



## Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-Type Stands in Northern Iran

Roghayeh Jahdi<sup>a\*</sup> 

<sup>a</sup> Assistant Professor in Forest Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 28 January 2022

Revised: 2 May 2022

Accepted: 8 May 2022

### Abstract

Silvicultural treatments have been applied in the last decades to broadleaf and conifer plantations to increase resilience by enhancing structural and age-class diversity in northern Iran. The treatments included mechanical thinning manipulations, not followed by surface fuel reduction treatments like prescribed burning. The goal of this study was analyzing the impact of stand-level silvicultural thinning on landscape-scale wildfire behavior. FlamMap minimum travel time (MTT) fire modeling system was used to simulate the impacts of thinning on fire growth and behavior based on spatial and temporal patterns of historical fire ignitions and associated weather and fuel moisture conditions within a forest landscape. Simulations were done by setting two different fuel moisture scenarios: 1) fuel moisture is fixed as the stands thinned, and 2) fuel moisture is reduced with the same degree of thinning. The results showed that thinning alone can be somewhat effective at mitigating the wildfires; as the landscape proportion with low burn probabilities (BP), conditional flame lengths (CFL), and fire sizes (FS) increases. This trend was not the same at higher values of these parameters. Although fine fuel moisture in thinned stands was lower than in unthinned stands, the fuel moisture difference resulting from stand thinning did not substantially influence fire behavior at the landscape level. The findings of this study can be used for better fire and fuel management and other land-use objectives in fire-prone areas.

**Keywords:** Fuel Moisture, Siahkal Forest, Silvicultural Treatment, Thinning, Wildfire Behavior

\* E-mail: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

Tel: + 989112340249

**How to cite this Article:** Jahdi, R. (2023). Wildfires in Thinned versus Unthinned Plantation-type Stands in Northern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 87-101.

DOI:10.22067/geoeh.2022.74988.1164



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

## Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74988.1164>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۸۷-۱۰۱

مقاله پژوهشی

### آتش‌سوزی‌ها در توده‌های جنگل کاری تنک‌شده و تنک‌نشده در شمال ایران

رقیه جهدی<sup>۱</sup> - استادیار علوم و مهندسی جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱۸

#### چکیده

در جنگل‌کاری‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، تیمارهای جنگل‌شناسی برای افزایش تاب‌آوری از طریق بهبود تنوع ساختاری و کلاسه سنی در شمال ایران، اعمال شده است. این تیمارها شامل دست‌کاری‌های مکانیکی مانند تنک‌کردن بود که با تیمارهای کاهش ماده‌سوختمنی سطحی مانند سوزاندن تجویزی همراه نبود. هدف از این مطالعه تجزیه و تحلیل چگونگی اثر تنک‌کردن جنگل‌شناسی در سطح توده بر رفتار آتش در مقیاس سیمای سرزمین است. از سیستم مدل‌سازی آتش FlamMap با الگوریتم حداقل زمان حرکت (MTT) برای شبیه‌سازی اثر تنک‌کردن بر رشد آتش بر اساس الگوهای مکانی و زمانی احتراق تاریخی و شرایط آب‌وهوا و رطوبت ماده‌سوختمنی مرتبط در سیمای سرزمین جنگل سیاهکل استفاده شد. شبیه‌سازی‌ها تحت دو سناریو مختلف رطوبت ماده‌سوختمنی انجام شد: (۱) رطوبت ماده‌سوختمنی ثابت با تنک‌کردن توده‌ها و (۲) رطوبت ماده‌سوختمنی کاهش‌یافته با همان درجه تنک‌کردن. نتایج نشان داد که تنک‌کردن به‌تنهایی می‌تواند تا حدودی در کاهش شدت آتش مؤثر باشد، به‌نحوی که سهم سیمای سرزمین با مقادیر کم احتمال سوختن، طول شعله شرطی و اندازه آتش، افزایش یافت. این روند در مقادیر زیادتر این مؤلفه‌ها یکسان نبود. اگرچه رطوبت ماده‌سوختمنی ریز در توده‌های تنک‌شده کمتر از توده‌های تنک‌نشده بود، این تفاوت رطوبت ماده‌سوختمنی ناشی از تنک‌کردن توده بر رفتار آتش در سطح سیمای سرزمین تأثیر مهمی نداشت.

Email: roghayeh.jahdi@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۱۲۳۴۰۲۴۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

جهدی، رقیه؛ ۱۴۰۲. آتش‌سوزی‌ها در توده‌های جنگل‌کاری تنک‌شده و تنک‌نشده در شمال ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی.

۱۲(۱). صص ۸۷-۱۰۱

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74988.1164>

یافته‌های این مطالعه برای ارزیابی اثربخشی کاهش ماده‌سوختنی ناشی از تنک‌کردن (بدون آتش تجویزی) می‌تواند از طریق مدیریت بهتر آتش و ماده‌سوختنی و سایر اهداف استفاده از زمین در مناطق مستعد آتش‌سوزی مورد توجه قرار گیرد. واژگان کلیدی: جنگل سیاهکل، رطوبت ماده‌سوختنی، تیمار جنگل‌شناسی، تنک‌کردن، رفتار آتش.

#### ۱- مقدمه

آتش‌سوزی‌ها یکی از تهدیدات اصلی جنگل‌ها است که باعث خسارات اقتصادی و محیط‌زیستی می‌شود. در دهه‌های گذشته، جنگل‌کاری‌ها که در سراسر جهان در حال گسترش هستند از بوم‌سازگان‌های مکرر سوخته‌شده در جهان به‌شمار می‌آیند (دکاسترو گالیزیا و رودریگز، ۲۰۱۹). در حال حاضر این جنگل‌کاری‌ها ۷ درصد از کل مناطق جنگلی جهان را در بر می‌گیرند و تقریباً ۳۳ درصد از چوب گرد دنیا را فراهم می‌کنند (فریر-اسمیت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). با این وجود، مطالعات متعددی نشان داده که جنگل‌کاری‌ها منجر به افزایش خطر آتش و توزیع مکانی رخداد آتش در مناطق مستعد آتش‌سوزی شده است (مارتین<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ جاکو کاستلو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). جنگل‌کاری‌ها به‌ویژه از نوع سوزنی‌برگان ساختار و بارهای ماده‌سوختنی را تغییر می‌دهد و موجب آسیب‌پذیری نسبت به آتش‌سوزی‌های شدید شده و در نتیجه روی رژیم آتش بوم‌سازگان جنگل اثر می‌گذارد (پاریتسیس<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

تیمارهای کاهش ماده‌سوختنی (به‌عنوان مثال تنک‌کردن و آتش‌سوزی تجویزی) پتانسیل زیادی در مدیریت آتش برای کاهش تجمع و پیوستگی ماده‌سوختنی و به‌عنوان یک رویکرد پیشگیری از آتش‌سوزی در بوم‌سازگان‌های مستعد آتش‌سوزی دارد. تنک‌کردن به‌عنوان یکی از متداول‌ترین تیمارهای ماده‌سوختنی، به‌طور کلی یک ابزار مؤثر و قوی مدیریت جنگل است که منجر به تقویت رشد درختان (از طریق کاهش تعداد درختان در یک توده) و بازسازی سلامت جنگل می‌شود (کنپ<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۷). با تأثیر بر ساختار و ترکیب جنگل، تنک‌کردن باعث افزایش تاب‌آوری این بوم‌سازگان نسبت به آشفته‌گی‌های آتی مانند آتش‌سوزی می‌شود و به اثربخشی روش‌های مدیریت آتش کمک می‌کند (هود<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ پارسونز<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طور کلی درجه اثربخشی تیمارهای ماده‌سوختنی در دستیابی به اهداف اکولوژیکی مانند کاهش خطر آتش وابسته به عوامل متعددی است که در مناطق

1 de Castro Galizia and Rodrigues

2 Freer-Smith

3 Martín

4 Jaque Castillo

5 Paritsis

6 Knapp

7 Hood

8 Parsons

محدودی مطالعه شده است. شرایط توده جنگل قبل از تیمار و ماهیت تیمار می‌تواند روی دستاوردها اثر گذارد و عدم قطعیت در شرایط سوختن آتش در منطقه تیمار شده از چالش‌های اصلی برای این مطالعات است (کالیس و کنت<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶). در پاسخ به این چالش‌ها، استفاده از مدل‌های رفتار آتش، بررسی دقیق تأثیرات ناهمگونی ماده سوختنی بر رفتار آتش‌سوزی را امکان‌پذیر می‌سازد و فرصتی برای ارزیابی آثار تیمارهای مختلف ماده سوختنی فراهم می‌کند. در واقع، تیمارهای ماده سوختنی گزینشی را می‌توان با رویکردهای مدل‌سازی مبتنی بر خطر، برای ارتقای روش‌های مدیریت مؤثرتر و حمایت از سیاست‌های بهتر پیشگیری از آتش‌سوزی جنگل، ارزیابی کرد (تامپسون و کالکین<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱؛ گومز-گونزالس<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات مدل‌سازی زیادی وجود دارد (سالیس<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ اگر<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ مارشال<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ هان<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱) که بر روی دستیابی به این هدف با ارزیابی اثربخشی و مقرون‌به‌صرفه بودن طیف گسترده‌ای از تیمارهای ماده سوختنی تمرکز دارند.

توسعه اراضی کشاورزی، تصاحب زمین در مقیاس بزرگ، شیوه‌های بهره‌برداری در گذشته، چرای بیش‌ازحد دام‌ها و تیمارهای جنگل‌شناسی ساختار جنگل را دگرگون کرده و رژیم آتش را از آتش با شدت کم تا آمیخته به آتش با شدت زیاد در جنگل‌های کهن هیرکانی در شمال ایران در ۳ دهه گذشته، تغییر داده است. علاوه بر این، درختان سریع‌الرشد مانند صنوبر، افرا، توسکا و کاج در جنگل‌کاری‌های بزرگ-مقیاس تحت جنگلداری با چرخش کوتاه در این منطقه استفاده شده است. اگرچه گزارش‌های متناقضی در مطالعات قبلی در مورد اثربخشی تنک‌کردن به‌تنهایی (بدون آتش‌سوزی تجویزی) بر رفتار آتش‌سوزی وجود دارد (ایجی و لولی<sup>۸</sup>، ۲۰۰۶؛ استس<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۲؛ بانرجی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰؛ جانستون<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱)، در این کار، پاسخ سیمای سرزمین به تیمار تنک‌کردن در جنگل‌کاری‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در بوم‌سازگان جنگلی سیاهکل، شمال ایران ارزیابی شد. بنابراین، هدف مطالعه ارزیابی آثار تنک‌کردن بر خطر بالقوه آتش‌سوزی و تغییر رطوبت مواد سوختنی سطحی ریز ناشی از تنک‌کردن در طی سال‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه است. با استفاده از یک مدل رفتار آتش و تعریف سناریوهای مختلف تیمار ماده سوختنی، شبیه‌سازی مشخص مکانی آتش در مواد سوختنی جنگلی منطقه مورد مطالعه

- 
- 1 Kalies and Kent
  - 2 Thompson and Calkin
  - 3 Gomez-Gonzalez
  - 4 Salis
  - 5 Ager
  - 6 Marshall
  - 7 Hahn
  - 8 Agee and Lolley
  - 9 Estes
  - 10 Banerjee
  - 11 Johnston

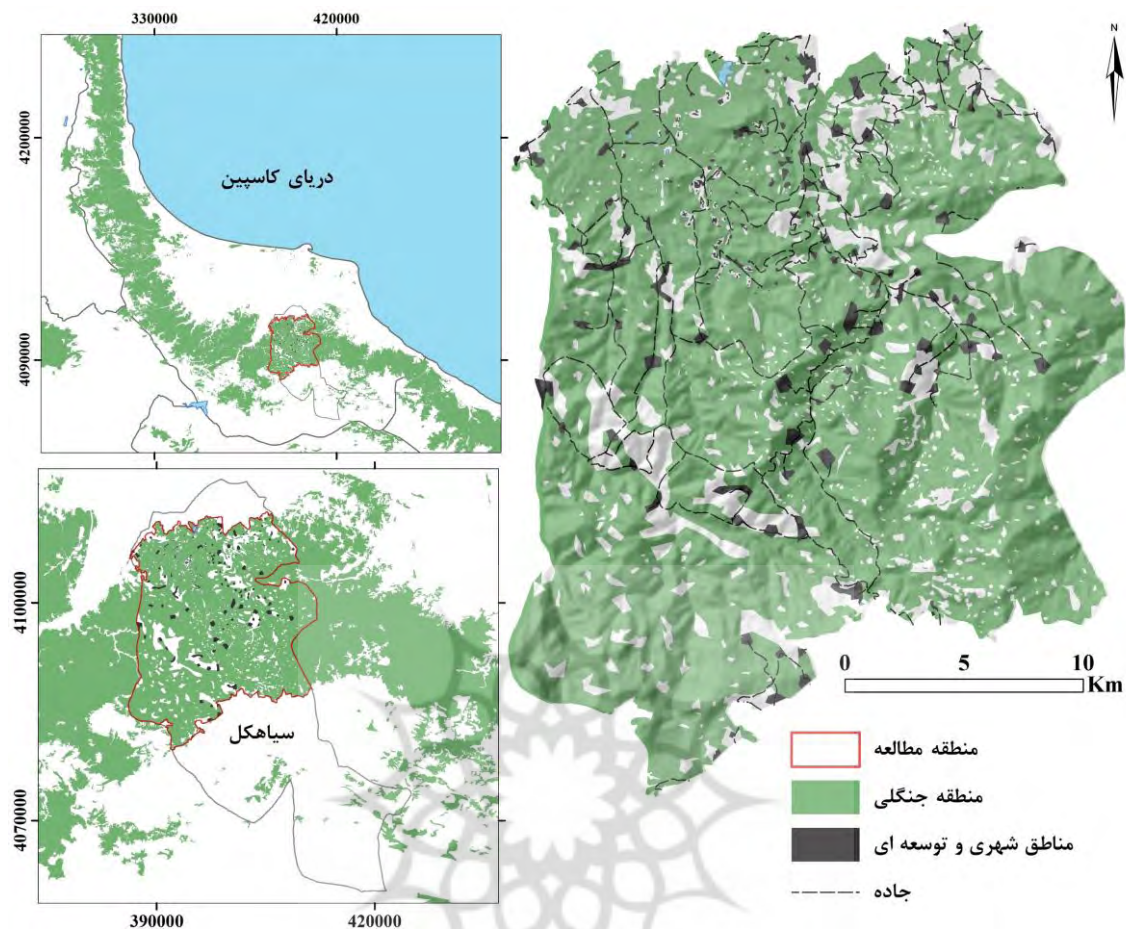
انجام شد. ارزیابی کمی تغییرات رفتار آتش سوزی ناشی از تنک کردن در سیمای سرزمین جنگل مورد مطالعه می تواند برای برنامه ریزی رویکردهای تیمار ماده سوختنی و مدیریت مواد سوختنی با پتانسیل زیاد خطر آتش مهم باشد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در سیمای سرزمین جنگلی سیاهکل (۴۱°۲۰' - ۳۸°۶۱' عرض شمالی، ۴۱°۱۳' - ۴۰°۷۹' طول شرقی)، در شمال ایران با وسعت ۵۷,۱۱۰ هکتار انجام شد (شکل ۱). با توجه به دامنه ارتفاعی این منطقه (۲۰ تا ۲۱۲۵ متر از سطح دریا)، از نظر پهنه بندی اقلیمی به سه پهنه مجزا تقسیم می شود: ۱) پهنه جلگه ای در شمال ناحیه و تا ارتفاع ۱۰۰ متر، که با میانگین دمای سالانه ۱۸ سانتی گراد و بارندگی ۱۲۰۰ میلی متر گرم ترین و پر باران ترین پهنه اقلیمی ناحیه است. در مجموع این پهنه دارای تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های معتدل است. اغلب سکونت گاه ها در این ناحیه شکل گرفته است. ۲) پهنه کوهپایه ای در جنوب پهنه اول قرار دارد و از نظر ارتفاعی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر در نوسان است. از نظر دمایی بسیار معتدل تر از پهنه اول و میزان بارندگی در آن بین ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ میلی متر است. با وجود تابستان های معتدل و زمستان های سرد، این پهنه شامل جنگل های متراکم منطقه است. ۳) این پهنه در ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر، با کاهش قابل ملاحظه دما و نیز بارندگی سالانه (کمتر از ۸۰۰ میلی متر) همراه است. در این پهنه کوهستانی سطوح جنگلی تبدیل به بیشه زار و مراتع می شود (خوشدل و همکاران، ۱۳۹۹). به طور کلی، در منطقه مورد مطالعه متوسط دمای سالانه ۱۲/۵ درجه سانتی گراد و میزان متوسط بارندگی سالانه نیز ۴۰۰ میلی متر است. جهت غالب باد منطقه غربی و متوسط سرعت باد سالانه ۵ تا ۱۰ کیلومتر بر ساعت است. علاوه بر باد غالب، بادهای محلی گرم باد (گرمش یا گرمیج) با جهت های جنوبی و جنوب غربی از دیگر ویژگی های آب و هوایی این منطقه است (مفیدی و همکاران، ۲۰۱۵). این بادهای گرم و خشک که از شمال البرز به طرف جلگه های ساحلی می وزد (عابد و همکاران، ۱۳۹۴) و گرمای محیط را در کوتاه ترین مدت چندین درجه افزایش می دهد، در آتش سوزی جنگل های منطقه اثرگذار است. مطالعات قبلی در مورد پیش بینی های تغییرات اقلیمی در منطقه مورد مطالعه نیز بر افزایش درجه حرارت و خشکی ها در این منطقه تأکید دارد که می تواند به میزان قابل توجهی بر افزایش خطر آتش جنگل در این ناحیه مؤثر باشد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱؛ کاظمی راد و همکاران، ۱۳۹۴).

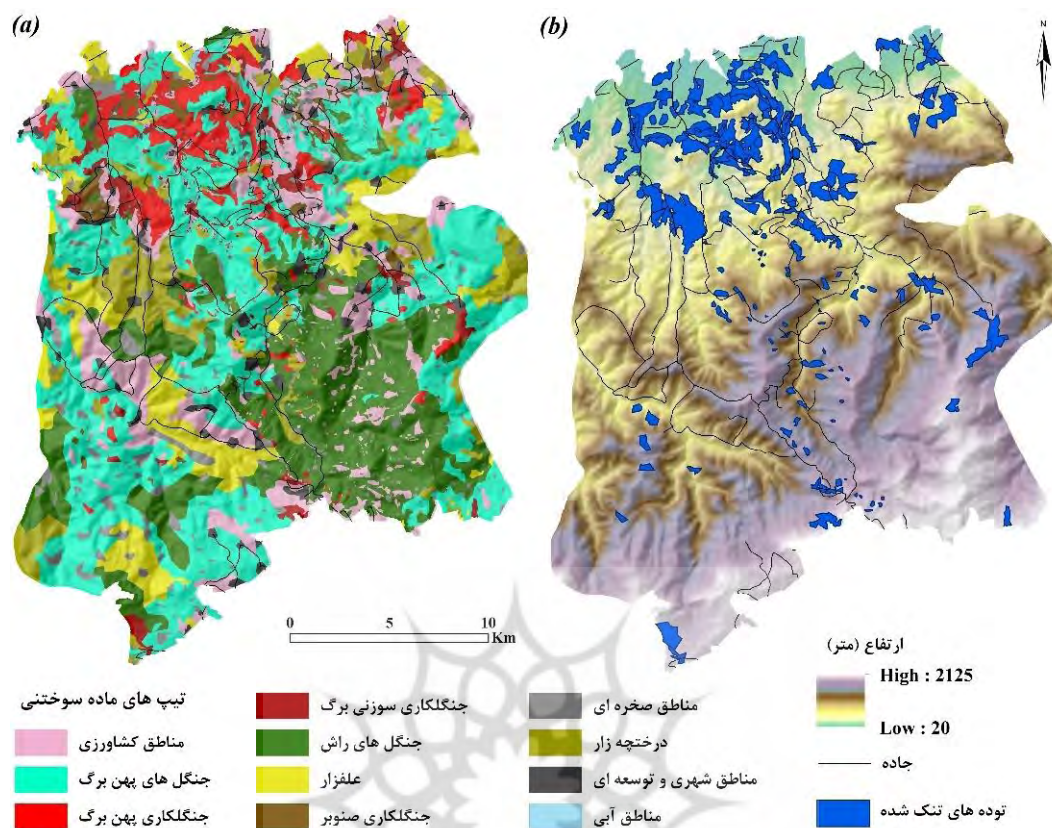




شکل ۱- محدوده سیمای سرزمین جنگل سیاهکل در جنوب دریای کاسپین، در شمال شهرستان سیاهکل.

## ۲-۲- انتخاب سناریوهای تیمار ماده‌سوختنی و مدل‌سازی آتش

منطقه مورد مطالعه یک سیمای سرزمین جنگلی ایده‌آل برای این بررسی به دلیل وسعت مکانی بزرگ و سابقه اجرای طرح‌های جنگلداری و پیاده‌سازی شیوه‌های مختلف جنگل‌شناسی از جمله تنک‌کردن در دهه‌های گذشته است. توده‌های طبیعی شامل راش (*Fagus orientalis* Lipsky)، ممرز (*Carpinus betulus* L.)، بلوط (*Quercus*، *Castaneifolia* C.A. Mey.)، افرا پلت (*Acer velutinum* Boiss.)، انجیلی (*Parrotia persica* (DC.) C.A.Mey.)، توسکای ییلاقی (*Alnus subcordata* C.A.Mey.) و توسکای قشلاقی (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) به همراه توده‌های دست کاشت افرا پلت، صنوبر (*Populus caspica* Bornm.)، بلوط، کاج نوئل (*Picea abies* L. Karst.) و کاج تدا (*Pinus taeda* L.) سیمای سرزمین جنگلی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. نقشه تپ پوشش گیاهی (ماده‌سوختنی) و توزیع مکانی توده‌های تنک‌شده (شکل ۲) از کتابچه‌های طرح‌های جنگلداری اجرا شده در منطقه مورد مطالعه توسط اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، تهیه شد.



شکل ۲- تپ های ماده سوختنی اصلی منطقه مورد مطالعه (a) و موقعیت توده های تنک شده همراه با نقشه ارتفاع (b).

در کل دو سناریو تیمار ماده سوختنی در این مطالعه انتخاب شد: (۱) سناریو بدون تیمار (NT) یا کنترل (بدون تنک کردن)؛ (۲) سناریو تیمار شده (TREAT) که شامل توده های تنک شده است. این توده ها در جنگل کاری های پهن برگ و سوزنی برگ با برداشت ۱۰ درصد از رویه زمینی (۱۳۸۷-۱۳۹۴) و با یک حد قطر برابر سینه بیش از ۱۵ سانتی متری تنک شد. سناریو تیمار شده بر اساس شرایط رطوبت ماده سوختنی سطحی خود از دو سناریو شامل (۱) محتوای رطوبت ماده سوختنی بعد از تنک کردن تغییر نکرده (TREAT-FMC) و (۲) محتوای رطوبت ماده سوختنی بعد از تنک کردن کاهش یافته (TREAT-LMC)، تشکیل شده است. برآورد رطوبت ماده سوختنی بدون تیمار و تیمار شده بر اساس مدل گسترش آتش سطحی روترمال (۱۹۷۲) و روش ارائه شده در مطالعه جهدی و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد. ضمناً، ورودی های آب و هوا برای برآورد رطوبت ماده سوختنی و نیز مدل سازی آتش از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی دیلمان (۱۴۴۸ متر:  $36^{\circ}53'$  عرض شمالی،  $49^{\circ}54'$  طول شرقی) و ایزم (۷۷ متر:  $40^{\circ}40'$  عرض شمالی،  $41^{\circ}11'$  طول شرقی) در منطقه مورد مطالعه استخراج شد.

در این مطالعه از ArcFuels (اگر و همکاران، ۲۰۰۶) برای تسهیل برنامه‌ریزی تیمار ماده‌سوختنی و تجزیه و تحلیل آثار استفاده کردیم. ArcFuels مجموعه‌ای از ماکروهای ArcGIS است که ارتباط بین مجموعه‌ای از مدل‌ها و برنامه‌های دیگر را که معمولاً در برنامه‌ریزی تیمار ماده‌سوختنی در مقیاس سیمای سرزمین استفاده می‌شود مانند شبیه‌سازهای رشد و محصول گیاهان، مدل‌های رفتار آتش، ArcGIS، و نرم‌افزار دسکتاپ، تسهیل می‌کند. مدل‌سازی رفتار آتش با استفاده از الگوریتم حداقل زمان حرکت در مدل FlamMap (نسخه ۶,۱؛ فیلی، ۲۰۰۶) با معرفی دو فایل سیمای سرزمین (شامل نقشه‌های رستری توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) و مدل ماده‌سوختنی سطحی و مشخصات تاج پوشش) بدون تیمار (NT) و تیمار شده (TREAT) انجام شد. شبیه‌سازی مولفه‌های احتمال سوختن، طول شعله شرطی (متر) و اندازه آتش (هکتار) با لحاظ مدت آتش‌سوزی متوسط ۶ ساعت و اندازه تفکیک ۳۰ متری، انجام شد. مطابق تعریف اگر و همکاران (۲۰۱۱) احتمال سوختن (BP) نسبت تعداد دفعاتی که یک سلول می‌سوزد به تعداد کل احتراق‌های آتش شبیه‌سازی شده است. همچنین طول شعله شرطی (CFL)، طول شعله با وزن احتمالی با توجه به وقوع آتش‌سوزی است و معیاری برای خطر آتش‌سوزی می‌باشد.

شبیه‌سازی‌ها بر اساس ۱۰,۰۰۰ نقطه احتراق تصادفی که با در نظر گرفتن نقاط احتراق تاریخی در منطقه مطالعه در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ درون‌یابی شده بود (جهدی و عربی، ۱۳۹۹)، برای دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده، اجرا شد. شرایط آب و هوایی برای مدل‌سازی گسترش آتش با سناریو خشک (۷۵ درصد) با توجه به شرایط مشاهده‌شده در فصول آتش‌سوزی شدید در منطقه مورد مطالعه، در نظر گرفته شد. در نهایت، به منظور شناسایی تفاوت‌ها بین تیمارها و تجزیه و تحلیل آماری نتایج مدل‌سازی، تحلیل واریانس یک طرفه (ANOVA) با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT به همراه بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرونوف در اکسل، انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

رفتار آتش برای سیمای سرزمین جنگلی مورد مطالعه با استفاده از خروجی‌های شبیه‌سازی احتمال سوختن، طول شعله شرطی و اندازه آتش ارزیابی شد. مقایسه‌ها بین تیمارهای مختلف ماده‌سوختنی (TREAT-FMC، NT) و (TREAT-LMC) تحت شرایط آب و هوا و احتراق آتش تاریخی در منطقه مورد مطالعه انجام شد. نتایج این مقایسه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین نقشه‌های رفتار آتش دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده در شکل ۳ آمده است.



جدول ۱- ارزش‌های میانگین (انحراف از معیار)، کمینه و بیشینه رفتار آتش برای سناریوهای NT (بدون تیمار)، TREAT-FMC (تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی ثابت بعد از تنک کردن) و TREAT-LMC (تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی کمتر بعد از تنک کردن).

FS (ha)			CFL (m)			BP			تیمار ماده سوختنی
میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	میانگین (انحراف از معیار)	بیشینه	کمینه	
<sup>a</sup> ۴۸۲/۶۵ (۴۹۷/۷۳)	۲۴۵۴/۶۸	۰/۰۰	<sup>a</sup> ۰/۹۷۸ (۰/۶۹۷)	۴/۲۵	۰/۰۰	<sup>a</sup> ۰/۰۰۷۱ (۰/۰۰۱۷)	۰/۰۸۱۳	۰/۰۰۰۰	NT
<sup>b</sup> ۵۱۰/۰۵ (۴۸۴/۱۰)	۲۴۸۷/۷۹	۰/۰۰	<sup>b</sup> ۰/۹۰۱ (۰/۶۰۳)	۴/۲۵	۰/۰۰	<sup>b</sup> ۰/۰۰۷۵ (۰/۰۰۱۴)	۰/۱۰۰۰	۰/۰۰۰۰	TREAT-FMC
<sup>b</sup> ۵۰۹/۷۴ (۴۸۴/۱۱)	۲۴۸۶/۸۲	۰/۰۰	<sup>b</sup> ۰/۹۰۰ (۰/۶۰۴)	۴/۲۵	۰/۰۰	<sup>b</sup> ۰/۰۰۷۵ (۰/۰۰۱۴)	۰/۰۹۹۸	۰/۰۰۰۰	TREAT-LMC

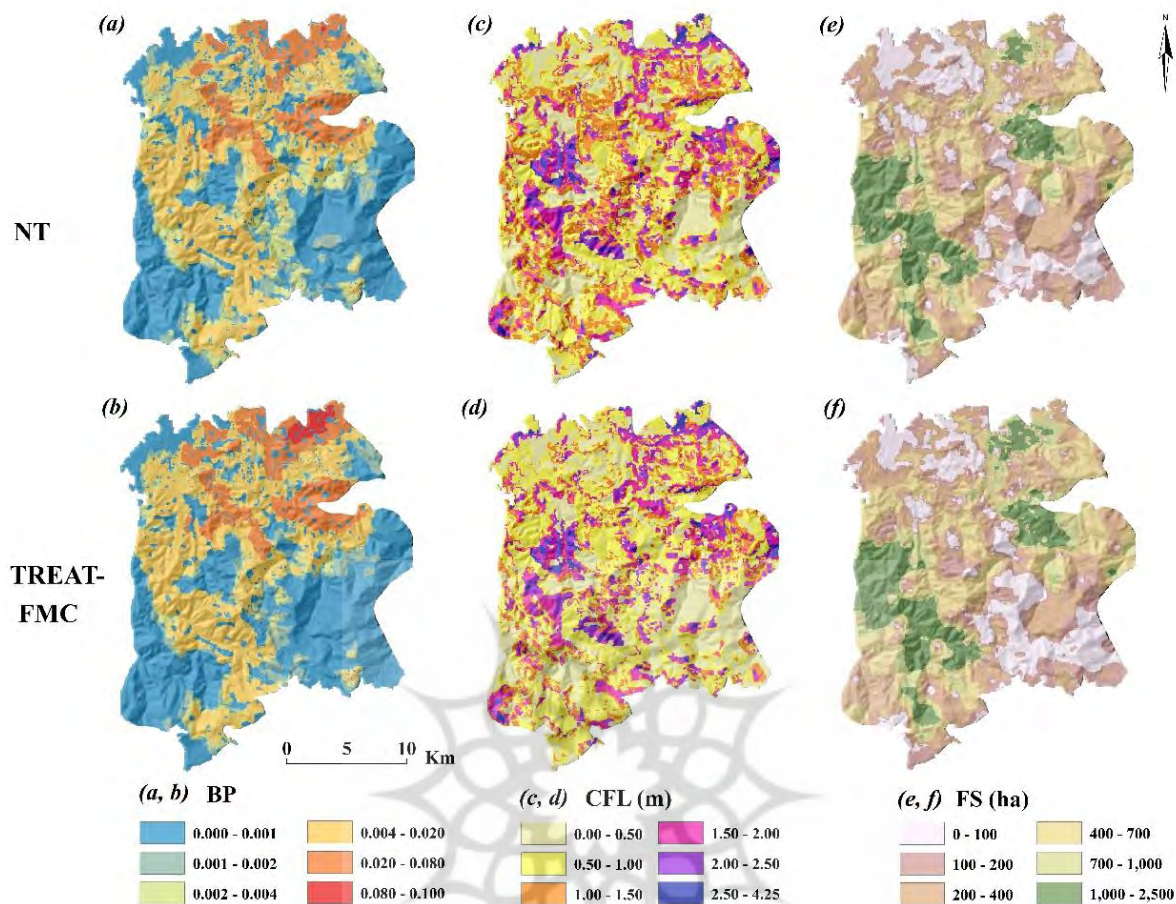
BP=احتمال سوختن؛ CFL=طول شعله شرطی؛ FS=اندازه آتش

تفاوت‌های معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بین NT (بدون تیمار) و TREAT (تیمار شده) با حروف کوچک متفاوت در ستون میانگین ارزش‌ها ارائه شده است.

احتمال سوختن (BP) در منطقه مطالعه از ۰/۰ تا ۰/۰۸۱۳ با میانگین ۰/۰۰۷۱ برای سناریو پایه NT متغیر بود که به این معنا است که به طور متوسط هر پیکسل ۲۱۳ مرتبه (با لحاظ ۳۰,۰۰۰ احتراق شبیه‌سازی شده در سه سناریو تیمار ماده سوختنی) سوخته است (جدول ۱). سناریوهای TREAT-FMC و TREAT-LMC که در آنها تیمار تنک کردن ماده سوختنی به ترتیب با لحاظ رطوبت ماده سوختنی ثابت و رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته انجام شده است، هر دو دارای متوسط احتمال سوختن ۰/۰۰۷۵ و تفاوت مشابه با سناریو NT بودند (جدول ۱). احتمال سوختن به ترتیب ۷ و ۶۵ درصد نسبت به سناریو NT افزایش یافت.

طول شعله شرطی (CFL) از ۰/۰ تا ۴/۲۵ متر با ارزش متوسط ۰/۹۸ متر برای سناریو NT متغیر بود. سناریوهای TREAT-FMC و TREAT-LMC دارای متوسط طول شعله شرطی ۰/۹۰ متری بودند (جدول ۱). تفاوت بین تیمارها بسیار ناچیز و به طور متوسط این دو سناریو تیمار شده تقریباً به میزان ۸ درصد کاهش طول شعله شرطی نسبت به سناریو NT داشتند.

اندازه آتش شبیه‌سازی شده بر اساس نقاط احتراق تاریخی در منطقه مورد مطالعه نیز بین سه سناریو تیمار ماده سوختنی مقایسه شد. متوسط اندازه آتش در سناریو NT، ۴۸۲/۶۵ هکتار بدست آمد (جدول ۱). اندازه آتش در دو سناریو TREAT-FMC و TREAT-LMC حدود ۵۱۰ هکتار بدست آمد که تقریباً ۵/۶ درصد افزایش اندازه آتش در نتیجه تنک کردن را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه‌های احتمال سوختن (BP؛ a و b)، طول شعله شرطی (CFL (متر)؛ c و d) و اندازه آتش (FS) (هکتار)؛ e و f) برای سناریوهای NT (بدون تیمار) و TREAT-FMC (تیمارشده با رطوبت ماده سوختنی ثابت بعد از تنک کردن)

در برخی مطالعات قبلی مطرح شده که تنک کردن با تغییر میکرواقلیم (به‌عنوان مثال، تنک کردن تاج جنگل منجر به افزایش سرعت باد و تابش خورشیدی می‌شود) و تسریع خشک شدن ذرات ماده سوختنی، می‌تواند خطر بالقوه رفتار شدید آتش‌سوزی را افزایش دهد (وایت‌هد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ کالیس و کنت، ۲۰۱۶؛ روسل<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). با این وجود، در بسیاری از مطالعات دیگر گزارش شده که جنگل‌های تنک‌شده دارای شدت آتش کمتری نسبت به جنگل‌های تنک‌نشده هستند (پارسونز و همکاران، ۲۰۱۸؛ بانرجی و همکاران، ۲۰۲۰؛ جانستون و همکاران، ۲۰۲۱)، یا دست‌کم تفاوت معنی‌داری از نظر رفتار آتش بین این جنگل‌ها مشاهده نشده است (استس و همکاران، ۲۰۱۲).

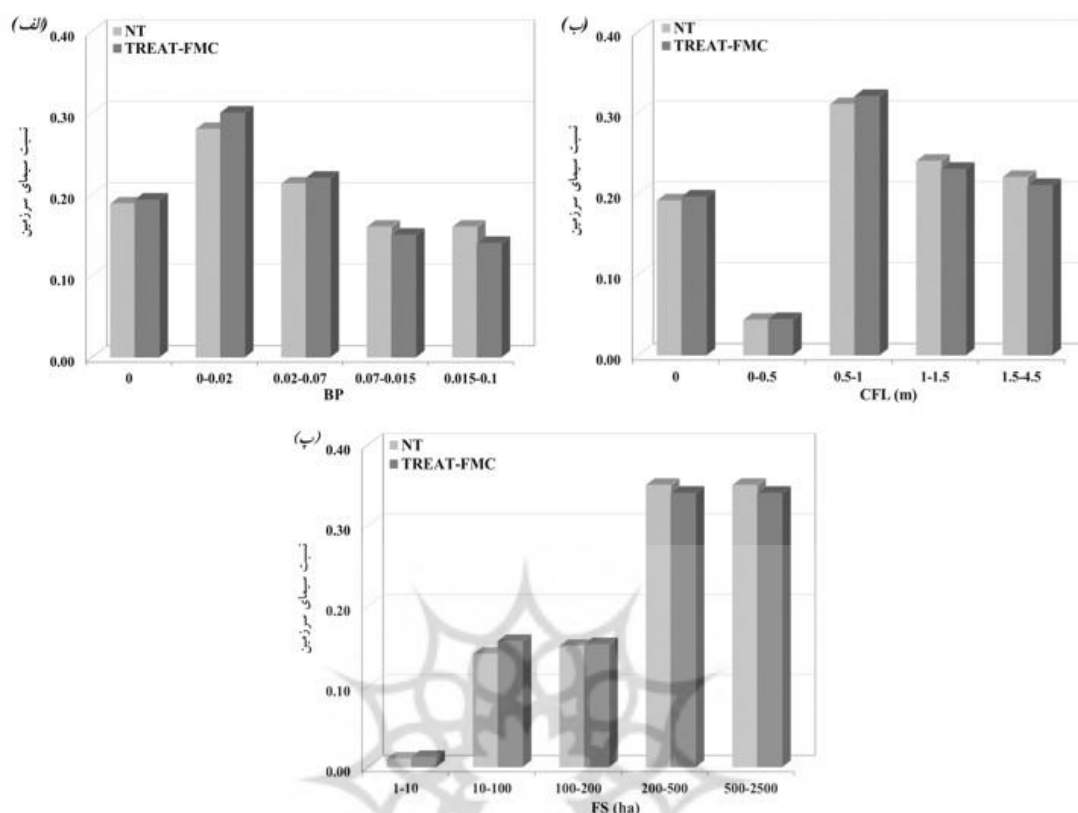
1 Whitehead  
2 Russell

این مطالعه، در ارتباط با تیمار تنک کردن انجام شده هر دو سناریو رطوبت ماده سوختنی ثابت و رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته، در کاهش طول شعله شرطی نسبت به احتمال سوختن و اندازه آتش موثرتر بوده‌اند. این یافته با نتایج مطالعه آرلانو-پرز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد، در حالی که مغایر با نتیجه مطالعه اچودو مونوز<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) است. همچنین، نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد که تفاوت‌های رطوبت ماده سوختنی ناشی از تنک کردن اثر قابل توجهی روی رفتار آتش نداشته است که مطابق با مطالعه استس و همکاران (۲۰۱۲) است.

در تکمیل ارائه نتایج، نمایه‌ای از توزیع فراوانی ارزش‌های سه مؤلفه آتش شبیه‌سازی شده در کلاس‌های مختلف، در دو سیمای سرزمین بدون تیمار و تیمار شده در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به معنی دار نبودن تفاوت‌های مؤلفه‌های رفتار آتش در دو سناریو رطوبت ماده سوختنی ثابت (TREAT-FMC) و رطوبت ماده سوختنی کاهش یافته (TREAT-LMC) مطابق با نتایج جدول ۱، در ادامه بررسی نتایج به مقایسه سناریو بدون تیمار (NT) و تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی ثابت (TREAT-FMC) پرداخته می‌شود. بر اساس شکل ۴، کاهش طول شعله شرطی و افزایش احتمال سوختن و اندازه آتش برای سناریو تیمار شده (TREAT-FMC) نسبت به سناریو بدون تیمار (NT) در کلاس‌های مختلف متقارن نیست. به‌طور کلی نسبت سیمای سرزمین با مقادیر کمتر این سه مؤلفه رفتار آتش افزایش یافته است. در مورد احتمال سوختن، سهم سیمای سرزمین مطالعه شده با مقادیر احتمال سوختن کمتر از ۰/۰۷ افزایش داشته است، در حالی که این سهم در مقادیر بین ۰/۰۷ الی ۰/۱ کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. در مورد طول شعله شرطی نیز توزیع کلاس‌های با ارزش‌های کمتر از یک متر افزایش داشته است، اما توزیع کلاس‌ها با مقادیر طول شعله بیش از یک متر کاهش دارد. توزیع کلاس‌های اندازه آتش نیز با افزایش در کلاس‌های کمتر از ۲۰۰ هکتار و کاهش در کلاس‌های با اندازه آتش بزرگتر مشاهده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

1 Arellano-Pérez  
2 Acevedo Muñoz



شکل ۴- توزیع فراوانی احتمال سوختن (BP؛ الف)، طول شعله شرطی (CFL (متر)؛ ب) و اندازه آتش (FS) (هکتار)؛ پ) برای سناریوهای NT (بدون تیمار) و TREAT-FMC (تیمار شده با رطوبت ماده سوختنی ثابت بعد از تنک کردن)

با توجه به ثابت بودن مدت سوختن برای آتش‌سوزی‌های شبیه‌سازی شده در هر دو سناریو بدون تیمار و تیمار شده، کاهش در مقادیر بالاتر مولفه‌های رفتار آتش می‌تواند ناشی از کاهش نرخ گسترش آتش تحت تأثیر تیمار ماده سوختنی (تنک کردن) باشد. کاهش نرخ گسترش آتش و در واقع کاهش آسیب ناشی از آتش‌سوزی‌های شدیدتر (مقادیر زیادتر احتمال سوختن، طول شعله بلندتر و اندازه آتش بزرگتر) می‌تواند در نتیجه اجرای تیمار جنگل‌شناسی تنک‌کردن در توده‌های جنگل‌کاری باشد که مطابق با نتایج چی‌اونو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۷)، ارنی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) و جانسون و همکاران (۲۰۲۱) است.

1 Chiono

2 Erni



## ۴- جمع‌بندی

در طول دهه گذشته، تحقیقات زیادی برای ارزیابی تیمارهای ماده‌سوختنی در آتش‌سوزی‌های جنگلی با استفاده از تکنیک‌های مدل‌سازی انجام شده است. زیرا مدل‌سازی رفتار آتش درک بهتری از فرآیندهایی که فعالیت و الگوهای آتش را هدایت می‌کنند، فراهم می‌کند. علاوه بر این، استفاده از مدل‌های مشخص مکانی می‌تواند راهبردهای مدیریتی مؤثرتری را ارتقا دهد و از سیاست‌های پیشگیری از آتش‌سوزی حمایت کند. این کار اولین مطالعه‌ای است که اثربخشی بالقوه تیمارهای جنگل‌شناسی شبیه‌سازی شده بر رفتار آتش‌سوزی جنگل‌های هیرکانی ایران را گزارش می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تنک‌کردن در جنگل‌های دست‌کاشت تأثیر قابل توجهی در تغییر ساختار ماده‌سوختنی و در نتیجه رفتار بالقوه آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه دارد. به‌طور کلی تنک‌کردن در کاهش طول شعله شرطی و در نتیجه کاهش شدت آتش در منطقه مورد مطالعه مؤثر بوده است، اگرچه افزایش اندکی در احتمال سوختن و اندازه آتش در برخی از نواحی مشاهده شد. عدم قطعیت‌هایی در ارتباط با مدل‌سازی رفتار آتش‌سوزی وجود دارد، اما تفاوت‌های نسبی در پارامترهای رفتار آتش‌سوزی در مقایسه با سیمای سرزمین تیمارنشده، می‌تواند تا حدی قابل اعتماد باشد. علاوه بر این، سطح جنگل‌کاری سالانه به دلیل تضادهای سیاست عمومی با توجه اندک به احیای جنگل‌های بومی، که سهم تاریخی در افزایش اخیر فعالیت آتش‌سوزی‌های جنگلی دارند، در حال افزایش است. این موضوع مستلزم برنامه‌ریزی پیشگیرانه استفاده از زمین و مدیریت ماده‌سوختنی به‌عنوان بخش کلیدی اجرای مدیریت پایدار جنگل در جنگل‌های شمال کشور است.

## کتابنامه

- جهدی، رقیه؛ درویش‌صفت، علی‌اصغر؛ اعتماد، وحید؛ ۱۳۹۴. ارزیابی اثر وضعیت رطوبت ماده سوختنی بر گسترش و رفتار آتش در پارک ملی گلستان. *جنگل و فرآورده‌های چوب*. مجله منابع طبیعی ایران. ۶۸ (۴): ۸۱۳-۷۹۹.  
<https://doi.org/10.22059/jfwp.2015.57116>
- جهدی، رقیه؛ عربی، مهدی؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی مسیرهای آتش در اکوتون‌های جنگل-علفزار در پارک ملی گلستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۹ (۳): ۱۴۲-۱۲۵.  
<https://doi.org/10.22067/geoeh.2020.67030.0>
- خسروی، محمود؛ زهرابی، اکبر؛ حیدری، حسین؛ بنی‌نعیمه، سارا؛ ۱۳۹۱. تعیین مناطق هم‌خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱ (۳): ۲۰-۱.  
<https://doi.org/10.22067/geo.v1i3.13231>
- خوشدل، ناصر؛ رضایی، پرویز؛ متولی، صدرالدین؛ جانباز قبادی، غلامرضا؛ ۱۳۹۹. تبیین اقلیم گردشگری شرق استان گیلان و طبقه‌بندی مکانی آن به روش آماری چندمتغیره. *فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونت‌گاه‌های انسانی*. ۱۵ (۴): ۱۱۱۹-۱۱۳۶.  
[https://jshsp.rasht.iau.ir/article\\_676362.html](https://jshsp.rasht.iau.ir/article_676362.html)

عابد، حسین؛ صحرائیان، فاطمه؛ رضایی، پرویز؛ ۱۳۹۴. اثرات باد گرمش بر وضعیت جوی ایستگاه همدیدی رشت.

جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۴ (۲): ۵۹-۷۶. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i2.29820>

کاظمی راد، لادن؛ محمدی، حسین؛ ۱۳۹۴. ارزیابی مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی

استان گیلان. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۴ (۴): ۵۵-۷۴. <https://doi.org/10.22067/geo.v4i4.38892>

Acevedo Muñoz, L., 2016. A novel approach to reduce fire exposure and promote nature conservation in Mediterranean ecosystems: the case study of Reserva Natural da Serra da Malcata, Portugal. Lisboa: ISA, 2016, 80 p. <http://hdl.handle.net/10400.5/12176>

Agee, J.K., & Lolley, M.R., 2006. Thinning and prescribed fire effects on fuels and potential fire behavior in an eastern Cascades Forest, Washington, USA. *Fire Ecol.* 2: 3-19. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0202003>

Ager, A.A., Bahro, B., & Barber, K., 2006. Automating the fire assessment process with ArcGIS. In: Andrews, P.L., Butler, B.W., (comps), *Fuels Management—How to Measure Success: Conference Proceedings*. Portland, OR, March 28-30, 2006, pp. 163-167; Proceedings RMRS-P-41. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, 809 pp. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/25943>

Ager, A.A., Barros, A.M.G., Houtman, R., Seli, R., & Day, M.A., 2020. Modelling the effect of accelerated forest management on long-term wildfire activity. *Ecological Modelling*. 421:108962. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108962>

Ager, A.A., Vaillant, N.M., & Finney, M.A., 2011. Integrating fire behavior models and geospatial analysis for wildland fire risk assessment and fuel management planning. *Journal of Combustion*. 2011, Article ID 572452: 1-19. <https://doi.org/10.1155/2011/572452>

Arellano-Pérez, S., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G., Alonso-Rego, C., Vega, J.A., & Ruiz-González, A.D., 2020. Mid-term effects of a thin-only treatment on fuel complex, potential fire behavior and severity and post-fire soil erosion protection in fast-growing pine plantations. *For. Ecol. Manag.* 460:117895. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117895>

Banerjee, T., 2020. Impacts of forest thinning on wildland fire behavior. *Forests*. 11(9):918. <https://doi.org/10.3390/f11090918>

Chiono, L.A., Fry, D.L., Collins, B.M., Chatfield, A.H., & Stephens, S.L., 2017. Landscape-scale fuel treatment and wildfire impacts on carbon stocks and fire hazard in California spotted owl habitat. *Ecosphere*. 8(1):e01648. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1648>

de Castro Galizia, L.F., & Rodrigues, M., 2019. Modeling the Influence of Eucalypt Plantation on Wildfire Occurrence in the Brazilian Savanna Biome. *Forests*. 10(10): 844. <https://doi.org/10.3390/f10100844>

Erni, S., Arseneault, D., & Parisien, M.A., 2018. Stand Age Influence on Potential Wildfire Ignition and Spread in the Boreal Forest of Northeastern Canada. *Ecosystems*. 21: 1471-1486. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0235-3>

Estes, B.L., Knapp, E.E., Skinner, C.N., & Uzoh, F.C., 2012. Seasonal variation in surface fuel moisture between unthinned and thinned mixed conifer forest, northern California, USA. *Int. J. Wildland Fire*. 21: 428-435. <https://doi.org/10.1071/WF11056>

Finney, M.A., 2006. An overview of FlamMap fire modelling capabilities. In: Andrews, P.L., Butler, B.W. (Eds.), 'Fuels Management – How to Measure Success: Conference Proceedings', 28-30 March 2006, Portland, OR, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P 41, pp. 213-220 (Fort Collins, CO. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/25948>

- Freer-Smith, P., Muys, B., Bozzano, M., Drössler, L., Farrelly, N., Jactel, H., Korhonen, J., Minotta, G., Nijnik, M., & Orazio, C., 2019. Plantation forests in Europe: challenges and opportunities. From Science to Policy 9. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fs09>
- Gomez-Gonzalez, S., Ojeda, F., & Fernandes, P.M., 2018. Portugal and Chile: Longing for sustainable forestry while rising from the ashes. *Environmental Science and Policy*. 81: 104-107. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.006>
- Hahn, G.E., Coates, T.A., Aust, W.M., Bolding, M.C., & Thomas-Van Gundy, M.A., 2021. Long-term impacts of silvicultural treatments on wildland fuels and modeled fire behavior in the Ridge and Valley Province, Virginia (USA). *For. Ecol. Manag.* 496:119475. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119475>
- Hood, S.M., Baker, S., & Sala, A., 2016. Fortifying the forest: thinning and burning increase resistance to a bark beetle outbreak and promote forest resilience. *Ecol Appl.* 26:1984–2000. <https://doi.org/10.1002/eap.1363>
- Jaque Castillo, E., Fernández, A., Fuentes Robles, R., & Ojeda, C.G., 2021. Data-based wildfire risk model for Mediterranean ecosystems – case study of the Concepción metropolitan area in central Chile. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 21(12): 3663-3678. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-3663-2021>
- Johnston, J.D., Olszewski, J.H., Miller, B.A., Schmidt, M.R., Vernon, M.J., Ellsworth, L.M., 2021. Mechanical thinning without prescribed fire moderates wildfire behavior in an Eastern Oregon, USA ponderosa pine forest. *For. Ecol. Manag.* 501:119674. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119674>
- Kalies, E.L., & Kent, L.L.Y., (2016). Tamm review: are fuel treatments effective at achieving ecological and social objectives? A systematic review. *For. Ecol. Manag.* 375:84–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.021>
- Knapp, E.E., Lydersen, J.M., North, M.P., & Collins, B.M., 2017. Efficacy of variable density thinning and prescribed fire for restoring forest heterogeneity to mixed-conifer forest in the central Sierra Nevada, CA. *For. Ecol. Manag.* 406: 228-241. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.028>
- Marshall, G., Thompson, D.K., Anderson, K., Simpson, B., Linn, R., Schroeder, D., 2020. The impact of fuel treatments on wildfire behavior in North American Boreal fuels: a simulation study using FIRETEC. *Fire*. 3(2):18. <https://doi.org/10.3390/fire3020018>
- Martín, A., Botequim, B., Oliveira, T.M., Ager, A., & Pirotti, F., 2016. Temporal optimization of fuel treatment design in blue gum (*Eucalyptus globulus*) plantations. *Forest Systems*. 25 (2): eRC09. <http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016252-09293>
- Mofidi, A., Soltanzadeh, I., Yousefi, Y., Zarrin, A., Soltani, M., Samakosh, J.M., Azizi, G., & Miller, S.T.K., 2015. Modeling the exceptional south Foehn event (Garmij) over the Alborz Mountains during the extreme forest fire of December 2005. *Nat Hazards*. 75:2489–2518. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1440-9>
- Paritsis, J., Landesmann, J.B., Kitzberger, T., Tiribelli, F., Sasal, Y., & Quintero, C., Dimarco, R.D., Barrios-García, M.N., Iglesias, A.L., Diez, J.P., Sarasola, M., Nuñez, M.A., 2018. Pine Plantations and Invasion Alter Fuel Structure and Potential Fire Behavior in a Patagonian Forest-Steppe Ecotone. *Forests*. 9: 117. <https://doi.org/10.3390/f9030117>
- Parsons, R.A., Pimont, F., Wells, L., Cohn, G., Jolly, W.M., de Coligny, F., Rigolot, E., Dupuy, J.L., Mell, W., & Linn, R.R., 2018. Modeling thinning effects on fire behavior with STANDFIRE. *Ann. For. Sci.* 75:7. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0686-2>

- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p. <https://doi.org/10.2737/INT-GTR-143>
- Russell, E.S., Liu, H., Thistle, H., Strom, B., Greer, M., & Lamb, B., 2018. Effects of thinning a forest stand on sub-canopy turbulence. *Agric. For. Meteorol.* 248: 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.019>
- Salis, M., Del Giudice, L., Arca, B., Ager, A.A., Alcasena, F.J., Lozano, O., Bacciu, V., Spano, D., Duce, P., 2018. Modelling the effects of different fuel treatment mosaics on wildfire spread and behaviour in a Mediterranean agro-pastoral area. *J. Environ. Manage.*, 212: 490–505. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.020>
- Thompson, M.P., & Calkin, D.E., 2011. Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. *J. Environ. Manag.* 92: 1895–1909. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.015>
- Whitehead, R.J., Russo, G.L., Hawkes, B.C., Taylor, S.W., Brown, B.N., Barclay, H.J., Benton, R.A., 2006. Effect of a Spaced Thinning in Mature Lodgepole Pine on Within-Stand Microclimate and Fine Fuel Moisture Content. In: Andrews, Patricia L.; Butler, Bret W., comps. 2006. 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, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 523-536. <https://www.fs.usda.gov/research/treearch/25975>

