مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۷، تابستان ۱۴۰۰

درآمدی بر برآورد ذخایر کربن در جنگل‌های راش شمال ایران

محدثه قنبری مطلق[۱]*

mohadeseh.motlagh@gmail.com

ساسان بابایی کفاکی[۲]

اسدالله متاجی[۳]

رضا اخوان[۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف: جنگل‌های راش ایران یکی از مهمترین جوامع گیاهی در کشور می باشد که به دلیل داشتن ترکیب گیاهی پویا و متنوع و خاکهای حاصلخیز و با توجه به مساحت بسیار بزرگ مناطق خشک و نیمه خشک در کشور به لحاظ اکولوژیکی بسیار حائز اهمیت می باشند. اما اطلاعات کمی پیرامون ذخایر کربن این جنگل‌ها وجود دارد.

روش بررسی: در پژوهش حاضر مقادیر کربن روزمینی درختان و ذخیرهٔ کربن آلی خاک در سه منطقه در طرح‌های جنگلداری منتخب (در سه استان شمالی گیلان، مازندران و گلستان)، انتخاب و نمونه برداری از درختان در پلاتهای تصادفی و از خاک در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری انجام شد. در برآورد کربن روزمینی درختان از روش Ponce-Hernanadez و در ترسیب کربن خاک از روش والکی بلاک استفاده و کلیه محاسبات بر حسب تن در هکتار برآورد گردید.

یافته ها: نتایج نشان داد که به طور کلی هم میزان ذخایر کربن درختان سرپا و هم ترسیب کربن خاک در هر دو عمق از شرق به غرب در حال افزایش بوده اما مقادیر ذخایر کربن خاک با افزایش عمق، روند کاهشی داشته است. برآوردها حاکی از آن بود که قابلیت ذخیره کربن

۱- دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران (مسئول مکاتبات).

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

جنگل‌های راش کشور به طور متوسط ۲۲۷/۴۷۵ تن در هکتار در بخش روزمینی درختی و ۲۰۵/۱۹۰ تن در هکتار در بخش زیرزمینی (خاک) می باشد.

نتیجه گیری: این نتایج با تأکید بر جلوگیری از تخریب بیشتر، لزوم اقدامات حفاظتی سریعتر را در مورد این میراث ارزشمند کشورمان بیشتر از پیش آشکار می سازد.

واژه های کلیدی: کربن، جنگل‌های شمال، ترسیب کربن خاک، ایران

Human and Environment, No. 57, Summer 2021

Prelude on Estimation of Carbon Reserves in Beech Forests of Northern Iran

Mohadeseh Ghanbari Motlagh[1]*

mohadeseh.motlagh@gmail.com

Sasan Babaie Kafaky[2]

Asadollah Mataji[3]

Reza Akhavan[4]

Received: July 14, 2019 Accepted: February 12, 2020

Abstract

Background and Objectives: Iran's beech forests are one of the most important vegetation communities in the country which are highly ecologically important due to their dynamic and diverse vegetation and fertile soils, as well as the large area of arid and semi-arid lands in the country. But there is little information about the carbon stocks of these forests.

Materials and Methods: In this research, the aboveground carbon of trees and carbon stock in three sites in selected forestry plans in three northern provinces (Gilan, Mazandaran, Golestan) were selected and sampled from trees in random plots and from soil at depths of 0-30 and 30 to 60 centimeter was done. Ponce-Hernanadez method was used to estimate the aboveground carbon of trees and the Valky Block method was used for soil carbon sequestration and all calculations were made in terms of tons per hectare.

Results: The results showed that, both carbon tree and soil carbon stocks were increased in both depths from East to West, but the amount of soil carbon stocks was decreased with increasing depth. Estimates have shown that the carbon stock potential of the country's beech forests was an average of 227.475 t / ha in aboveground section and 205.190 t / ha in the underground (soil) section.

Conclusion: These results demonstrate the further need for urgent conservation operations for this valuable heritage of our country by emphasizing the prevention of further destruction.

Key words: "Carbon", "Northern Forests", "Soil Carbon Sequestration", "Iran"

1- Ph.D. of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran *(Corresponding Author)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Research Institute of Forests and Ranglands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

مقدمه

یکی از مهمترین مسائل قرن اخیر گرمایش جهانی است (۱، ۲). گزارش ارزیابی چهارمین پنل بین المللی تغییرات اقلیمی در سال ۲۰۱۱ دامنه افزایش متوسط دمای جهانی را تا سال ۲۱۰۰ بین ۱,۶ تا ۶,۹ درجه سانتیگراد پیش بینی کرده است (۳). از میان گازهای تشکیل دهنده اتمسفر، دی اکسید کربن اثرگذارترین گاز بر روی حرارت اتمسفر است که بر اساس آمارها، برآورد شده تا سال ۲۰۷۰ به بالای ۵۰۰ ppm خواهد رسید (۴، ۵). در واقع پدیدهٔ تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای به ویژه دی اکسیدکربن در اتمسفر است که منجر به گرم شدن کره زمین می‌شود (۶). این موضوع از مهمترین موضوعات علمی، چالش‌های زیست محیطی و جدی ترین مسئله ای است که زندگی بشر کنونی با آن مواجه است (۷). به منظور جلوگیری از افزایش میزان گاز دی اکسید کربن و تحت کنترل در آوردن تغییرات اقلیم جهانی یک نگرانی گسترده و رو به رشد وجود دارد که منجر به بحث‌ها و مذاکرات بین المللی گسترده ای از جمله پروتکل کیوتو[1] شده است (۸).

اکوسیستم‌های جنگلی به عنوان جذب کننده های Co_2 ، مقادیر بزرگی از کربن اتمسفر را از طریق فتوسنتز و تنفس در خاک و پوشش گیاهی ذخیره می کنند (۹). عمده کربن ذخیره شده در مخازن گوناگون در یک اکوسیستم جنگلی در بیوماس زنده رو و زیرزمینی، شامل درختان سرپا، شاخه و برگ ها و ریشه ها، لاشبرگ ها، بقایای چوبی، ذخیرهٔ کربن آلی خاک و تولیدات جنگل می باشد که کربن را برای دهه‌ها و قرن‌ها ذخیره و اندوخته می کند (۱۰). بر این اساس افزایش مقادیر کربن گرفته و ذخیره شده توسط جنگل‌ها به عنوان یک گزینه در مهار تغییرات اقلیمی، پایداری چرخه کربن در اتمسفر و خاک و جلوگیری از گرم شدن کره زمین نقش مهمی ایفاء می کنند (۱۱، ۱۲).

طبق گزارش موجود در سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد[2] در سال ۲۰۱۵ سطح اکوسیستم‌های طبیعی جنگلی در مقیاس جهانی بیش از پیش رو به کاهش بوده است (۱۳). روند جنگل زدایی و تخریب جنگل یا تغییر کاربری آنها در دهه‌های اخیر می تواند نتیجه‌اش انتشار مجدد کربن به اتمسفر باشد (۱۴). این مسئله بویژه در کشورهای جهان سوم که با روند فزاینده نابودی و تخریب جنگل‌ها مواجه می باشند بیشتر نمود پیدا می کند. بنابراین به منظور جلوگیری از این روند لازم است تا به صورت کلی مقادیر ظرفیت کربن جنگل‌ها را بررسی نماییم. این مسئله یک موضوع بنیادی محسوب گردیده و برآورد آن در پایش و مدیریت انتشارات کربن برای کنترل مقادیر اضافی کربن آزاد شده در جهان ضروری به نظر می رسد (۵، ۱۱).

ذخایر کربن جنگل‌ها در بخش روزمینی عموماً شامل زیتوده روزمینی[3] درختان است. دو روش نمونه گیری تخریبی و غیر تخریبی در اندازه گیری زمینی مقادیر زیتوده در جنگل‌ها وجود دارد. روش تخریبی یا روش مستقیم که پذیرفته شده‌ترین و پرکاربردترین و قدیمی‌ترین روش است، پرهزینه، وقتگیر، تخریبی و غیر عملی در مقیاس بزرگ بوده و بیشتر برای درختان با ابعاد کوچک و مناطق محدود به کار می رود (۵). روش غیرتخریبی به صورت عمده شامل استفاده از انواع روابط پیشنهادی توسط منابع و افراد مختلف و بر اساس برداشت متغیرهای قابل اندازه‌گیری از درختان است که به خاطر سادگی و سهولت استفاده به صورت وسیعی در برآورد ذخایر کربن در جنگل‌های طبیعی استفاده می گردد (۱۵). از جمله این روش‌ها روش پیشنهادی پونس-هرناندرز[4] و همکاران (۲۰۰۴)، روش IPCC (۲۰۰۳)، روش جنکینز[5] و همکاران (۲۰۰۳)، روش چوناکی و جنکینز[1] (۲۰۱۰) و

1- KYOTO PROTOCOL

2- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
3- Above-Ground Biomass (AGB)
4- Ponce-Hernandez
5- Jenkins

روش روابط خاص گونه و رویشگاه[2] می باشد (۱۶). در ایران، واحدی و متاجی (۱۳۹۴) در برآورد ذخایر کرین تنه درختان در جنگل‌های راش شمال از روش غیر تخریبی رابطه حجم و چگالی خشک تنه و مدل معرفی شده زیتوده گونه‌های مختلف راش در بیوم‌های مختلف استفاده نمودند (۵). نقی پور برج و همکاران (۱۳۹۳) ترسیب کربن زیتوده گیاهی و خاک را در یک توده کاج تهران در پارک جنگلی بختیار دشت اصفهان به ترتیب با استفاده از روش پونس-هرناندرز[3] و همکاران و والکی بلاک برآورد نمودند (۱۷). ورامش و همکاران (۱۳۹۳) نیز در محاسبات مقادیر کربن ذخیره شده در زیتوده درختان، لاشبرگ و خاک توده‌های اقاقیا و سرو نقره ای در پارک جنگلی چیتگر نیز از روش غیر تخریبی یاد شده استفاده کردند (۱۲). در مطالعات خارج از ایران، ویل[4] و همکاران (۲۰۰۱)، در جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده آمیخته در بلژیک یک روش غیر تخریبی بر اساس رابطه حجم و چگالی را در محاسبات ذخایر کربن رو و زیرزمینی زیتوده، لاشبرگ و خاک مورد آزمون قرار دادند (۱۸). سینگ[5] و همکاران (۲۰۱۱) و مارشال[6] و همکاران (۲۰۱۲) به ترتیب در جنگل‌های تروپیکال بارانی هند و تانزانیا با استفاده از روابط خاص گونه و رویشگاه مقادیر کربن روزمینی درختان را برآورد نمودند (۱۹، ۲۰).

جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران از جمله جنگل‌های پهن‌برگ خزان کننده باقیمانده دوران سوم زمین شناسی می باشند که به عنوان یک میراث با ارزش طبیعی و اکوسیستم جنگلی ارزشمند و با داشتن گونه‌های متنوع و منحصر بفرد و خاک حاصلخیز در سطح منطقه ای و جهانی بسیار مورد توجه است (۲۱، ۲۲). کاهش چشمگیر در میزان سطح پوشش (چه به لحاظ کمی و چه از نظر کیفی) این جنگل‌ها به عنوان متراکم‌ترین و ارزشمندترین جنگل‌های ایران در سال‌های اخیر، بر کسی پوشیده نیست. از این میان جنگل‌های راش ایران با غالبیت گونه راش که جمعاً ۱۸ درصد جنگل‌های شمال کشور را در دامنه ارتفاعی ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متری پوشانده است (۲۳)، از غنی ترین و ارزنده‌ترین جوامع جنگلی ایران به شمار رفته و به دلیل برخورداری از شرایط مناسب اکولوژیکی اصولاً انبوه بوده و دارای موقعیتی حساس به منظور حفاظت و مطالعه می باشند (۲۴). اگرچه ترکیب گونه ای، تنوع زیستی و ساختار جامعه از میان این جنگل‌ها در سنوات اخیر در مورد بررسی قرار گرفته است، اما ذخیرهٔ کربن در این جنگل‌ها به خاطر ماهیت کوهستانی آن به لحاظ مطالعاتی هنوز فقیر مانده است. انجام روش های تخریبی در جنگل‌های شمال برای اندازه گیری و برآورد زیتوده و ترسیب کربن جنگل بسیار دشوار و هزینه‌بردار و در بسیاری موارد به دلیل شرایط اکولوژیکی و مدیریتی ناممکن است (۲۵). از این رو در این مطالعه سعی بر آن شده است تا با هدف حفظ این جنگل‌های ارزشمند، ذخایر کربن پوشش گیاهی زنده روزمینی درختی و خاک این جنگل‌ها از یک روش غیر تخریبی مورد بررسی قرار گیرد.

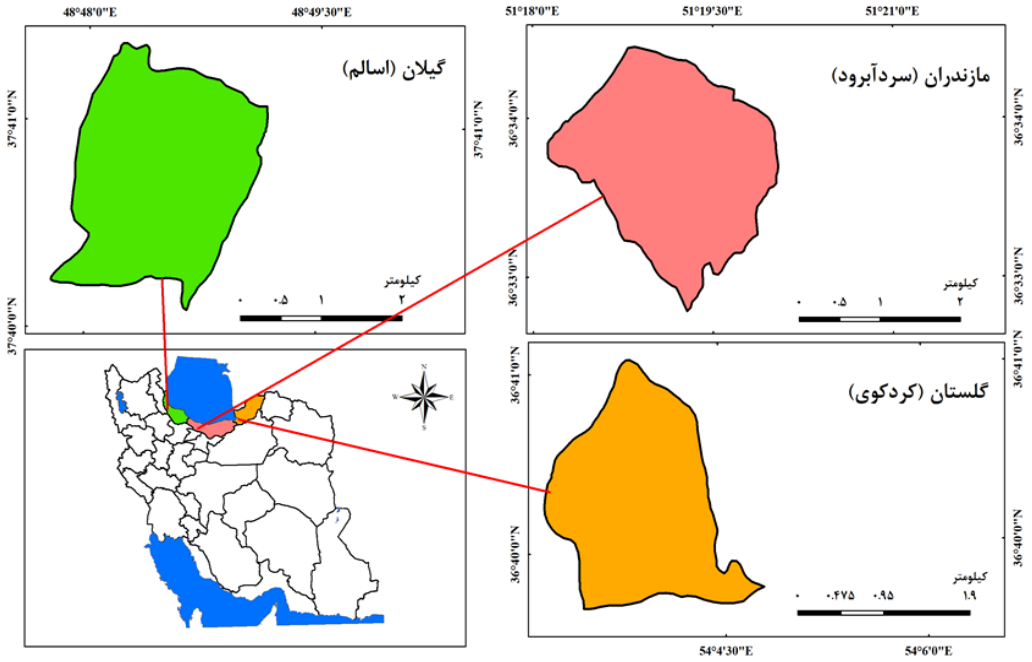
مواد و روش ها

معرفی مناطق مورد مطالعه

برای اجرای این تحقیق، راشستان‌های سه حوضهٔ آبخیز شمارهٔ ۷ طرح جنگلداری ناو اسالم (گیلان) منطقه ای با مساحت ۴۰۸ هکتار و مختصات جغرافیایی ″۰۴ ′۴۴ °۴۸ شرقی و ″۲۲ ′۴۱ °۳۷ شمالی، حوضهٔ آبخیز شمارهٔ ۳۸ طرح جنگلداری سردآبرود (مازندران) منطقه ای با مساحت ۴۹۱ هکتار و مختصات جغرافیایی ″۰۸ ′۱۹ °۵۱ شرقی و ″۴۹ ′۳۳ °۳۶ شمالی و حوضهٔ آبخیز شمارهٔ ۸۴ طرح جنگلداری کردکوی (گلستان) منطقه ای با مساحت ۳۹۴ هکتار و مختصات جغرافیایی ″۹۱ ′۰۳ °۵۴ شرقی ″۴۶ ′۴۰ °۳۶ شمالی به عنوان نمایندهٔ سه منطقه در غرب، مرکز و شرق جنگل‌های راش دامنه شمالی البرز (هیرکانی) انتخاب گردید (شکل ۱). در انتخاب این مناطق سعی شده مناطق با حداقل دستخوردگی و شرایط همگن با شیب متوسط، جهت

1- Chojnacky and Jenkins
2- Species-specific and site-specific equation
3- Ponce-Hernandez
4- Walle
5- Singh
6- Marshal

شمالی و ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متری مد نظر قرار گیرد. مناطق با خصوصیات مورد نظر پس از ساخت نقشه واحدهای همگن در محیط GIS جداسازی و قطعات نمونه به ابعاد ۳۰×۳۰ متری به صورت تصادفی در آن پیاده شد (جدول ۱). رویشگاه‌های مورد مطالعه در هر سه منطقه از جمله جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده با غالبیت گونه راش شرقی (*Fagus orientalis*) همراه با تک پایه‌هایی از سایر گونه ها مانند ممرز، شیردار، افرا، خرمندی، گیلاس وحشی، بارانک و ... با ساختار دانه زاد ناهمسال می باشد.



شکل ۱- نقشه موقعیت مناطق مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد مطالعه

منطقه	متوسط ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارش (میلیمتر)	متوسط دمای سالانه (سانتیگراد)	بافت خاک و اسیدیته	نوع اقلیم	تیپ جنگل	تعداد در هکتار
اسالم	۱۵۸۰	۱۵۰۰	۱۴-۱/۵	لومی، لومی رسی، اسیدی	مرطوب، خیلی مرطوب	راشستان دو تا سه اشکوبه با تاج پوشش ۸۰ تا ۹۰٪	۱۸۹/۲۸
سردآبرود	۱۵۳۰	۱۰۰۰	۱۶-۲/۵	رسی تا لومی رسی، قلیائی	نیمه مرطوب، مرطوب	راشستان دو تا سه اشکوبه با تاج پوشش ۷۵٪	۱۲۶/۰۴
کردکوی	۱۶۵۰	۶۰۰	۲۰/۵-۳	سیلت-لومی، قلیائی	نیمه مرطوب، نیمه خشک	راشستان یک تا دو اشکوبه با تاج پوشش ۶۰٪	۱۰۲/۲۲

روش انجام مطالعه

در این مطالعه ذخایر کربن جنگل‌ها در دو بخش رو و زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی ذخایر کربن ابتدا باید متغیر زیتوده مورد اندازه گیری قرار گیرد. در روش اندازه‌گیری بکار گرفته شده در این مطالعه که یک روش غیر تخریبی می باشد سعی بر آن شده است که با حداقل تخریب بتوان دقیق‌ترین برآورد را انجام داد. زیتوده درخت تابعی از حجم درخت (که از قطر و ارتفاع به دست آمده)، شکل درخت[1] و چگالی چوب[2] است و به صورت متداول در نقاط مختلف جهان برای آماربرداری و مطالعات اکولوژیک به کار می رود (۲۶).

برای محاسبه زیتوده رو زمینی درختی از دستورالعمل روش غیر تخریبی پونس-هرناندز و همکاران (۲۰۰۴) استفاده گردید (۲۷). در این روش حجم تنه (V_S) بر اساس روابط (۱) و (۲) با استفاده از متغیرهای سطح رویه زمینی (A_B) (بر اساس قطر برابر سینه[3]) و ارتفاع کل درخت (H)، و ضریب شکل درخت (Kc) که در جنگل‌های هیرکانی به طور متوسط ۰،۵ در نظر گرفته شده است، محاسبه می گردد:

$$A_B = (0.785) \times DBH^2 \qquad (۱)$$

$$V_S = A_B \times H \times Kc \qquad (۲)$$

حجم تاج (V_c) بر اساس متوسط متغیرهای قطر تاج در دو جهت عمود بر هم ($Dd = (L + W)/2$)، درصد شاخ و برگ برای همه عناصر درختی موجود به دست آمد (رابطه ۳). در این رابطه (Fc) ضریب تصحیح است که با ایستادن در زیر تاج هر درخت، در کنار تنه و برآورد سهم آن به صورت عینی از کل ساختار تاج هر درخت محاسبه شد (۱۷):

$$V_c = [\pi \times Dd^2/12] \times Fc \qquad (۳)$$

پس از جمع مقادیر حجم کل تنه و تاج درخت ($V_t = V_c + V_S$) و با محاسبه چگالی ویژه چوب (WD) که از نمونه گیری از درختان و رابطهٔ وزن خشک هر نمونه به حجم تر برای هر گونه بدست آمد (۲۸)، در مرحله بعد زیتوده درخت (B) از رابطه (۴) به دست آمد:

$$B=1000 \times WD \times V_t \qquad (۴)$$

برای تعیین موجودی کربن واقعی زیتوده درختان ضریب کربن به طور مستقیم و با روش احتراق در کوره محاسبه گردید (۲۹). در این تحقیق، سطح رویه زمینی بر حسب (m^2)، حجم تنه و تاج بر حسب (m^3)، بیوماس کل درخت بر حسب تن در هکتار (tone/ha) محاسبه شد. در نهایت مقادیر به دست آمده کربن روزمینی درختی در پلات‌های نمونه گیری جمع و به واحد تن در هکتار (tone /ha) بر پایه اندازه پلات‌ها تبدیل شد. به منظور تعیین میزان ترسیب کربن خاک، پس از کنار زدن لایه لاشبرگی، نمونه برداری از خاک از ۴ گوشه میکروپلات‌های ۵×۵ متری تعبیه شده داخل پلات‌های اصلی، از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتری به صورت ترکیبی و با استفاده از اوگر برداشت شد. سپس نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک گردیده و به آزمایشگاه منتقل گردید. در آزمایشگاه بعد از خرد کردن کلوخه‌ها و جدا کردن ریشه ها، سنگ ها و سایر ناخالصی‌ها، آسیاب و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. خصوصیات وزن مخصوص ظاهری[4] (BD) با استفاده از روش کلوخه و برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب (۳۰) و کربن آلی خاک (OC%) به تفکیک در افق های معدنی یاد شده به روش والکی بلاک (۳۱) به دست آمد. با استفاده از رابطهٔ (۵) مقدار کربن آلی ترسیب شده در خاک (Cs) برای هر یک از عمق های نمونه برداری شده (D) بر حسب تن بر هکتار(tone /ha) تعیین گردید (۳۲).

$$Cs= BD \times D \times OC\% \qquad (۵)$$

به منظور تجزیه تحلیل و مقایسهٔ داده ها اطلاعات مربوط به کربن روزمینی درختان و داده های کربن خاک وارد محیط SPSS گردیده، پس از انجام آزمون کالموگروف اسمیرونوف[5] برای بررسی نرمال بودن داده ها، از آزمون لون[6] برای بررسی همگنی آنها و از

1- Form factor
2- Wood specific gravity
3- Diameter at Breast Height(DBH)

4- Bulk Density
5- Kolmogorov-Smirnov KS
6- Levene

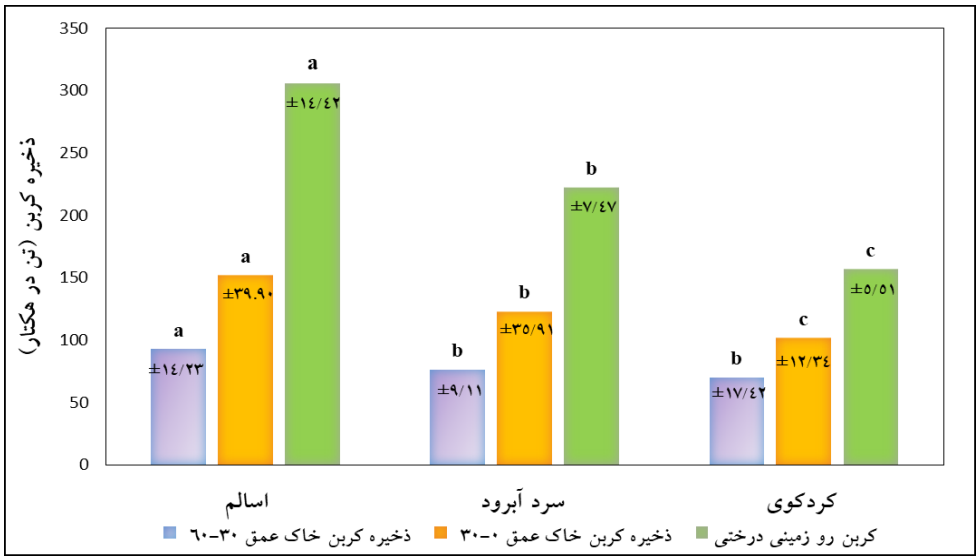
آنالیز تجزیه واریانس یکطرفه ANOVA و آزمون Duncan به منظور مقایسه کلی داده ها در بین مناطق مورد مطالعه استفاده شد. برای مقایسات مربوط به تفاوت ترسیب کربن در دو عمق خاک از آزمون t-test استفاده شد.

یافته ها

نتایج آزمون کولموگروف اسمیرونوف نشان داد که داده های مربوط به کربن روزمینی درختی دارای توزیع نرمال می باشد. نتایج مقایسه مقادیر کربن روزمینی درختی با استفاده از آنالیز واریانس یکطرفه و آزمون چند دامنه ای دانکن، نشان داد که تفاوت بین مقادیر کربن روزمینی درختی در راشستان‌های مناطق مورد مطالعه معنی دار بوده ($p\leq0/05$) (جدول ۲) و یک کاهش محسوس از غرب به شرق جنگلهای هیرکانی را نشان می دهد (شکل۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس یکطرفه مقادیر میانگین کربن روزمینی درختی مناطق مورد مطالعه

منابع تغییر کربن روزمینی درختی	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
بین گروه ها	۲۶۵۲۳۶۴/۴۹۰	۲	۱۳۲۶۱۸۲/۲۴۵	۹۶/۱۶۰	۰/۰۰۰
درون گروها	۱۰۶۱۹۴۲/۲۴۱	۷۷	۱۳۷۹۱/۴۵۸		
کل	۳۷۱۴۳۰۶/۷۳۲	۷۹			



شکل۲- مقایسه مقادیر کربن رو زمینی درختی و ترسیب کربن خاک در عمق های مختلف در مناطق مورد مطالعه

نتایج این مطالعه نشان داد که مقادیر ترسیب کربن خاک در راشستان‌های شمال کشور در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری همچون مقادیر کربن روزمینی درختی از غرب به شرق در حال کاهش بوده، علاوه بر این مقادیر آن با افزایش عمق، کاهش داشته اند. نتایج تجزیه واریانس یکطرفه نشان داد که مقادیر ترسیب کربن خاک در هر دو عمق بین سه منطقه معنی دار بوده است ($p\leq0/05$) (جدول ۳). همچنین نتایج آزمون دانکن به منظور مقایسه میانگین‌های مقادیر ترسیب کربن خاک

بین سه منطقه مطالعه نشان داد که نتایج برای عمق ۳۰-۶۰ سانتیمتری برای دو منطقه سردآبرود و کردکوی در یک گروه جداگانه از منطقه اسالم، ولی در عمق ۰-۳۰ سانتیمتری در سه گروه کاملاً جداگانه قرار گرفته است (شکل ۲). همچنین نتایج آزمون t-test ترسیب کربن خاک بین دو عمق تعریف شده در این مطالعه نشان داد که تفاوت‌ها بین دو عمق در هر سه منطقه معنی دار بوده است ($p\leq0/05$) (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس یکطرفه ترسیب کربن خاک در عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری مناطق مورد مطالعه

تجزیه واریانس یکطرفه ترسیب کربن خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری					
منابع تغییر ترسیب کربن خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
بین گروه ها	۶۶۲۹/۹۸۰	۲	۳۳۱۴/۹۹۰	۱۸/۴۷۲	۰/۰۰۰
درون گروها	۱۳۸۱۸/۰۹۴	۷۷	۱۷۹/۴۵۶		
کل	۲۰۴۴۸/۰۷۴	۷۹			
تجزیه واریانس یکطرفه ترسیب کربن خاک در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتری					
منابع تغییر ترسیب کربن خاک	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
بین گروه ها	۳۰۴۳۸/۹۰۸	۲	۱۵۲۱۹/۴۵۴	۱۳/۶۴۵	۰/۰۰۰
درون گروها	۸۵۸۸۴/۱۳۳	۷۷	۱۱۱۵/۳۷۸		
کل	۱۱۶۳۲۳/۰۴۱	۷۹			

جدول ۴- نتایج آزمون t-test ترسیب کربن خاک بین دو عمق خاک در مناطق مورد مطالعه

منابع تغییر	اختلاف میانگین	درجه آزادی	آماره F	آماره t	سطح معنی داری
ترسیب کربن خاک (اسالم)	-۵۹/۰۱۲۵۹۶۷	۵۴	۲۸/۴۶۷	-۷/۳۷۰	۰/۰۰۰
ترسیب کربن خاک (سردآبرود)	-۴۶/۶۷۱۶۷۰۲	۶۲	۲۴/۸۳۷	-۷/۱۲۵	۰/۰۰۰
ترسیب کربن خاک (کردکوی)	-۳۰/۸۳۳۰۶۵۵	۳۸	۱/۰۰۵	-۶/۴۵۶	۰/۰۰۰

بحث و نتیجه گیری

در جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران متأسفانه اطلاعات دقیق و جامعی از ذخایر زیتوده و مخازن کربن درختان وجود ندارد. از این رو در این مطالعه به منظور تعیین ذخایر کربن در محاسبات لایه درختی روزمینی بر اساس یک روش غیر تخریبی و از پارامترهای قطر برابر سینه، ارتفاع، ابعاد تاج و چگالی چوب استفاده شد. برای برآورد مقدار کربن زیتوده نیز از روش نمونه‌گیری مستقیم استفاده شد همچنین با آنکه بیشتر پژوهشگران برای محاسبه زیتوده و کربن درختی فقط تنه را مدنظر قرار می دهند اما در تحقیق حاضر برای محاسبه زیتوده لایه درختی سهم شاخ و برگ تاج نیز علاوه بر مقادیر زیتوده تنه در محاسبات لایه درختی وارد گردید.

در این مطالعه تفاوت‌های مشهودی در مقادیر تجمع کربن از میان جنگل‌های راش شمال ایران دیده است. بر مبنای نتایج به دست آمده بیشترین مقادیر کربن رو زمینی درختی در غرب (منطقه

اسالم) مشاهده شده، همچنین در بخش محاسبات کربن زیرزمینی نتایج کلی این مطالعه نشان داد که مقادیر ترسیب کربن در خاک راشستان‌های شمال کشور در هر دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتیمتری از غرب (اسالم) به شرق (کردکوی) در حال کاهش بوده و بالاترین مقادیر را منطقه اسالم داشته است. همچنین مقادیر ترسیب کربن خاک‌ها در هر سه منطقه مطالعه با افزایش عمق، کاهش و مقادیر مربوط به منطقه سردآبرود در هر دو عمق حالت بینابینی نشان داده است. در مقیاس جهانی مقدار اندوخته کربن در اکوسیستم‌های جنگلی تحت تأثیر نوع گونه، تیپ پوشش جنگلی، اقلیم، توپوگرافی، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و مدیریت اکوسیستم تعیین‌می گردد (۲۲) که در این میان اقلیم یک کنترل اولیه روی مقادیر کربن آلی خاک و سرعت چرخه آن در یک منطقه دارد. دما، رطوبت (بارش) و تشعشع خورشیدی مهمترین فاکتورهای مؤثر روی رشد گیاهی، تولید لاشبرگ و معدنی‌سازی کربن آلی خاک هستند (۳۳). تفاوت اساسی بین مناطق شرقی تا غربی جنگل‌های راش ایران از نظر تغییرات متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش، تبخیر و تعرق و ... وجود دارد. بیشترین مقادیر بارندگی و رطوبت نسبی در قسمت‌های غربی تر (اسالم) و کمترین آن در نواحی شرقی (کردکوی) وجود دارد. در مورد مقادیر دما از غرب به شرق از روند افزایشی برخوردار است. در این مناطق به تدریج با حرکت به سمت شرق و استان گلستان طول ماه‌های خشک افزایش یافته و مقادیر تبخیر نیز افزایش می یابد (۳۴). با این توصیفات در منطقه اسالم با کاهش دما و افزایش بارندگی به خصوص در ارتفاعات بالای محل حضور این جنگل‌ها، همچنین کاهش نور آفتاب به دلیل تعداد در هکتار بیشتر درختان و تاج پوشش بسته تر، باعث فعالیت کمتر میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده لاشبرگ‌ها به عنوان منبع اصلی کربن آلی در کف جنگل گردیده، به دنبال آن سرعت چرخه‌های بیوژئوشیمیایی آهسته‌تر شده، سبب کاهش سرعت تجزیه لاشبرگ‌ها می گردد (۳۵). این موضوع سبب می شود تا به طور کلی شرایط مناسب برای تجمع بیشتر کربن آلی خاک در منطقه اسالم فراهم گردد. از سوی دیگر میزان درصد تاج پوشش به دلیل ایجاد تغییر در شرایط رطوبتی و حرارتی، تأثیر مهمی بر میزان کربن خاک دارد و با افزایش سایه تاج پوشش رطوبت خاک افزایش می یابد (۳۶). در منطقه کردکوی به دلیل تعداد کمتر درختان در واحد سطح، تاج پوشش در مقایسه با دو منطقه دیگر کمتر بوده، اصولاً حجم لاشبرگ تولیدی نیز کمتر می گردد. پدیده آبشویی نیز سبب جابجایی ترکیبات کربن لایه‌های سطحی خاک به عمق های معدنی می شود. مقادیر ذخایر کربن در عمق اول –خاک سطحی- بیشتر بوده است. این موضوع را می توان به روند تدریجی تجزیه لاشبرگ که از سطح خاک شروع می شود، نسبت داد (۳۷). زیرا بازگشت عناصر به سطح خاک بیشتر از عمق اول است. این نتیجه با مطالعات اصغری سرخی و همکاران (۱۳۹۱) در راشستان‌های الندان ساری (۳۸)، فهیم و همکاران (۱۳۹۲) در جنگل‌های خیرودکنار (۹)، محمودی طالقانی و همکاران (۱۳۸۶) در جنگل‌های گلبند (۳۹) و همچنین پژوهش پاراس-آلکانتورا[1] و همکاران (۲۰۱۵) در جنگل‌های پارک ملی دسپیناپروس[2] در اسپانیا (۴۰) مطابقت دارد. اما واحدی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیق خود ذخایر وزنی کربن آلی خاک را در عمق ۱۰-۳۰ در مقایسه با عمق‌های ۰-۱۰ و ۳۰-۵۰ سانتیمتری بیشتر به دست آورده اند (۳۶). نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد میزان برآورد شده در رابطه با کربن روزمینی از روش آماربرداری زمینی از غرب یعنی منطقه اسالم (۳۰۶/۲۷۱ تن در هکتار) به شرق منطقه کردکوی (۱۵۳/۶۳۵ تن در هکتار) کاهش می‌یابد و منطقه میانی یعنی سردآبرود (۲۲۲/۵۲۰ تن در هکتار) حالت بینابینی دارد. در بخش‌های غربی یعنی منطقه کردکوی این جنگل‌ها دارای نرخ رویش بالاتری نسبت به بخش‌های شرقی‌تر می‌باشند (۲۱) که بر اساس آن تعداد درختان در هکتار، میزان متوسط سطح رویه زمینی در هکتار و در نتیجه حجم در هکتار افزایش یافته که

1- Parras-Alcantora
2- Despeñaperros

برآیند این شرایط در قالب افزایش در زیتوده روزمینی درختی و متعاقب آن ذخایر کربن رو زمینی را شاهد هستیم. این موضوع در ارتباط تنگاتنگ با تغییرات متغیرهای اقلیمی در حرکت در دامنه طولی پراکنش این جنگل‌ها می باشد که بر اساس آن میزان بارش و رطوبت از شرق به غرب افزایش و در مقابل دما و طول دوره خشکی کاهش می‌یابد (۳۴). البته در مقیاس جهانی در مطالعات از این نوع دستاوردهای متفاوتی وجود دارد و در مورد توزیع مکانی زیتوده گیاهی و ذخایر کربن در اکوسیستم‌های جنگلی نمی توان به قطعیت کامل دست یافت. این امر می تواند ناشی از افزایش فعالیت‌های بشری و بویژه ناهمگنی محیط باشد. میکروکلیما و توپوگرافی نیز در توزیع مکانی ذخایر کربن تاثیر گذار بوده و باعث تغییرات در آن می شود. تأثیرپذیری ذخایر کربن خاک نیز توسط عوامل زیستی (زیتوده گیاهی و آنزیم‌های میکروارگانیسمی) و غیر زیستی (عوامل فیزیوگرافی و میکروکلیما) علاوه بر تغییرپذیری زیاد، دارای مقادیر مختلف در عمق‌های متفاوت می باشند که به نوعی باعث تفاوت قابل ملاحظه در تولیدات جنگلی در چرخه تبادلی کربن می گردد (۳۶). مقدار ترسیب کربن در خاک بستگی به تعامل میان هوا، خاک، نوع گونه های درختی و ترکیب شیمیایی لاشبرگ و مدیریت جنگل دارد (۴۱). فاکتورهای بسیار دیگری نظیر سن توده، مدیریت رویشگاه و ... بر مقادیر ترسیب کربن خاک و نتایج به دست آمده می توانند مؤثر باشند.

فرجی و همکاران (۱۳۹۴) بر اساس نتایج تحقیق خود، جنگل‌های راش ایران را عامل مهمی در ذخیره‌سازی زیتوده از طریق زیتوده هوایی می‌دانند (۴۲). وجود این جنگل‌ها در کشور پهناور ایران، که در واقع روی کمربند خشکی زمین قرار دارد، موقعیت حساسی را به خصوص برای حفاظت به وجود می آورد. با این وجود متأسفانه به دلیل دخل و تصرف‌های فراوان و غیراصولی روند تحولات کمی و کیفی این جنگل‌ها قهقرایی می باشد و به صورت فزآینده‌ای تکه تکه گردیده، تخریب شده و به سایر اشکال استفاده از سرزمین تبدیل شده اند.

نتایج این مطالعه نیز نشان از قابلیت بالای راشستان‌های شمال ایران به عنوان یک کمربند سبز در سرتاسر شیب‌های شمالی کوه‌های البرز در طول سه استان گیلان، مازندران و گلستان دارد به طوری که این پتانسیل شامل متوسط ۲۲۷/۴۷۵ تن در هکتار در بخش روزمینی و متوسط ۲۰۵/۱۹۰ تن در هکتار در بخش زیرزمینی (خاک) جنگلی می باشد با این حال بخش زنده زیرزمینی شامل ریشه‌های درختان به دلیل مشکلات اندازه‌گیری و عدم قطعیت بالا همچنین بخش علفی و لاشبرگی به دلیل مقادیر ناچیز در این تحقیق نادیده گرفته شده است. عمده تفاوت در مقادیر ذخایر در نقاط مختلف به دلیل اختلافات در شرایط اکولوژیکی و اقلیمی می باشد. اما فاکتورهای زیستی و غیر زیستی زیادی علاوه بر شرایط اقلیمی شامل نوع خاک و توپوگرافی، سن جنگل، ترکیب گونه‌ای، تفاوت ها در مراحل توالی جنگل، فاکتورهای روش‌های جنگلشناسی به کار گرفته شده در گذشته، فاصله تا مناطق مسکونی و شبکه حمل و نقل در جنگل، محاسبات بخش بزرگی از ذخایر کربن در جنگل‌ها را تحت تأثیر قرار داده و مقایسه نتایج را مشکل می سازد. با این حال در انتخاب مناطق مطالعه تحقیق حاضر سعی شده که مناطق با حداقل دستخوردگی و سایر آشفتگی‌های موجود انتخاب گردد. در نهایت نوار باریک راشستان‌های شمال ایران به عنوان یک اکوسیستم جنگلی کهن، یک مخزن عظیم کربن است و یافته‌های اخیر نشان داده که چنین جنگلی می تواند به انباشت و ذخیره Co_2 کمک کند. لذا، تعیین ضوابط قانونی و علمی سخت‌گیرانه تر و دقیق‌تر به منظور اعمال مدیریت صحیح و حفظ این منابع بسیار ارزشمند ضروری می‌باشد.

منابع

1- Li, X.Y., and Tang, H.P., 2006. Carbon sequestration: manners suitable for carbon trade in China and function of terrestrial vegetation. J. Plant Ecology, Vol. 32, pp. 200-209.

2- Houghton, R.A., and Skole D.L., 1990. Carbon in the earth as transformed by human action, Turner, B.L., et al., Eds., Cambridge: Cambridge Univ. Press, pp. 393-804.

3- IPCC Report, 2011, 4 degree hotter, A Climate Action Centre primer. 2011. www.climateactioncentre.org

4- Pragasan L.A., 2014. Carbon Stock Assessment in the Vegetation of the Chitteri Reserve Forest of the Eastern Ghats in India Based on Non-Destructive Method Using Tree Inventory Data. J Earth Sci Climat Change. S11: 001.

۵- واحدی، ع، متاجی، ا.، «بررسی امکان برآورد ترسیب کربن تنۀ درختان راش شرقی (*Fagus orientalis L.*) در ارتباط با عوامل فیزیوگرافی جنگل های طبیعی شمال ایران». مجلۀ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۱۳۹۴. جلد ۷، شماره ۴، صفحات ۴۴۷ تا ۴۵۸.

۶- یوسفی ولیک چالی، م، درویشی، ل، حسینی، ح، «نقش اکوسیستم های جنگلی در اندوزش کربن سبز و کاهش تغییرات اقلیمی»، اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۱۳۹۲، تهران، ایران، ۱۰ صفحه.

7- Pareta, K., and Pareta, U., 2011. Forest carbon management using satellite remote sensing tecniquesa case study of Sagar District (M. P.). E-International Scientific Research J, Vol. 3, No. 4, pp. 335-348.

8- Korhola, E.R.A., 2014. Climate change as a political process: the rise and fall of the Kyoto protocol. Faculty of Biological and Environmental Sciences University of Helsinki, pp. 396.

۹- فهیم، ز، دلاور، م. ا، گلچین، ا، «تأثیر نوع پوشش جنگلی در ذخیرۀ کربن آلی و خصوصیات خاک پذیری در جنگل خیرود کنار نوشهر»، مجلۀ علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۳۹۲، جلد ۱۷، شماره ۶۳، صفحات ۱۳۷ تا ۱۴۹.

10- Malhi, Y., Meir, P., and Brown, S., 2002. Forest carbon and global climate, Phil. Trans. Royal Soc. Land. A. Vol. 360, pp. 1567-1591.

11- Zhu, B., Wang, X., Fang, W., Piao, S., Shen, H., Zhao, S., Peng, C., 2010. Altitudinal changes in a carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. J. Plant Research. 123: 439-452. Vol. 123, pp. 439-452.

۱۲- ورامش، س، حسینی، س. م، سفیدی، ک، «ارزیابی مقدار ترسیب کربن دربیومس، لاشبرگ و خاک توده های اقاقیا و سرو نقره ای اطراف تهران». مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۳۹۳، جلد ۱۶، صفحات ۳۴۳ تا ۳۵۲.

13- FAO. 2015. Global Forest Resources Assessment, How are the world's forests changing? Second edition. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, pp. 54.

14- Lu, D., Chen, Q., Wang, G., Liu, L., Li, G., Moran, E., 2016. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. International Journal of Digital Earth. Vol. 9, pp. 63-105.

15- Watson, C., 2009. Forest carbon accounting: overview and principles. Forest carbon accounting: overview and principles. 39p.

16- Ostadhashemi, R., Rostami Shahraji, T., Roehle, H., Mohammadi Limaei, S., 2014. Estimation of biomass and carbon storage of tree plantations in northern Iran. Journal of forest science, Vol. 60, No. 9, pp. 363-371.

۱۷- نقی پور برج، ع. ا، رادنژاد، ه، متین خواه، س. ح، «تأثیر جنگل کاری بر میزان ترسیب کربن خاک و زی تودهٔ گیاهی در مناطق خشک (مطالعه موردی: پارک جنگلی بختیاردشت اصفهان)». فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۳۹۳، جلد ۲۲، شماره ۱، صفحات ۹۹ تا ۱۰۸.

18- Walle, I.V., Mussche, S., Samson, R., Lust, N., Lemeur, R., 2001. The above- and belowground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East-Flanders (Belgium). Annals of Forest Science. Vol. 58, No. 5, pp. 507-517.

19- Singh, V., Tewari, A., Kushwaha, S.P., Dadhwal, V.K., 2011. Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. Forest Ecology and Management. Vol. 261, Vol. 11, pp. 1945-1949.

20- Marshall, A.R., Willcock, S., Platts, P.J., Lovett, J.C., Balmford,A., Burgess. N.D., Latham, J.E., Munishi, P.K.T., Salter, R., Shirima, D.D., Lewis, S.L., 2012. Measuring and modelling above-ground carbon and tree allometry along a tropical elevation gradient. J. Biological Conservation. Vol. 154, pp. 20-33.

۲۱- مروی مهاجر، م، «جنگل شناسی و پرورش جنگل»، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴، ۳۸۷ صفحه.

۲۲- نور محمدی، ک، اسماعیل زاده، ا، «تغییر پذیری اندوختهٔ کربن خاک در شیب تغییرات ارتفاعی جنگل های صلاح الدین کلا نوشهر»، نشریهٔ پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۳۹۴، جلد ۲۲، شماره ۳، صفحات ۱۰۹ تا ۱۲۵.

23- Haghshenas, M., Mohadjer, M.R.M., Attarod, P., Pourtahmasi, K., Feldhaus, J. and Sadeghi, S.M.M., 2016. Climate effect on tree-ring widths of Fagus orientalis in the Caspian forests, northern Iran. Forest science and technology, Vol. 12, No. 4, pp. 176-182.

۲۴- بخشنده ناورود، ب، ابراری واجاری، ک، پیله ور، ب، کوچ، ی، «مطالعه فلورستیک گیاهان آشکوب علفی جنگلهای راش هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل راش ناو اسالم)»، نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان. ۱۳۹۵، جلد ۴، شماره ۹، صفحات ۱۱۵ تا ۱۳۲.

۲۵- واحدی، ع، سالار، خ، بیژنی نژاد، ع، «بررسی دقت برآورد ترسیب کربن رو زمینی پلت (*Acer velutinum Bioss.*) در جنگل های هیرکانی با استفاده از روس های تخریبی و غیر تخریبی». ۱۳۹۵، فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۴، شماره ۱، صفحات ۱۰۳ تا ۱۱۵.

26- Mani, S., and Parthasarathy, N., 2007. Above-ground biomass estimation in ten tropical dry evergreen forest sites of peninsular India. Journal of Biomass and Bioenergy, Vol. 31, pp. 284-290.

27- Ponce-Hernandez, R., Koohafkan, P., Antoine, J. (2004). Assessing Carbon Stocks and Modelling Win-win Scenarios of Carbon Sequestration Through Land-use Changes. Rome, FAO, p.177.

28- Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M., Saint-André, L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. Forest Ecology and Management, Vol. 260, pp. 1375-1388.

29- Vahedi, A.A., Bijani-Nejad, A.R., Djomo, A., 2016. Horizontal and vertical distribution of carbon stock in natural stands of Hyrcanian lowland forests: A case study, Nour Forest Park, Iran. Journal of Forest Science, Vol. 62, pp. 501-510.

30- Blake, G.R., and Hartage, K.H., 1986. Bulk density. A. Klute (ed. 0, methods of soil analysis part 1-physical and mineralogical methods, second edition, Amer. Soc. Agron., Inc., and Soil Sci. Soc. Amer., Inc., Madison, Wis, pp. 363-375.

31- Walkley, A., and Black, I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil science, Vol. 37, No. 1, pp. 29-38.

32- Kirby, K.R. and Potvin, C., 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. Forest Ecology and Management, Vol. 264, pp. 208-221.

33- Dai, W., and Huang, Y., 2006. Relation of soil organic matter concentration to climate and altitude in zonal soils of China. Catena, Vol. 65, No. 1, pp. 87-94.

۳۴- قنبری مطلق، م، بابایی کفاکی، س، متاجی، ا، اخوان، ر، «تأثیر پارامترهای اقلیمی بر میزان بیوماس و ذخیرهٔ کربن با استفاده از داده های ماهواره ای در جنگل های نیمرخ شمالی البرز»، رساله دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۹۷، ۲۰۰ صفحه.

35- He, X., Hou, E., Liu, Y. and Wen, D., 2016. Altitudinal patterns and controls of plant and soil nutrient concentrations and stoichiometry in subtropical China. Scientific reports, Vol. 6, 24261, pp. 9.

۳۶- واحدی، ع، متاجی، ا، اسحاقی راد، ج، «تغییرات ذخایر وزنی حوض کربن آلی خاک در ارتباط با تنوع زیستی گیاهی (مطالعه موردی: جنگل های آمیخته راش گلندرود نور)»، مجله بوم شناسی کاربردی، ۱۳۹۳، جلد ۳، شماره ۷، صفحات ۱ تا ۱۱.

۳۷- کوچ، ی، جلیلوند، ح، بهمنیار، م، پورمجیدیان، م، «ارزیابی جداسازی واحدهای اکوسیستمی جنگل های پایین بند کناره خزری و ارتباط آن ها با برخی ویژگی های خاک»، نشریه جنگل و فرآورده های چوب (منابع طبیعی ایران)، ۱۳۸۸، جلد ۴۲، شماره ۱، صفحات ۹۳ تا ۱۰۷.

۳۸- اصغری سرخی، م، حجتی، م، جلیلوند، ح، «مقایسه میزان ترسیب کربن خاک در توده خالص و آمیخته راش جنگل الندان ساری»، همایش بین المللی تغییر اقلیم و گاهشناسی درختی، ۱۳۹۱، ساری، ایران، ۵ صفحه.

۳۹- محمودی طالقانی، ع، زاهدی امیری، ق، عادلی، ا، ثاقب طالبی، خ، «برآورد میزان ترسیب کربن خاک در جنگل های تحت مدیریت (مطالعه موردی جنگل گلبند در شمال کشور)»، فصلنامهٔ علمی – پژوهشی تحقیقات

جنگل و صنوبر ایران، ۱۳۸۶، جلد ۱۵، شماره ۳، صفحات ۲۴۱ تا ۲۵۲.

40- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B. and Galán-Espejo, A., 2015. Soil organic carbon along an altitudinal gradient in the Despeñaperros Natural Park, southern Spain. Solid Earth, Vol. 6, No. 1, pp. 125-134.

41- Lal, R. 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest ecology and management, Vol. 22, No. (1-3), pp. 242-258.

۴۲- فرجی، ف، متاجی، ا، بابایی کفاکی، س، واحدی، ع، «ارتباط تنوع گیاهی و تغییرات زی تودهٔ هوایی در جنگل های راش شرقی (مطالعهٔ موردی: حاجیکلا- تیرانکلی، ساری)». مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران، ۱۳۹۴، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۱۵۱ تا ۱۶۵.