

برآورد میزان کربن انتشار یافته از جنگلکاری‌های کاج تدا (*Pinus taeda* L.) در اثر آتش‌سوزی با استفاده از معادلات آلومتریک

کامبیز طاهری آبکنار^{۱*}، ابوذر حیدری صفری کوچی^۲، سلما دهقان زاد^۳، سمیه مستحسن پور^۳ و فرشته مرادیان فرد^۳

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، گیلان، ایران

پست الکترونیک: Taherikambiz@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، گیلان، ایران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، گیلان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۶/۲۶

چکیده

آتش‌سوزی از عوامل اصلی انتشار کربن از توده‌های جنگلی به شمار می‌رود. از این رو مطالعه حاضر به منظور بررسی میزان انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی صورت گرفته در جنگل‌کاری‌های کاج تدا (*Pinus taeda* L.) در منطقه تَخَسَم از توابع لاکان شهر در استان گیلان انجام گرفت. بدین منظور، منطقه آتش‌سوزی شده به وسعت ۵ هکتار و یک قطعه هم سطح با منطقه آتش‌سوزی شده نیز به عنوان شاهد در قسمت مصون مانده در کنار لکه آتش‌سوزی، انتخاب و در هر منطقه ۵ قطعه نمونه ۴ آری (۴۰۰ متر مربعی) به صورت سیستماتیک تصادفی اجرا و قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان در آن برداشت شد. سپس با بررسی مطالعات انجام شده، در نهایت ۵ مدل جهت محاسبه زی‌توده درختان در دو توده انتخاب شد. با توجه به نتایج این مطالعه، میانگین زی‌توده درختان در توده شاهد بین ۹۳۰۸۶/۹۸ (مدل P) تا ۱۰۵۳۶۲/۹ (مدل M) برآورد شد و میانگین زی‌توده درختان در توده آتش-سوزی شده بین ۶۷۸۲۹/۷۳ (مدل P) تا ۸۳۵۰۹/۰۴ (مدل M) برآورد شد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار اندوخته کربن در توده شاهد و توده آتش‌سوزی شده به ترتیب ۴۸/۸۵۳ و ۳۸/۳۵۷ تن در هکتار می‌باشد که آزمون t این اختلاف را معنی‌دار نشان داد. میزان انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی ۱۰/۴۹۵ تن در هکتار و مجموع انتشار کربن در سطح لکه آتش-سوزی نیز ۵۲/۴۷۸ تن برآورد گردید. در میان مدل‌های انتخاب شده مدل $P = BD = \beta_0 + \beta_1(DBH^{B2})$ کمترین انحراف معیار را در محاسبات ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: دی‌اکسید کربن، گرمایش زمین، گازهای گلخانه‌ای، کاج تدا، زی‌توده.

مقدمه

هوایی، تنوع زیستی، میزان تولید، ترسیب کربن و توان احیای جنگل می‌تواند کیفیت زندگی بشر را دگرگون سازد اما برای اثرات اقتصادی آن باید مطالعات بیشتری انجام شود (Ding *et al.*, 2018).

از طرف دیگر جنگل‌ها دارای ذخایر عظیم کربن هستند که میزان آن بستگی به تعادل در تولید اولیه و میزان تنفس

تغییر اقلیم در حال تأثیرگذاری مستقیم بر بوم‌سازگان و تنوع زیستی آن‌ها در مناطق مختلف جهان است (Wan *et al.*, 2018; IPCC, 2001). این تغییرات می‌تواند از جنبه‌های مختلف رابطه انسان و محیط اطراف را نیز تحت تأثیر قرار دهد، به این صورت که تغییر اقلیم با تغییر شرایط آب و

معضل آتش‌سوزی مواجه بوده‌اند و هر از چند گاهی بخشی از این توده‌ها در آتش سوخته است.

آمارها نشان می‌دهد تا پایان سال ۱۳۸۹ طی ۸۷۱ فقره آتش‌سوزی، ۳۲۱۳ هکتار جنگل طبیعی و مصنوعی در استان گیلان دچار آتش‌سوزی شده است که رقم قابل توجهی است (Rahimi & Esmaeili, 2010). همچنین در هفت سال گذشته طی ۷۹۳ فقره آتش‌سوزی ۱۷۳۹/۳ هکتار از جنگل‌های گیلان در آتش سوخته است. آتش در خیلی از موارد نقش تعیین کننده‌ای در حضور گونه‌ها و پویایی اکوسیستم‌های جنگلی دارد (Stewart et al., 2016). در واقع آتش می‌تواند به عنوان یک عامل بوم‌شناختی بر اجزای تشکیل دهنده هر اکوسیستم اثرات مثبت یا منفی داشته باشد (Guevara et al., 1999). در این مطالعه انتشار کربن به عنوان یکی از اثرات منفی آتش‌سوزی مدنظر است. در اثر آتش‌سوزی و حین عمل سوختن، کربن ذخیره شده در ساختار چوب و اندام‌های مختلف درخت آزاد شده و به صورت دی‌اکسید کربن به اتمسفر وارد می‌شود (Cloy & Smith, 2018). تخمین این میزان کربن منتشر شده می‌تواند به ارزش‌گذاری توده‌ها از نظر ذخایر کربن و برآورد خسارت اقتصادی و محیط‌زیستی آتش بر این توده‌ها منجر شود.

برای برآورد کربن منتشر شده به میزان موجودی حجمی توده و زی‌توده (وزن خشک درختان) نیاز است که با ضرایب ثابتی می‌توان اندوخته کربن را از طریق وزن خشک توده محاسبه نمود که این ضریب طبق مطالعات بی‌شمار انجام شده ۰/۵ در نظر گرفته شده است (Singh et al., 2011; Zhu et al., 2010; Heidari Safari Kouchi et al., 2017). برآورد زی‌توده یا وزن خشک را نیز می‌توان از روش‌های مختلف از جمله روش مخرب و پرهزینه قطع درخت انجام داد اما روش دیگر تخمین زی‌توده از طریق روابط رگرسیونی است که حاصل کار محققان دیگر بوده و بدون نیاز به قطع درخت می‌توان زی‌توده درخت را محاسبه نمود. این معادلات رگرسیونی را معادلات آلومتریک یا Allometric equations می‌گویند که کاربرد فراوانی در

کل اکوسیستم دارد و این‌ها فرآیندهایی هستند که بر روی پدیده تغییر اقلیم اثرگذارند (Margono et al., 2014; Michaletz et al., 2014; Reyer et al., 2014). بنابراین رابطه جنگل و تغییر اقلیم یک رابطه دوجانبه و بسیار قوی است که در شکل‌گیری بسیاری از پدیده‌های اقلیمی کره زمین و بیوم‌های آن هم نقش اساسی را ایفا می‌کند (Reyer et al., 2014).

دی‌اکسید کربن مهره کلیدی در این رابطه دوجانبه است. این ترکیب گازی بیشترین اثر را در بین گازهای گلخانه‌ای داشته و نقش آن در گرمایش زمین بسیار قابل توجه است به طوری که اغلب پژوهشگران تغییر اقلیم، موضوع پالایش کربن یا ترسیب کربن را به صورت پیش‌فرض محور پژوهش خود قرار می‌دهند (Cloy & Smith, 2018).

مطالعات انجام گرفته، ترسیب کربن با روش‌های مصنوعی از جمله استفاده از فیلترها را مقرون به صرفه نمی‌دانند (Cannell, 2003) اما گیاهان به‌ویژه درختان به وسیله فرآیند فتوسنتز، دی‌اکسید کربن اتمسفر را طی مراحل چرخه کالوین (Calvin cycle)، به مولکول‌های قند تبدیل کرده و از این قند در ساخت زی‌توده به صورت ریشه، ساقه، برگ و میوه استفاده می‌کنند و بخشی از آن را از طریق لاشبرگ به خاک زیرین خود منتقل می‌سازند (Moghaddam, 2001). از این رو ترسیب کربن در زی‌توده گیاهی و خاک ساده‌ترین و ارزان‌ترین راهکار برای کاهش کربن اتمسفری است که اگر در قالب زراعت چوب صورت گیرد منافع اقتصادی هم در پی خواهد داشت (William, 2002). بنابراین این افزایش سطح جنگل‌ها و زراعت چوب از جمله مناسب‌ترین راهکارها برای کاهش کربن اتمسفری به شمار می‌رود (Lal, 2004).

گونه کاج تدا (*Pinus taeda* L.) از گونه‌های تندرشد (۱۵ تا ۲۵ مترمکعب در هکتار رویش حجمی) غیر بومی است که از سال ۱۳۴۰ بذر آن از مبدأ آمریکا به وسیله دفتر جنگل‌کاری و پارک‌ها وارد کشور شده است و اکنون سطوح وسیعی از اراضی جنگل‌کاری شمال ایران، به‌ویژه استان گیلان را به خود اختصاص داده است (Mighi, 2008). اما این توده‌ها همیشه با

اشاره کرد که با بررسی توان معادلات آلومتریکی در تخمین زی توده چند گونه صنوبر و ارائه مدل‌های برتر در بررسی زی توده گونه‌های مختلف صنوبر، قطر برابر سینه را بهترین متغیر مستقل برای مدل‌سازی و ارائه معادلات آلومتریکی به-منظور تخمین زی توده این گونه‌ها دانستند. اما بیشتر مطالعات انجام شده در مورد آتش‌سوزی در ایران مربوط به اثرات حریق بر ویژگی‌های کمی و کیفی خاک می‌باشد (Gholami-Gohareh *et al.*, 2012; Hosseini & Hosseini, 2014).

با توجه به مطالب ذکر شده، این مطالعه در نظر دارد تا با استفاده از معادلات آلومتریکی موجود برای گونه کاج تدا، میزان انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی سال ۹۲ در جنگلکاری‌های این گونه در حومه لاکان شهر گیلان را برآورد نماید. همچنین در این مطالعه میزان زی توده جنگلکاری در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده و اندوخته کربن موجود در دو منطقه نیز برآورد خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

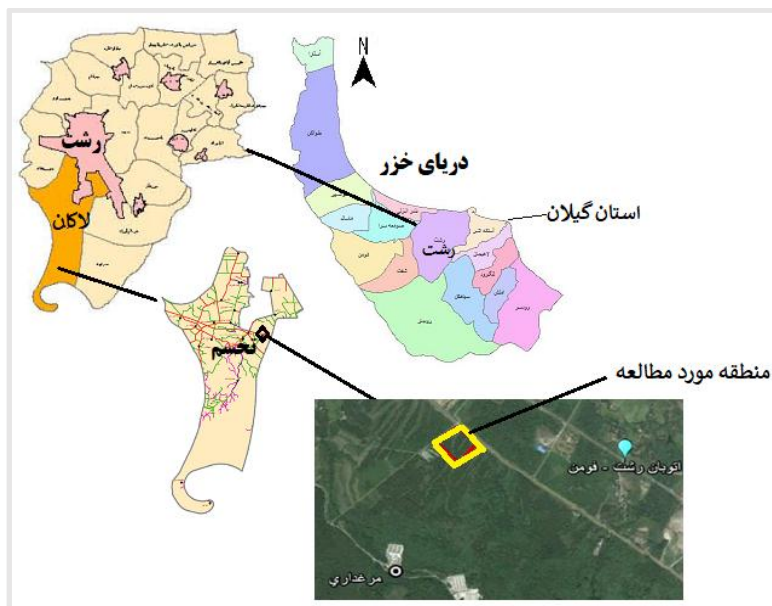
جنگل تخسّم بخشی از جنگلکاری‌های استان گیلان با گونه کاج تدا *Pinus taeda* در شهرستان لاکان از توابع رشت است که در سال ۱۳۷۱ در موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۰۹' ۱۸" طول شرقی و ۳۵° ۳۵' ۴۹" عرض شمالی و در ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا و در منطقه‌ای مسطح و بدون شیب در فواصل ۳×۳ متر (۱۱۱۱ اصله در هکتار) کاشته شده است (شکل ۱). با در نظر گرفتن درصد زنده‌مانی و عملیات‌های برداشت متعدد از این توده‌ها در سالیان اخیر، تعداد در هکتار توده‌ها به ۵۴۵ پایه در هکتار (نیمی از پایه‌های اولیه) کاهش یافته است. بر اساس روش آمبرزه اقلیم منطقه از نوع خیلی مرطوب با میانگین بارندگی سالانه ۱۲۸۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵/۹ درجه سانتیگراد میانگین حداکثر دمای گرم‌ترین ماه سال ۲۶ درجه و میانگین حداقل دمای سردترین ماه سال نیز ۶/۵ درجه است. منطقه دارای خاک جلگه‌ای و حاصلخیز است.

مطالعات جنگل یافته‌اند (Heidari Safari Kouchi *et al.*, 2017). کارکرد این معادلات به این نحو است که با دادن یک متغیر مستقل مانند قطر برابر سینه به آن، می‌توان متغیر وابسته (در این جا زی توده درخت) را محاسبه کرد. بررسی اثر آتش‌سوزی بر انتشار کربن در سالیان اخیر مورد توجه پژوهشگران مختلفی در سراسر جهان بوده است. برخی از این مطالعات در مقیاس بسیار بزرگ انجام شده‌اند از جمله Mouillo و Field (۲۰۰۵) و Mouillo و همکاران (۲۰۰۶) با انجام دو پژوهش ارزشمند بیان داشتند که انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی در انواع بیوم‌های زمین متفاوت است؛ برای مثال، آتش‌سوزی در ساوانا و چمنزارها حدود ۵۰ درصد از انتشار سالانه کربن را شامل می‌شود و جنگل‌های مناطق حاره با ۲۸ درصد در رده دوم انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی در بین بیوم‌های زمین قرار دارند. همچنین جنگل‌های بوره‌آل و گرمسیری، هر کدام با ۶ درصد منابع مهم دیگر انتشار کربن از جنگل‌های زمین به شمار می‌روند. همچنین Van der Werf و همکاران، (۲۰۰۶) بر اساس مطالعه‌ای در مورد انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی و مصرف بیوانرژی اعلام می‌دارند که در سراسر جهان، سوختن چوب در اثر آتش‌سوزی‌های طبیعی در جنگل‌ها و احتراق زیست‌توده برای استفاده‌های خانگی و صنعتی، باعث انتشار حجم زیادی از CO₂ به اتمسفر می‌شود که تقریباً نصف میزان انتشار آن در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی است. در مقیاس کوچکتر می‌توان به مطالعه Linton (۲۰۰۴) اشاره کرد که طی مطالعه‌ای بر روی اثرات آتش‌سوزی بر چند توده جنگلی، درصد آسیب جنگل‌ها در غالب آتش‌سوزی‌های جنگل را بین ۱۰ تا ۵۰ درصد گزارش کرده است. بر اساس این مطالعه بیشترین آسیب در آتش‌سوزی‌ها متوجه درختان کم‌قطر بوده و در صورت جوان بودن توده‌ها میزان انتشار کربن از این توده‌ها زیاد و در توده‌های مسن میزان انتشار کربن به طور معنی‌داری کمتر خواهد بود. در ایران نیز می‌توان به مطالعات Parsapour و همکاران، (۲۰۱۳) و Heidari Safari Kouchi و همکاران (۲۰۱۵)

آتش‌سوزی از جهت شرق منطقه شروع شد و ۵ هکتار از جنگلکاری‌های کاج تدا در این منطقه از بین رفت و سپس آتش با رسیدن به جاده‌های اطراف خاموش شد.

برداشت چند پروفیل خاک از منطقه، در مجموع سه گروه خاک شامل: آبرفتی، پسودوگلی (Pseudo Glay) و هیدرومورف دائم را در منطقه نشان می‌دهد.

در ساعت ۱۵ روز سه شنبه، اول مرداد ۱۳۹۲



شکل ۱- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه

روش بررسی

آماربرداری و برداشت داده‌ها

سنج ورتکس (Vertex) (با دقت دسی‌متر) اندازه‌گیری و در فرم‌های آماربرداری ثبت شد.

انتخاب معادلات آلومتریک

در این مطالعه برای برآورد زی‌توده کاج تدا نیاز به معادلات آلومتریک با دقت و ضریب تبیین بالا وجود دارد. برای دست‌یابی به این معادلات، با بررسی مطالعات انجام شده در مورد این گونه در دنیا در نهایت ۱۷ مدل کلی (جدول ۱) جمع‌آوری شد. از میان مدل‌های جمع‌آوری شده پس از در نظر گرفتن مشابهت‌های اقلیمی و تطبیق سن توده‌ها، به بررسی دقت مدل‌ها در مطالعات مختلف پرداخته شده و از بین آن‌ها مدل‌هایی که ضریب تبیین (Coefficient of Determination) یا (R^2) بالاتری را در محاسبات ارائه داده بودند برای

برای بررسی و برداشت داده‌ها منطقه آتش‌سوزی شده به وسعت ۵ هکتار و یک قطعه هم سطح با منطقه آتش-سوزی شده نیز به عنوان شاهد در قسمت مصون مانده در کنار لکه آتش‌سوزی در نظر گرفته شد. در این مطالعه به دلیل اینکه توده‌های مورد بررسی دست کاشت، همسال منظم و همگن هستند شبکه آماربرداری به ابعاد شبکه ۱۰۰ × ۱۰۰ متر به صورت سیستماتیک تصادفی در منطقه پیاده شد (Zobeiri, 2001) و تعداد پنج قطعه نمونه چهار آری، دایره شکل (شدت آماربرداری پنج درصد) در هر کدام از توده‌های مورد بررسی شامل توده آتش‌سوزی شده و شاهد پیاده گردید. در هر قطعه نمونه قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان به وسیله کالیپر (با دقت میلی‌متر) و دستگاه ارتفاع-

استفاده در محاسبات در مطالعه حاضر انتخاب شد. در این مطالعات، زی توده کل درخت (BD) با استفاده از متغیرهای مستقل از جمله قطر و ارتفاع و ضرایب ثابت برآورد می‌گردد.

جدول ۱- برخی معادلات آلومتریک موجود برای تخمین بیوماس (وزن خشک) روی زمینی گونه‌های کاج ($R^2 > 0.80$) (B_D) زی توده کل (بر حسب کیلوگرم)، β پارامترهای مدل، DBH قطر برابر سینه (بر حسب سانتی‌متر)، HT ارتفاع کل درخت (بر حسب متر) و \ln لگاریتم است)

کد مدل	معادله آلومتریک	منبع
A	${}_3\beta_2(DBH^2) - \beta_1(DBH^2) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
B	${}_2(DBH^2) \times HT \beta_1(DBH^2) \times HT + \beta_0 + \beta BD =$	Doruska & Pattern., 2006
C	${}_3 \ln(HT)] \beta_2 (\ln(DBH) + \beta_1 + \beta_0 + \exp[\beta BD =$	Poesy et al., 2005
D	${}_2 (\ln(DBH)] \beta_1 + \beta_0 + \exp[\beta BD =$	Jenkins et al., 2003
E	${}_3] \beta_2 (DBH) / (DBH + \beta_1 + \beta_0 + \exp[\beta BD =$	Zianis et al., 2005
F	${}^4 \beta^3 \log(DBH) \times HT \beta^2 + \beta_1 (DBH + 1) \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
G	${}^2 \beta_1 (DBH \times HT) \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
H	${}_2 (DBH^2) \times HT \beta_1 (DBH^2) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
I	${}_2 (DBH^2) \beta_1 (DBH) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
J	${}_2] \beta_1 + \exp[DBH \times \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
K	${}_3 \beta_2 (DBH^2) - \beta_1 (DBH^2) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
L	${}_2 \times (HT) \beta_1 \log(DBH) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
M	${}_2 \times (DBH^2) \beta_1 (HT) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
N	${}^3 \beta^2 \times (HT) \beta_1 (DBH) \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
O	${}_2 \ln(HT) \beta_1 \ln(DBH^2) + \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
P	${}^2) \beta_1 (DBH) \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005
Q	${}_1 (DBH^2) \beta_0 + \beta BD =$	Zianis et al., 2005

انتخاب شده در مطالعه حاضر را به شرح جدول ۲ ارائه داده‌اند که آن را برای برآورد زی توده درختان کم قطر و میان قطر (کمتر از ۴۰ سانتی‌متر) کاج تدا مناسب و با دقت بالا ارزیابی کردند. بنابراین با توجه به شرایط توده مورد بررسی در این مطالعه ضرایب زیر برای مدل‌سازی و برآورد زی توده درختان در دو منطقه شاهد و آتش‌سوزی شده استفاده شد.

در نهایت با بررسی معادلات جمع‌آوری شده با توجه به دقت و کارایی مدل در برآورد زی توده گونه کاج تدا، تعداد پنج مدل شامل مدل‌های A، B، M، P و Q برای انجام محاسبات این مطالعه انتخاب شد.

McElligott و Bragg (۲۰۱۳) در مطالعه خود با بررسی زی توده کاج تدا با روش‌های قطع کامل و استفاده از روابط آلومتری، بهترین ضرایب ثابت برای مدل‌های

جدول ۲- مقادیر β به دست آمده برای کاج تدا توسط: (McElligott & Bragg, 2013)

کد مدل	β_0	β_1	β_2	β_3
A	-۱/۲۰۳	-۰/۰۶۵	۰/۳۱۵	-۰/۱۶۱
B	۰/۹۲۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶۴	-
M	۴/۰۵۱	-۱/۸۱۸	۰/۳۱	-
P	-۰/۴۱۳	۰/۰۵۶	۲/۴۳	-
Q	-۱/۱۵۲	۰/۲۵۰	-	-

کلموگروف-اسمیرنف و برای مقایسه اندوخته کربن در دو توده از آزمون t مستقل استفاده شد. همچنین برای محاسبه زی توده توسط مدل‌های انتخابی، از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ و برای آزمون میانگین‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های کمی دو توده

مدل‌های انتخاب شده در این مطالعه دو فاکتور قطر برابر سینه و ارتفاع را به عنوان متغیرهای مستقل در روابط رگرسیونی به‌کار برده‌اند. جدول ۳ وضعیت درختان دو توده از نظر قطر و ارتفاع را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، میانگین قطر و ارتفاع درختان در توده آتش‌سوزی شده (۲۸/۴۶ سانتی‌متر و ۲۰/۷۱ متر) بیشتر از شاهد (۲۶/۱۴ سانتی‌متر و ۱۹/۰۷ متر) می‌باشد.

برآورد زی توده، اندوخته کربن و میزان انتشار کربن با استفاده از مدل‌های انتخاب شده، و کاربرد متغیرهای مستقل شامل قطر و ارتفاع و ضریب‌های ثابت موجود، زی-توده درختان در سطح پلات و در هکتار محاسبه شد. نتایج مطالعات متعدد اثبات کرده است که درصد کربن موجود در ترکیب زی توده (وزن خشک) درختان تقریباً برابر با ۵۰ درصد است (Singh *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2010; Heidari Safari Kouchi *et al.*, 2017) بنابراین در این مطالعه نیز از ضریب ۰/۵ برای تبدیل وزن خشک (زی توده درختان) به میزان اندوخته کربن استفاده شد. در نهایت با محاسبه اختلاف ذخیره کربن در توده شاهد با توده آتش‌سوزی شده میزان انتشار کربن در هکتار محاسبه و به کل سطح لکه آتش‌سوزی تعمیم داده شد.

محاسبات آماری و نرم افزارهای مورد استفاده در این مطالعه برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون

جدول ۳- مشخصات کمی پایه‌ها در دو منطقه آتش‌سوزی و شاهد

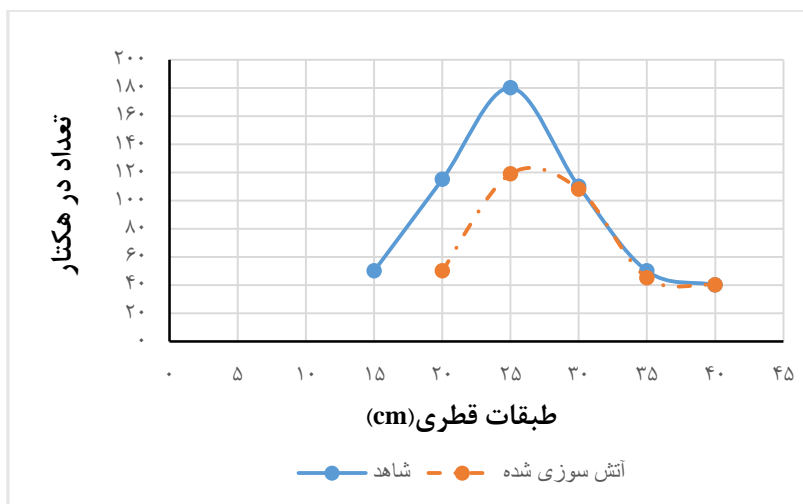
منطقه	تعداد*	متغیر	میانگین	کمینه	بیشینه	واریانس	انحراف معیار	اشتباه معیار	تعداد در هکتار
آتش‌سوزی شده	۷۳	قطر برابر سینه	۲۸/۴۶	۱۸	۴۰	۳۶/۶۴	۶/۰۵	۰/۷۰	۳۶۵
		ارتفاع	۲۰/۷۱	۱۴	۲۶	۹/۱۵	۳/۰۲	۰/۳۵	
شاهد	۱۰۹	قطر برابر سینه	۲۶/۱۴	۱۵	۳۹	۳۹/۱۲	۶/۲۵	۰/۵۹	۵۴۵
		ارتفاع	۱۹/۰۷	۱۰	۲۴	۹/۷۳	۳/۱	۰/۲۹	

*منظور از تعداد، تعداد درختان اندازه‌گیری شده در پلات‌هاست

منحنی پراکنش در طبقات قطری

شکل ۲ منحنی پراکنش در طبقات قطری دو توده را نشان می‌دهد. با توجه به این منحنی در توده آتش‌سوزی شده، درختان طبقه قطری ۱۵ سانتی‌متری حذف شده و در طبقات قطری بالاتر نیز این کاهش تعداد نمایان است.

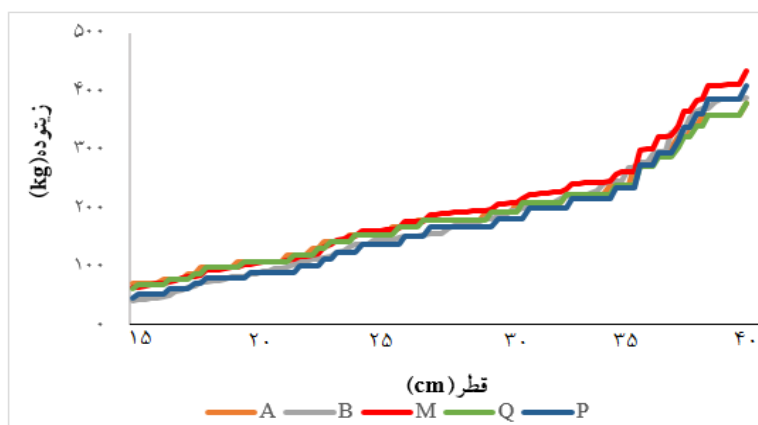
کاهش پایه‌ها در طبقه قطری ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متری به ترتیب برابر با ۶۵ و ۶۱ پایه در هکتار بوده است اما در طبقه قطری ۳۰، ۳۵ و ۴۰ سانتی‌متری کاهش تعداد پایه‌ها جزئی بوده است.



شکل ۲- منحنی پراکنش در طبقات قطری دو منطقه مورد بررسی

مقایسه نتایج برآورد بیوماس با استفاده از از مدل‌های مختلف برای بررسی دقت مدل‌های انتخابی در برآورد زی‌توده، زی‌توده تمامی درختان موجود در پلات‌ها در یکی از توده‌ها (شاهد) با استفاده از پنج مدل منتخب

اندازه‌گیری و نمودار مقدار زی‌توده در قطرهای مختلف برای این توده رسم شد (شکل ۳). با توجه به نتایج، مقدار زی‌توده برآورد شده توسط هر پنج مدل به یکدیگر نزدیک می‌باشد.



شکل ۳- نتایج بررسی زی‌توده پایه‌های اندازه‌گیری شده در توده شاهد در طبقات قطری مختلف با پنج مدل

تخمین زی توده و اندوخته کربن

الف- توده شاهد

نتایج حاصل از مدل سازی زی توده و اندوخته کربن درختان با استفاده از پنج معادله آلومتری انتخاب شده در توده شاهد برحسب کیلوگرم در سطح پلات و در هکتار در جدول ۴ خلاصه شده است. میانگین زی توده یا وزن خشک درختان در توده شاهد بین ۹۳۰۸۶/۹۸ کیلوگرم (مدل P) تا ۱۰۵۳۶۲/۹ کیلوگرم (مدل M) در هکتار برآورد شده است.

میانگین زی توده برآورد شده توسط مدل های منتخب ۹۷۷۰۶/۳۲ کیلوگرم در هکتار است. همچنین به طور میانگین در توده شاهد ۴۸۸۵۳/۱۶ کیلوگرم (تقریباً ۴۹ تن) در هر هکتار اندوخته کربن وجود دارد. کمترین میزان انحراف معیار (۸۳۵۳/۵۳) از میانگین اندوخته کربن در میان مدل ها مربوط به مدل P و بیشترین میزان انحراف معیار (۹۳۵۰/۴۸) مربوط به مدل B است (جدول ۵).

جدول ۴- نتایج حاصل از مدل سازی زی توده و اندوخته کربن درختان با استفاده از پنج معادله آلومتری انتخابی در توده شاهد

انحراف معیار	میزان اندوخته کربن (Kg/ha)	میانگین زی توده در هکتار (Kg/ha)	میانگین زی توده در پلات (Kg/ha)	کد مدل
۸۳۶۱/۰۲	۴۸۹۳۱/۰۶	۹۷۸۶۲/۱۱	۳۹۱۴/۴۸۴	A
۹۳۵۰/۴۸	۴۶۸۹۶/۲۳	۹۳۷۹۲/۴۶	۳۷۵۱/۶۹۸	B
۹۱۷۷/۴۹	۵۲۶۸۱/۴۴	۱۰۵۳۶۲/۹	۴۲۱۴/۵۱۵	M
۸۳۵۳/۵۳	۴۶۵۴۳/۴۹	۹۳۰۸۶/۹۸	۳۷۲۳/۴۷۹	P
۸۹۸۲/۳۳	۴۹۲۱۳/۵۸	۹۳۹۸/۰۸۶	۳۹۳۷/۰۸	Q
-	۴۸۸۵۳/۱۶	۹۷۷۰۶/۳۲	۳۹۰۸/۲۵	میانگین مدل ها

ب) توده آتش سوزی شده

همچنین نتایج حاصل از مدل سازی زی توده و اندوخته کربن درختان با استفاده از پنج معادله آلومتری انتخابی در توده آتش سوزی شده برحسب کیلوگرم در سطح پلات و در هکتار در جدول ۵ خلاصه شده است. با توجه به نتایج میانگین زی توده یا وزن خشک درختان در توده آتش سوزی شده بین ۶۷۸۲۹/۷۳ کیلوگرم (مدل P) تا ۸۳۵۰۹/۰۴ کیلوگرم (مدل M) در هکتار برآورد شده است. میانگین زی توده برآورد شده توسط مدل های مختلف ۷۶۷۱۴/۹۴ کیلوگرم در هکتار و به طور میانگین در توده آتش سوزی شده ۳۸۳۵۷/۴۷ کیلوگرم (تقریباً ۳۸ تن) در هر هکتار

اندوخته کربن وجود دارد که رقمی کمتر از توده شاهد را نشان می دهد. کمترین میزان انحراف معیار (۱۴۸۸۷/۰۳) از میانگین اندوخته کربن در میان مدل ها مربوط به مدل P و بیشترین میزان انحراف معیار (۱۸۰۴۱/۵۷) مربوط به مدل M است (جدول ۵).

مقایسه اندوخته کربن در دو توده

مقایسه میزان اندوخته کربن برآورد شده دو توده توسط مدل های پنج گانه با آزمون t مستقل (جدول ۶) نشان دهنده اختلاف معنی دار از نظر موجودی کربن دو توده می باشد.

جدول ۵- نتایج حاصل از مدل سازی زی توده و اندوخته کربن درختان با استفاده از پنج معادله آلومتری در توده آتش سوزی شده

انحراف معیار	میزان اندوخته کربن (Kg/ha)	میانگین زی توده در هکتار (Kg)	میانگین زی توده در پلات ها (Kg)	کد مدل
۱۶۳۱۰/۸۱	۳۸۴۲۸/۵۹	۷۶۸۵۷/۱۷	۳۰۷۴/۲۸	A
۱۷۴۳۱/۸۸	۳۹۲۸۰/۸۸	۷۸۵۶۱/۷۷	۳۱۴۲/۴۷	B
۱۸۰۴۱/۵۷	۴۱۷۵۴/۵۲	۸۳۵۰۹/۰۴	۳۳۴۰/۳۶	M
۱۴۸۸۷/۰۳	۳۳۹۱۴/۸۶	۶۷۸۲۹/۷۳	۲۷۱۳/۱۸	P
۱۶۳۰۳/۷۴	۳۸۴۰۸/۵۱	۷۶۸۱۷/۰۲	۳۰۷۲/۶۸	Q
-	۳۸۳۵۷/۴۷	۷۶۷۱۴/۹۴	۳۰۶۸/۵۹	میانگین مدل ها

جدول ۶- مقایسه میزان ذخیره کربن برآورد شده دو توده توسط مدل های پنج گانه با آزمون t مستقل

منطقه	df	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار	t	F	P value
شاهد	۸	۴۸۸۵۳/۱۶	۲۸۳۴/۴۷	۱۲۶۷/۶۱	۶/۲۶	۵/۴	**./...
آتش سوزی شده		۳۸۳۵۷/۴۷	۲۴۴۷/۲۳	۱۰۹۴/۴۳			

زی توده و اندوخته کربن معنی دار می باشد که کاهش اندوخته کربن در توده آتش سوزی شده را در اثر حریق به وضوح نشان می دهد.

شکل ۴ میانگین زی توده و اندوخته کربن توده شاهد و توده آتش سوزی شده را بر حسب تن در هکتار نشان می دهد. بر اساس شکل زیر اختلاف بین دو توده از نظر



شکل ۴- میانگین زی توده و اندوخته کربن در دو توده شاهد و آتش سوزی شده

میزان انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی

اختلاف اندوخته کربن در توده شاهد با توده آتش‌سوزی شده برابر با میزان انتشار کربن در هر هکتار در اثر آتش‌سوزی است که با تعمیم آن به سطح آتش‌سوزی میزان

انتشار کربن از زی‌توده درختی (روی‌زمینی) در لکه آتش‌سوزی محاسبه می‌شود (جدول ۷). با توجه به محاسبات انجام شده، معادل ۵۲۴۷۸/۴۵ هزار کیلوگرم (۵۲/۴) تن کربن از این توده در اثر آتش‌سوزی انتشار یافته است.

جدول ۷- میزان انتشار کربن از زی‌توده درختی (روی‌زمینی) در لکه آتش‌سوزی

اندوخته کربن در توده شاهد (Kg/ha)	اندوخته کربن در توده آتش‌سوزی شده (Kg/ha)	اختلاف اندوخته کربن در دو توده (Kg/ha)	سطح لکه آتش‌سوزی (ha)	میزان انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی (Kg/ha)
۴۸۸۵۳/۱۶	۳۸۳۵۷/۴۷	۱۰۴۹۵/۶۹	۵	۵۲۴۷۸/۴۵

بحث

آتش‌سوزی‌های جنگل، صرف نظر از منشأ پیدایش - (طبیعی یا مصنوعی)، می‌توانند به صورت مستقیم بر ساختار جنگل اثرگذار باشند (Wan et al., 2001). نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین قطر و ارتفاع درختان در توده آتش‌سوزی شده بیشتر از منطقه شاهد است که دلیل آن پوست نرم و مقاومت درختان جوان‌تر (درختان کم‌قطر و کم‌ارتفاع) نسبت به آتش و حذف این پایه‌ها در اثر حریق است. اما درختان قطور کاج نسبت به آتش مقاومت بیشتری دارند. Blankenship و Arthur (۲۰۰۶) در تحقیقی به بررسی ساختار توده‌های بلوط به مدت ۹ سال در مناطق آتش‌سوزی شده و شاهد در فلات کامبرلند ایالت کنتاکی آمریکا پرداخته و ذکر کردند که آتش باعث کاهش تراکم پایه‌ها به‌طور کلی و از بین رفتن معنی‌دار درختان کم‌قطر شده است که در این مطالعه نیز درختان کم‌قطر در اثر آتش‌سوزی آسیب بیشتری دیده‌اند.

با توجه به اینکه معمولاً افزایش قطر، افزایش بیوماس را در پی دارد بجز در مورد برخی گونه‌ها با فرم تنه و تاج غیر متعارف (Segura & Kanninen, 2005)، در این مطالعه نیز نتایج بدست آمده از پنج مدل آلومتریک مورد بررسی، همبستگی بالایی بین قطر برابر سینه و میزان بیوماس مشاهده می‌شود که نزدیک بودن نتایج بدست آمده از هر

پنج مدل نیز دقت بالای این معادلات را در تخمین میزان بیوماس گونه کاج تدا نشان می‌دهد. Bragg (۲۰۱۱) با بررسی زی‌توده کاج تدا در آرکانزاس ایالات متحده با مدل‌های مختلف میانگین زی‌توده این گونه در طبقات مختلف قطری را محاسبه کرد. بر اساس نتایج ایشان میانگین زی‌توده درختان در طبقه قطری ۱۵ سانتی‌متر بین ۵۰ تا ۷۲ کیلوگرم، در طبقه قطری ۲۵ سانتی‌متر بین ۱۶۷ تا ۲۵۷ کیلوگرم و در طبقه قطری ۳۵ سانتی‌متر بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم برای هر درخت توسط مدل‌های مختلف محاسبه شد که با توجه به نتایج بدست آمده در مورد زی‌توده درختان کاج در این مطالعه، بین نتایج همخوانی وجود دارد. وجود برخی از تفاوت‌ها در مطالعات مربوط به زی‌توده به میانگین ارتفاع درختان مربوط می‌شود که در مطالعه فوق توده مورد بررسی میانگین ارتفاعی درختان بیشتر از مطالعه حاضر می‌باشد که در محاسبه زی‌توده تأثیرگذار است.

مطالعات انجام شده در مورد پتانسیل گونه‌های بومی در جذب و ذخیره کربن نشان از کمتر بودن توان ترسیب کربن توسط این گونه‌ها نسبت به گونه‌های سوزنی برگ غیر بومی دارد. برای مثال اندوخته کربن جنگل‌کاری‌های ۲۵ ساله در استان گیلان با گونه‌های زبان گنجشک، بلند مازو و نمدار به ترتیب: ۲۸/۰۳، ۳۶/۴۱ و ۳۵/۹۳ تن در هکتار گزارش شده است (Ostad hashemi et al., 2017). حتی در مورد

(2009).

با توجه به محاسبات انجام شده، معادل ۵۲۴۷۸/۴۵ هزار کیلوگرم (۵۲/۴) تن کربن از این توده در اثر آتش-سوزی انتشار یافته است در حال حاضر مقدار کربنی که جنگل‌ها در خود ذخیره کرده‌اند، از میزان کل آن در اتمسفر بیشتر است اما بخش عمده‌ای از آن از طریق تخریب جنگل‌ها، آتش‌سوزی، بهره‌برداری و عوامل دیگر در حال برگشت به اتمسفر است (Ayoade *et al.*, 2018). مطالعات انجام‌شده نقش آتش‌سوزی جنگل را در انتشار کربن چشمگیر دانسته‌اند. از جمله Amiro و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی میزان انتشار کربن از جنگل‌های کانادا در اثر آتش‌سوزی‌های جنگل در این کشور، میانگین انتشار سالانه کربن از این جنگل‌ها را بالغ بر 27 ± 6 مگاتن برآورد کردند که حدود ۱۸ درصد میزان انتشار کربن سالانه در بخش انرژی این کشور است.

آمار دقیقی از سطح واقعی جنگلکاری شده توسط گونه کاج تدا در استان گیلان در دسترس نیست. اما Gorgi-bahri و همکاران، (۲۰۰۷) سطح جنگلکاری شده توسط این گونه را در استان گیلان ۳۰۰۰ هکتار برآورد کرده‌اند و با توجه به نرخ بالای جنگلکاری و تعهد شرکت سفارود برای جنگلکاری مداوم توسط این گونه سطح جنگلکاری شده توسط این گونه تا پایان سال ۱۳۹۶ تقریباً ۴۰۰۰ هکتار بوده است. با این فرض و با احتساب ۵۰ تن ذخیره کربن در هکتار در این توده‌ها تقریباً ۲۰۰,۰۰۰ تن کربن به صورت اندوخته در این توده‌ها وجود دارد که نقش به‌سزایی در ترسیب کربن در شمال کشور ایفا می‌کند که با توجه به نتایج این مطالعه پتانسیل بالایی نیز برای انتشار کربن از این توده‌ها در اثر آتش‌سوزی وجود دارد که در صورت عدم توجه جبران اثرات اقتصادی و محیط‌زیستی آن سخت دشوار خواهد بود.

در این پژوهش برای اولین بار در کشور با استفاده از معادلات آلومتریکی انتشار کربن در اثر آتش‌سوزی در جنگل محاسبه شد که روشی کم‌هزینه‌ای نیز می‌باشد. در این پژوهش، نتایج برآورد زی‌توده گونه کاج تدا توسط پنج

برخی گونه‌های سوزنی‌برگ و غیر بومی نیز اندوخته کربن در هکتار قابل توجه نیست؛ از جمله ذخیره کربن توسط گونه کاج سیاه در آستارا ایران ۱۰/۰۲ تن در هکتار برآورد شده است (Ostad hashemi *et al.*, 2017). اما گونه کاج تدا در غالب جنگل‌کاری‌های گیلان رشد و عملکرد به نسبت چشمگیری از خود نشان داده است. Ostad hashemi و همکاران، (۲۰۱۷) پتانسیل ترسیب کربن توسط این گونه را تا ۷۰ تن در هکتار نیز محاسبه کرده و دلیل آن را رویش حجمی قابل توجه این گونه (۱۶ متر مکعب در هکتار) دانستند. ایشان همچنین در بین گونه‌های بومی پتانسیل ذخیره کربن توسکای بیلاقی را ۵۱/۷۶ تن در هکتار برآورد کردند که با توجه با نتایج مطالعه حاضر و با توجه به این که گونه‌های پهن برگ از جمله توسکا در کنار ترسیب کربن بالا، اثرات منفی کمتری بر روی اسیدیته خاک داشته و از آن را نیز افزایش می‌دهند می‌تواند به عنوان گونه جایگزین یا همراه به صورت آمیخته در جنگلکاری‌های استان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با توجه به این که زی‌توده، شاخص کلیدی از خدمات اکوسیستم جنگل نظیر تولید چوب و ترسیب کربن، و نیز معیاری مهم برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل‌هاست (Aertsen *et al.*, 2012)، نتایج این مطالعه بیانگر آسیب آتش‌سوزی بر تولید جنگل و کاهش تولید حجمی جنگل مورد مطالعه در سال‌های آینده می‌باشد.

مقایسه میزان اندوخته کربن برآورد شده دو توده توسط مدل‌های پنج‌گانه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار از نظر موجودی کربن دو توده می‌باشد. بنابراین آتش‌سوزی باعث کاهش معنی‌دار ذخیره کربن در این توده شده است. آتش‌سوزی علاوه بر خسارت اقتصادی، آلودگی‌های محیط‌زیستی از جمله انتشار کربن را نیز به دنبال دارد که با سوختن زی‌توده انجام می‌شود (Serrasolsas *et al.*, 1999). همین امر باعث کاهش اندوخته کربن در توده‌هایی که دچار حریق شده‌اند می‌شود. میزان کاهش اندوخته کربن به عواملی چون شدت آتش‌سوزی، نوع آتش‌سوزی، سن درختان، نوع گونه‌های درختی بستگی دارد (Elliott *et al.*,

- Aedes albopictus*. *Acta Tropica*, 178: 155–162.
- Doruska, P.F. and Patterson, D.W. 2006. An individual tree, merchantable stem, green weight equation for loblolly pine pulpwood in Arkansas, including seasonal effects. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30(2): 61-65.
- Elliott, K.J., Vose, J.M. and Hendrick, R.L. 2009. Long-term effects of high intensity prescribed fire on vegetation dynamics in the Wine Spring Creek Watershed, western North Carolina, USA. *Fire Ecology*, 5 (2): 66- 85.
- Gholami Gohareh, R., Sadeghi, S.H.R., Mirnia, S.Kh. and Soleimankhani, Z. 2012. Effects of Light Firing on Infiltration, Runoff and Sediment in Rangeland in Kodir Area, Iran. 5(17): 23-32 (In Pesrian).
- Gorji Bahri, Y., Hemati, A. and Mahdavi, R. 2007. Effects of thinning intensities on Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation in Guilan province (Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3): 217-233 (In Pesrian).
- Guevara, J.C., Stasi, C.R., Wuillod, C.F. and Estevez, O.R. 1999. Effects of fire on rangeland vegetation in south-western Mendoza plains (Argentina): composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*, 41: 27-35.
- Heidari Safari Kouchi, A., Rostami Shahraji, T. and Iran Manesh, Y. 2015. Comparison of allometric equations to estimate the above-ground biomass of species (Case study; poplar plantations in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 13:(3)-237-246 (In Pesrian).
- Heidari Safari Kouchi, A., Moradian Fard, F., Rostami Shahraji, T. and Iranmanesh, Y. 2017. Biomass and carbon allocation of 10-years-old poplar (*Populus alba* L.) plantations of west Iran. *Forest Research: Open access*, 6(2): 1-13 (In Pesrian).
- Hosseini, S.S. and Hosseini, V. 2014. Effect of fire occurrence through the time on changes of K, Mg, Ca and EC of forest soil. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(1): 141-151(In Pesrian).
- IPCC. 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881p.
- Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. and Birdsey, R.A. 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*, 49(1): 12-35.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123: 1-22.
- Linton, J.V (Ed). 2004. *Wildfire issues and consequences*. Nova Science Publishers, Inc, NY, 127P.
- Margono, B.A., Potapov, P.V., Turubanova, S., Stolle, F. and Hansen, M.C. 2014. Primary forest cover loss

معادله آلومتریک که در آن‌ها قطر و ارتفاع کل درختان به‌عنوان متغیرهای مستقل به کار رفته بودند بسیار نزدیک و دقیق محاسبه شد که می‌تواند به عنوان الگویی برای محاسبه زی‌توده، اندوخته کربن و حجم سریای درختان در مطالعات بعدی نیز به کار رود. با توجه به نتایج این مطالعه آتش‌سوزی باعث انتشار ۱۰۴۹۵/۶۹ کیلوگرم کربن از توده مورد بررسی در هر هکتار گردیده است. همچنین ۵۲۴۷۸/۴۵ کیلوگرم کربن در اثر آتش‌سوزی از توده جنگلکاری شده کاج تدا در منطقه تخسم انتشار یافته است. بنابراین این گونه هم از لحاظ ترسیب کربن گونه‌ای ارزشمند می‌باشد و هم این توده‌ها منبع قابل توجهی از کربن هستند که با برنامه‌های مدیریتی و پیشگیری باید از انتشار آن به اتمسفر در اثر آتش‌سوزی ممانعت شود.

References

- Ayoade, M., Okojie, L. and Akerele, D. 2018. Forest carbon sequestration supply function for African countries: An econometric modelling approach. *Forest Policy and Economics*, 90: 59-66.
- Amiro, B.D., Todd, J.B., Wotton, B.M., Logan, K.A., Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Mason, J.A., Martell, D.L. and Hirsch, K.G. 2001. Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959–1999. *Canadian Journal of Forest research*, 31: 512-525.
- Aertsens, W., Kint, V., Von Wilpert, K., Zirlwagen, D., Muys, B. and Van Orshoven, J. 2012. Comparison of location- based, attributebased and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. *Forestry*, 85: 539– 550.
- Blankenship, B.A. and Arthur, M.A. 2006. Stand structure over nine years in burned and fire-excluded oak stands on the Cumberland Plateau, Kentucky. *Forest Ecology and Management*, 225: 134-145.
- Bragg, D.C. 2011. Modeling Loblolly Pine Aboveground Live Biomass in a Mature Pine-hardwood Stand: A Cautionary Tale. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 65: 31-38.
- Cannell, G.R. 2003. Carbon Sequestration and Biomass Energy Offset Theoretical, Potential and Achievable Capacities Globally in Europe and UK. *Biomass and Bio energy*, 24: 97-116.
- Cloy, J.M. and Smith, K.A. 2018. Greenhouse Gas Sources and Sinks, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2: 391-400.
- Ding, F., Fu, J., Jiang, D., Hao, M. and Lin, G. 2018. Mapping the spatial distribution of *Aedes aegypti* and

- Reyer, C., Lasch-Born, P., Suckow, F., Gutsch, M., Murawski, A., and Pilz, T. 2014. Projections of regional changes in forest net primary productivity for different tree species in Europe driven by climate change and carbon dioxide. *Annals of Forest Research*, 71: 211–225.
- Segura, M. and Kanninen, M. 2005. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. *Biometrika*, 37(1): 2-8.
- Serrasolsas, I. and Vallejo, V.R. 1999. Soil fertility after fire and clear-cutting. In: Rodà F. et al. _eds_, *Ecology of Mediterranean evergreen oak forest*. Ecological Studies, 137: 223–235.
- Singh, V., Tewari, A., Kushwaha, S.P.S. and Dadhwal, V.K. 2011. Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. *Forest Ecology and Management*, 261: 1945–1949.
- Stewart, W., Sharma, B., York, R., Diller, L., Hamey, N., Powell, R. and Swiers, R. 2016. *Forestry Ecosystems of California* ed H A Mooney and E S Zavaleta (Berkeley, CA, University of California Press, 817–34.
- Van Der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S. and Arellano, A.F. 2006. Interannual variability of global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 3175–3226.
- Wan, Ji-Zh., Wang, Ch-J., Qu, H., Liu, R. and -Xi-Zh, Zh. 2018. vulnerability of forest vegetation to anthropogenic climate change in China. *Science of the Total Environment*, 621: 1633–1641.
- Wan, S., Hui, D. and Luo, Y. 2001. Fire effects on nitrogen pools and dynamics in terrestrial ecosystems: a meta-analysis. *Ecological Applications Journal*, 11: 1349-1365.
- William, E. 2002. Carbon Dioxide fluxes in a semiarid environment with high carbonate Soils. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116: 91-102.
- Zhu, B., Wang, X., Fang, W., Piao, S., Shen, H., Zhao, S. and Peng, C. 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *Carbon cycle process in East Asia*, 123: 439–452.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. and Mencuccini, M. 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monograph*, 4. 63p.
- Zobeiri, M. 2001. *Forest Biometry*, Tehran University Press, 411p (In Pesrian).
- in Indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change*, 4: 730–735.
- McElligott, K.M. and Bragg, D.C. 2013. Deriving biomass models for small-diameter loblolly pine on the Crossett Experimental Forest. *Journal of the Arkansas Academy of Science*, 67: 94-102.
- Michaletz, S.T., Cheng, D., Kerkhoff, A.J. and Enquist, B.J. 2014. Convergence of terrestrial plant production across global climate gradients. *Nature*, 512, 39.
- Mighi, A. 2008. Effect of thinning on loblolly pine (*Pinus taeda*) regeneration and some soil characteristics, Case study of *Pinus taeda* forestry area in the city of Pilmabra, Guilan province. Master's thesis, Guilan University, 60p (In Pesrian).
- Moghaddam, M.R. 2001. Statistical and descriptive ecology of vegetation. Tehran University Press, 285p (In Pesrian).
- Mouillot, F. and Field, C.B. 2005. Fire history and the global carbon budget: a 11 fire history reconstruction for the 20th century. *Global Change Biology*. 11, 398–420.
- Mouillot, F., Narasimha, A., Balkanski, Y., Lamarque, J.F. and Field, C.B. 2006. Global carbon emissions from biomass burning in the 20th century. *Geophysical Research Letters*. 33, 801.
- Ostad hashemi, R., Rostami Shahraji, T. and Mohammadi Limaiei, S. 2017. Predictable carbon stock from different forest plantations species (case study: Astara city), The first national conference on conservation and reserve of Arasbaran forests, Research Center and Agricultural and Natural Resources Education of East Azarbaijan, Tabriz. Iran.10p (In Pesrian).
- Posey, TE., Doruska, PF. and Patterson, D.W. 2005. Individual-tree green weight equations for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) sawtimber in the Coastal Plain of Arkansas. Pages 53-57 in McRoberts, RE., Reams, GA., Van Deusen, PC., McWilliams, WH. and CJ Cieszewski (eds.), *Proceedings of the fourth annual Forest Inventory and Analysis symposium*. USDA Forest Service General Technical Report, NC-252.
- Parsapour, M.K., Sohrabi, H., Soltani, A. and Iranmanesh, Y. 2013. Allometric equations for estimating biomass for four poplar species at Charmahal and Bakhtiari province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(3): 528-517(In Pesrian).
- Rahimi, I. and Esmaeili, A. 2010. Investigation of fire potential of forests and rangelands using satellite imagery in forests: Marivan. *Geomatics conference*, 2005: 124-127 (In Pesrian).

Estimation of carbon emissions from loblolly pine (*Pinus taeda* L.) forest plantations using Allometric equations

K. Taheri Abkenar^{1*}, A. Heidari Safari Kouchi², S. Dehghanzad², S. Mostahsanpour²
and F. Moradianfard²

1* - Corresponding author, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, Guilan, Iran

E-mail: Taherikambiz@yahoo.com

2- Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowme`eh Sara, Guilan, Iran

Received: 22/05/2018

Accepted: 17/09/2018

Abstract

Fire is one of the main causes of carbon emission from forest stands. Therefore, the present study was conducted to investigate the amount of carbon emission caused by fire in the loblolly pine plantations in the Takhsam region that located in area of Lakan city of Guilan province. For this purpose, a burned region with 5 hectares' area and a control region next to burned stand were selected and 5 circle sample plots with 4r (400 square meters) areas were accomplished in two stands by random-systematic method and trees diameter at breast height and total height in sample plots were taken. Then, by investigating the conducted studies Finally, 5 models selected to calculate the trees biomass in two stands. According to the results of this study, the average of trees biomass in the control stand was estimated between 93086.98 (P model) to 10536.9 kg/ha (model M) and the average of trees biomass in the burnt stand was estimated from 67829.73 (P model) to 83509.04 kg /ha (model M). The results of this study also showed that the carbon stock content in the control and fired stands was 48.853 and 38.357 tons per hectare respectively which showed significant difference in t-test. The amount of carbon emissions from the fire was 10495.69 tons per hectare and the total carbon emission at the surface of the fire spot was about 52.478 tons. Among the selected models, P model ($BD = \beta_0 + \beta_1(DBH^{\beta_2})$) provided the least standard deviation in the calculations.

Key words: Carbon dioxide, Global warming, Greenhouse gases, Loblolly pine, Biomass.