Archive of SID

دو فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگلها و مراتع ایران
جلد ۱۳ شماره ۲، صفحه ۸۷-۹۶، (۱۳۹۴)

واسنجی دستگاه به‌سوخت‌سنج در ارزیابی مقدار سوخت چوبی در ایران (مطالعه موردی جنگل‌کاری‌های کاج تدا در مناطق جنگلی لاکان رشت)

مسعود امین املشی[1*]، مهرداد قدس‌خواه[2]، امیر اسلام بنیاد[3]، حسن پورباباییِ[3]، مصطفی جعفری[4] و وحید غلامی[5]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای دانشگاه گیلان، ایران. پست الکترونیک: msd_amin@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

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

۵- استادیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۸/۰۹

چکیده

اندازه‌گیری مقدار سوخت چوبی افتاده با تغییراتی بر خط‌نمونه برای اولین بار به نام خط‌نمونه Brown مطرح شد و از به‌سوخت‌سنج (go/no go gauge) به‌عنوان وسیله‌ای برای اندازه‌گیری دقیق مقدار سوخت چوبی در کلاس‌های مختلف قطری در بستر جنگل استفاده شد. ارزیابی مقدار سوخت یک نیاز ضروریست که باید در بررسی میزان سوخت‌های خطرآفرین در سراسر دنیا، به‌عنوان یک مقوله جدید در مدیریت آتش‌سوزی جنگل‌های ایران نیز نهادینه شود. برای معرفی و کاربرد به‌سوخت‌سنج در برآورد مقدار سوخت چوبی در ایران، مواد سوختنی بخشی از مناطق جنگل‌کاری گیلان (جنگل‌کاری‌های کاج تدا) برای واسنجی و بکارگیری این وسیله ارزیابی شد. برای این منظور با آماربرداری منظم- تصادفی و استفاده از خط‌نمونه، قطعات چوبی مرده در بستر جنگل توسط خط‌کش و به‌سوخت‌سنج اندازه‌گیری و مقایسه شدند. نتایج این بررسی نشان داد که به‌سوخت‌سنج ضمن راحتی و آسانی در اندازه‌گیری سوخت، از کارایی بالا برای ارزیابی و برآورد مقدار سوخت چوبی برخوردار است؛ اگرچه اختلاف معنی‌داری از نظر مقدار سوخت محاسبه شده توسط به‌سوخت‌سنج (۵/۲۱ تن در هکتار) و اندازه‌گیری مستقیم آن توسط خط‌کش (۵/۰۲ تن در هکتار) در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد. البته به لحاظ سرعت اندازه‌گیری نیز، نتایج نشان داد که به‌سوخت‌سنج می‌تواند زمان اندازه‌گیری‌ها را بیش از یک‌سوم کاهش دهد، که این زمان از نظر هزینه‌های آماربرداری قابل توجه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی جنگل، به‌سوخت‌سنج، جنگل‌کاری‌های گیلان، مقدار سوخت

مقدمه

روش آماربرداری خط‌نمونه را Olsen و Warren در سال ۱۹۶۴ برای اولین بار به‌منظور اندازه‌گیری باقی‌مانده قطعات چوبی در عرصه‌های جنگلی ارائه کردند؛ کاربرد اصلی این روش برای برآورد ضایعات پس از بهره‌برداری در جنگل بود (Zobeiri, 2002). بعدها این روش توسط

www.SID.ir

Archive of SID

Bailey، Van Wagner و Brown بین سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۱ برای اندازه‌گیری مواد سوختنی بستر جنگل (پوشش علفی و چوبی) و پیش‌بینی سطوح آتش‌سوزی توسعه یافت؛ De Vries این روش را بر پایه مباحث ریاضی دنبال کرد و Pickford و Hazard در سال ۱۹۷۸ مطالعات شبیه‌سازی را در جنگل با استفاده از این روش مورد مطالعه قرار دادند (Van Wagner, 1982) و بعدها Gavazzi و McNulty (۲۰۱۳) خط‌نمونه را برای برآورد زیست‌توده باقی‌مانده چوبی در واحد سطح و در سرتاسر چشم‌انداز منطقه مناسب دانستند. به‌منظور تسهیل در اندازه‌گیری (کاهش هزینه و زمان) مواد سوختنی در کف جنگل و به عبارتی اندازه‌گیری سریع مقدار سوخت، Brown در سال ۱۹۷۴ در خط‌نمونه تغییراتی ایجاد کرد (Brown, 1974 ;Lutes *et al*., 2006 ;Brown *et al*. 1982). او از خط‌نمونه علاوه بر استفاده در اندازه‌گیری سوخت علفی و ...، برای اندازه‌گیری قطر قطعات چوبی افتاده، آن را به قسمت‌های مختلف تقسیم کرد و به شکل یک خط‌نمونه منقطع نشان داد؛ از این‌رو می‌توان از آن به‌عنوان خط‌نمونه Brown نیز یاد کرد (در این مقاله برای سهولت همان خط‌نمونه نام برده می‌شود). از دهه دوم سال ۱۹۷۰ تاکنون، به‌ویژه زمانی که دقت بالای اطلاعات مورد نظر باشد، از این روش استفاده می‌شود (شکل ۲) (Sandberg *et al*., 2001). Brown علاوه بر معرفی خط‌نمونه خود تغییراتی را نیز در فرض پیش‌نهادی Van Wagner برای محاسبه دقیق وزن سوخت ارائه کرد. وی برخلاف Van Wagner که فقط قطعات چوبی افقی افتاده را در محاسبات لحاظ می‌کرد، قطعات چوبی سوخت ریز را که به شاخه‌های بزرگ افتاده وصل بوده و نسبت به سطح زمین به شکل مایل قرار داشتند نیز تحت ضریب تصحیح زاویه غیر افق ($a = \frac{1}{\cos(h)}$) به معادله افزود (Van Wagner, 1982)؛ البته مقدار این ضریب ناچیز بوده و بین ۱ تا حداکثر ۱/۴ است (Parresol, *et al*., 2006). Brown همچنین فاکتور تصحیح شیب ($C = \sqrt{1 + \left(\frac{S\%}{100}\right)^2}$) را نیز به معادله اضافه کرد (Van Wagner, 1982).

ارزیابی مقدار سوخت یکی از محورهای اساسی در جهت ممانعت و پیش‌گیری از آتش‌سوزی است (Gould, 2006) و در این راستا Kidine و همکاران (۲۰۱۰) تعیین مقدار سوخت را یک ضرورت برای برآورد دقیق شدت آتش‌سوزی معرفی کرده‌اند. همچنین Westfall و Woodall (۲۰۰۷) سوخت جنگل را ترکیبی از مواد قابل احتراق زنده و مرده در زیست‌بوم‌های جنگلی می‌دانند که ارزیابی آن برای بسیاری از توده‌های جنگلی و برای مدیران جنگل مورد نیاز است. در زمینه سوخت و کاهش سوخت‌های خطرآفرین باید توجه کرد که فقط سوخت‌های زیراشکوب (سطحی) هستند که با کاهش آن می‌توان تا حدود زیادی مانع از خطر آتش‌سوزی جنگل شد (Kazanis *et al*., 2012). البته کاهش سوخت در جنگل یک پیشنهاد جهانی به‌منظور محدود کردن اندازه و شدت آتش‌سوزی است و Van Wagtendonk (۱۹۹۶) آن را یک ضرورت برای بسیاری از جنگل‌کاری‌های Sierra Nevada در ایالات متحده آمریکا می‌داند. در دهه اخیر مدیریت بخش آتش در کشور استرالیا راهنمایی‌های لازم را در ارزیابی سوخت‌های مخاطره‌آمیز ارائه کرده است (Penny *et al*., 2012). سازمان حیات‌وحش ایالات‌متحده‌آمریکا (USFWS)، در تعریف خود از ارزیابی بهبود سوخت در جنگل، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌های مکرر را برای برآورد مقدار ماده سوختنی در جهت بهبود آن عنوان کرده و برای استانداردسازی ماده سوختنی دو نکته را مورد توجه قرار داده است؛ اول آنکه ارزیابی‌ها مبتنی بر پشتوانه علمی باشند و دوم اینکه محدودیت‌های زمانی و نیروی انسانی در آن لحاظ شده باشد (Anonymus, 2013). در ایران به ضایعات چوبی باقی‌مانده که بخش اعظمی از مواد سوختنی جنگل را تشکیل می‌دهند، کمتر از جنبه خطر آتش‌سوزی توجه شده و بیشتر به تأثیر باقی‌مانده چوب قطور (CWD) بر بوم‌شناسی جنگل تأکید شده است؛ برای نمونه می‌توان به تحقیقات Sefidi و

www.SID.ir

Archive of SID

Marvie Mohadjer (۲۰۱۰) در جنگل‌های گرازبن مازندران اشاره کرد که با استفاده از پنج قطعه نمونه مربع و مستطیل‌شکل در توده‌های مختلف، ویژگی باقی‌مانده‌های چوبی درشت پابرجا و افتاده را در رابطه با مدیریت و توالی جنگل تحقیق کردند. Behjou و Mollabashi (۲۰۱۳) در جنگل‌های شمال ایران برای ارزیابی باقی‌مانده چوبی درشت، دقت دو روش نمونه‌برداری را با استفاده از خط‌نمونه (به طول ۱۰۰ متر) و قطعات نمونه به شکل دایره (۴۰۰ مترمربع) با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج آنان نشان داد که خط‌نمونه می‌تواند به‌عنوان روشی آسان و سریع در نظارت بر باقی‌مانده‌های چوبی درشت در این جنگل‌ها معرفی شود.

مواد سوختنی در جنگل از دو بخش زنده و مرده تشکیل شده است. بخش مرده سوخت شامل بستر رویی جنگل (Litter) و بستر زیرین (Duff) آن است. بستر بالایی (افق ۰۱ یا لایه L) لایه سطحی کف جنگل است که مرکب از برگ‌های افتاده تازه، پوست درختان، میوه‌ها و مخروط‌ها و نیز قطعات چوبی باقی‌مانده، شامل CWD، که تنه‌های درختان و درختچه‌های مرده است و باقی‌مانده چوب نازک (FWD) که به سوخت خوب معروف بوده و شاخه‌های مرده و پایه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای کم قطر هستند. بستر زیرین (افق ۰۲ یا لایه‌های H و F) لایه هوموس و تخمیر شده‌ای است که در زیر لایه Litter قرار دارد (Brown *et al.*, 1982; Ewell, 2006).

برای تعیین مقدار سوخت جنگل و میزان انباشت آن لازم است تا مقادیر سوخت سطحی دائماً رصد شوند. به‌یقین پایش مقدار سوخت زمان‌بر و پرهزینه است. ابعاد قطعات چوبی در کف جنگل می‌توانند با استفاده از خط‌کش معمولی اندازه‌گیری شوند، که با توجه به انبوهی و نیز کوچک بودن قطر قطعات چوبی، زمان و دقت زیادی لازم است. Brown علاوه بر تجدیدنظر در روش خط‌نمونه از وسیله‌ای به نام go/no go gauge که در این مقاله به‌علت سهولت آن در اندازه‌گیری مقدار سوخت از آن به‌عنوان به‌سوخت‌سنج نام برده می‌شود، برای اندازه‌گیری قطر قطعات چوبی مرده بستر جنگل استفاده کرد (Brown, 1974 ; Brown *et al.*, 1982). سازمان حیات‌وحش آمریکا در مطالعات خود برای بهبود مقادیر سوخت خطرآفرین از به‌سوخت‌سنج به‌عنوان یک کالیپر کوچک برای ارزیابی مقدار سوخت چوبی نام می‌برد (Anonymus, 2013). به‌سوخت‌سنج را Amato و همکاران (۲۰۱۱) وسیله‌ای مناسب برای اندازه‌گیری مقدار سوخت معرفی کردند.

در این تحقیق، برای معرفی و استفاده از به‌سوخت‌سنج در اندازه‌گیری مقدار سوخت مرده کف جنگل در ایران، لازم است تا ابتدا این وسیله مورد واسنجی قرار گیرد. برای این منظور ارزیابی مقدار سوخت بوسیله به‌سوخت‌سنج با دقت حاصل از اندازه‌گیری خط‌کش معمولی که بهتر است از جنس پلاستیک شفاف باشد مقایسه شد. علاوه بر ارزیابی دقت به‌سوخت‌سنج، زمان اندازه‌گیری آن با خط‌کش نیز بررسی شد تا کاربرد به‌سوخت‌سنج از نظر کاهش هزینه‌ها نیز بررسی شوند.

مواد و روش‌ها

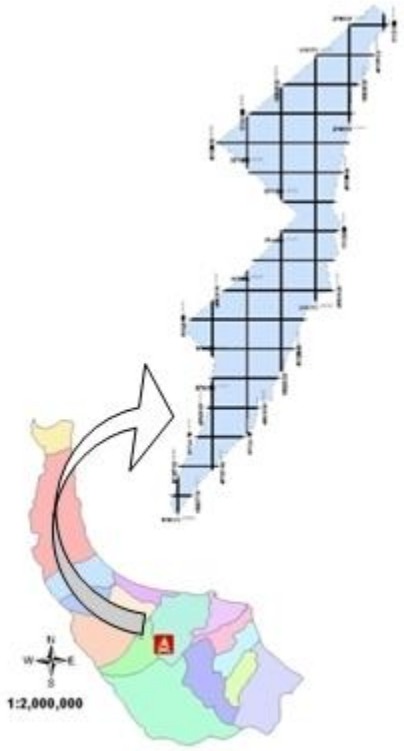
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد تحقیق بخشی از مناطق جنگل‌کاری با گونه کاج تدا (*Pinus taeda*) در روستای تخسم در منطقه لاکان در جنوب رشت است. این منطقه در موقعیت″۱۸ ′۰۹ °۳۷ طول شرقی و″۱۷ ′۳۵ °۴۹ عرض شمالی و در ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا قرار دارد. درختان کاج تدا با قطر متوسط ۲۰ سانتی‌متر و با میانگین ارتفاعی ۱۱ متر در فواصل کاشت ۳×۳ متر توده خالص و همسالی را تشکیل می‌دهند. برای انتخاب عرصه تحقیق پس از جنگل‌گردشی اولیه، با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) نقاط مختلفی از مرز عرصه مشخص شد؛ به دنبال آن موقعیت داده‌ها به محیط نرم‌افزار ArcGis معرفی شد و نقشه منطقه به مساحت ۳/۵ هکتار مشخص و ترسیم شد. از ویژگی‌های این جنگل داشتن عرصه صاف و هموار و بدون شیب و نیز عاری از زیر اشکوب‌های بوته‌ای و درختچه‌ای بود تا ارزیابی‌ها با دقت بیشتر انجام شود. برای انتخاب نمونه با حجم بزرگ (بیشتر از ۳۰ نمونه) Bihamta و Zare Chahouki

www.SID.ir

Archive of SID

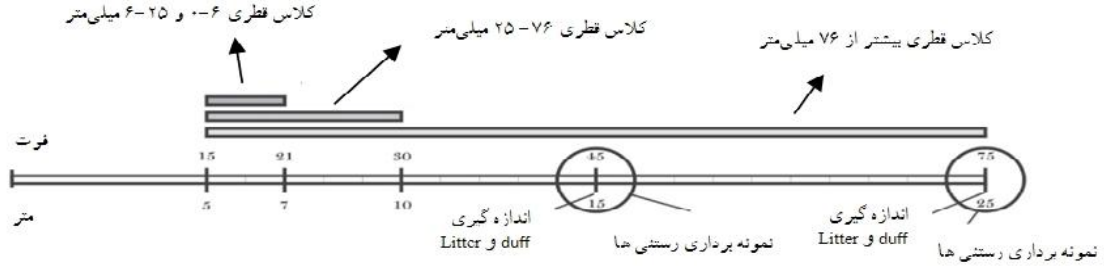
(۲۰۱۱)، شبکه‌ای به ابعاد ۳۵×۳۰ متر طراحی کردند و پس از تبدیل به مقیاس نقشه، ۳۳ نمونه به شکل منظم- تصادفی برای آماربرداری با روش خط‌نمونه در عرصه انتخاب شد (شکل۱).



شکل ۱- منطقه تحقیق در لاکان شهرستان رشت

روش آماری

پس از مشخص کردن موقعیت تمام قطعات نمونه در نرم‌افزار ArcGis، در پاییز سال ۱۳۹۲ به کمک دستگاه GPS تمام قطعات نمونه با حداکثر ۳ متر خطا در عرصه مشخص شدند. از مرکز هر شبکه نمونه‌برداری یک خط‌نمونه به طول استاندارد ۲۵ متر (مطابق تعریف Brown) در جهت شمال به جنوب در زمین پیاده شد. در تعریف خط‌نمونه، باید گفت که خط‌نمونه بهترین تصویر از یک خط‌نمونه نواری با عرض بی نهایت کوچک است که به شکل یک خط عمود یک سری از تقاطع دایره‌ای شکل را از قطعات چوبی قطع می‌کند (Van Wagner, 1982). در روش خط‌نمونه Brown، هر خط‌نمونه به سه قسمت ۵ تا ۷ متر، ۵ تا ۱۰ متر و ۵ تا ۲۵ متر تقسیم می‌شود. در این روش باقی‌مانده چوب‌های افتاده و مرده در کف جنگل در چهار کلاس قطری شامل کلاس قطری یک (۶-۰ میلی‌متر)، کلاس قطری دو (۲۵-۶ میلی‌متر)، کلاس قطری سه (۷۶-۲۵ میلی‌متر) که جزو سوخت‌های ریز محسوب می‌شوند و کلاس قطری چهار (بیشتر از ۷۶ میلی‌متر) که در گروه سوخت‌های قطور یا درشت قرار دارد، مشخص می‌شوند (Brown *et al.*, 2003). هر کلاس قطری را یک تایم‌لگ (Timelag) (مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک ماده سوختنی ۶۳ درصد رطوبت خود را از دست بدهد و با رطوبت محیط به تعادل برسد) می‌نامند؛ و آن را با ۱hr، ۱۰hr، ۱۰۰hr و ۱۰۰۰hr نشان می‌دهند. در قسمت اول خط‌نمونه (فاصله طولی بین ۵ تا ۷ متر) کلاس قطری یک و کلاس قطری دو اندازه‌گیری می‌شود، در فاصله بین ۵ تا ۱۰ متر کلاس قطری سه و در طول ۲۰ متر از خط‌نمونه یعنی فاصله بین ۵ تا ۲۵ متر از کلاس قطری چهار اندازه‌گیری انجام می‌شود (شکل۲) (Lutes *et al*. 2006).



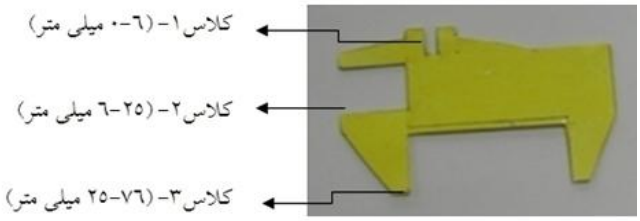
شکل ۲- خط‌نمونه Brown (Brown, 1974)

www.SID.ir

Archive of SID

در روی خط‌نمونه برای مشخص کردن فواصل مورد نظر برای اندازه‌گیری هر کلاس قطری، از طنابهایی با رنگ‌های مختلف که به هم گره زده شده بود، استفاده شد. برای هر کلاس قطری، محل تقاطع خط‌نمونه با هر قطعه چوب در بستر جنگل با استفاده از خط‌کش پلاستیکی شفاف مقدار قطر اندازه‌گیری و در فرم مربوطه یادداشت شد؛ این اندازه‌گیری برای تمام کلاس‌های قطری تا انتهای خط‌نمونه ادامه یافت. در اندازه‌گیری توسط به‌سوخت‌سنج نیز بدون آنکه موقعیت طناب تغییر کند قطر قطعه چوبی اندازه‌گیری شد. کارشناس ثبت اطلاعات با کرنومتر زمان اندازه‌گیری با خط‌کش و به‌سوخت‌سنج را برای هر مرحله از نمونه‌برداری تا دقت یک صدم ثانیه اندازه‌گیری و یادداشت کرد.

به‌سوخت‌سنج یک وسیله ساده از فلزات سبک همانند آلومینیوم بوده که با شیارهایی به پهنای هریک از کلاس‌های قطری اشاره شده ساخته شده است. از آن‌جایی‌که این وسیله در بازار ایران وجود نداشت در سال ۱۳۹۲ به‌سوخت‌سنج با یک ورق از آلیاژ آلومینیوم به قطر ۳ میلی‌متر و با اندکی تغییرات در شکل آن توسط مؤلف طراحی و ساخته شد (شکل ۳).



شکل ۳- به‌سوخت‌سنج طراحی شده توسط مؤلف

در اندازه‌گیری با این وسیله ابتدا با توجه به قطر قطعه چوبی با شیاری که مشابه این قطر است قطعه چوبی اندازه‌گیری، و در صورت جا گرفتن قطعه چوبی در داخل شیار، قطعه چوبی در همان کلاس قطری شمارش شده و اگر بزرگتر بود در کلاس قطری بالاتر قرار می‌گیرد. در این وسیله هیچ اندازه‌گیری مستقیم از ماده سوختنی انجام نمی‌شود و مطابق اندازه‌گیری بالا فقط تعداد قطعات چوبی در هر کلاس شمارش می‌شوند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از معادله Van Wagner (معادله ۱) مقدار ماده سوختنی با اندازه‌گیری مستقیم یعنی با کمک خط‌کش پلاستیکی شفاف در عرصه برآورد و بعد برای واسنجی به‌سوخت‌سنج همان مقدار توسط معادله Brown (معادله ۲) که با تغییراتی بر معادله Wagner دیده شده بررسی شد. با عنایت به اینکه عرصه تحقیق فاقد شیب بوده و تمام مقطوعات چوبی که اندازه‌گیری شدند در کف زمین قرار داشتند، در معادله Brown فاکتور تصحیح شیب و ضریب تصحیح زاویه غیر افق یک در نظر گرفته شد (معادله ۳) و محاسبات آن انجام شد. برای برآورد مقدار سوخت، وزن مخصوص کاج تدا برای جنگل‌کاری‌های گیلان ۰/۳۷ لحاظ شد (Golbabaei *et al*., 2012).

معادله ۱-

$$W_j = \frac{\pi^2 \times s \times \sum_{i=1}^{n_j} d_{ij}^2}{8 \times L}$$

معادله ۲-

$$W_j = \frac{\pi^2 \times s \times n \times \bar{d}^2 \times a \times c}{8 \times L}$$

معادله ۳-

$$W_j = \frac{\pi^2 \times s \times n \times \bar{d}^2}{8 \times L}$$

Wj: وزن قطعات چوبی در خط‌نمونه j (تن در هکتار)، S: وزن مخصوص (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، n: تعداد قطعات چوبی، L: طول هر خط‌نمونه (متر)، d_{ij}: قطر قطعه چوب i در خط‌نمونه j به سانتی‌متر، C: فاکتور تصحیح شیب، a: ضریب تصحیح زاویه غیر افق، $\bar{d}$: میانگین قطر قطعات چوبی در هر خط‌نمونه

در اندازه‌گیری با به‌سوخت‌سنج بطور تصادفی چند خط‌نمونه انتخاب و قطر قطعات چوبی آنها اندازه‌گیری می‌شود تا میانگین قطر قطعات چوبی در کلاس‌های قطری مختلف مشخص گردد. با عنایت به اینکه در این بررسی قطعات چوبی به شکل مستقیم توسط خط‌کش نیز اندازه‌گیری شده بودند،

www.SID.ir

Archive of SID

بطور تصادفی خط‌نمونه‌های ۳، ۱۷ و ۱۸ انتخاب شدند تا میانگین قطر قطعات چوبی در ۴ کلاس قطری مشخص شوند.

جمع‌آوری اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌های خط‌کش و به‌سوخت‌سنج در نرم‌افزار SPSS برای انجام آزمون‌های آماری ارزیابی شد. از آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای توزیع فراوانی داده‌های مقدار سوخت و داده‌های زمانی ثبت شده برای ۳۳ خط‌نمونه استفاده شد. به دلیل عدم احراز نرمال بودن در توزیع فراوانی داده‌های مقدار سوخت، بررسی آن از طریق آزمون ویلکاکسون انجام شد اما زمان اندازه‌گیری‌ها بین خط‌کش و به‌سوخت‌سنج به‌دلیل نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌های زمانی، از آزمون t جفتی، مقایسه گردید (Bihamta & Zare Chahouki, 2011).

نتایج

تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از مقدار سوخت چوبی بستر جنگل در اندازه‌گیری مستقیم (خط‌کش) و بااستفاده از به‌سوخت‌سنج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- نتایج آزمون ویلکاکسون برای مقایسه مقدار سوخت چوبی

	خط‌کش – به‌سوخت‌سنج
مقدار Z	-۰/۱۲۹
معنی‌داری	۰/۸۹۷

بر اساس نتایج آزمون (جدول ۱) مقدار z برابر ۰/۱۲۹ (قدر مطلق z) و سطح معنی‌داری ۰/۸۹۷ است، که با توجه به اینکه از مقدار معنی‌داری ۰/۰۵ خیلی بزرگتر است، بنابراین بین مقدار سوخت اندازه‌گیری شده خط‌کش و به‌سوخت‌سنج اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. مقدار موجودی سوخت چوبی محاسبه شده برای چهار کلاس قطری در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲- مقایسه مقدار سوخت محاسبه شده برای کل عرصه بوسیله خط‌کش و به‌سوخت‌سنج

کلاس قطری	زمان تأخیر (Timelag)	میانگین مقدار سوخت خط‌کش (تن در هکتار)	میانگین مقدار سوخت به‌سوخت‌سنج (تن در هکتار)
۱	۱hr	۰/۰۹	۰/۱
۲	۱۰hr	۱/۰۶	۰/۹۱
۳	۱۰۰hr	۰/۷۸	۱/۰۸
۴	۱۰۰۰hr	۳/۰۹	۳/۱۲
	مجموع	۵/۰۲	۵/۲۱

حدود اعتماد این برآوردها به‌شرح زیر است:

الف- اندازه‌گیری با خط‌کش

اشتباه معیار $S^{\bar{W}}$ =۰/۲۴۲۱

اشتباه آماربرداری E =۰/۴۸

درصد اشتباه آماربرداری E٪ =۹/۶

حدود اعتماد (تن در هکتار) ۵/۵ تا ۴/۵۴ = ۰/۴۹ ± ۵/۰۲

ب- اندازه‌گیری با به‌سوخت‌سنج

اشتباه معیار $S^{\bar{W}}$ =۰/۲۴۷۱

اشتباه آماربرداری E =۰/۴۹

درصد اشتباه آماربرداری E٪ =۹/۴

حدود اعتماد (تن در هکتار) ۵/۷ تا ۴/۷۲ = ۰/۴۹ ± ۵/۲۱

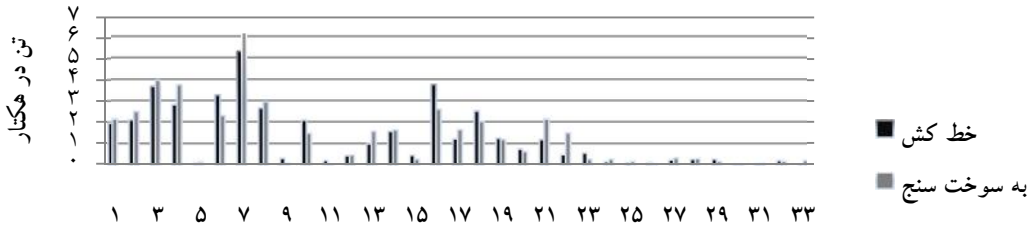
از مجموع ۳۳ خط‌نمونه، ۲۲۵ قطعه نمونه چوبی اندازه‌گیری شد که ۳۵ قطعه چوبی در کلاس چهار قرار داشتند (تمام قطعات چوبی اندازه‌گیری‌شده در کلاس چهارم، به علت خارج نشدن از عرصه نیمه پوسیده بودند و در حال حاضر امکان بهره‌برداری آنها در صنایع چوبی دیده وجود ندارد). ۲۷ قطعه در کلاس سه و در کلاس‌های دو و یک به‌ترتیب ۷۲ و ۹۱ قطعه چوبی مشاهده

www.SID.ir

Archive of SID

شدند. در شکل ۴ مقدار سوخت محاسبه شده توسط خطکش و به‌سوخت‌سنج دیده می‌شود.

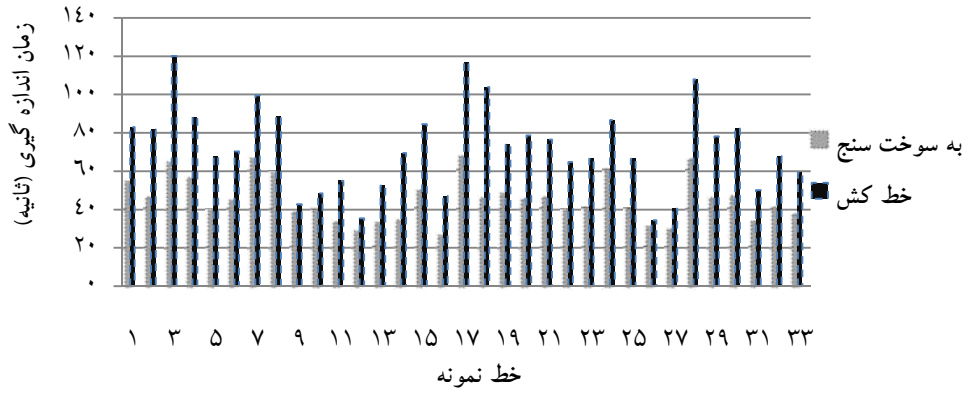
زمان اندازه‌گیری بین خطکش و به‌سوخت‌سنج به لحاظ کاهش در طول‌مدت اندازه‌گیری و نیز کاهش هزینه‌های آماربرداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که به‌شرح زیر مورد آزمون قرار گرفت (جدول ۳).



شکل ۴ – مقایسه میانگین مقدار سوخت چهار کلاس قطری بین به‌سوخت‌سنج و خط‌کش

جدول ۳- نتایج آزمون t جفتی برای مقایسه زمان اندازه‌گیری خط‌کش و به‌سوخت‌سنج

	میانگین	تعداد	درجه آزادی	مقدار t	معنی‌داری
خط‌کش	۷۲	۳۳	۳۲	۱۲/۵۷	۰/۰۰۰
به‌سوخت‌سنج	۴۴				



شکل ۵- مقایسه زمان اندازه‌گیری بین به‌سوخت‌سنج و خط‌کش

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بین زمان‌های اندازه‌گیری توسط به‌سوخت‌سنج و خط‌کش در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در این بررسی مشخص شد که دستگاه به‌سوخت‌سنج زمان اندازه‌گیری را به‌طور متوسط تا ۳۷ درصد کاهش داده است. شکل ۵ زمان اندازه‌گیری خط‌کش و به‌سوخت‌سنج را در بین ۳۳ پلات نشان می‌دهد.

بحث

نتایج آزمون از برآورد مقدار سوخت توسط به‌سوخت‌سنج نشان می‌دهد که این وسیله می‌تواند با دقت زیاد برای اندازه‌گیری مقدار سوخت از جنگل در ایران نیز مورد استفاده قرار گیرد. مقادیر سوخت محاسبه شده در کلاس‌های قطری مختلف، به خوبی بیانگر آن است که مقادیر سوخت محاسبه شده به شکل مستقیم (توسط خط‌کش)، با مقادیر سوخت بدست آمده از به‌سوخت‌سنج تقریباً یکسان است. میانگین ماده سوختنی محاسبه شده در اندازه‌گیری با خط‌کش ۵/۰۲ تن در هکتار است و این مقدار توسط به‌سوخت‌سنج ۵/۲۱ تن در هکتار مشخص شد. همچنین از نظر حدود اعتماد مشاهده می‌شود که حداقل اختلاف بین اندازه‌گیری‌ها ۰/۱۸ تن و حداکثر آن ۰/۲ تن در هکتار است که با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌داری بین اندازه‌گیری‌ها می‌توان به صراحت، به دقت به‌سوخت‌سنج در اندازه‌گیری مقدار سوخت چوبی افتاده در کف جنگل تأکید کرد.

به‌سوخت‌سنج را یکی از وسایل لازم برای اندازه‌گیری مقدار سوخت جنگل نام می‌برند (Brown *et al*., 1982) در رابطه با دقت و سرعت اندازه‌گیری با به‌سوخت‌سنج Lutes و همکاران (۲۰۰۶) به‌سوخت‌سنج را وسیله‌ای بسیار مناسب برای اندازه‌گیری سریع و دقیق مقدار سوخت جنگل معرفی کرده و Keane و همکاران (۲۰۰۷) در تکنیک نمونه‌برداری مقدار سوخت از به‌سوخت‌سنج به‌عنوان یک وسیله دقیق در اندازه‌گیری مقادیر سوخت چوبی جنگل یاد می‌کنند.

علاوه بر دقت و تسهیل در برآورد مقدار سوخت توسط به‌سوخت‌سنج، مقایسه بین زمان اندازه‌گیری‌ها نیز نشان می‌هد که به‌سوخت‌سنج به‌مراتب سریع‌تر از خط‌کش مقادیر سوخت چوبی جنگل را اندازه‌گیری می‌کند. اختلاف این زمان‌ها معنی‌دار بوده و در تمام خطوط نمونه، زمان اندازه‌گیری شده توسط به‌سوخت‌سنج به‌مراتب کمتر از خط‌کش است. کمترین اختلاف زمان اندازه‌گیری بین خط‌کش و به‌سوخت‌سنج، خط‌نمونه‌های ۹ و ۲۶ هستند که در آن به‌سوخت‌سنج نزدیک به ۱۳ درصد زمان اندازه‌گیری را کاهش داده و بیشترین آن مربوط به خط‌نمونه‌های ۳ و ۱۸ است که در زمان اندازه‌گیری توسط به‌سوخت‌سنج به‌ترتیب ۴۶ و ۵۶ درصد کاهش زمان مشاهده می‌شود. در این بررسی میانگین اختلاف زمان اندازه‌گیری شده با خط‌کش و به‌سوخت‌سنج نزدیک به ۳۷ درصد است؛ این بدان معنی است که در اندازه‌گیری با به‌سوخت‌سنج دست‌کم بیش از یک سوم در زمان اندازه‌گیری صرفه‌جویی شده است؛ به عبارتی حدود ۳۷ درصد از هزینه‌های آماربرداری و سایر هزینه‌های مربوطه با این وسیله کاهش یافته و این مقدار زمان، در اندازه‌گیری سطوح وسیع مناطق جنگلی قابل توجه خواهد بود.

این نتیجه استفاده از به‌سوخت‌سنج را به‌عنوان یک جایگزین مناسب در اندازه‌گیری مستقیم مقدار سوخت چوبی به‌جای خط‌کش یا دیگر وسایل مدرج معرفی می‌کند و استفاده از آن را یک نیاز در اندازه‌گیری مقادیر سوخت چوبی در جنگل‌های ایران می‌داند. در شرایط اندازه‌گیری سخت، مانند اندازه‌گیری در شرایط نامساعد جوی (هوای بارانی یا مه گرفتگی) و یا اندازه‌گیری در شرایط نوری کم به علت تاج‌پوشش انبوه، اندازه‌گیری قطعات چوبی با خط‌کش بخصوص در کلاس قطری پایین بسیار سخت‌تر و با زمان بیشتری همراه بوده و در این وضعیت کارایی به‌سوخت‌سنج به‌مراتب بهتر خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

سپاسگزاری

لازم می‌دانم از آقایان مهندس مظهری، صالحی و علیدوست که در اجرای مراحل مختلف آماربرداری نهایت همکاری را داشتند قدردانی و از راهنمایی‌های آقای مهندس امان‌زاده در تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها صمیمانه سپاسگزاری کنم.

منابع مورد استفاده

-Amato, A., Lightfoot, D. and Pease, P., 2011. Scope of services for the estancia basin watershed health, restoration, and monitoring project post-fire monitoring study. SWCA® Environmental Consultants, Project No. 12996, Mountainair, New Mexico 87036, 45p.

-Anonymus, 2013. Monitoring hazardous fuels treatments. Southeast Regional Field Guide US Fish and Wildlife Service, 56p.

-Behjou, F.K. and Mollabashi, O.G., 2013. Assessment of coarse woody debris following selective logging in Caspian forests: implications for conservation and management. Journal of Forest Science, 59 (3): 117–124.

-Bihamta, M.R. and Zare Chahouki, M.A., 2011. Principles of statistics for the natural resources science. University of Tehran Press 2924, 300p.

-Brown, J.K., 1974. Handbook for inventorying downed woody material. Intermoutian Forest and Range experment Station, Forest Service U.S. Department of Agriculture Ogden, Utah 84401 Roger R. Bay, Director, 24p.

-Brown, J.K., Oberheu, R.D. and Johnston, C.M., 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west. (USDA) United States Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden, UT 84401, General Technical Report INT-129, 48p.

-Brown J.K., Reinhardt E.D. and Kramer K.A., 2003. Coarse woody debris: Managing benefits and fire hazard in the recovering forest. (USDA) United States Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-105, Publications Distribution Rocky Mountain Research Station 240 W. Prospect Road Fort Collins, CO 80526-2098, 16p.

-Ewell, M.C., 2006. Methods and modeling equations to quantify the litter layer of coniferous Forests in California National Forests. Publisher Humboldt State University, 154p.

-GavazziA M. J. and McNultyA S. G., 2013. The influence of prescribed fire and burn interval on fuel loads in four North Carolina forest ecosystems. Proceedings of 4th Fire Behavior and Fuels Conference, February 18–22, Raleigh, North Carolina, USA Published by the International Association of Wildland Fire, Missoula, Montana, USA, 26-48.

-Golbabaei, F., Hosseinkhani, H., Kargarfard, A., Nourbakhsh, A., Haji Hussain, R. and Fakhrian, A., 2012. Physical and mechanical properties of wood species Loblolly pine (*Pinus taeda*) in northern habitats. Iran Journal of Forest and Poplar Research, (27) 1: 177-187.

-Gould, J., 2006. Fuel management—an integral part of fire management: trans-tasman perspective, fuels management—how to measure success: Conference Proceedings, Portland, OR, (USDA) United States Department of Agriculture, Forest Service Rocky Mountain Research Station Proceedings, RMRS, 17-28.

- Kazanis, D., Xanthopoulos G. and Arianoutsou M., 2012. Understory fuel load estimation along two post-fire chronosequences of *Pinus halepensis* Mill. Forests in Central Greece. Journal of Forest Research, 17: 105–109.

-Keane R.E. and Dickinson L. J., 2007. The photoload sampling technique: estimating surface fuel loadings from downward-looking photographs of synthetic fuelbeds. United States Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-190, 44p.

-Kidnie, S.M., Wotton, B.M. and Droog, W.N. 2010. Field guide for predicting fire behavior in Ontario's tall grass prairie. University of Toronto, Elgin County Faculty of Forestry, 65p.

-Lutes, D.C., Keane R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S. and Gangi, L.J. 2006. Fuel load sampling method. Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. U.D. Department of Agriculture, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO. 1 CD.

-Parresol, B.R., Shea, D. and Ottmar R., 2006. Creating a fuels baseline and establishing fire frequency relationships to develop a landscape management strategy at the Savannah River site. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture,

www.SID.ir

Archive of SID

Vegetation Technology Transfer. 149p. Available: www.niftt.gov.

-Van Wagner C.E., 1982. Practical aspects of the line intersect method. Minister of Supply and Services Canada, Catalogue No. Fo46, ISSN 0706-1854, ISBN 0-662-11816-2, 11p.

-Van Wagtendonk, J. W., 1996. Use of a deterministic fire growth model to test fuel treatments. Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress, Assessments and scientific basis for management options, Davis: University of California, Centers for Water and Wild land Resources, (2):1155-1165.

-Westfall, J.A. and Woodall, C.W., 2007. Measurement repeatability of a large-scale inventory of forest fuels. Forest Ecology and Management, 253: 171–176.

-Zobeiri, M., 2002. Forest biometry. Tehran University Press 2561, 411p.

Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 351-366.

-Penny J.W., Penman S.H, and Bradstock R.A., 2012. A comparison of bushfire fuel hazard assessors and assessment methods in dry sclerophyll forest near Sydney, Australia. International Journal of Wildland Fire, 21 (6), 755-763.

-Sandberg, D.V., Ottmar, R.D. and Cushon, G.H., 2001. Characterizing fuels in the 21st century. International Journal of Wildland Fire, 10: 381–387.

-Sefidi, K. and Marvie Mohadjer, M.R., 2010. Characteristics of coarse woody debris in successional stages of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran. Journal of Forest Science, 56, (1): 7–17.

-Scott, Joe H. 2012. Introduction to Wildfire Behavior Modeling. National Interagency Fuels, Fire, &

www.SID.ir