

پهنه بندی مراحل فنولوژی دو گونه مرتعی با استفاده از درجه روز رشد مودیس در استان چهارمحال و بختیاری

چکیده

دما مهمترین پارامتر اقلیمی در مطالعه تغییرات مکانی و زمانی فنولوژی گیاهان می باشد. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی پتانسیل داده‌های دمایی سنجنده مودیس در تهیه نقشه‌های درجه روز رشد (GDD) و مراحل مختلف فنولوژی برای گونه‌های مرتعی *Astragalus effusus* و *Bromus tomentillus* در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفت. نقشه‌های دمایی (حداکثر، حداقل و میانگین)، GDD و مراحل مختلف فنولوژی گونه‌های مذکور از داده‌های مودیس مربوط 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 مختلف توسط آزمون پیرسون مقایسه و صحت سنجی گردید. نتایج حاکی از آن بود که تولیدات دمایی و GDD حاصل از تصاویر مودیس به ترتیب با داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین GDD محاسبه شده در سایت‌ها بیش از ۹۱ و ۹۹ درصد همبستگی دارد ($p < 0.001$). در اوایل فصل رویش نقشه‌ها مقدار GDD را کمتر از ۱۶ و در اواخر فصل بیش از ۵۲۰۰ نشان دادند که به ترتیب بیانگر یک مرحله و کلیه مراحل فنولوژی گونه‌های مطالعاتی در منطقه بود. یافته‌های تحقیق نشان داد که داده‌های مودیس قابلیت تفکیک پذیری مکانی و زمانی کلیه مراحل فنولوژی گونه‌های مورد بررسی را دارا می باشد. با توجه به اینکه حفظ بقای گونه‌ها و بهره برداری پایدار از مراتع مستلزم دانستن مراحل مختلف فنولوژی است، لذا نقشه فنولوژی گونه‌ها می تواند مانند یک ابزار کارآمد در مدیریت مراتع در سازمان‌های مرتبط مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: GDD, LST, مودیس، سنجنش از دور حرارتی، گونه‌های مرتعی

۱- مقدمه

به مقدار واحد گرمایی که یک گیاه از زمان شروع رشد تا هر یک از مراحل فنولوژی و در نهایت رسیدن کامل و یا پایان رویش نیاز دارد، درجه روز رشد (GDD (Growing Degree Days) اطلاق می‌شود (Anandhi, ۲۰۱۶). فاکتورهای آب و هوایی از جمله عوامل کنترل نشده‌ای هستند که تغییرات هر یک از آن‌ها در یک منطقه باعث تغییرات در رشد و نمو گیاهان می‌شود. بنابراین ضروری است که به منظور بهره‌برداری از حداکثر پتانسیل تولید گیاهان، نیاز حرارتی مراحل مختلف فنولوژی آن‌ها تعیین گردد (Bollero et al., ۱۹۹۶). آگاهی از مراحل فنولوژیکی گونه‌هایی که ترکیب یک جامعه گیاهی را تشکیل می دهند، اهمیت قابل ملاحظه‌ای در تعیین مدیریت علوفه، زمان چرا و مدیریت چرای دام برای رسیدن به اهداف تولید پایدار و همچنین برای مدیریت عوامل مطلوب و غیرمطلوب گونه‌ها دارد (Ding et al., ۲۰۲۲; Schuyler et al., ۲۰۲۱; Tolleson et al., ۲۰۲۰; Zafarian et al., ۲۰۱۹).

در بسیاری از موارد از جمله در مناطق با توپوگرافی شدید که دمای هوا نسبت به ارتفاع دارای تغییرپذیری قابل توجهی است استفاده از داده‌های دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی نمی‌تواند معرف کل منطقه باشد و لازم است توزیع مکانی دمای هوا تعیین گردد. بر این اساس لازم و ضروری است داده‌های دمای هوا در فواصل بین نقاط ایستگاهی با استفاده از روش‌های میانمایی مانند کریجینگ برآورد شوند که فاصله زیاد بین نقاط ایستگاهی و همچنین وجود توپوگرافی شدید می‌تواند سبب افزایش خطا توسط این دسته از مدل‌ها گردد (Ishida and Kawashima, ۱۹۹۳). به همین دلیل در بسیاری از مطالعات از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل برخورداری از مزایایی چون قدرت تفکیک مکانی مناسب، پایین بودن هزینه جمع‌آوری داده‌ها، سطح پوشش وسیع، سهولت پردازش توأم با داده‌های میدانی جهت مدل‌سازی رفتار مکانی دمای هوا و برآورد آن در مقیاس مختلف استفاده شده است (Colombi et al.,

(Nieto et al., 2007). اگرچه سطح زمین در مقایسه با هوای بالای آن دارای تغییرات حرارتی شدیدتری است و سطح زمین سریع‌تر از هوای مجاور خود سرد یا گرم شده و در نتیجه دمای سطح متفاوت از دمای هواست اما تحقیقات صورت گرفته در رابطه با ارتباط بین دمای هوا و LST (Land Surface Temperature) استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای در مناطق مختلف جهان نشان دهنده وجود یک رابطه همبستگی قوی و معنی‌دار بین این دو پارامتر هوا است (Mutiibwa et al., 2015; Keramitsoglou et al., 2011; Benali et al., 2012). نتایج مطالعات در ایران همچنین نشان دادند که بین دمای سطح زمین و دمای هوا همبستگی بالایی وجود دارد و لذا دمای سطح زمین می‌تواند بعنوان پارامتر ورودی در بسیاری از مدلسازی‌ها و تحقیقات بوم‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد (Moghbel and Shamsipour, 2019; Jafari and Hasheminasab, 2017; Amiri et al., 2020).

به کارگیری شاخص درجه روز رشد می‌تواند در پیش‌بینی زمان مناسب برای ورود و خروج دام در مراتع، چرای زودرس و جلوگیری تخریب مراتع کمک شایانی نماید. مطالعه‌ای در منطقه آبسرد در خصوص اثرهای دو سیستم چرای مداوم و تناوبی با شدت‌های چرای سنگین، متوسط، سبک و بدون چرا را بر درجه روز رشد *Bromus tomentellus* طی یک دوره رویشی نشان داد که بین اثرهای سیستم‌های چرای بر روی فنولوژی گونه‌ها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (Sandgol, 2007). آذرنیوند و همکاران (۱۳۸۹) در اصفهان بکمک شاخص درجه روز رشد به بررسی فنولوژی گیاه علف‌پشمکی با استفاده از ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه پرداختند (Azarnivand et al., 2010). نتایج نشان داد که مراحل فنولوژیکی گیاهان با استفاده از درجه-روز رشد قابل پیش‌بینی است و تعیین رابطه بین مراحل فنولوژیکی گیاهان و درجه روز رشد در بکارگیری اصول مدیریت چرا، خصوصاً در تعیین آمادگی مرتع و مدل‌سازی رشد و مدیریت این اراضی بسیار سودمند است. میرحاجی و همکاران (۱۳۸۹) بیان داشتند که در سال‌های مختلف بسته به نوسان درجه حرارت هوا، طول دوره یا تعداد روز برای هر مرحله فنولوژی متغیر بوده اما میزان انرژی گرمایی موردنیاز هر مرحله فنولوژی در سال‌های مختلف ثابت است و بنابراین می‌توان با کمک معیار درجه روز رشد تاریخ ظهور و طول دوره زمانی مراحل فنولوژی را به‌طور دقیق پیش‌بینی نمود (Mirhaji et al., 2009). حسینی و احسانی (۱۳۹۶) در بررسی مراحل مختلف فنولوژی ۱۰ گونه مرتعی در استان گرگان شمال ایران به مدت ۴ سال (۲۰۰۷-۲۰۱۰) به منظور شناخت تاریخ‌های شروع رویش، مرحله رشد رویشی، گل‌دهی، رسیدن و ریزش بذر، دوره خواب گیاه؛ نشان داد که اغلب گندمیان در اوایل خرداد در مرحله ظهور خوشه و غالب پهن برگان علفی در مرحله گل‌دهی می‌باشند، لذا از این حیث گیاهان آمادگی لازم برای ورود دام به مرتع در اوایل خرداد را دارند با این تفاوت که در ترسالی‌ها زمان ورود دام در مناطق دشتی ۱۰ روز و در مناطق کوهستانی نیز نسبت به مناطق دشتی یک الی دوهفته دیرتر انجام شود (Hosseini and Ehsani, 2017; Ghasriani and Hedari Sharifabad, 2000).

تهیه نقشه مراحل فنولوژی و تغییرات مکانی و زمانی این مراحل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند بسیار کاربردی‌تر از بکارگیری دماسنج‌های معمولی و یا ایستگاههای هواشناسی در مناطق مطالعاتی مخصوصاً مراتع که سطح پهناوری دارند، باشد. حسن و همکاران (۲۰۰۷) با کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس و داده‌های هواشناسی تغییرات درجه روز رشد را بررسی نمودند (Hassan et al., 2007b). در این تحقیق ابتدا نقشه دمای روزانه به کمک

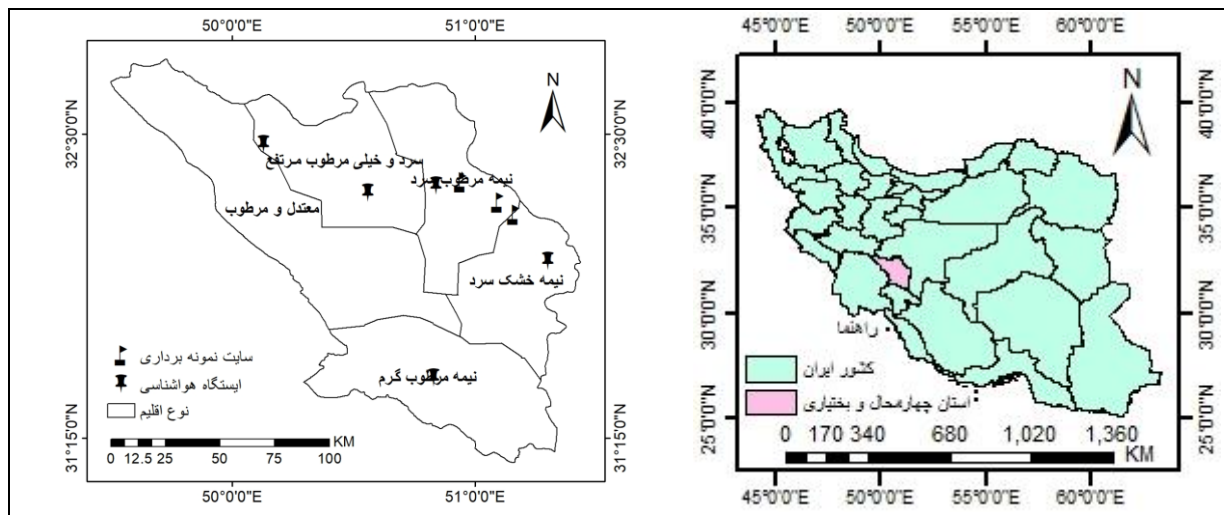
داده‌های مودیس برآورد و با داده‌های هواشناسی تصحیح گردید که دارای همبستگی حدود ۹۷٪ بودند. سپس با کمک نقشه‌های دمایی نقشه درجه روز رشد تهیه و مراحل فنولوژی را مورد بررسی قرار دادند. تولیدات دمایی مختلف مودیس مانند MOD11A2 در مطالعات زیادی برای محاسبه درجه روز رشد گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Hassan et al., ۲۰۰۷b; Luo et al., ۲۰۱۹; Tomaszewska et al., ۲۰۲۰). علاوه بر این در تیپ‌های گیاهی با تنوع گونه‌ای فراوان، تفکیک بازتاب طیفی گیاهان و استفاده از شاخص‌های گیاهی با محدودیت‌هایی روبرو می‌باشد، لذا با کمک نقشه‌های درجه روز رشد مستخرج از دمای سطح زمین مودیس می‌توان وضعیت فنولوژی گیاهان را در شرایط اقلیمی و توپوگرافی بررسی نمود (Bertoldi et al., ۲۰۱۰).

با توجه به اهمیت بسیار بالای شاخص درجه روز رشد مستخرج از تصاویر ماهواره ای در تعیین مراحل فنولوژی گیاهان و مدیریت بهینه مراتع مانند تعیین زمان آمادگی چرای مراتع، زمان مناسب ورود و خروج دام در مراتع و جلوگیری از چرای زود رس و تخریب پوشش گیاهی؛ هدف کلی مطالعه حاضر پتانسیل سنجی این شاخص در بررسی مراحل مختلف فنولوژی گیاهان مرتعی و تهیه نقشه آنها در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد و اهداف فرعی عبارتند از: (۱) استخراج دمای سطح زمین از تصاویر ماهواره ای مودیس و صحت سنجی آن با استفاده از داده های دمایی ایستگاههای هواشناسی؛ (۲) تهیه نقشه های شاخص درجه روز رشد در سطح استان؛ و (۳) تهیه نقشه های مراحل فنولوژی گیاهان غالب مرتعی در منطقه مطالعاتی. فرض بر آن است که با توجه به قابلیت داده‌های ماهواره‌ای مودیس در استخراج دمای سطح زمین، می‌توان از آن نقشه‌های درجه روز رشد و نقشه های مراحل مختلف فنولوژی گیاهان مرتعی در استان چهارمحال و بختیاری را استخراج نمود.

۲- مواد و روشها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومترمربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و 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 نقطه‌ی استان در زرد کوه بختیاری به ارتفاع ۴۲۰۰ متر و پست‌ترین نقطه‌ی استان در ناحیه‌ی شرقی استان به ارتفاع ۶۹۰ متر واقع شده است. این استان مطابق مطالعه سلطانی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش آماری چند متغیره دارای پنج اقلیم شامل الف) ناحیه معتدل مرطوب با بارندگی سالانه ۹۷۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۵/۲۲ درجه سانتی‌گراد، ب) ناحیه نیمه‌مرطوب سرد با بارندگی سالانه ۷۷۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۱/۹۲ درجه سانتی‌گراد، ج) ناحیه سرد و خیلی مرطوب مرتفع با بارندگی سالانه ۱۲۰۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۱/۳۲ درجه سانتی‌گراد، د) ناحیه نیمه مرطوب گرم با بارندگی سالانه ۷۰۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۴۹ درجه سانتی‌گراد، و ه) ناحیه نیمه‌خشک سرد با بارندگی سالانه ۴۷۳ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲/۰۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Soltani et al., ۲۰۱۱).



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

گونه‌های مرتعی مورد مطالعه

گونه *Bromus tomentellus* گیاهی از قبیله *Bromeae*، از جنس *Bromus* خانواده *Poaceae* و زیرخانواده *Poideae* است. این گونه چند ساله و پایا با ساقه‌های ماشوره‌ای دارای تیپ بیولوژیک کامفیت و از جمله گیاهان خوشخوراک برای انواع دام‌ها بخصوص گوسفندان است (Alikhasi et al., ۲۰۰۹). این گیاه دارای پراکندگی بسیار زیاد در منطقه رویشی نیمه‌استپی و در مناطق کوهستانی البرز، زاگرس و رشته کوه‌های مرکزی در ناحیه رویشی ایران و تورانی نیز گسترده‌گی وسیعی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که گونه *Bromus tomentellus* رشد رویشی خود را از نیمه دوم اسفند ماه شروع می‌کند که تا اواخر فروردین ماه ادامه می‌یابد. تشکیل غلاف از اوایل اردیبهشت شروع و حدود دو هفته طول می‌کشد. گلدهی از نیمه دوم اردیبهشت ماه آغاز و تا اواسط خرداد ماه ادامه دارد. زمان رسیدن بذر این گونه از اواسط خرداد ماه شروع شده و تا پایان دهه دوم تیرماه ادامه می‌یابد. این گونه گیاهی بلافاصله بعد از رسیدن کامل بذر از ابتدای دهه سوم تیرماه شروع به بذر افشانی می‌کند (Saeedfar and Rasti, ۲۰۰۰).

گونه *Astragalus effusus* یکی از گونه‌های علفی دائمی از خانواده لگومینوز در مراتع ایران است که به عنوان یک گونه خوشخوراک برای انواع دام‌ها بخصوص گوسفندان با ارزش غذایی و تحمل چرای بالا و از لحاظ حفاظت خاک نیز جز مناسب‌ترین گونه‌هاست (Kazem et al., ۲۰۱۰). مطالعه مراحل فنولوژی گیاه نشان داده است که این گیاه رشد اولیه خود را از اواسط اسفند شروع نموده و تا اواسط اردیبهشت ماه به رشد رویشی خود ادامه می‌دهد. مرحله گل‌دهی در اواسط اردیبهشت، تشکیل بذر در اوایل خرداد، رسیدن بذر در اوایل تیر و ریزش بذر آن در اواخر تیر ماه می‌باشد (Ahmadi et al., ۲۰۱۳).

سایت های نمونه برداری

جهت تعیین درجه روز رشد و بررسی زمان ورود گونه‌های گیاهی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* به هر یک از مراحل مختلف فنولوژی در نقاط مختلف استان چهارمحال و بختیاری، سه سایت در ارتفاع های ۲۱۰۰، ۲۱۹۰ و ۲۴۳۰ متر در طول یک ترانسکت که گونه های مورد نظر در آنجا تشکیل تیپ داده بودند و همچنین دارای همپوشانی در تصاویر ماهواره‌ای مودیس نبودند، انتخاب شدند. سایت اول 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 حفاظت شده سفیددشت و نزدیکی پاسگاه محیط بانی سفیددشت با عرض جغرافیایی ۵۱/۱۵۸۸۳۹ و طول جغرافیایی ۳۲/۱۶۹۷۸۴ درجه انتخاب شد. سایت سوم با ارتفاع ۲۴۲۰ متر و عرض جغرافیایی ۵۱/۰۹۴۲۳۶ و طول جغرافیایی ۳۲/۲۱۹۳۶۱ در منطقه حفاظت شده و پارک ملی تنگ صیاد در ۲۵ کیلومتری جاده فرخشهر- بروجن انتخاب گردید. جهت تعیین درجه روز رشد میدانی گونه‌های مطالعاتی از داده های دمایی نزدیک ترین ایستگاه‌های هواشناسی بهره گرفته شد (www.chbmet.ir). در طول دوره رویش، بطور پیوسته از پایه‌های گیاهی بازدید بعمل آمده و مراحل فنولوژی و رشد گیاهان ثبت شد. مراحل فنولوژی برای گونه مرتعی *Bromus tomentellus*: شروع رشد رویشی، پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی، پایان گلدهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع ریزش بذر و پایان ریزش بذر و برای گونه مرتعی *Astragalus effusus*: شروع رشد رویشی، پایان رشد رویشی و ظهور ساقه‌های گلدار، شروع گلدهی، پایان گلدهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع ریزش بذر و در آخر پایان ریزش بذر در نظر گرفته شد. هر مرحله فنولوژی برای گونه مورد نظر در هر سایت زمانی ثبت شد که که ۵۰ درصد از پایه های آن گونه (۵ پایه از ۱۰ پایه) وارد آن مرحله فنولوژی شده باشد.

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 از رابطه زیر بدست آمد (Anandhi, ۲۰۱۶):

$$GDD = \sum N \left[\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} - T_{Base} \right]$$

در این رابطه، N ، تعداد روزهای لازم جهت تکمیل مرحله فنولوژی، T_{Base} درجه حرارت پایه، T_{\min} درجه حرارت حداقل روزانه و T_{\max} درجه حرارت حداکثر روزانه است. درجه حرارت پایه عبارت از دمایی می‌باشد که گیاه در کم‌تر از آن نمی‌تواند رشد کند و یا رشد آن بسیار ناچیز است. چون دمای پایه برای 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 and Achak, ۲۰۱۵).

داده های ماهواره ای سنجنده مودیس

جهت محاسبه دمای سطح زمین، داده های دمایی نسخه ۶ سطح MODIS ۳A۲ با دوره زمانی ۸ روزه که قدرت تفکیک مکانی آن یک کیلومتر است از تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۱۳ تا ۱۳۹۷/۰۵/۰۷ در فصل رویش از پایگاه اینترنتی ناسا به نشانی Earthexplorer.usgs.gov دانلود و استفاده گردید. تصاویر حرارتی دریافت شده با استفاده از الحاقیه مودیس MODIS Toolkit در محیط نرم افزار ENVI ۵٫۳ تصحیح هندسی شده و به سیستم مختصات جغرافیایی UTM تبدیل شدند. هر تصویر دارای داده های دمایی شبانه و روزانه می باشد که مربوط به حداقل و حداکثر دمای سطح زمین است که از آنها میانگین گیری و جهت محاسبه شاخص GDD و دوره های مختلف فنولوژی استفاده گردید. بمنظور بررسی میزان ارتباط دمای سطح زمین و دمای هوا؛ مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین این دماها در پنج ایستگاه بروجن، فارسان، کوهرنگ، لردگان و شهرکرد به علت داشتن داده های کامل و ۲۲ تصویر ۸ روزه دمای سطح زمین مودیس که جمعا ۱۱۰ نقطه ($5 \times 22 = 110$) در یک شعاع ۷۵۰ متری از طریق Zonal statistics استخراج و توسط آزمون پیرسون بررسی گردید (Khakpour et al., ۲۰۱۲). لازم به ذکر است که از آزمون پیرسون همچنین برای ارزیابی ارتباط بین درجه روز رشدهای بدست آمده از ایستگاههای زمینی و تصاویر مودیس استفاده شد. چون در مطالعه حاضر برای هر گونه مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* در سه سایت مورد بررسی ۱۸ مرحله فنولوژی مطالعه گردید، جمعا ۳۶ نقطه و یا ارزش دمایی برای ایجاد همبستگی بین درجه روز رشدها مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جداول ۱ و ۲ درجه روز رشدهای لازم برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه های مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* را که از میانگین دمای هوا در سایت های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد محاسبه شده است را نشان می دهند. برای هر یک از گونه ها تاریخ وقوع، مدت وقوع، مدت وقوع از شروع رشد و مقدار GDD در هر مرحله فنولوژی ارائه شده است. برای گونه *Bromus tomentellus* پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف در سایت قلعه قارک ۷۹ روز با $725/33$ GDD و مرحله پایانی فنولوژی (پایان ریزش بذر) در ۱۷۷ روز با 2663 GDD رخ داده است. برای گونه *Astragalus effusus* مراحل فنولوژی مذکور در سایت قلعه قارک به ترتیب ۹۳ روز با $909/6$ GDD و ۱۷۷ روز با 2663 GDD بوده است. در کلیه سایت های مطالعاتی مقدار GDD در مرحله پایانی فنولوژی هر دو گونه مرتعی بیش از ۲۵۰۰ گزارش گردید.

جدول ۱. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای هوا برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *Bromus tomentellus* در سایت های قلعه قارک، سفیددشت و تنگ صیاد

قلعه قارک

GDD (°C)	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از شروع رشد (روز)	تاریخ وقوع	مراحل مختلف فنولوژی
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۳	شروع رشد رویشی
۷۲۵/۳۳	۷۹	۷۹	۹۷/۰۲/۰۲	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۹۱۳/۲۳	۹۳	۱۴	۹۷/۰۲/۱۶	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۳۵۲/۸	۱۲۱	۲۸	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۱۹۶۴/۴۳	۱۴۹	۲۸	۹۷/۰۴/۱۰	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر
۲۶۶۳	۱۷۷	۲۸	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر
سفید دشت				
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۵	شروع رشد رویشی
۶۸۷/۹۳	۷۷	۷۷	۹۷/۰۲/۰۲	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۸۶۲/۵	۹۱	۱۴	۹۷/۰۲/۱۶	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۲۹۸/۶	۱۱۹	۲۸	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۱۸۸۱/۷	۱۴۷	۲۸	۹۷/۰۴/۱۰	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر
۲۵۴۹/۱	۱۷۵	۲۸	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر
تنگ صیاد				
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۵	شروع رشد رویشی
۶۶۲/۷۳	۷۷	۷۷	۹۷/۰۲/۰۲	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۸۴۰/۳	۹۱	۱۴	۹۷/۰۲/۱۶	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۲۶۶/۶	۱۱۹	۲۸	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۱۸۶۵/۷۳	۱۴۷	۲۸	۹۷/۰۴/۱۰	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر
۲۵۲۸/۳۳	۱۷۵	۲۸	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر

جدول ۲. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای هوا برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *Astragalus effusus* در سایت

های قلعه قارک، سفید دشت و تنگ صیاد

قلعه قارک				
GDD (°C)	مدت وقوع (روز)	مدت وقوع از شروع رشد (روز)	تاریخ وقوع	مراحل مختلف فنولوژی
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۳	شروع رشد رویشی
۹۰۹/۶	۹۳	۹۳	۹۷/۰۲/۱۶	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۱۱۰۰/۲	۱۰۷	۱۴	۹۷/۰۲/۳۰	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۳۵۲/۸	۱۲۱	۱۴	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۲۲۹۹/۱	۱۶۳	۴۲	۹۷/۰۴/۲۴	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر
۲۶۶۳	۱۷۷	۱۴	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر
سفید دشت				
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۵	شروع رشد رویشی
۸۶۲/۵	۹۱	۹۱	۹۷/۰۲/۱۶	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۱۰۴۴	۱۰۵	۱۴	۹۷/۰۲/۳۰	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۲۹۸/۶	۱۱۹	۱۴	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۲۲۲۲/۴	۱۶۱	۴۲	۹۷/۰۴/۲۴	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر
۲۵۴۹/۱	۱۷۵	۱۴	۹۷/۰۵/۰۷	پایان ریزش بذر
تنگ صیاد				
0	0	0	۹۶/۱۱/۱۵	شروع رشد رویشی
۸۴۰/۳	۹۱	۹۱	۹۷/۰۲/۱۶	پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف
۱۰۲۵/۱	۱۰۵	۱۴	۹۷/۰۲/۳۰	پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی
۱۲۶۶/۶	۱۱۹	۱۴	۹۷/۰۳/۱۳	پایان گلدهی و شروع بذردهی
۲۱۷۱/۴	۱۶۱	۴۲	۹۷/۰۴/۲۴	پایان بذردهی و شروع ریزش بذر

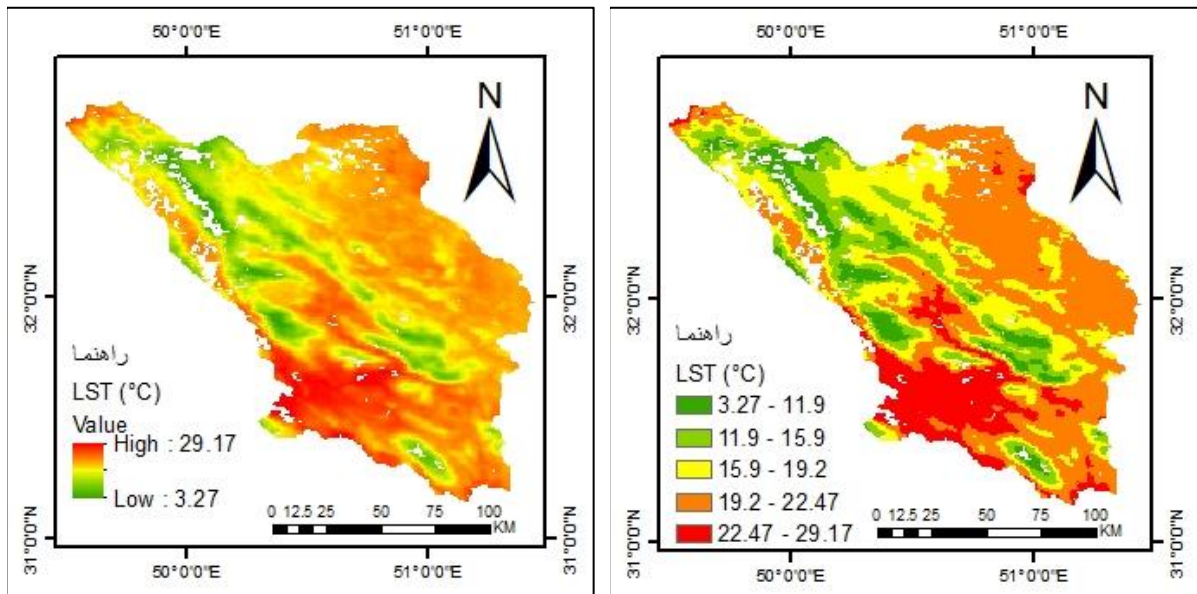
بررسی‌ها نشان می‌دهد که گونه‌های *Astragalus effusus* و *Bromus tomentellus* رشد خود را از نیمه دوم بهمن ماه شروع کردند. تا اوایل اردیبهشت ماه گونه بروموس به رشد رویشی خود ادامه داده و پس از آن غلاف‌های گل‌دهنده تشکیل شدند. از اواسط اردیبهشت ماه گلدهی این گونه شروع و تا اواسط خرداد ادامه داشته است. بعد از این تاریخ بلافاصله بذردهی و در نیمه اول تیرماه ریزش بذر ها شروع و در دهه اول مرداد بذردهی این گونه پایان یافته است. گونه *Astragalus effusus* نیز در اواسط اردیبهشت یعنی یک هفته بعد از گونه بروموس ساقه‌های گل‌دار تشکیل داده و از اواخر ماه اردیبهشت گل‌دهی این گونه شروع و تا نیمه دوم خرداد به طول انجامیده که پس از این زمان نیز بذردهی گیاه شروع شده است. ریزش بدرها از اواخر تیر ماه شروع و در اواخر دهه اول ماه مرداد پایان یافته است.

با وجود اختلاف ارتفاع در سایت‌های مورد مطالعه انتظار می‌رفت که مراحل فنولوژی گونه‌ها نیز با زمان‌های متفاوت ثبت شود. اما چون طبق قانون ثبت زمان ورود و اتمام هر یک از مراحل فنولوژی باید ۵۰ درصد 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 گردد، این تفاوت کمتر دیده شد. برای مثال در یک بازدید از دو منطقه اگر تعداد پایه‌ها در هر منطقه ۱۰ عدد باشند و در یک منطقه ۵ تا از پایه‌ها و در منطقه دوم ۹ تا از پایه‌ها وارد مرحله فنولوژی خاصی شوند مرحله یکسان برای گیاه مورد نظر در هر دو منطقه ثبت می‌شود. آذرنیوند و همکاران 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، نهایتاً اختلاف درجه روز رشد تا ۴۰ درجه را برای دو مکان به ثبت رساندند که از نظر زمانی اختلافی بین تاریخ ثبت مراحل فنولوژی مشاهده نشد (Azarnivand et al., ۲۰۱۰). مدت وقوع هر مرحله رویشی برای گونه *Bromus tomentellus* در تحقیق حاضر به نسبت تحقیق آذرنیوند و همکاران بیشتر بوده که علت آن می‌تواند خنک و پر باران تر بودن منطقه یا فصل رویش باشد (Mirhaji et al., ۲۰۰۹). رشوند و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی فنولوژی *Agropyron intermedium* و *Dactylis glomerata* در مراتع الموت قزوین نیز بیان داشتند شروع رویش گیاه در خشکسالی‌ها به علت بالا رفتن درجه حرارت و کاهش بارندگی، زودتر از سال‌های دیگر اتفاق می‌افتد (Rashvand et al., ۲۰۱۶).

نقشه‌های دمای سطح زمین مودیس

شکل ۲ توزیع مکانی دمای سطح زمین استان چهارمحال و بختیاری در دوره زمانی مطالعاتی را نشان می‌دهد. همانطور که در تصاویر مشاهده می‌شود، قسمت‌های جنوب و جنوب غرب استان بیشترین میزان دمای سطح (۲۲/۴۷ تا ۲۹/۱۷ درجه سانتی‌گراد) را دارند. قسمت‌های شرقی، شمال شرق و بخشی از مناطق شمالی و مرکزی، نسبت به منطقه قبل دمای کمتر (۱۹/۲ تا ۲۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد) و نسبت به بقیه نقاط (۳/۲۷ تا ۱۹/۲ سانتی‌گراد) دمای بیشتری را دارند. در نهایت بخش‌های شمال غربی، غرب، بخش‌هایی از مرکز و بخش کمتری از جنوب دارای کمترین میزان دمای سطح در استان هستند (۳/۲۷ تا ۱۱/۹ سانتی‌گراد). در بررسی دمای سطح زمین در طول زمان مطالعه با نگاه کلی مشاهده گردید که از ابتدای فصل رشد یعنی اواخر زمستان تا اواخر فصل رویش (اواخر تابستان) مقدار دمای سطح زمین نیز افزایش و به طور کلی مسیر صعودی را طی می‌کند. نقشه کلاس بندی شده دمای میانگین در طول دوره

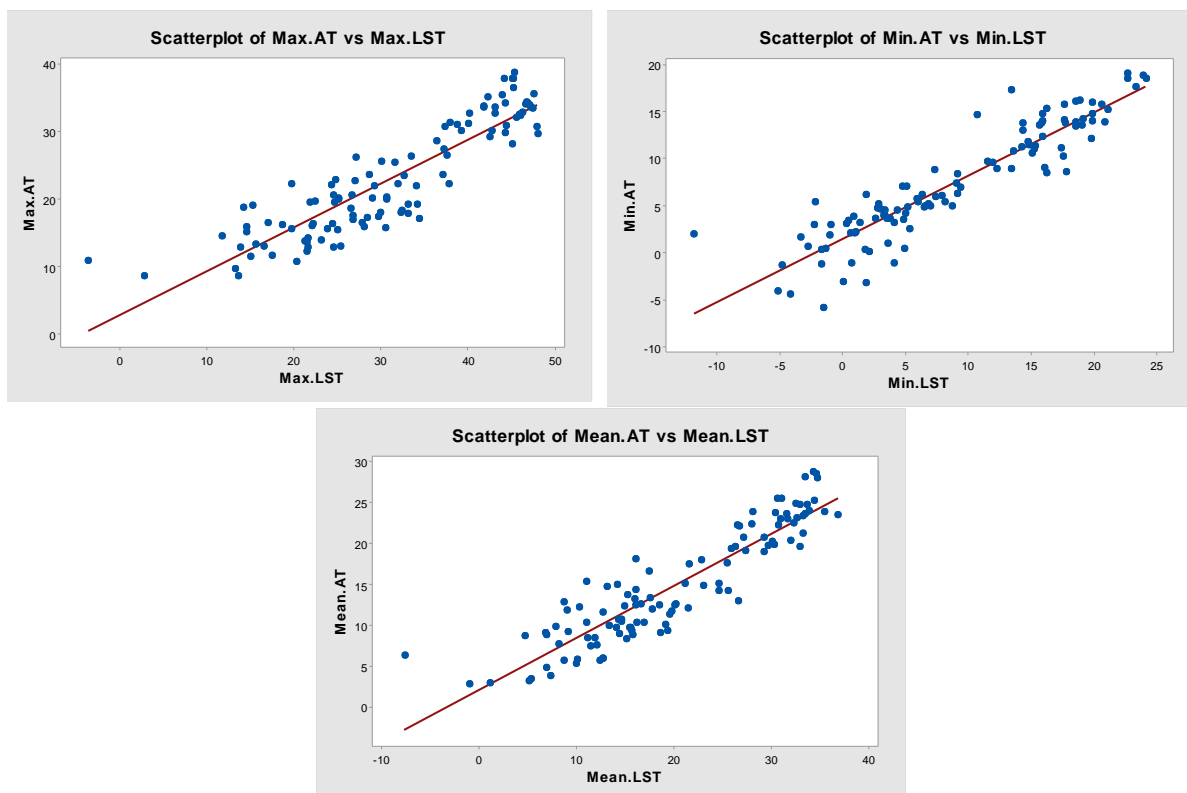
مطالعاتی نشان می دهد که کلاس دمایی ۲۹/۱۷ - ۲۲/۴۷ بیشترین مساحت (۲۹/۴۷ درصد) و کلاس دمایی ۱۱/۹ - ۳/۲۷ کمترین مساحت (۱۲ درصد) را تشکیل می دهد.



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

همبستگی دمای ایستگاه‌های هواشناسی و دمای سطح زمین مودیس در منطقه مطالعاتی

جهت 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 بجای 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 مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۳ پراکنش نقاط و نحوه ارتباط بین این دو پارامتر اقلیمی را نشان می دهد. مقادیر همبستگی پیروسون بین دمای حداکثر هوا و دمای روزانه سطح زمین برابر با ۰/۸۹۵، بین دمای حداقل هوا و دمای شبانه دمای سطح زمین برابر ۰/۹۱۹ و بین میانگین دمای هوا و میانگین دمای سطح زمین برابر ۰/۹۱۱ بود. این میزان همبستگی برای هر سه گروه داده‌های حداکثر، حداقل و میانگین در سطح اطمینان کمتر ۰/۰۰۱ معنی دار نشان داده شد، اگر چه همبستگی بین حداکثر دمای هوا و دمای روزانه مودیس اندکی کمتر از دو پارامتر دیگر بود. با توجه به همبستگی بالا و قابل اطمینان بین داده های دمای هوا و دمای سطح زمین، از میانگین دمای روز و شب تولیدات مربوط سنجنده مودیس در محاسبه درجه روز رشد استفاده گردید (Zhang et al., ۲۰۱۳).



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

درجه روز رشد گونه‌های مرتعی مستخرج از مودیس

جداول 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 را نشان می‌دهد. همانطوریکه از جداول مشخص است مقادیر GDD بدست آمده از دمای سطح زمین بالاتر از GDD حاصل از داده های زمینی می باشد. بطور مثال گونه *Bromus tomentellus* در سایت قلعه قارک مراحل فنولوژی پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و شروع گلدهی، پایان گلدهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع ریزش بذر و پایان ریزش بذر با مقادیر GDD ۱۰۰۸/۲۷، ۱۲۵۸/۴۹، ۱۹۱۷/۷۳، ۲۸۹۸/۶۳ و ۳۷۳۷/۵۷ گذرانیده است در صورتیکه مقادیر GDD برای مراحل فنولوژی مذکور که از داده های دمایی ایستگاههای هواشناسی برای این گونه در سایت قلعه قارک محاسبه گشت به ترتیب برابر ۷۲۵/۳۳، ۹۱۳/۲۳، ۱۳۵۲/۸، ۱۹۶۴/۴۳ و ۲۶۶۳ بوده است. با توجه به اینکه دمای هوا معمولا در ارتفاع ۲ متری سطح زمین ثبت می شود اما دمای سطح زمین از تابش مستقیم خورشید حاصل می شود، بالا بودن درجه حرارت سطح زمین و در نتیجه آن مقادیر GDD نسبت به ایستگاههای زمینی امری عادی بوده و در مطالعات گذشته به آن اشاره شده است (Amiri et al., ۲۰۲۱a; Gallo et al., ۲۰۰۹; Hassan et al., ۲۰۰۷a; Zheng et al., ۲۰۲۱a). به عبارت دیگر GDD حاصل از دمای سطح زمین مراحل فنولوژی ایستگاههای زمینی را تقریبا با همان دقت اما با یک شیفت در مقادیر خود نشان می دهد.

جدول ۳. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای سطح زمین برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *B. tomentellus* در سایتهای

قلعه قارک، سفید دشت و تنگ صیاد

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

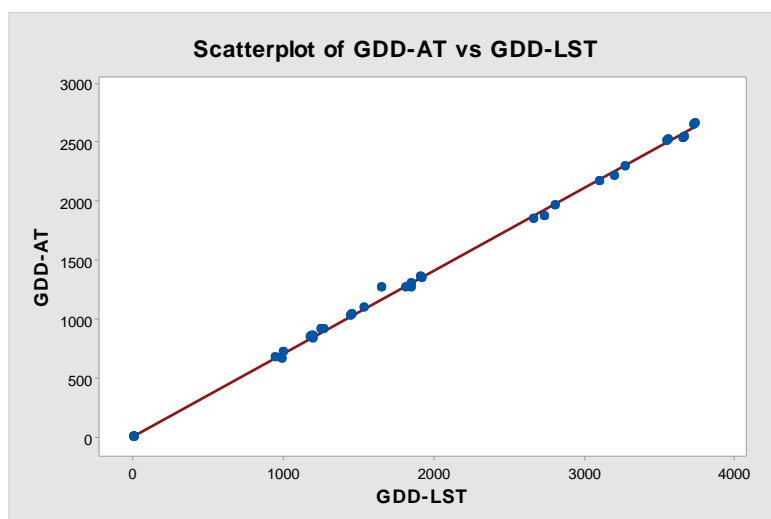
جدول ۴. درجه روز رشد محاسبه شده از دمای سطح زمین برای هر یک از مراحل فنولوژی گونه مرتعی *A. effusus* در سایتهای قلعه

قارک، سفید دشت و تنگ صیاد

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

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

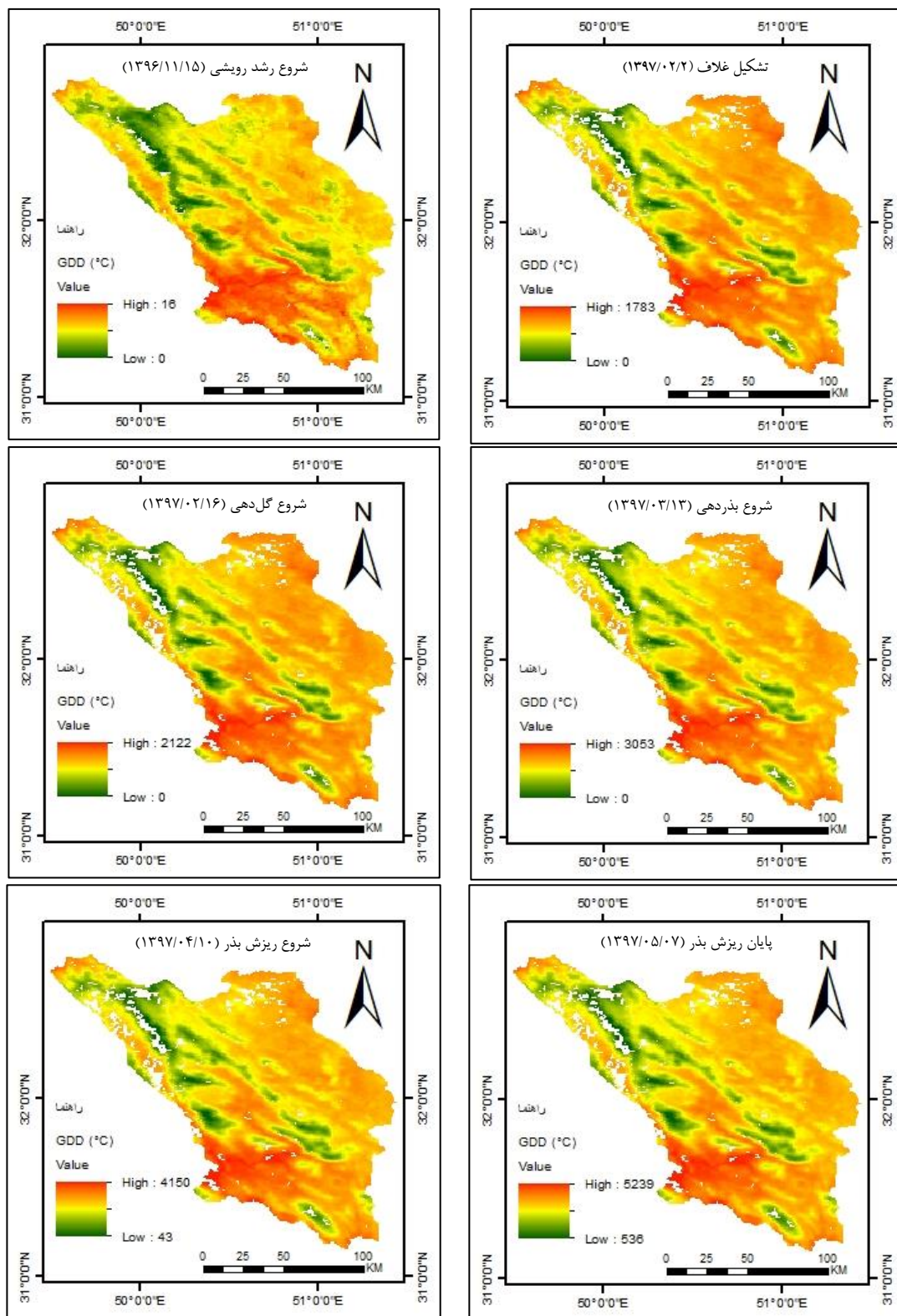
همبستگی درجه روز رشد محاسبه شده از میانگین دمای سطح زمین و دمای هوا برای کلیه مراحل فنولوژی هر دو گونه گیاهی در شکل ۴ نشان داده شده است. همبستگی بسیار بالای بین مقادیر درجه روز رشد ایستگاههای هواشناسی و مستخرج شده از تصاویر مودیس ($R > 0.99, p < 0.001$) برای گونه‌های مرتعی *Bromus tomentellus* و *Astragalus effusus* در ۳۶ نقطه، بیانگر آن است که تصاویر مودیس می‌توانند برای تولید نقشه‌های درجه روز رشد و تفکیک مراحل مختلف فنولوژی مورد استفاده قرار گیرد. چن و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تصاویر نوا و حسن و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تصاویر مودیس به مطالعه درجه روز رشد حاصل از ایستگاههای زمینی و تصاویر ماهواره ای در فصل رویش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که امکان محاسبه درجه روز رشد از طریق تصاویر با دقت بالا مقدور بوده و درجه روز رشد ماهواره ای نقش موثری در پهنه بندی این پارامتر و شناسایی مراحل مختلف فنولوژی دارد (Chen and Pan, ۲۰۰۲; Hassan et al., ۲۰۰۷b).



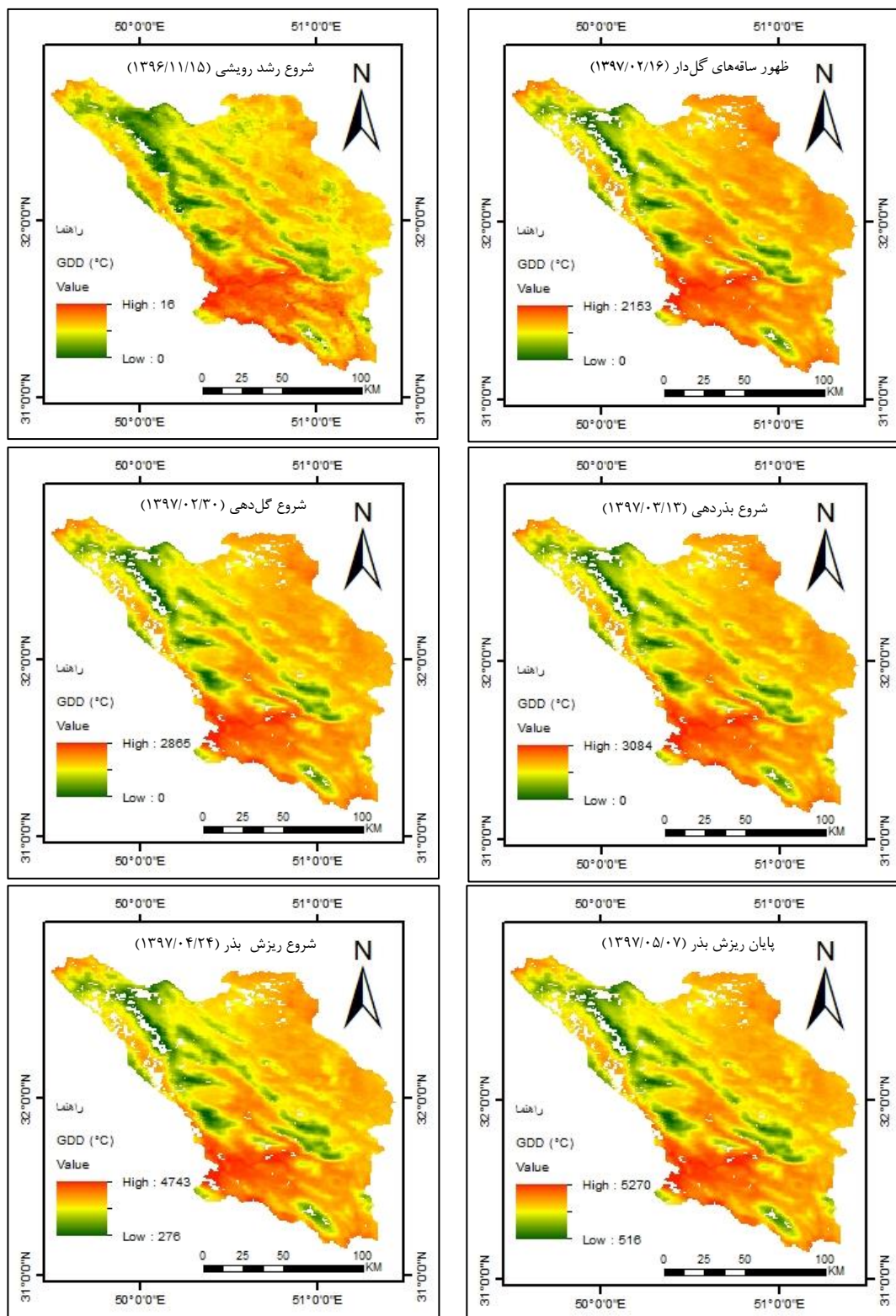
شکل ۴. همبستگی بین درجه روز رشد حاصل از دمای هوا و دمای سطح زمین

نقشه‌های درجه روز رشد و مراحل فنولوژی

شکل ۵ نقشه‌های درجه روز رشد گونه *Bromus tomentellus* برای شش مرحله فنولوژی شروع رشد رویشی، پایان رشد رویشی و شروع تشکیل غلاف، پایان تشکیل غلاف و شروع گل‌دهی، پایان گل‌دهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع 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 که شامل شروع رشد رویشی، پایان رشد رویشی و ظهور ساقه‌های گل‌دار، شروع گل‌دهی، پایان گل‌دهی و شروع بذردهی، پایان بذردهی و شروع ریزش بذر و پایان ریزش بذر است در شکل ۶ ارائه شده است.



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



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

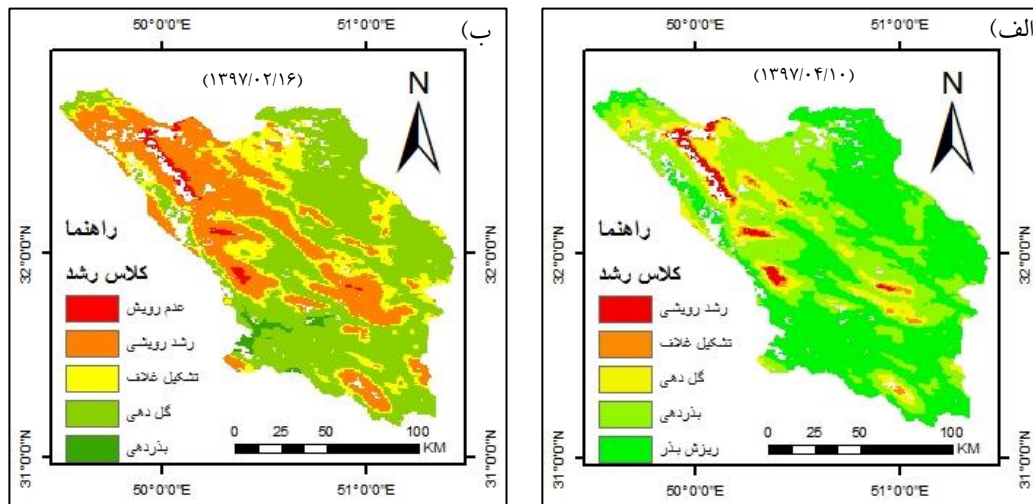
با بررسی نقشه‌های درجه روز رشد هر دو گونه مرتعی مورد مطالعه طی مراحل فنولوژی در دوره مطالعاتی مشخص می‌گردد که این گونه‌ها رشد رویشی خود را از اواسط بهمن با درجه روز رشد بیشتر از صفر، در قسمت‌های غربی استان مانند شهرستان‌های شهرکرد، سامان و بروجن شروع می‌کنند. قسمت‌هایی در نقشه، هم‌درجه روز رشد با این

مناطق اند این قسمت‌ها شامل بخش وسیع ولی پراکنده از مرکز، قسمتی از شمال شرق تا شرق که به صورت یک نوار به سمت پایین کشیده شده است و بخش به نسبت کوچک‌تر که در جنوب و جنوب شرق استان و شهرستان لردگان قرار دارد هستند. قسمت‌هایی از جنوب و جنوب شرق مانند شهرستان‌های اردل و لردگان بخش‌های کوچکی از شمال شرق و غرب چون دارای درجه روز رشد بیشتری در نقشه اند، رشد خود را زودتر شروع می‌کنند اما ارتفاعات شمال غربی که تا مرکز کشیده شده اند مانند بخش عظیمی از شهرستان کوهرنگ، چون درجه روز رشد کمتری دارند، رشد خود را دیرتر شروع می‌کنند.

گونه *Bromus tomentellus* دوهفته زودتر از گونه *Astragalus effusus* و در اول اردیبهشت در مکان‌های مورد مطالعه یعنی شمال شرق وارد مرحله فنولوژی بعد یعنی تشکیل غلاف می‌شود. GDD مورد نیاز برای ورود به این مرحله از فنولوژی برابر با ۹۵۰ است. بخش‌های جنوبی و جنوب غربی درجه روز رشد بسیار بیشتری (حدوداً ۱۷۸۰)، را در این زمان دارند. در نتیجه زودتر این مرحله فنولوژی را شروع کرده‌اند. در بخش‌های شمال غربی و بخش‌هایی از مرکز چون درجه روز رشد صفر است هنوز گیاه به این مرحله از رویش نرسیده‌است و حتی رشد آن هنوز شروع نشده است. در اواسط اردیبهشت این گونه وارد مرحله سوم فنولوژی یعنی شروع گل‌دهی می‌شود و گونه *Astragalus effusus* نیز ساقه‌های گل دهنده را در مکان‌های مورد مطالعه تشکیل می‌دهد. درجه روز رشد مورد نیاز برای این مراحل ۱۲۰۰ است. گونه *Bromus tomentellus* برای ورود به مرحله فنولوژی بعد (یعنی شروع گل‌دهی) ۱۸۰۰ و گونه *Astragalus effusus* ۱۴۵۰ GDD نیاز دارند. گونه *Astragalus effusus* برای مرحله بذر دهی ۱۸۰۰ درجه روز رشد نیاز دارد. پس گونه *Bromus tomentellus* در قسمت‌های جنوب و جنوب غرب در این تاریخ یعنی اواسط اردیبهشت گل‌دهی خود را شروع کرده و گونه *Astragalus effusus* وارد بذردهی می‌شود. درجه روز رشد در قسمت‌هایی از استان مانند بخش‌هایی از شهرستان کوهرنگ (بخش‌های سبز رنگ) و بخش‌هایی از مرکز استان صفر بوده که این قسمت‌ها هنوز گیاه رشد خود را نیز شروع نکرده است. اواسط خرداد هر دو گونه مورد مطالعه در مکانها با درجه روز رشدی برابر با ۱۸۰۰ وارد مرحله بذر دهی شدند. گونه *Astragalus effusus* در اواخر مرداد با GDD مورد نیاز برابر با ۳۱۰۰ وارد مرحله ریزش بذر گردید. همین مرحله رویش یعنی ریزش بذر برای گونه *Bromus tomentellus* در دهم مرداد ماه با GDD برابر با ۲۶۷۰ در منطقه مورد بررسی شروع شد. در نهایت در تاریخ هفتم مرداد ماه هر دو گونه مورد مطالعه در مکان‌های مورد بررسی با GDD برابر با ۳۵۵۰ مرحله ریزش بذر را به پایان رساندند.

همانطوریکه در شکل‌ها مشخص است مکان‌هایی در استان وجود دارد که امکان رشد و یا تشکیل مراحل فنولوژی مسیر نبوده است. در این مناطق دما عامل محدود کننده رشد بوده و بخش زیادی از این مناطق را ارتفاعات شمال غرب و مرکزی مانند ارتفاعات شهرستان کوهرنگ تشکیل داده‌اند که سطح زمین را بیشتر ایام سال برف پوشانده است. در برابر این مناطق، قسمت‌های جنوب و جنوب غربی مراحل رشد گیاهی را زودتر طی کرده و مقدار GDD بیشتر از سایر نقاط است. برای بیان ساده تر مراحل مختلف فنولوژی جهت مشاهده تغییرات رشد در زمانهای مختلف مانند شروع گلدهی (۱۳۹۷/۰۲/۱۶) و شروع ریزش بذر (۱۳۹۷/۰۴/۱۰) نقشه‌های درجه روز رشد برای گونه *Bromus*

tomentellus به ۵ کلاس تقسیم گردید (شکل ۷). همانطوریکه مشاهده می شود در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۱۶ این گونه در اکثر منطقه مطالعاتی در مراحل رشد و گل دهی می باشد اما در تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۱۰ کلاس های غالب بذردهی و ریزش بذر است. بنابراین با توجه به زمان رویش گونه مطالعاتی مراحل مختلفی از فنولوژی با کمک تصاویر ماهواره ای قابل تفکیک پذیری می باشد. نقشه های ناپیوسته و کلاس بندی شده درجه روز رشدهای یک گونه نسبت به نقشه های درجه روز رشد پیوسته (شکل های ۵ و ۶) خروجی کاربردی تری را فراهم می کنند. بطور مثال میزان مساحت هر یک از مراحل فنولوژی مشخص شده و مدیران اجرایی می توانند با توجه به آن مرحله تصمیم بهینه را اتخاذ نمایند. مطابق شکل ۷ (ب) مدیر مربوطه متوجه می شود که هیچ قسمت از منطقه تحت مدیریت خود آماده چرا را ندارد و اگر مجوز چرا صادر نماید گیاهانی که در مراحل اولیه رشد هستند از بین رفته و بذر افشانی صورت نگرفته و در سال و یا سالهای آینده ممکن است گونه مربوطه منقرض گردد. در صورتیکه شکل ۷ (الف) گونه مطالعاتی بذرافشانی نموده و منطقه آماده جمع آوری بذر می باشد.



شکل ۷. مراحل مختلف فنولوژی گونه *Bromus tomentellus* در استان چهارمحال و بختیاری: الف- تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۱۰ و ب- تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد که با تهیه نقشه های درجه روز رشد می توان مراحل رشد گیاهان مانند شروع رویش، دوره رویش و پایان رویش را از روی تصاویر ماهواره ای در هر تاریخ و هر نقطه مکانی استخراج نمود (Gordo and Gordo and, ۲۰۲۲b; Zheng et al., ۲۰۰۳; Menzel, ۲۰۱۰; Liu et al., ۲۰۱۰; Sanz). با وجود متفاوت بودن زمان فنولوژی در رویشگاه های گوناگون، عموماً مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز اکثر گونه های مرتعی یکسان است و فقط با تغییرات اقلیمی و نتیجتاً تغییرات دمایی زمان رسیدن گیاه به یک مرحله خاص فنولوژی تغییر می کند اما در میزان گرمای دریافتی تغییری بوجود نمی آید (Kenshlou and Achak, ۲۰۱۵). بطور مثال ممکن است زمان گلدهی گونه های مرتعی مطالعاتی اگر در ارتفاع های بسیار بالاتر مطالعه می شد در زمان دیرتری اتفاق می افتد که علت این تاخیر زمانی مدت زمان لازم برای تجمع گرمای مورد نیاز برای رسیدن به زمان گلدهی می باشد. در مناطق سرد که روزهای گرم کمتر و سرما زودرس است، گیاهان فرصت کمتری برای رشد خود دارند، حال آنکه در مناطق معتدل

تعداد روزهای گرم بیشتر و فصل رشد طولانی تر است البته در صورتی که دیگر عوامل رشد مساعد باشد رشد ادامه خواهد داشت. عوامل دیگر مانند رطوبت خاک (Sun et al., ۲۰۱۸; Yin et al., ۲۰۲۲)، خشکسالی (Jing et al., ۲۰۲۲; Ren et al., ۲۰۱۶; al.) و فرم رویشی (Kemp, ۱۹۸۳) روی مراحل فنولوژی گیاهان و مدت زمان هر یک از مراحل تاثیرگذار هستند (Jamali, ۲۰۱۲). بطور مثال در مناطق خشک تر میزان دمای سطح زمین افزایش یافته و تاثیر مستقیمی در میزان درجه روز رشد گیاهان دارد، بنابراین در این مناطق دوره فنولوژی و فاصله بین مراحل رویشی کوتاه تر شده و رشد رویشی گیاهان و تولیدکنندگی آن ها نیز کاهش می یابد.

۴- نتیجه گیری

این مطالعه با هدف کلی پتانسیل سنجی داده‌های ماهواره‌ای مودیس در تهیه نقشه‌های درجه روز رشد (GDD) و مراحل مختلف فنولوژی برای دو گونه مرتعی *Astragalus effusus* و *Bromus tomentillus* در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفت. نتایج نشان داد که تولیدات دمایی و درجه روز رشد حاصل از تصاویر مودیس به ترتیب با داده های دمایی ایستگاههای هواشناسی و همچنین درجه روز رشد محاسبه شده در ایستگاهها بیش از ۹۱ و ۹۹ درصد همبستگی دارد که این امر بیانگر قابلیت بسیار بالای مودیس در بررسی مراحل فنولوژی گیاهان در منطقه مطالعاتی می باشد. براساس نقشه های درجه روز رشد، مقادیر 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 و تمام مراحل فنولوژی گونه های مطالعاتی در منطقه بود. داشتن نقشه مراحل مختلف فنولوژی و سطح پوشش هر یک از آنها مدیرات اجرایی را قادر می سازد تا تصمیمات بهینه برای مدیریت مرتع خود در آینده اتخاذ نمایند. زیرا این نقشه به مدیران نشان می دهد که کدام بخش از منطقه آماده چرا است و کدام بخش ها را نباید مجوز چرا داد. از طرف دیگر این نقشه ها قابلیت به روز رسانی داشته و در صورت وقوع خشکسالی ها و تغییرات اقلیمی، مراحل فنولوژی به تبع آنها تغییر و مدیران را قادر می سازد که متناسب با وضعیت موجود برای مرتع تصمیم گیری نمایند. بنابراین، این نقشه ها می توانند راهکاری مناسب در جهت تعیین زمان آمادگی مراتع، تعیین زمان مناسب ورود و خروج دامها در مراتع، زمان مناسب برای جمع آوری بذور گیاهان و مبارزه با آفات مراتع باشد. این اقدامات باعث حفظ بقای گیاهان و حداقل تخریب اراضی و فرسایش خاک شده و مدیریت سیستماتیک مراتع با حداقل هزینه را به دنبال خواهد داشت.

Mapping phenological stages of two rangeland species using MODIS growing degree days in Chaharmahal and Bakhtiari Province

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 ۲۰۱۸ to ۲۰۱۹ 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 ۹۱ and ۹۹% correlations with field-based air temperature and GDD data, respectively ($p < 0.001$). In early growing season, GDD values were less than ۱۶ degree-days and they were more than ۵۲۰۰ 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.

Key words: LST, GDD, MODIS, thermal remote sensing, rangeland species

- Ahmadi, A., Shahmoradi, A., Zarehkia, S., Nateghi, S., ۲۰۱۳, **Autecology of *Astragalus effusus* in western Azarbayegan Province**, Desert and rangeland research, ۱: ۱۷۲-۱۸۱.
- Alikhahasl, M., Azarnivand, H., Arzani, H., Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., ۲۰۰۹, **The relationship between palatability and leaf stem weight ratio in different phenological stages**, RANGELAND, ۳: ۲۴۶-۲۵۸.
- Amiri, M., Tarkesh, M., Jafari, R., Jetschke, G., ۲۰۲۰, **Bioclimatic variables from precipitation and temperature records vs. remote sensing-based bioclimatic variables: Which side can perform better in species distribution modeling?**, Ecological Informatics, ۵۷: ۱-۳۵.
- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., Alavipanah, S.K., ۲۰۰۹, **Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran**, Remote Sensing of Environment, ۱۱۳: ۲۶۰۶-۲۶۱۷.
- Anandhi, A., ۲۰۱۶, **Growing degree days – Ecosystem indicator for changing diurnal temperatures and their impact on corn growth stages in Kansas**, Ecological Indicators, ۶۱: ۱۴۹-۱۵۸.
- Azarnivand, H., Tarkesh, M., Basiri, M., Saeedfar, M., Zareh, M., ۲۰۱۰, **Determining the phenology of *Bromus tomentellus* using growing degree days**, Desert and rangeland research, ۳۲: ۱-۱۰.
- Benali, A., Carvalho, A.C., Nunes, J.P., Carvalhais, N., Santos, A., ۲۰۱۲, **Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data**, Remote Sensing of Environment, ۱۲۴: ۱۰۸-۱۲۱.
- Bertoldi, G., Notarnicola, C., Leitinger, G., Endrizzi, S., Zebisch, M., Della Chiesa, S., Tappeiner, U., ۲۰۱۰, **Topographical and ecohydrological controls on land surface temperature in an alpine catchment**, Ecohydrology: Ecosystems, Land and Water Process Interactions, Ecohydrogeomorphology, ۳: ۱۸۹-۲۰۴.
- Bollero, G.A., Bullock, D.G., Hollinger, S.E., ۱۹۹۶, **Soil Temperature and Planting Date Effects on Corn Yield, Leaf Area, and Plant Development**, ۸۸: ۳۸۵-۳۹۰.
- Chen, X., Pan, W., ۲۰۰۲, **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, ۲۲: ۱۷۸۱-۱۷۹۲.
- Colombi, A., de michele, C., Pepe, M., Rampini, A., ۲۰۰۷, **Estimation of daily mean air temperature from MODIS LST in Alpine areas**, ۶: ۳۸-۴۶.
- Ding, C., Huang, W., Zhao, S., Zhang, B., Li, Y., Huang, F., Meng, Y., ۲۰۲۲, **Greenup dates change across a temperate forest-grassland ecotone in northeastern China driven by spring temperature and tree cover**, Agricultural and Forest Meteorology, ۳۱۴: ۱۰۸۷۸۰.
- Gallo, K., Hale, R., Tarpley, D., Yu, Y., ۲۰۱۱, **Evaluation of the Relationship between Air and Land Surface Temperature under Clear- and Cloudy-Sky Conditions**, Journal of Applied Meteorology and Climatology, ۵۰: ۷۶۷-۷۷۵.
- Ghasriani, F., Hedari Sharifabad, H., ۲۰۰۰, **Phenological study of some rangeland plants at Kurdistan Mountains**, Pajouhesh-va- Sazandegi, ۱۳: ۶۳-۵۸.
- Gordo, O., Sanz, J.J., ۲۰۱۰, **Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems**, Global Change Biology, ۱۶: ۱۰۸۲-۱۱۰۶.
- Hassan, Q., Bourque, A., Meng, F.-R., Richards, W., ۲۰۰۷a, **Spatial mapping of growing degree days: An application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index**, Journal of Applied Remote Sensing, ۱: ۱-۱۲.

- Hassan, Q.K., Bourque, C.P.A., Meng, F.R., Richards, W., ۲۰۰۷b, **Spatial mapping of growing degree days: An application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index**, Journal of Applied Remote Sensing, ۱: ۱-۱۲.
- Hosseini, S., Ehsani, A., ۲۰۱۷, **Phenology study of the most important range plants Saraliabad-e-Gorgan**, Desert and rangeland research, ۲۴: ۶۳۰-۶۴۰.
- Ishida, T., Kawashima, S., ۱۹۹۳, **Use of cokriging to estimate surface air temperature from elevation**, Theoretical and Applied Climatology, ۴۷: ۱۴۷-۱۵۷.
- Jafari, R., Hasheminasab, S., ۲۰۱۷, **Assessing the effects of dam building on land degradation in central Iran with Landsat LST and LULC time series**, Environmental Monitoring and Assessment, ۱۸۹: ۱-۱۰.
- Jamali, M.M., ۲۰۱۲, **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, ۳: ۵۸۰-۵۸۹.
- Jing, W., Yang, Y., Yue, X., Zhao, X., ۲۰۱۶, **A spatial downscaling algorithm for satellite-based precipitation over the Tibetan plateau based on NDVI, DEM, and land surface temperature**, Remote Sensing, ۸: ۶۰۰.
- Kazem, Y., Houshmand, S., Dadane, G.Z., ۲۰۱۰, **Karyotype analysis of *Astragalus effusus* Bunge (Fabaceae)**, Caryologia, ۶۳: ۲۵۷-۲۶۱.
- Kemp, P.R., ۱۹۸۳, **Phenological patterns of Chihuahuan Desert plants in relation to the timing of water availability**, The Journal of Ecology, ۴۲۷-۴۳۶.
- Kenshlou, H., Achak, M., ۲۰۱۰, **Phenology and GDD investigation of *Salvadora oleoides* in Balouchestan**, Journal of plant research, ۲۸: ۶۰۷-۶۱۶.
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., Ceriola, G., Weng, Q., Rajasekar, U., ۲۰۱۱, **Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery**, Remote Sensing of Environment, ۱۱۰: ۳۰۸۰-۳۰۹۰.
- Khakpour, B., Kazemi, M., Asadi, A., Razavi, M., ۲۰۱۲, **Analyzing urban green space and determining optimum location using raster calculation models**, Journal of environment science and technology, ۱۷: ۱۱۷-۱۲۹.
- Liu, L., Liu, L., Liang, L., Donnelly, A., Park, I., Schwartz, M.D., ۲۰۱۴, **Effects of elevation on spring phenological sensitivity to temperature in Tibetan Plateau grasslands**, Chinese Science Bulletin, ۵۹: ۴۸۵۶-۴۸۶۳.
- Luo, Q., Song, J., Yang, L., Wang, J., ۲۰۱۹, **Improved spring vegetation phenology calculation method using a coupled model and anomalous point detection**, Remote Sensing, ۱۱: ۱-۲۰.
- Menzel, A., ۲۰۰۳, **Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO**, Climatic Change, ۵۷: ۲۴۳-۲۶۳.
- Mirhaji, S., Sandgol, A., Ghasemi, M., Noori, S., ۲۰۰۹, **Application of growing degree days (GDD) in determining phenological stages of four species of grasses in Absard rangeland research station**, Desert and rangeland research, ۱۷: ۳۶۲-۳۷۶.
- Moghbel, M., Shamsipour, A.A., ۲۰۱۹, **Spatiotemporal characteristics of urban land surface temperature and UHI formation: a case study of Tehran, Iran**, Theoretical and Applied Climatology, ۱۳۷: ۲۴۶۳-۲۴۷۶.
- Mutiibwa, D., Strachan, S., Albright, T., ۲۰۱۰, **Land Surface Temperature and Surface Air Temperature in Complex Terrain**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, ۸: ۴۷۶۲-۴۷۷۴.

- Nieto, H., Sandholt, I., Aguado, I., Chuvieco, E., Stisen, S., ۲۰۱۱, **Air temperature estimation with MSG-SEVIRI data: Calibration and validation of the TVX algorithm for the Iberian Peninsula**, Remote Sensing of Environment, ۱۱۵: ۱۰۷-۱۱۶.
- Rashvand, S., Yeganeh, H., Sanaei, A., ۲۰۱۶, **Investigating the phenological stages of *Bromus tomentellus* and *Festuca ovina* in Qazvin Alamout station**, Journal of plant research, ۲۷: ۶۳۵-۶۴۶.
- Ren, S., Chen, X., Pan, C., ۲۰۲۲, **Temperature-precipitation background affects spatial heterogeneity of spring phenology responses to climate change in northern grasslands (۳۰°N-۵۵°N)**, Agricultural and Forest Meteorology, ۳۱۵: ۱۰۸۸۱۶.
- Saeedfar, M., Rasti, M., ۲۰۰۰, **Phenology study of rangeland plants in Hanna region of Semirrom County**, Rangelands and forests research institute publications, ۲۳۱: ۷۹-۱۲۰.
- Sandgol, A., ۲۰۰۷, **The effect of short term grazing systems and intensity on forage quality (*Bromus tomentellus*)**, Desert and rangeland research, ۱۰: ۲۳۷-۲۵۵.
- Schuyler, E.M., Ellsworth, L.M., Sanchez, D.M., Whittaker, D.G., ۲۰۲۱, **Forage Quality and Quantity in Migratory and Resident Mule Deer Summer Ranges**, Rangeland Ecology & Management, ۷۹: ۴۳-۵۲.
- Soltani, S., Yaghmaei, L., Khodaghali, M., Saboohi, R., ۲۰۱۱, **Bioclimatic classification of Chahar-Mahal & Bakhtiari province using multivariate statistical methods**, JWSS-Isfahan University of Technology, ۱۴: ۵۳-۶۸.
- Sun, D., Li, Y., Zhan, X., Yang, C., Yang, R., ۲۰۱۸, **Integrating Optical and Microwave Satellite Observations for High Resolution Soil Moisture Estimate and Applications in CONUS Drought Analyses**, Remote Sensing, ۷: ۱-۱۴.
- Tolleson, D.R., Angerer, J.P., Kreuter, U.P., Sawyer, J.E., ۲۰۲۰, **Growing Degree Day: Noninvasive Remotely Sensed Method to Monitor Diet Crude Protein in Free-Ranging Cattle**, Rangeland Ecology & Management, ۷۳: ۲۳۴-۲۴۲.
- Tomaszewska, M.A., Nguyen, L.H., Henebry, G.M., ۲۰۲۰, **Land surface phenology in the highland pastures of montane Central Asia: Interactions with snow cover seasonality and terrain characteristics**, Remote Sensing of Environment, ۲۴۰: ۱-۲۵.
- Zafarian, E., Ebrahimi, A., Abbasi, A., Asadi, E., ۲۰۱۹, **Required Growing Degree-Days (GDDs) for each Phenological Stage of *Fritillaria imperialis* %J Journal of Rangeland Science**, ۹: ۶۲-۷۳.
- Zhang, L., Huang, J., Guo, R., Li, X., Sun, W., Wang, X., ۲۰۱۳, **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, ۱۴: ۱۴۴-۱۶۱.
- Zheng, L., Xu, J., Li, D., Xia, Z., Chen, Y., Xu, G., Lu, D., ۲۰۲۱a, **Increasing control of climate warming on the greening of alpine pastures in central Asia**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, ۱۰۵: ۱۰۲۶۰۶.
- Zheng, J., Jia, G., Xu, X., ۲۰۲۲b, **Earlier snowmelt predominates advanced spring vegetation greenup in Alaska**, Agricultural and Forest Meteorology, ۳۱۵: ۱۰۸۸۲۸.
- Yin, Y., Deng, H., Ma, D., ۲۰۲۲, **Complex effects of moisture conditions and temperature enhanced vegetation growth in the Arid/humid transition zone in Northern China**, Science of The Total Environment, ۸۰۵: ۱۵۰۱۵۲.