

## کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در پهنه بندی خطر آتش سوزی

### مطالعه موردی: منطقه حفاظت شده جنگلی هلن - زاگرس مرکزی

آزاده زرع کسار: کارشناس ارشد برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران \*  
ساره قربانی: کارشناس ارشد برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
بهاره کاظمی زمانی: کارشناس ارشد برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
حسین ورجاوند ناصری: کارشناس ارشد برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۲۲، صص ۱۸۰-۱۶۷

#### چکیده

جنگل‌ها به عنوان یکی از مهمترین منابع طبیعی تجدید شونده نقش حیاتی در استمرار حیات و حفظ و پایداری زیست بوم‌ها ایفا می‌نمایند. بروز آتش‌سوزی‌های متعدد از جمله دلایل تخریب جنگل‌ها است. با توجه به از بین رفتن مراتع و جنگل‌ها در قسمت‌های مختلف ایران، به خصوص در سلسله جبال زاگرس و البرز، پیش‌بینی تمهیدات لازم به منظور مقابله با آن ضروری به نظر می‌رسد. هدف این پژوهش شناسایی پهنه‌های دارای پتانسیل بالای آتش‌سوزی در منطقه جنگلی حفاظت شده هلن واقع در زاگرس مرکزی می‌باشد. بدین منظور در گام نخست عوامل تاثیرگذار بر وقوع حریق در محدوده مطالعاتی مشخص گردیدند و با استفاده از پرسشنامه در قالب تکنیک دلفی و با استفاده از نرم افزار SPSS اولویت بندی شدند. در گام بعدی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، اوزان مربوط به میزان تاثیرگذاری هر یک از عوامل محاسبه گردید. در نهایت با اختصاص اوزان به لایه‌های رستری عوامل تاثیرگذار در محیط GIS و روی هم‌گذاری تمامی لایه‌های اطلاعاتی، نقشه نهایی خطر آتش‌سوزی بدست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حدود یک چهارم مساحت منطقه دارای پتانسیل آتش‌سوزی زیاد و خیلی زیاد است که عمدتاً مناطقی با شیب و ارتفاع بالا، واقع در دامنه جنوبی و با پوشش گیاهی گون و سایر گونه‌های گیاهی یکساله و در مجاورت مناطق مسکونی و شبکه دسترسی است. این نتایج به دلیل به کارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تلفیق آن با قابلیت‌های GIS و به دست آوردن نقشه مکاندار پتانسیل آتش‌سوزی، ابزاری توانمند در اختیار مدیران و برنامه ریزان قرار میدهد تا به منظور پیشگیری از آتش‌سوزی و حفاظت از منابع جنگلی اقدامات لازم را به عمل آورند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آتش‌سوزی، زاگرس مرکزی، عدم قطعیت، تکنیک دلفی، مدیریت جنگل

۱. مقدمه
- جنگل‌ها از مهم‌ترین منابع طبیعی هستند که نقش زیادی در حفظ تعادل محیط زیست دارند. یکی از عوامل محیطی که می‌تواند بر جنگل تاثیرگذار باشد، آتش‌سوزی است که صرف نظر از منشأ پیدایش آن (طبیعی یا مصنوعی) می‌تواند به صورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و میکروکلیمای آن و به صورت غیر مستقیم بر کیفیت رویشگاه از طریق

مورد آتش سوزی در مناطق مختلف ایران رخ می‌دهد (سلامتی و همکاران، ۱۳۹۰).

پیشرفت‌های شکل گرفته در علم سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی طی دهه‌های اخیر، امکانات و ابزارهای دقیق تری را در اختیار پژوهشگران قرار داده اند تا پتانسیل آتش سوزی در جنگل‌ها را با روش‌های متعدد مورد مطالعه قرار دهند. از جمله مطالعات انجام شده در مورد آتش سوزی در جنگل‌های کشور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: اکبری و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از تصاویر ماهواره ای و مدل ارتفاعی رقومی منطقه مورد مطالعه که قسمتی از کشور ژاپن بوده است، مناطق دارای ریسک بالای آتش‌سوزی را شناسایی کردند. بدین منظور سه فاکتور شیب، جهت شیب و NDVI را در نظر گرفتند و میزان تاثیر گذاری هر عامل را مورد بررسی قرار دادند (اکبری و همکاران، ۱۳۸۶). ادب و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شاخص پیش آگاهی آتش سوزی Molgan و سامانه اطلاعات جغرافیایی به پهنه بندی خطر آتش‌سوزی مناطق جنگلی استان مازندران به تفکیک فصول در سال ۱۳۸۳ و نیز طی یک دوره ۱۵ پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که مدل استفاده شده به غیر از در فصل زمستان در کلیه فصول و همچنین سالانه، از کارایی مناسبی در سطح مکانی برخوردار است (ادب و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین محمدی و همکاران (۱۳۸۹) با بکارگیری لایه‌های اطلاعاتی متعدد از جمله پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب و غیره و رتبه

تاثیر بر پوشش گیاهی، توده شاخ و برگ و جانوران خاکزی اثر داشته باشد (بارنس (Barnes) و همکاران، ۱۹۹۸). آتش با سوزاندن گیاهان، تغییر دادن الگوی توالی و تغییر دادن منابع گیاهی مانند چوب آلات، علوفه و زیستگاه حیات وحش بر اکوسیستم‌های طبیعی تاثیر می‌گذارد (دبانو<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین حریق در جنگل یکی از عمده ترین عوامل محدودکننده توسعه پایدار اقتصادی جنگل در جهان است (دلآمینی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰)؛ حریق در جنگل‌ها همچنین باعث تخریب پوشش گیاهی شده و افزایش احتمال وقوع سیل را به دنبال دارد (ایلیادیس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). مطالعات آماری انجام شده بین سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۸۰ نشان داده است که حدود ۹۰ الی ۱۲۰ میلیارد تن گاز CO<sub>2</sub> از طریق آتش سوزی جنگل‌های استوایی وارد جو گردیده است. این در حالی است که در این دوره زمانی مقدار گاز CO<sub>2</sub> که از طریق سوخت‌های فسیلی وارد جو گردیده است حدود ۱۶۵ میلیارد تن برآورد شده است (سرکارگر اردکانی، ۱۳۸۶). این گونه حوادث طبیعی غیرقابل اجتناب هستند و جبران خسارات ناشی از آن‌ها به طور کامل غیرممکن است، اما با اتخاذ تدابیر هشدار دهنده می‌توان ریسک احتمالی این قبیل حوادث را تا حدودی کاهش داد (چاندر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵، سرکارگر اردکانی، ۱۳۸۸). بر اساس آمارهای منتشر شده از طرف سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، سالانه صدها

1. DeBano  
2. Dlamini  
3. Iliadis  
4. Chandra

اطناب، از بسط آن‌ها خودداری می‌شود و علاقه‌مندان می‌توانند جهت مطالعات بیشتر به آن‌ها مراجعه کنند. هدف از این پژوهش پهنه‌بندی حریق با تلفیق تکنیک دلفی و روش AHP با استفاده از نرم افزار GIS است. در ابتدا از تکنیک دلفی در قالب پرسشنامه و تحلیل نتایج در نرم افزار SPSS بهره گرفته شد. پس از مشخص شدن میزان اثرگذاری هر یک از عوامل با توجه به نتایج حاصل از مرحله اول، به منظور محاسبه اوزان عوامل از روش AHP و مقایسه زوجی آن‌ها بهره گرفته شد. در نهایت، این اوزان در نرم افزار GIS به لایه‌های اطلاعاتی اختصاص داده شدند و نقشه نهایی پتانسیل آتش سوزی برای منطقه مورد مطالعه، جنگل حفاظت شده هلن، بدست آمد.

## ۲. مواد و روش

### ۲.۱ معرفی محدوده پژوهش

منطقه جنگلی هلن ۴۰۲۳۱ هکتار مساحت دارد که در سال ۱۳۸۰ به عنوان منطقه حفاظت شده اعلام گردید و به این ترتیب گامی مؤثر در جهت حفاظت از جنگلهای کشور برداشته شد. این منطقه در مختصات طول شرقی  $53^{\circ} / 50^{\circ}$  و  $32^{\circ} / 50^{\circ}$  و عرض شمالی  $31^{\circ} / 55^{\circ}$  و  $40^{\circ} / 31^{\circ}$  واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از شمال به ارتفاعات هفت پیران و سپس به شهر اردل، از شرق به ارتفاعات کوه لجن و سبزکوه، از جنوب به رودخانه سرخون و جاده خوزستان و از غرب به ارتفاعات کاسه کاسه منتهی میشود (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۰). فاصله آن تا مرکز استان حدود ۱۱۰ کیلومتر از طریق جاده آسفالتیته شهرکرد-

دهی آن‌ها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup>، نقشه خطر آتش سوزی بخشی از جنگل‌های پاوه واقع در استان کرمانشاه را تهیه کردند. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد از مناطق آتش گرفته در پهنه‌هایی با خطر زیاد (شیب بالا، دمای زیاد، بارندگی کم و نزدیکترین فاصله با مناطق مسکونی و شبکه راه‌ها) قرار دارند. سلامتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نقشه خطر آتش سوزی در جنگلهای گلستان را با استفاده از AHP و GIS تهیه کردند. بدین منظور فاکتورهای مؤثر در وقوع آتش سوزی بر اساس مقایسات زوجی وزن‌دهی و نقشه خطر آتش سوزی تهیه شد. نتایج نشان داد که ۴۰ درصد منطقه در طبقات پر خطر و بسیار پر خطر قرار دارد.

از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در سطح جهان می‌توان به تحقیقات صورت گرفته توسط خواویکو و کنگالتن<sup>۲</sup> (۱۹۸۹)، آلمایدا<sup>۳</sup> (۱۹۹۴)، جایسوال و همکاران (۲۰۰۲)، چاندر<sup>۴</sup> (۲۰۰۵)، ارتنا<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، دانگ<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، هرناندز<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، کارمل<sup>۸</sup> (۲۰۰۸)، وادروو<sup>۹</sup> (۲۰۰۹)، کاستالیو سوتو<sup>۹</sup> (۲۰۱۲) و خاوان<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد که به منظور جلوگیری از

1. Analytical Hierarchy Process
2. Chuevico & Congalton
3. Almayda
4. Ertena
5. Dong
6. Hernandez
7. Carmel
8. Vadrevu
9. Castallio Soto
10. Chavan

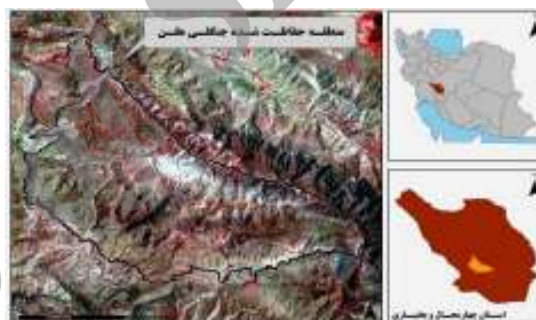
توپوگرافی رقومی شده منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده عبارتند از:

شیب: شیب در حقیقت بیانگر میزان تغییرات ارتفاع است. شیب میزان و جهت گسترش آتش را تحت تاثیر قرار می‌دهد (وادروو و همکاران، ۲۰۰۹). طبق بررسی‌های صورت گرفته، میزان تخریب و خسارت نیز در شیب‌های شدیدتر بیشتر است (خواویکو و کنگالتن، ۱۹۸۹). طبق تحقیقات، انتشار آتش در شیب‌های بالاتر از ۲۰ درجه تقریباً دو برابر از انتشار آن در شیب‌های کمتر است (دانگ و همکاران، ۲۰۰۵).

جهت شیب: جهت نمایانگر میزان دریافت تابش خورشید و گرما در یک محدوده است که با خشک بودن گیاهان آن محدوده، در حقیقت ماده سوختنی، در ارتباط است (خواویکو و کنگالتن، ۱۹۸۹). به طور کلی، جهات جنوب و شرق بالاترین میزان دریافت تابش خورشید را دارند و در نتیجه شرایط محیطی برای وقوع حریق مساعدتر است (خاوان و همکاران، ۲۰۱۲). پس از آن، جهات غرب، شمال و مناطق دشتی به ترتیب تابش کمتری را دریافت می‌کنند (سوماشکار<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

ارتفاع: تغییرات ارتفاعی، دما، میکروکلیم و پوشش گیاهی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (چاندر، ۲۰۰۵). آتش در ارتفاعات بالا سریع‌تر گسترش پیدا می‌کند و همانند عامل شیب، از آنجا که دسترسی به مناطق در

خوزستان میباشد و نزدیکترین شهر به این منطقه شهر ناغان و در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری آن است. منطقه هلن از نظر استقرار در اقلیم لردگان قرار دارد که اقلیمی است دارای آب و هوایی نیمه مرطوب با تابستانهای گرم و خشک و زمستانهای سرد و همین‌طور میانگین بارش سالانه آن ۴۰۰-۸۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و در ارتفاعات بلند هوای سرد همراه با برف را دارا می‌باشد (ورجاوند ناصری، ۱۳۹۰).



شکل ۱: محدوده پژوهش

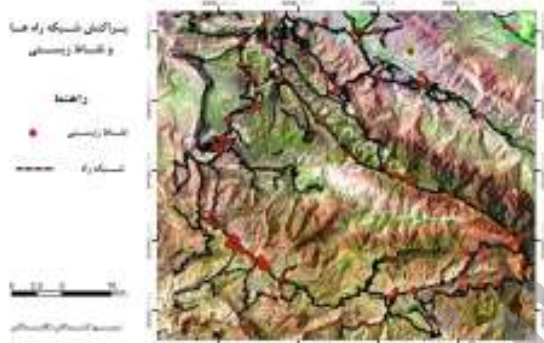
## ۲.۲ داده‌های مورد استفاده

وقوع حریق در یک منطقه جنگلی به عوامل متعددی بستگی دارد که میزان تاثیرگذاری هر یک از این عوامل بنابر شرایط طبیعی و فرهنگی خاص منطقه متفاوت است. در این پژوهش، با استفاده از نظر کارشناسان محلی و همچنین مرور منابع علمی مرتبط در این زمینه و با در نظر گرفتن وضعیت موجود محیط زیست محدوده مطالعاتی، عوامل تاثیرگذار به شرح زیر انتخاب و مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که هر عامل خود یک لایه اطلاعاتی جهت بررسی‌های آتی است. به منظور انجام این پژوهش از نقشه

<sup>۱</sup> . Somashekar

نزدیکتر دارای بیشترین پتانسیل هستند، با دور شدن از جاده، خطر کاهش پیدا می‌کند.

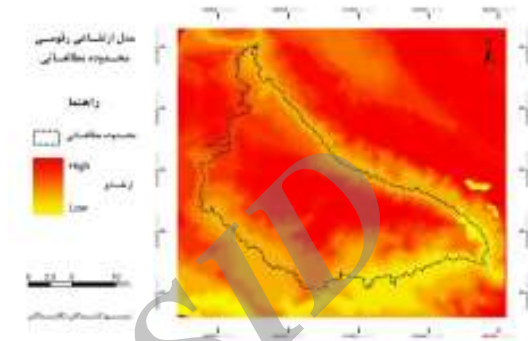
ب) مجاورت با نقاط زیستی: همانطور که توضیح داده شد، نزدیکی به نقاط زیستی برای آتش‌سوزی جنگلی یک عامل اثرگذار و مخرب است زیرا که ساکنان جهت تامین نیازهای خود به جنگل و زمین آن وابسته هستند که در این راستا حتی اقدام به آتش‌سوزی عمدی در جنگل می‌کنند. همچنین نقش حضور انسان در آتش‌سوزی‌های غیرعمدی نیز نباید فراموش شود.



شکل ۳: پراکنش شبکه راه‌ها و نقاط زیستی در محدوده مطالعاتی

تیپ پوشش گیاهی: آسیب پذیری پوشش جنگلی نسبت به آتش به تیپ و تراکم پوشش گیاهی بستگی دارد. پوشش گیاهی از آن جهت مورد بررسی قرار می‌گیرد که بعضی گونه‌ها بیشتر از سایرین اشتعال پذیر هستند. همچنین می‌توان از نقشه تیپ و تراکم به میزان مواد سوختنی موجود پی برد که بر آغاز و شدت حریق تاثیر گذار است (بانداریناس<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹، ژیجون<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). شکل ۴

ارتفاعات بالا مشکل تر است، آتش سوزی خسارات بیشتری را به همراه خواهد داشت (وادروو و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۲: مدل ارتفاعی رقومی محدوده مطالعاتی

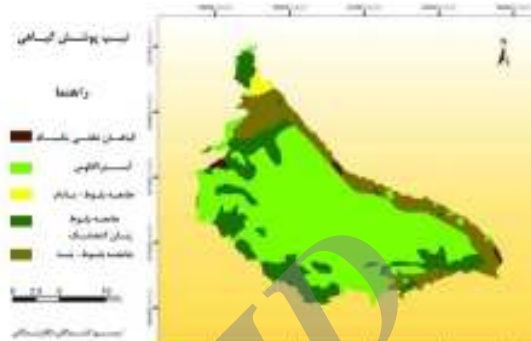
عوامل اقتصادی - اجتماعی: با توجه به رشد جمعیت در دهه‌های اخیر، تهاجم به عرصه‌های جنگلی به منظور امرار معاش، تامین سوخت و کشاورزی افزایش یافته است. همچنین ساکنان آبادی‌های اطراف و یا داخل محدوده‌های جنگلی وابسته به جنگل هستند. نقش گردشگران در ایجاد حریق نیز در این زمینه غیرقابل انکار است (قبادی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). بدین منظور ۲ عامل جهت بررسی عوامل اقتصادی - اجتماعی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۳):

الف) مجاورت با جاده: به طور کلی، هر چه محدوده به جاده نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع حریق در آن قسمت بیشتر خواهد بود، بدین منظور نقشه راه‌های ارتباطی در محدوده مطالعاتی، تهیه و در فواصل مشخص بافرهایی برای جاده تعریف شدند؛ فواصل

2. Bandarinath  
3. Zhijun

1. Ghobadi

تیپ‌های گیاهی رایج در محدوده مطالعاتی را نمایش می‌دهد:



شکل ۴: تیپ پوشش گیاهی پراکنده در منطقه مورد مطالعه

### ۳. روش شناسی تحقیق

#### ۳.۱ تکنیک دلفی

یکی از روش‌های کسب دانش گروهی مورد استفاده، تکنیک دلفی است که فرآیندی دارای ساختار برای پیش بینی و کمک به تصمیم‌گیری در طی راندهای پیمایشی، جمع‌آوری اطلاعات و در نهایت اجماع گروهی است. ایده اصلی این روش آن است که پاسخ دهندگان بتوانند بدون آنکه تحت تأثیر افراد مشهور و معتبر یا افرادی که توان سخنوری بالایی دارند قرار بگیرند، نظرات خود را بیان کنند و در تکرارهای بعدی با توجه به نظرات دیگران، نظر خود را اصلاح کرده یا بهبود دهند. ناشناختگی، تکرار و بازخورد از ویژگی‌های این تکنیک هستند (علیدوستی، ۱۳۸۵). در این روش گروه تصمیم‌گیر نباید خیلی بزرگ باشد و حداقل تعداد آنها ۵ و حداکثر در حدود ۵۰ نفر توصیه می‌شود. آلتوسکین (۲۰۰۹) در مقاله خود بیان کرده است که نظرات ۱۰ تا ۳۰ نفر از متخصصان در روش

دلفی اصلاح شده، به منظور گروه تصمیم‌گیر کفایت دارد (جوزی و همکاران، ۱۳۸۹).

در این پژوهش به منظور تعیین تعداد خبرگان از فرمول کوکران استفاده شده که نتیجه آن تعداد ۱۷ نفر افراد خبره را نشان داد. ابتدا پرسشنامه بین ۱۷ نفر (بنابر رابطه ۲) از کارشناسان و متخصصان جنگلداری، مدیریت جنگل و مخاطرات طبیعی توزیع گردید. دو معیار اصلی جهت انتخاب کارشناسان در نظر گرفته شد؛ شامل: تخصص افراد در زمینه جنگل و دیگری آشنایی افراد با آتش‌سوزی. پس از رفع ایرادات، پرسشنامه نهایی وارد دومین مرحله از روش دلفی گردید. دومین مرحله آغاز بکارگیری روش‌های کمی است که تکنیک رتبه‌بندی و درجه‌بندی (میان‌ه و چارک‌ها) استفاده می‌شود (احمدی، فضل‌الله و همکاران، ۱۳۸۷). بایستی به این امر توجه داشت که هیچ قانون صریحی در مورد نحوه انتخاب و تعداد متخصصین وجود ندارد و تعداد آنها وابسته به فاکتورهای هموزن یا هتروژن بودن نمونه، هدف دلفی یا وسعت مشکل، کیفیت تصمیم، توانایی تیم تحقیق در اداره مطالعه، اعتبار داخلی و خارجی، زمان جمع‌آوری داده‌ها و منابع در دسترس، دامنه مسأله و پذیرش پاسخ است. در این پژوهش جهت بدست آوردن نتایج دقیق‌تر، از فرمول کوکران (رابطه ۱) جهت تعیین تعداد کارشناسان استفاده شده است.

(رابطه ۱)

$$n = \frac{N.t^2.p.q}{N.d^2 + t^2.p.q}$$

(قدسی پور، ۱۳۹۰). این تحلیل از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسائل را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند. این روش ابزاری قدرتمند و انعطاف پذیر برای بررسی کمی و کیفی مسائل چند معیاره است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰). اساس این روش مقایسه زوجی متغیرها در جدول ماتریس است. ارزش‌های ارائه شده توسط کارشناسان، ورودی این سیستم در نظر گرفته می‌شود و وزن‌های نسبی حاصل نیز خروجی سیستم خواهند بود (طالقانی و رحیم زاده، ۱۳۸۹). جهت افزایش دقت و امکان مقایسه داده‌ها در هر سطح، زیرمعیارها به صورت زوجی نسبت به سطح بالاتر مقایسه شده و وزن نسبی هر یک از معیارها نسبت به هم دیگر به دست می‌آید (بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰). به همین جهت در این تحقیق جهت ارزش دهی به معیارها و زیر معیارهای اثرگذار در وقوع حریق از این مدل استفاده شد. ساعتی (۱۹۹۴) برای امتیازدهی قضاوتی بین دو عنصر مقیاس ۱ تا ۹ را پیشنهاد می‌کند (جدول ۱):

جدول ۱: مقیاس رتبه دهی ۹ گانه ساعتی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر Absolutely More Important
۷	ترجیح یا اهمیت خیلی قوی Very Much More Important
۵	ترجیح یا اهمیت قوی Much More Important
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر Somewhat More Important

N: تعداد کل جامعه آماری؛ n: حجم نمونه؛ t: مقدار آن با توجه به سطح اطمینان ۰.۹۵، ۱.۹۶ در نظر گرفته می‌شود؛ d: تقریب در برآورد پارامتر جامعه که به علت محدود بودن جامعه برابر ۰.۱ در نظر گرفته می‌شود؛ p: احتمال وجود صفت که برابر ۰.۵ می‌باشد؛ q: احتمال عدم وجود صفت که برابر ۰.۵ است؛ بنابراین؛ (رابطه ۲)

$$n = \frac{21 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{21 \times (0.1)^2 + (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5} = 17.23$$

جهت تلفیق نظرات و اولویت‌بندی معیارهای نهایی از شاخص مرکزی میانگین استفاده شده است. لازم به ذکر است که در کل روشهای آماری اصلی استفاده شده در مطالعات دلفی، اندازه‌های مرکزی مانند میانگین، میانه و نما و شاخص پراکندگی از جمله انحراف معیار و محدوده میان چارکی است (احمدی، فضل الله و همکاران، ۱۳۸۷) که استفاده از میانه و نما در این میان مطلوب‌تر می‌باشد، هرچند میانگین نیز قابل کاربرد است. در نهایت به منظور تلفیق نظرات کارشناسان و تجزیه تحلیل اطلاعات بدست آمده از پرسشنامه‌ها، از نرم افزار SPSS جهت محاسبه میانگین هندسی استفاده شد و به این ترتیب معیارها و زیرمعیارها با توجه به میزان اهمیت رتبه بندی شدند.

### ۳.۲ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد

۶. بررسی سازگاری (Consistency): تحلیل سلسله مراتبی یک فرآیند ذهنی است و به جهت عدم دقت عددی این روش، امکان بروز خطا در ارزیابی بیشتر از علوم دقیق است. بنابراین سازگاری به صورت زیر تعریف می‌شود:

(رابطه ۶)

$$a_{ij} * a_{jk} = a_{ik} \quad \forall i, j, k$$

در صورتی که برای تمامی عناصر، رابطه فوق برقرار باشد، قضاوت‌ها کاملاً سازگار هستند و با عدم برقراری رابطه بین تعدادی از عناصر، قضاوت‌ها به سمت ناسازگاری پیش می‌روند. ساعتی پیشنهاد می‌کند در صورتی که شاخص ناسازگاری یک ماتریس، بیش از ۱۰٪ مقدار شاخص ناسازگاری تصادفی نشود، قابل تحمل است و می‌توان به وزن‌های تولید شده توسط آن ماتریس اطمینان نمود (زنجیرچی، ۱۳۹۰). شکل ۵ گام‌های اصلی انجام این پژوهش را به تصویر می‌کشد:

۱	Equal Importance	ترجیح یا اهمیت یکسان
۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹	Intermediate Values	ترجیحات بین فواصل فوق

مراحل ساده این روش به شرح زیر است:

۱. ترسیم مسئله به صورت ساختار سلسله مراتبی  
 ۲. تشکیل ماتریس‌های توافقی و انجام مقایسات زوجی بین معیارها و زیرمعیارها بر اساس هدف بنابر جدول ۱

۳. محاسبه مجموع عناصر هر ستون (رابطه ۳)

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

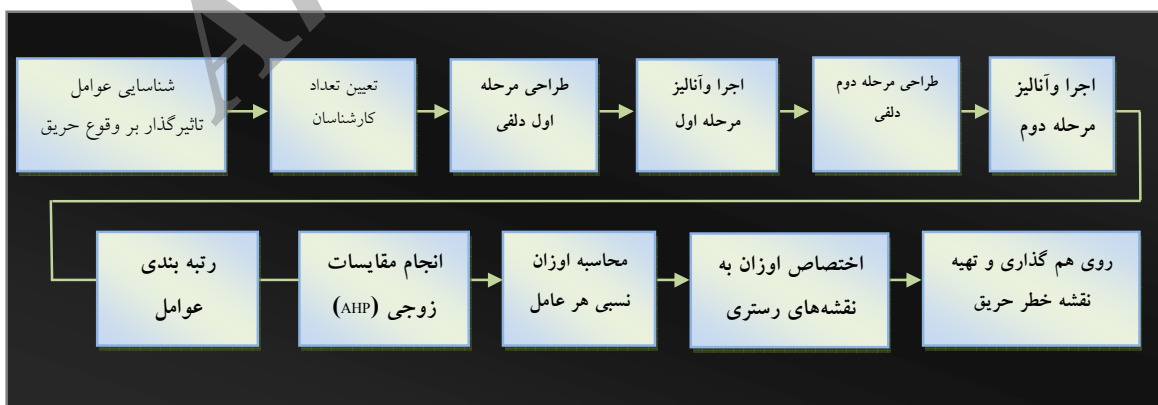
۴. نرمالایز کردن عناصر ماتریس با تقسیم هر درایه از ماتریس بر مجموع همان ستون

$$r_{ij}^{normal} = \frac{a_{ij}}{S_i} \quad (\text{رابطه ۴})$$

۵. محاسبه وزن هر معیار با استفاده از میانگین حسابی عناصر هر سطر

(رابطه ۵)

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}^{normal}}{n}$$



شکل ۵: گام‌های پژوهش



معیارها و زیر معیارها با ضریب ناسازگاری قابل قبول ۰.۰۲ محاسبه شدند (جدول ۳). زیرمعیارها در حقیقت همان طبقات در نظر گرفته شده برای معیارها با توجه به هدف و خصوصیات منطقه هستند.

**۳.۳ تهیه نقشه پتانسیل آتش سوزی:** جهت پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی نیاز بود که علاوه بر تهیه نقشه انواع پوشش گیاهی (شکل ۴)، نقشه‌های پایه (طبقات شیب، جهت شیب و ارتفاع) از مدل ارتفاعی رقومی محدوده مطالعاتی (شکل ۲) استخراج شوند. با توجه به اهمیت عوامل اجتماعی-اقتصادی، دو عامل فاصله از جاده و فاصله از نقاط زیستی نیز مورد بررسی قرار گرفتند؛ در این راستا، حریم‌هایی در اطراف این مناطق در نظر گرفته شد که با دور شدن از آنها از خطر ایجاد حریق کاسته می‌شود (شکل ۶ و ۷).

در گام نهایی، اوزان محاسبه شده در محیط GIS به نقشه‌های رستری عوامل تاثیرگذار اختصاص داده شدند و نقشه‌های وزن دار بدست آمدند. در ادامه به کمک توابع همپوشانی (Overlay) تمامی لایه‌های اطلاعاتی روی هم قرار گرفتند و نقشه نهایی خطر آتش سوزی بدست آمد که به منظور سهولت در درک آن، خطر حریق در ۵ کلاس از خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه بندی (Reclass) شد (شکل ۸).

پس از توزیع و جمع آوری پرسشنامه‌ها، جهت بررسی پایایی و قابلیت اعتماد پرسشنامه، از نرم افزار SPSS که نرم افزاری کارآمد در زمینه تجزیه و تحلیل‌های آماری و روشی برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه گیری می‌باشد، استفاده گردید. با استفاده از نرم افزار مذکور، ضریب آلفای کرونباخ برای هر معیار ذکر شده در پرسشنامه بدست آمد که نتیجه آن در جدول ۲ نمایش داده شده است. هرچه این ضریب به عدد یک نزدیک تر باشد، پرسشنامه دارای پایایی و قابلیت اعتماد بیشتری است.

**جدول ۲: ضریب آلفای کرونباخ معیارهای اثرگذار بر**

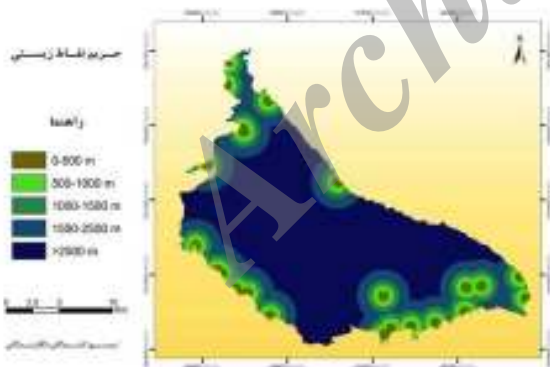
#### وقوع حریق

معیارها	ضریب آلفای کرونباخ
عوامل فیزیکی	۰.۶۲۳
عامل بیولوژیکی	۰.۶۴۸
عوامل اقتصادی-اجتماعی	۰.۹۴۳

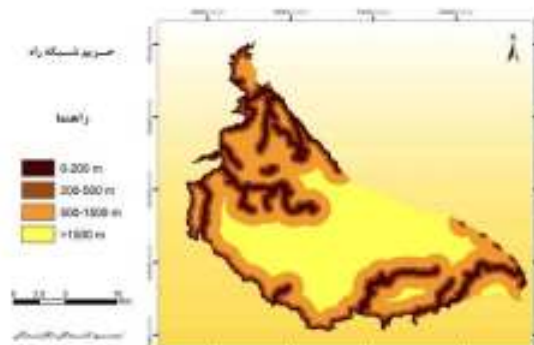
در ادامه با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل پرسشنامه‌ها در نرم افزار SPSS، هر یک از معیارها و زیر معیارها در نرم افزار Expert Choice در قالب رویکرد AHP مطابق مقیاس رتبه دهی ۹گانه (جدول ۱) مورد مقایسات زوجی قرار گرفتند. در خروجی این مرحله، وزن‌های نسبی برای هر یک از

جدول ۳: اوزان نهایی عوامل تاثیرگذار بر وقوع حریق

عوامل فیزیکی	معیارها	طبقه	وزن طبقات	عوامل اقتصادی - اجتماعی	معیارها	طبقه	وزن طبقات
عوامل فیزیکی	شیب (۰.۱۲۶)	۰-۵٪	۰.۰۰۷	عوامل اقتصادی - اجتماعی	فاصله از نقاط زیستی (۰.۲۵)	۰-۵۰۰ متر	۰.۱۱۵
		۵-۱۰٪	۰.۰۱			۵۰۰-۱۰۰۰ متر	۰.۰۶۳
		۱۰-۲۰٪	۰.۰۱۸			۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	۰.۰۳۷
		۲۰-۳۰٪	۰.۰۳			۱۵۰۰-۲۵۰۰ متر	۰.۰۱۹
	جهت شیب (۰.۰۱۵)	جنوب	۰.۰۰۸		۲۵۰۰ < متر	۰.۰۱۶	
		شرق	۰.۰۰۳		فاصله از جاده (۰.۵۰)	۰-۲۰۰ متر	۰.۳۱۶
		غرب	۰.۰۰۲			۲۰۰-۵۰۰ متر	۰.۹۷
		شمال	۰.۰۰۱			۵۰۰-۱۵۰۰ متر	۰.۰۴۷
	دشت	۰.۰۰۱	۱۵۰۰ < متر			۰.۰۴۱	
	ارتفاع (۰.۰۳۸)	متر < ۱۰۰۰	۰.۰۳۶		عوامل بیولوژیکی	بلوط - بادام	۰.۰۰۷
		۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر	۰.۱۴۴			پوشش بلوط - بنه	۰.۰۰۷
		۱۵۰۰-۲۰۰۰ متر	۰.۲۴۶			گیاهی آستراگالوس	۰.۰۱۹
۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر		۰.۳۳۷	زبان گنجشک - بلوط	۰.۰۰۴			
متر < ۳۰۰۰	۰.۲۳۷	گیاهان علفی یک ساله	۰.۰۳۳				



شکل ۷: حریم نقاط زیستی



شکل ۶: حریم شبکه راهها

## ۴. بحث

و تخصیص اوزان مطابق با نتایج سایر مطالعات (ادب و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ وادروو و همکاران، ۲۰۰۹ و دلامینی، ۲۰۱۰) است. در رابطه با عامل بیولوژیک که به بررسی اثرگذاری تیپ گیاهی بر وقوع حریق در منطقه مورد مطالعه می‌پردازد، مشخص شد تیپ بلوط- بادام با وزن ۰.۰۷ بیشترین و تیپ زبان گنجشک- بلوط با وزن ۰.۰۰۴ کمترین اثرگذاری را دارا هستند.

با توجه به جدول ۴ از کل منطقه مورد مطالعه با مجموع مساحت حدود ۴۰۲۳۱ هکتار؛ ۱.۶ هکتار (۴درصد) و ۴.۸ هکتار (۱۲ درصد) به ترتیب دارای پتانسیل خیلی زیاد و زیاد برای آتش سوزی هستند. پتانسیل آتش سوزی متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب ۱۶ درصد (۶.۴ هکتار)، ۲۸ درصد (۱۱.۲ هکتار) و ۴۰ درصد (۱۶ هکتار) از حوزه جنگلی مورد مطالعه در این پژوهش را تشکیل داده اند.

## جدول ۴: مساحت و درصد مساحت طبقات پتانسیل

## آتش سوزی

طبقات پتانسیل آتش سوزی	مساحت هر طبقه (هکتار)	درصد مساحت هر طبقه
خیلی کم	۱۶	۴۰٪
کم	۱۱.۲	۲۸٪
متوسط	۶.۴	۱۶٪
زیاد	۴.۸	۱۲٪
خیلی زیاد	۱.۶	۴٪

## ۵. نتیجه گیری

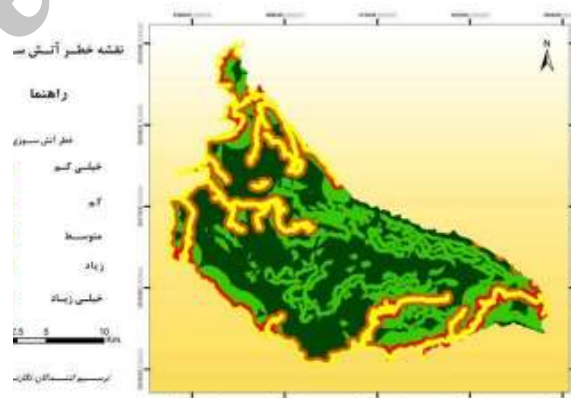
آتش سوزی باعث نابودی جنگل‌ها به عنوان بخش مهمی از محیط زیست، آلودگی هوا و از بین رفتن ثروت‌ها و امکانات بسیاری می‌شود و جان انسان‌های ساکن در مجاورت جنگل را با مخاطرات جدی مواجه

نتایج حاصل از تلفیق تکنیک دلفی و روش AHP، اهمیت نسبی هر یک از عوامل تاثیرگذار بر وقوع حریق را نمایان می‌سازد. در این پژوهش به منظور تعیین تعداد خبرگان از فرمول کوکران استفاده شده که نتیجه آن استفاده از تعداد ۱۷ نفر افراد خبره را پیشنهاد می‌داد. دلیل استفاده از روش AHP در این مطالعه قابلیت ذاتی آن در استفاده از شاخصهای کمی و کیفی در پهنه بندی آتش سوزی جنگلی است. به علاوه این روش قابل درک برای بسیاری از متخصصین جنگل بوده است و میتواند منجر به بهبود فرایند تصمیم گیری شود (موسی خانی و همکاران، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که این روش اولویت بندی بر اساس نظر متخصصان میباشد و حاصل آن برآیند نظرات متفاوت متخصصان در یک قالب مشخص است که با توجه به سابقه کم پهنه بندی آتش سوزی در ایران به نظر میرسد استفاده از روش AHP توجیه پذیر و منطقی باشد. به منظور شناسایی پهنه‌های آتش سوزی در جنگل‌های هلن زاگرس از تلفیق تکنیک دلفی و روش AHP استفاده شد که بنابر نتایج بدست آمده از میان عوامل فیزیکی، عامل شیب با وزن ۰.۱۲۶ و از میان عوامل اقتصادی- اجتماعی، عامل فاصله از جاده با وزن ۰.۵۰ از بیشترین اهمیت برخوردار هستند. با مقایسه زیر معیارها مشخص می‌شود که طبقه شیب بیشتر از ۳۰ درصد با وزن ۰.۰۶ و جهت جنوب و پس از آن جهت شرق به ترتیب با اوزان ۰.۰۰۸ و ۰.۰۰۳ بیشترین اثرگذاری را بر ایجاد حریق دارند. دو زیرمعیار فاصله ۵۰۰-۰ متر از نقاط زیستی و نیز فاصله ۲۰۰-۰ متر از جاده نیز بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده اند. نتایج حاصل از اولویت بندی

محدوده) ضروری است که همواره سایر نواحی نیز مورد پایش قرار گیرند تا به واسطه دخالت عوامل اقتصادی-اجتماعی از قبیل گسترش سکونتگاه و شبکه راه، چرا و گردشگری به وسعت مناطق دارای خطر بالای حریق افزوده نشود.

بکارگیری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و سنسچس از دور، امکان شناسایی عرصه‌های پرخطر و بحرانی را به وجود می‌آورد. تهیه نقشه خطر آتش سوزی توسط GIS و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی این امکان را ایجاد می‌کند که بتوان توزیع مکانی نقاط دارای خطر بالا را شناسایی کرده و با توجه به روند تغییرات این نقشه‌ها را به روز کرد. پیشنهاد می‌شود سازمان‌های مسئول نسبت به تهیه نقشه خطر آتش سوزی در تمامی پهنه‌های جنگلی به صورت مکاندار اقدام کنند و بانک اطلاعاتی جامعی در این زمینه راه‌اندازی شود تا تمامی کاربران و پژوهشگران به این بانک دسترسی داشته باشند. لازم به ذکر است که دخیل کردن عوامل تاثیرگذار بیشتر و بکارگیری سایر الگوهای تصمیم‌گیری چندمعیاره در این قبیل پژوهش‌ها موجب می‌شوند که نقشه نهایی از دقت بالاتری برخوردار باشد که در نهایت امر حفاظت از منابع جنگلی تسهیل خواهند شد. بنابر روند پژوهش و معضلات موجود در ارتباط با آتش‌سوزی جنگل در محدوده مطالعاتی در پایان پیشنهاد می‌گردد با استفاده از روش‌های مشارکتی آگاهی جوامع محلی و نیز گردشگران افزایش پیدا کند. همچنین ایجاد خطوط آتش‌بر<sup>۱</sup> در نقاط بحرانی به منظور جلوگیری از گسترش حریق و قطع ارتباطات افقی ضروری است. احداث برج‌های

می‌سازد و از مصادیق بحران‌های طبیعی است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۰). شناسایی عوامل موثر در وقوع آتش‌سوزی و پهنه بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل و مقابله با حریق است. این تحقیق به منظور شناسایی مناطق پرخطر حریق در منطقه حفاظت شده هلن واقع در زاگرس مرکزی با استفاده از روش تلفیقی دلفی و AHP انجام گرفت. در نهایت، نقشه نهایی پتانسیل آتش سوزی (شکل ۸) بدست آمد. با توجه به این نقشه، مناطق با پتانسیل بالاتر دارای شیب بالاتر و در دامنه‌های جنوبی هستند. همچنین بالاترین میزان ریسک در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر مشاهده می‌شود. همانطور که انتظار می‌رفت در نزدیکی شبکه راه و نقاط زیستی بیشترین خطر آتش سوزی وجود دارد.



شکل ۸: نقشه نهایی خطر آتش سوزی

گرچه در کل منطقه درصد کلاس‌های کم و خیلی کم نسبت به سایر کلاس‌ها بیشتر است (۶۸٪) اما این بدان معنا نیست که در این نواحی احتمال وقوع حریق صفر است؛ بنابراین علاوه بر بذل توجه ویژه به مناطق دارای خطر خیلی زیاد، زیاد و متوسط (۳۲٪ از کل

<sup>۱</sup> Fire Line and Fire Break

در مرحله ساختمانی با استفاده از روش تصمیم گیری چند شاخصه، محیط شناسی، سال سی و ششم، شماره ۵۶، صص ۲۵-۳۸.

زنجیرچی، سید محمود، (۱۳۹۰)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، انتشارات صناعی شه میرزادی، چاپ اول، تهران، ۲۸۴ صفحه.

سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۹۰)، دفتر زیستگاهها و مدیریت مناطق چهارگانه.

سرکارگر اردکانی، علی، (۱۳۸۶)، تجزیه و تحلیل ویژگی های طیفی - فضایی آتش و اهداف زمینه برای شناسایی و تفکیک در داده های سنجنش از دور. رساله دکترا. دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

سرکارگر اردکانی، علی، محمد جواد ولدان زوج، علی منصوریان (۱۳۸۸). تحلیل فضایی نیروی آتش سوزی مناطق مختلف کشور با استفاده از RS و GIS. مجله محیط شناسی، دوره ۳۵ (۵۲)، صص ۲۵-۳۴.

سلامتی، ح. ح. مصطفی، لو، ع. مستوری، ف. هنردوست، (۱۳۹۰)، ارزیابی و تهیه نقشه خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از GIS در جنگل- های استان گلستان. مجموعه مقالات نخستین همایش بین المللی آتش سوزی در عرصه های منابع طبیعی، دانشگاه گرگان، ۴-۶ آبان ۱۳۹۰.

طالقانی، علی، زهرا رحیم زاده، (۱۳۸۹)، شبیه سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه آبخیز جوانرود با مدل سلسله مراتبی (AHP) با تاکید بر ویژگی های مورفولوژی، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴، صص ۵۳-۷۲.

نگهبانی<sup>۱</sup> و ایجاد پایگاه های شناسایی در ارتفاعات و در نزدیکی نقاط پرخطر با دسترسی مناسب الزامی است.

## منابع

احمدی، فضل الله و همکاران، ۱۳۸۷، تکنیک دلفی: ابزاری در تحقیق، مجله ایرانی آموزش در علوم پزشکی، بهار و تابستان، صص ۱۸۵-۱۷۵.

ادب، ح. حبیبی نوخندان، م. میرزایی، ر. و ادبی فیروزجایی، ع. ۱۳۸۷، پهنه بندی خطر آتش سوزی در مناطق جنگلی استان مازندران بر اساس شاخص پیش آگاهی Molgan با بهره گیری از تکنیک GIS. مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی تغییر اقلیم و گاه شناسی درختی در اکوسیستم های خزری، دانشگاه مازندران، ساری: ۱۷۸-۱۸۹.

اکبری، داوود، جلال امینی، محمد سعادت سرشت، (۱۳۸۶)، ارائه مدلی ساده و سریع برای تهیه نقشه ریسک آتش سوزی در نواحی جنگلی، دومین همایش مقابله با سوانح طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، صص ۱۱۵۱-۱۱۵۷.

بابایی اقدام، فریدون، محمد آزادی مبارکی، عقیل مددی، (۱۳۸۹)، مدلسازی محلات مسکونی مناسب شهر اردبیل به روش AHP در محیط GIS، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۴، شماره ۴، صص ۱۹۶-۱۷۹.

جوزی، سید علی، سید محسن حسینی، علیرضا خیاط زاده، مهرانوش طیب شوشتری، (۱۳۸۹)، تجزیه و تحلیل ریسک های فیزیکی سد بالارود خوزستان

<sup>1</sup>. Fire Watch Tower

ورجواند ناصری، حسین، (۱۳۹۰)، برنامه ریزی حفاظت با استفاده از روش پنج وجهی حفاظت در مناطق حفاظت شده ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دکتر عبدالرسول ماهینی، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، گروه برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست.

علیدوستی، سیروس (۱۳۸۵) روش دلفی: مبانی، مراحل و نمونه‌هایی از کاربرد فصلنامه علمی ترویجی مدیریت و توسعه، سال هشتم، شماره ۳۱.

قدسی پور، سید حسن، (۱۳۹۰)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ نهم، تهران، ۲۲۰ صفحه.

محمدی، جمال، حسین پورقیومی، محمد قنبری، (۱۳۹۰)، تلفیق مدل همپوشانی شاخص‌ها (IO) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مکانیابی مراکز آموزشی (نمونه موردی: مدارس راهنمایی شهر کازرون)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۱، صفحات ۱۲۸-۱۱۳.

محمدی، فرید، نقی شعبانیان، مهدی پورهاشمی، پرویز فاتحی، (۱۳۸۹)، نقشه خطر آتش سوزی جنگل با استفاده از GIS و AHP در بخشی از جنگل‌های پاوه. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸، شماره ۴، صص ۵۶۹-۵۸۶.

منصوری، نبی اله، رحیم نظری، پروین نصیری، علیرضا قراگوزلو، (۱۳۹۰)، تدوین برنامه مدیریت بحران آتش سوزی جنگلی با تکنولوژی GIS و RS. مجله کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در برنامه ریزی. سال دوم، شماره ۳، صص ۶۳-۷۳.

موسی خانی، مرتضی، محمد امین نایبی، محمد رضا فرج زاده، سید حمید موسوی، (۱۳۸۸)، ارائه یک مدل انتخاب فروشنده سیستم‌های مخابراتی با رویکرد AHP، مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، جلد ۴، شماره ۸، صص ۱-۱۶.