Journal of Forest Ecosystems Research, 2025, 4(2): 15-25

Research Article

Assessing phenological plasticity and frost resistance in three Zagros oak species using a common garden approach

Khaled Karimi hajii pamogh[1], Roghayeh Zolfaghari[1*], Payam Fayyaz[1]

Extended Abstract

Background and objectives: Cold is one of the severe and limiting environmental stresses in forest ecosystems, particularly in temperate regions. With climate change affecting plant phenology and altering cold resistance in spring and autumn (notably in seedlings), it is crucial to identify species and genotypes that exhibit resilience. Therefore, this study focused on assessing the cold tolerance of seedlings from three species: *Quercus brantii*, *Q. infectoria*, and *Q. libani*, and examining how this tolerance relates to their phenological traits, such as bud burst and leaf senescence.

Materials and methods: Seeds from 52 mother trees were collected from the Baneh forest region (located in the Northern Zagros, characterized by higher altitude, latitude, and colder temperatures) and sown in a site in Yasuj (found in the Southern Zagros, with lower altitude, latitude, and warmer conditions) for two years. Various phenological parameters (including the timing, rate, and speed of leaf bud burst and leaf senescence) as well as survival rates and damage of the terminal bud of the seedlings were recorded and analyzed at different time intervals using statistical methods such as repeated measures analysis of variance, Duncan's test, and Pearson correlation.

Results: The results of this research indicated that seedlings of different oak species exhibit notable differences in leaf bud burst speed, damage to seedlings, and survival rates. Specifically, the *Q. brantii* opened its buds approximately 3-4 days earlier and more rapidly, while, it showed the least damage to the terminal bud and the highest survival rate. In contrast, the *Q. infectoria* opened its buds later and more slowly than other species and suffered the most damage to the terminal bud and had the lowest survival rate. But, correlation analysis revealed that genotypes from one species that have faster bud opening in the early growing season tend to have more terminal bud damage but also higher survival rates. Furthermore, the results of leaf senescence also showed that there was no significant difference among the three species in two years, although a positive correlation between the speed of bud burst and the leaf senescence.

Conclusion: The findings of this research suggest that the *Q. brantii* exhibits greater resistance to late spring frosts due to its favorable phenology (earlier and faster bud burst) and reduced bud susceptibility to cold. Consequently, it is less affected by late spring frosts associated with climate change compared to the other two species studied. Therefore, it is recommended to planted the *Q. infectoria* and *Q. libani* species more in the higher and cooler regions of the Zagros, and to select seeds from genotypes that have a later bud burst in spring for breeding programs.

Keywords: Bud burst, Late spring frosts, *Quercus brantii*, *Quercus infectoria*, *Quercus libani*.

[1]Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Yasouj University, Yasuj, Iran.

*Corresponding Author, Email: zolfaghari@yu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer.5.1.15

ISSN: 2423-4427 (Online); 2423-4095 (Print)

Received: 17.07.2025, Accepted: 11.09.2025,
Online Published: 21.09.2025

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

مقاله پژوهشی

ارزیابی انعطاف‌پذیری فنولوژیکی و مقاومت به یخبندان در سه گونه بلوط زاگرس با استفاده از آزمایش باغ مشترک

خالد کریمی حاجی‌پمق[۱]، رقیه ذوالفقاری[۱*]، پیام فیاض[۱]

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: سرما یکی از تنش‌های محیطی شدید و محدودکننده در اکوسیستم‌های جنگلی به ویژه در مناطق معتدله است. با توجه به تأثیر تغییرات اقلیمی بر الگوهای فنولوژیکی گیاهان و تغییر میزان مقاومت به سرمای بهاره و پاییزه (به‌طور خاص در نهال‌ها)، شناسایی گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مقاوم برای جنگل‌کاری‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تحمل به سرما در نهال‌های سه گونه برودار (*Quercus brantii*)، مازودار (*Q. infectoria*) و وی‌ول (*Q. libani*) و ارتباط آن با ویژگی‌های فنولوژیکی (زمان بازشدن جوانه‌ها و خزان) انجام شد.

مواد و روش‌ها: بذرهای ۵۲ درخت مادری از منطقه جنگلی بانه (زاگرس شمالی، ارتفاع و عرض جغرافیایی بالاتر، سردتر) جمع‌آوری و در یک مکان در یاسوج (زاگرس جنوبی، ارتفاع و عرض جغرافیایی پایین‌تر، گرم‌تر) به مدت دو سال کشت شدند. پارامترهای فنولوژیکی (زمان و نرخ و سرعت بازشدن جوانه برگ، خزان برگ) و شاخص‌های بقا شامل زنده‌مانی و صدمه جوانه انتهایی نهال‌ها در مراحل مختلف زمانی ثبت و با استفاده از روش‌های آماری مانند تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر، آزمون دانکن و همبستگی پیرسون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که نهال‌های گونه‌های مختلف بلوط از نظر سرعت بازشدن جوانه برگ، صدمه نهال و زنده‌مانی با هم تفاوت معنی‌داری دارند. به طوری که در گونه برودار حدود ۴-۳ روز زودتر و سریع‌تر جوانه خود را باز کرد و از طرف دیگر کمترین آسیب به جوانه انتهایی و بالاترین میزان زنده‌مانی را نشان داد. گونه مازودار نیز نسبت به گونه‌های دیگر دیرتر و کندتر جوانه خود را باز کرد و بیشترین آسیب به جوانه انتهایی را متحمل شد و کمترین زنده‌مانی نیز در این گونه مشاهده گردید. اما نتایج همبستگی نشان داد که ژنوتیپ‌های هر گونه که جوانه آنها در اوایل فصل رویش سریع‌تر باز می‌شود، میزان صدمه جوانه انتهایی بیشتر اما زنده‌مانی بالاتری دارند. نتایج خزان نهال‌ها نیز نشان داد که تفاوت معناداری در بین سه گونه در دو سال وجود ندارد، اما همبستگی مثبتی بین سرعت بازشدن جوانه و خزان وجود داشت.

نتیجه‌گیری: به طور کلی نتایج این تحقیق مشخص نمود که گونه برودار به دلیل فنولوژی مناسب (بازشدن زودتر و سریع‌تر جوانه) و آسیب‌پذیری کمتر جوانه، مقاومت بیشتری به سرمای دیررس بهاره دارد و نسبت به دو گونه دیگر مورد مطالعه کمتر تحت تاثیر سرمای دیررس مرتبط با تغییرات اقلیمی قرار دارد. بنابراین توصیه می‌شود جنگل‌کاری گونه مازودار و وی‌ول بیشتر در مناطق مرتفع و سردتر زاگرس انجام شود و در برنامه‌های اصلاحی نیز بذر از ژنوتیپ‌هایی که جوانه آنها در بهار دیرتر باز می‌شود، انتخاب گردند.

واژه‌های کلیدی: برودار، مازدارو، وی‌ول، سرمای دیررس، بازشدن جوانه برگ.

---

[۱]گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

[*]پست الکترونیکی نویسنده مسئول: zolfaghari@yu.ac.ir

DOI: 10.21859/jfer5.1.15

شاپا: ۴۴۲۷-۲۴۲۳ (برخط)؛ ۴۰۹۵-۲۴۲۳ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

مقدمه

خطر سرما از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده موفقیت گیاهان چندساله در مناطق با آب‌وهوای معتدل و مدیترانه‌ای است. در این میان، رویدادهای نامساعد جوی به‌ویژه یخبندان‌های زمستانه، سرمای دیررس بهاره و سرمای زودرس پاییزی، نقش کلیدی در تعیین پراکنش گونه ایفا می‌کنند (Muffler *et al.*, 2016) و برای اصلاح و احیاء گونه‌ها داشتن اطلاعات کافی و دانش لازم در مورد خطرات سرما و پاسخ گونه‌ها به تغییرات فتوپریودی لازم و ضروری است. جنگل‌های زاگرس یکی از گسترده‌ترین رویشگاه‌های جنگلی ایران به شمار می‌روند که در زمره جنگل‌های مدیترانه‌ای قرار دارند. گونه‌های مختلف جنس بلوط، مهم‌ترین گونه‌های درختی تشکیل‌دهنده این جنگل‌ها هستند. زاگرس شمالی، رویشگاه ویژه‌ی گونه *Quercus libani* Olivier. می‌باشد. در بخش‌هایی از این حوزه، این گونه به تنهایی یا در آمیختگی با گونه‌های *Q. infectoria* Olivier. و *Q. brantii* Lindl. ظاهر می‌شود. این جنگل‌ها نقش مؤثر و قابل توجهی در حفاظت آب و خاک و در ذخایر ژنتیکی گونه‌های بلوط دارند (Homayounfar *et al.*, 2024). بنابراین حفاظت، احیاء و توسعه گونه‌های بومی بلوط در این مناطق باید همواره مورد توجه قرار بگیرد. اما امروزه اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی است و همراه با گرم شدن کره زمین وقوع حوادثی مانند سرمای دیررس می‌تواند برای گیاهان مضر باشد، زیرا این سرما در دوره رویش گیاهان رخ می‌دهد و می‌تواند باعث کاهش عملکرد و یا از بین رفتن گیاه شود (Pagter & Arora, 2013; Zeps *et al.*, 2017). تفاوت در صفات فنولوژیکی مانند زمان آغاز رویش که بین پرووِنانس‌های مختلف یک گونه وجود دارد یک عامل کلیدی در تعیین سطح مقاومت به سرماهای دیررس بهاره آنها است (Morin *et al.*, 2007). زمان‌بندی رویدادهای فنولوژیکی مانند بازشدن جوانه‌ها در بهار و خزان برگ‌ها در پاییز، به‌ویژه در نهال‌های مناطق معتدله، نقش تعیین‌کننده‌ای در مقاومت به سرمای دیررس بهاره و سرمای زودرس پاییزه دارد (Vitasse *et al.*, 2014). دامنه تحمل دمایی رشد گیاهان محدود است، به‌ویژه کاهش دما به زیر آستانه تحمل اصلی‌ترین عامل خسارت به گیاهان است. با این حال، شدت این خسارت تابعی از نوع گونه گیاهی و مرحله رویشی که گیاه در آن قرار دارد، بستگی دارد (levitt, 1980). یخبندانی که بعد از رویش در بهار اتفاق می‌افتد، باعث صدمات جبران ناپذیری می‌شود و آسیب بیشتری دارد (Vitra & Vitasse, 2017). اغلب سرمای بهاره و پاییزه نسبت به سرمای زمستان دلیل مرگ و میر بسیاری از بلوط‌ها هستند (Vitasse *et al.*, 2019)، اگر فصل رشد قبلی خشک باشد و یا بعضی از اشکال دیگر آسیب‌ها مانند حمله حشرات در طول سال با آن همراه باشد، یخبندان می‌تواند آسیب بیشتری نیز داشته باشد (Nichols, 1968). تنوع زیادی در حساسیت به سرما در گونه‌هایی که پراکنش وسیع دارند، وجود دارد و این گونه‌ها اغلب تحمل حرارتی گسترده‌تر و تنوع ژنتیکی بالاتری دارند (Buckley & Kingsolver, 2021). از طرف دیگر آغاز جوانه‌زنی و بازشدن جوانه در بهار در پاسخ به شرایط محیطی انجام می‌گیرد که تحت کنترل شدید ژنتیک نیز می‌باشند (Vitasse *et al.*, 2009a) و هر دوی این عامل (محیط و ژنتیک) می‌توانند در برنامه های اصلاحی درختان استفاده شوند. برای بررسی تغییرات صفاتی نظیر زمان بازشدن جوانه برگ، در بسیاری از مطالعات اخیر از روش «آزمایش باغ مشترک[1]» استفاده شده است. در این روش، بذرهای جمع‌آوری‌شده از گونه‌ها و پرووِنانس‌های مختلف در محیطی یکسان کشت می‌شوند (Vitasse *et al.*, 2009a; Vitasse *et al.*, 2010; Vander Mijnsbrugge & Moreels, 2020). این تحقیق با توجه به خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی، میزان حساسیت فنولوژیکی سه گونه بلوط زاگرس به دما با استفاده از کشت بذرهای جمع‌آوری‌شده از یک منطقه سردسیر (بانه) در یک منطقه گرم‌تر (یاسوج) انجام گرفت تا واکنش صفات فنولوژیکی (زمان بازشدن جوانه و خزان برگ) نسبت به به افزایش دما مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق در آبان ۱۳۸۸ بذور سه گونه بلوط زاگرس (*Q. brantii*, *Q. infectoria*, *Q. libani*) به طور تصادفی از ۵۲ پایه درخت مادری با حداقل فاصله

[1] *Common garden experiment*

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

۱۰۰ متر از یکدیگر از منطقه جنگلی آرمرده در نزدیکی بانه در استان کردستان با عرض جغرافیایی ″۳′۵۶°۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ″۳۴′۴۸°۴۵ شرقی جمع‌آوری شدند. مشخصات ارتفاع از سطح دریا درختان مادری، تعداد درخت و نهال از هر یک از سه گونه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی، تعداد درخت مادری و نهال کاشته‌شده گونه‌های مختلف بلوط در زمین زراعی یاسوج

Table 1- Geographical characteristics, number of mother trees and planted seedlings of different oak species in common garden of Yasuj

نام گونه Species name	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	تعداد درخت مادری Number of mother trees	تعداد نهال Number of seedlings
مازودار *Q. infectoria*	1616-1680	16	641
برودار *Q. brantii*	1580-1758	19	1154
وی ول *Q. libani*	1620-1950	17	590

در اواخر آذرماه، بذور هر یک از ۵۲ درخت مادری جمع‌آوری‌شده با فاصله ۱۰ سانتی‌متر در کرت‌هایی به فاصله ۱ متر و در قالب طرح کاملا تصادفی و در شرایط یکسان در زمین زراعی دانشگاه یاسوج با ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی ″۰′۴۰°۳۰ شمالی و طول جغرافیایی ″۰′۳۵°۵۱ شرقی به صورت باغ مشترک کاشته شدند. در طول مدت کاشت و رویش در طی دو سال نهال‌ها مورد آبیاری قرار نگرفتند و تنها علف‌های هرز وجین شدند. سپس در مهرماه سال اول و دوم نسبت تعداد برگ سبز به تعداد کل برگ‌ها ثبت شد و سپس از تفاضل عدد ۱ منهای نسبت تعداد برگ سبز به کل برگ‌ها برای تعیین میزان خزان یا زردی برگ استفاده شد (Zuccarini *et al.*, 2023). همچنین میزان زنده‌مانی نهال‌ها در سه مرحله زمانی مهرماه سال اول و دوم و فروردین سال دوم ثبت گردید و سپس از تقسیم تعداد نهال‌های زنده به تعداد کل بذور سبزشده در سال اول میزان درصد زنده‌مانی نهال‌های هر درخت مادری و گونه به‌دست آمد. همچنین فنولوژی بازشدن برگ نهال‌ها با آغاز فصل رویش در سال دوم ثبت گردید. داده‌ها شامل تعداد نهال‌های بازشده از هر درخت و تعداد نهال‌هایی که جوانه انتهایی آنها صدمه دیده بودند، در طی چند مرحله تا زمانی که همگی نهال‌ها سبز شدند، ثبت گردیدند. این کار در سه مرحله زمانی (۱۸، ۳۱ و ۴۵ روز از شروع سال) صورت گرفت و در هر مرحله بر اساس شکل ظاهری جوانه نهال‌ها کد مربوط به آن نیز یادداشت گردید (Vitasse *et al.*, 2009a). تغییر شکل جوانه در هر کد بدین صورت بوده است: کد ۰ (جوانه‌ها خفته، کد۱: جوانه‌ها متورم)، کد۲ (جوانه متورم‌شده از پوسته به صورت سبز رنگ بیرون‌زده)، کد۳ (جوانه بازشده اما هنوز برگ‌ها بازنشده)، کد ۴ (برگ‌ها کاملا بازشده) و کد ۵ (علاوه بر اینکه برگ‌ها باز شده، ساقه نیز رشد کرده است) (Vitasse *et al.*, 2009a).

نرخ بازشدن و صدمه جوانه برگ از تقسیم تعداد نهال بازشده یا آسیب‌دیده در تاریخ ۱۸ و ۳۱ تقسیم بر تعداد کل نهال‌ها در تاریخ سوم (روز ۴۵) به‌دست آمد. سرعت بازشدن جوانه برگ نیز بر اساس نسبت تعداد نهال‌های دارای یکی از کدهای بالا به کل نهال‌های سبزشده در تاریخ سوم آماربرداری محاسبه گردید. برای محاسبه سرعت بازشدن جوانه برگ از مجموع حاصلضرب تعداد نهال در هر کد تقسیم بر تعداد کل نهال‌های سبزشده در عدد پنج (بالاترین کد) برای هر درخت مادری محاسبه گردید و میانگین هر گونه به‌دست آمد. برای محاسبه مدت زمانی که ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ نهال‌ها جوانه‌هایشان

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

بازشده بود نیز از مدل رگرسیون مناسب با استفاده از درصد بازشدن جوانه نهال‌ها در سه تاریخی که ثبت شده بود، برای هر گونه به‌طور جداگانه به‌دست آمد (Aldrete *et al.*, 2008).

برای انجام تجزیه و تحلیل آماری نیز از نرم‌افزار آمارهای SPSS 16 استفاده شد. ابتدا توزیع نرمال داده‌ها به وسیله آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف بررسی گردید. سپس داده‌های مربوط به نرخ و سرعت بازشدن جوانه، آسیب جوانه، خزان برگ و زنده‌مانی نهال‌ها با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (Repeated Measures ANOVA) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این طرح، گونه (در سه سطح) به عنوان عامل بین-گروهی و زمان (در دو سطح برای تمام صفات به جز زنده‌مانی که سه سطح داشت) به عنوان عامل درون-گروهی درنظر گرفته شد. اثرات اصلی و اثرات متقابل این عوامل مورد بررسی قرار گرفت. سپس مقایسات چندگانه میانگین‌ها در صورت معنی‌دار بودن در سطح کمتر از ۵ درصد، بین گونه‌ها و زمان‌های مختلف و نیز اثر متقابل بین گونه در زمان با آزمون دانکن انجام شد. همچنین همبستگی بین صفات نیز با آزمون همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۵ درصد بررسی گردید.

نتایج

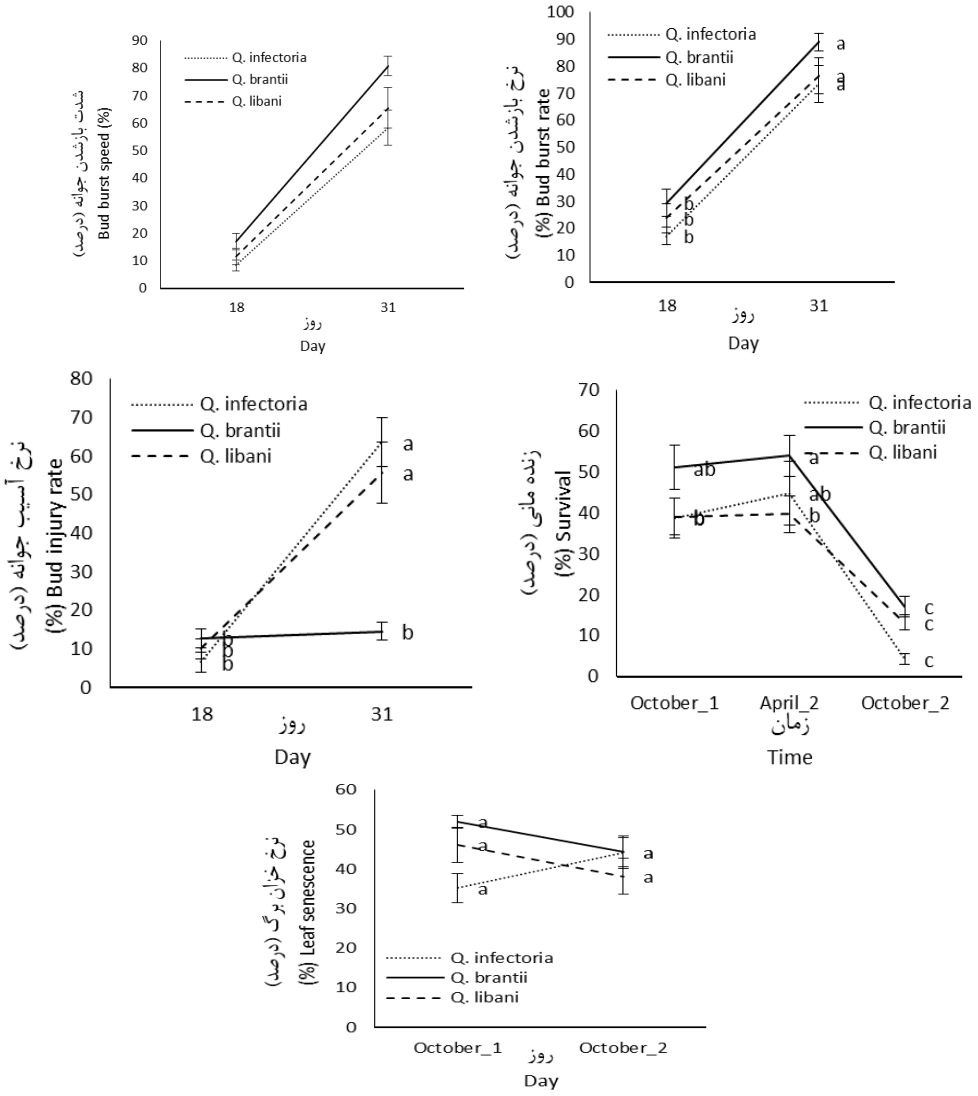
نتایج آنالیز واریانس نشان داد که کلیه پارامترهای مورد اندازه‌گیری به جز خزان نهال در طی زمان‌های مختلف معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح گونه نیز همه پارامترها به جز خزان نهال و نرخ بازشدن جوانه برگ معنی‌دار بودند. اما اثر متقابل زمان در گونه تنها برای صدمه جوانه برگ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که به تبع با گذشت زمان نرخ و سرعت بازشدن و صدمه جوانه افزایش یافت. همچنین مقایسه میانگین در سطح گونه نشان داد که در گونه برودار بیشترین و در گونه دارمازو کمترین مقدار سرعت بازشدن جوانه وجود دارد و برای زنده‌مانی نهال بیشترین مقدار در گونه برودار مشاهده شد و دو گونه دیگر با هم تفاوت معنی‌دار نداشتند (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین برای صدمه جوانه عکس بود و در گونه برودار کمترین مقدار بود زیرا با گذشت زمان (از روز ۱۸ به روز ۳۱) صدمه به جوانه در برودار افزایش نیافت اما در دو گونه دیگر زیاد شد و به همین دلیل اثر متقابل گونه در زمان نیز برای این پارامتر معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده گونه‌های مختلف بلوط مورد مطالعه در طی زمان‌های مختلف

Table 2- Mean squares from variance analysis of measured traits of different oak species studied over different times

منابع تغییر Source of variation	زنده مانی (درصد) Survival rate (%)	نرخ باز شدن جوانه (درصد) Bud burst rate (%)	سرعت بازشدن جوانه (درصد) Bud Burst speed (%)	صدمه جوانه (درصد) Bud injury (%)	خزان Leaf senescence
گونه Species	2102*	1751^{ns}	2231*	4993**	306^{ns}
خطا (کرت اصلی) Error (main plot)	646	669	482	448	281
زمان Time	26105**	81899**	81004**	31479**	421^{ns}
گونه × زمان Species × Time	206^{ns}	107^{ns}	455^{ns}	7651**	85^{ns}
خطا (کرت فرعی) Error (sub-plot)	173	273	230	240	168

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]



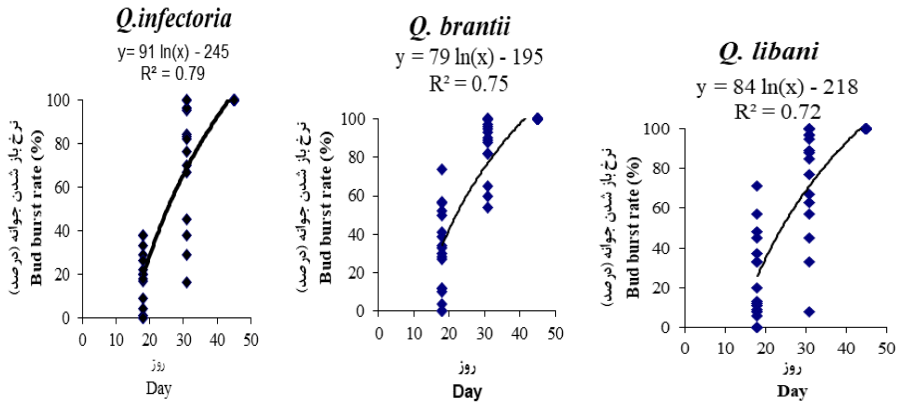
شکل ۱- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری‌شده گونه‌های مختلف بلوط مورد مطالعه در طی زمان‌های مختلف

Figure 1- Mean comparison of the measured traits of different oak species studied over different times

با استفاده از میزان درصد بازشدن جوانه نهال‌های هر درخت و هر گونه که در سه تاریخ آماربرداری ثبت‌شده بودند، مدلهای رگرسیونی هر گونه به‌دست آمد تا برای محاسبه مدت زمانی که ۱۰٪، ۵۰٪، ۹۰٪ جوانه‌های هر گونه سبز شدند، استفاده گردد (شکل ۲). بر اساس مدل رگرسیون نهال‌های گونه برودار در روز ۱۲ فروردین ۱۰٪ از نهال‌هایشان باز شد، اما میزان شکفتن جوانه‌های نهال‌های گونه‌های وی‌ول در روز ۱۵ و مازودار در روز ۱۶ فروردین به ۱۰٪ رسید. در واقع نتایج نشان داد که گونه برودار زودتر شروع به شکفتن جوانه کرد. مدت زمانی که ۵۰٪ درصد جوانه‌ها باز شده بودند در گونه برودار روز ۲۱، وی‌ول روز ۲۴ و مازودار روز ۲۵ فروردین اتفاق افتاد. مدت زمانی که ۹۰٪ جوانه باز شدند نیز در برودار ۳۶، وی‌ول ۳۸ و مازودار ۳۹ روز پس از شروع سال به‌دست آمد (شکل ۳).

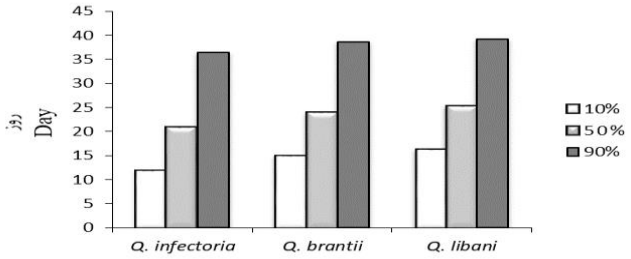
نتایج همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده نیز نشان داد که صفاتی مانند نرخ و سرعت بازشدن جوانه با یکدیگر در دو زمان و نیز با زنده‌مانی به ویژه در پاییز سال اول و صدمه جوانه در روز ۱۸ همبستگی مثبت بالایی دارند. همچنین نهال‌هایی که در تاریخ اول جوانه آنها صدمه بیشتری داشت خزان سریع‌تر و زنده‌مانی بالاتری در پاییز سال اول و دوم داشتند، اما این ارتباط برای تاریخ دوم (روز ۳۱) عکس بود و نهال‌های با صدمه بالاتر زنده‌مانی کمتری در بهار نشان دادند (جدول ۳).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]



شکل۲- مدل رگرسیونی درصد بازشدن جوانه نهال‌ها در طی زمان برای سه گونه بلوط مورد مطالعه

Figure 2- Regression model of percentage of seedling bud opening over time for the three studied oak species



شکل ۳- مدت زمان بازشدن ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ جوانه برگ در سه گونه بلوط مورد مطالعه

Figure 3- Time of 10%, 50% and 90% leaf bud burst in the three studied oak species

جدول ۳- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری‌شده در گونه‌های مختلف بلوط زاگرس

Table 3- Correlation between measured traits in different Zagros oak species

صفات Traits	BBS_18	BBR_18	BIR_18	BBS_31	BBR_31	BIR_31	SR_Oct1	SR_Apr1	SR_Oct2	LS_Oct1	LS_Oct2
BBS_18	1	0.94^{**}	0.74^{**}	0.52^{**}	0.46^{**}	-0.07^{ns}	0.64^{**}	0.35^{**}	0.47^{**}	0.21^{ns}	0.15^{ns}
BBR_18		1	0.6^{**}	0.47^{**}	0.46^{**}	0.01^{ns}	0.64^{**}	0.34^{*}	0.31^{*}	0.43^{**}	0.01^{ns}
BIR_18			1	0.53^{**}	0.44^{**}	0.14^{ns}	0.32^{*}	0.07^{ns}	0.21^{ns}	0.12^{ns}	0.41^{*}
BBS_31				1	0.94^{**}	0.15^{ns}	0.33^{*}	0.07^{ns}	0.08^{ns}	0.04^{ns}	0.11^{ns}
BBR_31					1	0.29^{*}	0.27^{*}	-0.21^{ns}	-0.22^{ns}	-0.13^{ns}	-0.08^{ns}
BIR_31						1	-0.06^{ns}	0.32^{*}	0.5^{**}	0.08^{ns}	0.08^{ns}
SR_Oct1							1	0.54^{**}	0.36^{**}	0.04^{ns}	0.28^{ns}
SR_Apr1								1	1	0.2^{ns}	0.19^{ns}
SR_Oct2										1	0.02^{ns}
LS_Oct1											0.26^{ns}
LS_Oct2											

صفات مورد مطالعه شامل سرعت بازشدن جوانه (روز ۱۸) (BBS_18)، نرخ بازشدن جوانه (روز ۱۸) (BBR_18)، صدمه جوانه (روز ۱۸) (BIR_18)، سرعت بازشدن جوانه (روز ۳۱) (BBS_31)، نرخ بازشدن جوانه (روز ۳۱) (BBR_31)، صدمه جوانه (روز ۳۱) (BIR_18)، زنده‌مانی پاییز سال اول (SR_Oct1)، زنده‌مانی بهار سال دوم (SR_Apr1)، زنده‌مانی پاییز سال دوم (SR_Oct2)، خزان سال اول (LS_Oct1)، خزان سال دوم (LS_Oct2).

The studied traits include Bud burst speed (BBS_18), Bud burst rate (BBR_18), Bud injury rate (BIR_18), Bud burst speed (BBS_31), Bud burst rate (BBR_31), Bud injury rate (BIR_31), Survival rate (SR_Oct1), Survival rate (SR_Apr1), Survival rate (SR_Oct2), Leaf senescence (LS_Oct1), Leaf senescence (LS_Oct1).

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

بحث

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمون باغ مشترک، زنده‌مانی سه گونه بلوط در طی سه مرحله زمان و طی دو سال با هم تفاوت معنی‌داری داشتند، به‌طوری که بیشترین زنده‌مانی را گونه برودار و کمترین زنده‌مانی را گونه مازودار نشان داد. از نظر درصد و سرعت بازشدن جوانه برگ نیز مشخص گردید که گونه برودار نسبت به دو گونه دیگر به ویژه مازودار زودتر شروع به بازشدن جوانه نمود و روند تغییر حالت جوانه این گونه نیز سریع‌تر از گونه‌های دیگر بود. در واقع نتایج نشان داد که گونه برودار به حداقل دمای کمتری نسبت به دو گونه دیگر برای شروع به بازشدن جوانه برگ نیاز دارد، به‌طوری که حدودا نهالهای گونه برودار ۳ و ۴ روز زودتر از وی‌ول و مازودار جوانه‌هایشان شروع به بازشدن نمودند. تحقیقات زیادی همچنین نشان داده که گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی در حداقل دماهای مشخصی شروع به بازشدن جوانه می‌کنند، به عنوان مثال نتایج تحقیقات Rotzer و Chmielewski در سال ۲۰۰۱ نیز نشان داد که ۶ روز اختلاف در بین دو واریته گونه *Fagus sylvatica* و دو واریته از *Picea abies* در بازشدن برگ وجود دارد. روند سرعت بازشدن جوانه و رشد در گونه برودار نیز سریع‌تر از دو گونه دیگر بود، اما گونه مازودار نسبت به گونه‌های دیگر دیرتر شروع به بازشدن جوانه خود نمود. بازشدن جوانه به عرض جغرافیایی و ارتفاع بستگی دارد و مطالعات نشان داده است که درختان ارتفاعات بالا و عرض‌های شمالی نیاز بیشتری به سرمای زمستان دارند تا جوانه آنها باز شود، در واقع هر چه زمستان سردتر باشد فنولوژی بازشدن جوانه در بهار سریع‌تر اتفاق می افتد (Fu *et al.*, 2014) که با نتایج ما مطابقت دارد و به‌نظر می‌رسد از آنجا که گونه دارمازو و وی‌ول مربوط به ارتفاعات بالا و دامنه‌های شمالی هستند (Khanhasani *et al.*, 2015) و نسبت به برودار زمستان‌های سردتری را تجربه می‌کنند، بنابراین انتقال این گونه‌ها به یاسوج سبب شد که علی‌رغم گرم‌تر بودن بهار (در یاسوج نسبت به بانه) به دلیل سرمای ناکافی زمستان فنولوژی بازشدن جوانه آنها دیرتر رخ بدهد (Wenden *et al.*, 2020). همچنین در راستای تحقیق ما مطالعه بر روی سه گونه راش، بلوط و زبان گنجشک نیز نشان داد هنگامی که بلوط و زبان گنجشک از ارتفاعات بالا به پایین انتقال یابند جوانه آنها دیرتر باز می‌شود اما در گونه راش برعکس بود (Vitasse *et al.*, 2009b).

نتایج صدمه جوانه انتهایی هم نشان داد که در گونه برودار کمترین میزان می‌باشد. مطالعات زیادی نشان داده است که گونه‌هایی که جوانه‌های خود را سریع‌تر باز می‌کنند از مقاومت بیشتری نسبت به سرمای دیررس بهاره برخوردارند (Vitasse *et al.*, 2014; Muffler *et al.*, 2016). در واقع گونه برودار به دلیل تغییر حالت سریع‌تر جوانه و بازشدن کامل برگ توانست بهتر از منابع و شرایط استفاده کند و به همین دلیل در روز ۳۱ میزان صدمه به جوانه آن کمتر از دو گونه دیگر بود (Inouye). اما نتایج همبستگی نشان داد که نهال‌های با نرخ و سرعت بازشدن جوانه بالاتر در تاریخ اول (روز ۱۸) میزان صدمه آنها هم بیشتر بود و در مطالعات دیگر هم بیان شده است که نهال‌هایی که سریع‌تر جوانه آنها باز می‌شود آسیب سرمای دیررس در آنها بیشتر است (Ma *et al.*, 2019; Inouye, 2000). اگرچه نتایج همبستگی درون‌گونه‌ای متناقض با نتایج بین‌گونه‌ای است، می‌توان با این فرضیه توجیه کرد که مزیت زود باز کردن، وابسته به توانایی ذاتی گونه برای تکمیل سریع مراحل حساس رشد و رسیدن به مرحله مقاومت بالاتر است. بنابراین گونه برودار از این توانایی برخوردار است، در حالی که برای ژنوتیپ‌های درون هر گونه، بازشدن زودهنگام بدون پشتوانه این سیر تکاملی سریع، می‌تواند ریسک‌آمیز باشد.

نتایج تجزیه واریانس خزان برگ حاکی از عدم تفاوت معنی‌دار بین سه گونه در دو سال بود، اما میزان زنده‌مانی نهال‌ها نشان داد که گونه برودار بالاترین درصد زنده‌مانی را نسبت به دو گونه دیگر در طی این دو سال دارد. از آنجا که خزان برگ می‌تواند معیاری برای سخت‌واره شدن گیاهان برای مقاومت به سرمای پاییزه یا زودرس باشد (Taiz *et al.*, 2015)، در این تحقیق مشخص شد که نهال‌های سه گونه در طی دو سال با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. مطالعه دیگر بر روی گونه بلوط نیز نشان داد که بلوط روند خاصی در زمان پیری و خزان برگ ندارد و یا

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

تغییرات آن بسیار کم است (Vitasse *et al.*, 2010). مطالعه‌ای دیگر روی سه گونه بلوط زاگرس نیز نشان داد که گونه وی‌ول با کاهش دما و کوتاه‌تر شدن طول روز، در پاییز سریع‌تر به خواب زمستانی می‌رود و در نتیجه، مقاومت به‌مراتب بیشتری نیز در برابر سرمای زودرس از خود نشان داد (Homayounfar *et al.*, 2024). بنابراین به‌نظر می‌رسد که تنها با مطالعه خزان برگ نمی‌توان مقاومت به سرمای زودرس را بررسی نمود زیرا خزان برگ در گونه‌های گیاهی علاوه بر کاهش طول روز و دما تحت تاثیر خشکی تابستان نیز می باشد (Vitasse *et al.*, 2010). از طرف دیگر نتایج همبستگی نشان داد نهال‌هایی که سریع‌تر جوانه خود را باز می‌کنند خزان سریع‌تر و زودتری دارند. در تحقیق de Sauvage و همکاران (۲۰۲۲) نیز مشخص شد که تاریخ زردشدن برگ‌ها با تاریخ بازشدن جوانه برگ همبستگی مثبت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که در اثر تغییر اقلیم و گرم شدن دمای کره زمین عکس‌العمل سه گونه بلوط زاگرس نسبت به سرما به ویژه سرمای زودرس متفاوت است، به‌طوری که مقاومت به سرمای دیررس در سطح گونه به‌طور فیلوژنتیکی حفظ شده است و نهال‌های گونه برودار که مربوط به ارتفاعات پایین و دامنه‌های جنوبی هستند دارای کمترین ریسک سرمای دیررس بهاره هستند. بنابراین گرم شدن اقلیم می‌تواند اثرات منفی بیشتری بر حضور و پراکنش دو گونه مازودار و وی‌ول داشته باشد و باید سعی گردد تا جنگل‌کاری این دو گونه بیشتر در مناطق کوهستانی زاگرس مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر در بین ژنوتیپ‌های هر گونه، ژنوتیپ‌هایی که دیرتر جوانه خود را باز می‌کنند، کمتر در معرض خطر سرمای دیررس در اوایل فصل رویش هستند. همچنین با توجه به مدل رگرسیونی گونه‌های مختلف مشخص گردید که اختلاف زیاد بین نهال‌های هر درخت مادری در یک گونه وجود دارد، بنابراین می‌توان با انتخاب فنوتیپی بهتر و سازگارتر با رویشگاه از نظر سرمای دیررس موفقیت جنگل‌کاری‌ها را افزایش داد. بدین ترتیب که از درختان مادری بذرگیری نمود که جوانه نهال‌های آنها در بهار دیرتر باز می‌شوند و در پاییز نیز سریع‌تر برگ‌های خود را از دست می‌دهند. همچنین می‌توان پیشنهاد داد که در آینده با به‌کارگیری مطالعات مولکولی و در سطح DNA پایه‌های مقاوم‌تر به سرما را سریع‌تر و بدون انجام آزمون نتاج شناسایی نمود. از سوی دیگر، بررسی میزان خزان نهال‌ها در چند مرحله زمانی مختلف این امکان را فراهم می‌کند تا مقاومت به سرمای زودرس پاییزه با دقت بیشتری ارزیابی گردد.

منابع

Aldrete. A., Mexal, J.G. & Burr, K.E. 2008. Seedling cold hardiness, bud set, and bud break in nine provenances of Pinus greggii Engelm. *Forest Ecology and Management*, 255: 3672-3676. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.054

Buckley, L.B. & Kingsolver, J.G. 2021. Evolution of thermal sensitivity in changing and variable climates. Annual Review of Ecology. *Evolution, and Systematics*, 52(1): 563-586. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011521-102856

de Sauvage, J.C., Vitasse, Y., Meier, M., Delzon, S. & Bigler, C. 2022. Temperature rather than individual growing period length determines radial growth of sessile oak in the Pyrenees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 317: 108885. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108885

Fu, Y.H., Piao, S., Zhao, H., Jeong, S.J., Wang, X., Vitasse, Y., Ciais, P. & Janssens, I.A. 2014. Unexpected role of winter precipitation in determining heat requirement for spring vegetation green-up at northern middle and high latitudes. *Global change biology*, 20(12): 3743-3755. https://doi.org/10.1111/gcb.12610

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

Homayounfar, S., Zolfaghari, R., Cavender-Bares, J. & Fayyaz, P. 2024. Autumn cold acclimation and freezing tolerance of three oak species in semi-Mediterranean Zagros forests. *Forest Systems*, 33(2): e06-e06. https://doi.org/10.5424/fs/2024332-20865

Inouye, D.W. 2000. The ecological and evolutionary significance of frost in the context of climate change. *Ecology letters*, 3(5): 457-463. https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00165.x

Khanhasani, M., Sagheb-Talebi, K., Akhavan, R. & Vardanyan, J. 2015. The effect of environmental factors on distribution of three oak species (Q. brantii Lindl., Q. libani Oliv. and Q. infectoria Oliv.) in northern Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(3): 549-561. [In Persian]

Levitt, J. 1980. Responses of plant to environmental stress. Vol. 1: chilling, freezing and high temperature stress. *Academic Press, New York*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-445501-6.50016-6

Ma, Q., Huang, J.G., Hänninen, H. & Berninger, F. 2019. Divergent trends in the risk of spring frost damage to trees in Europe with recent warming. *Global change biology*, 25(1): 351-360. https://doi.org/10.1111/gcb.14479

Morin, X., Améglio, T., Ahas, R., Kurz-Besson, C., Lanta, V., Lebourgeois, F., Miglietta, F. and Chuine, I. 2007. Variation in cold hardiness and carbohydrate concentration from dormancy induction to bud burst among provenances of three European oak species. Tree Physiology, 27(6): 817-825. https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.817

Muffler, L., Beierkuhnlein, C., Aas, G., Jentsch, A., Schweiger, A. H., Zohner, C. & Kreyling, J. 2016. Distribution ranges and spring phenology explain late frost sensitivity in 170 woody plants from the Northern Hemisphere. *Global Ecology and Biogeography*, 25(9): 1061-1071. https://doi.org/10.1111/geb.12466

Nichols, J.O., 1968. Oak mortality in Pennsylvania: a ten-year study. *Journal of Forestry*, 66(9): 681-694. https://doi.org/10.1093/jof/66.9.681

Pagter, M. & Arora, R. 2013. Winter survival and deacclimation of perennials under warming climate: physiological perspectives. *Physiologia Plantarum*, 147: 75-87. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01650.x

Rigling, A. & Wohlgemuth, T. 2019. Contrasting resistance and resilience to extreme drought and late spring frost in five major European tree species. *Global Change Biology*, 25(11): 3781-3792. https://doi.org/10.1111/gcb.14803

Rotzer ,T. & Chmielewski, F.M. 2001. Phenological maps of Europe. *Climate Research*, 18: 249-257. https://doi.org/10.3354/cr018249

Taiz, L., Zieger, E., Moller, I.M. & Murphy, A. 2015. Plant Physiology and Development 6th ed. *Sinauer Assosiates*, Inc. Pub. USA.

Vander Mijnsbrugge, K. & Moreels, S. 2020. Varying Levels of Genetic Control and Phenotypic Plasticity in Timing of Bud Burst, Flower Opening, Leaf Senescence and Leaf Fall in Two Common Gardens of Prunus padus L. *Forests*, 11(10): 1070. https://doi.org/10.3390/f11101070

Vitasse, Y., Bottero, A., Cailleret, M., Bigler, C., Fonti, P., Gessler, A., Lévesque, M., Rohner, B., Weber, P., Vitasse, Y., Schneider, L., Rixen, C., Christen, D. & Rebetez, M. 2018. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]

higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and forest meteorology*, 248: 60-69. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.09.005

Vitasse, Y., Bresson, C. C., Kremer, A., Michalet, R. & Delzon, S. 2010. Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional ecology*, 24(6): 1211-1218. https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01748.x

Vitasse, Y., Delzon, S., Bresson, C.C., Michalet, R. & Kremer, A. 2009b. Altitudinal differentiation in growth and phenology among populations of temperate-zone tree species growing in a common garden. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(7): 1259-1269. https://doi.org/10.1139/X09-054

Vitasse, Y., Delzon, S., Dufrêne, E., Pontailler, J. Y., Louvet, J. M., Kremer, A. & Michalet, R. 2009a. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and forest meteorology*, 149(5): 735-744. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.10.019

Vitasse, Y., Lenz, A., Hoch, G., & Körner, C. 2014. Earlier leaf-out rather than difference in freezing resistance puts juvenile trees at greater risk of damage than adult trees. *Journal of Ecology*, 102(4): 981-988. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12251

Vitra, A., Lenz, A. & Vitasse, Y. 2017. Frost hardening and dehardening potential in temperate trees from winter to budburst. *New Phytologist*, 216(1): 113-123. https://doi.org/10.1111/nph.14698

Wenden, B., Mariadassou, M., Chmielewski, F. M. & Vitasse, Y. 2020. Shifts in the temperature-sensitive periods for spring phenology in European beech and pedunculate oak clones across latitudes and over recent decades. *Global change biology*, 26(3): 1808-1819. https://doi.org/10.1111/gcb.14918

Zeps, M., Jansons, Ā., Matisons, R., Stenvall, N. & Pulkkinen, P. 2017. Growth and cold hardening of European aspen seedlings in response to an altered temperature and soil moisture regime. *Agricultural and Forest Meteorology*, 242: 47-54. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.04.015

Zuccarini, P., Delpierre, N., Mariën, B., Peñuelas, J., Heinecke, T. & Campioli, M. 2023. Drivers and dynamics of foliar senescence in temperate deciduous forest trees at their southern limit of distribution in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 342: 109716. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109716

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-09-16]