



## پاسخ آناتومیکی بافت چوبی شاخه بادام کوهی (*Amygdalus orientalis* Mill.) به چرای دام در جنگل‌های نیمه خشک زاگرس، ایلام

زینب موسی<sup>۱</sup>، فروغ سهیلی<sup>۲</sup>، رضا اولادی<sup>۳</sup> و حمیدرضا ناجی<sup>۴\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم زیستی جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکترا رشته علوم زیستی جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدهگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۷)

### چکیده

**مقدمه:** جنگل‌ها به‌عنوان ارزشمندترین نوع پوشش گیاهی کارکرد بسیار مؤثری در تعادل طبیعت و فرایندهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارند. جنگل‌های زاگرس در طی ده‌ها سال به صورت‌های مختلف همواره با تعرض و تخریب مواجه بوده‌اند و این روند تخریب روزبه‌روز گسترش می‌یابد. چرای بی‌رویه دام از مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان به جنگل‌هاست که سبب کاهش زادآوری، فشردگی خاک و کاهش تنوع زیستی و توان تولیدی جنگل‌ها می‌شود. با توجه به حضور دام به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب در جنگل‌های زاگرس، پژوهش و شناخت روابط متقابل اجزای اکوسیستم (به‌ویژه رابطه دام و گیاه) ابزاری مهم برای مدیریت صحیح این جنگل‌ها محسوب می‌شود. دانش آناتومی و تغییر در عناصر سلول‌های چوبی موضوعی مهم در درک دفاع درختان در برابر عوامل آسیب‌رسان محیطی است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنش چرای دام بر ویژگی‌های آناتومیکی چوب گونه بادام کوهی (*Amygdalus orientalis* Mill.) در جنگل‌های استان ایلام انجام گرفت. نتایج این پژوهش کمک می‌کند تا دانش پایه‌ای درباره تغییرات در ساختار چوب در سطح سلولی و نیز راهبرد سازگاری درختان علیه تنش چرای دام افزایش یابد.

**مواد و روش‌ها:** در دو منطقه جنگلی اطراف شهر ایلام که به‌طور مستمر در معرض چرای دام ساکنان روستاهای اطراف قرار دارد، از سرشاخه‌های چراشده پایین و در دسترس دام و شاخه‌های بالاتر و چراشده دور از دسترس دام از شش پایه درختچه بادام کوهی به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام گرفت. تمام نمونه‌های سرشاخه چراشده و سالم از یک طرف درخت برداشته شدند. برای بررسی ساختار سلولی، سرشاخه‌ها به قطعات کوچک ۵×۵ میلی‌متری تقسیم شدند. عملیات آزمایشگاهی وابری، تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی و رنگ‌آمیزی نمونه‌های چوبی انجام گرفت. سپس نمونه‌ها با استفاده از دوربین مجهز به نرم‌افزار عکس‌برداری شدند. ویژگی‌های آناتومیکی چوب همچون طول فیبر، ضخامت دیواره فیبر، تعداد آوندها، قطر آوندهای بهاره، مساحت آوندهای بهاره، تعداد سلول‌های پارانشیم محوری، تعداد اشعه‌های چوبی، تعداد کریستال، تعداد تیل و پهنای دواير سالیانه با میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها به‌طور منظم برای اطمینان از دقت و با تکرار زیاد انجام گرفت. **نتایج:** نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنادار چرای دام بر بیشتر ویژگی‌های آناتومیکی چوب سرشاخه درخت بادام کوهی بود، به‌طوری‌که ویژگی‌های طول فیبر، قطر آوندهای بهاره، مساحت آوندهای بهاره، تعداد سلول‌های پارانشیم و اشعه چوبی کاهش یافتند. بیشترین کاهش در ویژگی‌های آوند و پارانشیم وجود داشت. ضخامت دیواره فیبر، تعداد آوند، تعداد تیل و کریستال افزایش نشان دادند. سری زمانی عملکرد رویشی در پنج سال اخیر حاکی از کاهش پهنای دواير سالیانه در سرشاخه‌های چراشده نسبت به چراشده بود. پهنای دواير سالیانه در نمونه‌های چوبی چراشده حدود ۳۷ درصد کمتر از نمونه‌های سالم بود؛ به‌طوری‌که میانگین پهنای دواير سالیانه در پنج سال گذشته در نمونه‌های چراشده ۳۵۴ میکرون و در نمونه‌های سالم ۵۶۸ میکرون بود نتایج نشان داد که بین بیشتر صفات آناتومیکی چوب همبستگی مثبت وجود دارد.

**نتیجه‌گیری:** می‌توان نتیجه گرفت که تنش چرای دام در طول تشکیل چوب موجب تغییرات ساختاری و در نتیجه تغییر در فرم و معماری گیاه می‌شود و کاهش سلامت، عملکرد و تولید درختان را در پی خواهد داشت. این نتایج در ارائه راهکارهای کاربردی به‌منظور پیشگیری از اثرهای چرای دام بر درختان در جنگلکاری‌های اقتصادی نیز مؤثر خواهد بود؛ چنانکه می‌توان به کمک آنها تصمیم‌های مناسبی برای حفاظت و حمایت از جنگل‌ها اتخاذ کرد.

**واژه‌های کلیدی:** تنش چرای دام، ویژگی‌های سلولی چوب، درختچه بادام، حفاظت از جنگل، جنگل‌های زاگرس.

## مقدمه

دانش آناتومی چوب و تغییرات در عناصر سلولی به‌ویژه در آوندهای چوبی ثانویه، موضوعی مهم در درک چگونگی دفاع درختان در برابر عوامل آسیب‌رسان محیطی محسوب می‌شود (Sturrock et al., 2011). ایجاد بافت‌های ثانویه در ساقه چوب فرایندی زیستی است که تحت تأثیر فیزیولوژی درخت و عوامل محیطی مختلف قرار می‌گیرد. این عوامل بر رشد ثانویه درختان تأثیر می‌گذارند و با تغییر سلول‌های چوبی و ساختار حلقه‌های رویشی خود را نشان می‌دهند (Scarpella & Meijer, 2004). هر یک از اجزای سلول‌های چوبی به تنش‌های محیطی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. بنابراین، هر قسمت از سلول می‌تواند به‌عنوان نماینده‌ای مناسب برای پژوهش‌های آناتومیکی و بررسی ساختار چوب عمل کند. در بسیاری از گیاهان چوبی، تولید سالانه چوب تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار دارد. برای مثال، حلقه‌های سالانه درختان در مناطق معتدل، به‌دلیل قرار گرفتن در شرایط محیطی مطلوب نسبت به محیط‌های دارای عوامل تنش‌زا، پهن‌ترند (Arnold & Mauseth, 1999). تغییرات آب‌وهوایی، رشد و رویش حلقه‌های سالانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌طوری که افزایش دما موجب تغییر سلول‌های چوبی خواهد شد (Lautner, 2013). براساس پژوهش‌های انجام‌گرفته در خصوص تأثیر گرمایش جهانی بر رشد درختان، طول دوره رشد و شروع و پایان فعالیت لایه زاینده به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Saderi et al., 2013; Oladi et al., 2017; Mousavisangdehi et al., 2024). فصل رشد کوتاه سبب ایجاد حلقه‌های رشد باریک و کم‌تراکم می‌شود، درحالی که شرایط آب‌وهوایی گرم، ایجاد حلقه‌های رشد پهن با چوب‌پایان متراکم را در پی خواهد داشت (D'Arrigo et al., 1992). در پژوهش Alina et al. (2017) آلاینده‌های جوی ناشی از صنایع و دود ناشی از تردد خودروها بر کیفیت رویش و ویژگی‌های سلولی چوب درخت نونل نروژی (*Picea abies* (L.) Karst.) تأثیرگذار بوده و تغییرات سلولی و کاهش رشد عرضی درخت را در پی داشته است. آلودگی هوا به کاهش شدید رشد قطری

جنگل سامانه‌ای پویا و همواره در حال تحول بوده و از پیچیده‌ترین اکوسیستم‌های موجود در طبیعت محسوب می‌شود که تنوع ژنتیکی، گیاهی و جانوری زیادی دارد. این اکوسیستم در برابر هر تغییری واکنش نشان می‌دهد و براساس آن به‌تدریج روندی مثبت یا منفی را در طول زمان طی خواهد کرد (Sagheb Talebi, 2017). ناحیه جنگلی زاگرس به‌دلیل وسعت، پراکنش، تنوع گونه‌ای و محصولات فرعی، از مهم‌ترین منابع زیستی و ذخایر ژنتیکی ایران محسوب می‌شود که همواره تأثیر مهمی در زندگی مردم این منطقه داشته است. این ناحیه بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین کانون دامپروری در ایران نیز به‌شمار می‌آید (Jazirehi & Ebrahimi, 2003). استفاده از چوب به‌عنوان سوخت، چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری‌های غیراصولی و گسترش آفات و بیماری‌های درختان جنگلی و در نهایت وقوع آتش‌سوزی‌ها همراه با تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، سبب تغییرات اساسی در این جنگل‌ها شده است (Mohammadpour et al., 2018; Zafarian Rigaki et al., 2023; Teimouri et al., 2023; Kartoolinejad et al., 2025). در این میان، چرای دام که به‌دلیل ورود تعداد زیاد دام‌های این منطقه به عرصه‌های جنگلی و مدت حضور بیش از حد معمول صورت می‌گیرد، سبب تخریب اندام‌های هوایی و زمینی گیاه می‌شود و متابولیسم گیاه را مختل می‌کند (Leonard et al., 2024). بررسی تأثیر چرای دام بر گیاه *Ceanothus* نشان داده است که چرای طولانی‌مدت، تراکم آوندها، هدایت هیدرولیکی و مقدار برون‌چوب ساقه را کاهش می‌دهد. کاهش مقادیر برون‌چوب با کاهش سطح برگ برای ساقه‌های چراشده مشاهده شد، به‌طوری که چرای برگ سبب ایجاد شاخ و برگ متراکم با اندازه برگ و سطح کل برگ کمتر شد. برگ‌های کوچک‌تر، سطح موجود برای تبادل گاز را کاهش می‌دهند و ظرفیت جذب کربن نسبت به برگ‌های سالم و بزرگ‌تر را کم می‌کنند (Pittermann et al., 2014).

چرای دام به‌طور کلی سبب کاهش ظرفیت آوند چوبی می‌شود. در گونه‌ای از بلوط در آمریکا (*Quercus californica* (Torr.) J.G.Cooper) تراکم آوندهای چوبی و آبکش در شاخه‌های چراشده توسط گوزن‌ها، کمتر از شاخه‌های سالم همان درخت دور از دسترس گوزن‌ها بود. این نتیجه مستندی از فشار چرا در کاهش سطح برگ است که سبب کاهش جریان آب و مواد غذایی در آوندها می‌شود (Leonard et al., 2024).

امروزه با افزایش تخریب جنگل‌ها و مراتع و نیاز به حفاظت از عرصه‌های طبیعی، باید عوامل زنده و غیرزنده آسیب‌رسان به این منابع بالارزش شناسایی و بررسی شوند. عوامل مختلفی در آشفتگی‌های جنگل‌ها مؤثرند، اما حضور دام و چرای بیش از حد، یکی از دلایل اصلی روند نزولی وضعیت جنگل‌ها و مراتع محسوب می‌شود. با توجه به پراکندگی گونه بادام کوهی با نام علمی *Amygdalus orientalis* (نام علمی مترادف این گونه *Prunus argentea* (Lam.) Rehder) و اهمیت این گونه به‌دلیل جایگاه بوم‌شناختی و نیز خوش‌خوراک بودن برای دام در جنگل‌های زاگرس و همچنین نبود پژوهش‌های میکروسکوپی درباره تأثیر چرای دام بر ویژگی‌های آناتومیکی چوب، بررسی‌های اکوفیزیولوژیک در این زمینه ضرورت دارد. پژوهش حاضر برای رسیدن به اهداف زیر انجام گرفت:

- ۱- شناخت تأثیر چرای دام بر رویش سالیانه درختان با بررسی پهنای دواير سالیانه؛
- ۲- مستندسازی تأثیر چرای دام بر ویژگی‌های آناتومیکی چوب گونه بادام (*A. orientalis*) به‌ویژه سیستم آوندی.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه پژوهش

برای اجرای این تحقیق، بعد از جنگل‌گردشی و بررسی مناطق مختلف در شهرستان ایلام و کمک کارشناسان و دامداران بومی، دو منطقه جنگلی دره

گیاه و تغییر نسبت چوب به‌اره به چوب تابستانه منجر شده است. کاهش ابعاد حفره سلولی، ضخامت دیواره سلول و تعداد سلول‌های تراکئیدی در دواير سالیانه از تأثیرهای مهم آلودگی بر رویش درخت نوئل در رویشگاه‌های آسیب‌دیده است. گردوغبار می‌تواند بر پهنای حلقه‌های رویشی در ساقه تأثیر داشته باشد. بررسی‌های Naji & Taher pour (2019) درباره تأثیر تنش گردوغبار بر ساختار چوب نهال‌های بلوط ایرانی حاکی از کاهش پهنای حلقه‌های رویشی سالیانه و تغییر در تعداد و قطر آوندهاست؛ این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر بازدارنده گردوغبار بر ساختار و تشکیل چوب است. کاهش پهنای حلقه رویش و نیز کاهش قطر و مساحت آوندهای ناقل مواد غذایی از تغییرات آناتومیکی است که بر اثر زوال در چوب تنه درخت بلوط ایرانی مشاهده می‌شود (Najafi Harsini et al., 2022). همچنین بسیاری از آوندهای نزدیک پوست درخت مسدود شده‌اند (به‌علت تیل) و کارایی خود را به‌عنوان ناقل از دست داده‌اند. پژوهش‌ها نشان داده است که حلقه‌های رویشی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در اثر خشکسالی‌های طولانی‌مدت، نسبت به حلقه‌های تشکیل‌شده در سال‌های قبل با شرایط مناسب، باریک‌تر شدند. بررسی تأثیر گل‌زنی بر رویش شعاعی درختان بلوط ویول (*Quercus libani* G.Olivier) نشان داد که میانگین پهنای حلقه رویش سالیانه نسبت به تنش گل‌زنی به‌طور معناداری کمتر از درختان گل‌زنی‌نشده بود (Abedini et al., 2010) همچنین، پژوهش‌های میکروسکوپی نشان‌دهنده افزایش تعداد تیل در حلقه‌های رویشی متأثر از تنش خشکسالی است (Soheili et al., 2021). بررسی تغییرات در ویژگی‌های آوند و هدایت هیدرولیکی درختان بلوط ایرانی متأثر از پدیده خشکیدگی نشان داد که درختان پژمرده‌تر، دارای باریک‌ترین پهنای حلقه‌های سالانه هستند. افزون‌بر این، کاهش اندازه و تراکم آوندها در درختان بلوط آسیب‌دیده به‌وضوح مشاهده شد (Najafi Harsini et al., 2018; Tongo et al., 2020).

انتخاب شدند. در هر پایه شاخه‌های زنده چوبی نزدیک سطح زمین که در دسترس دام هستند، نمونه‌برداری شدند. نمونه‌برداری از شاخه‌هایی انجام گرفت که در زیرشاخه‌های خارمانند مخفی بودند و پوست سالم داشتند و آثار زخم در آنها مشاهده نشد. نمونه‌های سالم از شاخه‌های بالاتر که دور از دسترس دام بودند تهیه شدند (Leonard et al., 2024). نمونه‌ها بلافاصله بعد از برداشت به آزمایشگاه منتقل و برای نگهداری طولانی‌مدت در محلول FAA (فرمالدئید: الکل اتانول ۹۵ درصد: اسید استیک به نسبت ۱۰ درصد، ۵۰ درصد، ۵ درصد + ۳۵ درصد آب دوبار تقطیرشده) قرار داده شدند (Ruzin, 1999).

ارغوان و چغاسبز ایلام که تحت چرای همیشگی دام روستاهای اطراف بودند، با شرایط بوم‌شناختی به نسبت یکسان انتخاب شدند (شکل ۱). شکل ۲ تصویری از درختچه بادام کوهی را نشان می‌دهد که شاخه‌های پایین توسط دام چریده شده‌اند. یک پلات یک‌هکتاری انتخاب و موقعیت مکانی توده‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد. شرایط آب‌وهوایی در جدول ۱ آمده است. نقاط مشخص شده در جدول زیر بیانگر مرکز پلات است.

### شیوه اجرای پژوهش

#### تهیه نمونه‌های چوبی

در هر منطقه نمونه‌برداری، سه درختچه بادام کوهی (*A. orientalis*) در جهت شیب غالب و به‌طور تصادفی

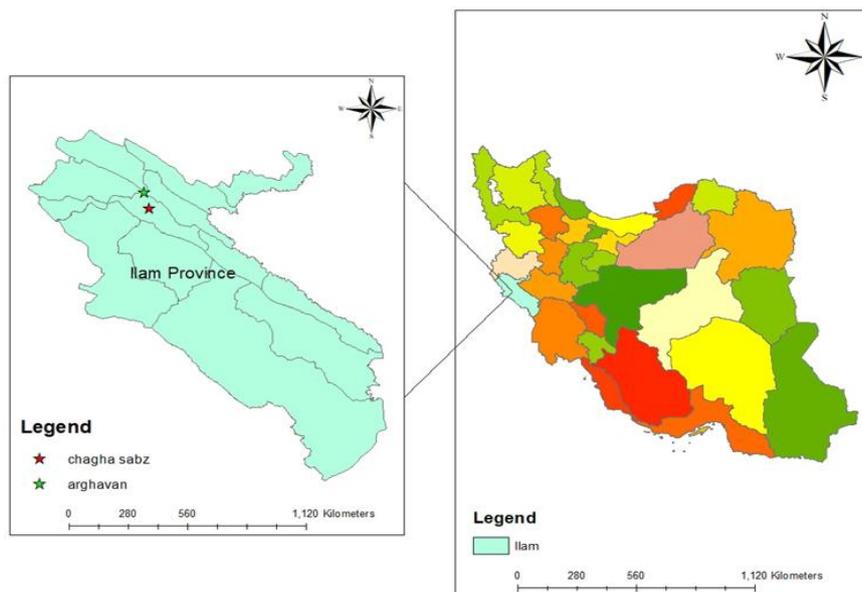
جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و شرایط آب‌وهوایی سالیانه رویشگاه‌های بررسی شده

Table 1. Geographical characteristics and annual climatic conditions of the studied areas

میانگین بارش (mm) MP*	میانگین دما (c°) MT*	ارتفاع از سطح دریا (m) Height above sea level	طول جغرافیایی (UTM) Altitude	عرض جغرافیایی (UTM) Latitude	شهرستان The County	منطقه Sampling site
571.8	17.8	2008	639600	3721228	ایلام (Ilam)	ارغوان Argavan
571.8	17.8	1810	5205679	3984376	ایلام (Ilam)	چغاسبز Choga-Sabz

اطلاعات دما و بارش از ایستگاه هواشناسی ایلام طی یک دوره ۲۵ ساله (۱۴۰۱-۱۳۷۷) اتخاذ شده است

\*MT: Mean Temperature; MP: Mean Precipitation



شکل ۱- موقعیت مناطق تحت بررسی روی نقشه ایلام (دو ستاره رنگی)

Figure 1. Location of the study areas on the map of Ilam (two colored stars)



شکل ۲- درختچه بادام کوهی، شاخه‌های قسمت پایین توسط دام چریده شدند و شاخه‌های بالا از دسترس دام در امان ماندند  
Figure 2. *Amygdalus orientalis* shrub. The lower branches were browsed by livestock, while the upper branches were kept safe from the livestock

۲۴ ساعت در این مخلوط و حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون بن‌ماری قرار داده شدند. بعد از گذشت این مدت، نمونه‌ها نرم می‌شوند و قابلیت برش‌برداری پیدا می‌کنند. برای برش‌برداری و تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از دستگاه برش‌بردار (میکروتوم دوار مدل POOYAN MK 1110) استفاده شد. بدین منظور، برش‌هایی با ضخامت ۲۰-۱۵ میکرومتر در جهت عرضی از نمونه‌های چوب شاخه چراشده و سالم تهیه و به پتری‌دیش‌های حاوی آب مقطر منتقل شد. بعد از پایان مرحله برش‌برداری و تهیه برش‌های مناسب، رنگ‌آمیزی آنها صورت گرفت.

#### رنگ‌آمیزی مقاطع میکروسکوپی

مقاطع عرضی برش داده‌شده به مدت ۵ دقیقه به محلول ۱۰ درصد هیپوکلیت سدیم منتقل شدند تا کاملاً سفید شوند. مقاطع با محلول ۱ درصد سافرانین O رنگ‌آمیزی و برای حذف رنگ اضافه به مدت تقریبی ۵ دقیقه با آب مقطر شست‌وشو داده شده و سپس در سری محلول اتانول ۶۰ درصد، ۷۰ درصد، ۸۵ درصد، ۹۵ درصد و مطلق (۱۰۰ درصد) به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شدند. برای تهیه اسلایدهای دائمی، مقاطع قبل از بررسی در زیر میکروسکوپ (Olympus ch2) با استفاده از چسب کانادا بالزام روی اسلایدها چسبانده شدند (Camargo & Marengo, 2011). عکس‌برداری از مقاطع با استفاده از دوربین

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های بیومتری الیاف چوبی

برای تهیه نمونه‌های بیومتری، تراشه‌هایی به طول ۲-۳ سانتی‌متر از ناحیه چوبی نزدیک به پوست تهیه شد و سپس تراشه‌ها در محلول اسید نیتریک (۵۰ درصد) در لوله آزمایش ریخته شدند. محتوای تراشه و محلول به مدت ۲ ساعت در حمام آب گرم (بن‌ماری مدل TEB FAN Co) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن، لوله‌های محتوی تراشه از بن‌ماری خارج و با آب مقطر شست‌وشو داده شد. نمونه‌های شسته‌شده در آب مقطر غوطه‌ور شد و با تکان دادن آرام آن، الیاف جدا شدند. پس از جداسازی کامل، یک قطره رنگ سفرائین درون لوله آزمایش ریخته شد و رنگ‌آمیزی الیاف صورت گرفت (Mahesh et al., 2015). اندازه‌گیری طول فیبر ( $\mu\text{m}$ ) با عدسی شیئی ۱۰ و ضخامت دیواره و حفره فیبر ( $\mu\text{m}$ ) با عدسی شیئی ۴۰ انجام گرفت. تحقیق درباره ۵۰ شمارش از هر ویژگی انجام گرفت.

#### تهیه نمونه‌های ویژه مقاطع میکروسکوپی

شاخه‌های درختان تحت بررسی با قطر حدود ۵ میلی‌متر، با کمک قیچی باغبانی تیز به قطعات کوچک حدود  $0/5 \times 0/5 \times 0/5$  سانتی‌متری شامل ۸-۵ حلقه رویشی تبدیل شدند. برای تیمار اولیه نمونه‌های چوبی از مخلوط گلیسرین، اتانول، آب به نسبت مساوی (۱:۱:۱) استفاده شد. نمونه‌های چوبی به مدت

## نتایج

### تأثیر چرای دام بر ویژگی‌های آناتومی چوب گونه بادام کوهی

نتایج آزمون تی در اندازه‌گیری ویژگی‌های آناتومی چوب بادام کوهی در موقعیت چراشده نسبت به چراننشده تفاوت معناداری در همه متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان داد؛ به طوری که طول فیبر (FL)، مساحت آوند (EVA)، تعداد سلول‌های پارانشیم محوری (NPC) و تعداد اشعه RN در گونه بادام کوهی چراشده نسبت به سالم در سطح  $p < 0.01$  و میانگین قطر شعاعی و مماسی آوند DEV در سطح  $p < 0.05$  کاهش یافت. همچنین کاهش هر کدام از متغیرها به ترتیب ۱۳/۱۸، ۴۷/۲۶، ۴۴/۹۸، ۲۰/۸ و ۳۳/۵۳ درصد بود. این در حالی است که در نمونه‌های چراشده، ضخامت دیواره الیاف (FWT)، تعداد آوند (NV)، تعداد کریستال (NC) و تیل (NT) در سطح  $p < 0.05$  نسبت به گونه سالم افزایش پیدا کرد. افزایش ضخامت دیواره الیاف، تعداد آوند، تعداد کریستال و تعداد تیل در گونه چراشده نسبت به سالم به ترتیب ۲۰/۶۵، ۱۸/۹۶، ۳۵/۲۹ و ۴۲/۹۱ درصد بود (جدول ۲).

دیجیتال و مجهز به نرم‌افزار True chrome metrics, (China) انجام گرفت. در نهایت، پهنای دواير سالیانه (برحسب میکرون)، تعداد آوند ( $\text{mm}^{-1}$ )، قطر آوندها ( $\mu\text{m}$ )، مساحت آوند ( $\text{mm}^2$ )، تعداد پارانشیم در واحد سطح ( $\text{mm}^{-1}$ )، تعداد اشعه چوبی در واحد سطح ( $\text{mm}^{-1}$ )، تعداد تیل ( $\text{mm}^{-1}$ ) و تعداد کریستال (بلور) ( $\text{mm}^{-1}$ ) تعیین شد و به تشریح و تفسیر تغییرات ساختار سلولی پرداخته شد. تمام ویژگی‌ها در میدانی به مساحت ۱ میلی متر مربع و برای هر ویژگی ۵۰ شمارش اندازه‌گیری شدند.

## روش تحلیل

نرمال بودن و همگنی داده‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون‌های شاپیرو-ویلک و لون ارزیابی شد. آزمون تی مستقل نمونه‌ای برای تعیین تفاوت در خواص چوب در میان شاخه سالم و تحت چرا در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. به منظور تعیین متغیرهای اثرگذار در جداسازی گروه‌ها به گروه‌های چراشده/چراننشده از آنالیز PCA (تجزیه به مؤلفه‌های اصلی) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

جدول ۲- میانگین تفاوت در ویژگی‌های آناتومیکی چوب بادام کوهی ( $\pm$  SD) بین درختان چراشده/نشده براساس آزمون t-student  
Table 2. Mean difference in different anatomical *Amygdalus orientalis* wood features ( $\pm$  SD) between browsed and unbrowsed trees based on Student's t-test

Condition	ویژگی‌های آناتومیکی چوب بادام کوهی Anatomical Features of <i>Amygdalus orientalis</i>									
	تعداد تیل NT ( $\text{mm}^{-2}$ )	تعداد کریستال NC ( $\text{mm}^{-2}$ )	تعداد اشعه RN ( $\text{mm}^{-1}$ )	تعداد سلول‌های پارانشیم محوری NPC ( $\text{mm}^{-2}$ )	مساحت آوند EVA ( $\mu\text{m}^2$ )	ضخامت آوند DEV ( $\mu\text{m}$ )	تعداد آوند NV ( $\text{mm}^{-2}$ )	ضخامت دیواره فیبر FWT ( $\mu\text{m}$ )	طول فیبر FL ( $\mu\text{m}$ )	
Browsed	3.43±0.50**	6.90±0.88**	3.96±0.76**	6.80±1.06**	6726.6±1711.8**	34.65±6.49*	6.90±2.16*	4.03±1.08*	697.7±173.7*	
Unbrowsed	2.40±0.49**	5.10±0.75**	5.00±0.78**	12.36±2.31**	12754.5±524.3**	52.13±10.81*	5.80±1.79*	3.34±1.16*	803.7±143.0**	

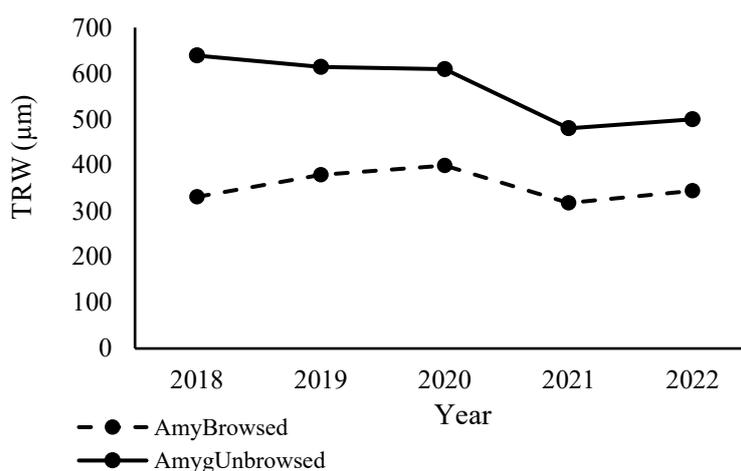
FL، طول فیبر؛ FWT، ضخامت دیواره فیبر؛ NPC، تعداد سلول‌های پارانشیم محوری؛ RN، تعداد اشعه؛ NC، تعداد کریستال؛ DEV، ضخامت آوند؛ EVA،

مساحت آوند؛ NV، تعداد آوند؛ NT، تعداد تیل؛ \* اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۵؛ \*\* اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۰/۰۱؛ ns معنادار نبودن  
FL, fiber length; FWT, fiber wall thickness; NPC, number of axial parenchyma cells; RN, ray number; NC, number of crystals; DEV, vessel thickness; EVA, vessel area; NV, vessel number; NT, number of tyloses; \* Statistically significant difference at the 0.05 level; \*\* Statistically significant difference at the 0.01 level; ns, non-significance

## مقایسه پهنای حلقه درخت

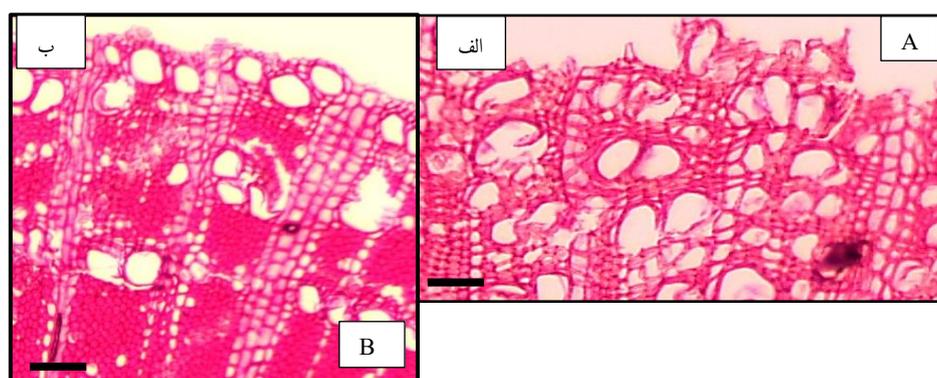
اختلاف پهنای حلقه‌های رویشی سالانه در درخت بادام کوهی چراشده/نشده معنادار است ( $p < 0.01$ )؛ به طوری که تنش چرا روی پهنای دواير سالیانه اثر کاهشی در مقایسه با شاخه‌های چراننده و سالم داشته‌اند. میانگین پنج سال گذشته پهنای دواير سالیانه در شاخه‌های چراشده ۳۵۴ میکرومتر و در شاخه‌های

سالم ۵۶۸ میکرومتر بود. میانگین کاهش پهنای حلقه‌های رویشی سالانه در طی پنج سال پژوهش در شاخه‌های بادام چراشده نسبت به شاخه‌های سالم ۳۷/۷ درصد بود. شکل‌های ۳ و ۴ روند و میزان تغییرات در پهنای دواير سالیانه در نمونه شاخه بادام چراشده و سالم را به وضوح نمایش می‌دهد.



شکل ۳- سری زمانی پهنای حلقه رویشی سالانه شاخه درخت بادام کوهی در موقعیت چراشده و چراننده در طی پنج سال ۱۳۹۷-۱۴۰۱

Figure 3. Time series of annual growth ring width of an *Amygdalus orientalis* branch in browsed and unbrowsed conditions during five years 2018-2022



شکل ۴- روند تغییرات پهنای دواير سالیانه در دو موقعیت چراشده (الف) و چراننده (ب) در گونه بادام کوهی. اندازه خطوط مقیاس روی شکل ۷۵ میکرون

Figure 4. Changing trend in annual ring width in two browsed (A) and unbrowsed (B) conditions. The scale bars were provided on the figures

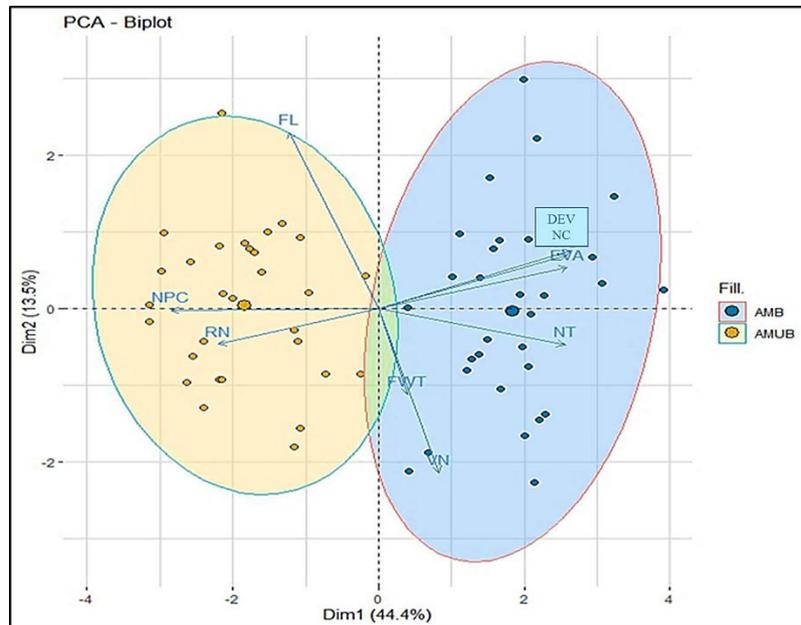
## آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مجموع واریانس داده‌ها را تبیین می‌کنند. براساس آنالیز PCA، نمونه‌های چراشده و چراننده بادام کوهی از نظر همه پارامترهای تحت بررسی از یکدیگر تفکیک شدند. بر این اساس، نمونه بادام چراشده در

بررسی تغییرات ویژگی‌های چوب بادام کوهی در رابطه با نمونه‌های چراشده و چراننده نشان داد که محورهای اول و دوم به ترتیب ۴/۴ و ۵/۱۳ درصد از

پارامترها در نمونه بادام چراشده بیشتر بود. در حالی که نمونه‌های بادام چراننده در سمت چپ محور دو با پارامترهای FL، NPC و RN همبستگی مثبت نشان دادند (شکل ۵).

جهت مثبت (راست) PC1 و نمونه بادام چراننده در جهت منفی PC1 توزیع شده‌اند. نمونه‌های چراشده با پارامترهای DEV، EVA، NC، NT، FWT و NV همبستگی مثبت دارند. به عبارت دیگر، میزان این



شکل ۵- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) ویژگی‌های آناتومیکی چوب درخت بادام کوهی در موقعیت‌های چراشده و چراننده. FL، طول فیبر؛ FWT، ضخامت دیواره فیبر؛ NPC، تعداد سلول‌های پارانشیم محوری؛ RN، تعداد اشعه؛ NC، تعداد کریستال؛ DEV، ضخامت آوند؛ EVA، مساحت آوند؛ NV، تعداد آوند؛ NT، تعداد تیل. ● : چراشده؛ ● : چراننده

Figure 5. Principal component analysis (PCA) of wood characteristics for *Amygdalus orientalis* in browsed and unbrowsed conditions. FL, fiber length; FWT, fiber wall thickness; NPC, number of axial parenchyma cells; RN, number of rays; NC, number of crystals; DEV, vessel thickness; EVA, vessel area; NV, number of vessels; NT, number of tillers. ● : Browsed; ● : Unbrowsed

زیادی قرار می‌گیرد و دیواره سلول‌های فیبر مجاور به‌طور فزاینده‌ای ضخیم می‌شود تا از انفجار و متلاشی شدن آوندهای تحت تنش جلوگیری کند (Bass et al., 2004). این کاهش همچنین ممکن است به دلیل تغییر الگوهای رشد ناشی از تغییر در تخصیص انرژی به سازوکارهای دفاعی (مثل ضخیم شدن دیواره سلولی یا افزایش تولید لیگنین) به جای کشیدگی الیاف باشد. با این حال، باید در نظر داشت که تأثیر تنش‌های مختلف محیطی بر طول فیبرهای پهن‌برگان، بسته به نوع تنش یا گونه مد نظر ممکن است متفاوت باشد (Oladi et al., 2018; Yavarian et al., 2021).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ویژگی‌های آوند

## بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که چرای دام بر ویژگی‌های بیومتری الیاف چوبی از جمله طول و دیواره فیبر تأثیر معنی‌دار دارد. درختانی که تحت چرای دام قرار گرفته بودند، فیبرهای کوتاه‌تر و دیواره‌های ضخیم‌تری از درختان چراننده داشتند. به‌طور معمول، طول فیبر به‌صورت مستقیم متأثر از تنش‌های محیطی است (Pandey et al., 2018). دیواره سلولی جزء انعطاف‌پذیر اجزای سلول گیاهی است که می‌تواند برای مقابله بهتر با اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی واکنش نشان دهد و تغییر یابد (Gaffal & Mohnen, 2009). در شرایط تنش محیطی، آوند چوبی تحت تأثیر فشار

دام بر میانگین تعداد اشعه‌های چوبی در بادام چراشده کمتر از بادام چرا نشده بود. این پژوهش با یافته‌های Safdari et al. (2012) درباره تأثیر آلودگی هوا بر ویژگی‌های آناتومی اشعه چوب (عرضی) گونه کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) مغایرت داشت. یافته‌ها نشان‌دهنده افزایش تعداد اشعه‌های چوبی در گونه‌های تحت تنش بود؛ چراکه افزایش تعداد اشعه و مجاری صمغی نوعی واکنش تدافعی درختان در مقابل آلاینده‌های هوا به شمار می‌آید.

براساس پژوهش حاضر، اثر تنش چرا بر تعداد کریستال‌ها در گونه بادام کوهی چشمگیر بود، به طوری که در گونه بادام چرا شده تعداد کریستال‌ها افزایش پیدا کرد. اندازه، تعداد و نحوه پراکنش کریستال‌ها می‌تواند به شدت تنش چرا و نیز اندازه موجود گیاهخوار یا مهاجم بستگی داشته باشد که احتمالاً عامل اصلی تعیین‌کننده اثر کریستال‌ها در گیاهان در دفع گیاهخواران و دفاع از خود است (Hudgins et al., 2003). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Soheili et al. (2021) درباره تأثیر تنش خشکسالی بر فراوانی کریستال در برون چوب بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) مطابقت داشت.

در این پژوهش مشاهده شد که با افزایش تعداد آوندها در بادام کوهی، تعداد تیل‌ها افزایش می‌یابد. تشکیل تیل یکی از دلایل اصلی انسداد آوندهاست که از جریان شیره خام جلوگیری می‌کند. چرای شاخه‌های درختان سبب تشکیل تیل به‌منزله نوعی پاسخ دفاعی درخت می‌شود تا از دست دادن آب و خطر ورود پاتوژن‌ها را مهار کند. تیل‌ها با مسدود کردن آوندهای آسیب‌دیده، به‌ویژه در آوندهای چوبی بزرگ‌تر که خطر بیشتری دارند، از گسترش پاتوژن‌ها و از دست رفتن آب در ناحیه آسیب‌دیده جلوگیری می‌کنند (Zhao et al., 2017; Leśniewska et al., 2014). شدت تشکیل تیل بسته به گونه متفاوت است، به طوری که گونه‌های بخش روزنه‌ای که آوندهای بزرگ‌تری دارند، به‌طور معمول پاسخ قوی‌تری نشان می‌دهند. تیل در

چوبی گونه‌های چرا شده و سالم متفاوت است. در خصوص تعداد آوندها در هر دو موقعیت چرا شده و چرا نشده تفاوت معنادار و چشمگیری در تعداد، قطر و مساحت آوندها مشاهده شد. این مشاهدات ممکن است به تغییرات محیطی یا تفاوت‌های فیزیولوژیکی وابسته باشد. در حلقه‌های رویشی گونه‌های بخش روزنه‌ای (حلقه-متخلخل) بادام کوهی چرا شده، تعداد آوندها افزایش و قطر و مساحت آنها کاهش یافته است. به‌طور معمول در این نوع درختان، رابطه معکوسی بین تعداد و اندازه آوندها مشاهده می‌شود. از این‌رو، این درختان با توجه به شرایط محیطی بهینه، هدایت هیدرولیکی خود را افزایش می‌دهند تا عملکرد بهتری در انتقال مواد داشته باشند (Soheili et al., 2021; Oladi et al., 2014). در درختان متأثر از افزایش تنش‌های محیطی، قطر آوندهای چوب اولیه و در نتیجه، هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد (Levanič et al., 2011). با این حال، درختان در تلاش برای جبران مشکل کاهش آب، ممکن است تعداد آوندها را افزایش دهند (Nabeshima et al., 2015). کاهش ابعاد آوندها و افزایش تعداد آنها تحت تنش‌های محیطی گوناگون در پژوهش‌های دیگر روی گونه‌های بومی ایران (Oladi et al., 2014; Yavarian et al., 2021; Najafi-Harsini et al., 2018; 2022) و خارج از ایران (Steppe et al., 2007) نیز گزارش شده است.

براساس نتایج حاصل، تعداد سلول‌های پارانشیمی طولی در گونه بادام چرا شده کاهش یافت. نتایج با یافته‌های Von Arx et al. (2015) مطابق داشت. آنها دریافتند که فراوانی سلول‌های پارانشیمی در بافت چوب ممکن است منعکس‌کننده افزایش توانایی درخت در برابر تنش وارد شده و همراه با انتقال بیشتر مواد مغذی در درخت جهت تقویت آن باشد. همچنین نشان داده شده است که تعداد اشعه چوبی در واحد سطح را می‌توان یک ویژگی آناتومی مفید چوب برای بررسی تأثیر شرایط محیطی بر فیزیولوژی درخت در نظر گرفت (Moghadamshoar et al., 2024). تأثیر چرای

آناتومی چوب شاه‌بلوط اروپایی Najafi Harsini et al. (2018), (*Castanea sativa* Mill.) و Soheili et al. (2021) در زمینه تأثیر خشکسالی و زوال بر مرگ درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

حضور دام و چرای بیش از ظرفیت، از عوامل اصلی نابودی جنگل‌ها و مراتع به شمار می‌آید. دام‌ها با سرشاخه‌خواری درختان موجب کاهش رویش درختان و درختچه‌ها، از بین رفتن اندام‌های هوایی و زمینی گیاه و ایجاد خار، تیغ و ریشک به‌منظور مقابله با چرا می‌شوند. نتایج حاصل با فرضیه‌های ارائه‌شده همخوانی داشتند؛ به‌طوری که تأثیر چرای دام بر بیشتر ویژگی‌های آناتومیکی چوب (طول فیبر، ضخامت دیواره فیبر، تعداد آوند، قطر آوندهای بهاره، مساحت آوندهای بهاره، تعداد سلول‌های پارانشیم، تعداد اشعه، تعداد کریستال، تعداد تیل و پهنای حلقه‌های درخت) مشهود بود. شاخه‌های چراشده انرژی خود را بیشتر صرف تقویت ساختارهای دفاعی بافت چوبی می‌کنند و از این‌رو نرخ رشد و برخی دیگر از ویژگی‌های آناتومیکی تحلیل می‌رود. نتایج نشان داد که افزون‌بر عوامل محیطی و ژنتیکی، چرای دام می‌تواند با تأثیرگذاری بر فیزیولوژی درختان، سبب تغییرات ساختاری بافت چوبی و کاهش سلامت و عملکرد آنها شود.

کوتاه‌مدت برای محافظت مفید است، اما تشکیل بیش از حد آن در درختان با چرای مکرر می‌تواند به مرور زمان کارایی انتقال آب را کاهش دهد و با محدود کردن هدایت هیدرولیکی در شاخه‌های چراشده، رشد و شادابی درخت را تحت تأثیر قرار دهد. تکرار بیش از حد این فرایند، می‌تواند دلیل اصلی از بین رفتن گیاه باشد. نتایج حاصل با یافته‌های Torkaman et al. (2014) در خصوص تشکیل تیل در گونه‌های درختی خانواده نارون متأثر از بیماری مرگ هلندی همخوانی داشت.

کاهش عرض حلقه‌های رویشی در گونه بادام کوهی چراشده به‌وضوح مشهود است. چرای گیاهخواران می‌تواند رشد شعاعی را کاهش دهد، زیرا درختان به ترمیم زخم‌ها و دفاع اولویت می‌دهند. کاهش رشد ممکن است خود بر توزیع انواع مختلف سلول درون چوب تأثیر بگذارد. کاهش پهنای حلقه‌های رویشی می‌تواند همسو با این فرضیه باشد که تشکیل چوب تحت کنترل هورمون به‌ویژه اکسین است و ایجاد اختلال در تولید و انتشار اکسین نیز ممکن است بر تولید و تکثیر سلول‌های زیاده‌زا در کامبیوم تأثیر منفی داشته باشد و عملکرد آن را مختل کند (Aloni & Zimmermann, 1983). از این‌رو، کاهش رشد قطری درختان، از مهم‌ترین واکنش‌های درختان به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود. این نتایج با یافته‌های Asshoff (1999) درباره تأثیر نوعی پروانه برگ‌خوار بر رشد شعاعی و

### Reference

- Abedini, R., Pourtahmasi, K., Ghazanfari, H. & Karimi, A.N. (2010). Effect of severe lopping on radial growth of Lebanon Oak (*Quercus libani* Oliv.) trees in Baneh adjacent forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(4), 568-556. (In Persian)
- Alina, S., Aleš, Z., & Monika, V. (2017). Influence of Air Pollution and Extreme Frost on Wood Cell Parameters at Mountain Spruce Stands (*Picea abies* (L.) Karst.) In the Ore Mountains. *Wood Research*, 62 (1), 79-90.
- Arnold, D.H., & Mauseth, J.D. (1999). Effect of environment factors on development of wood. *American Journal of Botany*, 86(3), 367-371.
- Aloni, R., & Zimmermann, M.H. (1983). The control of vessel size and density along the plant axis, a new hypothesis. *Differentiation*, 24(1-3), 203-208.

- Asshoff, R., Schweingruber, F.H., & Wermelinger, B. (1999). Influence of a Gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) outbreak on radial growth and wood anatomy of Spanish Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Ticino (Switzerland). *Dendrochronologica*, 16-17, 133-145.
- Bass, P., Ewers, F.W., Davis, S.D., & Wheeler, E.A. (2004). *The evolution of xylem physiology*. In *The Evolution of Plant Physiology*; Hemsley, A.R., Poole, I., Eds.; Academic Press: London, UK. 273–295.
- Camargo, M.A.B., & Marengo, R.A. (2011). Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. *Acta Amazonica*, 41, 205–212. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000200004>.
- D'Arrigo, R.D., Jacoby, G.C., & Rosemary M. (1992). Tree-ring width and maximum latewood density at the North American tree line: parameters of climatic change. *Canadian Journal of Forest Research*, 22(9), 1290–1296. <https://doi.org/10.1139/x92-17>.
- Gaffal, K.H., & Mohnen, D. (2009). The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydrate Research*, 344, 1879–1900. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.05.021>.
- Hudgins, J.W., Krekling, T., & Franceschi, V.R. (2003). Distribution of Calcium Oxalate Crystals in the Secondary Phloem of Conifers: A Constitutive Defense Mechanism? *New Phytologist Journal*, 159, 677-690. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00839.x>.
- Jazirehi, M.H., Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagors*. University of Tehran Press, 508 pp. (In Persian).
- Kartoolinejad, D., Ravanbakhsh, H., Fadaei, Z., Moshki, A., & Nikouee, E. (2024). Infection of juniper trees (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) to juniper dwarf mistletoe (*Arceuthobium oxycedri* (D.C.) M. Bieb.) in forests of Miankouh Tash protected area, Shahroud. *Iranian Journal of Forest*, 15(4), 497-514. doi: 10.22034/ijf.2023.363540.1894. (In Persian)
- Lautner, S. (2013). Wood formation under drought stress and salinity. In: Cellular Aspects of Wood Formation, Plant Cell Monographs. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 187-202.
- Leonard, H.E., Ciabrone, M., & Pittermann, J. (2024). Species-specific responses drive browsing impacts on physiological and functional traits in *Quercus agrifolia* and *Umbellularia californica*. *PLoS ONE*, 19 (7), e0287160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287160>.
- Levanič, T., Čater, M., & McDowell, N.G. (2011). Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*. 31(2011), pp. 298-308, 10.1093/treephys/tpq111.
- Leśniewska, J., Öhman, D., Krzesłowska, M., Kushwah, S., Barciszewska-Pacak, M., Kleczkowski, L. A., Sundberg, B., Moritz, T., & Mellerowicz, E.J. (2017). Defense responses in aspen with altered pectin methylesterase activity reveal the hormonal inducers of tyloses. *Plant physiology*, 173(2), 1409-1419. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01443>.
- Mahesh, S., Kumar, P., & Ansari, S.A. (2015). A rapid and economical method for the maceration of wood fibers in *Boswellia serrata* Roxb. *Tropical Plant Research*, 2(2), 108-111.
- Moghadamshoar, S., Oladi, R., Pourtahmasi, K., & Emaminasab, M. (2024). The effect of climatic factors on the radial growth and vascular characteristics of *Paulownia fortunei* (Case Study: Hashemabad, Golestan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(3), 232-248. doi:10.22092/ijfpr.2024.365184.2151. (In Persian).
- Mohammadpour, M., Tatian, M.R., Tamartash, R., & Hosseinzadeh, J. (2018). Investigating the effects of grazing intensity on the structure and diversity of woody species in the Ilam Strait Dalab forest. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 26(3), 306-318. doi: 10.22092/ijfpr.2018.117735. (In Persian).

- Mousavisangdehi, A., Oladi, R., Pourtahmasi, K., Etemad, V., Koprowski, M., & Tumajer, J. (2024). Higher temperatures promote intra-annual radial growth of Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in the humid Hyrcanian forests. *Trees*, 38, 1569-1580. <https://doi.org/10.1007/s00468-024-02574-x>.
- Nabeshima, E., Kubo, T., Yasue, K., Hiura, T., & Funada, R. (2015). Changes in radial growth of earlywood in *Quercus crispula* between 1970 and 2004 reflect climate change. *Trees*, 29, 1273-1281. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1206-3>.
- Najafi-Harsini, F., Oladi, R., Pourtahmasi, K., Souto-Herrero, M., & García-González, I. (2022). Using tree-ring width and earlywood vessel features to study the decline of *Quercus brantii* Lindl in Zagros forests of Iran. *European Journal of Forest Research*, 141(3), 379-393. <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01450-y>. (In Persian)
- Najafi Harsini, F., Oladi, R., & Pourtahmasi, K. (2018). The mutual relationship between earlywood vessel features of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) and tree mortality. *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 167-179. (In Persian).
- Naji, H.R., Taher Pour, M. (2019). The effect of simulated dust storm on wood development and leaf stomata in *Quercus brantii* L. *Desert*, 24 (1), 43-49. <https://doi.org/10.22059/JDESERT.2019.72435>.
- Oladi, R., Elzami, E., Pourtahmasi, K., & Bräuning, A. (2017). Weather factors controlling growth of Oriental beech are on the turn over the growing season. *European Journal of Forest Research*, 136(2), 345-356. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1036-5>
- Oladi, R., Heidari, L., Bagheri, R., & Pourtahmasi, K. (2018). Effect of different irrigation regimes on wood anatomical features and fiber biometry of two elite poplars. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(2), 153-164. <https://doi.org/10.22069/JWFST.2018.15169.1754> (In Persian).
- Oladi, R., Bräuning, A., & Pourtahmasi, K. (2014). “Plastic” and “static” behavior of vessel-anatomical features in Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in view of xylem hydraulic conductivity. *Trees*, 28, 493-502. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0966-x>.
- Pandey, S., Carrer, M., Castagneri, D., & Petit, G. (2018). Xylem anatomical responses to climate variability in Himalayan birch trees at one of the world’s highest forest limit. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 33, 34-41. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2018.05.004>.
- Pittermann, J., Lance, J., Poster, L., Baer, A., & Fox, L.R. (2014). Heavy browsing affects the hydraulic capacity of *Ceanothus rigidus* (Rhamnaceae). *Oecologia*, 175(3), 801-10. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-2947-1>.
- Ruzin, S.E. (1999). *Plant Micro-technique and Microscopy*; Oxford University Press: New York, NY, USA, , 336p.
- Saderi, S.M., Pourtahmasi, K., Oladi, R., & Rathgeber, C.B.K. (2013). Wood formation in *Juniperus excelsa* sp. *polycarpus* in the high mountains of north-east Iran. *Journal of Tropical Forest Science*, 25(3), 421-428.
- Safdari, V.R., Ahmed, M., Devall, M.S., & Bayramzadeh, V. (2012). Effects of Air Pollution On Morphological and Anatomical Characteristics of *Pinus eldarica* Wood. *FUUAJST Journal of Biology*, 2 (2), 5-12.
- Sagheb Talebi, K. (2017). Close to nature silviculture; Views and goals. *Iran Nature*, 2(1), 9-6. <https://doi.org/10.22092/irn.2017.109531>
- Scarpella, E., & Meijer, A.H. (2004). Pattern formation in the vascular system of monocot and dicot plant species, *New Phytologist*, 164, 209-245. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01191.x>.
- Soheili, F., Woodward, S., Almasi, I., Abdul-Hamid, H., & Naji, H.R. (2021). Variations in Wood Density, Annual Ring Width and Vessel Properties of *Quercus brantii* Affected by Crown Dieback. *Forests*, 12(5), 642. <https://doi.org/10.3390/f12050642>.

- Steppe, K., & Lemeur, R. (2007). Effects of ring-porous and diffuse-porous stem wood anatomy on the hydraulic parameters used in a water flow and storage model. *Tree Physiology*, 27, 43–52. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.1.43>.
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Worrall, J.J., & Woods, A.J. (2011). Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60, 133-149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>.
- Teimouri, M., Alizadeh, T., Iranmanesh, Y., Sadgezdeh Hallaj, M., & Pourhashemi, M. (2023). Evaluation of changes in the chemical and biological soil properties of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests in the Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(1), 14-26. doi: 10.22092/ijfpr.2023.360374.2075. (In Persian)
- Tongo, A., Jalilvand, H., Hosseininasr, M., & Naji H.R. (2020). Variation in Anatomical Properties and Hydraulic Conductivity of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) Trees Affected by Dieback. *Ecopersia*, 8(2), 117-124.
- Torkaman, J., Ghodskhah Daryae, M., & Zolghadry, S. (2014). The Role of Xylem Vessel Size and Ray Traits in Dutch Elm Disease Frequency in Ulmaceae. *Forest and Wood Products*, 67(3), 453-462. doi: 10.22059/jfwp.2014.52089. (In Persian).
- Von Arx, G., Arzac, A., Olano, J.M., & Fonti, P. (2015). Assessing Conifer Ray Parenchyma for Ecological Studies: Pitfalls and Guidelines. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01016>.
- Yavarian, H., Oladi, R., Sadeghzadeh Hallaj, M., & Pourtahmasi, K. (2021). Comparing growth rate, wood fiber biometry, and adaptability of different tamarisk (*Tamarix aphylla* L.) populations planted in Garmsar. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 36(1), 26-39. doi: 10.22092/ijwpr.2021.351954.1637. (In Persian).
- Zafarian Rigaki, I., Soltani, A., & Jafari, A. (2023). The effect of some anthropogenic disturbances on the structure of oak forests in the Central Zagros. *Iranian Journal of Forest*, 15(3), 361-376. doi: 10.22034/ijf.2023.360913.1890. (In Persian)
- Zhao, X.H., Liu, L.Y., Nan, L.J., Wang, H., & Li, H. (2014). Development of tyloses in the xylem vessels of Meili grapevine and their effect on water transportation. *Russian journal of plant physiology*, 61, 194-203. <https://doi.org/10.1134/S1021443714020198>.



## Anatomy of Branch Wood of *Amygdalus orientalis* Mill.: Responses to Livestock Browsing in the Zagros Semi-Arid Forest (Ilam)

Z. Mousa<sup>1</sup>, F. Soheili<sup>2</sup>, Reza Oladi<sup>4</sup>, and H.R. Naji<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>MSc. in Forest Ecology, Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, I. R. Iran.

<sup>2</sup>Ph.D. in Forest Biological Sciences, Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, I. R. Iran.

<sup>3</sup>Associate Prof., Department of Wood Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

<sup>4</sup>Associate Prof., Dept. of Forest Sciences, Ilam University, Ilam, I. R. Iran.

(Received: 05 March 2025; Accepted: 17 June 2025)

### Abstract

**Introduction:** Forests represent the most valuable form of vegetation, playing a crucial role in maintaining ecological balance and driving economic, social, and environmental processes. The Zagros forests have faced persistent degradation over decades. This ongoing process of destruction continues to escalate. One of the primary drivers of this degradation is overbrowsing by livestock, which not only inhibits forest regeneration but also leads to soil compaction, reduced biodiversity, and diminished production capacity of these forests. Given the critical role of livestock as a major contributor to the deterioration of the Zagros forests, understanding the intricate relationships between ecosystem components—particularly the dynamic interactions between livestock and plant communities—is essential for developing effective management strategies. In this context, investigating changes in wood anatomy provides insights into the defense mechanisms employed by trees against damaging factors. This study focuses on the impact of livestock browsing stress on the anatomical characteristics of the wood of *Amygdalus orientalis* (mountain almond), in the forests of Ilam province, Iran. By examining alterations in wood cell elements under grazing pressure, this research aims to enhance our fundamental understanding of cellular-level structural changes and elucidate the adaptive strategies utilized by trees to withstand such stressors.

**Materials and Methods:** In this study, two forested areas surrounding the city of Ilam, which are continuously subjected to browsing by livestock from nearby villages, were selected for sampling. Sampling was conducted on both accessible lower branches that had been browsed by animals and higher, out-of-reach branches that remained unbrowsed. Six randomly selected almond shrubs were used as sampling units. All samples of browsed and unbrowsed twigs were collected from one side of each shrub to minimize variability. The branches were then cut into small 5 × 5 mm fragments for cellular structure analysis. Laboratory procedures were maceration of the samples, preparation of thin microscopic sections, and staining of the wood specimens. Subsequently, the samples were photographed using a camera equipped with imaging software. Various anatomical features of the wood were measured using a light microscope, including fiber length, fiber wall thickness, vessel density, early vessel diameter, early vessel area, number of axial parenchyma cells, number of wood rays, crystal frequency, tyloses frequency, and annual ring width. These measurements were conducted systematically to ensure accuracy and repeatability.

**Results:** The results a significant of livestock on the most wood anatomical characteristics. Specifically, the length of fibers, early vessel diameter, early vessel area, number of axial parenchyma cells, and number of wood rays were observed to decrease. The highest decrease was in vessel and paranchyma characteristics. Fiber wall thickness, number of vessel, crystal frequency, and tyloses frequency showed an increase. The time series over the past five years revealed a reduction in the width of annual growth rings in browsed trees compared to unbrowsed ones. The width of annual growth rings in browed wood samples was about 37% less than in unbrowsed samples, so that the average width of annual rings in the last five years in browsed samples was 354 microns and in unbrowsed samples was 568 microns. These findings highlight the profound impact of browsing on the anatomical structure.

**Conclusion:** It can be concluded that livestock browsing induces structural changes during wood formation, leading to alterations in plant form and architecture, ultimately resulting in reduced health, performance, and productivity of trees. Furthermore, these findings can inform practical solutions aimed at mitigating the impacts of browsing on trees in economic silviculture practices. Such insights can also support the development of appropriate strategies for the protection and conservation of forest ecosystems, ensuring their sustainability and resilience.

**Keywords:** Almond shrub, Forest conservation, Livestock browsing Stress, Wood cellular characteristics, Zagros forests.