کاربرد سنجش از دور به‌منظور ارزیابی تغییر اقلیم بر تولید و فنولوژی گیاهان (منطقه مورد مطالعه: استان تهران)

بهزاد رایگانی*[۱]، حسین ارزانی[۲]، اسماعیل حیدری علمدارلو[۳] و محمد مهدی مقدمی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۲۸

چکیده

مطالعه حاضر اطلاعات فنولوژیکی و تولیدگیاهی به‌دست آمده از تصاویر سنجش از دور و میزان تأثیرپذیری آن از داده‌های اقلیمی در استان تهران را مورد بررسی قرار داده است. تغییرات طولانی مدت فصل رویش گیاهان در استان تهران از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ و منحنی‌های فنولوژیکی برای هر فصل رویش از داده‌های NDVI مودیس به‌دست آمد. برای تولید و استخراج پارامترهای فنولوژیکی از نرم‌افزار TIMESAT و برای تجزیه و تحلیل سری زمانی از مدلساز روند زمین در نرم‌افزار TerrSet استفاده شد. همچنین همبستگی منحنی فنولوژیکی با داده‌های سری زمانی دما و بارش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی نشان داد که در قسمت شمالی استان تهران شروع فصل رویش افزایش و طول فصل رویش گیاهان کاهش یافته است. به لحاظ شاخص‌های تولیدی گیاه نیز در قسمت شمالی، به‌ویژه در قسمت شمال شرق استان تغییرات معنی‌دار دامنه به‌واسطه افزایش ارزش حداکثر NDVI، باعث افزایش پارامترهای تولیدی گیاه شده است. این در حالی است که قسمت جنوبی، به‌ویژه در جنوب غربی منطقه کاهش در شروع فصل و افزایش در طول فصل رویش را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد، در مناطقی که عوامل غیراقلیمی پوشش گیاهی را تغییر می‌دهند، رابطه معنی‌داری بین پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی مثل بارش وجود ندارد. به هر میزان که به محیط انسانی با جمعیت و تنش بیشتر نزدیک می‌شویم، همبستگی پوشش گیاهی و بارش کمتر می‌شود. این مسئله نشان‌دهنده تاثیر عوامل انسانی در این تغییرات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص NDVI، مدل‌ساز روند زمین، تحلیل گرایش، بارش.

[۱] - استادیار دانشکده محیط‌زیست، کرج، ایران.
*: نویسنده مسئول: bhz.ray@gmail.com
[۲]- استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
[۳]- دانشجوی دکتری مرتعداری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
[۴]- دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

مقدمه

واکنش اکوسیستم‌ها به تغییرات اقلیمی وابسته به تعاملات بین اجزای زیستی و غیرزنده آن است (۳۸). گیاهان به عنوان مهم‌ترین بخش زنده اکوسیستم، با خاک، اقلیم، هیدرولوژی و سایر عناصر در کل اکوسیستم تعامل دارند (۳۰). پوشش گیاهی نه تنها به عنوان یک شاخص مستقیم از وضعیت اکوسیستم‌های زمینی به کار گرفته می‌شود، بلکه تغییرات محیطی محلی و جهانی را نیز به نمایش می‌گذارد (۲۷ و ۱۷). ماهیت تغییرپذیری پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی از جمله رویدادهای اقلیمی می‌باشد (۲۹) و به‌طورکلی پویایی پوشش گیاهی و روند تغییرات آن به عنوان ردپای تغییرات آب و هوا در نظر گرفته شده و یک فرصت بسیار عالی برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر اکوسیستم از نظر زمان، مکان یا هر دو فراهم کند (۲، ۱۳ و ۳۴) فنولوژی گیاهی و اثرات زیست‌محیطی گسترده آن نقش مهمی در علوم تغییرات جهانی دارند و در نتیجه توجه خاصی به آنها می‌شود (۳ و ۲۳). مطالعه فنولوژی پوشش گیاهی نه تنها فهمی از فرآیندهای اکوفیزیولوژیک اکوسیستم‌ها را فراهم می‌کند بلکه می‌تواند تحولاتی را که در اثر تغییرات آب و هوایی اتفاق می‌افتد، نشان دهد (۶). پارامترهای اقلیمی در طول زمان تغییر می‌کند و این تغییرات به احتمال زیاد محرک متغیرهای کمی در فنولوژی گیاه می‌باشد (۱، ۱۲ و ۳۹) به همین علت، فنولوژی و شاخص‌های مربوط به آن به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی تأثیر عوامل محیطی مانند تغییرات و نوسانات اقلیمی در اکوسیستم‌های زمینی استفاده می‌شود (۴، ۲۱، ۵ و ۲۵). از مقیاس منطقه‌ای تا جهانی، سنجش از راه دور ماهواره‌ای، کارآمدترین ابزار برای مشاهده تغییرات فضایی و زمانی در بهره‌وری گیاهان و فنولوژی است (۳۲). تصاویر ماهواره‌ای از سطح زمین، داده‌های زمانی و مکانی پیوسته‌ای را از پوشش گیاهی فراهم می‌کند (۳۳). بنابراین، استخراج پارامترهای فنولوژیکی از سری زمانی داده‌های سنجش از دور یک ابزار موثر برای نظارت بر دینامیک گیاهان در مقیاس وسیع است، به خصوص اگر مشاهدات میدانی ناچیز باشد (۱۱). فنولوژی حاصل از سنجش از دور با استفاده از سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی و بر اساس تغییرات سبزینگی تاج پوشش گیاهی به دست می‌آید (۲۰).

مطالعاتی در سطح جهان بر روی شاخص‌های فنولوژیکی و توان تولیدی پوشش گیاهی در ابعاد مختلف صورت گرفته است، همچنین روابط بین زمان و قوع پدیده‌های فنولوژیکی با شرایط آب و هوایی اخیراً موضوع تحقیقات متعددی بوده است (۲۶) اما استخراج داده‌های فنولوزی و توان تولیدی با استفاده از سنجش از دور و بررسی روند آنها تحت تاثیر عواملی چون شرایط آب و هوایی موضوعی تازه در ایران است و تحقیق چندانی در این زمینه صورت نگرفته است.

ایویتس[1] و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه اطلاعات فنولوژیکی قاره اروپا از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ و انطباق آن با سری زمانی دما و بارش پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که در شمال اروپا به‌ویژه شمال بالتیک، شروع فصل زودتر و طول فصل طولانی‌تر شده است. علی‌رغم اینکه اکثر قاره اروپا شروع زودتر فصل را نشان می‌دهد اما طول فصل شرایط پایدار و مشخصی را نشان نمی‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد اکوسیستم‌های مدیریت شده، الگوهای تغییری ناهمگون و یا بدون ارتباط با روند آب و هوایی را نشان می‌دهند (۱۵).

پراباکاران[2] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی رخدادهای فنولوژیکی جنگل‌های همیشه سبز و برگ‌ریز از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۷ در منطقه اوتارای کانادا و انطباق آن با داده بارش و دما پرداخته‌اند. این کار با استفاده از تولید نقشه و منحنی فنولوژی و استخراج پارامترهای فنولوژیکی به کمک نرم‌افزار تایم ست انجام شد. این مطالعه نشان داد که جنگل‌های همیشه سبز این ناحیه از رخداد فنولوژیکی جنگل‌های برگریز تبعیت می‌کند اما طول فصل رویش بیشتری دارد. در این مطالعه مشخص شد که حداکثر درجه حرارت با پیری برگ، همبستگی بالا و با شروع فصل رویش همبستگی منفی دارد. این درحالی است که شروع فصل رویش با بارش همبستگی مثبت را نشان می‌دهد (۲۸).

کوبایاشی[3] و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی شیب عرضی

[1]- Ivits
[2]- Prabakaran
[3]- Kobayashi

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

فنولوژیکی در جنگل‌های صنوبر، توندرا و بوته‌زار در آلاسکا با استفاده از داده‌های زمینی و ماهواره ای پرداخته‌اند. در این مطالعه از داده‌های شروع و پایان فصل رویش تهیه‌شده از مجموعه داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در آلاسکا برای انجام مطالعات استفاده شد. در این تحقیق داده‌های پوشش گیاهی ماهواره اسپات و مودیس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق حاکی از عدم ارتباط قوی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای شروع و پایان فصل است (۱۹ تا۲۶ روز اختلاف). محقق احتمال می‌دهد که تغییرات فنولوژیکی جنگل‌های این منطقه پاسخی به تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن مناطق قطبی و نیمه قطبی باشد (۱۹).

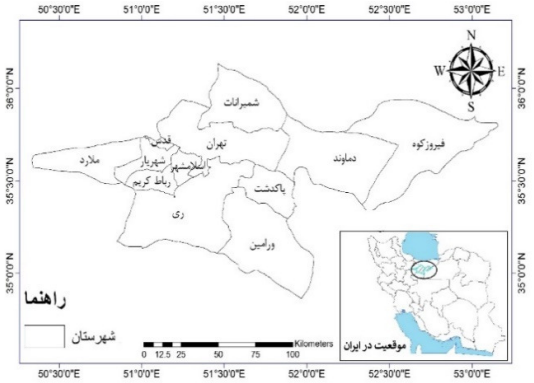
کرمی[1] و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی اثر تغییرات عرض جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم بر فنولوژی گیاهی در منطقه گرینلند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تفاوت‌های معناداری بین تغییرات فنولوژیکی مناطق غربی و شرقی گرینلند در طول دوره مطالعه (۲۰۰۱-۲۰۱۵) و نیز پاسخ نوسانات اقلیمی وجود دارد. به طوری که در مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی تاریخ شروع فصل رویش زودتر و طول فصل بیشتر می‌باشد (۱۸).

با توجه به اهمیت نوسانات آب هوایی و اثر آن بر پوشش گیاهی و مشاهده خلاء مطالعاتی در این زمینه در کشور، هدف از این تحقیق استخراج پارامترهای فنولوژیکی پوشش گیاهی طبیعی و تغییرات آن در استان تهران به کمک سری زمانی داده‌های دورسنجی و بررسی تأثیر عوامل اقلیمی در تغییرات فنولوژیکی می‌باشد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۸۸۱۴ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه‌ی عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل۱). این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب‌غربی به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. استان تهران دارای بیش از ۱۲ میلیون نفر جمعیت و پرجمعیت‌ترین استان کشور است. تقریبا ۸۶/۵ درصد جمعیت در مناطق شهری و ۱۳/۵ درصد در مناطق روستایی سکونت دارند. اقلیم استان تهران در مناطق جنوبی گرم و خشک است، اما در مناطق کوهستانی شمال تهران سرد و نیمه‌مرطوب می‌باشد (۱۰).



شکل ۱: موقعیت استان تهران و شهرستان های آن

روش تحقیق

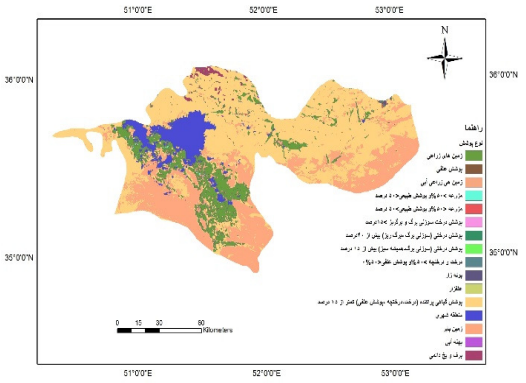
در ابتدا به‌منظور استخراج نواحی با پوشش طبیعی و نه انسانی (شکل۳) که انتظار پاسخ مناسب پارامترهای فنولوژیکی و توان تولیدی به نوسانات اقلیمی می‌رفت، از اطلاعات پوشش اراضی تولیدشده توسط آژانس فضایی اروپا[2] استفاده شد (شکل ۲). مناطق مسکونی، بایر، سطوح آبی و نواحی یخچالی (مناطقی که غالبا در طول سال برف‌گیر هستند) از آنالیز کنار گذاشته شدند (۱۵). این نقشه در سال ۲۰۱۰ و با اندازه پیکسل ۳۰۰×۳۰۰ تهیه شده است (۳۶). همچنین به منظور افزایش دقت در مرزهای داده پوشش زمین، این داده با سایر اطلاعات موجود از جمله تصاویر پوشش زمین سنجنده مودیس ۲۰۱۶ بررسی شد و در صورت مشاهده مغایرت اصلاحاتی بر روی آن صورت پذیرفت.

[1] -Karami

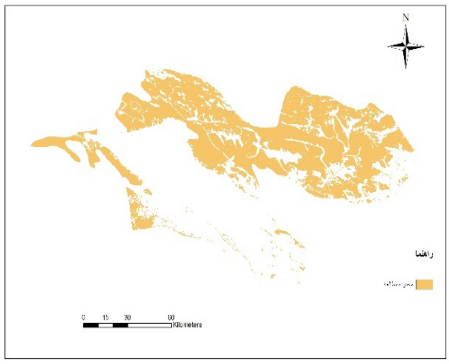
[2] - European Space Agency

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]



شکل ۲: نقشه پوشش کاربری زمین



شکل ۳: محدوده نهایی منطقه مورد مطالعه

به‌منظور محاسبه پارامترهای فنولوژیکی و توان تولیدی از شاخص تفاضلی نرمالشده (NDVI[1]) و تصاویر قابلیت اطمینان پیکسل[2] یکی از محصولات سنجده مودیس[3] در ماهواره ترا[4] با نام MOD13Q1 در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شد. این تصاویر ۱۶ روزه هستند و اندازه پیکسل ۲۵۰×۲۵۰ متر دارند (۳۷). همچنین به منظور محاسبه کنترل آب و هوا بر فنولوژی، داده‌های بارش و درجه حرارت، در تجزیه و تحلیل همبستگی استفاده شد. برای داده‌های بارش و درجه حرارت از داده‌های میانگین بارش مدل ERA-Interim مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌برد آب و هوا[5] (۳۵) با اندازه شبکه‌بندی ۰/۱۲۵ × ۰/۱۲۵ درجه جغرافیایی از سال ۲۰۰۰ تا ابتدای سال ۲۰۱۴ استفاده شد.

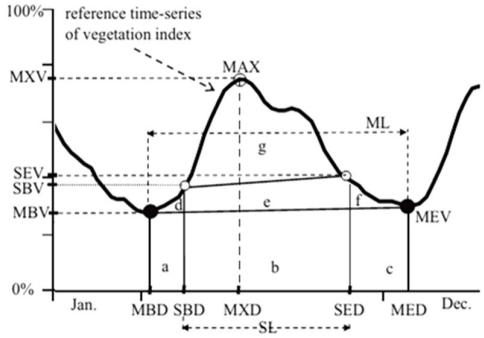
در این پژوهش از نرم‌افزار تایم‌ست[6] برای استخراج و نمایش پارامترهای فنولوژیکی و توان تولیدی و از مدلساز روند زمین[7] (ETM) در نرم‌افزار ترست[8] به‌منظور آنالیز روند فصلی، بررسی معنی‌دار بودن روند در سری‌های زمانی و تجزیه و تحلیل همبستگی داده‌های اقلیمی و پوشش گیاهی استفاده شد. بسته نرم‌افزاری برنامه تایم‌سَت در ابتدا برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از روش فیلتر کردن متداول ساویچکی- گولای و روش‌هایی بر پایه اوزان حد بالایی برازش با توابع نامتقارن گوسی و لجستیک دوبل طراحی شد. براساس این توابع برازشی، یک سری پارامترهای نوسانی مثل شروع و خاتمه فصل رشد را می‌توان استخراج کرد. این پارامترها می‌توانند برای نشان‌دهنده نوسانات در مقیاس ناحیه‌ای یا جهانی به‌کار برود. مدلساز روند زمین یکی از مدلسازهای نرم‌افزار ایدریسی و ترست محسوب می‌شود. تمرکز مدلساز روند زمین بر روی تجزیه و تحلیل روند (گرایش) و ویژگی‌های پویا در سری‌های زمانی است. این مدلساز ارائه دهنده انواع ابزارها برای جستجو و بررسی در سری‌های زمانی را دارا می‌باشد که از جمله آن می‌توان به تحلیل همبستگی کانونی[9]، تجزیه به مولفه‌های اصلی بهبود یافته[10](معمولاً با نام تابع عمودی تجربی[11] شناخته می‌شود)، آنالیز روند فصلی و... اشاره کرد (۹).

با استفاده از نرم‌افزار تایم ست پارامترهای فصل‌رویش[12] هر طبقه استخراج شد. زمان فصل رویش پوشش گیاهی از طریق تجزیه و تحلیل سری زمانی به‌دست آمد و پارامترهای فنولوژیکی شروع فصل و طول فصل رویش، برآورد شد (۱۵). معنی لغتی برابر و واحدی از پارامترهای فصلی وجود ندارد و محققین مختلف ممکن است معتقد به راهکارهای مختلفی برای استخراج و اعتبارسنجی این پارامترها باشند. برای مثال می‌توان به معرفی پارامترهای تولیدی[13] گیاهان علاوه بر پارامترهای

[1] - Normalized Difference Vegetation Index
[2] - Pixel Reliability
[3] - Modis
[4] - Terra
[5] - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)
[6] - TimeSat
[7] - Earth Trends Modeler
[8] -Terrset
[9] - Canonical Correlation Analysis (CCA)
[10] - Extended PCA
[11] - Empirical Orthogonal Function (EOF)
[12] - Growing Season
[13] - Productivity Parameters

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

فنولوژیکی[1] براساس منحنی شاخص گیاهی (۱۵) در شکل (۴) اشاره کرد.



پارامترهای فنولوژیکی: SBD= روز شروع فصل،SL = طول فصل،MXV = بیشترین ارزش در شاخص پوشش گیاهی، MXD = زمانی وقوع بیشترین ارزش در شاخص پوشش گیاهی ، SBV = مقدار ارزش شاخص پوشش گیاهی در شروع فصل
پارامترهای تولیدی: $MI^{3}=a+b+c+d+e+f+g$ (حداقل-حداقل انتگرال): تقریبی از تولید ناخالص اولیه $MPI^{3}=a+b+c$ (انتگرال دائمی حداقل): توصیف کننده اجزا پوشش گیاهان دائمی و به شاخص پوشش گیاهی استفاده شده بستگی دارد ،ممکن است همچنین دربرگیرنده اجزا بستر خاک باشد. $SER^{4}=d+f$ (انتگرال باقیمانده خارج فصل): مقدار پوشش گیاهی خارج از فصل رشد.ممکن است بیشترحاکی از قبل/بعد درو در زمین‌های کشاورزی باشد. $CF^{5}=g$ (کسر دوره‌ای): این پارامتر ممکن است به طور مستقیم صرفا مربوط به رشد فصلی باشد. $PF^{6}=d+e+f$ (کسر دائمی): مقدار پوشش گیاهی چرخه فصلی مشخصی در فصل رشد ندارد.

شکل۴: استخراج پارامترهای توان تولیدی و فنولوژیکی (۱۴)

برای طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه به لحاظ تغییرات فصلی و ایجاد مناطق نسبتاً همگن به لحاظ تغییرات فصلی از آنالیز روند فصلی در مدلساز روند زمین[7] استفاده شد. در اولین مرحله پردازش تصاویر بدین منظور داده‌های شاخص پوشش گیاهی ۱۶ روزه به منظور قابل مقایسه شدن با داده‌های آب و هوایی و همچنین کم کردن خطاها با استفاده از روش تجمیع سری[8] در مدلساز روند زمین به داده‌های ۳۰ روزه تجمیع شد.

در گام بعدی تحلیل روند فصلی پوشش گیاهی در نرم‌افزار ترست صورت پذیرفت. آنالیز روند فصلی، روشی است برای تجزیه و تحلیل روندهای فصلی در سری زمانی حاصل از رصد کره زمین که به‌صورت جداگانه برای هر سال در سری زمانی رگرسیون هارمونیک اعمال می‌شود. این روش به طور خاص خطاهای درون‌سالیانه با فرکانس بالا را بر طرف می‌کند (۹). تصویر روند دامنه و روند فاز تصاویر، به عنوان یک راهنما برای نمایش مناطقی با روند مشابه فصلی استفاده می‌شود (۹). در واقع مدلساز روند زمین تصویری از پیکسل‌های مشابه به لحاظ منحنی فنولوژی در طی دوره سری زمانی ایجاد می‌کند. در مرحله بعد بررسی معنی‌داری و جهت تغییرات روند پوشش گیاهی و فنولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. معنی‌دار بودن روند با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال[9] تعیین شد (۱۴). فرض صفر عدم وجود روند و تصادفی بودن داده‌ها و فرض یک به منزله وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی در آیند. از دیگر مزایای این روش، اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی موجود در داده‌های سری زمانی می‌باشد (۳۱). که براین اساس پیکسل‌هایی که روند معنی‌داری از تغییرات پوشش گیاهی و فنولوژیکی را نشان می‌دادند، جدا شد و در ادامه جهت تغییر آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از شاخص روند یکنواخت[10](من-کندال که مرتبه‌ای که یک روند به‌طور دائم افزایش و یا کاهش می‌یابد را اندازه گیری می‌کند) استفاده شد. محدوده این شاخص بین ۱+ و ۱- است. مقدار ۱+ نشان‌دهنده این است که روند یطور دائم در حال افزایش است و خلاف این قضیه در ۱- صدق می‌کند. ارزش صفر هم نشان‌دهنده عدم وجود روند است. آماره من کندال به بیانی ساده تفاضل نسبت فراوانی افزایش و نسبت فراوانی کاهش است (۹). در نهایت با استفاده از مدل‌ساز خطی[11] در مدل‌ساز روند زمین، میزان همبستگی سری زمانی بارش با سری زمانی شاخص پوشش گیاهی با استفاده از روش رگرسیون چندگانه در مدلساز روند زمین

[1] - Phenological parameters
[2] - Minimum-Minimum Integral
[3] - Minimum Permanent Integral
[4] - Season Exceeding Residual Integral
[5] - Cyclic fraction
[6] - Permanent Fraction
[7] - Earth Trends Modeler
[8] - Aggregate Series
[9] - Mann-kendal
[10] -Monotonic Trend
[11]- linear modeling

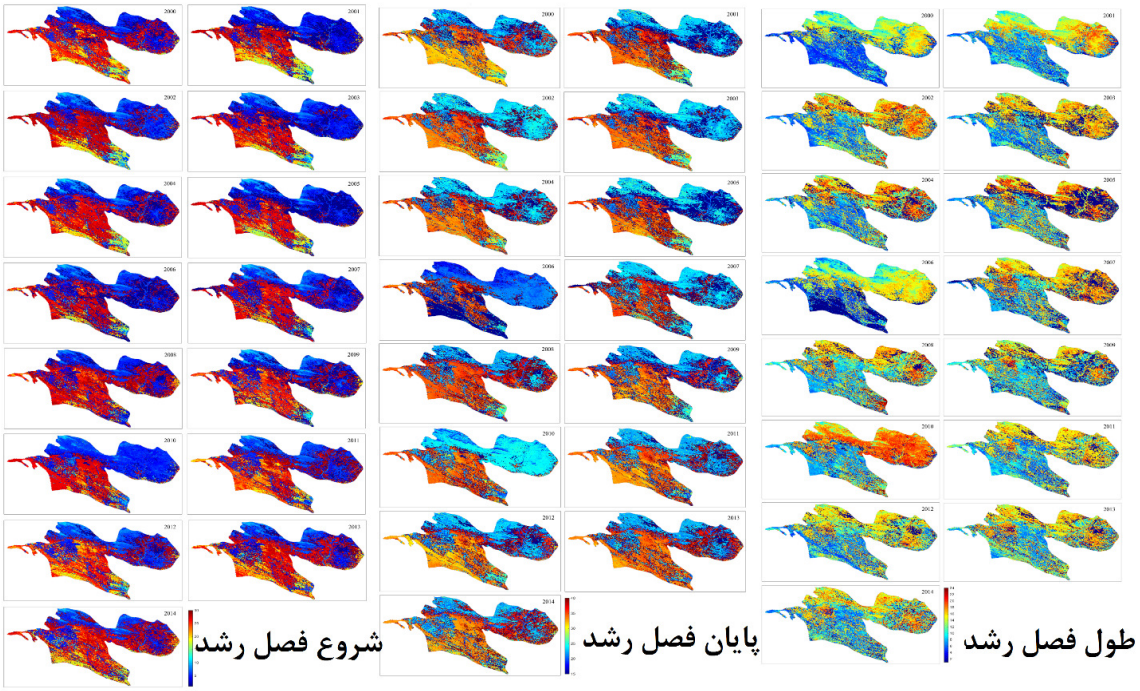
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

سنجیده شد. در این بررسی سری زمانی بارش به عنوان متغیر مستقل با تأخیر[1] صفر و در سطح معنی‌داری یک درصد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

نتایج

تمام پارامترهای فنولوژیکی و توان تولیدی برای سال‌های مختلف محاسبه شد. اشکال (۵) و (۶) تغییرات زمانی و مکانی این پارامترها رانشان می‌دهند. با توجه به شکل (۴) پارامترهای فنولوژیکی، وابسته به زمان (محور X) و پارامترهای تولیدی، وابسته به تغییرات میزان منحنی شاخص پوشش گیاهی (محور Y) هستند. بنابراین پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق شامل شروع، پایان و طول فصل رشد و پارامترهای توان تولیدی شامل ارزش حداکثر، انتگرال حداقل و نرخ کاهش در پایان فصل خواهد بود.

نتایج نشان می‌دهد که به طور کلی قسمت‌های شمالی استان تهران نسبت به مناطق جنوبی شروع و پایان فصل رشد زودتر اتفاق می‌افتد و طول دوره رشد نیز بیشتر شده است. همچنین روند تغییرات پارامترهای فنولوژیکی در طول دوره مطالعاتی نشان داد که در قسمت شمالی استان تهران، شروع فصل و طول فصل رویش گیاهان به ترتیب افزایش و کاهش یافته است.

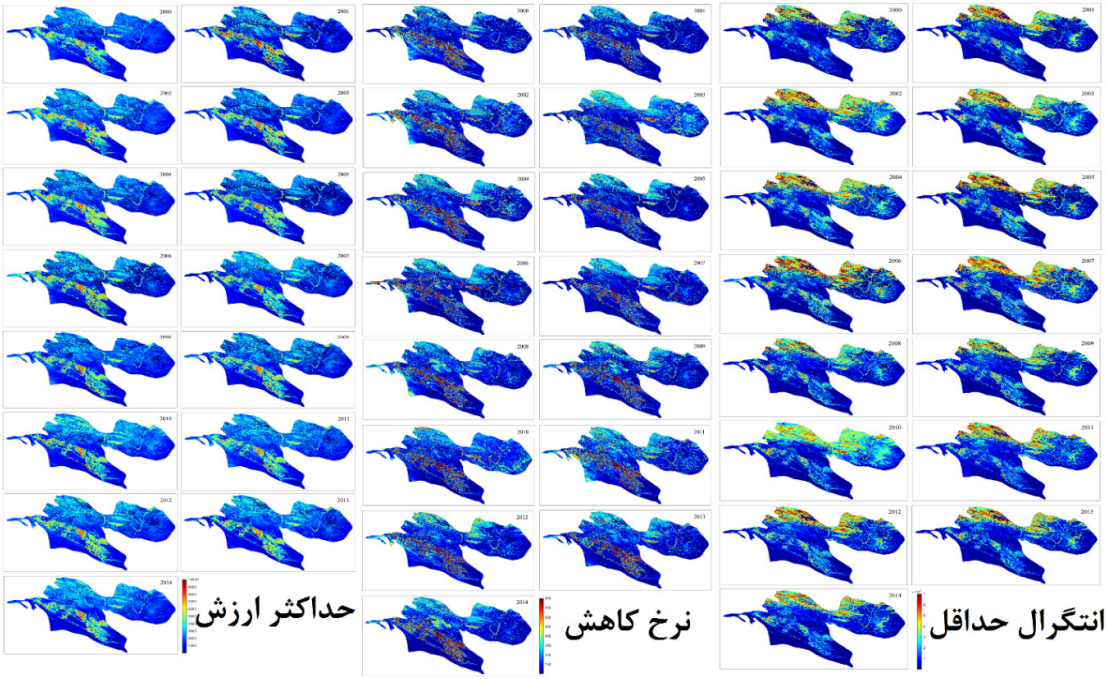


شکل ۵: نقشه‌های شروع،پایان و طول فصل رشد در استان تهران (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

[1]- Lag

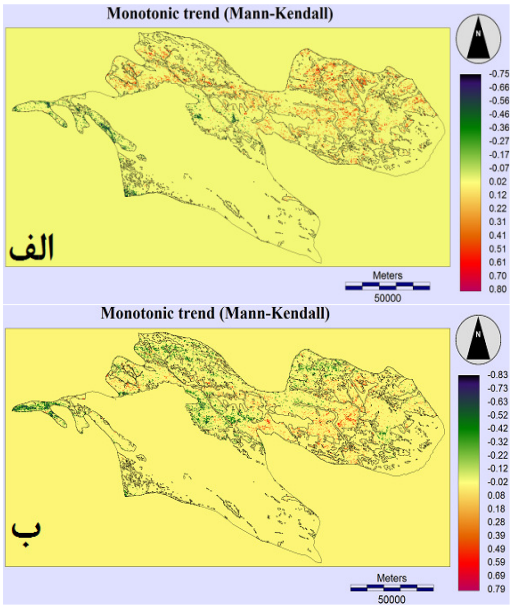
[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]



شکل ۶: نقشه‌های حداکثر ارزش و نرخ کاهشNDVI در پایان فصل و انتگرال حداقل در استان تهران (۲۰۱۴-۲۰۰۰)

نتایج تحلیل پارامتر انتگرال حداقل که توصیفی از تولید اولیه ناخالص است به طور کلی در نواحی شمالی بیشتر از نواحی جنوبی استان تهران می‌باشد. هرچند در نواحی جنوب شرقی استان تهران که تمرکز اراضی کشاورزی در انجاست، میزان انتگرال حداقل بالاتر از نواحی اطراف و نزدیک به نواحی شمالی می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه‌های حداکثر ارزش NDVI ، اراضی کشاورزی جنوب شرق دارای بیشترین میزان شاخص NDVI در طول فصل رشد می‌باشند. بررسی نرخ کاهش NDVI نیز نشان می‌دهد که بیشترین کاهش در میزان شاخص NDVI در همین نواحی صورت گرفته است. اشکال (۷) و (۸) نتایج بررسی شیب تغییرات پارامترهای فنولوژی و توان تولیدی را نشان می‌دهد.

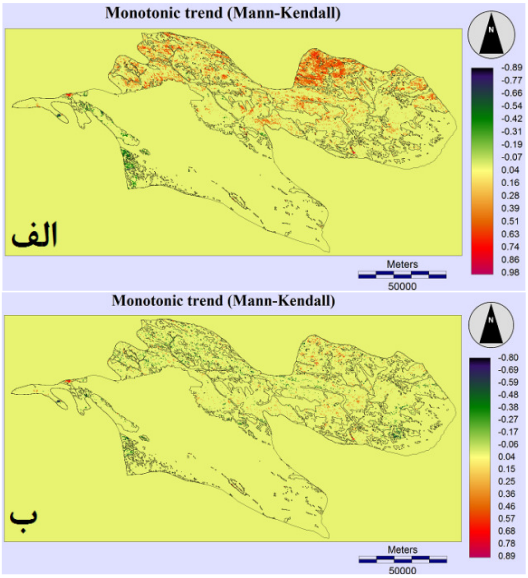


شکل ۷: نقشه مناطق دارای روند معنی‌دار شروع فصل رشد (الف) و پایان فصل رشد (ب) (p=0.05) برای ۱۵ فصل

نتایج آماره من کندال (شکل ۷، الف) نشان می‌دهد که در قسمت‌های شمالی تغییرات زمان شروع فصل رویش روند افزایشی دارد. این مسئله در قسمت جنوبی عکس بوده و روند نشان‌دهنده کاهش زمان شروع فصل را نشان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

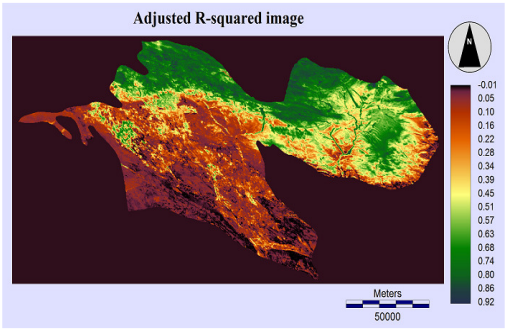
می‌دهد. همچنین با توجه به نتایج شکل (۷) قسمت (ب) تقریباً در کل منطقه، پایان فصل رویش کاهش یافته است. تنها در بخش مرکزی شرق استان تراکم متوسطی از روند معنی‌دار افزایش زمان فصل رویش مشاهده می‌شود.



شکل ۸: نقشه مناطق دارای روند معنی‌دار حداکثر ارزش (الف) و انتگرال حداقل (ب) (p=0.05) برای ۱۵ فصل

نتایج شکل (۸، الف) نشان داد که حداکثر ارزش NDVI در قسمت شمال شرقی بطور قابل توجه‌ای طی ۱۵ سال افزایش یافته است. همچنین روند کاهشی در قسمت جنوب غربی مشاهده می‌شود. همچنین انتگرال حداقل که معرف بهتری از تولید گیاهی محسوب می‌شود در کل منطقه کاهش پیدا کرده است و تنها در قسمت شمال شرقی که از نظر دامنه و حداکثر ارزش افزایش قابل توجه و معنی-داری را داشته است(شکل ۸، ب).

شکل (۹) نتایج همبستگی تغییرات پوشش گیاهی و بارش را بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. بررسی میزان همبستگی تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات آب و هوایی نشان داد که بیشترین میزان همبستگی در مناطق شمالی و دور از محیط انسانی است.



شکل ۹: :نقشه ضریب تعیین رگرسیون بین بارش و مقادیر NDVI

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات در فنولوژی گیاهی به عنوان حساس‌ترین و قابل مشاهده‌ترین پاسخ گیاهان به تغییرات آب و هوایی است (۲۲)؛ اما اخیراً نسبت تغییرات فنولوژی به گرم شدن کره زمین پیچیده شده است (۲۴) و تحقیقات بیشتری به‌منظور ارزیابی معیارهای فنولوژیکی شروع و پایان فصل نیاز است (۸). نتایج این ارزیابی نشان داد که در قسمت شمالی استان تهران، شروع فصل (عدد روز سال) و طول فصل رویش گیاهان به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. بازخوانی مقالات و متون مختلف تناقض‌هایی از مقادیر متفاوتی از تغییرات فصلی، زودتر یا دیرتر شدن فنولوژیکی بهار و همچنین کوتاه‌تر و بلندتر شدن فصل رویش را نشان داد. به طور طبیعی، برخی از تضادها ممکن است از اختلاف در طول سری زمانی مطالعه و یا از سنسورهای مختلف ماهواره‌ای بوجود آیند (۷). همچنین مقیاس مکانی مطالعه نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۱۶). احتمال نامناسب بودن شاخص NDVI برای مطالعات در این قبیل مکانها وجود دارد، بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران این مناطق، شاخص‌های طیفی گیاهی دیگر را نیز بررسی نمایند.

به لحاظ شاخص‌های تولیدی گیاه نیز در قسمت شمالی، بویژه در قسمت شمال شرق استان تغییرات معنی‌دار دامنه به‌واسطه افزایش ارزش حداکثر NDVI، باعث افزایش پارامترهای تولیدی گیاه در این قسمت شده است. هر چند قسمت جنوبی، بویژه جنوب غربی کاهش در شروع فصل (عدد روز سال) و افزایش در طول فصل رویش را نشان می‌دهد که با بسیاری از مطالعات پژوهشگران

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

سراسر دنیا مشابه است. به لحاظ پارامترهای تولیدی، کاهش در ارزش پایه منحنی شاخص پوشش گیاهی باعث کاهش معنی‌دار دامنه شده و این مسئله باعث کاهش پارامترهای تولیدی در این منطقه شده است.

همبستگی بالایی بین داده‌های پوشش گیاهی با داده‌های آب و هوایی در قسمت شمالی که بافت آن طبیعی‌تر است، وجود دارد. این در حالی است که در مناطق جنوبی که غیرکوهستانی و نزدیک به محیط انسانی بوده همبستگی پایینی مشاهده می‌شود. ارتباط سری زمانی شاخص پوشش گیاهی با داده‌های آب و هوا در مناطق جنوبی یک رابطه علت و معلولی را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد در مناطق جنوبی روند تغییرات آب و هوایی به شیوه‌ای پیچیده با اثرات برجسته‌ای از شرایط بیوفیزیکی محلی و یا شیوه‌های مدیریت زمین هم هم‌پوشانی دارد. آنالیزهای روابط پوشش گیاهی و آب و هوا زمانی محدودیت نشان می‌دهند که بجز آب و هوای محلی، در دوره‌های کوتاه مدت نیروهای محرکه دیگری نیز باعث تغییرات محیطی می‌شوند (۱۵). مطابق مطالعه ما نیز به هر میزان که به محیط انسانی با جمعیت و تنش بیشتر نزدیک شویم، این همبستگی کمتر می‌شود. این مسئله نشان‌دهنده تاثیر عوامل انسانی در این تغییرات می‌باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت که نتایج این تحقیق تاثیر همزمان اقلیم و انسان را بر پوشش گیاهی استان تهران نشان می‌دهد. بنابراین برای مدیریت بهتر پوشش گیاهی در استان تهران باید عوامل بیو فیزیکی و اقتصادی اجتماعی توامان استفاده کرد.

References

1. Archibald, S.A., A. Kirton., M.R. Van der Merwe., R.J. Scholes., C.A. Williams & N. Hanan, 2009. Drivers of inter-annual variability in Net Ecosystem Exchange in a semi-arid savanna ecosystem. South Africa. Biogeosciences, 6(2):251–266
2. Bao, G., Y. Bao., A. Sanjjava., Z. Qin., Y. Zhou & G. Xu, 2015. NDVI-indicated long-term vegetation dynamics in Mongolia and their response to climate change at biome scale. International Journal of Climatology, 35(14): 4293-4306.
3. Climate Change., 2007. Intergovernmental panel on climate change. World Meteorological Organization
4. Da Silva, A., M. Valcu & B. Kempenaers, 2015. Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 370(1667):1-9.
5. Dahlin, K.M, R.A. Fisher & P.J. Lawrence, 2015. Environmental drivers of drought deciduous phenology in the Community Land Model. Biogeosciences, 12(16): 5061-5074.
6. Dai, J.H., H.J. Wang & Q.S. Ge., 2014.The spatial pattern of leaf phenology and its response to climate change in China. International Journal of Biometeorology, 58(4): 521-528.
7. De Beurs, K.M & G.M. Henebry., 2005. Land surface phenology and temperature variation in the International Geosphere–Biosphere Program high-latitude transects. Global Change Biology, 11(5):779-790.
8. De Beurs, K.M & G.M. Henebry., 2010. Spatio-temporal statistical methods for modelling land surface phenology. In Phenological research. Springer Netherlands, 177-208.
9. Eastman, J.R., F. Sangermano., E.A. Machado., J. Rogan & A. Anyamba, 2013. Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI) 1982-2011. Remote Sensing, 5(10): 4799-4818.
10. Eskandari, H, M. Borji., H. Khosravi & T. Mesbahzadeh, 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. Solid Earth, 7(3):905-915.
11. Gonsamo, A, J.M Chen., D.T. Price., W.A. Kurz & C. Wu, 2012. Land surface phenology from optical satellite measurement and CO2 eddy covariance technique. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 117: 1-18.
12. Hereford, R, R.H. Webb & C.I. Longpre, 2006. Precipitation history and ecosystem response to multidecadal precipitation variability in the Mojave Desert region, 1893-2001. Journal of Arid Environments, 67:13-34.
13. Huntley, B.J & T. Webbm., 1988. Vegetation History. Kluwer: Dordrecht, the Netherlands.
14. Ivits, E., M. Cherlet., W. Mehl & S. Sommer, 2013. Ecosystem functional units characterized by satellite observed phenology and productivity gradients: A case study for Europe. Ecological Indicators, 27: 17-28.
15. Ivits, E., M. Cherlet., G. Tóth., S. Sommer., W. Mehl., J. Vogt & F. Micale, 2012. Combining satellite derived phenology with climate data z for climate change impact assessment. Global and Planetary Change, 88-89: 85-97.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]

16. Jeong, S.J, C.H. Ho & E. K. B. Molly, 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.
17. Huntley, DJ. X.F. Fu & K. Wang, 2013. Vegetation dynamics and their response to freshwater inflow and climate variables in the Yellow River Delta, China. Quaternary international, 304: 75-84.
18. Karami, M., B. U. Hansen., A. Westergaard-Nielsen., J. Abermann., M. Lund., N.M. Schmidt & B. Elberling, 2017. Vegetation phenology gradients along the west and east coasts of Greenland from 2001 to 2015. Ambio, 46(1): 94-105
19. Kobayashi, H., A. Yunus., S. Nagai., K. Sugiura., Y. Kim, B. Dam., H. Nagano., D. Zona., Y. Harazono., M. Bret-Harte., K. Ichii., H. Ikawa., H. Iwata., W. Oechel., M. Ueyama & R. Suzuki, 2016. Latitudinal gradient of spruce forest understory and tundra phenology in Alaska as observed from satellite and ground-based data, Remote Sensing of Environment, 177: 160-170.
20. Liu, Y., C. Wu., D. Peng., S. Xu., A. Gonsamo., R.S. Jassal., M.A. Arain., L. Lu, B. Fang & J.M. Chen, 2016. Improved modeling of land surface phenology using MODIS land surface reflectance and temperature at evergreen needleleaf forests of central North America. Remote Sensing of Environment, 176: 152-162.
21. Lu, P., Q. Yu., J. Liu & X. Lee, 2006. Advance of tree-flowering dates in response to urban climate change. Agricultural and Forest Meteorology, 138(1-4): 120–131.
22. Menzel, A., 2003 . Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. Climatic Change, 57(3): 243-263.
23. Morisette, J.T, A.D. Richardson., AK. Knapp., J.I. Fisher., E.A. Graham., J. Abatzoglou., B.E. Wilson., D.D. Breshears., G.M. Henebry & J.M. Hanes, 2009. Tracking the rhythm of the seasons in the face of global change: phenological research in the 21st century. Frontiers in Ecology and the Environment, 7(5):253-260.
24. Parmesan, C. & G. Yohz., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature, 421: 37-42.
25. Piao, S., P. Ciais., P. Friedlingstein., P. Peylin., M. Reichstein., S. Luyssaert., H. Margolis., J. Fang., A. Barr., A. Chen., A. Grelle., D.Y. Hollinger., T. Laurila., A. Lindroth., A.D. Richardson & T. Vesala, 2008. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. Nature, 451:49-52.
26. Pordel, F., A. Ebrahimi & Z. Azizi, 2017. Monitoring the spatial and temporal variation of plant production through calculation and generalization of vegetation indices obtained from Landsat 8 satellite (Case study: Borjen Margan Range). Rangeland, 11(2):166-177. (In Persian).
27. Potter, C,. S. Boriah, M. Steinbach, V. Kumar & S. Klooster, 2008. Terrestrial vegetation dynamics and global climate controls. Climate Dynamics, 31(1): 67–78.
28. Prabakaran, C., C.P. Singh., S. Panigrahy & V. Parihar, 2013. Retrieval of forest phonological parameters from remote sensing-based NDVI time-series data. Current Science, 105(6): 795-802.
29. Sharifi, J., A. Shahmoradi., A. Nori & D.Mohammadi, 2017. Monitoring of vegetation cover of semi-steppe rangelands of Ardebil province (Case study: Khqkhal's Aqdagh rangelands). Rangeland, 11(3):283-293. (In Persian).
30. Sun, H.Y., C.Y. Wang & N. Z. Bukhosor, 1998. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. Remote Sensing, 2(3): 204-210.
31. Turgay, P. & K. Ercan., 2005.Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes published online in wileyInterscience (www.Interscience.wiley.com).
32. Ulsig, L., C.J. Nichol., K.F. Huemmrich., D.R. Landis., E. M. Middleton., A.I. Lyapustin., I. Mammarella., J. Levula & A. Porcar-Castel, 2017. Detecting Inter-Annual Variations in the Phenology of Evergreen Conifers Using Long-Term MODIS Vegetation Index Time Series. Remote Sensing, 9(1), 49:1-21.
33. Wang, S., L. Zhang., C. Huang & N. Qiao, 2017. An NDVI-Based Vegetation Phenology Is Improved to be More Consistent with Photosynthesis Dynamics through Applying a Light Use Efficiency Model over Boreal High-Latitude Forests. Remote Sensing, 9(7): 1-9.
34. Whitlock, C. & P.J. Bartlein., 1997. Vegetation and climate change in northwest America during the past 125 kyr. Nature, 388: 57-61,
35. www.ecmwf.int
36. www.esa-landcover-cci.org
37. www.lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/myd13q1
38. Yizhaq, H., I. Stavi., M. Shachak & G. Bel, 2017. Geodiversity increases ecosystem durability to prolonged droughts. Ecological Complexity, 31: 96-103.
39. Zaitchik, B.F., J.P. Evans., R.A. Geerken & R.B. Smith, 2007. Climate and vegetation in the Middle East: interannual variability and drought feedbacks. Journal of Climate, 20(15):3924-3940.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1398.13.3.9.4]