



نقش مدیریتی خشک‌دارها در ذخیره کربن زیست‌بوم جنگلی زاگرس در راستای توسعه پایدار

علی سروآزاد^{۱*}، اصغر فلاح^۲، علی اصغر واحدی^۳

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: a.sarvazad@areeo.ac.ir | کد ارکید: 0009-0001-7141-9541
۲- استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳

چکیده

جنگل‌های زاگرس از جمله بوم‌سازگان‌های طبیعی کشور هستند که با توجه به گستره وسیع خود، نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کنند. زی‌توده‌های روی‌زمینی و زیرزمینی، لاشبرگ، خاک و خشک‌دارها پنج حوضچه کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی هستند که می‌توان از طریق آن‌ها موجودی کربن بوم‌سازگان جنگل را پایش کرد. از این‌رو، ارزیابی و بررسی نقش حوضچه‌های کربن در میزان ذخیره کربن بوم‌سازگان جنگلی زاگرس می‌تواند ارزش این بوم‌سازگان حیاتی را ملموس کند. در همین راستا میزان ذخیره کربن خشک‌دارها (سرپا و افتاده) و همچنین اثرگذاری آن‌ها بر روی میزان ذخیره کربن آلی خاک در رویشگاه جنگلی قلاجه کرمانشاه بررسی شد. نتایج نشان داد که خشک‌دارها، به‌عنوان یکی از حوضچه‌های ذخیره کربن مقدار قابل‌توجهی از کربن را در خود ذخیره کرده‌اند و حضور خشک‌دارها، باعث تأثیرگذاری مثبت روی میزان ذخیره کربن آلی خاک در منطقه مورد پژوهش شده‌اند. به‌طوری‌که، میزان ذخیره کربن در خاک زیر خشک‌دارهای افتاده (۲۲۹/۲۸ تن در هکتار) بیشتر از ناحیه فضای باز (۶۲/۷۱ تن در هکتار) بوده است. این نشان‌دهنده آن است که خشک‌دارها نه تنها خود مخزن کربن هستند، بلکه به‌عنوان یک حوضچه ارتقا عمل کرده و ذخیره کربن خاک را نیز افزایش می‌دهند. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌گردد که حداقل ۴۰ درصد از خشک‌دارها به‌صورت سرپا در عرصه‌ی جنگلی حفظ شوند و مابقی نیز به‌صورت افتاده و با پراکنش مناسب در سطح کف جنگل رها شوند.

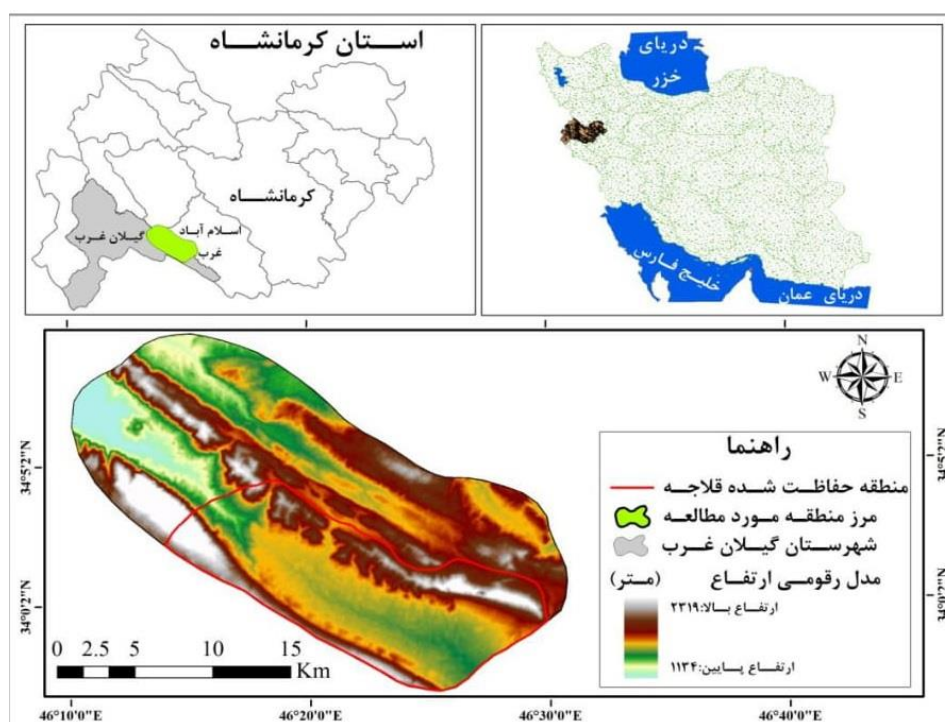
واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، جنگل‌های زاگرس، کربن آلی خاک، مدیریت پایدار جنگل.

بیان مسئله

در عصر حاضر پیامدهای بوم‌شناختی تغییرات اقلیم و گرمایش زمین از بزرگ‌ترین معضلات جوامع بشری محسوب می‌شود. بر اساس مدل‌های سیستمی اقلیمی، افزایش کربن اتمسفری در بین همه عوامل، مهم‌ترین عامل ایجاد این رویداد چالش‌زاست. در این میان بوم‌سازگان‌های جنگلی نقش حیاتی را در چرخه کربن در زیست‌بوم‌های زمینی بر عهده دارند. زی‌توده‌های روی‌زمینی و زیرزمینی، لاشبرگ، خاک و خشک‌دارها پنج حوضچه کربن در بوم‌سازگان‌های زمینی هستند که برای گزارش آثار تغییرات

اقلیمی در چارچوب معاهده‌های سازمان ملل باید موجودی کربن آن‌ها محاسبه شوند تا از طریق آن‌ها موجودی کربن بوم‌سازگان جنگل را پایش کرد (Kimberly et al., 2019). بررسی تغییرات میزان ذخیره کربن در اجزای مختلف زیست‌بوم‌های جنگلی می‌تواند راهکارهای تازه‌ای را در جهت مدیریت بهینه جنگل در راستای توسعه پایدار و حفظ اصول زیست‌محیطی پیش‌رو ارائه دهد (مریدی و همکاران، ۱۳۹۴). جنگل‌های زاگرس از جمله بوم‌سازگان‌های طبیعی کشور هستند که با توجه به گستره وسیع خود، نقش مهمی در چرخه کربن ایفا می‌کنند (Haidari et al., 2025). این جنگل‌ها با پوشش غالب بلوط ایرانی، نقش حیاتی را در چرخه کربن منطقه‌ای و تعدیل اقلیم ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر، پدیده خشکیدگی و زوال درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) به معضلی جدی در جنگل‌های زاگرس تبدیل شده است. عواملی مانند خشک‌سالی‌های پی‌درپی، پدیده گرد و غبار، هجوم آفات و بیماری‌ها (از جمله قارچ‌های بیماری‌زا و سوسک‌های چوب‌خوار) و مدیریت نامناسب انسانی (چرای مفرط، برداشت بی‌رویه و دخالت‌های نابجا)، موجبات ضعف تدریجی و مرگ درختان را فراهم کرده است. پیامد این رویداد، افزایش چشم‌گیر حجم خشک‌دارها در سطح عرصه‌های جنگلی است. این وضعیت، مدیران و بهره‌برداران منابع طبیعی را با یک پرسش اساسی مواجه ساخته است:

آیا خشک‌دارها یک سرمایه‌ی طبیعی ارزشمند برای ترسیب کربن محسوب می‌شوند و باید از آن‌ها حفاظت کرد، یا منبعی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای و تهدیدی برای تشدید آتش‌سوزی هستند؟



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه استان کرمانشاه و شهرستان گیلان غرب

پاسخ به این پرسش نیازمند درک جامعی از فرآیندهای بوم‌شناختی حاکم بر تجزیه خشک‌دارها و نقش آن‌ها در چرخه کربن و پایداری بوم‌سازگان است. از این‌رو، ارزیابی و بررسی نقش حوضچه‌های کربن در میزان ذخیره کربن بوم‌سازگان جنگلی زاگرس می‌تواند ارزش این بوم‌سازگان حیاتی کشور را ملموس کند. در همین راستا میزان ذخیره کربن خشک‌دارها (سرپا و افتاده) و همچنین اثرگذاری آن‌ها بر روی میزان ذخیره کربن آلی خاک (شکل ۳) به‌عنوان یکی از حوضچه‌های کربن در رویشگاه جنگلی قلاجه استان کرمانشاه بررسی شد (شکل‌های ۱ و ۲).



ب



الف

شکل ۲- نمای منطقه حفاظت شده قلاجه (الف) و جنگل‌های قلاجه در استان کرمانشاه (ب) (عکس از علی سروآزاد)



ب



الف

شکل ۳- (الف) نمای خشک‌دار سرپا و (ب) خشک‌دار افتاده (عکس از علی سروآزاد)

بنابراین، با توجه به اهمیت و حساسیت موضوع تغییر اقلیم و گرمایش جهانی و نقش منحصربه‌فرد زیست‌بوم‌های جنگلی در کنترل این معضل جهانی، ارزیابی و مدیریت ذخیره کربن حوضچه‌های کربن بوم‌سازگان‌های جنگلی ضروری است، به‌طوری‌که می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مدیریتی در حفاظت، احیا و توسعه این ذخایر ارزشمند طبیعی موردتوجه قرار گیرد و سیر قهقراپی و تخریب جنگل را مهار کند.

دستاوردها

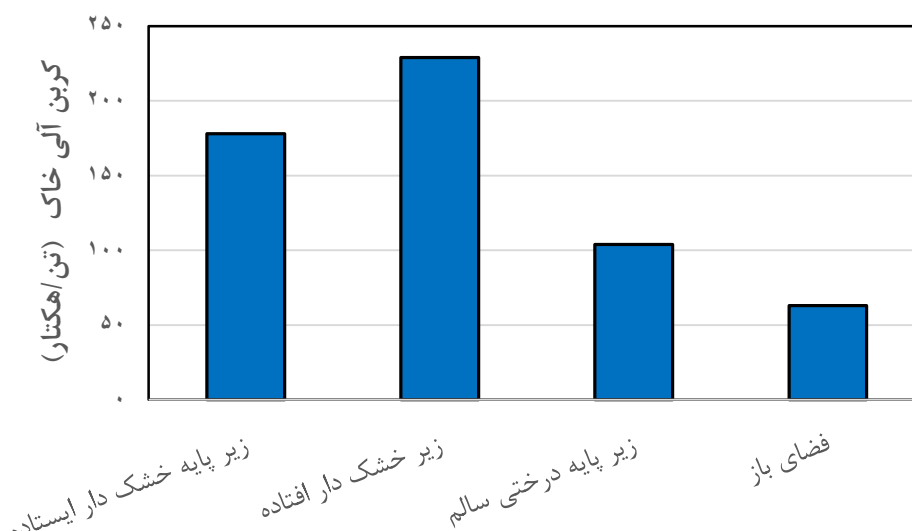
با توجه به دامنه ارتفاعی رویشگاه جنگلی فلاج (۲۱۰۰ - ۱۴۰۰ متر از سطح دریا)، منطقه مورد پژوهش به هفت طبقه ارتفاعی با فاصله هر طبقه از یکدیگر ۱۰۰ متر تقسیم‌بندی شد. برای بررسی میزان ذخیره کربن خشک‌دارهای سرپا و افتاده در طبقات ارتفاعی و همچنین اثرگذاری آن‌ها بر روی میزان ذخیره کربن آلی خاک در هر طبقه ارتفاعی، قطعات نمونه‌ای با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ مترمربع به‌طور تصادفی با سه تکرار پیاده‌سازی شدند. در هر قطعه نمونه، اندازه‌گیری‌های کمی (قطر و ارتفاع) در راستای هدف پژوهش در رابطه با خشک‌دارهای سرپا انجام گرفت. در درختان تک‌پایه قطر برابر سینه و ارتفاع و در جست‌گروه‌ها برای این‌که میانگین وزنی قطر مشخص شود، با استفاده از متغیر قطر در ارتفاع نیم‌متر جست‌ها، متغیر جدیدی به نام قطر در ارتفاع نیم‌متر جست‌گروه‌ها (ریشه مجموع مجذور قطر در ارتفاع نیم‌متر تمام جست‌های هر جست‌گروه) محاسبه شد. همچنین در پایه‌های شاخه‌زاد برای محاسبه ارتفاع، ارتفاع چهار جست در هر جست‌گروه شامل بلندترین، قطورترین و نزدیک‌ترین جست به مرکز جست‌گروه در جهت شمالی و نزدیک‌ترین جست به مرکز جست‌گروه در جهت جنوبی اندازه‌گیری شد (پوره‌اشمی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در رابطه با خشک‌دارهای افتاده، خط‌نمونه‌ها (ترانسکت با طول ثابت) به‌طور موازی و با فاصله مناسب از یکدیگر (تعداد ۱۰ خط نمونه با طول ۱۰۰ متر و با فاصله ۱۰ متر از یکدیگر)، جهت بررسی و اندازه‌گیری‌های لازم (قطر میانی) که قطر آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی دو سانتی‌متر پیاده شدند. پس از تعیین چگالی خشک‌نمونه‌ها، مقدار زی‌توده از حاصل‌ضرب حجم خشک‌دار در چگالی خشک محاسبه شد. اندازه‌گیری مقدار ضریب کربن محاسباتی بر اساس روش احتراق در کوره‌های الکتریکی تعیین شد. در نهایت ذخیره کربن از حاصل‌ضرب زی‌توده در ضریب کربن محاسباتی به دست آمد. سپس در هر قطعه نمونه به‌منظور بررسی اثر خشک‌دارها بر کربن آلی خاک، نمونه‌برداری خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در چهار موقعیت مجزا شامل زیر خشک‌دار سرپا، زیر قسمت میانی خشک‌دار افتاده، زیر پایه درختی سالم و فضای باز (عاری از پوشش درختی) انجام شد. پس از انتقال به آزمایشگاه میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکلی و بلک (Walkley & Black) محاسبه شد. دستاوردهای حاصل از پژوهش نشان داد که خشک‌دارها (سرپا و افتاده)، به‌عنوان یکی از حوضچه‌های ذخیره کربن مقدار قابل توجهی از کربن را در خود ذخیره کرده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- ذخیره کربن خشک‌دارهای سرپا و افتاده در راستای گرادیان ارتفاعی در منطقه مورد پژوهش

طبقات ارتفاع (متر)	ذخیره کربن (تن در هکتار)	
	خشک‌دار سرپا	خشک‌دار افتاده
۱۴۰۰-۱۵۰۰	۱۲/۲	۱۷
۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۱/۰۳	۱۵/۳۵
۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱۰/۱	۱۴/۳۳
۱۷۰۰-۱۸۰۰	۹/۵	۱۳/۳۳
۱۸۰۰-۱۹۰۰	۸/۳	۱۲
۱۹۰۰-۲۰۰۰	۷	۱۰/۶۶
۲۰۰۰-۲۱۰۰	۶/۰۴	۹/۶۸

نکته مهم اینکه حضور خشک‌دارها، باعث تأثیرگذاری مثبت روی میزان ذخیره کربن آلی خاک در منطقه مورد پژوهش شده‌اند. به‌طوری‌که، میزان ذخیره کربن در خاک زیر خشک‌دارهای افتاده (۲۲۹/۲۸ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری بیشتر از ناحیه فضای باز (۶۲/۷۱ تن در هکتار) بوده است. این ارقام گویای آن است که خشک‌دارها نه تنها خود مخزن کربن هستند، بلکه به‌عنوان یک

حوضچه ارتقا عمل کرده و ذخیره کربن خاک را نیز افزایش می‌دهند. به‌طوری‌که میزان کربن آلی خاک در قسمت‌هایی که خشک‌دار سرپا و افتاده وجود داشت، نسبت به نواحی فضای باز و پایه‌های سالم بیشتر بود (شکل ۴).



شکل ۴- ذخیره کربن خاک در محل‌های مختلف نمونه‌برداری در منطقه مورد پژوهش

بررسی‌های علمی گسترده در عرصه‌های جنگلی زاگرس و سایر نقاط جهان نشان می‌دهد که خشک‌دارها باعث ذخیره‌سازی بلندمدت کربن می‌شوند. در زیست‌بوم جنگلی زاگرس چوب بلوط ایرانی به دلیل چگالی بالا و دارا بودن ترکیبات لیگنین و سلولزی مقاوم، در برابر تجزیه و پوسیدگی از مقاومت نسبی بالایی برخوردار است. این ویژگی موجب می‌شود که کربن ذخیره شده در تنه و شاخه‌های درختان خشکیده برای دهه‌ها تا سده‌ها در جنگل باقی بماند. از دیگر نقش‌های مهم بوم‌شناختی خشک‌دارها، مشارکت در برگشت مواد آلی به خاک و افزایش ذخیره کربن آن است. در یک بوم‌سازگان جنگلی سالم، تجزیه تدریجی خشک‌دارها توسط طیف گسترده‌ای از موجودات زنده، از قارچ‌های ماکروسکوپی و حشرات چوب‌خوار، ضمن آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، موجب افزایش غنا و تنوع زیستی می‌شود. حضور خشک‌دارها، فراوانی و تنوع جوامع میکروبی خاک (شامل باکتری‌ها و قارچ‌های تجزیه‌کننده) را افزایش می‌دهد که این امر به نوبه خود بر چرخه عناصر و پویایی کربن تأثیر مثبت می‌گذارد. همان‌طور که نتایج پژوهش نشان داد، ذخیره کربن خاک در زیر خشک‌دارهای افتاده به‌طور میانگین ۲۲۹/۲۸ تن در هکتار بوده است که در مقایسه با فضای باز (۶۲/۷۱ تن در هکتار) بیش از سه برابر است. این تفاوت چشم‌گیر نشان می‌دهد که حذف خشک‌دارها نه تنها یک مخزن کربن مهم را از چرخه خارج می‌کند، بلکه فرآیند غنی‌سازی و بهبود کیفیت خاک را نیز با اختلال جدی مواجه می‌سازد. کربن آلی ورودی از خشک‌دارها به خاک، ضمن افزایش حاصل‌خیزی و ظرفیت تبادل کاتیونی، به بهبود ساختمان خاک، افزایش تخلخل، نفوذپذیری و حفظ رطوبت کمک کرده و در نتیجه، خاک را در برابر فرسایش آبی و بادی مقاوم‌تر می‌سازد.

از دیگر کارکردهای بوم‌شناختی خشک‌دارها که در زیست‌بوم زاگرس دارای اهمیت است، این است که می‌توان از خشک‌دارها به‌عنوان زیستگاه، پناهگاه و منبع غذایی برای طیف گسترده‌ای از موجودات زنده، از قارچ‌های ماکروسکوپی و حشرات چوب‌خوار گرفته تا پرندگان و پستانداران کوچک نام برد. خشک‌دارهای افتاده با ایجاد یک پوشش محافظ طبیعی بر سطح خاک، از برخورد مستقیم قطرات باران و فرسایش سطحی جلوگیری می‌کنند. همچنین وجود خشک‌دارها در مسیر جریان‌های سطحی، باعث کاهش سرعت رواناب، افزایش نفوذ آب به خاک و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. این امر به‌ویژه در مناطق خشک و

نیمه‌خشک زاگرس که با تنش آبی مواجه هستند، از اهمیت دوچندانی برخوردار است. کارکردهای متعدد بوم‌شناختی خشک‌دارها باعث شده است که مدیریت آگاهانه و اصولی آن‌ها به یک اولویت تبدیل شود.

جمع‌بندی و توصیه‌های ترویجی

تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی مدیریت خشک‌دارها، پیامدهای مستقیم و مهمی بر تراز کربن و تغییرات اقلیمی دارد و تأیید می‌کند که حفظ آن‌ها به‌مراتب سودمندتر از حذف و برداشت است. در این راستا، توجه هم‌زمان به ابعاد اکولوژیک و اجتماعی مدیریت خشک‌دارها، می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ راهکارهای مؤثر برای حفاظت و بهره‌برداری پایدار از این منابع باشد.

❖ تسهیل جایگزینی منابع انرژی

استفاده از انرژی‌های پاک (مانند آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی) و تسهیل دسترسی به گاز در روستاهای جنگلی، مهم‌ترین اقدام ترویجی برای کاهش برداشت غیرمجاز از خشک‌دارها است.

❖ حفظ تنوع در نوع خشک‌دارها (سرپا و افتاده)

داده‌های کمی و دقیق به‌دست آمده از پژوهش قلاجه نشان می‌دهد که خشک‌دارهای سرپا و افتاده هر کدام کارکردهای متفاوت و مکملی دارند. با توجه به کارکردهای آن‌ها توصیه می‌شود حداقل ۴۰ درصد از خشک‌دارها به‌صورت سرپا در عرصه‌ی جنگلی حفظ شوند و مابقی نیز به‌صورت افتاده و با پراکنش مناسب در سطح کف جنگل باقی بمانند.

❖ آگاه‌سازی جوامع محلی و جنگل‌نشینان

یکی از مؤثرترین راهکارهای مدیریت پایدار خشک‌دارها، افزایش سطح آگاهی و دانش بومی و محلی در خصوص کارکردهای بوم‌شناختی و ارزش‌های پنهان این حوضچه‌های کربن است. برگزاری کارگاه‌های آموزشی ترویجی و بازدیدهای میدانی از مناطق شاهد و کمتر دست‌خورده می‌تواند در تغییر نگرش و باورهای محلی نقش کلیدی ایفا کند.

❖ آیین‌نامه اجرایی جامع مدیریت خشک‌دار در جنگل‌های زاگرس توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و مراکز تحقیقاتی تدوین و ابلاغ گردد.

❖ همکاری دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی در هر استان زاگرس‌نشین (مانند: کرمانشاه، کردستان، لرستان، ایلام، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، خوزستان و آذربایجان غربی) پایلوت‌های تحقیقاتی- ترویجی را طراحی و اجرا نمایند تا اثربخشی توصیه‌های بالا در شرایط بومی ارزیابی و اصلاح شود.

منابع

- پوره‌اشمی، م.، زند بصیری، م. و پناهی، پ.، ۱۳۹۳. بررسی ویژگی‌های ساختاری توده‌های شاخه‌زاد بلوط جنگل‌های مریوان. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۷(۵): ۷۷۶-۷۶۶.
- مریدی، م.، ملکشاهی، م.، اعتماد، و. و سفیدی، ک.، ۱۳۹۴. انباشت خشکه‌دارهای خرد در فاز کاهش پایه‌ها در مراحل تکاملی توده‌های آمیخته راش. مجله پژوهش و توسعه جنگل، ۴(۱): ۳۶۱-۳۵۱.
- Haidari, M., Jahanbazy Goujani, H., Maleki, S., Jaafari, A., ... and Khanhasani, M., 2025. Oak decline in the Zagros forests: temporal variation, severity, and environmental and stand structural drivers. *Global Ecology and Conservation*, 62(e):3811.
- Kimberly, O., Peter, N.M., and Paul, T., 2019. Comparison of measured and modelled change in coarse woody debris carbon stocks in New Zealand's natural forest. *Forest Ecology and Management*, 434:18- 28.



The management role of deadwood in carbon storage within the Iran's Zagros forest ecosystem implications for sustainable development

Ali Sarvazad^{1*}, Asghar Fallah², Ali Asghar Vahedi³

^{1*}- Assistant Professor of Research, Department of Natural Resources Research, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran. Email: a.sarvazad@areeo.ac.ir | ORCID ID: 0009-0001-7141-9541

²- Professor, Department of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

³- Assistant Professor of Research, Department of Natural Resources Research, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Noor, Iran

Received: 13/May/2026 Revised: 6/June/2026 Accepted: 9/June/2026

Abstract

The Zagros forests are among the country's vital natural biomes that play a significant role in the carbon cycle due to their vast extent. Aboveground and belowground biomass, litter, soil, and deadwood constitute the five primary carbon pools in terrestrial biomes, which serve as essential indicators for monitoring forest carbon stocks. Therefore, assessing the role of these carbon pools is crucial to quantifying the ecological value of the Zagros forest biome. In this study, the carbon storage of deadwood (standing and fallen) and its impact on soil organic carbon (SOC) stocks were investigated in the Qalajeh forest site, Kermanshah. The results indicated that deadwood, as a distinct carbon pool, holds a significant amount of carbon; furthermore, its presence exerts a positive influence on soil organic carbon levels in the study area. Specifically, soil carbon stocks beneath fallen deadwood (229.28 t/ha) were higher than those in open areas (62.71 t/ha). This demonstrates that deadwood functions not only as a carbon reservoir itself but also acts as an enhancement pool that augments soil carbon sequestration. Based on these findings, it is recommended that at least 40% of deadwood be maintained as standing deadwood within the forest area, while the remainder should be left as fallen wood, distributed appropriately across the forest floor.

Keywords: Carbon sequestration, deadwood, soil organic carbon, sustainable forest management. Zagros forests.