی دما و بارش، سری زمانی از میانگین دما و مجموع بارش مربوط به دوره زمانی دو ماه پیش از شروع و پایان فصل رویش تهیه شد که از آنها به‌عنوان متغیرهای مستقل در تحلیل رگرسیون خطی استفاده شد. این تحلیل نیز برای هر پیکسل انجام گرفت که نتیجه آن به‌صورت تصویر ضریب همبستگی است که در آن ارزش هر پیکسل بیانگر مقدار ضریب همبستگی است. برای بررسی رابطه زمان شروع فصل رویش (متغیر وابسته) با میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه پیش از شروع فصل رویش (متغیر مستقل)، از رگرسیون خطی

1. Theil-sen  
2. Mann-Kendall

برای مشخصه‌های فنولوژیک که با استفاده از روش نقطه میانی (۵۰ درصد دامنه سالیانه NDVI) به دست آمدند، نتایج آزمون معنی‌داری من-کندال (در سطح اطمینان ۹۰ درصد) در جدول ۱ ارائه شده است.

بر اساس نتایج مندرج در جدول شماره ۱، در بیش از ۸۱ درصد از جنگل‌های زاگرس جنوبی روند معنی‌داری در تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک، به ویژه زمان شروع فصل رویش، وجود نداشت، اما تقریباً در ۱۸ درصد منطقه روند معنی‌داری در پایان یافتن زودهنگام فصل رویش و تقریباً در ۱۶ درصد منطقه روند معنی‌داری در کاهش طول فصل رویش مشاهده شد.

با تأخیر (روند افزایشی) و در ۴۳/۵۰ درصد از منطقه، پایان فصل رویش بدون تغییر رخ داد. بر اساس نتایج برآوردگر تیل-سن، طول فصل رویش در ۴۸/۶۲ درصد از پیکسل‌های منطقه کاهش یافت (روند کاهش). در ۱۴/۰۶ درصد از پیکسل‌های منطقه، پدیده طولانی‌تر شدن دوره رویش رخ داد و در ۳۷/۳۳ درصد از پیکسل‌ها طول دوره رویش بدون تغییر ماند. بر اساس این نتایج نرخ تغییر مشخصه‌های فنولوژیک در جنگل‌های زاگرس جنوبی برای زمان شروع، زمان پایان و طول فصل رویش به ترتیب ۰/۰۲، ۱/۰۴۹- و ۱/۲۰۲- روز در سال به دست آمد. این نرخ برای زمان پایان و طول فصل رویش با معیار ۳۵ درصد دامنه سالیانه NDVI به ترتیب ۱/۱۲- و ۱/۲۷- روز در سال به دست آمد.

جدول ۱- نتایج آزمون معنی‌داری من-کندال در سطح اطمینان ۹۰ درصد برای زمان شروع، زمان پایان و طول فصل رویش در جنگل‌های زاگرس جنوبی طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰

تعداد پیکسل‌ها (درصد)			نتیجه آزمون معنی‌داری
طول فصل رویش	زمان پایان فصل رویش	زمان شروع فصل رویش	در سطح اطمینان ۹۰ درصد
۱۸۴۲۹۱ (۸۱/۸۸)	۱۸۲۸۳۹ (۸۱/۲۳)	۲۰۹۵۳۷ (۹۳/۰۹)	بدون روند معنی‌دار
۳۵۵۹۴ (۱۵/۸۱)	۳۹۸۴۶ (۱۷/۷۰)	۹۹۹۷ (۴/۴۴)	روند کاهش معنی‌دار
۵۲۰۲ (۲/۳۱)	۲۴۰۲ (۱/۰۷)	۵۵۵۳ (۲/۴۷)	روند افزایشی معنی‌دار

به دست آمد که وجود ارتباط ضعیف بین شروع فصل رویش و میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه پیش از شروع فصل رویش را نشان می‌دهد.

#### - رابطه زمان پایان فصل رویش با دما و بارش

ارزش‌های ضریب همبستگی که از تحلیل بین سری‌های زمانی پایان فصل رویش و میانگین دما و مجموع بارش در دوره زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش به دست آمد در جدول ۳ درج شده است.

#### - رابطه زمان شروع فصل رویش با دما

نتایج تحلیل رگرسیون خطی بین سری‌های زمانی شروع فصل رویش (متغیر وابسته) و میانگین دما در دوره زمانی دو ماه پیش از شروع فصل رویش (متغیر مستقل) در جدول ۲ آمده است.

بر اساس جدول ۲، بخش کوچکی از پیکسل‌ها دارای ضریب همبستگی بزرگ هستند. ضریب همبستگی در ۶۶ درصد پیکسل‌ها مثبت و در ۳۱ درصد پیکسل‌ها منفی است. به طور کلی میانگین ضریب همبستگی در جنگل‌های زاگرس جنوبی ۰/۱۲

جدول ۲- همبستگی بین سری‌های زمانی شروع فصل رویش و میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه قبل از شروع فصل رویش در جنگل‌های زاگرس جنوبی

دامنه ارزش‌های ضریب همبستگی	تعداد پیکسل	تعداد پیکسل (درصد)
< -۰/۶	۲۳۸	۰/۱۱
-۰/۶ - -۰/۳	۸۹۸۳	۳/۹۹
-۰/۳ - -۰/۱	۳۳۳۱۲	۱۴/۸۰
-۰/۱ - ۰/۱	۶۶۵۱۹	۲۹/۵۵
۰/۱ - ۰/۳	۶۳۱۹۵	۲۸/۰۸
۰/۳ - ۰/۶	۴۴۸۶۳	۱۹/۹۳
> ۰/۶	۷۹۷۷	۳/۵۴
جمع	۲۲۵۰۸۷	۱۰۰

جدول ۳- ضریب همبستگی سری زمانی پایان فصل رویش با هریک از سری‌های زمانی میانگین دما و مجموع بارش در دامنه زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش در جنگل‌های زاگرس جنوبی

دامنه ارزش‌های ضریب همبستگی	زمان پایان فصل رویش - دما		پایان فصل رویش - بارش	
	تعداد پیکسل	درصد	تعداد پیکسل	درصد
< -۰/۶	۵۱۱	۰/۲۳	۳۳۶۹	۱/۵۰
-۰/۶ - -۰/۳	۶۹۳۶	۳/۰۸	۳۳۸۰۲	۱۵/۰۲
-۰/۳ - -۰/۱	۳۱۰۷۱	۱۳/۸۰	۵۶۹۴۵	۲۵/۳۰
-۰/۱ - ۰/۱	۸۶۱۲۶	۳۸/۲۶	۷۰۹۶۱	۳۱/۵۳
۰/۱ - ۰/۳	۵۹۳۱۱	۲۶/۳۵	۴۶۲۳۸	۲۰/۵۴
۰/۳ - ۰/۶	۳۹۲۶۷	۱۷/۴۵	۱۲۷۴۹	۵/۶۶
> ۰/۶	۱۸۶۵	۰/۸۳	۱۰۲۳	۰/۴۵
جمع	۲۲۵۰۸۷	۱۰۰	۲۲۵۰۸۷	۱۰۰

سری‌های زمانی پایان فصل رویش و میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش برابر با ۰/۰۶۴ بود که حاکی از همسو بودن و همچنین ضعیف بودن ارتباط بین آنهاست.

در این منطقه، ضریب همبستگی بین زمان پایان فصل و مجموع بارش در دامنه زمانی دو ماه قبل از

براساس نتایج مندرج در جدول ۳، تعداد اندکی از پیکسل‌ها ضریب همبستگی به نسبت بزرگ دارند. بیشتر پیکسل‌ها ضریب همبستگی کوچک دارند. مقدار ضریب همبستگی در ۵۷ درصد از پیکسل‌ها مثبت و در ۴۰ درصد منفی بود. در جنگل‌های زاگرس جنوبی، میانگین ضریب همبستگی بین



-رابطه زمان پایان فصل رویش با دما و بارش  
(تحلیل دومتغیره)

نتیجه تحلیل دومتغیره اثر توأم دما و بارش بر  
زمان پایان فصل در جدول ۴ ارائه شده است.

پایان فصل در ۴۲ درصد پیکسل‌ها مثبت و در ۵۵  
درصد پیکسل‌ها منفی بود. میانگین این ضریب  
همبستگی  $0/053$  - به دست آمد که نشان‌دهنده  
رابطه‌ای منفی و ضعیف بین این دو متغیر است.

جدول ۴- ضریب همبستگی سری زمانی پایان فصل رویش با مجموعه سری‌های زمانی میانگین دما و مجموع بارش در دامنه  
زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش در جنگل‌های زاگرس جنوبی

دامنه ارزش‌های ضریب همبستگی	تعداد پیکسل	درصد
$0 - 0/1$	۱۴۶۶۵	۶/۵۲
$0/1 - 0/3$	۹۱۱۶۵	۴۰/۵۰
$0/3 - 0/6$	۱۰۵۸۱۳	۴۷/۰۱
$> 0/6$	۱۳۴۴۴	۵/۹۷
جمع	۲۲۵۰۸۷	۱۰۰

تحلیل دومتغیره بین زمان پایان فصل رویش و  
میانگین دما مجموع بارش در دامنه زمانی دو ماه  
پیش از پایان فصل رویش با حذف اثر هر یک از این  
دو متغیر مستقل در جدول ۵ آورده شده است.

نتایج مندرج در جدول ۴ نشان می‌دهند که اثر  
توأم بارش و دما بر زمان پایان فصل رویش، به صورت  
رابطه‌ای مثبت است. به طور کلی در جنگل‌های زاگرس  
جنوبی متوسط این ضریب همبستگی  $0/32$  است.  
نتایج مربوط به بررسی همبستگی جزئی حاصل از

جدول ۵- ضرایب همبستگی جزئی حاصل از تحلیل دومتغیره بین سری زمانی پایان فصل رویش و سری‌های زمانی میانگین  
دما و مجموع بارش در دامنه زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش با حذف اثر میانگین دما (ضریب همبستگی جزئی-۱) و  
حذف اثر بارش (ضریب همبستگی جزئی-۲) در جنگل‌های زاگرس جنوبی

ضریب همبستگی جزئی-۲		ضریب همبستگی جزئی-۱		دامنه ارزش‌های ضریب همبستگی
درصد	تعداد پیکسل	درصد	تعداد پیکسل	
۰/۶۳	۱۴۱۳	۱/۵۵	۳۵۰۰	$< -0/6$
۹/۳۹	۲۱۱۴۵	۱۲/۳۷	۲۷۸۳۸	$-0/6 - -0/3$
۲۱/۲۶	۴۷۸۶۳	۲۱/۵۳	۴۸۴۵۳	$-0/3 - -0/1$
۲۸/۷۲	۶۴۶۵۳	۲۸/۹۵	۶۵۱۷۳	$-0/1 - 0/1$
۲۴/۲۴	۵۴۵۶۲	۲۳/۹۷	۵۳۹۵۸	$0/1 - 0/3$
۱۴/۹۳	۳۳۵۹۸	۱۰/۸۸	۲۴۴۹۳	$0/3 - 0/6$
۰/۸۴	۱۸۵۳	۰/۷۴	۱۶۷۲	$> 0/6$
۱۰۰	۲۲۵۰۸۷	۱۰۰	۲۲۵۰۸۷	جمع

زاگرس جنوبی نیازمند بررسی گسترده و ثبت مشخص‌های فنولوژیک از طریق مشاهده وضعیت پوشش گیاهی در عرصه جنگل است که امید است به کمک پژوهشگران بوم‌شناسی جنگل صورت گیرد. در مناطقی که روند زمان شروع فصل رویش، کاهش و معنی‌دار بود، روند زمان پایان فصل رویش نیز کاهش شد، یعنی شروع و پایان فصل رویش زودتر رخ داد. اما از آنجا که تعداد روزهای پیش‌رس شدن پایان فصل رویش بیشتر از تعداد روزهای پیش‌رس شدن شروع فصل رویش بود، در مجموع طول فصل رویش کاهش یافت. در برخی پیکسل‌ها تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک روند معنی‌دار نداشتند و نکته جالب توجه این است که در بیشتر این پیکسل‌ها، طول دوره رویش در جنگل‌های زاگرس جنوبی در دامنه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ کوتاه‌تر شده است.

در برخی از پیکسل‌ها، شروع فصل رویش دارای روند کاهشی و معنی‌دار بود که در عمل سبب پیش‌رس شدن فصل رویش شد و از سوی دیگر اغلب این پیکسل‌ها، روند آغاز فصل رویش با میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه پیش از شروع فصل رویش همبستگی منفی داشتند. همبستگی اخیر نشان می‌دهد که در این پیکسل‌ها، با افزایش دما، فصل رویش مطابق انتظار زودتر آغاز می‌شود. این نتیجه با یافته‌های Qader et al. (2015) مطابقت دارد. آنها با تحقیق در کشور عراق ثابت کردند که افزایش دما بر پیش‌رس شدن فصل رویش تأثیر دارد. این شروع زود هنگام می‌تواند برخی پیامدهای بوم‌شناختی همچون افزایش خطر بروز سرمای دیررس و آسیب‌های زیستی ناشی از آن، تغییر گسترده پراکنش گونه‌ها، ورود گونه‌های جدید و انقراض گونه‌های موجود را به وجود آورد.

در پیکسل‌هایی که زمان پایان فصل رویش زودتر رخ داد، ضریب همبستگی زمان پایان فصل رویش و میانگین دما در دامنه زمانی دو ماه پیش از پایان

نتایج مندرج در جدول ۵ نشان می‌دهد که مقدار ضریب همبستگی جزئی-۱ (حذف اثر میانگین دما) و جزئی-۲ (حذف اثر بارش در دامنه زمانی دو ماه قبل از پایان فصل رویش) در تعداد اندکی از پیکسل‌ها دارای مقادیر دامنه‌ای بزرگ هستند. براساس تحلیل جزئی-۱، ۴۸ درصد از پیکسل‌ها با میانگین بارش رابطه منفی و ۴۹ درصد از آنها با این میانگین رابطه مثبت داشتند. میانگین ضرایب همبستگی جزئی-۱ برابر با  $-0/008$  بود. براساس تحلیل جزئی-۲، ۴۲ درصد از پیکسل‌ها نیز با میانگین دما رابطه منفی و ۵۴ درصد از آنها با این میانگین دارای رابطه‌ای مثبت بوده‌اند. میانگین ضریب همبستگی جزئی-۲ برابر با  $0/032$  بود. شایان ذکر است که ضرایب همبستگی یادشده به نسبت کوچک بودند.

#### بحث

استخراج مشخصه‌های فنولوژیک مستلزم تعیین حد آستانه‌ای برای NDVI برای تعیین مقدار پوشش گیاهی است. به طور کلی توصیه شده که این حد به طور اختصاصی برای هر منطقه تعیین شود (de Beurs & Henebry, 2010)، از آنجا که تعیین آن مطالعات زیادی را می‌طلبد و مستلزم صرف وقت و هزینه چشمگیری است، در بیشتر مطالعات حد آستانه ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. در بررسی جنگل‌های زاگرس جنوبی، میانگین طول فصل رویش با این حد آستانه برابر با ۱۵۱ روز به دست آمد که بسیار کمتر از حد انتظار کارشناسان جنگل بود. در ادامه بررسی، حد آستانه ۳۵ درصد برای زمان پایان فصل رویش لحاظ شد و طول فصل رویش به ۱۹۰ روز افزایش یافت که با توجه به مشاهدات مربوط به شرایط رویشی و اقلیمی جنگل‌های زاگرس جنوبی، نتیجه قابل قبولی است و با نظر de Beurs & Henebry (2010) مبنی بر ضرورت تعیین حد آستانه برای هر منطقه مطابقت دارد. البته تعیین دقیق حد آستانه برای جنگل‌های

دسترس پوشش گیاهی، عامل محدودکننده‌ای است که مانع تداوم دوره‌ی رویش گیاهی می‌شود و در نهایت خزان پیش‌رس (خزان زودتر پایان فصل رویش) سبب کوتاه شدن طول فصل رویش می‌شود.

از آنجا که تنها پژوهش صورت گرفته در زمینه‌ی برآورد مشخصه‌های فنولوژیک برپایه‌ی سری زمانی ماهواره‌ای در ناحیه‌ی زاگرس (Kafaki et al., 2009)، دربرگیرنده‌ی همه‌ی انواع پوشش گیاهی بوده است، نمی‌توان نتایج آن را برای مقایسه با یافته‌های این تحقیق استفاده کرد. اما نتایج برخی از پژوهش‌های جهانی مبنی بر کاهش طول دوره‌ی رویش، با نتایج تحقیق حاضر همسوست (Garonna et al., 2016; Zhao et al., 2015; Li et al., 2019). Wang & Fensholt (2017) و Garonna et al. (2016) نیز حاکی از آن است که به‌طور کلی طول دوره‌ی رویش در عرض‌های جغرافیایی مناطق معتدله در دامنه‌ی زمانی ۲۰۱۲-۱۹۸۲ کاهش یافته است. همچنین در این مطالعات با بررسی تأثیر پیش‌رس شدن شروع فصل رویش و پایان فصل رویش در تغییر طول فصل رویش دریافتند که روندهای پایان فصل رویش به‌طور کلی قوی‌تر و فراوان‌تر از روندهای شروع فصل رویش‌اند. به همین ترتیب در تحقیق حاضر مشاهده شد که در جنگل‌های زاگرس جنوبی، رخداد پیش‌رس شدن پایان فصل رویش بیشتر از رخداد پیش‌رس شدن شروع فصل رویش، بر کاهش طول دوره‌ی رویش تأثیر دارد. Christiansen et al. (2011) نیز در بررسی جنگل‌های نیمه‌خشک آمریکای شمالی در دامنه‌ی زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۱ گزارش کردند که افزایش دوره‌ی خشک و گرم سبب کاهش طول دوره‌ی رویش شد.

شرایط جغرافیایی متنوع مانند شیب، جهت، ارتفاع و زیر اقلیم‌های مختلف که در جنگل‌ها وجود دارد، همراه با آشفته‌گی‌های ناشی از فعالیت انسان در محدوده‌های جنگلی، در مجموع بر واکنش مشخصه‌های فنولوژیک در برابر تغییرات محیطی اثر

فصل رویش، منفی شد. منفی بودن همبستگی نشان می‌دهد که در این پیکسل‌ها به سبب روند افزایشی دما در دامنه‌ی ۱۸ ساله، زمان پایان فصل رویش زودتر فرارسیده است. پیکسل‌های موصوف در کل جنگل‌های زاگرس جنوبی پراکنده‌اند و فراوانی آنها در مناطق حاشیه‌ای و مرزی جنگل به‌طور ویژه بیشتر است. بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که افزون‌بر روند افزایشی دما، دخالت‌های انسان و تخریب نیز در پیش‌رس شدن زمان پایان فصل رویش مؤثرند. در پیکسل‌هایی که زمان شروع فصل زودتر رخ داد نیز مشابه این وضع دیده می‌شود. با توجه به اینکه روندهای پیش‌رس شدن مشخصه‌های فنولوژیک (شامل شروع فصل رویش و یا پایان فصل رویش) در پیکسل‌هایی وجود دارد که از الگوی پراکنش گروهی تبعیت نمی‌کنند و بیشتر به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حذف پوشش جنگل یا افزایش مساحت اراضی کشاورزی، سبب بروز روند کاهش در زمان شروع و پایان فصل رویش شده است. Verbesselt et al. (2010) نیز در بررسی روند تغییرات فنولوژیک مناطق مرزی بین جنگلکاری‌های *Pinus radiate* و اراضی مرتعی در جنوب غرب استرالیا نتیجه گرفتند که تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک در نواحی مرزی بیشتر از دیگر مناطق رخ داده است.

در این تحقیق، اثر توأم میانگین دما و بارش در دامنه‌ی زمانی دو ماه پیش از پایان فصل رویش بیشترین همبستگی را با زمان پایان فصل رویش نشان داد. این یافته ثابت می‌کند که در صورت استفاده از همبستگی چندمتغیره بین عوامل اقلیمی و یکی از مشخصه‌های فنولوژیک پوشش گیاهی، احتمالاً همبستگی قوی‌تری به‌دست خواهد آمد. مشابه این نتیجه در پژوهش‌های Zhu et al. (2019) و Emmett et al. (2019) نیز نشان داده که با تشدید گرمایش جهانی، فصل رویش زودتر آغاز می‌شود، اما از سوی دیگر اثر توأم افزایش دما و کاهش رطوبت در

بودن جنگل‌های زاگرس و پیوسته نبودن آن و از این رو درهم آمیختگی جنگل با دیگر پوشش‌های اراضی، پیشنهاد می‌شود پژوهشی مشابه در مجموعه پوشش گیاهی ناحیه ریشی زاگرس انجام گیرد. با توجه به تأیید جهانی این سری زمانی ماهواره‌ای، بی‌تردید در صورت تعیین حد آستانه NDVI مناسب برای استخراج مشخصه‌های فنولوژیک در منطقه زاگرس و همچنین تهیه داده‌های اقلیمی صحیح، می‌توان نتایج اطمینان‌بخشی را از این‌گونه مطالعات در اختیار متخصصان اکولوژی زاگرس قرار داد.

می‌گذارند. از این رو همبستگی ضعیفی بین تغییرات مشخصه‌های فنولوژیک و داده‌های اقلیمی کسب شده است. این وضعیت در تحقیقی مشابه که توسط Kiapasha et al. (2017) در جنگل‌های هیرکانی انجام گرفته نیز استنتاج شده است. البته در تحقیق یادشده نیز همانند تحقیق حاضر داده‌های اقلیمی حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی، بیشتر در حاشیه جنگل بوده‌اند و ممکن است عدم قطعیت زیادی داشته باشند که بی‌گمان بر نتایج همبستگی آنها با مشخصه‌های فنولوژیک اثرگذار است. با توجه به تنگ

## References

- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Taheri Sarteshnizi, F., Saroei, S., Abbasian, P., Masihpoor, M., Kordrostami, F., & Derikvandi, A. (2016). Meteorological parameters and evapotranspiration affecting the Zagros forests decline in Lorestan province. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 13(2), 97-112.
- Christiansen, D.E., Markstrom, S.L., & Hay, L.E. (2011). Impacts of climate change on the growing season in the United States. *Earth Interactions*, 15(33), 1-17.
- de Beurs, K.M., & Henebry, G.M. (2010). Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology. In I.L. Hudson & M.R. Keatley (Eds). *Phenological research*, 177-208.
- de Jong, R., de Bruin, S., de Wit, A., Schaepman, M.E., & Dent, D.L. (2011). Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 692-702.
- Emmett, K.D., Renwick, K.M., & Poulter, B. (2019). Disentangling Climate and Disturbance Effects on Regional Vegetation Greening Trends. *Ecosystems*, 22(4), 873-891.
- Fattahi, M. (1997). Expansion of *Quercus libani* and its Typology in Iran. *Press of Research Institute of Forests, pasturages and Rangelands*, 178.
- Fensholt, R., Sandholt, I., & Rasmussen, M.S. (2004). Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. *Remote Sensing Environment*, 91, 490-507.
- Garonna, I., de Jong, R., de Wit, A.J., Múcher, C.A., Schmid, B., & Schaepman, M.E. (2014). Strong contribution of autumn phenology to changes in satellite derived growing season length estimates across Europe (1982-2011). *Global Change Biology*, 20(11), 3457-3470.
- Garonna, I., de Jong, R., & Schaepman, M.E. (2016). Variability and evolution of global land surface phenology over the past three decades (1982-2012). *Global change biology*, 22(4), 1456-1468.
- Horion, S., Cornet, Y., Erpicum, M., & Tychon, B. (2013). Studying interactions between climate variability and vegetation dynamic using a phenology based approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 20, 20-32.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.

- Kafaki, S.B., Mataji, A., & Hashemi, S.A. (2009). Monitoring Growing Season Length of Deciduous Broad Leaf Forest Derived From Satellite Data in Iran. *American Journal of Environmental Sciences*, 5(5), 647-652.
- Khalil tahmasebi, A., & Khalil tahmasebi, E. (2016). The use of remote sensing data in the extraction of vegetation phenology parameters. *Second International Congress of Land, Space and Clean Energy with a focus on Natural Resources Management, Agriculture and Sustainable Development*.
- Kiapasha, K.H., Darvishsefat, A.A., Zargham, N., Julien, Y., Sobrino, J.A., & Nadi, M. (2017). Shift of start and end of season in response to air temperature variation based on GIMMS dataset in Hyrcanian forests. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Li, P., Zhu, Q., Peng, C., Zhang, J., Wang, M., Zhang, J., Ding, J., & Zhou, X. (2019). Change in Autumn Vegetation Phenology and the Climate Controls From 1982 to 2012 on the Qinghai-Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1677.
- Li, Y., Zhang, Y., Gu, F., & Liu, S. (2019). Discrepancies in vegetation phenology trends and shift patterns in different climatic zones in middle and eastern Eurasia between 1982 and 2015. *Ecology and evolution*, 9(15), 8664-8675.
- Marvie Mohadjer, M.R. (2005). *Silviculture*. University of Tehran Press.
- Najafi, Z., Darvishsefat, A.A., Fatehi, P., & Attarod, P. (2020). Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran Megacity. *Iranian Journal of Forest*, 12(2), 257-270.
- Qader, S.H., Atkinson, P.M., & Dash, J. (2015). Spatiotemporal variation in the terrestrial vegetation phenology of Iraq and its relation with elevation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 41, 107-117.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Zeileis, A., & Culvenor, D. (2010). Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2970-2980.
- Wang, L., & Fensholt, R. (2017). Temporal changes in coupled vegetation phenology and productivity are biome-specific in the Northern Hemisphere. *Remote Sensing*, 9(12), 1277.
- White, M.A., de Beurs, K.M., Didan, K., Inouye, D.W., Richardson, A.D., Jensen, O.P., Okeefe, J., Zahng, G., Nemani, R.P., van Leeuwen, W.J., & Brown, J.F. (2009). Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982–2006. *Global Change Biology*, 15(10), 2335-2359.
- Zakeri, F., Hodjati, S.M., Kiadaliri, H., & Fallah, A. (2015). Effects of understory cultivation on the quantitative and qualitative characteristics of oak stands of Southern Zagros in Barm plain, Fars province. *Iranian Journal of Forest*, 7(1), 99-109.
- 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.
- Zhu, W., Zhang, X., Zhang, J., & Zhu, L. (2019). A comprehensive analysis of phenological changes in forest vegetation of the Funiu Mountains, China. *Journal of Geographical Sciences*, 29(1), 131-145.



*Research Article*

## Phenological parameters trend of the southern Zagros forests based on MODIS-NDVI time series during 2000-2017

M. Masihpoor<sup>1</sup>, A.A. Darvishsefat<sup>2\*</sup>, R. Rahmani<sup>3</sup>, and P. Fatehi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

<sup>2</sup> Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

<sup>3</sup> Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I. R. Iran

<sup>4</sup> Assistant Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran

(Received: 15 August 2020, Accepted: 26 December 2020)

### Abstract

Climate change and human interventions as a whole have had negative and remarkable effects on the quantity and quality of forests. Beside the change in the forests extent, which has always been considered and monitored, its phenological changes have also been investigated in the last decade. The NDVI Vegetation Index derived from satellite data is an appropriate proxy for quantifying and expressing forest status including phenological changes. This study aimed to characterize the trend of start, end, and length of growing season using NDVI satellite time series dataset over 18-year time periods and then assess their relationship with precipitation and temperature parameters. This study was carried out over the southern Zagros forests using MODIS-NDVI time series with temporal and spatial resolution of 16-day and 250 meters, respectively. The precipitation and temperature datasets were also collected from regional synoptic meteorological stations. After preprocessing steps, 414 NDVI images during 2000-2017 were analyzed pixel by pixel to extract the start, end, and length of the growing season using Mid<sub>point</sub> method, considering 50% and 35% thresholds of NDVI annual amplitude for start and end of the growing season, respectively. Then, the statistical significance of phenological metrics was assessed. Based on the results, the mean dates for the start and the end of growing season were 16th March and 15th August, respectively, with the mean length of growing season of 151 days in the study period from 2000 to 2017. Considering 35% of NDVI annual amplitude for the end of growing season, the mean date for the end of growing season was 8th September and the mean length of growing season was 190 days. The seasonal trend showed that the start and the end of growing season has occurred respectively 0.02 and 1.04 days earlier per year in the southern Zagros forests during 2000-2017. The length of growing season has been shortened 1.02 day per year. However, variation in the start and the end dates and the length of growing season have not been significant in 93%, 81% and 81% of the region, respectively, at 90 % confident level. Generally, the change in the occurrence of the end of growing season was greater than the start of growing season. A weak correlation was observed between phenological changes and climate parameters like temperature and precipitation in the study area.

**Keywords:** Southern Zagros forests, NDVI time series, Land surface phenology, Trend.