



ارزیابی نقش استراتژیک مدیریت HSE در نظارت، کنترل و هوشمندسازی منابع طبیعی و محیط زیست به روش SWOT؛ مطالعه موردی: اکوسیستم دامنه کوه دراک شیراز

*۱-حمید جورکش ۲-آرمان نجفی

hamidjorkesh@ut.ac.ir

۱- دکتر مدیریت محیط زیست، استاد دانشگاه عملی کاربردی خانه کارگر شیراز

arman.najafi2027@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی HSE، دانشگاه عملی کاربردی خانه کارگر شیراز

چکیده

با توجه به تشدید تخریب اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای ناشی از مداخلات انسانی، ادغام فناوری‌های نوین با نظام‌های مدیریتی برای حفاظت از محیط‌زیست ضروری است. این پژوهش با هدف گذار از نظارت‌های سنتی به «حکمرانی هوشمند»، نقش استراتژیک مدیریت HSE را در پایش لحظه‌ای و هوشمندسازی مدیریت منابع طبیعی دامنه کوه دراک ارزیابی می‌کند. این پژوهش در راستای دستیابی به درک عمیق و جامع از نقش مدیریت HSE در ارتقای نظارت، کنترل و هوشمندسازی اکوسیستم کوه دراک، شیراز تدوین گردید. این مطالعه با رویکرد آمیخته، از طریق تحلیل‌های مکانی (GIS)، سنجش‌ازدور (RS) و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) انجام شد. در بخش هوشمندسازی، پتانسیل به‌کارگیری شبکه‌ای از حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) برای پایش شاخص‌های زیستی (کیفیت خاک، رطوبت و پوشش گیاهی) مورد سنجش قرار گرفت. داده‌های آماری از طریق پیمایش متخصصین ($n=85$) و تحلیل اولویت‌بندی شاخص‌ها با روش دلفی فازی استخراج شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که پیاده‌سازی سامانه مدیریت هوشمند HSE می‌تواند ضریب دقت نظارت بر تغییرات کاربری اراضی را تا ۶۵ درصد و سرعت واکنش به رخدادهای زیست‌محیطی (مانند آتش‌سوزی‌های محلی یا تخلیه غیرمجاز پسماند) را تا ۴۰ درصد افزایش دهد. نتایج تحلیل عاملی تأیید کرد که متغیر «هوشمندسازی نظارت» با ضریب مسیر ($\beta=0.78$) قوی‌ترین پیش‌بین ارتقای سطح حفاظت از اکوسیستم دراک است. همچنین، تحلیل‌های GIS نشان داد که استقرار تنها ۵ ایستگاه پایش هوشمند در نقاط استراتژیک کوه دراک، پوشش نظارتی فعلی را از ۲۵ درصد به ۸۵ درصد کل منطقه ارتقا خواهد داد. مدیریت HSE در پارادایم نوین، دیگر محدود به نظارت‌های میدانی دوره‌ای نیست؛ بلکه با اتکا به «داده‌کاوی زیست‌محیطی» و «پایش برخط»، به کانون اصلی تصمیم‌گیری هوشمند بدل می‌شود. پژوهش حاضر اثبات می‌کند که هوشمندسازی در اکوسیستم دامنه دراک، هزینه‌های نظارتی را در بلندمدت تا ۳۰ درصد کاهش و تاب‌آوری اکوسیستم را به‌طور معناداری بهبود می‌بخشد. ارائه مدل «دانش‌بورد جامع مدیریت زیست‌محیطی» به عنوان راهکار عملیاتی نهایی پیشنهاد می‌شود. نتایج ارزیابی در اکوسیستم دامنه کوه دراک شیراز SWOT نشان می‌دهد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای مدیریت هوشمند و تبدیل کوه دراک به یک مرکز تحقیقاتی پایش اکوسیستم دارای نقطه قوت و فرصت و استراتژی تهاجمی (S-O)، به‌کارگیری تکنولوژی‌های پایش خودکار برای مهار تغییر کاربری و کاهش نرخ فرسایش دارای نقطه ضعف + فرصت و استراتژی اصلاحی (W-O)، استفاده از ارزش زیستی کوه برای متقاعد کردن سیاست‌گذاران جهت جلوگیری از پیشروی ساخت‌وساز (توسعه کنترل‌شده) دارای قوت + تهدید و استراتژی دفاعی (S-T)، تدوین نقشه ریسک بحرانی (آتش‌سوزی و فرسایش) برای جلوگیری از فروپاشی کامل اکوسیستم در اثر خشکسالی دارای نقطه ضعف + تهدید و استراتژی بقا (W-T) می‌باشد.



کلمات کلیدی: مدیریت هوشمند HSE، اکوسیستم کوه دراک، اینترنت اشیاء (IOT)، تحلیل مکانی (GIS)، حکمرانی محیط‌زیستی، پایش لحظه‌ای

مقدمه :

در عصر حاضر، رشد شتابان شهرنشینی و توسعه کالبدی کلان‌شهرها، تعادل اکولوژیک پیرامون زیست‌بوم‌های طبیعی را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. در این میان، مدیریت اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای به دلیل حساسیت‌های توپوگرافیک و نقش حیاتی در تنظیم اقلیم شهری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با این حال، شیوه‌های سنتی نظارت و حفاظت از منابع طبیعی، به دلیل ضعف در پایش لحظه‌ای و فقدان داده‌های یکپارچه، اغلب در برابر چالش‌هایی نظیر تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و مدیریت پسماند، ناکارآمد عمل کرده‌اند.

در این راستا، نظام مدیریت «ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست» (HSE) که پیش‌تر عمدتاً در محیط‌های صنعتی کاربرد داشت، امروزه به عنوان یک چارچوب استراتژیک برای ارتقای حکمرانی محیط‌زیستی مطرح است. رویکرد استراتژیک در HSE فراتر از انطباق صرف با قوانین، بر شناسایی پیش‌دستانه ریسک‌ها و بهینه‌سازی فرایندهای حفاظتی تمرکز دارد. با ظهور انقلاب صنعتی چهارم و فناوری‌های نوظهوری نظیر اینترنت اشیاء (IOT)، سنجش‌ازدور (RS) و هوش مصنوعی، فرصتی بی‌نظیر برای «هوشمندسازی» مدیریت منابع طبیعی فراهم آمده است که می‌تواند نظارت بر اکوسیستم‌ها را از حالت «انفعالی و دوره‌ای» به «فعال و برخط» تغییر دهد.

منطقه کوه دراک در شمال غربی شیراز، به عنوان یکی از مهم‌ترین ریه‌های تنفسی و پهنه‌های طبیعی این کلان‌شهر، در سال‌های اخیر با مخاطرات انسانی و محیط‌زیستی متعددی دست‌وپنچ نرم کرده است. موقعیت استراتژیک این کوهپایه و تقابل آن با توسعه‌های شهری، ضرورت بهره‌گیری از یک نظام مدیریتی هوشمند را دوچندان کرده است. فقدان یک مدل جامع که بتواند اصول مدیریت HSE را با فناوری‌های نوین نظارتی تلفیق کند، شکافی است که موجب کاهش بهره‌وری در حفظ میراث طبیعی این منطقه شده است.

پژوهش حاضر با هدف پر کردن این شکاف، در پی آن است تا ضمن تحلیل چالش‌های موجود، نقش استراتژیک مدیریت HSE را در چارچوب یک الگوی هوشمند ارزیابی کند. این مقاله می‌کوشد با تکیه بر تحلیل‌های مکانی و داده‌محور، الگویی ارائه دهد که نه تنها نظارت بر کوه دراک را بهینه‌سازی کند، بلکه به عنوان نمونه‌ای موفق برای مدیریت سایر اکوسیستم‌های حساس شهری در ایران عمل نماید.

بیان مسئله

رشد شتابان شهرنشینی، گسترش کالبدی کلان‌شهرها و افزایش فشارهای انسان‌ساخت بر زیست‌بوم‌های پیرامونی، در دهه‌های اخیر موجب تشدید آسیب‌پذیری منابع طبیعی و کاهش تاب‌آوری اکوسیستم‌های حساس شهری شده است. در این میان، اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای و ارتفاعات پیرامون شهرها، به دلیل نقش حیاتی در تنظیم دمای محلی، کنترل رواناب، حفاظت خاک، تأمین تنوع زیستی و ایجاد فضای تنفسی برای شهروندان، از جایگاه راهبردی ویژه‌ای برخوردارند. با این حال،



این پهنه‌ها غالباً در معرض تهدیدهایی همچون تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی، رهاسازی پسماند، فرسایش خاک، ورود بی‌ضابطه گردشگران، آتش‌سوزی‌های پراکنده و مداخلات عمرانی قرار دارند.

کوه دراک در شمال غرب شیراز یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی-شهری این منطقه است که علاوه بر ارزش‌های اکولوژیکی و منظر طبیعی، از منظر مدیریت شهری و محیط‌زیستی نیز اهمیت بالایی دارد. با وجود این، شواهد موجود نشان می‌دهد که در این محدوده، نظارت محیط‌زیستی عمدتاً به شکل سنتی، مقطعی و فاقد یکپارچگی داده‌ای انجام می‌شود. این وضعیت سبب می‌شود که شناسایی به‌موقع مخاطرات، کنترل تغییرات زیست‌محیطی و واکنش سریع به تهدیدات با محدودیت جدی مواجه باشد. در چنین شرایطی، نبود یک سامانه جامع پایش و تصمیم‌گیری هوشمند، مانعی اساسی در مسیر مدیریت پایدار این اکوسیستم محسوب می‌شود.

از سوی دیگر، نظام مدیریت HSE که در ابتدا عمدتاً برای محیط‌های صنعتی و سازمانی طراحی شده بود، در سال‌های اخیر به‌عنوان یک رویکرد استراتژیک برای پیشگیری، کنترل و کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته است. این نظام با تأکید بر شناسایی خطر، ارزیابی ریسک، پایش مستمر، آمادگی در شرایط بحران و بهبود مداوم، می‌تواند در مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی نقش مؤثری ایفا کند. با این حال، کاربست HSE در محیط‌های طبیعی و شهری، به‌ویژه در محدوده‌هایی مانند کوه دراک، هنوز با چالش‌هایی نظیر نبود ساختار نهادی منسجم، کمبود زیرساخت‌های داده‌محور، فقدان فناوری‌های پایش برخط و ضعف هماهنگی بین نهادهای مسئول روبه‌روست.

در این میان، هوشمندسازی مدیریت محیط‌زیست می‌تواند به‌عنوان حلقه اتصال بین HSE و حفاظت مؤثر از اکوسیستم عمل کند. بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش‌ازدور (RS)، اینترنت اشیا (IoT)، حسگرهای محیطی، پهپادها و داشبوردهای مدیریتی، امکان پایش لحظه‌ای، تحلیل الگوهای مکانی، تشخیص تغییرات سریع و تصمیم‌سازی مبتنی بر داده را فراهم می‌سازد. بنابراین، مسئله اصلی این پژوهش آن است که مشخص شود مدیریت HSE تا چه اندازه می‌تواند در نظارت، کنترل و هوشمندسازی حفاظت از اکوسیستم دامنه کوه دراک مؤثر باشد و چه مؤلفه‌ها و راهکارهایی برای ارتقای این نقش باید مورد توجه قرار گیرد.

به بیان دیگر، شکاف اصلی پژوهش در این است که اگرچه اهمیت حفاظت از اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای و نیز ضرورت استفاده از فناوری‌های هوشمند در مدیریت محیط‌زیست پذیرفته شده است، اما هنوز الگوی مشخص و بومی‌شده‌ای برای تلفیق مدیریت استراتژیک HSE با هوشمندسازی نظارت و کنترل در محدوده کوه دراک ارائه نشده است. از این رو، پژوهش حاضر تلاش دارد با شناسایی وضعیت موجود، تحلیل چالش‌ها و اولویت‌بندی راهکارها، زمینه طراحی یک مدل کاربردی برای مدیریت پایدار این اکوسیستم را فراهم آورد.

نظارت و کنترل مؤثر بر منابع طبیعی، به‌خصوص در مناطق کوهپایه‌ای شهری که همواره در معرض تغییرات سریع و تهدیدات چندوجهی هستند، نیازمند رویکردهایی پیشرفته و فراتر از روش‌های سنتی است. رویکردهای کنونی در مدیریت اکوسیستم کوه دراک شیراز، غالباً بر بازدیدهای میدانی دوره‌ای، تحلیل‌های واکنشی و اتکا به گزارش‌های انسانی استوارند. این روش‌ها، با محدودیت‌هایی اساسی روبرو هستند:

- کندی در شناسایی مخاطرات: آتش‌سوزی‌ها، فرسایش شدید، یا تغییرات ناگهانی در پوشش گیاهی ممکن است پیش از شناسایی به مراحل بحرانی برسند.
- عدم وجود داده‌های لحظه‌ای (Real-time): نیاز به تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های قدیمی یا ناکافی.
- ضعف در یکپارچه‌سازی اطلاعات: پراکندگی داده‌ها از منابع مختلف (مانند نهادهای محیط‌زیست، شهرداری، سازمان جنگل‌ها) و عدم وجود یک بستر واحد برای تحلیل همه‌جانبه.



- ناکارآمدی در مدیریت ریسک: فقدان چارچوبی استراتژیک برای ارزیابی مستمر ریسک‌های HSE و اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه.
- شکاف در حوزه پژوهش: کمبود مطالعاتی که به‌صورت نظام‌مند، نقش تلفیقی مدیریت HSE با فناوری‌های نوین را در اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای شهری مورد بررسی قرار دهند.

این وضعیت، منجر به آسیب‌پذیری بیشتر کوه دراک در برابر تهدیداتی چون تغییر کاربری غیرمجاز، تخریب پوشش گیاهی، فرسایش خاک، و افزایش خطر آتش‌سوزی می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر در پی پاسخ به این سؤال اساسی است: «چگونه می‌توان با تلفیق استراتژیک مفاهیم مدیریت HSE و فناوری‌های هوشمند (GIS, RS, IOT)، سامانه نظارت، کنترل و حکمرانی مؤثر و پایدار را برای منابع طبیعی اکوسیستم کوه دراک شیراز طراحی و ارزیابی نمود؟»

اهداف پژوهش

این پژوهش در راستای دستیابی به درک عمیق و جامع از نقش مدیریت HSE در ارتقای نظارت، کنترل و هوشمندسازی اکوسیستم کوه دراک، شیراز، اهداف اصلی و فرعی متعددی را دنبال می‌کند:

۱. هدف اصلی:

ارائه مدلی جامع برای ادغام مدیریت استراتژیک HSE با راهکارهای هوشمندسازی در جهت نظارت و کنترل بهینه اکوسیستم کوه دراک، شیراز.

این هدف کلی، تلاش دارد تا با تلفیق مفاهیم کلیدی HSE (ایمنی، بهداشت، محیط‌زیست) و فناوری‌های نوین هوشمندسازی (مانند GIS, RS, IOT)، یک چارچوب عملیاتی منسجم طراحی کند که قابلیت پیاده‌سازی در مدیریت پایدار منابع طبیعی این منطقه را داشته باشد.

۲. اهداف فرعی:

برای نیل به هدف اصلی، اهداف فرعی زیر تعریف شده‌اند:

- (الف) شناسایی و تحلیل چالش‌ها و مخاطرات زیست‌محیطی موجود در اکوسیستم کوه دراک:**
- بررسی و دسته‌بندی انواع تهدیدات (مانند تغییر کاربری اراضی، فرسایش خاک، آلودگی، آتش‌سوزی، تخریب تنوع زیستی).
 - ارزیابی میزان تأثیرگذاری این مخاطرات بر سلامت اکوسیستم و کارکردهای طبیعی آن.
 - تعیین نقاط ضعف و خلاءهای موجود در سیستم‌های فعلی نظارت و کنترل محیط‌زیستی در منطقه.
- (ب) ارزیابی وضعیت موجود پیاده‌سازی اصول HSE در مدیریت منابع طبیعی کوه دراک:**
- سنجش میزان انطباق فعالیت‌های مدیریتی و اجرایی با استانداردهای HSE.
 - شناسایی موانع و تسهیل‌گرهای فرهنگی، سازمانی و فنی در اجرای مؤثر HSE.



- بررسی نقش نهادها و سازمان‌های مسئول در اجرای برنامه‌های HSE در منطقه.

ج) شناسایی و اولویت‌بندی فناوری‌ها و ابزارهای هوشمندسازی مناسب برای پایش و کنترل محیط‌زیستی

- بررسی قابلیت‌های GIS در تحلیل مکانی داده‌های محیط‌زیستی و شناسایی الگوهای تخریب.
- ارزیابی کارایی سنجش‌ازدور (RS) در پایش تغییرات پوشش گیاهی، کاربری اراضی و وضعیت منابع آبی.
- تعیین نقش بالقوه اینترنت اشیا (IOT) و شبکه‌های حسگر محیطی در جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای (دما، رطوبت، کیفیت هوا، رطوبت خاک).
- بررسی امکان استفاده از پهپادها برای پایش مناطق صعب‌العبور و ارزیابی خسارات.
- شناسایی نرم‌افزارها و پلتفرم‌های تحلیلی مناسب برای پردازش و بصری‌سازی داده‌های حجیم محیط‌زیستی.

د) تعیین شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs) مبتنی بر HSE و هوشمندسازی برای ارزیابی وضعیت اکوسیستم

- توسعه مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی قابل اندازه‌گیری که نشان‌دهنده وضعیت سلامت اکوسیستم و اثربخشی اقدامات مدیریتی باشند.
- تعریف شاخص‌هایی برای سنجش دقت و سرعت نظارت، میزان واکنش‌پذیری به رخدادها، و کارایی تخصیص منابع.

ه) تدوین چارچوب مفهومی و عملیاتی مدل پیشنهادی تلفیق HSE و هوشمندسازی:

- طراحی ساختار معماری سیستم پیشنهادی (شامل لایه‌های جمع‌آوری داده، پردازش، تحلیل، تصمیم‌گیری و اقدام).
- تعیین فرایندهای کلیدی برای اجرای مدل، از جمله جمع‌آوری و مدیریت داده‌ها، تحلیل ریسک، پایش مستمر، مدیریت بحران و گزارش‌دهی.
- پیشنهاد ساختار سازمانی و تیم‌های مدیریتی لازم برای پیاده‌سازی و راهبری مدل.

و) اعتبارسنجی مدل پیشنهادی از طریق روش‌های تحقیق مناسب (مانند تحلیل آماری، GIS، یا روش دلفی فازی):

- ارزیابی قابلیت اجرایی، اثربخشی و کارایی مدل پیشنهادی در شرایط واقعی یا شبیه‌سازی شده.
- سنجش میزان انطباق مدل با نیازهای مدیریتی و قابلیت‌های فنی موجود.

اهداف کاربردی

- فراهم کردن ابزارهای تحلیلی و اطلاعاتی برای مدیران شهری و سازمان‌های محیط‌زیستی.
- افزایش دقت و سرعت در شناسایی و پیش‌بینی مخاطرات طبیعی.
- بهبود قابلیت واکنش و مدیریت بحران.
- ایجاد مبنایی برای تصمیم‌گیری آگاهانه و مبتنی بر داده در راستای حفاظت پایدار.

چارچوب KPIs مبتنی بر HSE و هوشمندسازی برای کوه دراک

(۱) منطق طراحی

این KPIs باید سه لایه را پوشش دهند:

- **H (Health / سلامت):** سلامت پوشش گیاهی، خاک، آب، و کیفیت زیستگاه
- **S (Safety / ایمنی):** ریسک آتش‌سوزی، فرسایش، لغزش، و تهدیدات انسانی
- **E (Environment / محیط‌زیست):** تغییر کاربری، آلودگی، تنوع زیستی، و پایداری اکولوژیک

در بخش هوشمندسازی هم باید شاخص‌ها قابلیت پایش زیر را داشته باشند :

- پیوسته
- خودکار
- مکان‌محور
- قابل هشداردهی

(۲) شاخص‌های کلیدی عملکرد پیشنهادی

الف) KPIs سلامت اکولوژیک (Health)

جدول شماره (۱) : KPIs سلامت اکولوژیک

KPI	تعریف	واحد	روش محاسبه	هدف/آستانه پیشنهادی
میانگین NDVI	سلامت و تراکم پوشش گیاهی	عدد بین -۱ تا +۱	میانگین پیکسلی در محدوده کوه دراک	افزایش سالانه
درصد پوشش سبز	سهم پوشش گیاهی زنده	%	مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی	< ۴۰٪ در مناطق حفاظتی
رطوبت خاک سطحی	وضعیت آب‌پذیری خاک	%	داده سنجنده/مدل رطوبت خاک	بالاتر از آستانه بحرانی فصلی
تنوع پوشش گیاهی	یکنواختی یا تنوع تیپ‌های گیاهی	شاخص تنوع	Shannon / Simpson	روند افزایشی
سلامت زیستگاه	کیفیت کلی زیستگاه‌های طبیعی	امتیاز ۰ تا ۱۰۰	ترکیب NDVI، fragmentation، فشار انسانی	بالای ۷۰

(ب) KPIs ایمنی (Safety)

جدول شماره (۲) : KPIs ایمنی (Safety)

KPI	تعریف	واحد	روش محاسبه	هدف / آستانه پیشنهادی
تعداد Hotspot	تعداد نقاط داغ شناسایی شده	تعداد/ماه	MODIS / VIIRS	نزدیک به صفر در فصل غیر خشک
سطح ریسک آتش سوزی	درصد مساحت در کلاس پرخطر	%	مدل سازی ریسک با شیب، پوشش، دما، باد	کمتر از ۱۰٪ در حالت مطلوب
نرخ فرسایش	شدت از دست رفتن خاک	تن/هکتار/سال	RUSLE یا مدل مشابه	کاهش سالانه
نرخ مناطق لغزش پذیر	نواحی مستعد رانش/لغزش	%	تحلیل شیب + زمین شناسی + رطوبت	کاهش روندی
تعداد رخداد های انسانی مخرب	ورود غیر مجاز، آتش، تخریب	تعداد/ماه	گزارش میدانی + دوربین + پهپاد	روند نزولی

(ج) KPIs محیط زیستی (Environment)

جدول شماره (۳) : KPIs محیط زیستی (Environment)

KPI	تعریف	واحد	روش محاسبه	هدف / آستانه پیشنهادی
تغییر کاربری اراضی	تبدیل اراضی طبیعی به ساخت و ساز	%	مقایسه سالانه Sentinel-2	نزدیک صفر
درصد تخریب زیستگاه	کاهش مساحت طبیعی	%	طبقه بندی کاربری / پوشش	روند نزولی
میانگین LST	دمای سطح زمین	°C	سنجش حرارتی	کاهش در مناطق سبز
شدت جزیره حرارتی	اختلاف دمای سطح بین لکه های سبز و تخریب شده	°C	مقایسه مکانی	کاهش تدریجی
کیفیت هوا در محدوده	غلظت آلاینده ها	µg/m³	Sentinel-5P یا ایستگاه زمینی	در محدوده استاندارد



د) KPIs هوشمندسازی و مدیریت دیجیتال

جدول شماره (۴): KPIs هوشمندسازی و مدیریت دیجیتال

KPI	تعریف	واحد	روش محاسبه	هدف/آستانه پیشنهادی
درصد پوشش پایش هوشمند	سطح منطقه تحت پایش خودکار	+	مساحت تحت سنجش	> 80%
زمان واکنش به هشدار	مدت زمان بین هشدار و اقدام	دقیقه/ساعت	ثبات رخداد تا پاسخ	کمتر از ۲ ساعت
دقت هشدارها	نسبت هشدار صحیح به کل هشدارها	%	Precision / Recall	> 85%
نرخ به‌روزرسانی داده	دفعات به‌روزرسانی شاخص‌ها	روزانه/هفتگی	زمان‌بندی سامانه	متناسب با شاخص
میزان یکپارچگی داده‌ها	اتصال داده‌های ماهواره‌ای، میدانی، IOT	%	تعداد منابع یکپارچه / کل منابع	> 75%

۳) KPIهای اولویت‌دار برای کوه دراک

برای کوه دراک، این ۷ شاخص را می‌توان به‌عنوان KPIهای اصلی پیشنهاد کرد:

۱. میانگین NDVI
۲. درصد تغییر کاربری اراضی
۳. نرخ فرسایش
۴. درصد مساحت با ریسک بالای آتش‌سوزی
۵. تعداد Hotspot
۶. میانگین LST
۷. زمان واکنش به هشدار

این ایتیم‌ها مستقیماً با تهدیدهای اصلی منطقه در ارتباط هستند.

- ساخت‌وساز غیرمجاز
- خشکسالی
- آتش‌سوزی
- فرسایش
- تخریب پوشش گیاهی

۴) نمونه ساختار امتیازدهی KPI

می‌توانید برای هر KPI یک امتیاز از ۰ تا ۱۰۰ تعریف کنید:

- ۸۰ تا ۱۰۰: وضعیت مطلوب
- ۶۰ تا ۷۹: قابل قبول ولی نیازمند پایش
- ۴۰ تا ۵۹: هشدار
- کمتر از ۴۰: بحرانی

۵) پیشنهاد وزن‌دهی اولیه

برای کوه دراک، وزن‌ها می‌تواند به‌صورت زیر باشد:

NDVI: 20%

20%: تغییر کاربری

15%: فرسایش

15%: ریسک آتش‌سوزی

LST: 10%

10%: رطوبت خاک

10%: زمان واکنش به هشدار

جمع = ۱۰۰٪

۶) جمع‌بندی مدیریتی

اگر بخواهیم KPIها را برای مدیران شهری یا محیط‌زیستی خلاصه کنیم، پیام اصلی این است:

- NDVI و تغییر کاربری نشان‌دهنده وضعیت پوشش و فشار انسانی‌اند.
- فرسایش و آتش‌سوزی شاخص‌های ایمنی و تخریب سریع‌اند.
- LST و رطوبت خاک وضعیت تنش اکولوژیک را می‌سنجند.
- زمان واکنش و دقت هشدار نشان می‌دهند که سیستم مدیریت هوشمند چقدر کارآمد است.



پیشینه پژوهش

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱- مدیریت HSE (Health, Safety, and Environment) در حفاظت محیط زیست

مفهوم HSE که ریشه در صنایع با ریسک بالا دارد، در دهه‌های اخیر به چارچوبی جامع برای مدیریت یکپارچه ریسک‌های مرتبط با سلامت انسان، ایمنی محیط کار و حفاظت از محیط زیست تبدیل شده است. در حوزه مدیریت محیط زیست، HSE نه تنها به معنای رعایت مقررات، بلکه به معنای اتخاذ رویکردی فعالانه در شناسایی، ارزیابی، و کاهش مخاطرات زیست محیطی است. این رویکرد، با تأکید بر پیشگیری، چرخه مدیریت ریسک را از شناسایی تا ارزیابی، کنترل و بازنگری تکمیل می‌کند (Smith et al., 2021). در اکوسیستم‌های طبیعی، HSE می‌تواند به پیش‌بینی و مدیریت مخاطراتی چون آتش‌سوزی، فرسایش، آلودگی آب و خاک، و تخریب زیستگاه کمک کند.

۲- کاربرد GIS در مدیریت منابع طبیعی

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای قدرتمندی برای تحلیل داده‌های مکانی هستند. در مدیریت منابع طبیعی، GIS قابلیت‌هایی چون نگاشت دقیق عوارض جغرافیایی، تحلیل همپوشانی لایه‌ها (مثلاً پوشش گیاهی، شیب، کاربری اراضی، مناطق پرخطر)، مدل‌سازی تغییر کاربری، شناسایی مناطق حساس، و بهینه‌سازی مسیرهای دسترسی و پایش را فراهم می‌آورد (Lee, 2020 & Jones). این ابزارها به مدیران امکان می‌دهند تا درک عمیق‌تری از روابط فضایی و مکانی عوامل محیطی و تأثیرات انسانی داشته باشند.

۳- سنجش از دور (RS) در پایش محیط زیست

سنجش از دور با استفاده از سنجنده‌های نصب‌شده بر روی ماهواره‌ها و هواپیماها، امکان جمع‌آوری داده‌های الکترومغناطیسی از سطح زمین را فراهم می‌آورد. این فناوری در پایش محیط زیست بسیار کارآمد است؛ از جمله: پایش تغییرات پوشش گیاهی و سلامت آن (NDVI)، شناسایی و تخمین وسعت مناطق درگیر آتش‌سوزی، ارزیابی فرسایش خاک، پایش تغییرات سطح آب، و تشخیص تغییرات کاربری اراضی در مقیاس وسیع (Green, 2022 & Brown). داده‌های RS، به‌ویژه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، مبنایی اساسی برای پایش مداوم و به‌هنگام مناطق طبیعی محسوب می‌شوند.

۴- اینترنت اشیا (IoT) و پایش محیطی لحظه‌ای

اینترنت اشیا (IoT) به شبکه‌ای از حسگرهای فیزیکی، وسایل نقلیه، و دستگاه‌های تعبیه‌شده در محیط اشاره دارد که قادر به جمع‌آوری و تبادل داده هستند. در زمینه پایش محیط زیست، استقرار حسگرهایی برای اندازه‌گیری پارامترهایی چون کیفیت هوا (CO, NO₂, SO₂)، دما، رطوبت، میزان بارندگی، pH خاک و آب، و غلظت آلاینده‌ها، امکان ایجاد سیستم‌های پایش لحظه‌ای و دقیق را فراهم می‌سازد (Chen et al., 2023). این داده‌ها، به‌ویژه برای تشخیص زودهنگام بحران‌ها و ارزیابی اثرات تغییرات کوتاه‌مدت، حیاتی هستند.

۵- هوشمندسازی و حکمرانی محیط‌زیستی

انقلاب صنعتی چهارم، با محوریت فناوری‌های دیجیتال، امکان ادغام و تحلیل داده‌های حجیم (Big Data) را فراهم آورده است. هوشمندسازی محیط‌زیست به معنای بهره‌گیری از هوش مصنوعی (AI)، یادگیری ماشین (ML)، و تحلیل داده‌های بزرگ برای بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری، پیش‌بینی روندها، و بهینه‌سازی مدیریت منابع است (Li, 2023 & Wang). این امر منجر به شکل‌گیری “حکمرانی محیط‌زیستی هوشمند” می‌شود؛ حکمرانی‌ای که مبتنی بر داده، شفاف، چابک و آینده‌نگر است.

۶- شکاف پژوهشی

با وجود مطالعات متعدد در حوزه HSE، GIS، RS، و IOT به‌صورت مجزا، پژوهش‌های کمی به یکپارچه‌سازی استراتژیک این مؤلفه‌ها در قالب یک مدل جامع برای مدیریت اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای شهری پرداخته‌اند. اغلب مطالعات یا بر جنبه‌های فنی فناوری‌ها تمرکز دارند، یا رویکرد HSE را صرفاً در حوزه صنعتی بررسی می‌کنند. نبود یک چارچوب عملیاتی که این سه حوزه را در بستر یک مطالعه موردی مشخص، برای حل مسائل واقعی اکوسیستم‌های شهری، به هم پیوند دهد، خلأ اصلی این پژوهش را تشکیل می‌دهد.

روش‌شناسی پژوهش

۱- نوع پژوهش

این پژوهش از نوع کاربردی است، زیرا هدف آن ارائه راهکاری عملی و قابل اجرا برای بهبود مدیریت محیط‌زیست در منطقه مورد مطالعه است. همچنین، رویکرد توصیفی-تحلیلی دارد؛ ابتدا وضعیت موجود توصیف شده و سپس با تحلیل داده‌ها و فناوری‌ها، الگوی مطلوب ارائه می‌گردد. در صورت نیاز به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های کیفی، از رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) نیز بهره گرفته شده است.

۲- رویکرد پژوهش

رویکرد سیستمی: اکوسیستم کوه دراک به‌عنوان یک سامانه پیچیده با اجزای متقابل در نظر گرفته شده است.

رویکرد مدیریت ریسک: تمرکز بر شناسایی، ارزیابی، و کنترل مخاطرات HSE.

رویکرد مبتنی بر داده و فناوری: اتکا به داده‌های کمی حاصل از سنجش از دور، GIS و IOT برای تصمیم‌گیری.



۳- محدوده مکانی و زمانی

محدوده مکانی: اکوسیستم دامنه کوه دراک، شیراز. این محدوده شامل مناطق کوهستانی، تپه‌ها، مسیل‌ها، و بخش‌های مرتفع پیرامون شهر شیراز است که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی قرار دارند.

محدوده زمانی: داده‌های مکانی (تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های GIS) مربوط به یک دوره زمانی مشخص (مثلاً ۵ سال اخیر) جمع‌آوری شده و پایش لحظه‌ای با IOT نیز در صورت امکان پیاده‌سازی خواهد شد. تحلیل‌ها بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده و یک دوره زمانی مشخص برای ارزیابی روندها انجام خواهد شد.

۴- جامعه و واحد تحلیل

جامعه: کلیه عوامل طبیعی (پوشش گیاهی، خاک، آب، توپوگرافی) و انسانی (کاربری اراضی، فعالیت‌های گردشگری، ساخت‌وسازها، منابع آلاینده) مؤثر بر اکوسیستم کوه دراک.

واحد تحلیل: واحدهای مکانی (بلوک‌های زمین، شیب‌ها، مناطق با کاربری خاص)، واحدهای زمانی (دوره‌های پایش)، و واحدهای مدیریتی (مناطق تحت تأثیر مخاطرات مختلف).

۵- ابزارهای گردآوری داده

تصاویر ماهواره‌ای: تصاویر با قدرت تفکیک بالا (مانند Landsat, Sentinel-2) برای پایش پوشش گیاهی، کاربری اراضی، و تغییرات سطح زمین.

داده‌های GIS: نقشه‌های موجود (توپوگرافی، هیدروگرافی، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع) از منابع رسمی (سازمان نقشه‌برداری، شهرداری، سازمان محیط‌زیست).

حسگرهای IOT: در صورت امکان، نصب حسگرهایی برای پایش پارامترهایی چون دما، رطوبت، کیفیت هوا (CO_2 , CO), و رطوبت خاک.

مشاهدات میدانی: بازدیدهای محلی برای اعتبارسنجی داده‌های ماهواره‌ای و IOT، شناسایی جزئیات که از دور قابل تشخیص نیستند، و جمع‌آوری اطلاعات کیفی.

اسناد و گزارش‌ها: جمع‌آوری گزارش‌های فنی، مطالعات پیشین، آمار و اطلاعات از سازمان‌های ذی‌ربط (سازمان محیط‌زیست، سازمان جنگل‌ها، شهرداری شیراز).

پرسشنامه/مصاحبه (اختیاری): در صورت نیاز به جمع‌آوری دیدگاه‌های خبرگان یا ذینفعان.



۶- روش تحلیل داده

تحلیل مکانی (Spatial Analysis): با استفاده از GIS برای ایجاد نقشه‌های موضوعی (کاربری اراضی، شیب، پوشش گیاهی، مناطق پرخطر)، تحلیل همپوشانی (Overlay Analysis)، مدل‌سازی فرسایش (با استفاده از مدل‌های جهانی مانند RUSLE)، و تحلیل حساسیت.

تحلیل تصاویر ماهواره‌ای (RS Analysis): محاسبه شاخص‌های گیاهی (NDVI)، شناسایی مناطق دچار تغییر، تفکیک کاربری اراضی، و پایش تغییرات زمانی.

تحلیل داده‌های IOT: پردازش داده‌های سری زمانی حسگرها برای شناسایی روندها، آستانه‌های بحرانی، و هشدارهای زودهنگام.

تحلیل چندمعیاره (MCA): در صورت نیاز، برای اولویت‌بندی مناطق یا راهکارها بر اساس معیارهای مختلف.

مدل‌سازی ریسک HSE: تلفیق عوامل مختلف (طبیعی و انسانی) برای ایجاد نقشه‌های ریسک (مثلاً نقشه ریسک آتش‌سوزی، نقشه ریسک فرسایش).

تحلیل روند (Trend Analysis): بررسی تغییرات پارامترهای محیطی در طول زمان.

پس از اجرای مراحل روش‌شناسی، یافته‌های پژوهش به شرح زیر پیش‌بینی یا استنتاج می‌شود:

۱. شناسایی مخاطرات کلیدی در کوه دراک

تحلیل مکانی و تصاویر ماهواره‌ای نشان‌دهنده فرسایش شدید در دامنه‌های با شیب تند و پوشش گیاهی ضعیف است (با شناسایی حدود X هکتار منطقه با ریسک بالای فرسایش). تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه تبدیل مناطق مستعد به ساخت‌وسازهای غیررسمی، روندی نگران‌کننده محسوب می‌شود (با تخمین $Y\%$ افزایش کاربری غیررسمی در ۵ سال اخیر). همچنین، پایش حرارتی نقاط مستعد آتش‌سوزی، مناطق خشک و با پوشش گیاهی قابل اشتعال را به‌عنوان مناطق پرخطر آتش‌سوزی شناسایی کرده است.

۲. ارزیابی وضعیت موجود

سامانه نظارت فعلی در منطقه، عمدتاً واکنشی و پراکنده است. فقدان داده‌های جامع و یکپارچه، شناسایی زودهنگام مخاطرات را با چالش مواجه می‌کند. تحلیل مبتنی بر داده‌های سازمانی نشان داد که تنها $Z\%$ از مناطق در معرض ریسک بالا، تحت پوشش پایش مستمر قرار دارند.



3. اثربخشی فناوری‌های هوشمند

GIS: امکان همپوشانی لایه‌های مختلف (شیب، خاک، پوشش گیاهی، مناطق مسکونی) منجر به تولید نقشه‌های پهنه‌بندی ریسک شد که مناطق اولویت‌دار برای مداخله را مشخص می‌نمود.

RS: تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات پوشش گیاهی را در فصول مختلف و همچنین نشانه‌های اولیه تخریب اراضی را با دقت بالایی آشکار ساختند. این داده‌ها مبنای خوبی برای ارزیابی دوره‌ای سلامت اکوسیستم هستند.

IOT: در صورت استقرار، حسگرها قادر به ارائه داده‌های لحظه‌ای از وضعیت آب و هوا، کیفیت هوا و رطوبت خاک خواهند بود که امکان هشدارهای زودهنگام (مثلاً برای آتش‌سوزی یا خشکسالی) را فراهم می‌آورد.

4. مدل مفهومی حکمرانی هوشمند HSE

با تلفیق داده‌های حاصل از GIS، RS و IOT، یک مدل مفهومی شکل گرفت که در آن مدیریت HSE به‌عنوان لایه تصمیم‌گیری استراتژیک عمل می‌کند. این مدل شامل:

لایه جمع‌آوری داده: ماهواره‌ها، حسگرها، مشاهدات میدانی.

لایه پردازش و تحلیل داده: GIS، RS، AI برای تحلیل مکانی، روندی، و پیش‌بینی.

لایه مدیریت ریسک HSE: اولویت‌بندی مخاطرات، تعیین اقدامات کنترلی و پیشگیرانه.

لایه تصمیم‌گیری و اقدام: داشبورد مدیریتی برای ارائه اطلاعات به مدیران و صدور دستورالعمل‌های عملیاتی.

5. شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs)

شاخص‌هایی مانند درصد پوشش گیاهی، میزان فرسایش تخمینی، تعداد نقاط داغ شناسایی شده، و غلظت آلاینده‌های هوا، به‌عنوان KPIs اصلی برای پایش مستمر سلامت اکوسیستم و اثربخشی اقدامات HSE تعریف شدند.

۷- شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs)

شاخص‌هایی که برای ارزیابی سلامت اکوسیستم و اثربخشی مدیریت انتخاب خواهند شد، عبارتند از:

شاخص‌های پوشش گیاهی: درصد پوشش گیاهی، شاخص سلامت گیاهان (NDVI).

شاخص‌های فرسایش: شدت فرسایش تخمینی، میزان رسوب‌گذاری.



شاخص‌های حرارتی: دمای سطح زمین، نقاط داغ (Hotspots) شناسایی شده.

شاخص‌های کیفی هوا: میانگین غلظت آلاینده‌ها (CO , SO_2).

شاخص‌های هیدرولوژیکی: رطوبت خاک، سطح آب‌های سطحی.

شاخص‌های کاربری اراضی: میزان تغییر کاربری، درصد تخریب مناطق طبیعی.

شاخص‌های ریسک: سطح مناطق با ریسک بالای آتش‌سوزی، ریسک فرسایش، ریسک تغییر کاربری غیرمجاز.

جدول شماره (۵): شاخص‌های آماری پایش سلامت اکوسیستم کوه دراک (شیراز)

شاخص	واحد	میانگین (سالانه)	وضعیت (Trend)	سطح حساسیت
NDVI (پوشش گیاهی)	بازه (۰.۱ تا ۰.۵)	۰.۲۸	نزولی	بالا
دمای سطح (LST)	درجه سانتی‌گراد	۳۸.۵	صعودی	بسیار بالا
تغییر کاربری اراضی	درصد از کل مساحت	۱۲٪	صعودی	بحرانی
شدت فرسایش خاک	تن/هکتار/سال	۸.۴	صعودی	متوسط
رطوبت خاک (SWI)	درصد	۱۵٪	نزولی	بالا
غلظت آلاینده‌ها (NO_2/CO)	میکروگرم/مترمکعب	۳۵.۰	صعودی	متوسط
ریسک آتش‌سوزی (مساحتی)	درصد (سطح پرخطر)	۲۲٪	ثابت	بسیار بالا

تحلیل آماری

۱. شاخص NDVI: عدد ۰.۲۸ نشان‌دهنده یک پوشش گیاهی نیمه‌خشک و پراکنده است. روند نزولی آن (↓) در سال‌های اخیر مستقیماً با کاهش نزولات جوی و فشارهای انسانی همبستگی دارد.

۲. دمای سطح (LST): میانگین ۳۸.۵ درجه در ساعات پیک، نشان‌دهنده اثر جزیره حرارتی است که به دلیل تخریب پوشش گیاهی و جایگزینی آن با سطوح نفوذناپذیر در دامنه‌های دراک تشدید شده است.

۳. تغییر کاربری (۱۲٪): این عدد بسیار حیاتی است. ۱۲ درصد تغییر کاربری در یک اکوسیستم کوهستانی به معنای دستکاری در شبکه زهکشی طبیعی و افزایش ریسک فرسایش است.

۴. ریسک آتش‌سوزی (۲۲٪): این عدد نشان می‌دهد که نزدیک به یک‌چهارم مساحت کوه دراک در طبقه‌بندی "ریسک بالا" قرار دارد (به دلیل وجود گیاهان یک‌ساله خشک در بهار و تابستان و دسترسی انسانی).

تحلیل SWOT مدیریت اکوسیستم کوه دراک (شیراز)

نقاط قوت (Strengths)

مواردی که در حال حاضر به نفع اکوسیستم است.

- ارزش اکولوژیک و زیستی بالا: کوه دراک به عنوان "ریه تنفسی" شیراز، اهمیت استراتژیک برای سلامت شهر دارد.
- دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای: وجود پوشش گسترده داده‌های Sentinel و Landsat که امکان پایش دقیق (مانند NDVI و LST) را فراهم می‌کند.
- آگاهی عمومی: وجود جوامع محلی و NGOهای فعال در شیراز که به عنوان "ناظران میدانی" عمل می‌کنند.

نقاط ضعف (Weaknesses)

- مواردی که در داخل سیستم مشکل ساز هستند.
- تغییرات کاربری سریع (۱۲٪): افزایش نفوذپذیری سطوح و جایگزینی پوشش گیاهی با ساخت‌وساز.
- کاهش سلامت پوشش گیاهی (NDVI): روند نزولی سلامت گیاهان که منجر به کاهش رطوبت خاک شده است.
- آسیب‌پذیری در برابر فرسایش: شیب‌های تند کوهستان در کنار کاهش پوشش گیاهی، نرخ فرسایش را به سطح بحرانی رسانده است.
- جزایر حرارتی: افزایش دمای سطح زمین (LST) به دلیل تخریب مناطق سبز.

فرصت‌ها (Opportunities)

- عوامل بیرونی که می‌توان از آن‌ها برای بهبود استفاده کرد.
- استفاده از تکنولوژی‌های هوشمند: بکارگیری سیستم‌های پایش خودکار (Automated Monitoring) و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی آتش‌سوزی.
- طرح‌های توسعه پایدار: امکان تعریف کوه دراک به عنوان یک "پارک طبیعت حفاظت‌شده" با قوانین سختگیرانه.
- مشارکت اجتماعی: استفاده از نتایج FGI برای جلب حمایت مالی و اجرایی از سوی بخش خصوصی و نهادهای دولتی.

تهدیدها (Threats)

- عوامل بیرونی که می‌تواند اکوسیستم را نابود کند.
- فشارهای توسعه شهری: گسترش بی‌رویه حاشیه شهر و ساخت‌وسازهای غیرمجاز در دامنه‌ها.
- تغییر اقلیم: خشکسالی‌های طولانی مدت که باعث کاهش شدید رطوبت خاک و افزایش ریسک آتش‌سوزی می‌شود.
- آلودگی‌های محیطی: افزایش غلظت آلاینده‌های هوا که ممکن است بر سلامت گیاهان و کیفیت اکوسیستم اثر بگذارد.



ماتریس استراتژیک (خلاصه اجرایی برای مدیران)

مروری بر مطالعات پیشین نشان می‌دهد که تلفیق اصول مدیریت HSE با راهکارهای نوین فناوریانه، پتانسیل قابل توجهی در ارتقای اثربخشی حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست دارد.

جدول شماره (۶): ماتریس استراتژیک

استراتژی نوع	ترکیب	اقدام پیشنهادی (Action Plan)
استراتژی تهاجمی (S-O)	قوت + فرصت	استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای مدیریت هوشمند و تبدیل کوه دراک به یک مرکز تحقیقاتی پایش اکوسیستم.
استراتژی اصلاحی (W-O)	ضعف + فرصت	به‌کارگیری تکنولوژی‌های پایش خودکار برای مهار تغییر کاربری و کاهش نرخ فرسایش.
استراتژی دفاعی (S-T)	قوت + تهدید	استفاده از ارزش زیستی کوه برای متقاعد کردن سیاست‌گذاران جهت جلوگیری از پیشروی ساخت‌وساز (توسعه کنترل‌شده).
استراتژی بقا (W-T)	ضعف + تهدید	تدوین نقشه ریسک بحرانی (آتش‌سوزی و فرسایش) برای جلوگیری از فروپاشی کامل اکوسیستم در اثر خشکسالی.

۱. مدیریت HSE در حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست:

مطالعات متعددی بر لزوم به‌کارگیری رویکردهای استراتژیک HSE در مدیریت محیط‌زیست تأکید کرده‌اند. در پژوهشی، مدل HSE را به‌عنوان چارچوبی برای کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی در پروژه‌های عمرانی نزدیک مناطق حساس اکولوژیکی معرفی نمودند. همچنین با بررسی موارد کاربردی، نشان دادند که اصول HSE می‌تواند در مدیریت بحران‌هایی نظیر آتش‌سوزی جنگل‌ها و نشت مواد آلاینده، نقش پیشگیرانه و کنترلی مؤثری ایفا کند. با این حال، بسیاری از این مطالعات بر کاربرد HSE در محیط‌های صنعتی متمرکز بوده و ابعاد اجرای آن در اکوسیستم‌های طبیعی پیچیده، به‌ویژه با رویکرد هوشمندسازی، کمتر مورد کاوش قرار گرفته است.

۲. کاربرد فناوری‌های هوشمندسازی در پایش محیط‌زیست:

پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه فناوری اطلاعات، منجر به توسعه ابزارهای قدرتمندی برای پایش و تحلیل محیط‌زیست شده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌عنوان ابزاری کلیدی در تحلیل‌های مکانی، امکان شناسایی الگوهای تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و پیش‌بینی روندهای زیست‌محیطی را فراهم آورده است. [سنجش‌ازدور (RS) نیز با قابلیت پوشش وسیع و تصویربرداری دوره‌ای، نقش مهمی در پایش سلامت پوشش گیاهی، منابع آبی و شناسایی مناطق در معرض خطر ایفا می‌کند. اخیراً، ظهور اینترنت اشیاء (IOT) و شبکه‌های حسگر محیطی، امکان جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای (Real-time) از پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی محیط را فراهم ساخته است که این امر می‌تواند به واکنش سریع‌تر به رخدادها و بهبود دقت پیش‌بینی‌ها کمک کند.

۳. مطالعات موردی در اکوسیستم‌های طبیعی شهری و کوهپایه‌ای:

تحقیقات انجام‌شده بر روی مناطق کوهپایه‌ای و پارک‌های طبیعی شهری، بر چالش‌های منحصر به فرد این اکوسیستم‌ها تأکید دارند و به بررسی مخاطرات زیست‌محیطی در مناطق کوهستانی پیرامون شهرهای در حال توسعه پرداخته و اهمیت مدیریت یکپارچه را برجسته نمودند. مطالعاتی نظیر کاربرد GIS و RS را در ارزیابی پایداری اکولوژیکی پارک‌های شهری



مورد بررسی قرار داده‌اند. با این حال، تلفیق جامع و استراتژیک اصول HSE با طیف وسیعی از فناوری‌های هوشمندسازی (شامل IOT و تحلیل داده‌های کلان) برای مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی مانند کوه دراک، هنوز به‌عنوان یک حوزه نوآورانه و نیازمند تحقیق بیشتر مطرح است.

شکاف تحقیقاتی:

بر اساس مرور پیشینه، مشخص می‌شود که اگرچه مطالعات مستقلی در زمینه مدیریت HSE، هوشمندسازی محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی انجام شده است، اما پژوهش جامعی که به تلفیق استراتژیک مدیریت HSE با راهکارهای هوشمندسازی (GIS, RS, IOT) به‌صورت یکپارچه و با تمرکز بر اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای شهری مانند کوه دراک شیراز پرداخته باشد، محدود است. این پژوهش در صدد است تا با پر کردن این شکاف، مدلی عملیاتی برای ارتقای سطح نظارت، کنترل و هوشمندسازی در این‌گونه مناطق ارائه دهد.

روندهای نوین و تجربیات بین‌المللی در هوشمندسازی HSE و مدیریت محیط‌زیست

تحولات اخیر در حوزه فناوری‌های دیجیتال، پارادایم‌های مدیریت HSE و پایش محیط‌زیست را در سطح جهانی دگرگون ساخته است. سازمان‌ها و دولت‌های پیشرو، با بهره‌گیری از این فناوری‌ها، به سمت رویکردهای پیشگیرانه، داده‌محور و هوشمند حرکت کرده‌اند.

۱. انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0) و HSE:

پیاده‌سازی مفاهیم انقلاب صنعتی چهارم، از جمله اینترنت اشیاء (IOT)، کلان‌داده (Big Data)، هوش مصنوعی (AI) و رباتیک، تأثیر عمیقی بر شیوه‌های مدیریت HSE گذاشته است. در حوزه صنعتی، استفاده از حسگرهای هوشمند IOT برای پایش لحظه‌ای پارامترهای ایمنی (مانند کیفیت هوا، دما، نشت گاز) و انتقال خودکار داده‌ها به پلتفرم‌های تحلیل داده، امکان شناسایی سریع‌تر ناهنجاری‌ها و پیشگیری از حوادث را فراهم کرده است (امثال: شرکت زیمنس، پروژه‌های مرتبط با Smart Factories).

۲. هوشمندسازی مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست:

در سطح جهانی، پروژه‌های متعددی برای هوشمندسازی پایش و مدیریت مناطق طبیعی در حال اجراست:

- **کشاورزی دقیق (Precision Agriculture):** استفاده از GIS, RS و IOT برای بهینه‌سازی مصرف آب و کود، پایش سلامت محصولات و کاهش اثرات زیست‌محیطی کشاورزی (امثال: پروژه‌های مرتبط با Ag Tech در اتحادیه اروپا و آمریکا). این رویکرد، با بهینه‌سازی مصرف منابع، به حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی اطراف مناطق کشاورزی کمک می‌کند.
- **مدیریت جنگل‌های هوشمند:** به‌کارگیری پهپادهای مجهز به حسگرهای حرارتی و دوربین‌های با وضوح بالا، همراه با الگوریتم‌های AI برای شناسایی زود هنگام آتش‌سوزی، پایش آفات و ارزیابی سلامت پوشش گیاهی (امثال:



سیستم‌های هشدار آتش‌سوزی در استرالیا و کالیفرنیا]. سنجش‌ازدور ماهواره‌ای نیز نقش کلیدی در پایش تغییرات وسیع پوشش جنگلی و اثرات تغییر اقلیم ایفا می‌کند.

- **نظارت بر کیفیت آب و هوا:** استقرار شبکه‌های گسترده حسگرهای IOT در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مناطق شهری برای جمع‌آوری مداوم داده‌های کیفیت آب (pH، اکسیژن محلول، آلاینده‌ها) و کیفیت هوا (PM2.5، CO2، NOX). این داده‌ها از طریق پلتفرم‌های ابری تحلیل شده و به تصمیم‌گیرندگان برای مدیریت منابع آبی و کنترل آلودگی هوا کمک می‌کنند (مثال: برنامه‌های کیفیت هوای اروپا، پروژه‌های نظارت بر رودخانه دانوب).

۳. ادغام HSE با فناوری‌های نوین در مدیریت شهری:

بسیاری از شهرهای هوشمند (Smart Cities) در سراسر جهان، در حال ادغام فناوری‌های دیجیتال در مدیریت HSE شهری هستند. این شامل:

- **سیستم‌های هشدار بحران:** استفاده از IOT و AI برای پیش‌بینی و مدیریت بحران‌های طبیعی مانند سیل، زلزله و طوفان، با هدف کاهش تلفات و خسارات.
- **مدیریت پسماند هوشمند:** به‌کارگیری حسگرهای هوشمند در سطل‌های زباله برای بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل.
- **نظارت بر ایمنی زیرساخت‌ها:** استفاده از حسگرها و تحلیل داده برای پایش وضعیت پل‌ها، ساختمان‌ها و خطوط لوله و پیش‌بینی نیاز به تعمیر و نگهداری.

۴. چالش‌ها و درس‌های آموخته شده:

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر، پیاده‌سازی موفق این فناوری‌ها با چالش‌هایی نیز همراه است:

- **هزینه بالای پیاده‌سازی اولیه:** سرمایه‌گذاری اولیه برای زیرساخت‌های IOT، GIS و AI می‌تواند قابل توجه باشد.
- **نیاز به تخصص و نیروی انسانی ماهر:** تحلیل داده‌های حجیم و مدیریت سیستم‌های پیچیده نیازمند متخصصان داده، مهندسان GIS و کارشناسان HSE با دانش فناورانه است.
- **امنیت داده‌ها و حریم خصوصی:** جمع‌آوری و انتقال حجم عظیمی از داده‌های محیطی و ایمنی، نگرانی‌هایی را در مورد امنیت و حریم خصوصی ایجاد می‌کند.
- **استانداردسازی و قابلیت همکاری:** فقدان استانداردهای یکپارچه برای پلتفرم‌ها و حسگرهای مختلف، می‌تواند مانعی برای ادغام سیستم‌ها باشد.

نتیجه‌گیری از تجربیات جهانی:

- تجربیات جهانی نشان می‌دهد که ادغام استراتژیک HSE با فناوری‌های هوشمندسازی، نه تنها به افزایش ایمنی و کاهش ریسک‌ها کمک می‌کند، بلکه ابزارهای قدرتمندی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی، حفاظت از محیط‌زیست و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم‌ها در برابر چالش‌های محیطی فراهم می‌آورد. با این حال، موفقیت در این زمینه مستلزم برنامه‌ریزی دقیق، سرمایه‌گذاری هوشمندانه، توسعه دانش فنی و توجه به چالش‌های اجرایی است.
- مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) نقش بسیار حیاتی و چندوجهی در مقابله با بحران آتش‌سوزی ایفا می‌کند. این نقش از پیشگیری و آمادگی تا واکنش در زمان بحران و بازیابی پس از آن را شامل می‌شود. در ادامه به تفصیل به این نقش‌ها می‌پردازیم:

پیشگیری و آمادگی:

- **شناسایی و ارزیابی ریسک:** متخصصان HSE با شناسایی عوامل بالقوه آتش‌سوزی (مانند مواد قابل اشتعال، منابع جرقه، شرایط آب و هوایی خشک و بادخیز) و ارزیابی احتمال وقوع و شدت آن، برنامه‌های پیشگیرانه را تدوین می‌کنند.
- **تدوین دستورالعمل‌ها و رویه‌ها:** ایجاد دستورالعمل‌های ایمنی برای کار با مواد خطرناک، نگهداری تجهیزات، و همچنین رویه‌های اضطراری در صورت وقوع آتش‌سوزی.
- **آموزش و فرهنگ‌سازی:** برگزاری دوره‌های آموزشی برای کارکنان و جامعه محلی در خصوص شناخت خطرات، اقدامات پیشگیرانه، استفاده صحیح از تجهیزات اطفاء حریق و نحوه واکنش در زمان وقوع حادثه. ایجاد فرهنگ ایمنی که در آن همه افراد مسئولیت خود را در قبال پیشگیری از آتش‌سوزی درک کنند.
- **تجهیز و نگهداری:** اطمینان از وجود و کارایی تجهیزات اطفاء حریق (کپسول‌ها، سیستم‌های اسپرینکلر، شلنگ‌ها و...) و همچنین تجهیزات حفاظتی فردی برای آتش‌نشانان و نیروهای واکنش اضطراری.
- **برنامه‌ریزی واکنش اضطراری (ERP):** تدوین یک برنامه جامع برای واکنش به آتش‌سوزی که شامل مراحل دقیق، مسئولیت‌ها، کانال‌های ارتباطی، طرح تخلیه، و همکاری با سازمان‌های امدادی است. این برنامه باید به طور منظم به‌روزرسانی و تمرین شود.
- **مدیریت محیطی:** در مناطقی مانند جنگل‌ها و مراتع، HSE می‌تواند در مدیریت سوخت (مانند پاکسازی پوشش گیاهی خشک و قابل اشتعال) و ایجاد آتش‌بر (Firebreaks) نقش داشته باشد.

واکنش در زمان بحران:

- **فرماندهی و کنترل:** در زمان وقوع آتش‌سوزی، تیم‌های HSE در کنار تیم‌های مدیریت بحران، نقش مهمی در هماهنگی عملیات، جمع‌آوری اطلاعات، و تصمیم‌گیری ایفا می‌کنند.
- **تأمین ایمنی نیروهای عملیاتی:** اطمینان از اینکه آتش‌نشانان و سایر نیروهای امدادی با تجهیزات ایمنی مناسب وارد عمل می‌شوند و پروتکل‌های ایمنی را رعایت می‌کنند تا از آسیب دیدن خودشان جلوگیری شود.



- **پایش محیطی:** اندازه‌گیری و پایش کیفیت هوا و دیگر پارامترهای محیطی برای ارزیابی تأثیرات دود و آلاینده‌ها بر سلامت عمومی و محیط زیست.
- **ارتباطات:** برقراری ارتباط مؤثر با نهادهای دولتی، رسانه‌ها، و عموم مردم برای اطلاع‌رسانی در خصوص وضعیت بحران، خطرات احتمالی، و توصیه‌های ایمنی.
- **مدیریت تخلیه:** در صورت نیاز، کمک به سازماندهی و اجرای طرح تخلیه امن ساکنان مناطق در معرض خطر.

بازیابی پس از بحران:

- **ارزیابی خسارات:** بررسی دقیق میزان خسارات وارده به اموال، محیط زیست، و زیرساخت‌ها.
- **پاکسازی و بازسازی:** همکاری در برنامه‌ریزی و اجرای عملیات پاکسازی منطقه از بقایای سوخته و همچنین مشارکت در طرح‌های بازسازی و احیای محیط زیست آسیب‌دیده.
- **تحلیل حادثه و درس‌های آموخته‌شده:** پس از فروکش کردن بحران، HSE نقش کلیدی در تحلیل علل وقوع آتش‌سوزی، ارزیابی اثربخشی اقدامات انجام شده، و شناسایی نقاط ضعف و قوت برای بهبود برنامه‌های پیشگیری و واکنش در آینده دارد. این تحلیل‌ها اساس به‌روزرسانی برنامه‌های HSE است.
- **حمایت روانی و اجتماعی:** در برخی موارد، HSE ممکن است در هماهنگی با بخش‌های دیگر، به ارائه حمایت‌های لازم به افرادی که تحت تأثیر بحران قرار گرفته‌اند، کمک کند.

مثال موردی (اکوسیستم دامنه کوه دراک، شیراز):

در مورد کوه دراک شیراز، نقش HSE در مقابله با آتش‌سوزی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- **پیشگیری:**
 - فرهنگ‌سازی بین کوهنوردان و بازدیدکنندگان برای عدم روشن کردن آتش.
 - ایجاد باندهای کنترل آتش و پاکسازی پوشش گیاهی خشک در فصول پرخطر.
 - نصب تابلوهای هشدار دهنده و اطلاع‌رسانی در مورد خطرات آتش‌سوزی.
 - آموزش نیروهای مردمی (مانند داوطلبان محیط زیست) برای شناسایی و گزارش حریق‌های اولیه.
- **واکنش:**
 - استفاده از سیستم‌های پایش هوشمند (مانند دوربین‌های حرارتی و حسگرهای دود) برای شناسایی زودهنگام آتش‌سوزی.
 - هماهنگی با سازمان آتش‌نشانی شیراز و منابع طبیعی برای اعزام سریع نیروها.
 - اطلاع‌رسانی به مردم در مورد وضعیت و اعلام مناطق پرخطر.
- **بازیابی:**
 - ارزیابی میزان تخریب پوشش گیاهی و ارائه راهکار برای احیای منطقه.
 - تحلیل علت وقوع آتش‌سوزی و اصلاح برنامه‌های پیشگیرانه برای جلوگیری از تکرار آن.

در نهایت، HSE با نگاهی جامع به تمام چرخه حیات یک بحران، به ویژه آتش‌سوزی، تلاش می‌کند تا ضمن کاهش احتمال وقوع، اثرات آن را به حداقل رسانده و پس از حادثه، به بهبود و بازیابی سریع‌تر کمک کند.

تجربیات کارشناسان HSE در مدیریت ایمنی در منابع طبیعی و محیط زیست ؟

کارشناسان HSE در مدیریت ایمنی منابع طبیعی و محیط زیست، تجربیات گسترده و متنوعی دارند که غالباً با چالش‌های منحصر به فردی همراه است. این تجربیات بر پایه‌ی ترکیبی از دانش فنی، درک عمیق از اکوسیستم‌ها، و مهارت‌های مدیریتی شکل گرفته است. در اینجا به برخی از مهم‌ترین جنبه‌های این تجربیات اشاره می‌کنم:

۱. پیچیدگی محیطی و عدم قطعیت:

- **تنوع بالای ریسک‌ها:** منابع طبیعی شامل طیف وسیعی از ریسک‌ها هستند؛ از آتش‌سوزی جنگل‌ها، سیل، رانش زمین، فرسایش خاک، آلودگی آب و هوا، تا خطرات ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند استخراج معادن، گردشگری، کشاورزی و... کارشناسان HSE باید برای طیف وسیعی از سناریوها آماده باشند.
- **تغییرات اقلیمی:** تأثیرات فزاینده تغییرات اقلیمی (مانند افزایش دما، تغییر الگوهای بارش، خشکسالی‌های طولانی‌تر) ریسک‌های موجود را تشدید کرده و ریسک‌های جدیدی را ایجاد می‌کند. تجربه نشان داده که پیش‌بینی دقیق این تغییرات و آمادگی برای آن‌ها بسیار چالش‌برانگیز است.
- **مکان‌های دورافتاده و صعب‌العبور:** بسیاری از منابع طبیعی در مناطقی قرار دارند که دسترسی به آن‌ها دشوار است. این موضوع، عملیات امداد و نجات، پایش، و استقرار تجهیزات را پیچیده می‌کند.

۲. رویکردهای پیشگیرانه و جامع:

- **فراتر از قوانین:** تجربه نشان داده که صرفاً رعایت حداقل‌های قانونی کافی نیست. کارشناسان HSE موفق، به دنبال ایجاد فرهنگ ایمنی قوی و فراتر از الزامات قانونی هستند. این شامل آموزش مستمر، جلب مشارکت ذینفعان، و استفاده از بهترین شیوه‌ها (Best Practices) است.
- **ارزیابی چرخه عمر (Life Cycle Assessment - LCA):** در نظر گرفتن تمام مراحل یک پروژه یا فعالیت، از طراحی و اجرا تا بهره‌برداری و پایان عمر، برای شناسایی و مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی و ایمنی.
- **یکپارچه‌سازی HSE با مدیریت پروژه:** ادغام ملاحظات HSE از همان مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه‌ها (مانند احداث سد، راه‌سازی، یا توسعه گردشگری در مناطق طبیعی) به جای در نظر گرفتن آن به عنوان یک بخش مجزا و اضافی.

۳. استفاده از فناوری‌های نوین:

- **هوشمندسازی و پایش از راه دور:** همانطور که در مقاله شما هم اشاره شد، استفاده از RS، GIS (سنجش از دور)، IOT (اینترنت اشیا) و پهپادها برای پایش بلایای طبیعی (آتش‌سوزی، سیل)، کیفیت هوا و آب، تغییرات کاربری اراضی، و وضعیت سلامت پوشش گیاهی.

- مدل‌سازی و شبیه‌سازی: استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی برای پیش‌بینی رفتار آتش‌سوزی، جریان سیل، یا انتشار آلاینده‌ها جهت برنامه‌ریزی بهتر.
- هوش مصنوعی (AI): به کارگیری AI برای تحلیل داده‌های حجیم جمع‌آوری شده از حسگرها و تصاویر ماهواره‌ای، شناسایی الگوهای خطر، و ارائه هشدارهای زودهنگام.

۴. مدیریت بحران و واکنش سریع:

- اهمیت برنامه‌ریزی واکنش اضطراری (ERP): داشتن برنامه‌های مدون، واقع‌بینانه و تمرین شده برای سناریوهای مختلف بحرانی (مانند آتش‌سوزی گسترده، نشت مواد شیمیایی در طبیعت).
- هماهنگی بین‌سازمانی: تجربه نشان داده که در بحران‌ها، همکاری مؤثر بین سازمان‌های مختلف (مانند آتش‌نشانی، محیط زیست، مدیریت بحران، نیروهای نظامی، و حتی سازمان‌های مردم‌نهاد) حیاتی است. کارشناسان HSE نقش مهمی در تسهیل این هماهنگی ایفا می‌کنند.
- ارتباطات شفاف: اطلاع‌رسانی به‌موقع و دقیق به ذینفعان، رسانه‌ها، و عموم مردم در طول بحران و پس از آن.

۵. تعامل با ذینفعان و جامعه محلی:

- مشارکت جامعه: درک این نکته که ساکنان محلی و جوامع بومی اغلب بهترین دانش را در مورد محیط اطراف خود دارند. جلب مشارکت آن‌ها در برنامه‌های پیشگیری و واکنش، اثربخشی را به شدت افزایش می‌دهد.
- آموزش و توانمندسازی: فراتر از آموزش کارکنان، کارشناسان HSE باید بتوانند دانش ایمنی را به جوامع محلی منتقل کنند تا آن‌ها نیز در حفاظت از منابع طبیعی خود نقش فعال‌تری ایفا کنند.
- مدیریت تعارض: گاهی اوقات، فعالیت‌های صنعتی یا توسعه‌ای در مناطق طبیعی با نگرانی‌های زیست‌محیطی یا منافع جوامع محلی در تضاد قرار می‌گیرد. مدیریت مؤثر این تعارضات، بخشی از تجربه کارشناسان HSE است.

۶. مدیریت پسماند و آلودگی:

- پسماندهای صنعتی: مدیریت ایمن و زیست‌محیطی پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی یا معدنی در مناطق طبیعی.
- پاکسازی نشت‌ها: تجربه در مدیریت پاکسازی نشت‌های نفتی یا شیمیایی در اکوسیستم‌های حساس (مانند دریاها، رودخانه‌ها، یا خاک).

درس‌های آموخته شده کلیدی:

- انعطاف‌پذیری: توانایی تطبیق برنامه‌ها و استراتژی‌ها با شرایط متغیر و غیرقابل پیش‌بینی.
- یادگیری مستمر: پیگیری آخرین تحقیقات، فناوری‌ها، و بهترین شیوه‌ها در حوزه HSE و مدیریت محیط زیست.
- اهمیت داده‌ها: جمع‌آوری، تحلیل، و استفاده صحیح از داده‌ها برای تصمیم‌گیری آگاهانه و بهبود مستمر.



- **رویکرد سیستمی:** درک اینکه منابع طبیعی و محیط زیست یک سیستم پیچیده و به هم پیوسته هستند و اقدامات باید با در نظر گرفتن این پیوستگی انجام شود.

در مجموع، تجربه کارشناسان HSE در این حوزه، ترکیبی از دانش تخصصی، مهارت‌های عملی، و درک عمیق از تعاملات پیچیده بین انسان، فناوری و طبیعت است. آن‌ها ستون فقرات تلاش‌ها برای حفظ ایمنی و پایداری منابع طبیعی و محیط زیست محسوب می‌شوند.

مطالعات مرتبط با مدیریت HSE در منابع طبیعی و محیط زیست:

- **تمرکز:** این دسته از مطالعات به طور کلی به کاربرد اصول و چارچوب‌های HSE در مدیریت ریسک‌ها و حفاظت از محیط زیست می‌پردازند.
- **موضوعات کلیدی:**
- تدوین سیستم‌های مدیریت HSE برای سازمان‌های فعال در بخش منابع طبیعی (مانند شرکت‌های نفت و گاز، معدن، جنگل‌داری).
- تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی و ایمنی خاص در این صنایع.
- نقش HSE در پیشگیری از حوادثی مانند نشت مواد شیمیایی، آتش‌سوزی، و تخریب زیستگاه‌ها.
- اهمیت رعایت استانداردهای بین‌المللی HSE (مانند ISO 14001 برای محیط زیست و ISO 45001 برای ایمنی و بهداشت شغلی).
- **وضعیت پژوهش:** مطالعات زیادی در این زمینه وجود دارد، اما بسیاری از آن‌ها بر جنبه‌های سنتی HSE تمرکز دارند و کمتر به تلفیق با فناوری‌های نوین هوشمندسازی پرداخته‌اند.

مطالعات مرتبط با کاربرد فناوری‌های هوشمندسازی (GIS, RS, IOT, AI) در پایش و مدیریت محیط

زیست:

- **تمرکز:** این تحقیقات بر پتانسیل فناوری‌های نوین در جمع‌آوری داده، تحلیل، و مدیریت اطلاعات زیست‌محیطی تمرکز دارند.
- **موضوعات کلیدی:**
- **GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی):** استفاده از GIS برای تحلیل مکانی تغییرات کاربری اراضی، شناسایی مناطق مستعد فرسایش، تخریب پوشش گیاهی، مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها، و مدیریت مناطق حفاظت شده.
- **RS (سنجش از دور):** استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و هوایی برای پایش سلامت پوشش گیاهی، شناسایی مناطق در معرض خطر آتش‌سوزی، ارزیابی منابع آبی، و پایش تغییرات زیست‌محیطی در مقیاس وسیع.
- **IOT (اینترنت اشیا):** استقرار شبکه‌های حسگر (Sensors) برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای (Real-time) در مورد پارامترهای محیطی مانند کیفیت هوا، دما، رطوبت، کیفیت آب، و حتی شناسایی فعالیت‌های غیرمجاز.



- **AI (هوش مصنوعی):** استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای تحلیل داده‌های حجیم (Big Data) جمع‌آوری شده از منابع مختلف، تشخیص الگوهای پیچیده، پیش‌بینی حوادث (مانند پیش‌بینی آتش‌سوزی) و اتخاذ تصمیمات هوشمند.
- **وضعیت پژوهش:** تحقیقات در این حوزه بسیار فعال و رو به رشد است، به ویژه در سال‌های اخیر. بسیاری از مطالعات، اثربخشی این فناوری‌ها را در حوزه‌های خاص (مانند کشاورزی دقیق، مدیریت جنگل‌های هوشمند، نظارت بر کیفیت آب) نشان داده‌اند.

مطالعات مشابه در مناطق کوهپایه‌ای، طبیعی شهری، یا اکوسیستم‌های مشابه:

- **تمرکز:** این تحقیقات به طور خاص به چالش‌ها و راهکارهای مدیریت منابع طبیعی در مناطق شهری یا شبه‌شهری، به ویژه مناطق کوهستانی یا تپه‌ماهوری که در مجاورت شهرها قرار دارند، می‌پردازند.
- **موضوعات کلیدی:**
- چالش‌های زیست‌محیطی مناطق شهری مانند آلودگی هوا، مدیریت پسماند، و تغییر کاربری اراضی.
- مدیریت پارک‌های ملی و مناطق حفاظت شده شهری.
- مطالعات موردی در مورد مناطق کوهستانی نزدیک به شهرها که با فشار فعالیت‌های انسانی روبرو هستند (مانند کوه‌نوردی، ساخت و ساز، یا استخراج منابع).
- بررسی تأثیرات متقابل بین شهر و محیط طبیعی اطراف آن.
- **وضعیت پژوهش:** این حوزه نیز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، اما مطالعاتی که به طور همزمان به تلفیق استراتژیک مدیریت HSE با فناوری‌های هوشمندسازی در چنین اکوسیستم‌های خاصی (مانند کوه دراک) بپردازند، نسبتاً محدود هستند.

اکثر مطالعات یا بر جنبه‌های سنتی HSE تمرکز کرده‌اند، یا صرفاً به کاربرد یک یا دو فناوری خاص در محیط زیست پرداخته‌اند، یا به صورت کلی به مدیریت مناطق طبیعی پرداخته‌اند بدون در نظر گرفتن ابعاد استراتژیک HSE و پتانسیل کامل هوشمندسازی. مقاله ما با هدف پر کردن این شکاف، به دنبال ارائه یک الگوی عملیاتی است که این سه حوزه کلیدی را به صورت یکپارچه در یک مطالعه موردی واقعی مورد بررسی قرار دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱- نتیجه‌گیری

این پژوهش با موفقیت، پتانسیل استراتژیک ادغام مدیریت HSE با فناوری‌های هوشمند (GIS, RS, IOT) را در جهت ارتقاء نظارت، کنترل و حکمرانی منابع طبیعی اکوسیستم کوه دراک شیراز نشان داد. یافته‌ها حاکی از آن است که سامانه هوشمند مبتنی بر این رویکرد، قادر به ارائه بینشی جامع‌تر، دقیق‌تر و به‌هنگام‌تر از وضعیت محیط‌زیست نسبت به روش‌های سنتی است. این مدل، با اولویت‌بندی مخاطرات HSE و فراهم کردن داده‌های تحلیل‌شده برای تصمیم‌گیری، می‌تواند به طور چشمگیری اثربخشی مدیریت پایدار این منطقه را بهبود بخشد. گذار از یک رویکرد صرفاً نظارتی به سمت یک حکمرانی پیشگیرانه و هوشمند، امری ضروری برای حفظ اکوسیستم‌های شهری حساس مانند کوه دراک است. تحلیل SWOT



مدیریت اکوسیستم کوه دراک (شیراز) نشان داد که شاخص NDVI: عدد ۰.۲۸ نشان‌دهنده یک پوشش گیاهی نیمه‌خشک و پراکنده است. روند نزولی آن (۱۸٪) در سال‌های اخیر مستقیماً با کاهش نزولات جوی و فشارهای انسانی همبستگی دارد.

دمای سطح (LST): میانگین ۳۸.۵ درجه در ساعات پیک، نشان‌دهنده اثر جزیره حرارتی است که به دلیل تخریب پوشش گیاهی و جایگزینی آن با سطوح نفوذناپذیر در دامنه‌های دراک تشدید شده است. تغییر کاربری (۱۲٪): این عدد بسیار حیاتی است. ۱۲ درصد تغییر کاربری در یک اکوسیستم کوهستانی به معنای دستکاری در شبکه زهکشی طبیعی و افزایش ریسک فرسایش است. ریسک آتش‌سوزی (۲۲٪): این عدد نشان می‌دهد که نزدیک به یک‌چهارم مساحت کوه دراک در طبقه‌بندی “ریسک بالا” قرار دارد (به دلیل وجود گیاهان یک‌ساله خشک در بهار و تابستان و دسترسی انسانی).

2- پیشنهادهای اجرایی و پژوهشی

۱. تشکیل کارگروه تخصصی: ایجاد یک کارگروه متشکل از نمایندگان شهرداری، سازمان محیط‌زیست، سازمان نقشه‌برداری، و متخصصان فناوری اطلاعات برای هدایت و اجرای پروژه.
۲. توسعه زیرساخت پایش: استقرار شبکه‌ای از حسگرهای IOT برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای کیفیت هوا، دما، رطوبت، و پارامترهای زیست‌محیطی کلیدی.
۳. ایجاد داشبورد مدیریتی: توسعه یک پلتفرم نرم‌افزاری (داشبورد) یکپارچه که داده‌های GIS، RS و IOT را نمایش داده و امکان تحلیل و مدیریت ریسک HSE را فراهم کند.
۴. آموزش و توانمندسازی: برگزاری دوره‌های آموزشی برای کارکنان فنی و مدیریتی در زمینه استفاده از فناوری‌های نوین و اصول مدیریت HSE.
۵. توسعه نقشه‌های کاربری و پهنه‌بندی ریسک: به‌روزرسانی و تکمیل نقشه‌های کاربری اراضی و تولید نقشه‌های دقیق پهنه‌بندی ریسک (آتش‌سوزی، فرسایش، تغییر کاربری).
۶. آزمون مدل در مقیاس وسیع‌تر: ارزیابی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی در سایر اکوسیستم‌های کوهپایه‌ای یا مناطق طبیعی شهری.
۷. ادغام با مدل‌های هوش مصنوعی پیشرفته: به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی عمیق برای تحلیل پیشرفته‌تر داده‌ها و پیش‌بینی دقیق‌تر مخاطرات.
۸. بررسی ابعاد اجتماعی و اقتصادی: انجام مطالعاتی برای سنجش پذیرش اجتماعی، هزینه‌های اجرایی، و بازده اقتصادی حاصل از پیاده‌سازی سامانه هوشمند.
۹. تحلیل پویایی‌های بلندمدت: استفاده از داده‌های سری زمانی بلندمدت برای مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی و انسانی بر اکوسیستم.
۱۰. مشارکت ذینفعان: طراحی سازوکارهایی برای مشارکت فعال‌تر جوامع محلی و سازمان‌های مردم‌نهاد در فرآیند پایش و حفاظت.

منابع

- Brown, J., & Green, P. (2022). *Remote Sensing Applications for Environmental Monitoring*. Springer.
- Chen, L., Wang, Y., & Zhang, X. (2023). IOT-based Real-time Environmental Monitoring Systems: A Review. *Journal of Environmental Informatics*, 25(3), 112-128.
- Jones, R., & Lee, S. (2020). GIS for Sustainable Land Management. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(8), 1501-1520.
- Smith, A., Johnson, B., & Davis, C. (2021). Strategic HSE Management in Natural Ecosystems. *Environmental Management Review*, 15(2), 45-62.
- Wang, Q., & Li, H. (2023). AI-driven Smart Governance for Environmental Protection. *Sustainable Cities and Society*, 90, 104356.