



سنگش از دور

GIS ایران



سنگش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 3, Autumn 2023

۸۳-۱۰۲

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی مراحل فنولوژی دو گونه مرتعی با استفاده از درجه روز رشد مودیس

در استان چهارمحال و بختیاری

رضا جعفری^{۱*}، مرتضی انصاری^۲، مصطفی ترکش اصفهانی^۳

۱. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹

چکیده

دما مهم‌ترین پارامتر اقلیمی در مطالعه تغییرات مکانی و زمانی فنولوژی گیاهان است؛ از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی پتانسیل داده‌های دمایی سنجنده مودیس در تهیه نقشه‌های درجه روز رشد (GDD) و مراحل گوناگون فنولوژی، در مورد گونه‌های مرتعی *Astragalus effusus* و *Bromus tomentellus*، در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. نقشه‌های دمایی (حداکثر، حداقل و میانگین)، و مراحل متفاوت فنولوژی گونه‌های یادشده از داده‌های مودیس متعلق به فصل رویش در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ استخراج و با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین داده‌های فنولوژی میدانی در سه سایت مرتعی در منطقه با ارتفاع‌های متفاوت، از طریق آزمون پیرسون مقایسه و صحت‌سنجی شد. نتایج حاکی از آن بود که تولیدات دمایی و GDD حاصل از تصاویر مودیس، به ترتیب، با داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی و نیز GDD محاسبه‌شده در سایت‌ها بیش از ۹۱ و ۹۹٪ همبستگی دارد ($p < 0.001$). نقشه‌ها مقدار GDD را، در اوایل فصل رویش، کمتر از ۱۶ و در اواخر این دوره، بیش از ۵۲۰۰ نشان دادند که به ترتیب، بیانگر یک مرحله و تمامی مراحل فنولوژی گونه‌های مطالعاتی در منطقه بود. یافته‌های تحقیق نشان داد که مراحل فنولوژی گونه‌های مورد بررسی را می‌توان با استفاده از داده‌های مودیس، از لحاظ مکانی و زمانی، از هم تفکیک کرد. با توجه به اینکه حفظ بقای گونه‌ها و بهره‌برداری پایدار از مراتع مستلزم آگاهی از مراحل گوناگون فنولوژی است، نقشه فنولوژی گونه‌ها می‌تواند ابزار کارآمدی، در مدیریت مراتع در سازمان‌های مرتبط، محسوب شود.

کلید واژه‌ها: LST، GDD، مودیس، سنگش از دور حرارتی، گونه‌های مرتعی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، کدپستی ۸۴۱۵۶۸۳۱۱، تلفن: ۰۹۸-۳۱۱-۳۹۱۳۵۹۳

فکس: ۰۹۸-۳۱۱-۳۹۱۳۸۴۰

Email: reza.jafari@cc.iut.ac.ir

<https://orcid.org/0009-0003-2144-8333>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102437>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱- مقدمه

هوای بالای آن روی می‌دهد و سطح زمین سریع‌تر از هوای مجاور خود سرد یا گرم می‌شود و در نتیجه، دمای آن متفاوت با دمای هواست، تحقیقات در زمینه ارتباط بین دمای هوا و LST^۱ استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای، در مناطق متفاوت جهان، وجود همبستگی قوی و معناداری را بین این دو پارامتر هوا نشان می‌دهد (Benali et al., 2012; Keramitsoglou et al., 2011; Mutiibwa et al., 2015). به‌علاوه نتایج مطالعات در ایران وجود همبستگی بالایی را بین دمای سطح زمین و دمای هوا نشان داد و بنابراین دمای سطح زمین را می‌توان، به‌منزله پارامتر ورودی، در بسیاری از مدل‌سازی‌ها و تحقیقات بوم‌شناسی به‌کار برد (Amiri et al., 2020; Jafari & Hasheminasab, 2017; Moghbel & Shamsipour, 2019).

استفاده از شاخص درجه روز رشد می‌تواند در پیش‌بینی زمان مناسب ورود و خروج دام در مراتع، چرای زودرس و جلوگیری تخریب مراتع کمک شایانی کند. مطالعه‌ای در منطقه آسرد، درباره تأثیرات دو سیستم چرای مداوم و تناوبی با شدت‌های چرای سنگین، متوسط، سبک و بدون چرا، در درجه روز رشد *Bromus tomentellus* طی یک دوره رویشی نشان داد میان تأثیر سیستم‌های چرای در فنولوژی گونه‌ها تفاوت چشمگیری وجود ندارد (Sandgol, 2007). آذرنیوند^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در اصفهان، با کمک شاخص درجه روز رشد، گیاه علف پشمکی را از طریق ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه، از لحاظ فنولوژی، بررسی کردند. طبق نتایج این پژوهش، مراحل فنولوژیکی گیاهان را با استفاده از درجه روز رشد می‌توان پیش‌بینی کرد و تعیین رابطه بین مراحل فنولوژیکی گیاهان و درجه روز رشد در به‌کارگیری اصول مدیریت چرا، به‌ویژه در تعیین آمادگی مرتع و مدل‌سازی رشد و مدیریت این اراضی، بسیار سودمند

به مقدار واحد گرمایی که هر گیاه، از آغاز رشد تا هریک از مراحل فنولوژی و در نهایت، رسیدن کامل یا پایان رویش نیاز دارد، درجه روز رشد (GDD)^۱ گفته می‌شود (Anandhi, 2016). عوامل آب‌وهوایی از جمله عوامل کنترل‌نشده‌ای به‌شمار می‌روند که تغییرات هریک از آنها در هر منطقه باعث تغییرات در رشد و نمو گیاهان می‌شود؛ بنابراین باید، به‌منظور بهره‌برداری از حداکثر پتانسیل تولید گیاهان، نیاز حرارتی مراحل متفاوت فنولوژی آنها تعیین شود (Bollero et al., 1996). آگاهی از مراحل فنولوژیکی گونه‌هایی که ترکیب جامعه‌ای گیاهی را تشکیل می‌دهند اهمیت شایان توجهی در تعیین مدیریت علوفه، زمان چرا و مدیریت چرای دام برای دستیابی به اهداف تولید پایدار و نیز مدیریت عوامل مطلوب و نامطلوب برای گونه‌ها دارد (Ding et al., 2022; Schuyler et al., 2021; Tolleson et al., 2020; Zafarian et al., 2019).

در بسیاری موارد، از جمله در مناطق دارای توپوگرافی شدید که دمای هوا در قیاس با ارتفاع، تغییرپذیری شایان توجهی دارد، استفاده از داده‌های دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی نمی‌تواند معرف کل منطقه باشد و باید توزیع مکانی دمای هوا تعیین شود. براین‌اساس لازم و ضروری است داده‌های دمای هوا در فواصل بین نقاط ایستگاهی، با استفاده از روش‌های میان‌یابی مانند کریجینگ، برآورد شود؛ اما از سویی، فاصله زیاد بین نقاط ایستگاهی و وجود توپوگرافی شدید ممکن است سبب افزایش خطا با استفاده از این دسته مدل‌ها شود (Ishida & Kawashima, 1993) و به‌همین دلیل، در بسیاری از مطالعات، تصاویر ماهواره‌ای به‌کار رفته است زیرا از مزایایی همچون قدرت تفکیک مکانی مناسب، پایین‌بودن هزینه جمع‌آوری داده‌ها، سطح پوشش وسیع، سهولت پردازش همراه با داده‌های میدانی به‌منظور مدل‌سازی رفتار مکانی دمای هوا و برآورد آن در مقیاس‌های گوناگون برخوردار است (Colombi et al., 2007; Nieto et al., 2011). اگرچه تغییرات حرارتی، در سطح زمین، بیشتر و شدیدتر از

1. Growing Degree Days
2. Land Surface Temperature
3. Azarnivand

استفاده شده است (Hassan et al., 2007; Luo et al., 2020; Tomaszewska et al., 2019). علاوه‌براین در تیپ‌های گیاهی با تنوع گونه‌ای فراوان، تفکیک بازتاب طیفی گیاهان و استفاده از شاخص‌های گیاهی با محدودیت‌هایی روبه‌روست؛ بنابراین، با کمک نقشه‌های درجه‌ روز رشد استخراج‌شده از دمای سطح زمین مودیس، می‌توان وضعیت فنولوژی گیاهان را در شرایط اقلیمی و توپوگرافی بررسی کرد (Bertoldi et al., 2010).

با توجه به اهمیت فراوان شاخص درجه‌ روز رشد استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین مراحل فنولوژی گیاهان و مدیریت بهینه مراتع مانند تعیین زمان آمادگی چرای مراتع، زمان مناسب ورود دام به مراتع و خروجشان از آن و جلوگیری از چرای زودرس و تخریب پوشش گیاهی، هدف کلی مطالعه حاضر بررسی و سنجش پتانسیل این شاخص در بررسی مراحل متفاوت فنولوژی گیاهان مرتعی و تهیه نقشه آنها در استان چهارمحال و بختیاری است. اهداف فرعی این پژوهش عبارت است از: ۱) استخراج دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و صحت‌سنجی آن با استفاده از داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی؛ ۲) تهیه نقشه‌های شاخص درجه‌ روز رشد در سطح استان؛ ۳) تهیه نقشه‌های مراحل فنولوژی گیاهان غالب مرتعی در منطقه مطالعاتی. فرض بر آن است که با توجه به امکانات داده‌های ماهواره‌ای مودیس در استخراج دمای سطح زمین، می‌توان نقشه‌های درجه‌ روز رشد و نقشه‌های مراحل متفاوت فنولوژی گیاهان مرتعی را در استان چهارمحال و بختیاری، از آن استخراج کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری، با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع، بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و

است. میرحاجی^۱ و همکاران (۲۰۰۹) بیان کردند در سال‌های متفاوت، با توجه به نوسان درجه‌ حرارت هوا، طول دوره یا تعداد روزها برای هر مرحله فنولوژی متغیر بوده اما میزان انرژی گرمایی مورد نیاز هر مرحله، در سال‌های گوناگون، ثابت است و بنابراین می‌توان، با کمک معیار درجه‌ روز رشد، تاریخ ظهور و طول دوره زمانی مراحل فنولوژی را به‌طور دقیق پیش‌بینی کرد. حسینی و احسانی^۲ (۲۰۱۷) مراحل گوناگون فنولوژی ده گونه مرتعی را در استان گرگان، شمال ایران، به‌مدت چهار سال (۲۰۱۰-۲۰۰۷) بررسی کردند. هدف این محققان شناخت تاریخ‌های آغاز رویش، مرحله رشد رویشی، گل‌دهی، رسیدن و ریزش بذر، و دوره خواب گیاه بود. بررسی آنها نشان داد، در اوایل خرداد، اغلب گندمیان در مرحله ظهور خوشه و بیشتر پهن‌برگان علفی در مرحله گل‌دهی قرار دارند و بنابراین گیاهان از این لحاظ آمادگی لازم برای ورود دام به مرتع را در زمان مورد اشاره دارند؛ با این تفاوت که در ترسالی‌ها، زمان ورود دام به مناطق دشتی ده روز و به مناطق کوهستانی نیز، با توجه به مناطق دشتی، یک تا دو هفته دیرتر باشد (Ghasriani & Hedari Sharifabad, 2000; Hosseini & Ehsani, 2017).

تهیه نقشه مراحل فنولوژی و تغییرات مکانی و زمانی این مراحل، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، می‌تواند بسیار کاربردی‌تر از به‌کارگیری دماسنج‌های معمولی و یا ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مطالعاتی، به‌ویژه مراتع دارای سطحی پهن‌اور باشد. حسن و همکاران (۲۰۰۷)، با کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس و داده‌های هواشناسی، تغییرات درجه‌ روز رشد را بررسی کردند. در این تحقیق، ابتدا نقشه دمای روزانه به‌کمک داده‌های مودیس برآورد و با داده‌های هواشناسی تصحیح شد که دارای همبستگی حدود ۹۷٪ بودند. سپس با کمک نقشه‌های دمایی، نقشه درجه‌ روز رشد تهیه و مراحل فنولوژی بررسی شد. تولیدات دمایی گوناگون مودیس مانند MOD11A2، در مطالعات بسیاری، برای محاسبه درجه‌ روز رشد گیاهان

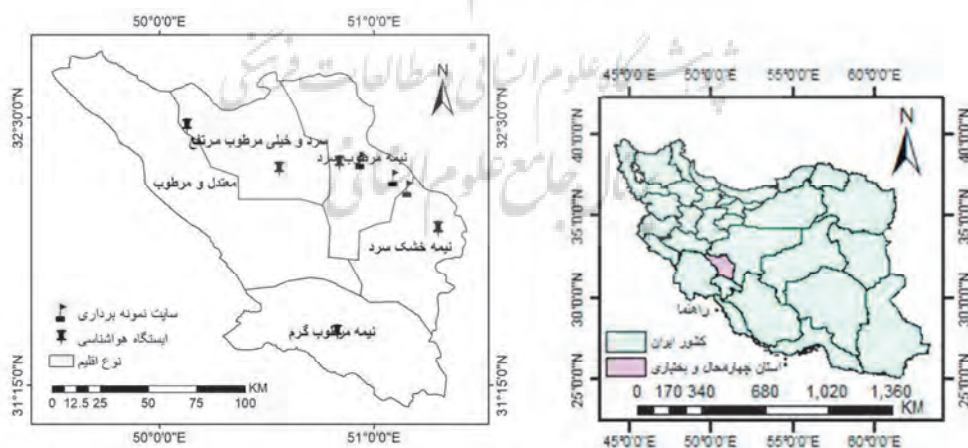
1. Mirhaji

2. Hosseini & Ehsani

۲-۲- گونه‌های مرتعی مورد مطالعه

گونه *Bromus tomentellus* گیاهی از قبیله *Bromeae*، از جنس *Bromus*، خانواده *Poaceae* و زیرخانواده *Poideae* است. این گونه چندساله و پایا با ساقه‌های ماشوره‌ای دارای تیپ بیولوژیک کامفیت و از جمله گیاهان خوش‌خوراک برای انواع دام‌ها، به‌ویژه گوسفندان است (Alikhahasl et al., 2009). این گیاه دارای پراکندگی بسیار زیاد در منطقه رویشی نیمه‌استپی است و در مناطق کوهستانی البرز، زاگرس و رشته‌کوه‌های مرکزی در ناحیه رویشی ایران و تورانی نیز گستردگی وسیعی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که گونه *Bromus tomentellus* رشد رویشی خود را از نیمه دوم اسفندماه آغاز می‌کند که تا اواخر فروردین ادامه می‌یابد. تشکیل غلاف از اوایل اردیبهشت شروع می‌شود و حدود دو هفته طول می‌کشد. گل‌دهی آن از نیمه دوم اردیبهشت آغاز می‌شود و تا میانه خردادماه ادامه دارد. رسیدن بذر این گونه از میانه خرداد شروع می‌شود و تا پایان دهه دوم تیرماه ادامه می‌یابد. این گونه گیاهی، بلافاصله پس از رسیدن کامل بذر، از ابتدای دهه سوم تیر شروع به بذرافشانی می‌کند (Saeedfar & Rasti, 2000).

۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان، از جنوب به کهگیلویه و بویراحمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود است (شکل ۱). بلندترین نقطه استان در زردکوه بختیاری، به ارتفاع ۴۲۰۰ متر و پست‌ترین نقطه آن در ناحیه شرقی، به ارتفاع ۶۹۰ متر واقع شده است. مطابق مطالعه سلطانی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش آماری چندمتغیره، این استان دارای پنج اقلیم است: الف) ناحیه معتدل مرطوب با بارندگی سالیانه ۹۷۷ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۵/۲۲ درجه سانتی‌گراد؛ ب) ناحیه نیمه‌مرطوب سرد با بارندگی سالیانه ۷۷۰ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد؛ ج) ناحیه سرد و خیلی مرطوب مرتفع با بارندگی سالیانه ۱۲۰۶ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۱/۳۲ درجه سانتی‌گراد؛ د) ناحیه نیمه‌مرطوب گرم با بارندگی سالیانه ۷۰۷ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۶/۴۹ درجه سانتی‌گراد؛ ه) ناحیه نیمه‌خشک سرد با بارندگی سالیانه ۴۷۳ میلی‌متر و متوسط حرارت سالیانه ۱۲/۰۹ درجه سانتی‌گراد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری در ایران و اقلیم‌های منطقه مطالعاتی، همراه با ایستگاه‌های هواشناسی و سایت‌های نمونه‌برداری

1. Soltani

ایستگاه‌های هواشناسی به کار رفت (www.chbmet.ir). در طول دوره رویش، به‌طور پیوسته از پایه‌های گیاهی بازدید و مراحل فنولوژی و رشد گیاهان ثبت شد. مراحل فنولوژی در مورد گونه مرتعی *Bromus tomentellus* شامل آغاز رشد رویشی، پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی، پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی، پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر و پایان ریزش بذر می‌شود و در مورد گونه مرتعی *Astragalus effusus*، آغاز رشد رویشی، پایان رشد رویشی و ظهور ساقه‌های گل‌دار، آغاز گل‌دهی، پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی، پایان بذردهی و ریزش بذر و در انتها، پایان ریزش بذر را در برمی‌گیرد. برای گونه مورد نظر، آن مراحل فنولوژی در همه سایت‌های زمانی ثبت شد که ۵۰٪ از پایه‌های آن گونه (۵ پایه از ۱۰ پایه) وارد مرحله فنولوژی مورد نظر شده باشد.

۲-۴- محاسبه شاخص درجه روز رشد

برای تعیین درجه حرارت‌های تجمعی یا مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز هر یک از مراحل فنولوژی، از شاخص درجه روز رشد استفاده شد که مقدار آن طبق رابطه (۱) به‌دست آمد (Anandhi, 2016).

$$GDD = \sum N \left[\frac{T_{max} - T_{min}}{2} - T_{Bace} \right] \quad (1) \text{ رابطه}$$

در این معادله، N تعداد روزهای لازم برای تکمیل مرحله فنولوژی، T_{Bace} درجه حرارت پایه، T_{min} درجه حرارت حداقل روزانه و T_{max} درجه حرارت حداکثر روزانه است. درجه حرارت پایه به دمایی اشاره دارد که در دمای کمتر از آن، گیاه نمی‌تواند رشد کند و یا رشد آن بسیار ناچیز است. چون دمای پایه در مورد گیاهان پایا و با خصلت رشد در فصل سرد، مانند گونه *Bromus tomentellus*، معادل صفر درجه روز و دمای پایه گونه *Astragalus effusus* نیز، در منابع، همین مقدار گزارش شده است، درجه حرارت پایه برای محاسبه درجه روز در نظر گرفته نشد (Kenshlou & Achak, 2015).

گونه *Astragalus effusus* یکی از گونه‌های علفی دائمی از خانواده لگومینوز در مراتع ایران است که گونه‌های خوش‌خوراک برای انواع دام‌ها، به‌ویژه گوسفندان، با ارزش غذایی و تحمل چرای بالا و از لحاظ حفاظت خاک نیز، جزء مناسب‌ترین گونه‌هاست (Kazem et al., 2010). مطالعه مراحل فنولوژی گیاه نشان داده است که رشد اولیه این گیاه از میانه اسفند آغاز می‌شود و رشد رویشی آن تا میانه اردیبهشت ادامه پیدا می‌کند. مرحله گل‌دهی آن میانه اردیبهشت، تشکیل بذر در اوایل خرداد، رسیدن بذر در اوایل تیر و ریزش بذر آن در اواخر تیر است (Ahmadi et al., 2013).

۲-۳- سایت‌های نمونه‌برداری

به منظور تعیین درجه روز رشد و بررسی زمان ورود گونه‌های گیاهی *Astragalus effusus* و *Bromus tomentellus* به هر یک از مراحل گوناگون فنولوژی در نقاط متفاوت استان چهارمحال و بختیاری، سه سایت در ارتفاع‌های ۲۱۰۰، ۲۱۹۰ و ۲۴۳۰ متر در طول یک ترانسکت انتخاب شد که گونه‌های مورد نظر در آنجا تشکیل تیپ داده بودند و در تصاویر ماهواره‌ای مودیس نیز، هم پوشانی نداشتند. سایت نخست با ارتفاع ۲۱۰۰ متر، در پایگاه تحقیقاتی قلعه قارک، مربوط به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان و در شهر شهرکرد، در عرض جغرافیایی ۵۰/۹۴۱۱۹۶ و طول جغرافیایی ۳۲/۳۰۲۸۹۷ درجه قرار داشت. سایت دوم با ارتفاع ۲۱۹۰ متر، در ۳۵ کیلومتری جاده شهرکرد- بروجن، در منطقه حفاظت‌شده سفیددشت و نزدیک پاسگاه محیط‌بانی سفیددشت، با عرض جغرافیایی ۵۱/۱۵۸۸۳۹ و طول جغرافیایی ۳۲/۱۶۹۷۸۴ درجه انتخاب شد. سایت سوم با ارتفاع ۲۴۲۰ متر، عرض جغرافیایی ۵۱/۰۹۴۲۳۶ و طول جغرافیایی ۳۲/۲۱۹۳۶۱ در منطقه حفاظت‌شده و پارک ملی تنگ صیاد، در ۲۵ کیلومتری جاده فرخشهر- بروجن در نظر گرفته شد. برای تعیین درجه روز رشد میدانی گونه‌های مطالعاتی، داده‌های دمایی نزدیک‌ترین

۵-۲- داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مودیس

به منظور محاسبه دمای سطح زمین، داده‌های دمایی نسخه ۶ سطح ۳ MOD11A2، با دوره زمانی هشت‌روزه و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر، از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۰۷ در فصل رویش، از پایگاه اینترنتی ناسا^۱ بارگیری و استفاده شد. تصاویر حرارتی دریافتی، با استفاده از الحاقیه مودیس MODIS Toolkit، در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 تصحیح هندسی و به سیستم مختصات جغرافیایی UTM تبدیل شدند. هر تصویر دارای داده‌های دمایی شبانه و روزانه است که به حداقل و حداکثر دمای سطح زمین اشاره دارد؛ از این داده‌ها میانگین‌گیری و در محاسبه شاخص GDD و دوره‌های گوناگون فنولوژی استفاده شد. به منظور بررسی میزان ارتباط دمای سطح زمین و دمای هوا، مقادیر حداکثر و حداقل و میانگین این دماها در پنج ایستگاه بروجن، فارسان، کوه‌رنگ، لردگان و شهرکرد با آزمون پیرسون بررسی شد. دلیل انتخاب ایستگاه‌های مورد نظر داشتن داده‌های کامل بود. برای این کار، ۲۲ تصویر هشت‌روزه دمای سطح زمین مودیس که در مجموع ۱۱۰ نقطه (۵×۲۲=۱۱۰) بود، در شعاعی ۷۵۰ متری، از طریق Zonal statistics استخراج شد (Khakpour et al., 2012). شاپان ذکر است که از آزمون پیرسون در ارزیابی ارتباط بین درجه روز رشدی به دست آمده از ایستگاه‌های زمینی و تصاویر مودیس نیز استفاده شد. به این دلیل که در مطالعه حاضر، برای هر گونه مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* در هر سه سایت مورد بررسی، هجده مرحله فنولوژی مطالعه شد، در مجموع ۳۶ نقطه و یا ارزش دمایی، برای ایجاد همبستگی بین درجه روز شده‌ها، به کار رفت.

۳- نتایج و بحث

جدول‌های ۱ و ۲ درجه روز رشدی لازم را درمورد

هریک از مراحل فنولوژی گونه‌های مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* نشان می‌دهند که از میانگین دمای هوا در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد محاسبه شده است. برای هر یک از گونه‌ها تاریخ وقوع، مدت وقوع، مدت وقوع از آغاز رشد و مقدار GDD در هر مرحله فنولوژی بیان شده است. درمورد گونه *Bromus tomentellus*، پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف در سایت قلعه قارک ۷۹ روز، با GDD برابر با ۷۲۵/۳۳ و مرحله پایانی فنولوژی (پایان ریزش بذر) در ۱۷۷ روز با GDD برابر با ۲۶۶۳ رخ داده است. درمورد گونه *Astragalus effusus*، مراحل فنولوژی مذکور در سایت قلعه قارک به ترتیب ۹۳ روز، با GDD برابر با ۹۰۹/۶ و ۱۷۷ روز، با GDD برابر با ۲۶۶۳ بوده است. در تمامی سایت‌های مطالعاتی، مقدار GDD در مرحله پایانی فنولوژی هر دو گونه مرتعی بیش از ۲۵۰۰ گزارش شد.

مطابق بررسی‌ها، گونه‌های *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* رشد خود را از نیمه دوم بهمن آغاز کردند. گونه بروموس تا اوایل اردیبهشت به رشد رویشی خود ادامه داده و پس از آن غلاف‌های گل‌دهنده تشکیل شدند. از میانه اردیبهشت، گل‌دهی این گونه آغاز و تا میانه خرداد ادامه داشته است. پس از این تاریخ، بلافاصله بذردهی و در نیمه نخست تیرماه، ریزش بذرها آغاز شده و در دهه نخست مرداد، بذردهی آن پایان یافته است. گونه *Astragalus effusus* نیز در میانه اردیبهشت، یعنی یک هفته پس از گونه بروموس، ساقه‌های گل‌دار تشکیل داده و گل‌دهی آن از اواخر اردیبهشت آغاز و تا نیمه دوم خرداد طول کشیده و پس از این زمان نیز، بذردهی گیاه شروع شده است. ریزش بذرها از اواخر تیر آغاز و در اواخر دهه اول مرداد پایان یافته است.

1. Earthexplorer.usgs.gov

پهنه‌بندی مراحل فنولوژی دو گونه مرتعی ...

جدول ۱. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای هوا، درمورد هریک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *Bromus tomentellus* در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد

قلعه قارک				
مراحل گوناگون فنولوژی	تاریخ وقوع	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از آغاز رشد (روز)	GDD (°C)
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۳	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۹	۷۹	۷۲۵/۳۳
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۳	۹۱۳/۲۳
پایان گل‌دهی و ش آغاز روع بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۲۱	۱۳۵۲/۸
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۹	۱۹۶۴/۴۳
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۷	۲۶۶۳
سفیددشت				
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۷	۷۷	۶۸۷/۹۳
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۱	۸۶۲/۵
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۱۹	۱۲۹۸/۶
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۷	۱۸۸۱/۷
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۵	۲۵۴۹/۱
تنگ صیاد				
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۷	۷۷	۶۶۲/۷۳
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۱	۸۴۰/۳
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۱۹	۱۲۶۶/۶
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۷	۱۸۶۵/۷۳
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۵	۲۵۲۸/۳۳

جدول ۲. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای هوا، درمورد هریک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *Astragalus effusus* در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد

قلعه قارک				
مراحل گوناگون فنولوژی	تاریخ وقوع	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از آغاز رشد (روز)	GDD (°C)
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۳	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۱۶	۹۳	۹۳	۹۰۹/۶
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۳۰	۱۴	۱۰۷	۱۱۰۰/۲
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۱۴	۱۲۱	۱۳۵۲/۸
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۲۴	۴۲	۱۶۳	۲۲۹۹/۱
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۱۴	۱۷۷	۲۶۶۳
سفیددشت				
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۱۶	۹۱	۹۱	۸۶۲/۵
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۳۰	۱۴	۱۰۵	۱۰۴۴
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۱۴	۱۱۹	۱۲۹۸/۶
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۲۴	۴۲	۱۶۱	۲۲۲۲/۴
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۱۴	۱۷۵	۲۵۴۹/۱

ادامه جدول ۲

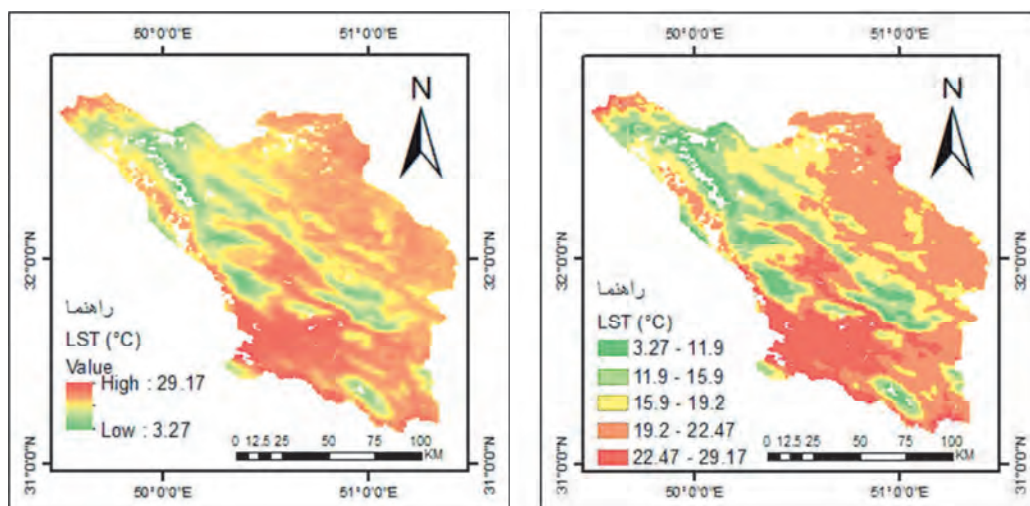
تنگ صیاد			
.	.	.	۹۶/۱۱/۱۵
۸۴۰/۳	۹۱	۹۱	۹۷/۰۲/۱۶
۱۰۲۵/۱	۱۰۵	۱۴	۹۷/۰۲/۳۰
۱۲۶۶/۶	۱۱۹	۱۴	۹۷/۰۳/۱۳
۲۱۷۱/۴	۱۶۱	۴۲	۹۷/۰۴/۲۴
۲۵۲۸/۸	۱۷۵	۱۴	۹۷/۰۵/۰۷

به علت افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی، زودتر از سال‌های دیگر رخ می‌دهد.

۱-۳- نقشه‌های دمای سطح زمین مودیس

شکل ۲ توزیع مکانی دمای سطح زمین استان چهارمحال و بختیاری را در دوره زمانی مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصاویر مشاهده می‌شود، بخش‌های جنوب و جنوب غرب استان بیشترین میزان دمای سطح (۲۲/۴۷ تا ۲۹/۱۷ درجه سانتی‌گراد) را دارند. بخش‌های شرقی، شمال شرق و بخشی از مناطق شمالی و مرکزی دمایی کمتر از منطقه پیشین (۱۹/۲ تا ۲۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد) و همچنین دمایی بیشتر از باقی مناطق (۳/۲۷ تا ۱۹/۲ درجه سانتی‌گراد) دارند. در نهایت، بخش‌های شمال غرب، غرب، بخش‌هایی از مرکز و بخش کمتری از جنوب کمترین دمای سطح را در استان دارند (۳/۲۷ تا ۱۱/۹ درجه سانتی‌گراد). طی بررسی دمای سطح زمین در طول زمان مطالعه، با نگاه کلی مشاهده شد که از ابتدای فصل رشد، یعنی اواخر زمستان، تا اواخر فصل رویش (اواخر تابستان) مقدار دمای سطح زمین نیز افزایش دارد و به‌طور کلی مسیر صعودی را طی می‌کند. نقشه کلاس‌بندی شده دمای میانگین در طول دوره مطالعاتی نشان می‌دهد کلاس دمایی ۲۹/۱۷-۲۲/۴۷ بیشترین مساحت (۲۹/۴۷٪) و کلاس دمایی ۱۱/۹-۳/۲۷ کمترین مساحت (۱۲٪) را در برمی‌گیرد.

با وجود اختلاف ارتفاع در سایت‌های مورد مطالعه، انتظار می‌رفت مراحل فنولوژی گونه‌ها نیز با زمان‌های متفاوت ثبت شود؛ اما طبق قانون ثبت زمان ورود و اتمام هر یک از مراحل فنولوژی، باید ۵۰٪ از تعداد پایه‌های در نظر گرفته شده به مرحله فنولوژی خاص وارد شده یا آن مرحله را به پایان رسانده باشند تا تاریخ مورد نظر ثبت شود و از این رو این تفاوت کمتر دیده شد. برای نمونه، در بازدید از دو منطقه، اگر تعداد پایه‌ها در هر منطقه ده عدد باشد و در یک منطقه پنج تا از پایه‌ها و در منطقه دیگر نه پایه وارد مرحله فنولوژی خاصی شوند، برای گیاه مورد نظر در هر دو منطقه، مرحله یکسان ثبت می‌شود. آذر نیوند و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی فنولوژی گونه *Bromus tomentellus* با استفاده از شاخص درجه روز رشد در مراتع اصفهان، با وجود تعیین دو مکان با اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متر، در نهایت اختلاف درجه روز رشد تا ۴۰ درجه را در مورد دو مکان ثبت کردند که از نظر زمانی، اختلافی بین تاریخ ثبت مراحل فنولوژی مشاهده نشد. مدت وقوع هر مرحله رویشی برای گونه *Bromus tomentellus* در تحقیق حاضر، در قیاس با پژوهش آذر نیوند و همکاران (۲۰۱۰)، بیشتر بوده است که علت آن احتمالاً خنک و پرباران‌تر بودن منطقه یا فصل رویش باشد (Mirhaji et al., 2009). رشوند^۱ و همکاران (۲۰۱۶) نیز، طی بررسی فنولوژی *Agropyron intermedium* و *Dactylis glomerata* در مراتع الموت قزوین، بیان کردند آغاز رویش گیاه در خشکسالی‌ها،



شکل ۲. پراکنش مکانی میانگین دمای سطح زمین از ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

۲-۳- همبستگی دمای ایستگاه‌های هواشناسی و دمای

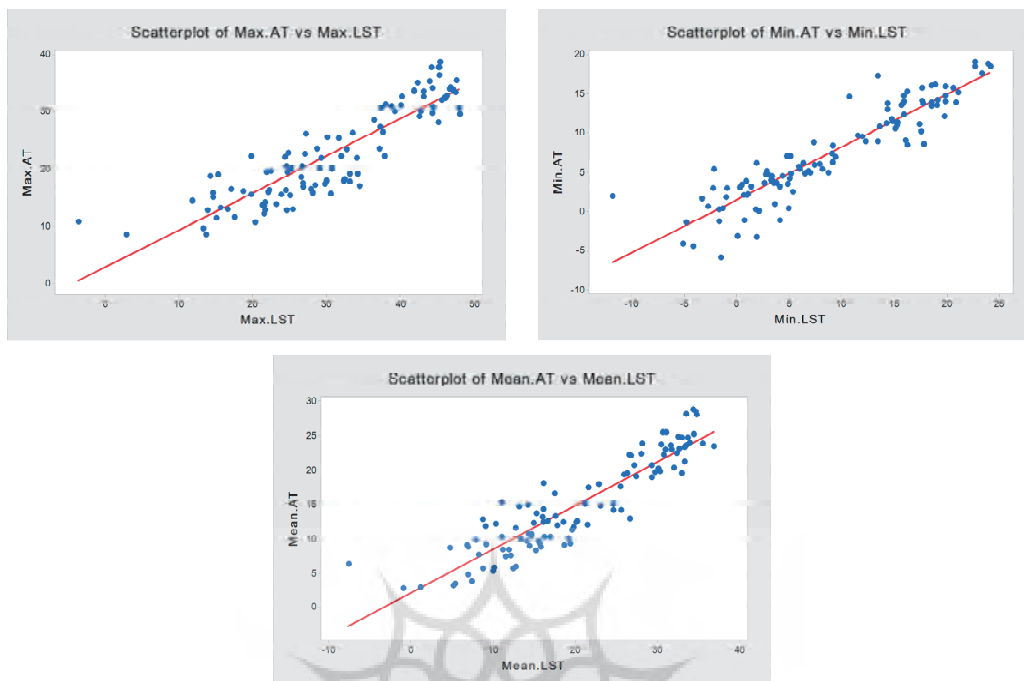
سطح زمین مودیس در منطقه مطالعاتی

به منظور تولید نقشه‌های درجه روز رشد با استفاده از دمای سطح زمین حاصل از تولیدات سنجنده مودیس، ابتدا باید به این نتیجه رسید که می‌توان از این پارامتر، به جای دمای هوا، در تعیین درجه روز رشد استفاده کرد. برای این منظور میزان همبستگی بین داده‌های دمایی حداکثر، حداقل و میانگین روزانه ایستگاه‌های هواشناسی و سنجنده مودیس بررسی شد. شکل ۳ پراکنش نقاط و نحوه ارتباط بین این دو پارامتر اقلیمی را نشان می‌دهد. مقادیر همبستگی پیرسون بین حداکثر دمای هوا و دمای روزانه سطح زمین برابر با ۰/۸۹۵، بین دمای حداقل هوا و دمای شبانه سطح زمین برابر ۰/۹۱۹ و بین میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطح زمین برابر با ۰/۹۱۱ بود. این میزان همبستگی در مورد هر سه گروه داده‌های حداکثر، حداقل و میانگین در سطح اطمینان کمتر ۰/۰۰۱ معنادار نشان داده شد؛ اگرچه همبستگی بین حداکثر دمای هوا و دمای روزانه مودیس اندکی کمتر از دو پارامتر دیگر بود. با توجه به همبستگی بالا و مورد اطمینان بین داده‌های دمای هوا و دمای سطح زمین، از میانگین دمای روز و

شب تولیدات سنجنده مودیس در محاسبه درجه روز رشد استفاده شد (Zhang et al., 2013).

۳-۳- درجه روز رشد گونه‌های مرتعی استخراج شده از مودیس

جدول‌های ۳ و ۴ درجه روز رشد لازم برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* را که از میانگین دمای سطح زمین در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد محاسبه شده، نشان می‌دهد. مطابق این جدول‌ها، مقادیر GDD به دست آمده از دمای سطح زمین بیشتر از GDD حاصل از داده‌های زمینی است. برای نمونه، گونه *Bromus tomentellus* در سایت قلعه قارک، مراحل فنولوژی پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی، پایان گل‌دهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع ریزش بذر و پایان ریزش بذر با مقادیر GDD ۱۰۰۸/۲۷، ۳۷۳۷/۵۷ و ۲۸۹۸/۶۳، ۱۹۱۷/۷۳، ۱۲۵۸/۴۹، گذرانیده است؛ در صورتی که مقادیر GDD برای مراحل فنولوژی مذکور که براساس داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی برای این گونه در سایت قلعه



شکل ۳. همبستگی مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین دمای هشت‌روزه سطح زمین و هوا در منطقه مطالعاتی، از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

شده است. همبستگی بسیار بالای بین مقادیر درجه روز رشد ایستگاه‌های هواشناسی و استخراج‌شده از تصاویر مودیس ($R > 0.99$, $p < 0.001$) برای گونه‌های مرتعی *Astragalus effusus* و *Bromus tomentellus* در ۳۶ نقطه، بیانگر آن است که تصاویر مودیس را می‌توان، برای تولید نقشه‌های درجه روز رشد و تفکیک مراحل گوناگون فنولوژی، به‌کار برد. چن و پن^۱ (۲۰۰۲) با استفاده از تصاویر نوا و همچنین حسن و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از تصاویر مودیس، درجه روز رشد حاصل از ایستگاه‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در فصل رویش را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که امکان محاسبه درجه روز رشد از طریق تصاویر دارای دقت بالا امکان‌پذیر است و درجه روز رشد ماهواره‌ای نقش مؤثری در پهنه‌بندی این پارامتر و شناسایی مراحل گوناگون فنولوژی دارد.

قارک محاسبه شد، به‌ترتیب برابر با ۷۲۵/۳۳، ۹۱۳/۲۳، ۱۳۵۲/۸، ۱۹۶۴/۴۳ و ۲۶۶۳ بوده است. دمای هوا معمولاً در ارتفاع دومتری سطح زمین ثبت می‌شود اما دمای سطح زمین نتیجه تابش مستقیم خورشید است؛ با توجه به این واقعیت، بالا بودن درجه حرارت سطح زمین و در نتیجه آن، مقادیر GDD در قیاس با ایستگاه‌های زمینی امری عادی محسوب می‌شود که در مطالعات پیشین به آن اشاره شده است (Amiri et al., 2009; Gallo et al., 2011; Hassan et al., 2007; Zheng et al., 2021). به‌عبارت دیگر، حاصل از دمای سطح زمین مراحل فنولوژی ایستگاه‌های زمینی را تقریباً با همان دقت، اما با یک شیفت در مقادیر خود، نشان می‌دهد.

همبستگی درجه روز رشد محاسبه‌شده از میانگین دمای سطح زمین و دمای هوا، درمورد تمامی مراحل فنولوژی هر دو گونه گیاهی، در شکل ۴ نشان داده

1. Chen & Pan

جدول ۳. درجه روز رشد محاسبه‌شده از دمای سطح زمین، درمورد هریک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *B. tomentellus* در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد

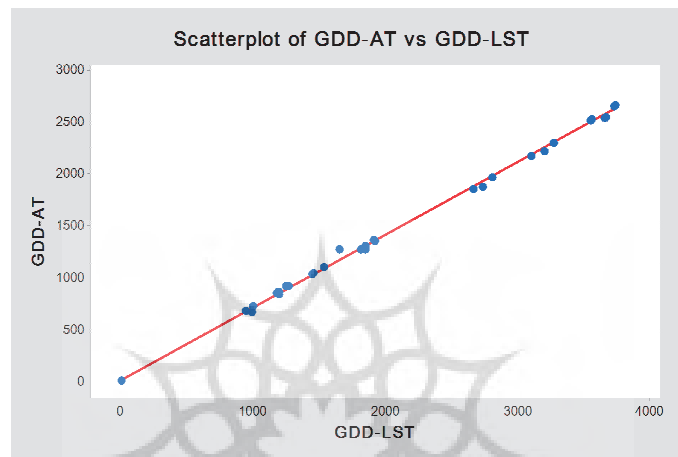
قلعه قارک				
مراحل گوناگون فنولوژی	تاریخ وقوع	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از آغاز رشد (روز)	GDD (°C)
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۳	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۹	۷۹	۱۰۰۸/۲۷
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۳	۱۲۵۸/۴۹
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۲۱	۱۹۱۷/۷۳
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۹	۲۸۹۸/۶۳
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۷	۳۷۳۷/۵۷
سفیددشت				
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۷	۷۷	۹۵۱/۱۱
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۱	۱۲۰۳/۴۱
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۱۹	۱۸۴۷/۱۷
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۷	۲۷۴۴/۸۳
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۵	۳۶۵۹/۶۵
تنگ صیاد				
آغاز رشد رویشی	۹۶/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۰۲	۷۵	۷۷	۹۹۴/۷۹
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۱۶	۱۴	۹۱	۱۲۰۲/۰۴
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۲۸	۱۱۹	۱۸۰۵/۴۸
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۱۰	۲۸	۱۴۷	۲۶۷۱/۶۵
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۲۸	۱۷۵	۳۵۵۸/۶

جدول ۴. درجه روز رشد محاسبه‌شده از دمای سطح زمین، برای هریک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *A. effusus* در سایت‌های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد

قلعه قارک				
مراحل گوناگون فنولوژی	تاریخ وقوع	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از آغاز رشد (روز)	GDD (°C)
آغاز رشد رویشی	۹۷/۱۱/۱۳	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۱۶	۹۳	۹۳	۱۲۵۸/۴۹
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۳۰	۱۴	۱۰۷	۱۵۳۰/۱۱
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۱۴	۱۲۱	۱۹۱۷/۷۳
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۲۴	۴۲	۱۶۳	۳۲۶۵/۱۹
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۱۴	۱۷۷	۳۷۳۷/۵۷
سفیددشت				
آغاز رشد رویشی	۹۷/۱۱/۱۵	۰	۰	۰
پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف	۹۷/۰۲/۱۶	۹۱	۹۱	۱۱۹۳/۴۱
پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی	۹۷/۰۲/۳۰	۱۴	۱۰۵	۱۴۵۰/۲۱
پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی	۹۷/۰۳/۱۳	۱۴	۱۱۹	۱۸۴۷/۱۷
پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر	۹۷/۰۴/۲۴	۴۲	۱۶۱	۳۱۹۵/۶۵
پایان ریزش بذر	۹۷/۰۵/۰۷	۱۴	۱۷۵	۳۶۵۹/۶۵

ادامه جدول ۴

تنگ صباد				
			۹۷/۱۱/۱۵	آغاز رشد رویشی
۱۱۹۴/۰۴	۹۱	۹۱	۹۷/۰۲/۱۶	پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف
۱۴۴۲/۰۲	۱۰۵	۱۴	۹۷/۰۲/۳۰	پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی
۱۸۰۵/۴۸	۱۱۹	۱۴	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی
۳۰۹۸/۴۲	۱۶۱	۴۲	۹۷/۰۴/۲۴	پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر
۳۵۵۸/۶	۱۷۵	۱۴	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر



شکل ۴. همبستگی بین درجه روز رشد حاصل از دمای هوا و دمای سطح زمین

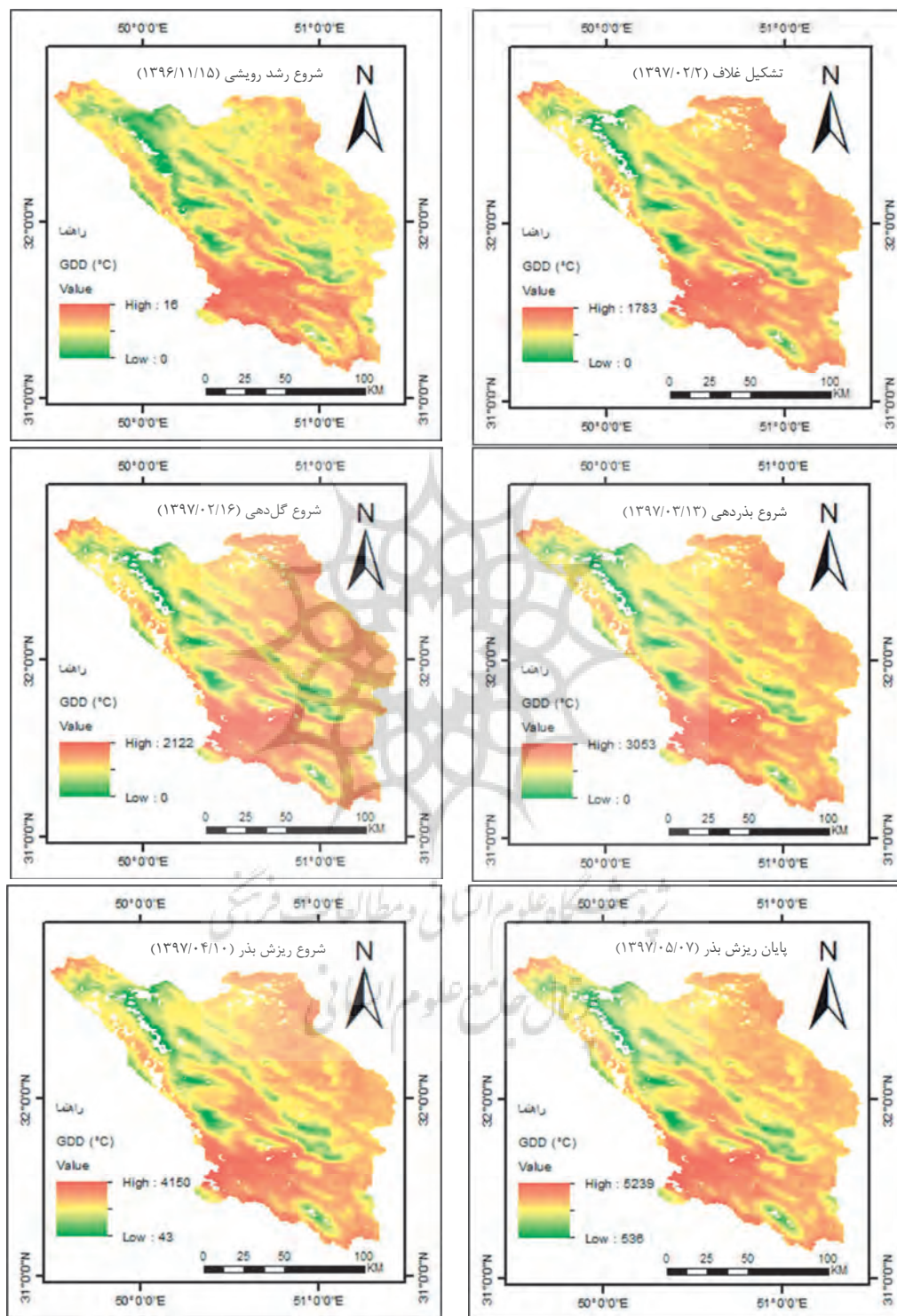
۳-۴- نقشه‌های درجه روز رشد و مراحل فنولوژی

شکل ۵ نقشه‌های درجه روز رشد گونه *Bromus tomentellus* را برای شش مرحله فنولوژی آغاز رشد رویشی، پایان رشد رویشی و آغاز تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و آغاز گل‌دهی، پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی، پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر و پایان ریزش بذر را در کل استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد. نقشه‌های درجه روز رشد گونه *Astragalus effusus* نیز برای شش مرحله فنولوژی، شامل آغاز رشد رویشی، پایان رشد رویشی و ظهور ساقه‌های گل‌دار، آغاز گل‌دهی، پایان گل‌دهی و آغاز بذردهی، پایان بذردهی و آغاز ریزش بذر و پایان ریزش بذر می‌شود که در شکل ۶ ارائه شده است.

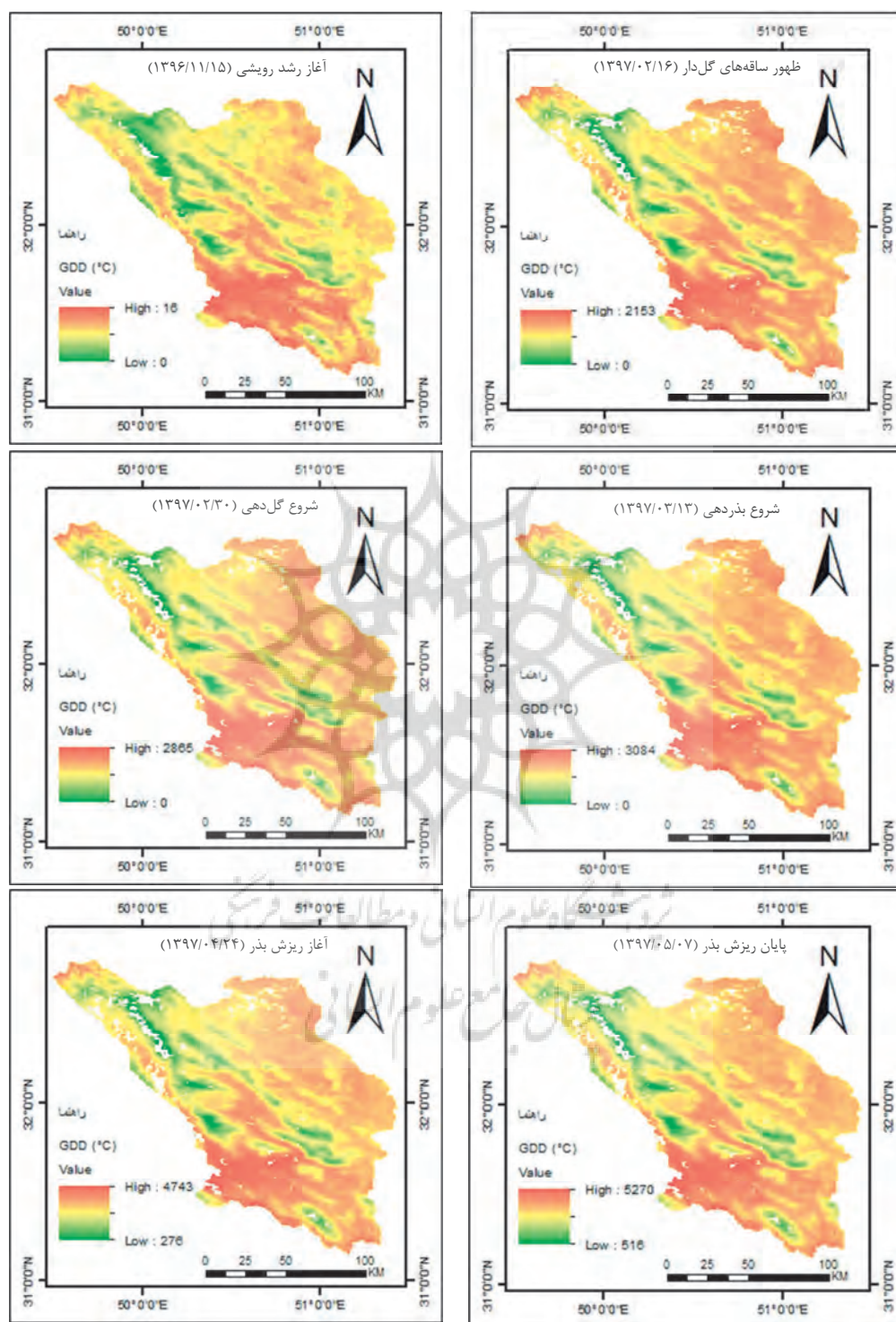
با بررسی نقشه‌های درجه روز رشد هر دو گونه مرتعی مورد مطالعه، طی مراحل فنولوژی در دور مطالعاتی، مشخص می‌شود که این گونه‌ها رشد رویشی

خود را از اواسط بهمن با درجه روز رشد بیشتر از صفر، در قسمت‌های غربی استان مانند شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بروجن، شروع می‌کنند. بخش‌هایی در نقشه هم‌درجه روز رشد با این مناطق اند و بخشی وسیع اما پراکنده از مرکز، بخشی از شمال‌شرق تا شرق که به‌صورت نوار به‌سمت پایین کشیده شده است و بخش به‌نسبت کوچک‌تر واقع شده در جنوب و جنوب‌شرق استان و شهرستان لردگان را شامل می‌شوند. در بخش‌هایی از جنوب و جنوب‌شرق مانند شهرستان‌های اردل و لردگان و بخش‌های کوچکی از شمال‌شرق و غرب، به‌دلیل داشتن درجه روز رشد بیشتری در نقشه، رشد زودتر آغاز می‌شود اما در ارتفاعات شمال‌غرب که تا مرکز کشیده شده‌اند، مانند بخش عظیمی از شهرستان کوهرنگ، چون درجه روز رشد کمتری دارد، گیاهان رشد خود را دیرتر آغاز می‌کنند.

بهنه‌بندی مراحل فنولوژی دو گونه مرتعی ...



شکل ۵. نقشه‌های درجه روز رشد گونه *Bromus tomentellus* در مراحل متفاوت فنولوژی

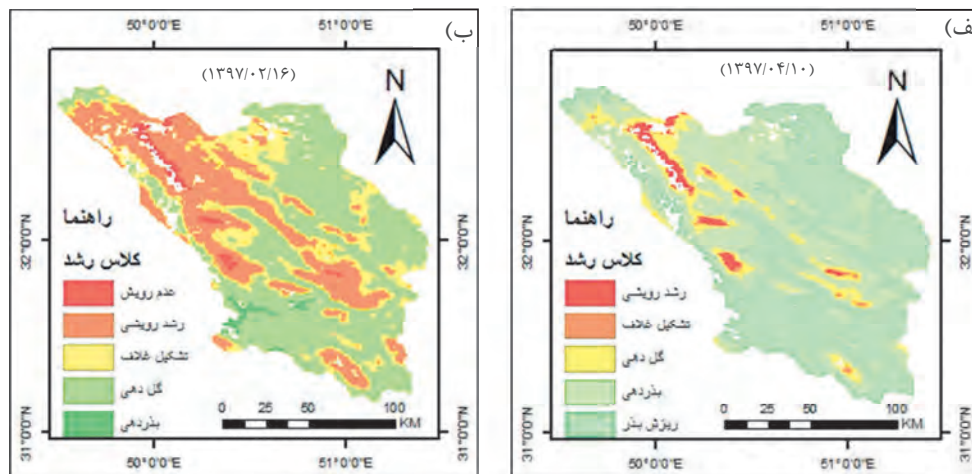


شکل ۶. نقشه‌های درجه روز رشد گونه *Astragalus effusus* در مراحل متفاوت فنولوژی

مورد بررسی و با GDD برابر با ۳۵۵۰ مرحله ریزش بذر را به پایان رساندند.

همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است، مکان‌هایی در استان وجود دارد که امکان رشد یا تشکیل مراحل فنولوژی در آن میسر نیست. در این مناطق، دما عامل محدودکننده رشد است که بخش بسیاری از این مناطق را ارتفاعات شمال‌غرب و مرکزی، مانند ارتفاعات شهرستان کوهرنگ، تشکیل داده‌اند و سطح زمین، در بیشتر روزهای سال، پوشیده از برف است. در برابر این مناطق، در بخش‌های جنوب و جنوب‌غرب، مراحل رشد گیاهی زودتر طی می‌شود و مقدار GDD بیشتر از دیگر نقاط است. برای بیان ساده‌تر مراحل گوناگون فنولوژی به منظور مشاهده تغییرات رشد در زمان‌های متفاوت، مانند آغاز گل‌دهی (۱۳۹۷/۰۲/۱۶) و آغاز ریزش بذر (۱۳۹۷/۰۴/۱۰)، نقشه‌های درجه روز رشد برای گونه *Bromus tomentellus* به پنج کلاس تقسیم شد (شکل ۷). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۱۶ این گونه در بیشتر منطقه مطالعاتی در مراحل رشد و گل‌دهی است اما، در تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۱۰، کلاس‌های غالب بذردهی و ریزش بذر است؛ بنابراین با توجه به زمان رویش گونه مطالعاتی، مراحل متفاوتی از فنولوژی را با کمک تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تفکیک کرد. نقشه‌های ناپیوسته و کلاس‌بندی‌شده درجه روز رشدهای یک گونه، در قیاس با نقشه‌های درجه روز رشد پیوسته (شکل‌های ۵ و ۶)، خروجی کاربردی‌تری فراهم می‌کنند. برای نمونه، میزان مساحت هر یک از مراحل فنولوژی مشخص می‌شود و مدیران اجرایی می‌توانند، با توجه به آن مرحله، مناسب‌ترین تصمیم را بگیرند. مطابق شکل ۷-ب، مدیر مورد نظر متوجه می‌شود که هیچ بخش از منطقه تحت مدیریت وی آمادگی چرا را ندارد و اگر مجوز چرا صادر کند، گیاهانی که در مراحل اولیه رشدند از بین می‌روند، بذر افشانی انجام نمی‌شود و در سال بعد یا سال‌های آینده ممکن است گونه مورد بحث منقرض شود؛ در صورتی که در شکل ۷-الف، گونه مطالعاتی بذرافشانی کرده و منطقه آماده جمع‌آوری بذر است.

گونه *Bromus tomentellus* دو هفته زودتر از گونه *Astragalus effusus* و در اول اردیبهشت، در مکان‌های مورد مطالعه یعنی شمال‌شرق، وارد مرحله فنولوژی بعد (تشکیل غلاف) می‌شود. GDD مورد نیاز برای ورود به این مرحله از فنولوژی برابر با ۹۵۰ است. بخش‌های جنوبی و جنوب‌غرب درجه روز رشد بسیار بیشتری (حدوداً ۱۷۸۰) در این زمان دارند؛ در نتیجه این مرحله فنولوژی را زودتر شروع کرده‌اند. در بخش‌های شمال‌غرب و بخش‌هایی از مرکز، به این علت که درجه روز رشد صفر است، هنوز گیاه به این مرحله از رویش نرسیده و حتی رشد آن هنوز آغاز نشده است. در میانه اردیبهشت، این گونه وارد مرحله سوم فنولوژی (یعنی شروع گل‌دهی) می‌شود و گونه *Astragalus effusus* نیز ساقه‌های گل‌دهنده را در مکان‌های مورد مطالعه تشکیل می‌دهد. درجه روز رشد مورد نیاز برای این مراحل ۱۲۰۰ است. برای ورود به مرحله فنولوژی بعدی (یعنی آغاز گل‌دهی)، گونه *Bromus tomentellus* به ۱۸۰۰ و گونه *Astragalus effusus* به ۱۴۵۰ GDD نیاز دارند. گونه *Astragalus effusus* برای مرحله بذردهی به ۱۸۰۰ درجه روز رشد نیاز دارد؛ پس در این تاریخ (میانه اردیبهشت) گونه *Bromus tomentellus* در بخش‌های جنوب و جنوب‌غرب، گل‌دهی خود را آغاز می‌کند و گونه *Astragalus effusus* وارد بذردهی می‌شود. درجه روز رشد در جاهایی از استان، مانند بخش‌هایی از شهرستان کوهرنگ (بخش‌های به‌رنگ سبز) و بخش‌هایی از مرکز استان، صفر است که در این بخش‌ها گیاه هنوز رشد خود را هم آغاز نکرده است. میانه خرداد هر دو گونه مورد مطالعه در مکان‌ها با درجه روز رشدی برابر با ۱۸۰۰ وارد مرحله بذردهی شدند. گونه *Astragalus effusus* در اواخر مرداد، با GDD مورد نیاز برابر با ۳۱۰۰، وارد مرحله ریزش بذر شد. همین مرحله رویش، یعنی ریزش بذر، برای گونه *Bromus tomentellus* در دهم مرداد، با GDD برابر با ۲۶۷۰، در منطقه مورد بررسی شروع شد. در نهایت، در هفتم مردادماه، هر دو گونه مورد مطالعه در مکان‌های



شکل ۷. مراحل متفاوت فنولوژی گونه Bromus tomentellus در استان چهارمحال و بختیاری:

(الف) تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۱۰؛ (ب) تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با تهیه نقشه‌های درجه روز رشد می‌توان مراحل رشد گیاهان، مانند آغاز رویش، دوره رویش و پایان رویش را از روی تصاویر ماهواره‌ای، در هر تاریخ و هر نقطه مکانی، استخراج کرد (Gordo & Sanz, 2010; Liu et al., 2014; Menzel, 2003; Zheng et al., 2022). با وجود متفاوت بودن زمان فنولوژی در رویشگاه‌های گوناگون، معمولاً مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز بیشتر گونه‌های مرتعی یکسان است و فقط با تغییرات اقلیمی و در نتیجه، تغییرات دمایی زمان رسیدن گیاه به یکی از مراحل خاص فنولوژی، تغییر می‌کند اما در میزان گرمای دریافتی تغییری پدید نمی‌آید (Kenshlou & Achak, 2015). مثلاً گل‌دهی گونه‌های مرتعی مطالعاتی، اگر در ارتفاع‌های بسیار بالاتر مطالعه شود، ممکن است دیرتر اتفاق می‌افتد و علت این تأخیر مدت زمان لازم برای تجمع گرمای مورد نیاز به منظور رسیدن به زمان گل‌دهی است. در مناطق سرد که روزهای گرم کمتر و سرما زودرس است، گیاهان فرصت کمتری برای رشد دارند؛ حال آنکه در مناطق معتدل، تعداد روزهای گرم بیشتر و فصل رشد طولانی‌تر است البته در صورتی که دیگر عوامل رشد مساعد باشد، رشد ادامه خواهد داشت. عوامل دیگر مانند رطوبت خاک

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با تهیه نقشه‌های درجه روز رشد می‌توان مراحل رشد گیاهان، مانند آغاز رویش، دوره رویش و پایان رویش را از روی تصاویر ماهواره‌ای، در هر تاریخ و هر نقطه مکانی، استخراج کرد (Gordo & Sanz, 2010; Liu et al., 2014; Menzel, 2003; Zheng et al., 2022). با وجود متفاوت بودن زمان فنولوژی در رویشگاه‌های گوناگون، معمولاً مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز بیشتر گونه‌های مرتعی یکسان است و فقط با تغییرات اقلیمی و در نتیجه، تغییرات دمایی زمان رسیدن گیاه به یکی از مراحل خاص فنولوژی، تغییر می‌کند اما در میزان گرمای دریافتی تغییری پدید نمی‌آید (Kenshlou & Achak, 2015). مثلاً گل‌دهی گونه‌های مرتعی مطالعاتی، اگر در ارتفاع‌های بسیار بالاتر مطالعه شود، ممکن است دیرتر اتفاق می‌افتد و علت این تأخیر مدت زمان لازم برای تجمع گرمای مورد نیاز به منظور رسیدن به زمان گل‌دهی است. در مناطق سرد که روزهای گرم کمتر و سرما زودرس است، گیاهان فرصت کمتری برای رشد دارند؛ حال آنکه در مناطق معتدل، تعداد روزهای گرم بیشتر و فصل رشد طولانی‌تر است البته در صورتی که دیگر عوامل رشد مساعد باشد، رشد ادامه خواهد داشت. عوامل دیگر مانند رطوبت خاک

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف کلی پتانسیل‌سنجی داده‌های ماهواره‌ای مودیس در تهیه نقشه‌های درجه روز رشد و مراحل گوناگون فنولوژی، در مورد دو گونه مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. طبق نتایج، تولیدات دمایی و درجه روز رشد حاصل از تصاویر مودیس، به ترتیب، با داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین درجه روز رشد محاسبه شده در ایستگاه‌ها بیش از ۹۱ و ۹۹٪ ارتباط دارد. این نکته قابلیت بسیار بالای مودیس را در بررسی مراحل فنولوژی گیاهان در

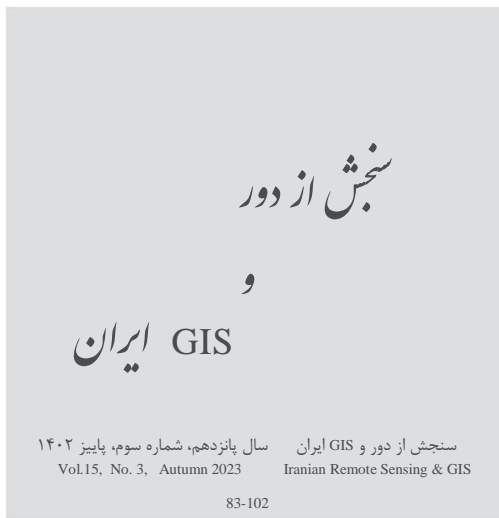
- Area, Iran, Remote Sensing of Environment, 113, PP. 2606-2617.
- Amiri, M., Tarkesh, M., Jafari, R. & Jetschke, G., 2020, **Bioclimatic Variables from Precipitation and Temperature Records vs. Remote Sensing-Based Bioclimatic Variables: Which Side Can Perform Better in Species Distribution Modeling?**, Ecological Informatics, 57, P. 1-35.
- Anandhi, A., 2016, **Growing Degree Days – Ecosystem Indicator for Changing Diurnal Temperatures and their Impact on Corn growth Stages in Kansas**, Ecological Indicators, 61, PP. 149-158.
- Azarnivand, H., Tarkesh, M., Basiri, M., Saeedfar, M. & Zareh, M., 2010, **Determining the Phenology of *Bromus Tomentellus* Using Growing Degree Days**, Desert and Rangeland Research, 32, PP. 1-10.
- Benali, A., Carvalho, A.C., Nunes, J.P., Carvahais, N. & Santos, A., 2012, **Estimating Air Surface Temperature in Portugal Using MODIS LST Data**, Remote Sensing of Environment, 124, PP. 108-121.
- Bertoldi, G., Notarnicola, C., Leitinger, G., Endrizzi, S., Zebisch, M., Della Chiesa, S. & Tappeiner, U., 2010, **Topographical and Ecohydrological Controls on Land Surface Temperature in an Alpine Catchment**, Ecohydrology: Ecosystems, Land and Water Process Interactions, Ecohydrogeomorphology, 3, PP. 189-204.
- Bollero, G.A., Bullock, D.G. & Hollinger, S.E., 1996, **Soil Temperature and Planting Date Effects on Corn Yield, Leaf Area, and Plant Development**, 88, PP. 385-390.
- Chen, X. & Pan, W., 2002, **Relationships Among Phenological Growing Season, Time-Integrated Normalized Difference Vegetation Index and Climate Forcing in the Temperate Region of Eastern China**, International Journal of Climatology, 22, PP. 1781-1792.
- Colombi, A., de Michele, C., Pepe, M. & Rampini, A., 2007, **Estimation of Daily Mean Air Temperature from MODIS LST in Alpine Areas**, 6, PP. 38-46.
- منطقه مطالعاتی می‌رساند. براساس نقشه‌های درجه روز رشد، میزان GDD در اوایل فصل رویش، بین ۱۶-۰ درجه روز و در اواخر فصل، بین ۵۱۶-۵۲۷۰ درجه روز قرار داشت که به ترتیب، نشان‌دهنده یک مرحله و تمامی مراحل فنولوژی گونه‌های مطالعاتی در منطقه بود. داشتن نقشه مراحل گوناگون فنولوژی و سطح پوشش هریک از آنها به مدیران اجرایی این امکان را می‌دهد که در آینده، تصمیم‌های بهینه برای مدیریت مرتع خود بگیرند زیرا این نقشه به مدیران نشان می‌دهد کدام بخش از منطقه آماده چراست و درمورد کدام بخش‌ها نباید مجوز چرا داد. از دیگر سو، این نقشه‌ها امکان به‌روزرسانی دارند و در صورت وقوع خشکسالی‌ها و تغییرات اقلیمی، مراحل فنولوژی به تبع آنها تغییر می‌کند و مدیران را قادر می‌سازد، متناسب با وضعیت موجود، برای مرتع تصمیم‌گیری کنند؛ بنابراین، این نقشه‌ها می‌توانند راهکاری مناسب به‌منظور تعیین زمان آمادگی مراتع، تعیین زمان مناسب ورود و خروج دام‌ها در مراتع، زمان مناسب برای گردآوری بذر گیاهان و مبارزه با آفات مراتع باشند. این اقدامات باعث حفظ بقای گیاهان و حداقل تخریب اراضی و فرسایش خاک می‌شود و مدیریت سیستماتیک مراتع با حداقل هزینه را به‌دنبال خواهد داشت.

۵- منابع

- Ahmadi, A., Shahmoradi, A., Zarehkia, S. & Nateghi, S., 2013, **Autecology of *Astragalus effusus* in Western Azarbayejan Province**, Desert and Rangeland Research, 1, PP. 172-181.
- Alikhahasl, M., Azarnivand, H., Arzani, H., Jafari, M. & Zare Chahouki, M.A., 2009, **The Relationship between Palatability and Leaf Stem Weight Ratio in Different Phenological Stages**, Rangeland, 3, PP. 246-258.
- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A. & Alavipanah, S.K., 2009, **Spatial-Temporal Dynamics of Land Surface Temperature in Relation to Fractional Vegetation Cover and Land Use/Cover in the Tabriz Urban**

- Ding, C., Huang, W., Zhao, S., Zhang, B., Li, Y., Huang, F. & Meng, Y., 2022, **Greenup Dates Change across a Temperate Forest-Grassland Ecotone in Northeastern China Driven by Spring Temperature and Tree Cover**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 314, P. 108780.
- Gallo, K., Hale, R., Tarpley, D. & Yu, Y., 2011, **Evaluation of the Relationship between Air and Land Surface Temperature under Clear- and Cloudy-Sky Conditions**, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50, PP. 767-775.
- Ghasriani, F. & Hedari Sharifabad, H., 2000, **Phenological Study of Some Rangeland Plants at Kurdistan Mountains**, *Pajouhesh-va- Sazandegi*, 13, PP. 63-58.
- Gordo, O. & Sanz, J.J., 2010, **Impact of Climate Change on Plant Phenology in Mediterranean Ecosystems**, *Global Change Biology*, 16, PP. 1082-1106.
- Hassan, Q., Bourque, C.P.A., Meng, F.-R. & Richards, W., 2007, **Spatial mapping of Growing Degree Days: An Application of MODIS-Based Surface Temperatures and Enhanced Vegetation Index**, *Journal of Applied Remote Sensing*, 1, PP. 1-12.
- Hosseini, S. & Ehsani, A., 2017, **Phenology Study of the Most Important Range Plants Saraliabad-e- Gorgan**, *Desert and Rangeland Research*, 24, PP. 635-645.
- Ishida, T. & Kawashima, S., 1993, **Use of Cokriging to Estimate Surface Air Temperature from Elevation**, *Theoretical and Applied Climatology*, 47, PP. 147-157.
- Jafari, R. & Hasheminasab, S., 2017, **Assessing the Effects of Dam Building on Land Degradation in Central Iran with Landsat LST and LULC Time Series**, *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, PP. 1-15.
- Jamali, M.M., 2012, **Investigate the Effect of Drought Stress and Different Amount of Chemical Fertilizers on Some Physiological Characteristics of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.)**, *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3, PP. 585-589.
- Jing, W., Yang, Y., Yue, X. & Zhao, X., 2016, **A Spatial Downscaling Algorithm for Satellite-Based Precipitation over the Tibetan Plateau Based on NDVI, DEM, and Land Surface Temperature**, *Remote Sensing*, 8, P. 655.
- Kazem, Y., Houshmand, S. & Dadane, G.Z., 2010, **Karyotype Analysis of Astragalus Effusus Bunge (Fabaceae)**, *Caryologia*, 63, PP. 257-261.
- Kemp, P.R., 1983, **Phenological Patterns of Chihuahuan Desert Plants in Relation to the Timing of Water Availability**, *The Journal of Ecology*, PP. 427-436.
- Kenshlou, H. & Achak, M., 2015, **Phenology and GDD Investigation of *Salvadora Oleoides* in Balouchestan**, *Journal of Pland Research*, 28, PP. 607-616.
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., Ceriola, G., Weng, Q. & Rajasekar, U., 2011, **Identification and Analysis of Urban Surface Temperature Patterns in Greater Athens, Greece, Using MODIS imagery**, *Remote Sensing of Environment*, 115, PP. 3080-3090.
- Khakpour, B., Kazemi, M., Asadi, A. & Razavi, M., 2012, **Analyzing Urban Green Space and Determining Optimum Location Using Raster Calculation Models**, *Journal of Environment Science and Technology*, 17, PP. 117-129.
- Liu, L., Liu, L., Liang, L., Donnelly, A., Park, I. & Schwartz, M.D., 2014, **Effects of Elevation on Spring Phenological Sensitivity to Temperature in Tibetan Plateau Grasslands**, *Chinese Science Bulletin*, 59, PP. 4856-4863.
- Luo, Q., Song, J., Yang, L. & Wang, J., 2019, **Improved Spring Vegetation Phenology Calculation Method Using a Coupled Model and Anomalous Point Detection**, *Remote Sensing*, 11, PP. 1-20.
- Menzel, A., 2003, **Plant Phenological Anomalies in Germany and Their Relation to Air Temperature and NAO**, *Climatic Change*, 57, PP. 243-263.
- Mirhaji, S., Sandgol, A., Ghasemi, M. & Noori, S., 2009, **Application of Growing Degree Days (GDD) in Determing Phenological Stages of Four Species of Grasses in Absard Rangeland Research Station**, *Desert and Rangeland Research*, 17, PP. 362-376.

- Moghbel, M. & Shamsipour, A.A., 2019, **Spatiotemporal Characteristics of Urban Land Surface Temperature and UHI Formation: A Case Study of Tehran, Iran**, Theoretical and Applied Climatology, 137, PP. 2463-2476.
- Mutiibwa, D., Strachan, S. & Albright, T., 2015, **Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, PP. 4762-4774.
- Nieto, H., Sandholt, I., Aguado, I., Chuvieco, E. & Stisen, S., 2011, **Air Temperature Estimation with MSG-SEVIRI Data: Calibration and Validation of the TVX Algorithm for the Iberian Peninsula**, Remote Sensing of Environment, 115, PP. 107-116.
- Rashvand, S., Yeganeh, H. & Sanaei, A., 2016, **Investigating the Phenological Stages of *Bromus Tomentellus* and *Festuca Ovina* in Qazvin Alamout Station**, Journal of Plant Research, 27, PP. 635-646.
- Ren, S., Chen, X. & Pan, C., 2022, **Temperature-Precipitation Background Affects Spatial Heterogeneity of Spring Phenology Responses to Climate Change in Northern Grasslands (30°N-55°N)**, Agricultural and Forest Meteorology, 315, PP. 108816.
- Saeedfar, M. & Rasti, M., 2000, **Phenology Study of Rangeland Plants in Hanna Region of Semirom County**, Rangelands and Forests Research Institute Publications, 231, PP. 79-120.
- Sandgol, A., 2007, **The Effect of Short Term Grazing Systems and Intensity on Forage Quality (*Bromus Tomentellus*)**, Desert and Rangeland Research, 10, PP. 237-255.
- Schuyler, E.M., Ellsworth, L.M., Sanchez, D.M. & Whittaker, D.G., 2021, **Forage Quality and Quantity in Migratory and Resident Mule Deer Summer Ranges**, Rangeland Ecology & Management, 79, PP. 43-52.
- Soltani, S., Yaghmaei, L., Khodaghali, M. & Saboohi, R., 2011, **Bioclimatic Classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari Province Using Multivariate Statistical Methods**, JWSS-Isfahan University of Technology, 14, PP. 53-68.
- Sun, D., Li, Y., Zhan, X., Yang, C. & Yang, R., 2018, **Integrating Optical and Microwave Satellite Observations for High Resolution Soil Moisture Estimate and Applications in CONUS Drought Analyses**, Remote Sensing, 7, PP. 1-14.
- Tolleson, D.R., Angerer, J.P., Kreuter, U.P. & Sawyer, J.E., 2020, **Growing Degree Day: Noninvasive Remotely Sensed Method to Monitor Diet Crude Protein in Free-Ranging Cattle**, Rangeland Ecology & Management, 73, PP. 234-242.
- Tomaszewska, M.A., Nguyen, L.H. & Henebry, G.M., 2020, **Land Surface Phenology in the Highland Pastures of Montane Central Asia: Interactions with Snow Cover Seasonality and Terrain Characteristics**, Remote Sensing of Environment, 240, PP. 1-25.
- Zafarian, E., Ebrahimi, A., Abbasi, A. & Asadi, E., 2019, **Required Growing Degree-Days (GDDs) for each Phenological Stage of *Fritillaria Imperialis***, Journal of Rangeland Science, 9, PP. 62-73.
- Zhang, L., Huang, J., Guo, R., Li, X., Sun, W. & Wang, X., 2013, **Spatio-Temporal Reconstruction of Air Temperature Maps and Their Application to Estimate Rice Growing Season Heat Accumulation Using Multi-Temporal MODIS Data**, Journal of Zhejiang University. Science. B, 14, PP. 144-161.
- Zheng, L., Xu, J., Li, D., Xia, Z., Chen, Y., Xu, G. & Lu, D., 2021, **Increasing control of Climate Warming on the Greening of Alpine Pastures in Central Asia**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 105, P. 102606.
- Zheng, J., Jia, G. & Xu, X., 2022, **Earlier Snowmelt Predominates Advanced Spring Vegetation Greenup in Alaska**, Agricultural and Forest Meteorology, 315, P. 108828.
- Yin, Y., Deng, H. & Ma, D., 2022, **Complex Effects of Moisture Conditions and Temperature Enhanced Vegetation Growth in the Arid/humid Transition Zone in Northern China**, Science of The Total Environment, 805, P. 150152.



سنجش از دور و GIS ایران
سال پانزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲
Vol.15, No. 3, Autumn 2023 Iranian Remote Sensing & GIS
83-102

Mapping Phenological Stages of Two Rangeland Species Using MODIS Growing Degree Days in Chaharmahal and Bakhtiari Province

Jafari R.^{1*}, Ansari M.², Tarkesh Esfahani M.³

1. Associate Prof., Dep. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan
2. M.Sc. Student, Dep. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan
3. Assistant Prof., Dep. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan

Abstract

Temperature is the most important parameter for studying spatiotemporal phenological changes in plants. Thus, the current study was aimed to investigate the potential of MODIS land surface temperature (LST) data for mapping growing degree days (GDD) and different phenological stages of *Bromus tomentillus* and *Astragalus effusus* in Chaharmahal and Bakhtiari Province. MODIS extracted maps of maximum, minimum and mean temperature, GDD index and phenological stages from 2018 to 2019 during growing season were assessed against weather station data and also field-based phenological data using Pearson analysis in three regions with different altitudes. Results showed that MODIS LST and GDD maps had more than 91 and 99% correlations with field-based air temperature and GDD data, respectively ($p < 0.001$). In early growing season, GDD values were less than 16 degree-days and they were more than 5200 degree-days in the late growing season which explained one and all the phenological stages of the studied species in the study area, respectively. The study findings indicated that MODIS data have high capability in spatiotemporal stratification of phenological stages of the *Bromus tomentillus* and *Astragalus effusus* plant species. The knowledge of different phenological stages is essential in species conservation and rangeland sustainable utilization, therefore, species phenology map can be used as an effective tool in rangeland management in the related organizations.

Keywords: LST, GDD, MODIS, Thermal remote sensing, Rangeland species.

* Correspondence Address: Dep. of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Post Code: 841568311. Tel: +98 311 391 3593, Fax: +98 311 391 2840
Email: reza.jafari@cc.iut.ac.ir
<https://orcid.org/0009-0003-2144-8333>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102437>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).