اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۳، بهار ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.292942.1071

مقاله پژوهشی

عوامل اقتصادی– اجتماعی و زیست‌محیطی مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران و راهبردهای مقابله با آن

زهرا دلیر[۱]، زکریا فرج زاده[۲]، منصور زیبایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲

چکیده

سرانه جنگل ایران حدود یک‌چهارم مقدار جهانی و اما روند تخریب و وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌های کشورمان بسیار سریع بوده است؛ این شرایط درخور توجه ویژه و مطالعه است. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف شناخت عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل‌های ایران و نیز ارزیابی دیدگاه کارشناسان در زمینهٔ راهبردهای مدیریت مقابله با آتش‌سوزی و تعیین راهبردهای مؤثر برای مقابله با آن صورت گرفت. برای بررسی عوامل مؤثر بر

۱- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- نویسندهٔ مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. (zakariafarajzadeh@gmail.com)

۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

آتش‌سوزی جنگل‌ها، از تحلیل رگرسیون و داده‌های استان‌های منتخب طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۰ استفاده شد. تحلیل مدیریت مقابله با آتش‌سوزی نیز بر اساس قضاوت کارشناسان منتخب در خصوص راهبردهای پیشنهادی و با بهره‌گیری از روش‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس انجام شد. یافته‌های مطالعه نشان داد که به‌طور نسبی، سهم متغیرهای اقتصادی-اجتماعی در وقوع آتش‌سوزی بیشتر از متغیرهای زیست‌محیطی بوده و از میان متغیرهای زیست‌محیطی، اثر دما قابل ملاحظه است. همچنین، در خصوص متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، مشخص شد که تراکم استفاده از جنگل‌ها از طریق افزایش جمعیت و افزایش دسترسی (جاده) موجب افزایش زمینه وقوع آتش‌سوزی می‌شود؛ اما در عین حال، بهبود شرایط جامعه از نظر سطح توسعه‌یافتگی زمینه کاهش وقوع آتش‌سوزی را فراهم می‌کند؛ در مورد مدیریت مقابله با آتش‌سوزی نیز تأکید و تمرکز راهبردهای اولویت‌دار، بیش از تجهیزات مورد استفاده، بر مدیریت منابع نیروی انسانی است؛ و قبل از آتش‌سوزی، راهبردهای «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق»، «اعمال جریمه» و «گماشتن نگهبان و دیدبان محلی» از بالاترین اولویت برخوردار بوده و «حفظ خونسردی مأموران» و «حضور به‌موقع مأموران در محل» به‌عنوان راهبردهای حین آتش‌سوزی توصیه شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: *آتش‌سوزی، اقتصادی-اجتماعی، جنگل، راهبرد، ایران.*

طبقه‌بندی JEL : C13, C23, Q23

مقدمه

جنگل‌ها و مراتع در تعدیل و پایداری آب‌وهوای جهان نقش مهمی دارند، به‌گونه‌ای که تخریب آنها می‌تواند موجب تغییراتی قابل ملاحظه در آب‌وهوا شود (Zhang and Chen, 2007). افزایش جمعیت و افزایش تقاضا برای غذا و منابع تأمین سوخت موجب فشار بر منابع طبیعی و از جمله زمین شده و از این‌رو، موجب افزایش تغییر کاربری اراضی و تبدیل عرصه‌های منابع طبیعی به اراضی زراعی و زوال آنها شده است. به‌موازات فشار بیشتر بر این عرصه‌ها، وقوع

آتش‌سوزی به‌عنوان یکی از عوامل تخریب نیز بیشتر شده است (Sarikhani, 1991). آتش‌سوزی باعث آلودگی هوا و نابودی گونه‌های ارزشمند گیاهی و جانوری می‌شود و جان انسان‌های ساکن در مجاورت جنگل را با مخاطرات جدی مواجه می‌نماید (Zhang et al., 2010). در کمتر از دویست سال گذشته، شش میلیون کیلومترمربع از زمین‌های جنگلی در جهان بر اثر آتش‌سئزی از بین رفته است (Dimopoulou and Giannikos, 2004).

آتش‌سوزی جنگل از بحران‌های طبیعی بوده و مقابله با آن مصداق مدیریت بحران است. شناسایی عوامل مؤثر در وقوع آتش‌سوزی و پهنه‌بندی مخاطره یکی از ابزارهای اساسی برای دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با آتش‌سوزی است (Mansouri et al., 2011). مدیریت قبل از وقوع آتش‌سوزی می‌تواند با کاستن از زیان وارده به جنگل، مانع از کاهش کیفیت آن در تأمین خدمات تفریحی و غیرتفریحی شود (Sadeghi Kaji et al., 2011). اما با تمام تلاش‌های صورت‌گرفته، همواره موارد زیادی آتش‌سوزی رخ می‌دهد؛ بنابراین، برای مقابله با آن، اقدامات دیگری نیاز خواهد بود. در همین راستا، لازم است علل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع شناسایی و راهبردهای کاهش خسارات ناشی از وقوع این بحران ارائه شود.

مرور ادبیات موجود نشان می‌دهد که عامل انسانی در آتش‌سوزی جنگل‌ها تعیین‌کننده است (Ranjan, 2018). شرایط معیشتی و فقر از مصداق‌های عامل انسانی در آتش‌سوزی جنگل‌هاست. در مطالعات متعدد، مشخص شده است که سطح فقر بر آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع اثر مثبت دارد. برای نمونه، تحقیقی در هند نشان داد که امرار معاش و تأمین نیازهای خانواده مانند ساخت‌وساز منازل و آتش برای گرم کردن از جمله عوامل تأثیرگذار در آتش‌سوزی جنگل‌های هند است (Schmerbeck et al., 2014).

در کنار عوامل انسانی، عوامل محیطی نیز نقش مهمی در آتش‌سوزی دارند. مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در بروز و یا مهار آتش‌سوزی در جنگل ها و مراتع عبارت‌اند از بارندگی، دما، رطوبت و ناپایداری هوا که با استفاده از همین عوامل، می‌توان وقوع آتش‌سوزی را با مدل‌ها و شاخص‌های گوناگون پیش‌بینی کرد (Bazrafshan et al., 2007). بیرانوند و

همکاران (Beiranvand et al., 2011) نشان دادند که در جنگل منطقه کاکارضای لرستان، پوشش گیاهی و رطوبت مواد سوختنی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توسعه آتش‌سوزی در زیست‌بوم جنگل به‌شمار می‌روند. همچنین، وستل و همکاران (Wastl et al., 2012) روند طولانی مدت تغییرات آب‌وهوایی را عامل افزایش وقوع آتش‌سوزی جنگل‌های آلپ عنوان کردند. زامبرونن و همکاران (Zumbrunnen et al., 2009) نیز در مقایسه تأثیر درجهٔ دما، بارش، خشکسالی و باد فون[1] خشک بر دفعات وقوع آتش‌سوزی و وسعت منطقه سوخته در رشته‌کوه‌های آلپ سوئیس، بدین نتیجه رسیدند که آتش‌سوزی به‌طور عمده از دما و بارش تأثیر می‌پذیرد.

در دهه‌های اخیر، به‌دلیل تغییرات کاربری زمین و توسعه زمین‌های زراعی و باغی و گرم شدن آب‌وهوا، تعداد و شدت آتش‌سوزی‌ها رو به افزایش بوده است (Ganji, 2014). به دیگر سخن، ترکیبی از عوامل انسانی و محیطی به‌عنوان دلایل وقوع آتش‌سوزی مطرح شده است. البته، توکلی و همکاران (Tavakkoli et al., 2013)، ضمن برشمردن دلایل و منابع ایجاد آتش‌سوزی، بر این باورند که عوامل محیطی در ایجاد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع بیش از سایر عوامل اهمیت دارند. این در حالی است که یانگ و همکاران (Yang et al., 2017)، در بررسی اثرات پوشش زمین، جاده‌ها، مالکیت و تراکم جمعیت بر بروز آتش‌سوزی در جنگل‌های کوهستانی ایالت میسوری، نشان دادند که بیش از نود درصد آتش‌سوزی‌ها توسط انسان ایجاد می‌شود. در همین راستا، بر پایهٔ یافته‌های پژوهش آرنت و همکاران (Arndt et al., 2013)، راه‌آهن، جاده جنگلی و تراکم پیاده‌رو همراه با تحولات کشاورزی و جنگل‌داری به‌گونه‌ای چشمگیر در وقوع آتش‌سوزی نقش دارند. زامبرونن و همکاران (Zumbrunnen et al., 2011)، در بررسی دو منطقه در ایتالیا، با مهم خواندن اثر هر دو گروه عوامل انسانی و محیطی، نشان دادند که هرچند، آب‌وهوا نقش مهمی در بروز آتش‌سوزی دارد، اما تراکم راه و دام نیز دارای اثر مستقیم در وقوع آتش‌سوزی است.

1. Föhn wind

با توجه به بررسی ادبیات موضوع، بیشتر پژوهش‌های پیشین خواه تنها به عوامل انسانی و اجتماعی- اقتصادی (Yang et al., 2007; Martinez et al., 2009; Lovreglio et al., 2010; de Torres Curth et al., 2012) و خواه به اثرات الگوهای آب‌وهوایی (Pinol et al., 1998; Pausas, 2004; Westerling et al., 2006; Pausas and Fernandez-Munoz, 2012) پرداخته‌اند. مطالعات داخلی نیز بیشتر روی عوامل طبیعی مؤثر بر آتش‌سوزی تمرکز داشته و کمتر به متغیرهای اقتصادی و اجتماعی توجه کرده‌اند.

جنگل‌های ایران، با مساحتی حدود ۱۴/۳ میلیون هکتار، ۸/۸۳ درصد مساحت کشور را شامل می‌شود و سرانه جنگل در کشور ۰/۲ هکتار است که در مقایسه با سرانه جهانی جنگل (۰/۸ هکتار)، بسیار اندک محسوب می‌شود (MAJ, 2015). تخریب جنگل‌ها و مراتع ایران در سی سال اخیر حدود ۲۲۵ میلیون مترمکعب بوده است. با روند فعلی تخریب، طی سی تا چهل سال آینده، جنگل‌های کنونی از دست خواهد رفت (Heidarnejad et al., 2011). سالانه ۰/۰۶ درصد از جنگل‌های کشور بر اثر آتش‌سوزی از دست می‌رود، که این میزان معادل شش هزار و پانصد هکتار است (Sarkargar Ardakani et al., 2009). علت بیشتر آتش‌سوزی‌ها بی‌توجهی مردم و گردشگران عنوان شده است (MAJ, 2015). اما ظاهراً عوامل مهم دیگری نیز که پیش‌تر در مطالعات تجربی معرفی شدند، در بروز آتش‌سوزی‌ها مؤثرند؛ البته، برخی مطالعات داخلی (Beiranvand et al., 2011; Tavakkoli et al., 2013)، به‌طور عمده، عوامل محیطی و آب‌وهوایی را تعیین‌کننده‌تر عنوان می‌کنند، اما در مطالعات متعدد دیگری (Lovreglio et al., 2010; de Torres Curth et al., 2012)، عوامل انسانی نیز حائز اهمیت دانسته شده است. از این‌رو، مطالعه توأم این دو گروه برای شناخت عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی ضروری است. نکته مهم دیگر این است که در مطالعات متعدد، تنها به شناخت این عوامل اکتفا شده، در حالی که تمرکز بر پیشگیری نیز ضروری است. در همین خصوص، مساعدت مطالعه حاضر معرفی راهبردهایی برای قبل از وقوع آتش‌سوزی بوده و همچنین، تلاش شده است که برای هنگام وقوع آتش‌سوزی نیز راهکارهایی ارائه شود. بدین منظور،

مطالعهٔ حاضر، با استفاده از ابزاری که در ادامه معرفی می‌شود، نقش این عوامل در بروز آتش‌سوزی‌ها را مشخص و راهبردهایی را ارائه نموده است. با توجه به وضعیت مراتع و جنگل‌های کشور، باید علل اصلی آتش‌سوزی جنگل‌ها را تعیین و مدیریت کرد.

در مطالعهٔ حاضر، برای بررسی عوامل اقتصادی- اجتماعی (انسانی) و آب‌وهوایی (محیطی) مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل‌های ایران در طول سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ ، از داده‌های پنل (ترکیبی) استان‌های منتخب استفاده شده است. نخست، با بهره‌گیری از داده‌های مربوط، مدل سازگار با هدف مطالعه برآورد شد و پس از مشاهده سهم بالای عوامل انسانی در تبیین گستره آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران، با تهیه و تکمیل پرسشنامه‌ای توسط کارشناسان استان فارس برای تعیین بهترین راهبردهای مقابله با آتش‌سوزی انجام شد. برای ارزیابی راهبردهای پیشنهادی، معیارها و زیرمعیارها تعیین و سپس، با روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی[1] وزن آنها مشخص شد. آنگاه عملکرد هر کدام از راهبردها در ارتباط با معیارها و زیرمعیارها تعیین شد و در انتها، رتبه‌بندی آنها با استفاده از روش تاپسیس[2] صورت گرفت.

با توجه به آنچه گفته شد، هدف مطالعهٔ حاضر، به‌طور مشخص، شناخت عوامل مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی جنگل‌های ایران و ارزیابی دیدگاه کارشناسان در زمینه راهبردهای مؤثر برای مقابله با آن است.

مبانی نظری و روش تحقیق

در مطالعهٔ حاضر، برای دستیابی به هدف مطالعه، از ابزارهای متعدد استفاده شده است، بدین ترتیب که ابتدا برای شناسایی عوامل مؤثر بر تراکم آتش‌سوزی جنگل، از مدل رگرسیونی پنل یا ترکیبی و سپس، برای تعیین و ارزیابی اولویت راهبردهای مدیریتی مقابله با

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)
2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

آتش‌سوزی، از روش‌های AHP فازی[1] و تاپسیس استفاده شد. در این بخش، ابتدا عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل‌ها و الگوی رگرسیونی مربوط معرفی شده است.

به‌طور کلی، می‌توان عوامل آتش‌سوزی مورد یررسی در مطالعات مختلف را در دو گروه عوامل محیطی و عوامل انسانی (اقتصادی- اجتماعی) طبقه‌بندی کرد. منظور از عوامل «محیطی» بارش و دما، گردش حرارت (برای نمونه، تفاوت بین حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه) و تعداد روزهای گرم پیوسته در یک سال است. انتظار می‌رود که میزان بارش اثر منفی بر آتش‌سوزی جنگل‌ها داشته باشد (Trouet et al., 2006; Pausas and Bradstock, 2007; Pausas, 2004). افزایش بارندگی و رطوبت بالا سبب کاهش وقوع آتش‌سوزی می‌شود (Michetti and Pinar, 2013). اما دما می‌تواند اثر مثبت بر وقوع آتش‌سوزی داشته باشد (Wotton et al., 2003; Pausas, 2004; Trouet et al., 2006; Westerling et al., 2006). افزایش دما، با کاهش رطوبت و افزایش اشتعال سوخت‌های زنده و مرده، منجر به افزایش احتمال وقوع آتش‌سوزی می‌شود (Michetti and Pinar, 2013). خشکسالی یکی از عوامل محیطی مهم است که در مطالعات، بدان پرداخت شده است. شاخص استانداردشدهٔ بارش[2] نمایانگر میزان خشکسالی است و از طریق محاسبهٔ تفاوت بارش از میانگین یک مقیاس زمانی مشخص تقسیم بر انحراف معیار به‌دست می‌آید. تنها عامل مؤثر در محاسبهٔ شاخص استانداردشدهٔ بارش عنصر بارندگی است؛ مقادیر مثبت برای این شاخص به معنی ترسالی و مقادیر منفی نشان‌دهندهٔ سطحی از خشکسالی است.

مهم‌ترین عوامل انسانی (اقتصادی- اجتماعی) مورد یررسی در مطالعات گوناگون عبارت‌اند از تراکم جمعیت، آموزش، فقر و تراکم جاده. افزایش جمعیت می‌تواند اثر مثبت یا منفی روی وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها داشته باشد (Mercer and Prestemon, 2005; Gellrich et al., 2007; Martinez et al., 2009; de Torres Curth et al., 2012; Ranjan, 2018).

1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
2. Standardized Precipitation Index (SPI)

اگرچه افزایش جمعیت بر میزان عامل حریق و احتمال آتش‌سوزی می‌افزاید، اما تقاضای بیشتر زمین در پی افزایش جمعیت می‌تواند روند آزادسازی زمین را کاهش دهد (Michetti and Pinar, 2013). یکی دیگر از متغیرهای مورد بررسی فقر است که مترادف با درآمد پایین است و اثر فزاینده بر میزان وقوع آتش‌سوزی دارد (Leone et al., 2002; Pazienza and Beraldo, 2004; Maingi and Henry, 2007). سطح رفاه و اشتغال بالاتر ممکن است تمایل مردم به آتش زدن جنگل برای کسب درآمد را کاهش دهد (Michetti and Pinar, 2013).

با توجه به نتایج مطالعات مختلف در زمینهٔ آموزش، انتظار می‌رود که آموزش از طریق افزایش سطح آگاهی به کاهش و پیشگیری وقوع آتش‌سوزی کمک کند (Butry et al., 2002; Michetti and Pinar, 2013). در مطالعهٔ حاضر نیز همانند مطالعهٔ گنجی (Ganji, 2014)، از شاخص ترکیبی توسعه انسانی[1] استفاده شده که شامل سه جزء زندگی سالم (امید به زندگی)، دسترسی به دانش (آموزش) و سطح زندگی (درآمد) است. این شاخص، در واقع، متغیرهای فقر نسبی و آموزش را نیز در خود دارد. دیگر متغیر حائز اهمیت تراکم جاده است که به‌موجب آن، بر اثر افزایش تماس جمعیت و استفاده بیشتر از جنگل، زمینه افزایش آتش‌سوزی فراهم می‌شود (Cardille et al., 2001; Pew and Larsen, 2001)؛و از سوی دیگر، به‌دلیل تسهیل راه‌های ارتباطی خوب، ممکن است به پیشگیری از آتش‌سوزی و سرکوب آن نیز کمک شود (Michetti and Pinar, 2013).

در بسیاری از مطالعات، داده‌های مقطعی در تجزیه‌وتحلیل خطر آتش‌سوزی به‌کار گرفته شده است؛ و البته، تعداد کمی از آنها از داده‌های پنل (ترکیبی) استفاده کرده‌اند. در مطالعهٔ حاضر هم برای بررسی عوامل مؤثر بر تراکم آتش‌سوزی جنگل، از مدل داده‌های پنل استفاده شده و بر اساس مطالعات بررسی‌شده (Martinez et al., 2009; Trouet et al., 2006; Michetti and Pinar, 2013; Salvati and Carlucci, 2015)، اثر عوامل مختلف بر آتش‌سوزی جنگل در ایران به‌صورت رابطه (۱) قابل بیان است:

1. Human Development Index (HDI)

$$y_{it} = \sum_{m=1}^{k} \beta_m X_{itm} + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

$$t = 1,2,\dots,T \qquad \mathrm{i} = 1,2,\dots,16 \qquad \mathrm{m} = 1,2,\dots,\mathrm{k}$$

که در آن، y_{it} تراکم جنگل سوخته‌شده (مساحت جنگل در استان/ مساحت جنگل سوخته‌شده) در استان iام در سال t و X_m بردار متغیرهای توضیحی شامل عوامل اقتصادی- اجتماعی و متغیرهای محیطی یا آب‌وهوایی شامل میانگین بارش بر حسب میلی‌متر (از پانزدهم خرداد تا پانزدهم مهر)، متوسط دما بر حسب سانتی‌گراد (از پانزدهم خرداد تا پانزدهم مهر)، تعداد متوسط روزهای گرم در سال، تراکم جمعیت (مساحت استان بر حسب هزار کیلومتر مربع تقسیم بر کل جمعیت بر حسب نفر)، تراکم جاده (مساحت استان بر حسب هزار کیلومتر مربع تقسیم بر طول جاده بر حسب کیلومتر)، شاخص توسعه انسانی و شاخص خشکسالی (شاخص استانداردشدهٔ بارش) است؛ همچنین، $\varepsilon_t = \alpha + u_t$ است که در آن، α اثرات غیرقابل مشاهده و u_t اثرات متغیر در طول زمان در داخل استان است؛ β_m نیز معرف پارامترهای تخمینی است (زیرنویس i به استان و زیرنویس t به زمان اشاره دارد). متغیرهای رابطه (۱) به‌صورت لگاریتمی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، شایان یادآوری است که برای آزمون پایایی داده‌های متغیرهای پنل، از آزمون لوین، لین و چو[1] و آزمون ایم، پسران و شین[2] استفاده شد. لازم به توضیح است که در آزمون لوین، لین و چو (LLC)، فرض بر این است که داده‌های متغیر دارای فرآیند ریشه واحد مشترک در بین مقاطع است، در حالی که آمارهٔ ایم، پسران و شین (IPS) دارای فرآیند ریشه واحد انفرادی است و این امکان را فراهم می‌سازد که ناهمگنی در بین اثرات فردی وجود داشته باشد و از این‌رو، بدان آزمون ریشه واحد ناهمگن گفته می‌شود.

در ادامه، راهبردهای مقابله با آتش‌سوزی و همچنین، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) به‌منظور محاسبه وزن معیارها برای ارزیابی راهبردهای قبل و حین آتش‌سوزی ارائه شده است. فرآیند کلی تحلیل سلسله‌مراتبی فازی شامل ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی، مقایسه زوجی و محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارهاست. در مرحله ایجاد ساختار، هدف، معیارها، زیرمعیارها و

1. Levin, Lin and Chu (LLC)
2. Im, Pesaran and Shin (IPS)

گزینه‌ها در یک ساختار سلسله‌مراتبی شبیه یک درخت تنظیم می‌شود. در مرحله مقایسه زوجی نیز معیارها و زیرمعیارها با استفاده از اعداد مثلثی فازی به‌صورت دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌شود. به‌منظور محاسبه وزن در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی از روش تجزیه‌وتحلیل مقداری چانگ (Chang, 1996) استفاده شد، که مراحل آن در پی تشریح می‌شود:

مرحله اول: محاسبه ارزش مقدار ترکیبی فازی برای iامین عنصر که به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \qquad (۲)$$

که در آن، $M_{g_i}^{j}$ها $(j=1,2,....,m)$ اعداد فازی مثلثی، sها مقدار ارزش فازی، n تعداد معیارها و m مجموعه‌های فازی مثلثی است.

مرحله دوم: محاسبه درجه احتمال، که به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$V(M_1 \le M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M2}(d) = \begin{cases} 1, & if \quad m_2 \ge m_1 \\ 0, & if \quad u_2 \le l_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases} \qquad (۳)$$

که در آن، d نقطه اشتراک μ_{M1} و μ_{M2} است.

مرحله سوم: مرحله آخر نیز شامل محاسبه بردار وزن‌هاست. بردار وزن‌ها به‌صورت رابطه (۴) خواهد بود:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), \ldots .., d'(A_i) \right)^T \qquad (۴)$$

$A_i^{(i=1,2,....,n)}$ ها n عنصر هستند که در آن، W یک عدد غیرفازی است (Chang, 1996). اعداد فازی مثلثی مورد استفاده نیز در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- اعداد فازی مثلثی و متغیرهای کلامی مربوط به آنها

ترجیح	مقادیر فازی	ترجیح	مقادیر فازی
ارجحیت یکسان	(۱,۱,۱)	کاملاً ارجح تا ارجحیت زیاد	(۳,۴/۵,۵)
ارجحیت یکسان تا نسبتاً ارجح	(۱,۱/۵,۱/۵)	ارجحیت خیلی زیاد	(۵,۵/۵,۶)
نسبتاً ارجح	(۱,۲,۲)	ارجحیت خیلی زیاد تا فوق‌العاده ارجح	(۵,۶,۷)
نسبتاً ارجح تا کاملاً ارجح	(۳,۳/۵,۴)	فوق‌العاده ارجح	(۵,۷,۹)
کاملاً ارجح	(۳,۴,۴/۵)		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

تمامی محاسبات مربوط به فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی بر اساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس‌های مقایسه زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها نتیجهٔ نهایی به‌دست‌آمده از محاسبات را مخدوش می‌سازد.

راهبردهای محافظت از جنگل‌ها با بررسی مطالعات مختلف و همچنین، مشورت با کارشناسان انتخاب شد. این راهبردها که در جدول ۲ آمده، شامل دو بخش راهبردهای قبل از آتش‌سوزی و راهبردهای حین آتش‌سوزی است. راهبردهای قبل از آتش‌سوزی «زمان‌بر» هستند و از این‌رو، باید دوره‌ای طولانی و به‌صورت مستمر اجرا شوند تا اثرگذار باشد؛ اما راهبردهای حین آتش‌سوزی باید به‌صورت آنی و در زمان وقوع حادثه اجرا شوند و نیاز به مدیریت افراد دارند.

جدول ۲- راهبردهای انتخاب‌شده برای رتبه‌بندی

راهبرد قبل از آتش‌سوزی	راهبرد حین آتش‌سوزی
اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی عمومی	حفظ خونسردی مأموران
آماده و به‌روزکردن تجهیزات ایمنی	حضور به‌موقع مأموران در محل
شناسایی نقاط بحرانی مستعد آتش‌سوزی	استفاده صحیح از تجهیزات
گشت و مراقبت و سرکشی	به‌کارگیری نیروهای محلی آموزش‌دیده
گماشتن نگهبان و دیدبان محلی در نقاط حساس	تشکیل جلسه ستاد بحران درصورت نیاز
برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق	هماهنگی لازم با مسئولان محلی (فرماندار، بخشدار)
نصب تابلوهای هشدار در نقاط حساس	بررسی و شناسایی راه‌های دسترسی به محل حریق
احداث جاده‌های نفوذی به نقاط حساس	نیازسنجی امکانات ویژهٔ مقابله با حریق
احداث آتش‌بر (جاده‌هایی میان نقاط حساس)	ایجاد آتش‌بر در آتش‌سوزی‌های بزرگ
عملیات جنگل‌داری (پاک کردن جنگل از علوفه و برگ‌های خشک)	قطع درختان سوزنی در آتش‌سوزی‌های تاجی
اعمال جریمه برای افرادی که زباله ومواد آتش‌زا را در جنگل رها می‌کنند	پر کردن تنه درختان خشک و پوسیده از خاک در آتش‌سوزی تنه‌ای
احداث مکان‌های ویژهٔ تفریح خانواده‌ها	ایجاد خندق و گودال در آتش‌سوزی زیرزمینی
کنترل تردد افراد در جنگل	لکه‌گیری بعد از حریق (کنترل قسمت‌های خاموش‌شده)

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پس از آنکه وزن‌های معیارها با کمک روش تحلیل مقداری به‌دست آمد، از امتیازهای تجمیع‌شدهٔ هر کدام از راهبردها برای معیارهای مختلف به‌منظور رتبه‌بندی به روش تاپسیس (TOPSIS) استفاده شد. گزینش معیارهای مورد استفاده برای مقایسه راهبردهای محافظت از جنگل در برابر آتش‌سوزی بر اساس دیگر پژوهش‌ها و مشورت با کارشناسان صورت گرفت. این معیارها شامل اثرگذاری، هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن و سهولت در اجراست. در انتخاب معیارها، سعی شده است که معیارها عملیاتی باشد (یعنی، امکان ارزیابی هر کدام از راهبردها با توجه به معیار مورد نظر وجود داشته باشد)، کامل باشد (یعنی، تمامی معیارهای مورد نیاز برای ارزیابی راهبردها به‌کار گرفته شود)، معیارها از یکدیگر مستقل باشند (یعنی، هر کدام یک ویژگی خاص از راهبردها را دربرگیرد) و در نهایت، با اثرات رخ‌داده در طول زمان سازگار باشد (Dyson, 2004).

برای دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، از پرسشنامه استفاده شد و تکمیل آن توسط بیست کارشناس منابع طبیعی شهرستان‌های مختلف استان فارس صورت گرفت. بر اساس نظرات بیست کارشناس مورد نظر، ماتریس مقایسه زوجی معیارها استخراج وپس از آن، وزن معیارها با روش FAHP محاسبه شد. در ادامه، با استفاده از روش تاپسیس (TOPSIS) و با توجه به امتیاز هر کدام از راهبردها نسبت به معیارها بنا به نظر کارشناسان و همچنین، وزن معیارهای محاسبه‌شده، رتبه‌بندی راهبردها انجام شد.

در مطالعهٔ حاضر، داده‌های مربوط به آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، تراکم جمعیت، تراکم جاده، سطح جنگل و همچنین، اجزای شاخص توسعه انسانی از مرکز آمار ایران (SCI, 2017) جمع‌آوری شد. همچنین، داده‌های مربوط به بارندگی و دما و تعداد روزهای گرم از پایگاه اطلاعاتی سازمان هواشناسی کل کشور گردآوری و با استفاده از آمار بارندگی، شاخص خشکسالی (SPI) محاسبه شد. استان‌های انتخاب‌شده عبارت‌اند از پانزده استان شامل گیلان، مازندران، آذربایجان شرقی، کرمانشاه، خوزستان، کرمان، چهارمحال‌وبختیاری، لرستان، ایلام، کهگیلویه‌وبویراحمد، یزد، تهران، گلستان، خراسان شمالی و فارس که نسبت به سایر استان‌ها، از مساحت جنگلی بیشتری برخوردارند. دوره مطالعه نیز شامل سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ است. شایان یادآوری است که برای تحلیل رگرسیون، از بسته نرم‌افزاری Stata15 استفاده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش، ابتدا با استفاده از تصریح رگرسیون، متغیرهای مؤثر بر وقوع آتش‌سوزی تحلیل شده و سپس، راهبردهای قبل و حین آتش‌سوزی برای حفاظت از جنگل‌ها و مراتع ارزیابی و رتبه‌بندی شده است.

قبل از تخمین مدل رگرسیونی، آزمون‌های مورد نیاز برای تعیین راهبرد تخمین انجام شد. اولین قدم برای اطمینان از نتایج تخمین بررسی مانایی داده‌های متغیرهای مورد نظر است. نتایج آزمون‌های مانایی نشان داد که در سطح معنی‌داری پنج درصد، فرضیه صفر مبنی بر وجود

ریشه واحد متغیرها پذیرفته نمی‌شود؛ به دیگر سخن، همه متغیرها از جمله متغیر وابسته مدل در سطح مانا هستند. پس از بررسی مانایی متغیرها، آزمون چاو برای بررسی قابلیت تلفیق دادها انجام گرفت. با توجه به مقدار آماره F محاسباتی (۰/۲۱)، مشخص شد که برای متغیرهای مورد بررسی، نمی‌توان فرضیه صفر در این آزمون مبنی بر برابری ضرایب تمام متغیرهای مستقل در بین استان‌های مورد بررسی را رد کرد؛ و امکان ترکیب داده‌ها وجود دارد. همچنین، به‌منظور انتخاب از میان الگوهای اثرات ثابت و اثرات تصادفی، از آزمون هاسمن استفاده شد. آماره آزمون هاسمن برابر با ۳۰/۳۴ به‌دست آمد که از مقدار بحرانی جدول بزرگ‌تر بوده و از این‌رو، فرضیه صفر مبنی بر مناسب بودن اثرات تصادفی مورد پذیرش واقع نشد و مدل اثرات ثابت انتخاب شد.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، از بین متغیرهای محیطی، میانگین دما و تعداد روزهای گرم و همچنین، شاخص خشکسالی حائز اهمیت آماری است. دلیل احتمالی در خصوص عدم معنی‌داری ضریب متغیر بارش می‌تواند استفاده از داده‌های میانگین بارش از نیمه دوم خرداد تا نیمه اول مهرماه در هر سال برای استان‌های مختلف باشد، چراکه میزان بارش در این بازه زمانی که اکثر آتش‌سوزی‌ها اتفاق می‌افتد، پراکنده و ناچیز است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که میانگین دما، همانند مطالعه پائوساس (Pausas, 2004)، رابطه مثبت و معنی‌دار با تراکم آتش‌سوزی جنگل‌ها دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش یک درصد در میانگین دمای استان‌ها، با فرض ثابت بودن سایر شرایط، به‌طور متوسط، میزان تراکم سوخته‌شده جنگل ۰/۰۲۱ یا بیش از دو درصد افزایش خواهد داشت. افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه، خشک شدن مواد سوختنی می‌شود و می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی باشد. ضریب شاخص خشکسالی نیز که مبتنی بر مقادیر بارش است، همانند ضریب متغیر میانگین دما، دارای اهمیت آماری است، بدین معنی که با کاهش شدت خشکسالی و در واقع، افزایش مقادیر شاخص SPI، مساحت سوخته‌شده جنگل نیز کاهش خواهد یافت. تعداد روزهای گرم نیز بر افزایش آتش‌سوزی اثر مثبت دارد.

همچنین، از عوامل اقتصادی- اجتماعی، متغیر تراکم جمعیت دارای اثر معنی‌دار و رابطه مثبت با متغیر وابسته است، که با نتایج مطالعه گنجی (Ganji, 2014) هم‌خوانی دارد. از دلایل تأثیر جمعیت بر افزایش مساحت آتش‌سوزی می‌توان گفت که با رشد جمعیت کشور در سه دهه اخیر و تحولات اجتماعی و تغییر مناسبات اجتماعی مردم، نیازهای جدید پدیدار شده که منجر به مصرف‌گرایی و بی‌اخلاقی در جامعه شده است. از سوی دیگر، همان‌گونه که در مطالعه گنجی (Ganji, 2014) اشاره شده است، آتش‌سوزی جنگل‌ها در کنار قطع درختان برای ساخت‌وسازها، گسترش شهرسازی و جاده‌سازی و مراکز صنعتی در چند سال گذشته، در نتیجهٔ افزایش جمعیت، سیر صعودی داشته است.

متغیر تراکم جاده نیز اثر معنی‌دار و مثبت بر تراکم آتش‌سوزی جنگل دارد. به دیگر سخن، تعداد زیاد جاده و خطوط راه‌آهن با فشار بیشتری بر زمین‌های دست‌نخورده و مستعد آتش‌سوزی همراه ات. از طرفی، استدلال می‌شود که مسیرهای ارتباطی درست و هوشمند نقش مهمی در پیشگیری و فرونشاندن آتش ایفا می‌کند؛ البته بر اساس نتایج مطالعهٔ میچتی و پاینر (Michetti and Pinar, 2013)، تراکم جاده دارای اثرات مختلط مثبت و منفی بر تراکم آتش‌سوزی جنگل‌هاست.

ضریب شاخص توسعه انسانی نشان می‌دهد که با یک درصد افزایش در شاخص توسعه انسانی، در صورت ثابت بودن سایر شرایط، انتظار می‌رود که تراکم جنگل سوخته‌شده به میزان ۰/۰۰۹ درصد کاهش یابد. از آنجا که متغیرهای امید به زندگی، تحصیل و درآمد سرانه در محاسبه این شاخص مد نظر قرار می‌گیرند، رسیدن بدین نتیجه دور از انتظار نیست و بهبود در مجموعه این متغیرهای مهم قطعاً بر کاهش تراکم آتش سوزی جنگل تأثیر خواهد داشت. برای نمونه، افزایش افراد تحصیل‌کرده احتمالاً حس اجتماعی جامعه را بالاتر برده و در کاهش رفتارهای نادرست و مخرب انسان‌ها و در نتیجه، کاهش تراکم آتش سوزی جنگل مؤثر خواهد بود؛ یا با افزایش درآمد سرانه و افزایش سطح رفاه، استفاده از جنگل برای دستیابی به منافع اقتصادی در جوامع شهری و روستایی کاهش خواهد یافت. در ادبیات اقتصادی نیز این متغیر بیشتر معیاری از رفاه و سطح زندگی است. از این‌رو، در عین حال، می‌توان گفت که ضریب

این متغیر کاهش فقر را نیز نمایندگی می‌کند. افزون بر این، آموزش و تحصیلات می‌تواند معیاری از میزان آگاهی جامعه تلقی شود. بدین ترتیب، این متغیر را می‌توان چندبعدی و بیانگر شرایط اقتصادی جامعه دانست.

جدول ۳- نتایج برآورد مدل اثرات ثابت عوامل مؤثر بر تراکم آتش‌سوزی جنگل

متغیر	ضریب	آماره t	متغیر		ضریب	آماره t
عرض از مبدأ	-۰/۱۴۰	-۰/۴۳	تعداد روزهای گرم		۰/۰۰۲***	۳/۲۳
میانگین بارش	-۰/۰۰۰۳	-۰/۶۵	تراکم جاده		۰/۰۰۰۷*	۱/۷۸
میانگین دما	۰/۰۲۱*	۱/۹۲	شاخص توسعه انسانی		-۰/۰۰۹***	-۵/۲۳
تراکم جمعیت	۰/۰۰۰۸**	۲/۱۲	شاخص خشکسالی		-۰/۰۱۴**	-۲/۰۲
F-test(FE)	F(۷, ۲۳۲) =۵/۶۹		LM-test(RE)	χ^2 (۷) = ۳/۳۰	Hausman-test	χ^2 (۷)= ۳۴/۳۰

مأخذ:یافته‌های پژوهش *، ** و *** به ترتیب معنیداری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد

رتبه‌بندی راهبردهای حفاظت از جنگل

در مطالعه حاضر، معیارهای اثرگذاری، هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن و سهولت در اجرا برای رتبه‌بندی راهبردهای حفاظت از جنگل‌ها و مراتع در نظر گرفته شد. پاسخ کارشناسان در زمینه مقایسه این معیارها با استفاده از مقیاس عددی ۱ تا ۹ استخراج و با توجه به جدول اعداد فازی مثلثی، داده‌های استخراجی به ساختار فازی با حدود پایین، وسط و بالا تبدیل شد. سپس، با تجمیع پاسخ کارشناسان مختلف، وزن معیارها محاسبه شد؛ بدین منظور، از ماتریس مقایسه زوجی میانگین هندسی گرفته شد. نتایج این عمل در جدول ۴ آمده است. ستون آخر این جدول نشان‌دهندهٔ وزن هر کدام از معیارهاست که با استفاده از روش FAHP محاسبه شده‌اند؛ و بر همین اساس، رتبه‌بندی راهبردهای حفاظت از جنگل‌ها و مراتع قبل و حین آتش‌سوزی صورت می‌گیرد.

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی تجمیع‌شده معیارها و محاسبه وزن نسبی آنها با روش FAHP

معیارها	اثرگذاری	هزینه‌بر بودن	زمان‌بر بودن	سهولت در اجرا	وزن‌های نسبی
اثرگذاری	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۱/۷۲، ۱/۲۷)	(۱/۳۰، ۱/۱۹، ۰/۸۰)	(۱/۵۹، ۱/۴۳، ۱/۰۸)	۰/۳۶
هزینه‌بر بودن	(۰/۷۹، ۰/۵۸، ۰/۵۰)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۹۶، ۱/۶۲، ۱/۱۲)	(۲/۳۹، ۲/۰۲، ۱/۵۱)	۰/۳۴
زمان‌بر بودن	(۱/۲۶، ۰/۸۴، ۰/۷۷)	(۰/۸۹، ۰/۶۲، ۰/۵۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۴۸، ۱/۲۷، ۰/۹۸)	۰/۲۰
سهولت در اجرا	(۰/۹۳، ۰/۷۰، ۰/۶۳)	(۰/۶۶، ۰/۵۰، ۰/۴۲)	(۱/۰۲، ۰/۷۹، ۰/۶۸)	(۱، ۱، ۱)	۰/۱۰
نرخ ناسازگاری		CR_g= ۰/۰۳۰			CR_m= ۰/۰۲۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول ۴ بیانگر آن است که معیار اثرگذاری راهبردها با وزن نسبی ۰/۳۶ دارای بالاترین درجه اهمیت در میان معیارهای رتبه‌بندی راهبردهای قبل و حین آتش‌سوزی است؛ همچنین، معیارهای هزینه‌بر بودن با وزن ۰/۳۴ و زمان‌بر بودن با وزن ۰/۲۰، به‌ترتیب، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند؛ و افزون بر این، ملاحظه می‌شود که معیار سهولت در اجرا کمترین وزن را داشته و نشان‌دهندهٔ این است که این معیار تأثیری قابل توجه بر رتبه‌بندی راهبردها ندارد. همان‌گونه که مشخص شده است، از نگاه کارشناسان، دو عامل اثرگذاری راهبرد و هزینهٔ اجرای آن هفتاد درصد از کل اهمیت عوامل را به خود اختصاص داده‌اند. اهمیت بالای عامل اثرگذاری در مقایسه با زمان مورد نیاز برای اجرای عملیات مهار آتش‌سوزی حاکی از دشواری آن است. البته، عامل هزینه نیز که بیش از یک‌سوم کل اهمیت را به خود اختصاص داده، نشان‌دهندهٔ دشواری اقدامات اطفای حریق است. همچنین، نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که دو نرخ ناسازگاری محاسبه‌شده کمتر از ۰/۱ است؛ بنابراین، مقایسه‌های زوجی معیارها کاملاً سازگاری دارند و از این‌رو، می‌توان اعتبار نتایج به‌دست‌آمده را مطلوب دانست.

در ادامه، بر اساس وزن‌های معیارها که با کمک روش تحلیل مقداری به‌دست آمد، امتیاز راهبردها برای معیارهای مختلف، راهبردهای مورد نظر رتبه‌بندی شدند. بدین منظور، وزن‌های محاسباتی از روش FAHP و عملکردهای هر راهبرد در قالب ماتریس عملکرد وارد برنامه تاپسیس شد. نحوهٔ استخراج ماتریس عملکرد بدین صورت است که از کارشناسان پرسیده شد که با توجه به چهار معیار مورد نظر، به هر راهبرد چه امتیازی می‌دهند؛ سپس، میانگین هندسی این امتیازها محاسبه و با توجه به معیار مورد نظر، به‌عنوان عملکرد راهبرد لحاظ شد (جداول ۵ و ۶). پس از آن، برای جلوگیری از اثر مقیاس‌ها و به بیان بهتر، بی‌بعدسازی داده‌ها، ماتریس عملکرد راهبردهای حفاظت جنگل‌ها و مراتع قبل و حین آتش‌سوزی نرمال شد، که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ آمده است.

عملکرد معیارها به‌صورت بیشینه (max) بیانگر آن است که هرچه امتیاز راهبرد بر اساس این معیار بیشتر باشد، بهتر است و عملکرد کمینه (min) عکس آن است. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در میان راهبردهای قبل از آتش‌سوزی، با توجه به معیار اثرگذاری، راهبرد «اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی عمومی» بیشترین امتیاز را دارد. بنابراین، می‌توان گفت که از نگاه کارشناسان، اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی عمومی اثرگذارترین راهبرد در جلوگیری از آتش‌سوزی است؛ اما از منظر دو معیار هزینه و زمان، این راهبرد جزو راهبردهای نامناسب است، به‌گونه‌ای که از منظر زمان، بدترین راهبرد ممکن و از منظر هزینه، سومین راهبرد هزینه‌بر است. راهبرد «اعمال جریمه برای افرادی که زباله و مواد آتش‌زا در جنگل رها می‌کنند»، از منظر هزینه، بهترین راهبرد است و پایین‌ترین امتیاز را دارد، چراکه اجرای این راهبرد نه‌تنها هزینه‌ای به‌دنبال ندارد، بلکه به ایجاد درآمد نیز می‌انجامد؛ اما از منظر سایر معیارها، این راهبرد امتیاز چندان قابل توجهی ندارد. برای معیار زمان، از نگاه کارشناسان، راهبرد «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق» بالاترین امتیاز ر به خود اختصاص داده است؛ به دیگر سخن، اجرای این راهبرد می‌تواند در کمترین زمان ممکن بر جلوگیری از آتش‌سوزی مؤثر باشد. این راهبرد، از منظر سهولت در اجرا نیز به‌عنوان بهترین راهبرد شناخته می‌شود؛ همچنین، از منظر هزینه، دومین راهبرد کم‌هزینه است؛ اما از منظر معیار اثرگذاری، این راهبرد دارای امتیاز تقریباً متوسط است.

جدول ۵- ماتریس عملکرد راهبردهای قبل از آتش‌سوزی

	مقادیر نرمال‌نشده				مقادیر نرمال‌شده			
معیارها	اثرگذاری	هزینه	زمان	سهولت اجرا	اثرگذاری	هزینه	زمان	سهولت اجرا
وزن اهمیت معیارها	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۱۰
عملکرد معیارها	max	min	min	max	max	min	min	max
اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی عمومی	۴/۸	۳/۴	۳/۷	۳/۴	۰/۳۴۳	۰/۳۱۵	۰/۳۶۲	۰/۳۱۷
آماده و به‌روزکردن تجهیزات ایمنی	۴/۶	۴/۰۵	۳/۰۱	۳/۳	۰/۳۲۸	۰/۳۷۱	۰/۲۸۹	۰/۳۱۱
شناسایی نقاط بحرانی مستعد آتش‌سوزی	۴/۲	۳/۰۸	۳/۳	۳/۴	۰/۲۹۶	۰/۲۸۲	۰/۳۱۸	۰/۳۲۰
گشت و مراقبت	۴/۰۸	۳/۳	۳/۳	۳/۳	۰/۲۸۷	۰/۳۰۹	۰/۳۲۱	۰/۳۰۵
گماشتن نگهبان و دیدبان محلی در نقاط حساس	۳/۹	۲/۷	۲/۶	۳/۱	۰/۲۷۵	۰/۲۴۷	۰/۲۴۹	۰/۲۹۲
برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق	۳/۴	۲/۱	۲/۲	۳/۵	۰/۲۴۱	۰/۱۹۴	۰/۲۱۹	۰/۳۲۳
نصب تابلوهای هشدار در نقاط حساس	۳/۶	۲/۸	۲/۴	۲/۶	۰/۲۵۵	۰/۲۶۳	۰/۲۳۲	۰/۲۴۱
احداث جاده‌های نفوذی به نقاط حساس	۴/۱	۳/۱	۲/۸	۲/۶	۰/۲۹۰	۰/۲۸۴	۰/۲۷۵	۰/۲۴۲
احداث آتش بر (جاده‌هایی میان نقاط حساس)	۳/۸	۳/۴	۲/۸	۲/۴	۰/۲۷۲	۰/۳۱۷	۰/۲۶۹	۰/۲۲۸
عملیات جنگل‌داری (پاک کردن جنگل از علوفه و برگ‌های خشک)	۳/۷	۳/۱	۳/۱	۲/۷	۰/۲۶۲	۰/۲۸۶	۰/۲۹۸	۰/۲۵۰
اعمال جریمه برای افرادی که زباله و مواد آتش‌زا در جنگل رها می‌کنند	۳/۳	۲/۰۰	۲/۶	۲/۲	۰/۲۳۲	۰/۱۸۹	۰/۲۵۰	۰/۲۹۷
احداث مکان‌های ویژهٔ تفریح خانواده‌ها	۳/۸	۲/۷	۲/۵	۲/۵	۰/۲۷۳	۰/۲۵۵	۰/۲۴۳	۰/۲۳۶
کنترل تردد افراد در جنگل	۳/۱	۲/۶	۲/۵	۲/۲	۰/۲۲۵	۰/۲۳۹	۰/۲۴۳	۰/۲۰۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بررسی امتیازهای منتسب کارشناسان به راهبردهای حین آتش‌سوزی نشان می‌دهد که از منظر اثرگذاری، راهبرد «حضور به‌موقع مأموران در محل» بهترین راهبرد است (جدول ۶). به دیگر سخن، این راهبرد اثرگذارترین راهبرد در زمینه اطفای حریق است. نکته قابل تأمل این

است که این راهبرد از منظر هزینه، زمان و سهولت در اجرا هم جزو بهترین راهبردهاست، به‌گونه‌ای که دومین راهبرد کم‌هزینه به‌شمار می‌رود و از بعد زمان هم دومین راهبردی است که کمترین زمان ممکن برای اجرا را به خود اختصاص داده است. همچنین،«حضور به‌موقع مأموران در محل» سومین راهبردی است که به‌راحتی قابل اجراست. از منظر زمان و هزینه،، بهترین راهبرد «حفظ خونسردی مأموران» است، چراکه برای رسیدن بدین هدف، چندان نیازی به صرف هزینه و زمان نیست و تنها کافی است که هنگام استخدام، گزینش درست صورت گیرد تا افرادی انتخاب شوند که در شرایط بحرانی، می‌توانند کنترل خود را حفظ کند و بر خود مسلط باشند. از منظر سهولت در اجرا، «تشکیل جلسه ستاد بحران درصورت نیاز» بهترین راهبرد است. این راهبرد به‌راحتی قابل اجراست، اما امتیاز کارشناسان نشان می‌دهد که از منظر اثرگذاری، راهبردی مطلوب به‌شمار نمی‌رود. این یافته کاملاً قابل درک است، چراکه طی سال‌های اخیر، گرچه در شرایط بحرانی مختلف، چنین جلسات و ستادهایی تشکیل شده، اما از نظر اثرگذاری و بهبود شرایط بحرانی، همواره مورد انتقاد بوده است.

پس از استخراج ماتریس عملکرد نرمال‌شده، به محاسبه ماتریس عملکرد نرمال وزنی پرداخته شد. استخراج این ماتریس بدین صورت است که هر کدام از عملکردهای نرمال‌شدهٔ راهبردها در وزن معیار مربوط به خود ضرب می‌شود. در پایان، راهبرد ایده‌آل و آنتی‌ایده‌آل بر اساس عملکردهای معیارها و همچنین، ماتریس عملکرد نرمال وزنی استخراج و شاخص نزدیکی برای هر راهبرد محاسبه شد، که نتایج این شاخص و رتبه‌بندی راهبردها در جدول ۷ آمده است.

جدول ۶- ماتریس عملکرد راهبردهای حین آتش‌سوزی

معیارها	مقادیر نرمال نشده				مقادیر نرمال شده			
	اثرگذاری	هزینه	زمان	سهولت اجرا	اثرگذاری	هزینه	زمان	سهولت اجرا
وزن اهمیت معیارها	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۲۰	۰/۱۰
عملکرد معیارها	max	min	min	max	max	min	min	max
حفظ خونسردی مأموران	۴/۲	۱/۳	۱/۵	۳/۶	۰/۳۰۱	۰/۱۳۶	۰/۱۴۸	۰/۳۰۲
حضور به‌موقع مأموران در محل	۴/۵	۱/۷	۱/۹	۳/۹	۰/۳۱۹	۰/۱۷۶	۰/۱۹۶	۰/۳۲۱
استفاده صحیح از تجهیزات	۴/۲	۱/۸	۲/۰۲	۳/۹	۰/۳۰۴	۰/۱۸۳	۰/۲۰۰	۰/۳۲۴
به‌کارگیری نیروهای محلی آموزش‌دیده	۴/۳	۲/۵	۲/۶	۳/۶	۰/۳۰۵	۰/۲۵۵	۰/۲۶۰	۰/۳۰۱
تشکیل جلسه ستاد بحران در صورت نیاز	۳/۴	۲/۱	۲/۴	۴/۲	۰/۲۴۵	۰/۲۱۲	۰/۲۳۹	۰/۳۵۲
هماهنگی لازم با مسئولان محلی	۳/۵	۲/۱	۲/۳	۳/۳	۰/۲۵۰	۰/۲۱۲	۰/۲۲۷	۰/۲۷۸
بررسی و شناسایی راه‌های دسترسی به محل حریق	۴/۲	۳/۱	۳/۲	۳/۳	۰/۲۹۷	۰/۳۱۳	۰/۳۱۶	۰/۲۷۶
نیازسنجی امکانات ویژهٔ مقابله با حریق	۳/۸	۳	۲/۹	۳/۷	۰/۲۷۴	۰/۳۰۲	۰/۲۹۱	۰/۳۰۶
ایجاد آتش‌بر در آتش‌سوزی‌های بزرگ	۴/۰۵	۳/۶	۳/۶	۲/۸	۰/۲۸۷	۰/۳۶۹	۰/۳۵۸	۰/۲۳۱
قطع درختان سوزنی در آتش‌سوزی‌های تاجی	۳/۶	۳/۳	۳/۳	۲/۶	۰/۲۵۵	۰/۳۴۰	۰/۳۲۵	۰/۲۲۰
پرکردن تنه درختان خشک و پوسیده از خاک	۳/۳	۳/۲	۳/۴	۲/۴	۰/۲۴۰	۰/۳۲۸	۰/۳۱۰	۰/۲۰۵
ایجاد خندق و گودال در آتش‌سوزی زیرزمینی	۳/۴	۳/۳	۳/۳	۲/۳	۰/۲۴۷	۰/۳۳۵	۰/۳۲۵	۰/۱۹۰
لکه‌گیری بعد از حریق (کنترل قسمت‌های خاموش‌شده)	۳/۷	۳/۱	۳/۲	۲/۹	۰/۲۶۶	۰/۳۱۷	۰/۳۲۲	۰/۲۴۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در جدول ۷، مشاهده می‌شود که بر اساس معیارهای مورد نظر، قبل از آتش‌سوزی، راهبرد «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق» با شاخص نزدیکی ۰/۶۴ از بالاترین اولویت و رتبه برخوردار است. این یافته بیانگر این است که آماده‌سازی قبل از

آتش‌سوزی بسیار حائز اهمیت است. راهبرد «احداث آتش‌بر» با شاخص نزدیکی ۰/۳۷ دارای پایین‌ترین اولویت است.

بر اساس شاخص‌های نزدیکی به‌دست‌آمده برای راهبردهای قبل از آتش‌سوزی، می‌توان این راهبردها را به سه گروه کلی تقسیم کرد:

گروه اول شامل راهبردهای «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق»، «اعمال جریمه برای افرادی که زباله و مواد آتش‌زا در جنگل رها می‌کنند» و «گماشتن نگهبان و دیدبان محلی در نقاط حساس» با شاخص نزدیکی بالاتر از ۰/۶ است که عموماً بر نقش بازدارنده، پیش‌گیرانه و کنترلی تأکید دارند؛ در واقع، این گروه بر موارد اجرایی و اداری در اطفای حریق متمرکز است و به بیان دیگر، موارد اداری و اجرایی در مقایسه با موارد زیربنایی از اهمیت بالاتری برخوردارند. البته موارد اداری و اجرایی به‌ویژه در کوتاه‌مدت می‌تواند موجب افزایش هزینه‌ها شود که خود به‌مثابه مانعی در برابر اثربخشی راهبردها عنوان شده است.

گروه دوم شامل راهبردهای «احداث مکان‌های ویژهٔ تفریح خانواده‌ها»، «نصب تابلوهای هشدار در نقاط حساس»، «کنترل تردد افراد در جنگل»، «احداث جاده‌های نفوذی به نقاط حساس» و «شناسایی نقاط بحرانی مستعد آتش‌سوزی» با امتیازی در دامنه ۰/۶–۰/۵ است. این گروه از راهبردها ایجاد بستر مناسب برای جلوگیری از آتش‌سوزی را پیشنهاد می‌کنند و به‌علت هزینه‌بر و زمان‌بر بودن، در بالاترین جایگاه قرار نگرفته‌اند، اما واضح است که اثرگذاری این راهبردها به‌مراتب بیش از راهبردهای دسته اول است.

گروه سوم شامل سایر راهبردهاست که از اهمیت کمتری برخوردارند.

جدول ۷- شاخص نزدیکی محاسبه‌شده و رتبه‌بندی راهبردها

راهبرد قبل از آتش‌سوزی	امتیاز	ج	راهبرد حین آتش‌سوزی	امتیاز	ج
برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق	۰/۶۴	۱	حفظ خونسردی مأموران	۰/۹۱	۱
اعمال جریمه برای افرادی که زباله و مواد آتش‌زا در جنگل رها می‌کنند	۰/۶۲	۲	حضور به‌موقع مأموران در محل	۰/۸۲	۲
گماشتن نگهبان و دیدبان محلی در نقاط حساس	۰/۶۱	۳	استفاده صحیح از تجهیزات	۰/۷۹	۳
احداث مکان‌های ویژهٔ تفریح خانواده‌ها	۰/۵۸	۴	هماهنگی لازم با مسئولان	۰/۶۰	۴
نصب تابلوهای هشدار در نقاط حساس	۰/۵۲	۵	تشکیل جلسه ستاد بحران درصورت نیاز	۰/۵۹	۵
کنترل تردد افراد در جنگل	۰/۵۱۷	۶	به‌کارگیری نیروهای محلی آموزش‌دیده	۰/۵۱	۶
احداث جاده‌های نفوذی به نقاط حساس	۰/۵۱۱	۷	نیازسنجی امکانات ویژهٔ مقابله با حریق	۰/۳۲	۷
شناسایی نقاط بحرانی مستعد آتش‌سوزی	۰/۵۰	۸	بررسی و شناسایی راه‌های دسترسی به محل حریق	۰/۳۰	۸
اطلاع‌رسانی و فرهنگ‌سازی عمومی	۰/۴۸	۹	لکه‌گیری بعد ار حریق	۰/۲۲	۹
عملیات جنگل‌داری	۰/۴۲	۱۰	پر کردن تنه درختان خشک و پوسیده	۰/۱۷	۱۰
گشت و مراقبت و سرکشی	۰/۳۹۸	۱۱	ایجاد آتش‌بر در آتش‌سوزی‌های بزرگ	۰/۱۵	۱۱
آماده و به‌روز کردن تجهیزات ایمنی	۰/۳۹۳	۱۲	ایجاد خندق و گودال در آتش‌سوزی	۰/۱۴۲	۱۲
احداث آتش‌بر	۰/۳۷	۱۳	قطع درختان سوزنی	۰/۱۴	۱۳

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که در بین راهبردهای حین آتش‌سوزی، «حفظ خونسردی مأموران» و «حضور به‌موقع مأموران در محل»، به‌ترتیب، با شاخص نزدیکی ۰/۹۱ و ۰/۸۲، در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفته‌اند، بدین مفهوم که هنگام آتش‌سوزی، مأموران نقش اساسی در اطفای حریق دارند و استفاده از مأموران برخوردار از تجربه و دانش در این زمینه الزامی است. راهبرد «قطع درختان سوزنی در آتش‌سوزی‌های تاجی» با شاخص نزدیکی ۰/۱۴۰ نیز پایین‌ترین اولویت را در بین راهبردها دارد، چراکه این راهبرد خود زیان‌هایی را به‌دنبال دارد و قطع درختان نمی‌تواند راهبرد مؤثری شناخته شود.

بر اساس شاخص‌های نزدیکی به‌دست‌آمده برای راهبردهای حین آتش‌سوزی، می‌توان این راهبردها را به سه گروه تقسیم کرد:

گروه اول شامل راهبردهایی با شاخص نزدیکی بالاتر از ۰/۵ است، که عبارت‌اند از: «حفظ خونسردی مأموران»، «حضور به‌موقع مأموران در محل»، «استفاده صحیح از تجهیزات»، «هماهنگی لازم با مسئولان»، «تشکیل جلسه ستاد بحران درصورت نیاز» و «به‌کارگیری نیروهای محلی آموزش‌دیده». این راهبردها بر نقش و اهمیت مسئولیت افراد در زمینه مدیریت جنگل‌ها و مراتع حین آتش‌سوزی تأکید دارد؛ به دیگر سخن، تأکید این گروه از راهبردها بیشتر بر کیفیت نیروی انسانی است. نتایج اولویت‌بندی راهبردهای قبل از آتش‌سوزی نیز نشان داد که «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق» بالاترین اولویت را داراست. پس، به‌طور کلی، می‌توان گفت که نقش افراد، آموزش و تلاش برای افزایش مهارت آنها بسیار اهمیت دارد.

گروه دوم شامل راهبردهای با شاخص نزدیکی در دامنه‌ی ۰/۵-۰/۲ است، که عبارت‌اند از: «نیازسنجی امکانات ویژهٔ مقابله با حریق»، «بررسی و شناسایی راه‌های دسترسی به محل حریق» و «لکه‌گیری بعد از حریق». در این گروه از راهبردها، ضمن توجه به مسائل فنی هنگام آتش‌سوزی، نقش امکانات و دانش فنی هنگام آتش‌سوزی مهم ارزیابی می‌شود. جای گرفتن این گروه از راهبردها در اولویت پایین‌تر از گروه اول ناشی از هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن و سختی اجرای آنهاست، حال آنکه از منظر اثرگذاری چندان اختلاف قابل توجه بین این دو گروه از راهبردها مشاهده نمی‌شود (جدول ۶).

گروه سوم شامل راهبردهای با شاخص نزدیکی کمتر از ۰/۲ است که از اولویت بسیار پایین برخوردارند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر، به شناخت عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها و همچنین، به تعیین و ارزیابی راهبردهای مؤثر در مقابله با آتش‌سوزی پرداخته شد و با هدف شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آتش‌سوزی در جنگل‌های ایران و مدیریت مقابله با آتش‌سوزی، تلاش شد که راهکارهای مناسب برای کاهش و کنترل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع تعیین شود. برای بررسی

عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، از تحلیل رگرسیون و داده‌های استان‌های منتخب طی دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. تحلیل مدیریت مقابله با آتش‌سوزی نیز مبتنی بر قضاوت کارشناسان منتخب در خصوص راهبردهای پیشنهادی بوده است.

نتایج بررسی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی نشان داد که متغیر دما در قالب دو متغیر میانگین دما و تعداد روزهای گرم اثر قابل ملاحظه بر آتش‌سوزی دارد، در حالی که اثر بارش معنی‌دار نبوده است. همچنین، در مطالعهٔ حاضر، مشابه برخی از مطالعات پیشین مرورشده (Pausas, 2004; Trouet et al., 2006; Pausas and Bradstock, 2007; Running, 2006)، میان تراکم آتش‌سوزی جنگل و دما رابطه مستقیم مشاهده شد. افزایش دما باعث افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه، خشک شدن مواد سوختنی می‌شود و می‌تواند یکی از عوامل مؤثر در بروز آتش‌سوزی باشد. اثر متغیر دما بر تراکم آتش‌سوزی جنگل به‌ویژه با توجه به پیش‌بینی‌ها مبنی بر تغییر اقلیم و وقوع خشکسالی‌های بیشتر (Brecka et al., 2018; IPCC, 2014) بسیار حائز اهمیت و نیازمند برنامه‌ریزی ویژه برای حفاظت از جنگل‌ها و مراتع است. در ادبیات موجود، برای اثر مثبت متغیرهای تراکم جمعیت (Serneels and Lambin, 2001; Leone et al., 2002; de Torres Curth et al., 2012; Ranjan, 2018) و تراکم جاده (Cardille et al., 2001; Pew and Larsen, 2001; Martinez et al., 2009)، شواهد زیادی دیده می‌شود؛ اما این متغیرها می‌توانند اثر کاهندهٔ آتش‌سوزی نیز داشته باشند. در حال حاضر، افزایش دسترسی از طریق افزایش خطوط جاده موجب فشار بیشتر بر جنگل‌ها می‌شود و این اثر با افزایش جمعیت نیز تشدید می‌شود. با توجه به ضرورت ایجاد امکانات زیربنایی مانند جاده، به‌نظر می‌رسد که برای کاهش آثار ناشی از افزایش دسترسی بر افزایش آتش‌سوزی، باید روی الگو و شیوه استفاده از منابع جنگلی تمرکز شود. این یافته مطالعهٔ حاضر، به‌طور ضمنی، حاکی از توجه کمتر یا آگاهی پایین افراد جامعه نسبت به حفاظت از منابع زیست‌محیطی بوده و لازم است که در راستای ایجاد فرهنگ مناسب استفاده از منابع زیست‌محیطی تلاش شود. در همین راستا،

براساس یافته‌های پژوهش، مشخص شد که شاخص توسعه انسانی تأثیری قابل ملاحظه بر کاهش آتش‌سوزی دارد، که از جمله اجزای مهم آن شاخص آموزش است.

بر اساس مساعدت شاخص توسعه انسانی، در میان سایر متغیرهای مهم افزایندهٔ آتش‌سوزی همانند خشکسالی و تغییر اقلیم، دورنمای مورد انتظار برای توسعه می‌تواند نویدبخش کاهش آتش‌سوزی باشد. افزایش افراد تحصیل‌کرده (آموزش)، که از اجزای مهم شاخص توسعه انسانی محسوب می‌شود، با افزایش مسئولیت‌پذیری اجتماعی جامعه همراه خواهد بود و در کاهش رفتارهای نادرست و مخرب انسانی و در نتیجه، کاهش تراکم آتش‌سوزی جنگل مؤثر خواهد بود (Butry et al., 2002). همچنین، با افزایش درآمد سرانه و افزایش سطح رفاه به‌عنوان دیگر جزء مهم شاخص توسعه انسانی، استفاده از جنگل برای دستیابی به منافع اقتصادی کاهش خواهد یافت. از جمله مطالعات دیگری که بدین نتیجه دست یافته اند، می‌توان به مطالعات مرسر و پرستمون (Mercer and Prestemon, 2005)، مینجی و هنری (Maingi and Henry, 2007) و دتورس کورث و همکاران (de Torres Curth et al., 2012) اشاره کرد. اثربخشی بالای این متغیر در تصریح مطالعه حاکی از نقش بالای آموزش در کاهش زمینه آتش‌سوزی است و از این‌رو، می‌توان توصیه کرد که آموزش در راستای حفاظت از منابع زیست‌محیطی در نظام آموزشی نیز گنجانده شود.

در ادامهٔ مطالعهٔ حاضر، راهبردهایی برای مدیریت قبل و حین آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفت و بهترین راهبردها مشخص شد. بر اساس معیارهای مورد نظر، قبل از آتش‌سوزی، راهبردهای «برگزاری نشست و تشکیل جلسه ستاد اطفای حریق»، «اعمال جریمه برای افرادی که زباله و مواد آتش‌زا را در جنگل رها می‌کنند» و «گماشتن نگهبان و دیدبان محلی در مناطق حساس» از بالاترین اولویت و رتبه برخوردار است. از این‌رو، آماده‌سازی قبل از آتش‌سوزی بسیار حائز اهمیت است. در بین راهبردهای حین آتش‌سوزی نیز «حفظ خونسردی مأموران» و «حضور به‌موقع مأموران در محل» در رتبه‌های اول و دوم قرار گرفتند. بنابراین، استفاده از مأموران دارای تجربه و دانش هنگام آتش‌سوزی نقش اساسی در کنترل و اطفای حریق خواهد

داشت. به باور کارشناسان، پیشگیری از آتش‌سوزی بسیار مهم‌تر از کنترل و خاموش کردن آن است، که البته اقدام پیشگیرانه نیز با هماهنگی‌ها، برگزاری جلسات و هم‌اندیشی‌ها امکان‌پذیر است. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که بر اساس معیارهای مورد استفاده، بیشتر تأکید بر مهارت‌ها و توانمندی‌های انسانی و مدیریتی است تا امکانات و ابزارهای سخت‌افزاری. ناگفته پیداست که این نکته به معنی عدم نیاز به این‌گونه امکانات نیست. این یافته نیز در درون خود اهمیت آموزش را شامل می‌شود که پیش‌تر، در نتایج تحلیل رگرسیون، به‌روشنی مشخص شده است. اهمیت آموزش و کیفیت نیروی انسانی در ادبیات اقتصادی با عنوان «سرمایه انسانی» مورد تأکید قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که در اقتصاد ایران، سرمایه انسانی با فاصله اندک از سرمایه مادی عامل اصلی رشد اقتصادی محسوب می‌شود (Farajzadeh et al., 2017).

بسیاری از مطالعات در تحلیل عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل‌ها بیشتر بر متغیرهای محیطی و آب‌وهوایی مانند بارندگی، دما، رطوبت و ناپایداری هوا تأکید داشته و بر همین اساس، اقدام به پیش‌بینی مدل‌ها و شاخص‌های گوناگون کرده‌اند؛ اما همان‌گونه که ملاحظه شد، مطالعهٔ حاضر نقش عوامل انسانی و اقتصادی- اجتماعی را نیز به‌طور برجسته نشان داده است. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که در هرگونه طرح‌ریزی مدلی برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی در یک منطقه، تأثیر این عوامل مهم نیز در نظر گرفته شود.

منابع

1. Arndt, N., Vacik, H., Koch, V., Arpaci, A. and Gossow, H. (2013). Modeling human-caused forest fire ignition for assessing forest fire danger in Austria. *Forest-Biogeosciences and Forestry*, 6(6): 315-325.
2. Bazrafshan, O., Moeini, A. and Alizadeh Paein, E. (2007). Applying differernt models and indices to forecast forest and rangelands fires. Proceedings of The Second Natural Disaster Recovery Conference, pp. 49-51. (Persian)
3. Beiranvand, A., Babaei Kafaki, S. and Kiadaliri, H. (2011). Investigation of the ecological factors affecting the fire spread in forest ecosystems (case

study: Kakareza, Lorestan). *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 2: 1-13. (Persian)
4. Brecka, A.F.J., Shahi, C. and Chen, H.Y.H. (2018). Climate change impacts on boreal forest timber supply. *Forest Policy and Economics*, 92: 11-21.
5. Butry, D.T., Pye, J.M. and Prestemon, J.P. (2002). Prescribed fire in the interface: separating the people from the trees. USDA Forest Service General Technical Report SRS-48.
6. Cardille, J.A., Ventura, S.J. and Turner, M.G. (2001). Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecological Application*, 11: 111-127.
7. Chang, D.Y. (1996). Application of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
8. de Torres Curth, M., Biscayart, C., Ghermandi, L. and Pfister, G. (2012). Wildland-urban interface fires and socioeconomic conditions: a case study of a Northwestern Patagonia city. *Environmental Management*, 49: 876-891.
9. Dimopoulou, M. and Giannikos, I. (2004). Towards an integrated framework for forest fire control. *European Journal of Operational Research*, 152(2): 476-486.
10. Dyson, R.G. (2004). Strategic development and SWOT analysis at the University of Warwick. *European Journal of Operational Research*, 152: 631-640.
11. Farajzadeh, Z., Amadeh, H. and Omrani, M. (2017). Determinants of Iranian economic growth. *Journal of Economic Research*, 52(3): 663-686. (Persian)
12. Ganji, M.S. (2014). Factors affecting the fire in Iranian forests. Master Thesis of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (Persian)
13. Gellrich, M., Baur, P., Koch, B. and Zimmermann, N.E. (2007). Agricultural land abandonment and natural forest regrowth in the Swiss mountains: a spatially explicit economic analysis. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 118: 93-108.
14. Heidarnejad, M., Heidari, M. and Zare Ernani, M. (2011). An analysis of the process of forest degradation in Iran. Regional Conference on Forests and the Environment Promoting Sustainable Development. Available at https://www.Civilica.com/paper-RCFESSD01-RCFESSD01_017.html. Persian)
15. IPCC (2014). Impacts, adaptation and vulnerability. Fifth Assessment Report.Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Lodon.

16. Leone, V., Lovreglio, R. and Martinez-Fernandez, J. (2002). Forest fires and anthropic influences: a study case (Gargano National Park, Italy), In: Viegas X (Ed.), Forest fire research and wildland fire safety. Mill Press, Rotterdam, pp. 11-28.
17. Lovreglio, R., Leone, V., Giaquinto, P. and Notarnicola, A. (2010). Wildfire cause analysis: four case studies in southern Italy. *IForest*, 3: 8-15.
18. Maingi, J.K. and Henry, M.C. (2007). Factors influencing wildfire occurrence and distribution in eastern Kentucky, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 16(1): 23-33.
19. MAJ (2015). Statistical yearbook. Tehran, Iran: Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ). (Persian)
20. Mansouri, N., Nazari, R., Nasiri, P. and Gharagozloo, A. (2011). Establishment of forest fire crisis management program with GIS and RS technologies. *Application of Remote Sensing and GIS in Planning*, 2(3): 63-73. (Persian)
21. Martinez, J., Vega-Garcia, C. and Chuvieco, E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1241-1252.
22. Mercer, D.E. and Prestemon, J.P. (2005). Comparing production function models for wildfire risk analysis in the wildland-urban interface. *Forest Policy and Econo*mics, 7: 782-795.
23. Michetti, M. and Pinar, M. (2013). Forest fires in Italy: an econometric analysis of major driving factors. CMCC Research Paper, (RP0152).
24. Pausas, J.G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change,* 63(3): 337-350.
25. Pausas, J.G. and Bradstock, R.A. (2007). Plant persistence fire traits along a productivity and disturbance gradient in Mediterranean shrublands of SE Australia. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 330-340.
26. Pausas, J.G. and Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change*, 110: 215-226.
27. Pazienza, P. and Beraldo, S. (2004). Adverse effects and responsibility of environmental policy: the case of forest fires. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 11: 222-231.
28. Pew, K.L. and Larsen, C.P.S. (2001). GIS analysis of spatial and temporal patterns of human-caused wildfires in the temperate rainforest of Vancouver Island, Canada. *Forest Ecology and Management*, 140: 1-18.

29. Pinol, J., Terradas, J. and Lloret, F. (1998). Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*, 38: 345-357.
30. Ranjan, R. (2018). What drives forest degradation in the central Himalayas? Understanding the feedback dynamics between participatory forest management institutions and the species composition of forests. *Forest Policy and Economics*, 95: 85-101.
31. Running, S.W. (2006). Is global warming causing more, larger wildfires?. *Science*, 313: 927-928.
32. Sadeghi Kaji, H., Yarali, N., Heydari, A. and Tavakkoli, R. (2011). Determination of fire-prone areas by calculating fire risk in natural lands of Zagros case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). National Congress of Central Zagros Forests, Capabilities and Bottlenecks. (Persian)
33. Salvati, L. and Carlucci, M. (2015). Towards sustainability in agro-forest systems? Grazing intensity, soil degradation and the socio-economic profile of rural communities in Italy. *Ecological Economics*, 112: 1-13.
34. Sarikhani, N. (1991). Forest exploitation. Tehran. Tehran University Press and Publishing. (Persian)
35. Sarkargar Ardakani, A., Valadan Zouj, M.J. and Mansourian, A. (2009). Spatial analysis of fire fighting in different areas of Iran using RS and GIS. *The journal of Environmental Studies*, 52: 25-34. (Persian)
36. Schmerbeck, J., Kohli, A. and Seeland, K. (2014). Ecosystem services and forest fires in India: context and policy implications from a case study in Andhra Pradesh. *Forest Policy and Economics*, 50: 337-346.
37. SCI (2017). Statistical yearbook 2016-2017. Tehran: Statistical Center of Iran (SCI). Available at https://irandataportal.syr.edu/wp-content/uploads/Statistical-Yearbook-2016-2017-1395-%E2%80%93-Persian-.pdf (Persian)
38. Serneels, S. and Lambin, E.F. (2001). Proximate causes of land-use change in Narok district, Kenya: a spatial statistical model. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 85: 65-81.
39. Tavakkoli, R., Ebrahimi, A. and Tahmasebi, P. (2013). Determination of the most important factors affecting the fire and its zoning in the forests and pastures of Chaharmahal and Bakhtiari province. The Third National Conference on Health, Environment and Sustainable Development, Bandar Abbas, Islamic Azad University. (Persian)
40. Trouet, V., Taylor, A.H., Carleton, A.M. and Skinner, C.N. (2006). Fire-climate interactions in forests of the American Pacific coast. *Geogphycal Research Letters*, 33: 1-5.

41. Wastl, C., Schunk, C., Leuchner, M., Pezzatti, G.B. and Menzel, A. (2012). Recent climate change: long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162: 1-13.
42. Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R. and Swetnam, T.W. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science*, 313: 940-943.
43. Wotton, B.M., Martell, D.L. and Logan, K.A. (2003). Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario. *Climatic Change*, 60: 275-295.
44. Yang, J., He, H.S., Shifley, S.R. and Gustafson, E.J. (2007). Spatial patterns of modern period human-caused fire occurrence in the Missouri Ozark Highlands. *Forest Science*, 53(1): 1-15.
45. Zhang, J.T. and Chen, J. (2007). Statistical inferences for functional data. *The Annals of Statistics*, 35(3): 1052-1079. Available at http://www.jstor.org/stable/25463592.
46. Zhang, Z.X., Zhang, H.Y. and Zhou, D.W. (2010). Using GIS spatial analysis and logistic regression to predict the probabilities of human-caused grassland fires. *Journal of Arid Environments*, 74: 386-393.
47. Zumbrunnen, T., Bugmann, H., Conedera, M. and Burgi, M. (2009). Linking forest fire regimes and climate a historical analysis in a dry inner Alpine valley. *Ecosystems*, 12(1): 73-86.
48. Zumbrunnen, T., Pezzatti, G.B., Menendez, P., Bugmann, H., Burgi, M. and Conedera, M. (2011). Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 261(12): 2188-2199.