

## تأثیر فناوری های نوین در کشف و پیشگیری جرایم زیست محیطی

پریسا احمدی	دانشجوی کارشناسی ارشد حقوق کیفری و جرم شناسی، گروه حقوق، واحد اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
خونسارکی	دانشجوی کارشناسی ارشد حقوق کیفری و جرم شناسی، گروه حقوق، واحد اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
معصومه عباسی	استادیار، گروه حقوق، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران
اسماعیل کشکولیان (نویسنده مسئول)	

### چکیده

در عصر شتاب زده‌ای که مرز میان طبیعت و فناوری به طرز بی سابقه‌ای درهم تنیده شده، بزهکاری زیست محیطی دیگر نه فقط تهدیدی برای منابع طبیعی، بلکه چالشی برای مشروعیت تمدن بشری است. این پژوهش، با تلفیق رویکردهای پیشرفته جرم‌شناسی زیست محیطی، فلسفه تکنولوژی و داده‌محوری جنایی، مفهومی نوین با عنوان «پیشگیری فناورانه» را صورت بندی می‌کند؛ مفهومی که در آن، فناوری نه فقط ابزار کشف و کنترل جرم، بلکه بخشی از حافظه اخلاقی جامعه در مواجهه با محیط زیست تلقی می‌شود. با تحلیل انتقادی رویه‌های سنتی واکنش به جرایم محیط زیستی و بررسی قابلیت‌های نوظهور فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی اخلاق‌گرا، حسگرهای زیستی، الگوریتم‌های عدالت‌محور، اینترنت اشیا زیست محیطی، و نظام‌های بلاک‌چین مشارکت پذیر، این مقاله مدلی هوشمند و اخلاقی برای حکمرانی پیشگیرانه ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهند که تلفیق این فناوری‌ها در بطن سیاست جنایی محیط زیست، می‌تواند موجب بازتعریف مفهوم «بزه»، بازمهندسی مرزهای «عدالت» و بازسازی رابطه انسان-طبیعت شود.

در نهایت، این مقاله به جای پیشنهاد صرف ابزارها، راهبردی مفهومی برای تحول پارادایمی ارائه می‌دهد؛ راهبردی که در آن، فناوری به مثابه حافظ عدالت اکولوژیک، ضامن مشارکت بین‌نسلی و نگهبان سکوت زمین عمل می‌کند؛ گامی در جهت جرم‌زدایی زیستی، نه از طریق مجازات، که با بازاندیشی در بنیان‌های معرفتی و فناورانه بزهکاری زیست محیطی.

واژگان کلیدی: فناوری‌های نوین، پیشگیری، کشف جرایم، جرم‌شناسی محیط زیستی، هوش مصنوعی

Scientific Journal of Modern  
Jurisprudence and Law

Print ISSN: 2717- 1469  
Online ISSN: 2717 - 1477

Profile in ISC,SID, Noormags,  
Magiran, Ensani,  
GoogleScholar  
[www.jaml.ir](http://www.jaml.ir)

Year 2026, Sixth year, Issue 27

Pages 1-22

## The impact of new technologies in the detection and prevention of environmental crimes

Parisa Ahmadi Khonsaraki	Master's student in Criminal Law and Criminology, Department of Law, Isfahan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Masoumeh Abbasi	Master's student in Criminal Law and Criminology, Department of Law, Isfahan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Ismael Kashkulian (Responsible Author)	Assistant Professor, Department of Law, Islamic Azad University, Shahreza, Iran

### Abstract

In an accelerated era where the boundary between nature and technology is intertwined in an unprecedented way, environmental crime is no longer just a threat to natural resources, but also a challenge to the legitimacy of human civilization. By combining advanced approaches in environmental criminology, philosophy of technology, and data-driven criminality, this research formulates a new concept titled “technological prevention”; a concept in which technology is considered not only a tool for detecting and controlling crime, but also part of society’s moral memory in dealing with the environment. By critically analyzing traditional practices of responding to environmental crimes and examining the emerging capabilities of technologies such as ethical artificial intelligence, biosensors, justice-oriented algorithms, the environmental Internet of Things, and participatory blockchain systems, this article presents an intelligent and ethical model for preventive governance. Findings suggest that integrating these technologies into environmental criminal policy can redefine the concept of “crime,” re-engineer the boundaries of “justice,” and reconstruct the human–nature relationship.

Finally, rather than simply proposing tools, this article proposes a conceptual strategy for paradigm shift; one in which technology acts as a guardian of ecological justice, a guarantor of intergenerational participation, and a guardian of the silence of the earth; a step toward bio-decriminalization, not through punishment, but by rethinking the epistemological and technological foundations of environmental crime.

**Keywords:** New technologies, prevention, crime detection, environmental criminology, artificial intelligence .

## مقدمه

به‌عنوان ابزارهایی انقلابی در راستای کشف، نظارت و پیشگیری مؤثر از جرایم زیست‌محیطی، به یکی از مهم‌ترین راهبردهای دولت‌ها و نهادهای بین‌المللی تبدیل شده است. در مواجهه با جرایم زیست‌محیطی جامعه بین‌المللی به طور متوالی بسیاری از قوانین مربوط به پیشگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی را تدوین کرده است در بحث جرم‌شناسی اکوساید جنبه پیشگیری از جرم یکی از موضوعات مهم است جنبه پیشگیری به منظور توسعه عدالت زیست‌محیطی است بنابراین توجه به جنبه پیشگیری از رفتارهای جنایی در جرایم زیست‌محیطی به منظور حفظ محیط زیست حفظ منابع طبیعی و حفظ حمایت از حیات وحش بسیار اهمیت دارد

فناوری‌هایی چون سنجش از دور، داده‌کاوی محیطی، پهنادهای پیشگر، حسگرهای متصل به اینترنت اشیاء، سامانه‌های هشداردهی سریع، هوش مصنوعی و بلاک‌چین، امروزه در خط مقدم مقابله با تخریب محیط زیست قرار دارند (Kumar et al., 2020). محیط زیست محیطی است که فرایند حیات را فرا گرفته و شامل طبیعت محیط هول جوامع انسانی و غیر انسانی می‌شود و کل فضای زیستی کره زمین را فرا می‌گیرد (سایبانی، ع، شهبازی، ع، ۱۳۹۶). محیط زیست به‌عنوان میراث مشترک بشریت، امروزه در معرض تهدیدهای فزاینده‌ای قرار دارد و حق برخورداری از محیط زیستی سالم به‌عنوان حقی بنیادین در کنار سایر حقوق بشری چون حق حیات، آزادی فردی و مشارکت سیاسی، شناسایی شده است (Bodansky, 2010). در قوانین ایران نیز با استناد به ماده ۹ قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست، هرگونه عملی که موجب آلودگی یا تخریب محیط زیست شود، ممنوع اعلام شده و تعریف آلودگی به‌گونه‌ای است که هر تغییر در کیفیت فیزیکی یا شیمیایی آب، هوا یا خاک که برای

محیط زیست، زیربنای بنیادین حیات بشر و سایر موجودات زنده بر روی کره زمین است در دهه‌های اخیر، روند فزاینده و بی‌وقفه تخریب محیط زیست ناشی از فعالیت‌های صنعتی، رشد بی‌رویه شهرنشینی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، قاچاق زیستی، شکار غیرمجاز و آلودگی‌های گسترده آب، خاک و هوا، موجب شکل‌گیری جرایمی پیچیده، فراملی و چندوجهی شده است که تحت عنوان جرایم زیست‌محیطی شناخته می‌شوند. دسترسی به محیط زیستی سالم امروزه به مثابه یک حق بشری مانند حق حیات و آزادی فردی مشارکت سیاسی و غیره قلمداد می‌شود. تولید آلودگی و تخریب، باعث در معرض خطر قرار گرفتن محیط زیست شده است و خسارت‌های جبران‌ناپذیری را به این محیط وارد کرده است. در پی این حوادث و در کنار آن تأکید بر حق بر محیط زیست سالم باعث به وجود آمدن واکنش‌ها نسبت به این تخریب‌ها و آلودگی‌ها در جامعه بشری شده است (اکبرپور و همکاران، ۱۳۹۱).

جرایم زیست‌محیطی به‌دلیل ماهیت پنهان، تأخیر در بروز پیامدها، پراکندگی جغرافیایی و ارتباط با منافع اقتصادی و سیاسی، اغلب از دید نظام‌های کیفری پنهان مانده‌اند و پاسخ‌گویی به آن‌ها نیازمند رویکردهایی فناورمحور، پیش‌بین و هماهنگ با تحولات جهانی است. توجه به مسایل محیط زیستی در سازمان دولت به اندازه‌ای رشد یافته که امروزه به جز تعداد انگشت شماری، همه دولت‌های جهان نهاد عمومی مشخصی و مسئول امر حفاظت محیط زیست ساخته‌اند. (Abdollahi, O. and Faryadi, M., 2010). در چنین شرایطی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین

تحول آفرین در مدیریت مسائل زیست محیطی و سیاست گذاری کیفری مورد توجه قرار گرفته اند. برای تبیین علمی و مفهومی نقش این فناوری ها در کشف و پیشگیری از جرایم زیست محیطی، بررسی چارچوب های نظری مرتبط با این حوزه ضروری است. مبانی نظری این پژوهش بر چهار محور اصلی استوار است:

#### ۱-۱- نظریه های جرم شناسی زیست محیطی

رویکردهای نوین در جرم شناسی، به ویژه شاخه جرم شناسی سبز، با نگاهی انتقادی به روابط قدرت، اقتصاد و سیاست، ماهیت جرایم زیست محیطی را مورد تحلیل قرار می دهند. در این میان، نظریه هایی مانند رویکرد رادیکال (مارکسیستی)، جرایم محیط زیستی را ناشی از ساختار سرمایه داری و سودمحوری شرکت های بزرگ می دانند که در آن، منافع اقتصادی بر سلامت محیط زیست تقدم دارد. در مقابل، رویکردهای حقوق طبیعت و اکوسنتریک، بر ارزش ذاتی طبیعت و لزوم حمایت کیفری از محیط زیست به عنوان دارنده حق مستقل تأکید دارند؛ این نگاه، طبیعت را نه یک منبع قابل بهره برداری، بلکه سوژه ای دارای حق می داند که باید از آن در برابر آسیب های انسانی حمایت کیفری صورت گیرد (روزبه و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین، نظریه ناتوانی نهادی با تمرکز بر ضعف عملکرد دستگاه های اجرایی و نظارتی، یکی از عوامل اصلی گسترش جرایم زیست محیطی را در نبود کارایی نهادهای رسمی می داند.

#### ۱-۲- نظریه های پیشگیری از جرم با محوریت فناوری

در حوزه پیشگیری، نظریه هایی نظیر پیشگیری موقعیتی (Clarke, 1995) و انتخاب عقلانی (Cornish &

انسان، سایر موجودات زنده، گیاهان یا آثار فرهنگی زیان آور باشد، مصداق آلودگی محسوب می شود.

فناوری های نوین مانند هوش مصنوعی، بلاک چین و اینترنت اشیا، ظرفیت هایی منحصر به فرد برای پیشگیری و کشف به موقع جرایم زیست محیطی فراهم کرده اند. هوش مصنوعی با تحلیل کلان داده ها، امکان شناسایی سریع ناهنجاری ها را فراهم می سازد (Joppa et al, 2016). بلاک چین، با ثبت شفاف اطلاعات، از تخریب یا دستکاری داده های محیطی جلوگیری می کند (Reins, 2018)؛ و اینترنت اشیا، با پایش مستمر و هوشمند وضعیت منابع طبیعی، زمینه نظارت دائمی و دقیق را مهیا می کند (Zhou et al, 2021).

با این وجود، بهره گیری مؤثر از این فناوری ها مستلزم بازنگری در ساختارهای قانونی، تقویت ظرفیت های نظارتی، و ارتقاء دانش تخصصی در سطوح مختلف قضایی، فنی و اجرایی است. چارچوب های قانونی باید در جهت استفاده مشروع از داده های محیطی و حفظ حریم خصوصی بازطراحی شوند و نظام عدالت کیفری زیست محیطی باید با الزامات نوین فناورانه منطبق گردد. در این مقاله، تلاش می شود با نگاهی تطبیقی و تحلیلی، ضمن بررسی ظرفیت های نوین فناورانه در کشف و پیشگیری از جرایم زیست محیطی، چالش های حقوقی ناشی از آن تحلیل شده و راهکارهایی برای ارتقاء اثربخشی عدالت کیفری در این حوزه ارائه شود.

#### ۱. مبانی نظری پژوهش

فناوری های نوین همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، بلاک چین، سنسور از دور و سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در سال های اخیر به عنوان ابزارهایی مؤثر و

مرور این نظریه‌ها نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین در حوزه کشف و پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی، صرفاً ابزارمحور نیست، بلکه در بستر نظریه‌های جرم‌شناسی، پیشگیری کیفری و حکمرانی نوین معنا پیدا می‌کند. فهم عمیق این چارچوب‌های نظری، به سیاست‌گذاران و پژوهشگران کمک می‌کند تا از ظرفیت فناوری در مسیر تحقق عدالت زیست‌محیطی بهره‌برداری هدفمند نمایند.

## ۲. مفاهیم

### ۲-۱- جرایم زیست‌محیطی

جرایم زیست‌محیطی به افعالی اطلاق می‌شود که موجب تخریب یا آلودگی عناصر حیاتی طبیعت شده و در قوانین موضوعه، جرم‌انگاری شده‌اند. این جرایم اغلب فاقد بزه‌دیده فردی بوده و آثار آن‌ها متوجه عموم جامعه و نسل‌های آتی است. در نظام حقوقی ایران، علیرغم وجود مقررات متعدد مانند قانون حفاظت محیط زیست (۱۳۵۳) و قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا (۱۳۷۴)، نبود یک قانون جامع کیفری در این حوزه مشهود است. بر مبنای آنچه که گفته شد و همسو با تعریف عام مقرر شده در ماده «۲» قانون مجازات اسلامی مصوب، تبصره دوم ماده ۶۸۸ قانون تعزیرات (کتاب پنجم قانون مجازات اسلامی) مصوب ۱۳۷۵، آلودگی محیط زیست را به «... پخش یا آمیختن مواد خارجی به آب یا هوا یا خاک یا زمین به میزانی که کیفیت فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیک آن را به طوری که به حال انسان یا سایر موجودات زنده یا گیاهان یا آثار یا ابنیه مضر باشد تغییر دهد» تعریف نموده است. (کشکولیان، اسماعیل؛ بهار ۱۴۰۱) این جرایم با نقض مقررات زیست‌محیطی، نظم عمومی، حقوق نسل‌های آینده و سلامت جامعه را تهدید می‌کنند.

(Clarke; 1986) ، نقش مهمی در توضیح رفتارهای مجرمانه دارند. بر اساس این نظریات، با تغییر در شرایط فیزیکی، فناورانه و محیطی، می‌توان احتمال ارتکاب جرم را کاهش داد. فناوری‌هایی مانند سنسورهای هوشمند، دوربین‌های محیطی، تحلیل داده‌ها و اینترنت اشیا، در قالب کاهش فرصت‌ها، افزایش هزینه ارتکاب جرم و تقویت کشف، در راستای این رویکرد عمل می‌کنند.

### ۳-۱- نظریه‌های عدالت کیفری هوشمند

عدالت کیفری هوشمند به معنای استفاده از ظرفیت داده‌ها و الگوریتم‌ها برای پیش‌بینی، شناسایی و پیشگیری از جرایم است. در این چارچوب، نظریاتی مانند عدالت کیفری پیش‌نگر (Predictive Justice) و حکمرانی الگوریتمی، بر قابلیت فناوری در شناسایی الگوهای جرم و تخصیص منابع مقابله تأکید دارند. این دیدگاه امکان ایجاد سیاست‌های پیش‌نگرانه، طراحی پاسخ‌های واکنشی مؤثر و کاهش بار نظام کیفری را فراهم می‌کند.

### ۴-۱- نظریه‌های حکمرانی فناورمحور زیست‌محیطی

نظریه حکمرانی دیجیتال زیست‌محیطی، استفاده از فناوری برای ارتقاء شفافیت، پاسخ‌گویی و مشارکت در حفاظت از محیط‌زیست را تبیین می‌کند. همچنین، نظریه پایداری فناورانه (Techno-Sustainability) به تعامل میان پیشرفت‌های فناورانه و اهداف توسعه پایدار می‌پردازد. این رویکردها، زمینه‌ساز عبور از حکمرانی سنتی مبتنی بر کنترل‌های دولتی به سمت حکمرانی هوشمند و مشارکتی هستند ( لشکری‌زاده، مریم و همکار ۱۳۹۰).

## ۲-۲- فناوری‌های نوین

دور، با فراهم آوردن داده‌های فضایی با وضوح بالا، به ابزاری حیاتی برای کشف تخلفات اکولوژیکی بدل شده است. از پایش آتش‌سوزی‌ها گرفته تا تغییرات تدریجی در کاربری اراضی، همه در بایگانی خاموش اما صادق تصاویر ماهواره‌ای ثبت می‌شوند (Liu et al, 2020). اهمیت این فناوری، صرفاً در قدرت تصویربرداری نیست؛ بلکه در مشروعیت‌بخشی به شواهد در فرآیند دادرسی است. تصاویر ماهواره‌ای، برخلاف شهادت‌های انسانی، غیرقابل انکار و نسبتاً غیرقابل تحریف‌اند؛ از این‌رو، در تقویت اثبات قضایی تخریب‌های زیست‌محیطی نقش مهمی ایفا می‌کنند.

همچنین، با ترکیب این داده‌ها با مدل‌های تغییر اقلیم و فرسایش خاک، می‌توان آینده‌نگری جرم‌شناختی انجام داد. از منظر حقوقی نیز، لازم است آیین دادرسی کیفری نسبت به پذیرش اسناد دیجیتال فضایی، انعطاف بیشتری از خود نشان دهد؛ چرا که داده‌های سنجش از دور، در حال تبدیل شدن به ستون فقرات اسناد محیط‌زیستی‌اند.

در گام بعدی، پهپادها (Drones) به‌عنوان بازوی چابک نظارت میدانی وارد عمل شده‌اند. پهپادها، با امکان پرواز در مناطق صعب‌العبور و رصد شبانه‌روزی، نظارت سنتی را متحول ساخته‌اند. آن‌ها به دوربین‌های طیفی، حرارتی و حرکتی مجهز هستند و در کشف تخلفات لحظه‌ای مانند شکار غیرمجاز، آتش‌افروزی یا چرای بی‌رویه نقش ایفا می‌کنند. (Rohi et al, 2020). اما اهمیت پهپادها، صرفاً در داده‌برداری نیست، بلکه در بازتوزیع ظرفیت نظارتی بین مرکز و حاشیه است. آن‌ها عدالت را از محدوده جغرافیای قدرت (کلان‌شهرها، نهادهای مرکزی) به نقاط دورافتاده و اکوسیستم‌های آسیب‌پذیر منتقل می‌کنند.

فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی، بلاک‌چین، اینترنت اشیا و تحلیل کلان‌داده‌ها، با قدرت پردازش بالا، دقت در تحلیل و قابلیت پیش‌بینی‌پذیری، به ابزاری نوین در خدمت نظام عدالت کیفری بدل شده‌اند. این فناوری‌ها می‌توانند هم در کشف جرایم زیست‌محیطی و هم در پیشگیری از آن، نقش‌آفرین باشند.

این جرایم غالباً دارای ماهیت عمومی بوده، به همین علت برای کشف و پیشگیری این جرایم نیازمند دخالت جدی دولت، سیاست کیفری اثربخش و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در شناسایی، پیشگیری و اثبات است.

## ۳. فناوری‌های نوین در کشف جرایم زیست‌محیطی

تحولات فناورانه در قرن بیست‌ویکم افقی تازه در برابر چالش‌های سنتی کشف جرایم زیست‌محیطی گشوده‌اند. جرایمی که پیش‌تر به دلیل ماهیت پنهانی یا بُعد مکانی گسترده، از دید نهادهای نظارتی پنهان می‌ماندند، اکنون با کمک فناوری‌های نوینی همچون ماهواره‌ها، پهپادها، حسگرهای هوشمند، هوش مصنوعی، کلان‌داده‌ها و بلاک‌چین به‌گونه‌ای بی‌سابقه رصد و مستندسازی می‌شوند (Zhang et al, 2020). این دگرگونی فناورانه، نه تنها ابزارهای مقابله با بزه زیست‌محیطی را توسعه داده، بلکه بنیان نظری جرم‌شناسی محیط‌زیست را نیز دچار تحول معرفت‌شناختی کرده است؛ گویی فناوری در حال بازتعریف ماهیت "رؤیت‌پذیری" جرم است.

نخستین نمود این تحول را باید در حوزه‌ی سنجش از دور (Remote Sensing) مشاهده کرد فناوری سنجش از

پیچیده و غیرخطی جرم را ممکن سازد که پیش تر حتی برای تحلیل گران خبره نیز غیرقابل کشف بود (Zhang et al, 2020). این امر باعث شده است که تحلیل جرم‌شناسی صرفاً مبتنی بر شواهد عینی محدود نباشد، بلکه به سیستمی پیش‌بینی‌کننده و هشداردهنده تبدیل شود که پیشگیری کیفری را به سطحی نوین ارتقا می‌دهد. از منظر فلسفه علم و عدالت کیفری، کاربرد هوش مصنوعی منجر به تغییر پارادایم در مفهوم "رؤیت‌پذیری جرم" شده است؛ به‌گونه‌ای که جرم دیگر صرفاً یک واقعه پسینی نیست، بلکه فرایندی است که در طول زمان و به‌صورت پویا قابل رصد و مداخله است. این تحول باعث پدید آمدن "عدالت پیش‌نگر" می‌شود که در آن نهادهای قضایی و محیط‌زیستی می‌توانند با تحلیل‌های علمی و داده‌محور، پیش از وقوع یا گسترش جرم، اقدامات پیشگیرانه مؤثر را طراحی و اجرا کنند (Kavitha, 2024). با این حال، گسترش هوش مصنوعی در حوزه کشف جرم زیست‌محیطی چالش‌های حقوقی و اخلاقی بنیادینی را نیز به همراه دارد. در درجه اول، تضمین احترام به حریم خصوصی افراد و حفاظت از داده‌های حساس محیط زیستی ضروری است؛ چرا که جمع‌آوری، ذخیره و تحلیل گسترده داده‌ها، خطر انحراف، سوءاستفاده و نقض حقوق شهروندی را افزایش می‌دهد (UNEP, 2022). لذا، توسعه چارچوب‌های حقوقی دقیق، مبانی اخلاقی و استانداردهای فناوری اطلاعات، به‌ویژه در حوزه شفافیت الگوریتمی (Algorithmic Transparency) و مسئولیت‌پذیری هوش مصنوعی (AI Accountability)، از الزامات اجتناب‌ناپذیر است که باید مورد توجه قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران قرار گیرد.

از منظر جرم‌شناسی، پهناده‌ها را می‌توان تجسمی از "مراقبت بی‌میانجی" دانست: نظارتی که نیازمند حضور مأمور نیست، اما قدرت بازدارندگی دارد. البته، چالش‌هایی همچون تنظیم مقررات پرواز، حفظ حریم خصوصی و تهدیدات امنیتی باید به‌صورت دقیق مورد توجه قرار گیرند.

حسگرهای محیط‌زیستی که بر بستر اینترنت اشیا عمل می‌کنند، قابلیت مانیتورینگ پارامترهایی نظیر دما، رطوبت، کیفیت هوا و ترکیبات خاک را به‌صورت لحظه‌ای فراهم می‌سازند (Kavitha, 2024). داده‌های دریافتی از این حسگرها، در لحظه پردازش شده و در صورت بروز وضعیت بحرانی، هشدار صادر می‌شود. از منظر جرم‌شناختی، این تحولات به مفهوم جدیدی از «پیشگیری واکنشی» منجر شده است: نظارتی که نه تنها پیش‌بینی می‌کند، بلکه واکنش سریع قضایی را نیز ممکن می‌سازد.

از منظر حکمرانی داده، پرسش‌هایی درباره مسئولیت کیفری در صورت اختلال حسگر، اعتبار داده‌ها در دادگاه، و مالکیت داده‌های جمع‌آوری‌شده مطرح می‌شود. همچنین، لازم است استانداردهای تجهیزات، رمزنگاری اطلاعات و چارچوب‌های حقوقی مشخص برای بهره‌برداری از این داده‌ها تدوین گردد.

هوش مصنوعی به‌مثابه یکی از پیشرفته‌ترین فناوری‌های قرن بیست‌ویکم، به بازتعریف بنیان‌های جرم‌شناسی زیست‌محیطی و ساختار عدالت کیفری کمک شایانی کرده است. در سطح علمی، AI با اتکا به الگوریتم‌های یادگیری عمیق (Deep Learning)، شبکه‌های عصبی پیچیده و پردازش زبان طبیعی، توانسته است از میان حجم انبوه داده‌های چندمنبعی - از داده‌های سنجش از دور، حسگرهای اینترنت اشیا تا پایگاه‌های داده مردمی - استخراج الگوهای

مالکیت معنوی، حفاظت از داده‌ها و هماهنگی میان قوانین ملی و فراملی است (UNEP, 2022).

بلاک‌چین (Blockchain) فناوری که به‌عنوان ساختاری نوین و توزیع‌شده برای ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها، ظرفیت منحصر‌به‌فردی در ارتقای شفافیت، صحت و قابلیت اطمینان شواهد زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. در بستر بلاک‌چین، هر تراکنش یا ثبت داده‌ای به‌صورت غیرقابل‌تغییر و رمزنگاری‌شده ذخیره می‌شود که این ویژگی، امکان ایجاد دفترکل دیجیتال توزیع‌شده را فراهم می‌آورد و خطر جعل یا تغییر اطلاعات توسط افراد یا نهادهای ذی‌نفع را به‌شدت کاهش می‌دهد (Zhang et al, 2020).

از منظر جرم‌شناسی محیط زیستی، بلاک‌چین می‌تواند به‌عنوان سامانه‌ای برای تضمین "یکپارچگی داده‌های جرم" عمل کند؛ بدین معنا که شواهد زیست‌محیطی نظیر داده‌های ماهواره‌ای، گزارش‌های مردمی یا نتایج آزمایشگاهی به‌طور زنجیروار و شفاف ثبت شده و هرگونه تغییر احتمالی قابل‌رصد و ردگیری خواهد بود. این امر به نهادهای قضایی امکان می‌دهد تا با اطمینان کامل، ادله دیجیتال را در فرایندهای کیفری به‌کار گیرند و از چالش‌های ناشی از اعتبارسنجی داده‌ها عبور کنند (Liu et al, 2020). علاوه بر این، فناوری بلاک‌چین زمینه‌ساز توسعه قراردادهای هوشمند (Smart Contracts) است که می‌تواند به‌طور خودکار، اجرای قوانین و مقررات زیست‌محیطی را تضمین نماید. به‌عنوان مثال، در مدیریت منابع طبیعی، قراردادهای هوشمند می‌توانند در صورت تخطی از الگوهای مصرف مجاز یا آلودگی‌های معین، به‌طور اتوماتیک هشدار داده یا جریمه‌های مالی اعمال کنند؛ این روند باعث افزایش کارایی نظارت و

در نهایت، هوش مصنوعی نه تنها ابزاری فنی بلکه عاملی تغییر دهنده ساختار در نظام عدالت کیفری زیست‌محیطی است که به ارتقای کارآمدی، دقت و عدالت در پاسخ به تهدیدات زیست‌محیطی کمک می‌کند و افق‌های نوینی برای حفاظت پایدار از محیط زیست فراهم می‌آورد (Shao et al, 2023). به این ترتیب، هوش مصنوعی پلی است میان علوم داده، حقوق و فلسفه اخلاق، که با خلق رویکردهای آینده‌نگر و انسانی‌تر، زمینه تحقق عدالت زیست‌محیطی جامع‌تر را فراهم می‌سازد.

در کنار همه این ابزارها، فناوری بلاک‌چین نیز نقشی حیاتی در تضمین شفافیت، صحت و یکپارچگی شواهد زیست‌محیطی ایفا می‌کند. هر داده یا تراکنشی که در بستر بلاک‌چین ثبت می‌شود، غیرقابل‌تغییر و رمزنگاری‌شده است، و همین ویژگی امکان ساخت دفترکل دیجیتال توزیع‌شده‌ای را فراهم می‌آورد که احتمال جعل یا تحریف داده‌ها را به‌شدت کاهش می‌دهد (Zhang et al, 2020). این ساختار، سامانه‌ای را فراهم می‌کند که در آن شواهد زیست‌محیطی، مانند تصاویر ماهواره‌ای، گزارش‌های مردمی یا نتایج آزمایشگاهی، به‌صورت زنجیروار، شفاف و غیرقابل‌انکار ذخیره می‌شوند و قابلیت استناد بالایی در دادگاه پیدا می‌کنند (Liu et al, 2020). افزون بر آن، قراردادهای هوشمند بر بستر بلاک‌چین می‌توانند اجرای خودکار قوانین زیست‌محیطی را تضمین کنند؛ برای مثال، در صورت تخطی از حدود مجاز آلودگی یا بهره‌برداری، جریمه‌های مالی به‌طور خودکار اعمال گردد.

(Kavitha, 2024) البته بهره‌گیری از این فناوری،

نیازمند تدوین چارچوب‌های حقوقی بین‌المللی، حفظ حقوق

که نظارت صرفاً به تشخیص جرم محدود نمی‌شود بلکه به پیش‌بینی و واکنش فوری به تهدیدهای زیست‌محیطی نیز می‌انجامد (Kavitha, 2024).

از منظر علمی و جرم‌شناسی، این فناوری با ترکیب داده‌های لحظه‌ای و پردازش سریع، امکان طراحی سیستم‌های هشداردهنده هوشمند را فراهم می‌کند که می‌توانند نقش بازدارنده در وقوع جرایم محیط زیستی داشته باشند. این سیستم‌ها می‌توانند به نهادهای قضایی و اجرایی امکان دهند تا پیش از تشدید تخلفات، مداخله کنند و اقدامات پیشگیرانه به‌کار گیرند. با این حال، چالش‌های قابل توجهی نیز وجود دارد. از جمله اعتبار و پذیرش داده‌های تولیدشده توسط این حسگرها در فرایندهای قضایی که نیازمند استانداردسازی و تضمین صحت اطلاعات است. همچنین، اختلالات احتمالی در عملکرد حسگرها، آسیب‌های امنیتی و تهدیدات مربوط به حفظ حریم خصوصی، از جمله مسائل فنی و اخلاقی مهمی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. پرسش‌هایی درباره مالکیت داده‌ها و مسئولیت کیفری ناشی از نقص یا سوء‌کارکرد سیستم نیز از جمله موضوعاتی است که نیازمند چارچوب‌های حقوقی روشن است.

سامانه‌هایی چون «گزارش محیط‌بان» در ایران یا Eco-Report» در اروپا، مفهوم مشارکت مردمی را از سطح شعار به کنش واقعی تبدیل کرده‌اند. شهروندان با تلفن همراه خود، از تخلفات محیط‌زیستی عکس می‌گیرند، موقعیت مکانی را ثبت می‌کنند و مستقیماً به نهادهای ذی‌ربط گزارش می‌دهند. این فرآیند، موجب ارتقای مسئولیت کیفری جمعی و افزایش شفافیت در نظارت عمومی شده است.

کاهش دخالت انسانی می‌شود (Kavitha, 2024). از لحاظ حقوقی، بهره‌برداری از بلاک‌چین در حوزه محیط زیست نیازمند چارچوب‌های قانونی جدید و بین‌المللی است که علاوه بر تضمین امنیت داده‌ها، حقوق مالکیت معنوی و حریم خصوصی افراد را نیز حفظ کند. فقدان مقررات روشن در این حوزه، می‌تواند منجر به مشکلاتی نظیر مسئولیت حقوقی ناشناخته و یا تعارض قوانین ملی و فراملی گردد (UNEP, 2022). در نهایت، فناوری بلاک‌چین با فراهم آوردن زیرساختی امن، شفاف و غیرمتمرکز، ظرفیت بالقوه‌ای برای ارتقای عدالت زیست‌محیطی دارد که می‌تواند اعتماد عمومی و اعتبار فرآیندهای قضایی و اجرایی را افزایش دهد و به‌عنوان ستون فقرات سامانه‌های پایش و پاسخگویی هوشمند در مقابله با جرایم محیط زیستی شناخته شود (Shao et al, 2023). بلاک‌چین نمایانگر همگرایی فناوری، حقوق و مدیریت داده است که می‌تواند ضمانتی حقوقی و فنی برای تحقق عدالت و پایداری محیط زیست فراهم آورد.

حسگرهای محیط‌زیستی مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) تحول بزرگی در حوزه پایش و نظارت بر وضعیت محیط زیست ایجاد کرده‌اند. این حسگرها قادرند پارامترهای مهمی همچون دما، رطوبت، کیفیت هوا و ترکیبات خاک را به‌صورت مستمر و در زمان واقعی اندازه‌گیری و گزارش کنند. این داده‌های زنده، امکان رصد دقیق و مداوم وضعیت اکوسیستم‌ها را فراهم می‌آورد و می‌تواند تغییرات کوچک و ناگهانی در محیط را سریعاً شناسایی کند. چنین قابلیت‌هایی، تحولی در حوزه جرم‌شناسی محیط‌زیستی به‌وجود آورده و مفهوم پیشگیری واکنشی را وارد نظام نظارت کیفری کرده است؛ به این معنا

با این حال، تحقق این چشم‌انداز مستلزم طراحی دقیق سازوکارهای حقوقی، اخلاقی، زیرساختی و آموزشی است. اگر این فناوری‌ها بدون چارچوب‌های بومی شده و بسترهای قانونی اجرایی شوند، نه تنها به کارآمدی منجر نمی‌شوند، بلکه ممکن است به تضییع حقوق شهروندی، تبعیض داده‌ای، یا حتی شکست کامل پروژه‌های نظارتی بینجامند.

ضروری است که سیاست‌گذاران، دانشگاهیان، فعالان محیط‌زیست و مهندسان فناوری اطلاعات، در قالب کارگروه‌های بین‌رشته‌ای، به تدوین «نظام جامع بکارگیری فناوری در نظارت زیست‌محیطی» بپردازند. چنین نظامی باید شامل:

استانداردهای اخلاقی برای جمع‌آوری و پردازش داده؛ چارچوب‌های قانونی برای استنادپذیری داده‌ها در محاکم؛ الزامات فنی برای امنیت سایبری و عدم تحریف داده‌ها؛ پروتکل‌های بین‌نهادی برای تعامل مؤثر سازمان‌ها؛ و نهایتاً، سیاست‌های آموزشی برای ارتقاء سواد فناورانه نیروهای محیط‌زیست باشد.

در این مسیر، ایران می‌تواند از تجارب بین‌المللی بهره‌گیرد، اما باید به سمت طراحی الگویی بومی حرکت کند که با شرایط اقلیمی، ساختار نهادی، و الزامات فرهنگی کشور سازگار باشد. آینده عدالت زیست‌محیطی از آن کشورهایی خواهد بود که فناوری را نه تهدید، بلکه فرصت ساختاری برای حفاظت از حیات و سرزمین تلقی کنند.

۴. فناوری‌های نوین در پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی

تحولات فناورانه در قرن بیست‌ویکم، نه تنها ابعاد زندگی انسان را متحول ساخته‌اند، بلکه نظام‌های مقابله با جرم و انحراف را

از منظر جرم‌شناسی، این پلتفرم‌ها مصداق تام «عدالت شبکه‌ای» هستند؛ جایی که شهروند به‌مثابه ناظر، کنشگر، و حتی داده‌ساز در ساخت عدالت مشارکت دارد. طراحی این سامانه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که به حفظ امنیت داده‌ها، جلوگیری از گزارش‌های کاذب، و آموزش مسئولیت‌پذیری اجتماعی بیانجامد.

در مجموع، آنچه از تلفیق این فناوری‌ها به‌دست آمده است، ظهور عدالتی فناورانه، هوشمند و پیش‌نگر است؛ عدالتی که نه فقط به جرم واکنش نشان می‌دهد، بلکه سعی در پیش‌گیری علمی و بازدارندگی ساختاری دارد. عدالت زیست‌محیطی امروز، دیگر در دادگاه خلاصه نمی‌شود، بلکه از پهناده‌ها تا الگوریتم‌ها، از ماهواره‌ها تا شهروندان، همه در منظومه‌ای هم‌افزا، مسئولیت تضمین سلامت اکولوژیک را بر عهده دارند. این تحولات، نشانه‌ی تغییر بنیادینی در «نقشه قدرت» عدالت زیست‌محیطی نیز هستند. اگر پیش‌تر تنها نهادهای رسمی (دولت، قوه قضائیه، نیروهای اجرایی) صلاحیت اقدام داشتند، امروز فناوری‌های نوین قدرت را به سطوح جدیدی از ساختار اجتماعی انتقال داده‌اند؛ از الگوریتم‌هایی که تصمیم‌سازی را در سطح کلان ممکن می‌کنند تا شهروندانی که نقش دیده‌بان محلی دارند.

از منظر نظری، می‌توان ادعا کرد که این فناوری‌ها نه تنها ابزار، بلکه «کنشگرانی مستقل» در میدان عدالت زیست‌محیطی شده‌اند. آن‌ها داده تولید می‌کنند، تحلیل ارائه می‌دهند، هشدار صادر می‌کنند و حتی در روند اقتناع قضایی مداخله دارند. بنابراین، باید پذیرفت که در آینده‌ای نه‌چندان دور، هوش مصنوعی و زیرساخت‌های فناورانه به بخشی از ارکان فرآیند دادرسی زیست‌محیطی بدل خواهند شد.

۱-۴- مفهوم پیشگیری فناورانه در بزهکاری زیست‌محیطی  
با گذار جامعه جهانی از عصر صنعتی به عصر دیجیتال و بروز بحران‌های محیط‌زیستی نوظهور، روش‌های سنتی پیشگیری از بزهکاری زیست‌محیطی دیگر کفایت لازم را ندارند. در این میان، مفهوم «پیشگیری فناورانه» یا **Technological Prevention** به‌عنوان رویکردی نوین در جرم‌شناسی زیست‌محیطی پدید آمده که تلفیقی است از علوم محیط‌زیست، فناوری‌های نوپدید و سیاست جنایی هوشمند. پیشگیری فناورانه نه تنها در پی آن است که بزه‌های محیط‌زیستی را شناسایی و کنترل کند، بلکه مهم‌تر آنکه تلاش می‌کند زمینه و فرصت ارتکاب جرم را اساساً حذف یا به‌شدت محدود سازد (Ashworth & Redmayne, 2021). در این چارچوب، فناوری نه به‌مثابه ابزار نظارت و تعقیب پسینی، بلکه به‌مثابه یک بستر پیشینی برای مهار جرم ایفای نقش می‌کند. استفاده از پهپادهای پایشگر، ماهواره‌های تصویربرداری، سنسورهای زیستی، هوش مصنوعی، داده‌کاوی محیطی، و سامانه‌های گزارش‌دهی دیجیتال از جمله مصادیق این پیشگیری فناورانه هستند.

از نگاه جرم‌شناختی، این نوع از پیشگیری در راستای پیشگیری موقعیتی قرار می‌گیرد؛ با این تفاوت که عاملیت موقعیت به‌واسطه ابزارهای فناورانه بازتعریف شده و به‌مراتب ارتقاء یافته است. برای مثال، در گذشته مأموران محیط‌بان با پایش سنتی، قادر به جلوگیری از شکار غیرمجاز در تمام مناطق جنگلی نبودند؛ اما امروزه با نصب حسگرهای مادون قرمز در نقاط حساس یا استفاده از پهپادهای دارای بینایی کامپیوتری، می‌توان وقوع جرم را حتی پیش از تحقق کامل، شناسایی و متوقف کرد.

نیز با موجی از بازتعریف وظایف و ابزارها مواجه کرده‌اند. در میان این تحولات، جرایم زیست‌محیطی به‌دلیل اثرات گسترده و گاه برگشت‌ناپذیر بر منابع طبیعی و سلامت عمومی، نیازمند بازبینی در شیوه‌های پیشگیری و مقابله هستند. پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی همواره یکی از چالش‌برانگیزترین حوزه‌های سیاست‌گذاری کيفری بوده است؛ چرا که به جای اینکه ما بگذاریم افراد با انهدام و آلودن محیط زیست مرتکب جرم شده و آنها را مجازات کنیم، بهتر است توجه اصلی خویش را مصروف پیشگیری از جرایم علیه محیط زیست نموده و ضمن اینکه افراد جامعه را از مجازات‌های مقرر مضمون می‌داریم، از همان ابتدا محیط زیست را سالم نگهداشته و از تخریب و آلودن آن جلوگیری کنید. (حیدرزاده، مظفری‌زاده س. ۲۰۱۶). این دسته از جرایم غالباً در فضاهای دور از نظارت مستقیم (مانند جنگل‌ها، دریاچه‌ها، بیابان‌ها و...) و توسط افراد یا نهادهایی با قدرت اقتصادی یا نفوذ سیاسی انجام می‌شود. در این میان، فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، سنجش از دور، بلاک‌چین، اینترنت اشیا، زیست‌فناوری مولکولی و داده‌کاوی پیشرفته، می‌توانند به عنوان بازوان اجرایی قدرت پیشگیری از جرم زیست‌محیطی به‌کار گرفته شوند؛ چرا که قابلیت کشف به‌موقع تهدیدات، ایجاد بازدارندگی فناورانه و مشارکت‌پذیرسازی جامعه را دارند.

در این مقاله، تلاش می‌شود با نگاهی جامع و علمی، نقش فناوری‌های نوین در حوزه پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی بررسی گردد. ضمن پرداختن به کاربردهای عملی این فناوری‌ها، چالش‌های اجرایی و حقوقی نیز مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا زمینه‌ای برای طراحی یک نظام نوین پیشگیرانه در ایران فراهم شود.

پیشگیری تبدیل می‌شوند. از دید نگارنده، این مشارکت، نوعی بازتوزیع قدرت از دولت به مردم است؛ چرا که فناوری امکان می‌دهد مردم به صورت آنی، تخلفات زیست‌محیطی را مستند کرده و در اختیار نهادهای مربوطه قرار دهند. چنین فرآیندی نه تنها کارآمدی سیاست جنایی زیست‌محیطی را ارتقاء می‌بخشد، بلکه به دموکراتیزه شدن نظارت زیست‌محیطی نیز می‌انجامد.

با این حال، باید توجه داشت از آن چه گذشت، به روشنی می‌توان دریافت که پیشگیری فناورانه، نه تنها یک رویکرد نظری، بلکه ضرورتی عملی در سیاست جنایی زیست‌محیطی معاصر است. اکنون این پرسش بنیادین پیش روست: فناوری‌های نوین، دقیقاً چگونه و با چه سازوکارهایی در خدمت پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی قرار می‌گیرند؟ برای پاسخ به این پرسش، باید به تفصیل کارکردها و ظرفیت‌های هر یک از فناوری‌های نوین را بررسی نمود؛ چرا که تحلیل مصداقی این ابزارها، ما را از کلی‌گویی به سوی راه‌حل‌های عملی و بومی‌شده رهنمون خواهد ساخت.

۲-۴- فناوری‌های نوین و کارکرد آن‌ها در پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی

پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی در عصر حاضر دیگر امری صرفاً انسانی یا مبتنی بر اقدامات سنتی و واکنشی نیست، بلکه به یکی از پیچیده‌ترین عرصه‌های تقاطع میان فناوری پیشرفته و سیاست‌گذاری عمومی تبدیل شده است. جهان امروز، در مواجهه با تهدیدات گسترده زیست‌محیطی، به ابزارهایی نیاز دارد که بتوانند هم‌زمان چندین هدف را محقق کنند: پیش‌بینی دقیق، نظارت دائمی، پاسخ سریع، و شفافیت کامل در فرآیندها. در این میان، فناوری‌های نوینی چون هوش

در این نقطه، تحلیل نگارنده بر آن است که فناوری صرفاً نقش ابزار نداشته و به یک فاعل کنشگر مستقل در سازوکارهای پیشگیرانه بدل شده است؛ فاعلی که هم داده تولید می‌کند، هم تحلیل می‌نماید، و هم هشدار می‌دهد. چنین کنشی، واجد بعدی شناختی و استراتژیک است؛ چرا که جرم را به زبان داده‌ها ترجمه می‌کند و این امر، نظام عدالت کیفری را از رخدادمحوری به آینده‌محوری سوق می‌دهد.

برای نمونه، الگوریتم‌های یادگیری ماشین (Machine Learning) می‌توانند با تحلیل داده‌های تاریخی مربوط به کیفیت آب، سطح آلاینده‌ها، و رفتارهای صنعتی، مناطقی را که در معرض بزه زیست‌محیطی هستند پیش‌بینی کنند. در این نقطه، فناوری، فراتر از کشف، به «پیش‌بینی جرم» می‌پردازد؛ آن‌گونه که انگار عدالت کیفری، پیش از ارتکاب جرم، در صحنه حاضر می‌شود.

از دیگر ابعاد اساسی این مفهوم، پیشگیری ساختاری فناورانه است. این نوع پیشگیری نه با تمرکز بر رفتار مجرم، بلکه با بازسازی سازوکارهای قانونی و نهادی صورت می‌پذیرد. فناوری‌هایی همچون بلاک‌چین می‌توانند در روند صدور مجوزهای زیست‌محیطی و رصد پروژه‌های صنعتی، شفافیت و غیرقابل تحریف بودن را تضمین نمایند. پیشگیری فناورانه در لایه ساختاری، موجب بازمهندسی حکمرانی زیست‌محیطی می‌شود؛ و این تحول، یکی از ارزشمندترین ارمان‌های فناوری برای عدالت محیطی است.

افزون‌براین، مفهوم پیشگیری مشارکتی فناورانه نیز باید مدنظر قرار گیرد. در این شکل از پیشگیری، شهروندان به واسطه اپلیکیشن‌های تلفن همراه، سامانه‌های آنلاین گزارش‌دهی، و پایگاه‌های مشارکتی، به بخشی از فرایند

شهرنشینی و شهروندان هوشمند سرعت می بخشد. (عبدالهیان دهکردی و همکاران ۱۴۰۲). (IoT) با شبکه‌ای از حسگرهای هوشمند، به‌ویژه در مراکز صنعتی، کشاورزی و شهری، اطلاعاتی لحظه‌ای درباره کیفیت هوا، دما، رطوبت، و انتشار آلاینده‌ها فراهم می‌سازد. اهمیت این ابزار در آن است که برخلاف روش‌های سنتی نظارت، فرآیند ثبت، ارسال و تحلیل داده‌ها در آن خودکار و بدون دخالت انسانی است؛ بدین معنا که مداخله‌پذیری، خطای انسانی، و تأخیر در واکنش، به حداقل می‌رسد. حسگرهای نصب‌شده در کارخانه‌ها که نشتی گازهای سمی را در لحظه شناسایی و به سامانه‌های هشدار متصل می‌کنند، نمونه‌ای از این تحول فناورانه در خدمت پیشگیری از فجایع زیست‌محیطی است. در تحلیل انتقادی این فناوری باید تأکید کرد که مهم‌ترین مزیت آن، تبدیل هر منبع بالقوه خطر به نقطه‌ای شفاف و قابل ردیابی در شبکه پایش محیطی است؛ گامی انقلابی که مفهوم "پیشگیری وضعی" را در قالبی کاملاً فناورانه بازتعریف می‌کند.

هوش مصنوعی می‌تواند برای تجزیه و تحلیل پیچیده و ردیابی پیشرفت اهداف پیشگیری از آلودگی یا کاهش زیانه، مانند موارد مربوط به کیفیت هوا یا ردیابی کربن شرکتها مورد استفاده قرار گیرد. از این رو، هوش مصنوعی با رویکرد کاهش مصرف انرژی می‌تواند به پایداری محیط زیست کمک نماید. همچنین می‌تواند الگوهای مصرف انرژی را مطالعه کند و بینشی در مورد کاهش و بهبود مصرف ارائه دهد. (طیبه و همکاران ۱۴۰۲) هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین نیز جایگاهی بنیادین در ساختار جدید پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی یافته‌اند. این فناوری‌ها، با تحلیل انبوهی از داده‌های تاریخی، مکانی، و رفتاری، قادر به شناسایی الگوهای

مصنوعی، اینترنت اشیا، سنجش از دور، بلاک‌چین، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، و تحلیل کلان‌داده‌ها نه تنها ابزارهایی تکنولوژیک، بلکه به‌مثابه موتورهای تحول در سیاست جنایی سبز شناخته می‌شوند؛ زیرا فراتر از کنترل، قابلیت بازدارندگی، مشارکت‌سازی عمومی، و حتی عدالت‌زیستی را تسهیل می‌کنند.

نخستین فناوری مؤثر در این میان، سنجش از دور (Remote Sensing) است که از طریق تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های حرارتی و طیفی، امکان مشاهده و تحلیل گسترده‌ای از تغییرات زیست‌محیطی را فراهم کرده است. به‌طور مثال، جنگل‌زدایی تدریجی، تخریب زیستگاه‌ها، نشت آلاینده‌های نفتی، یا دفن غیرقانونی پسماندها از طریق ترکیب سنجش از دور با GIS نه تنها شناسایی می‌شوند، بلکه در قالب نقشه‌های تعاملی، به تصمیم‌گیران این امکان را می‌دهند که پیش از وقوع بحران، اقدامات پیشگیرانه و هدفمند انجام دهند (Li, Fu, Yu, Cracknell, & Gong, 2017).

نکته کلیدی در تحلیل این فناوری آن است که کارکرد آن صرفاً نظارتی نیست، بلکه نقش آن در پیش‌نگری و درک روندهای مجرمانه زیست‌محیطی، عمق راهبردی خاصی به سیاست‌های پیشگیرانه می‌بخشد.

در گام بعدی در اینترنت اشیا پایه و اساس کار کلی به این صورت است که تکنولوژی و دستگاه‌های حاوی سنسور به مانیتور کردن تأثیرات محیطی بر روی شهرها، جمع‌آوری اطلاعات درباره منابع طبیعی مانند آب و هوا، مدیریت پسماندها و... کمک می‌کنند. این راهکارها منجر به تبدیل عناصر سنتی به نوع پیشرفته و هوشمند شده و به فرایند

به دلیل کمبود بودجه و نیروی محیط بان، توان مقابله با این روند تخریبی را ندارند. در این شرایط استفاده از فناوری های نوین هوایی همچون پهپاد می تواند به عنوان بازوی یاری رسان محیط زیست و منابع طبیعی عمل کرده و این ارگان ها را در بحث نظارت و پایش کمک کند (توکلی، حمید، ۱۳۹۷). پهپادها و پرنده های بدون سرنشین با بهره گیری از تصویربرداری مادون قرمز، توانایی شناسایی تحرکات مشکوک، نشت نفت، یا آتش سوزی های پنهان را در شب دارند. این ابزارها، به ویژه در مناطق صعب العبور، نه تنها جایگزین مناسبی برای گشت های انسانی اند، بلکه با کاهش هزینه ها و افزایش دامنه نظارت، راهبردهای محیط بانان را از سطح واکنشی به سطح هوشمند ارتقاء داده اند.

**(GIS)** یا سامانه اطلاعات جغرافیایی نیز در لایه بندی داده ها و شناسایی مناطق جرم خیز نقشی بی بدیل دارد. این سامانه با تلفیق داده های مختلف، الگوهای جرم را آشکار می سازد و به سیاست گذاران این فرصت را می دهد که در نقاط بحرانی، پیشگیری هدفمند، مثل اعمال محدودیت در کاربری زمین، یا افزایش نیروهای نظارتی را اعمال کنند در این تحلیل باید گفت **GIS** به جای پاسخ به سؤال «چه اتفاقی افتاد؟»، پاسخ روشنی به سؤال «کجا و چرا باید اقدام کنیم؟» می دهد و این دگرگونی، نقش آن را در پیشگیری راهبردی تثبیت می کند.

در نهایت، تحلیل داده های رسانه های اجتماعی و داده کاوی از طریق سامانه های کلان داده (**Big Data Analytics**) بعد مشارکتی و مردم نهاد پیشگیری را تقویت می کند.

گزارش های مردمی، تصاویر تلفن همراه، یا توییت های مرتبط با تخلفات زیست محیطی، هر یک می توانند به منبعی حیاتی برای هشدارهای اولیه تبدیل شوند. در واقع، فناوری، نقش

پنهانی هستند که ممکن است برای چشم انسان قابل تشخیص نباشد. الگوریتم های یادگیری عمیق می توانند رفتارهایی چون بهره برداری غیرمجاز از معادن، ورودهای غیرقانونی به مناطق حفاظت شده، یا حتی ماهی گیری شبانه غیرمجاز را از طریق تحلیل الگوهای مصرف انرژی، جابه جایی تجهیزات، یا داده های حمل و نقل شناسایی کنند. در آینده ای نه چندان دور، هوش مصنوعی نه فقط به ابزاری برای تحلیل، بلکه به نهاد مجری اولیه قانون در عرصه جرایم زیست محیطی بدل خواهد شد؛ چراکه توانایی پیش بینی و پیشنهاد راهکارهای واکنشی، وجهی شبه حاکمیتی به آن بخشیده است.

بلاک چین که پس از اینترنت به عنوان مهم ترین توسعه فناوری در محفل فناوری وارد زندگی ما می شود، با ظرفیت کاربردی گسترده خود، توجه ها را به خود جلب می کند. (نوری دوآبی، پیام، ۱۴۰۱).

بلاک چین، با سازوکار غیرقابل تغییر خود، شفافیت و اعتماد را به طور بی سابقه ای در نظام نظارتی زیست محیطی وارد کرده است (صباغی رستمی و همکار، ۱۴۰۲). به عنوان مثال، در صنایع معدنی، استفاده از بلاک چین برای ثبت زنجیره تأمین از استخراج تا صادرات، امکان جعل مجوز، کم اظهاری، یا قاچاق منابع طبیعی را تقریباً ناممکن می سازد. تحلیل عملکرد بلاک چین از این جهت مهم است که نشان می دهد پیشگیری تنها در عرصه فیزیکی و محیطی نیست، بلکه در عرصه داده ای، قانونی و اقتصادی نیز باید رخ دهد. این فناوری، نظام حسابرسی زیست محیطی را به مراتب سخت گیرانه تر و هوشمندتر می سازد.

انواع تهدیدات انسانی و طبیعی درحالی عرصه های ملی و طبیعی کشور را نشانه گرفته است که نهادهای متولی مربوطه

نجات طبیعت بهره می‌برند. پدیده جهانی شدن و حرکت تندتر به سمت دهکده جهانی و ایجاد بازارهای گسترده و متنوع میتوان با ایجاد ارتباط دوسویه با رسانه ها و محیط زیست در جهت توسعه پایدار گام برداشت (دبیری فرهاد و همکار، ۱۳۵۹).

۵. چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های نوین در کشف و پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی

در عصر حاضر، استفاده از فناوری‌های نوین به عنوان ابزارهای توانمند در خدمت نظام عدالت کیفری و حفاظت محیط‌زیست مطرح شده است. فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، پهپادها (Drones)، سنسورهای زیستی، و سیستم‌های تحلیل کلان‌داده‌ها (Big Data Analytics)، توانسته‌اند تحولی شگرف در کشف و پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی ایجاد نمایند. با این حال، کاربرد مؤثر این فناوری‌ها در ایران و بسیاری از کشورهای در حال توسعه با چالش‌های متعددی مواجه است که نه تنها بهره‌برداری از ظرفیت آن‌ها را محدود می‌کند، بلکه در مواردی نیز موجب بی‌اعتمادی عمومی و حتی نقض حقوق بنیادین شهروندان می‌شود.

یکی از چالش‌های بنیادین، نبود زیرساخت‌های فناورانه کافی برای استقرار این فناوری‌هاست. بسیاری از مناطق تحت تهدید زیست‌محیطی، به‌ویژه نواحی دور دست، از پوشش اینترنتی یا شبکه‌های انتقال داده‌ای پایدار برخوردار نیستند؛

از سوی دیگر، نهادهای قضایی و ضابطین محیط‌زیست در بسیاری موارد فاقد دانش، مهارت و تجهیزات لازم برای بهره‌گیری از فناوری‌های نوین هستند. این نارسایی موجب

شهروندان را از نظاره‌گر به ناظر، و از قربانی بالقوه به کنشگر فعال ارتقاء داده است. نا آگاهی از مسائل زیست محیطی سبب شده که بسیاری از مردم و بخش قابل ملاحظه‌ای از مدیران و مسئولین اجرایی کشور با بی‌توجهی و سهل‌انگاری و به صورت سطحی و زودگذر با طبیعت و عناصر تشکیل دهنده محیط زیست برخورد کنند. (لعبت، حبیبی، اوین و همکار، ۲۰۱۶).

در جمع‌بندی، فناوری‌های نوین نه فقط ابزار، بلکه نوعی بازاندیشی در ماهیت سیاست جنایی در حوزه محیط زیست هستند. آن‌ها امکان گذار از نظارت منفعلانه به کنش فعالانه، از گزارش پس از تخلف به هشدار پیش از جرم، و از ساختارهای متمرکز به شبکه‌های توزیع‌شده و مشارکتی را فراهم ساخته‌اند. با این حال، بهره‌برداری موفق از این فناوری‌ها مستلزم رفع چالش‌هایی است: کمبود زیرساخت‌ها، نبود قوانین جامع، خلأهای حقوقی در استفاده از داده‌های خصوصی، ضعف در آموزش نیروهای تخصصی، و نیز شکاف دیجیتالی میان مناطق مختلف. بنابراین، تنها در صورتی می‌توان به اثربخشی پایدار این فناوری‌ها امیدوار بود که برنامه‌ریزی ملی، همکاری بین‌بخشی، و آموزش تخصصی، هم‌زمان و هماهنگ به پیش برده شوند.

چشم‌انداز آینده در این حوزه امیدوارکننده است؛ توسعه روزافزون فناوری‌های خودآموز، ارتقاء دقت سنسورها، هوشمندسازی منابع، و ترکیب فناوری‌های نوین با مشارکت شهروندی، همگی نویدبخش نسلی از سیاست‌های زیست‌محیطی است که نه تنها پیشگیرانه، بلکه توانمندساز، پاسخگو، و عدالت‌محور خواهند بود. بدون شک، جهان فردا متعلق به جوامعی است که امروز، هوشمندانه از فناوری برای

حفظ محیط زیست در حیطه وظایف خود است. (صفرعلی زاده، اسماعیل و همکار ۱۴۰۳). از سوی دیگر، چالش‌های حقوقی و قانونی نیز به شکل جدی مسیر بهره‌گیری از این فناوری‌ها را با محدودیت مواجه کرده‌اند. بسیاری از ابزارهای فناورانه نیازمند مجوزهای مشخص از نهادهای قضایی یا محیط‌زیستی هستند و نبود قانون‌گذاری شفاف، باعث می‌شود استفاده از آن‌ها در روند پیگرد کیفی یا پیشگیری قانونی از اعتبار ساقط شود. برای نمونه، استفاده از فناوری تشخیص چهره برای رصد متخلفین محیط‌زیستی، در غیاب قانون حمایت از داده‌های شخصی، می‌تواند به نقض حریم خصوصی منجر شود و زمینه‌ساز تعارض با حقوق شهروندی گردد (Syahputra et al, 2023).

در بسیاری از کشورها، قوانین و مقررات زیست محیطی ممکن است قدیمی یا محدود کننده باشند و نتوانند به خوبی از فناوری‌های جدید پشتیبانی کنند. همچنین در برخی موارد استفاده از فناوری‌ها ممکن است نیازمند مجوزها و موافقتنامه‌های مختلف از سازمان‌های دولتی باشد که این فرایند می‌تواند زمانبر و پیچیده باشد (موسوی ۲۰۲۳) و اینکه بسیاری از فناوری‌های نوین هزینه‌بر بوده و نیازمند سرمایه‌گذاری بلندمدت هستند. دولت‌ها و نهادهای محیط‌زیستی معمولاً با کمبود بودجه مواجه‌اند، و اولویت‌های سیاستی در حوزه‌هایی غیر از محیط زیست مانع از اختصاص بودجه کافی به این حوزه می‌شود. به‌عنوان مثال، تجهیز مناطق حفاظت‌شده به دوربین‌های حرارتی با توان تشخیص آتش‌سوزی، نیازمند میلیون‌ها دلار هزینه نگهداری و توسعه است بسیاری از کشورها و سازمان‌ها با محدودیت‌های مالی مواجه هستند که مانع از توسعه و به‌کارگیری این فناوری‌ها می‌شود. (انصاریان، مجتبی ۱۳۹۹). از منظر منابع انسانی

می‌شود که یا فناوری‌ها بلااستفاده باقی بمانند، یا خروجی آن‌ها در فرآیندهای قضایی مورد پذیرش قرار نگیرد. به‌عبارت دیگر، فناوری بدون دانش‌افزایی، نهادسازی و آموزش مستمر نمی‌تواند به ابزار مؤثر پیشگیری و کشف بدل شود.

چالش‌های فرهنگی و اجتماعی نیز در فرآیند بهره‌گیری از فناوری‌های نوین قابل چشم‌پوشی نیست. مقاومت جوامع محلی نسبت به حضور پهپادها یا نصب حسگرها در قلمروهای طبیعی یا اراضی کشاورزی، می‌تواند منجر به تخریب تجهیزات یا عدم همکاری شود. در چنین شرایطی، نبود مشارکت مردمی نه تنها اثربخشی فناوری را کاهش می‌دهد، بلکه آن را به یک تهدید اجتماعی بدل می‌سازد در بسیاری از نظام‌های حقوقی، محافظه‌کاری نهادی و عدم تمایل به پذیرش فناوری‌های نوین از جمله موانع اجرای اثربخش سیاست‌های پیشگیرانه زیست محیطی به شمار می‌رود، چراکه این فناوری‌ها اغلب مستلزم شفافیت بیشتر، پاسخگویی نهادها و تغییر در ساختارهای سنتی نظارت هستند. (میرکمالی و همکار، ۱۳۹۷). با وجود مزایای چشمگیر فناوری‌های نوین در حوزه محیط زیست، پیاده‌سازی گسترده آن‌ها با موانع و چالش‌های متعدد ساختاری، حقوقی، اقتصادی و فرهنگی روبروست. نخستین و شاید مهم‌ترین چالش، مسئله زیرساخت‌های فناوری در بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای در حال توسعه نظیر ایران است. فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی، سنجش‌ازدور (RS)، اینترنت اشیا (IoT) و تحلیل کلان‌داده‌ها (Big Data Analytics) نیازمند زیرساخت‌های قوی، شبکه‌های پایدار، و دسترسی مستمر به اینترنت پرسرعت هستند؛ عواملی که در بسیاری از مناطق جغرافیایی کشور یا وجود ندارند یا ضعیف و ناکارآمد هستند مسوول ساختن کلیه دستگاه‌های حکومتی در رابطه با

با در نظر گرفتن چالش‌های ساختاری، فنی، اقتصادی و فرهنگی پیش‌گفته، رفع موانع بهره‌گیری اثربخش از فناوری‌های نوین در مدیریت جرایم زیست‌محیطی مستلزم اتخاذ راهبردهای جامع، میان‌رشته‌ای و مبتنی بر آینده‌پژوهی است. نخستین گام در این مسیر، تقویت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات در مناطق زیست‌محیطی و حفاظت‌شده است. گسترش دسترسی به اینترنت پایدار، به‌ویژه از طریق فناوری‌های ماهواره‌ای مانند اینترنت استارلینک یا فیبرنوری روستایی، می‌تواند بستر مناسب برای کاربرد عملیاتی فناوری‌هایی چون سنسورهای بلادرنگ، اینترنت اشیاء زیست‌محیطی و پهپادهای نظارتی فراهم کند (UNEP).

(2022) از سوی دیگر، نوسازی چارچوب‌های قانونی مرتبط با حفاظت محیط زیست و داده‌محوری از جمله ضرورت‌های انکارناپذیر است. تدوین قوانین جامع برای حمایت از حریم خصوصی در حین استفاده از فناوری‌های نظارتی، مقررات شفاف در مورد استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور در پیگرد کیفی، و به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های قضایی در خصوص مشروعیت مدارک دیجیتال زیست‌محیطی، نقش مهمی در کاهش تعارضات حقوقی خواهند داشت. کشورهایی نظیر کانادا و استرالیا با تدوین منشورهای ملی حفاظت دیجیتال از محیط زیست، الگویی موفق از تنظیم‌گری فناورانه در اختیار قرار داده‌اند.

لازم است تأمین مالی پروژه‌های فناورانه از مسیرهای متنوع نظیر بودجه‌های اقلیمی بین‌المللی، صندوق‌های جهانی حفاظت محیط زیست، و سرمایه‌گذاری مشترک میان دولت و بخش خصوصی صورت گیرد. جذب منابع مالی از «صندوق محیط زیست سازمان ملل» (GEF) و نیز ایجاد مشوق‌های مالیاتی برای شرکت‌های فناور که محصولات زیست‌محیطی

نیز، ضعف در آموزش تخصصی یکی دیگر از چالش‌های اساسی است. بسیاری از محیط‌بانان و کارشناسان محیط زیست، آشنایی کافی با فناوری‌های جدید مانند پهپادهای مجهز به سنسور، سامانه‌های پیش‌بینی تخریب خاک، یا پلتفرم‌های پایش بلادرنگ آلودگی ندارند و این عدم مهارت باعث کاهش کارایی سامانه‌های نصب‌شده می‌گردد. افزون بر این، چالش‌های فرهنگی و اجتماعی در پذیرش فناوری‌های جدید نیز غیرقابل انکارند. در بسیاری از جوامع محلی، استفاده از فناوری‌های نظارتی به‌عنوان تجاوز به حریم یا تهدیدی برای اشتغال سنتی تلقی می‌شود و این مسئله موجب مقاومت در برابر پذیرش آن می‌گردد. برای مثال، استفاده از اینترنت اشیاء در مدیریت چرای دام و پایش مراتع با مقاومت جوامع عشایری مواجه شده است، زیرا این گروه‌ها آن را مداخله در شیوه سنتی معیشت خود می‌دانند. در کنار چالش‌های مذکور، خطر امنیت داده‌ها و نفوذ سایبری نیز مطرح است. بسیاری از داده‌های زیست‌محیطی با ارزش هستند و اگر در اختیار شرکت‌های آلاینده یا گروه‌های متخلف قرار گیرند، می‌توانند روند شناسایی جرم را مختل کرده یا امکان فرار از قانون را فراهم آورند. در فقدان سامانه‌های امن و رمزگذاری‌شده، ریسک افشای اطلاعات حیاتی افزایش می‌یابد.

نهایتاً، چالش همگرایی بین‌نهادی نیز اهمیت دارد. عدم هماهنگی میان نهادهای مسئول در امر محیط زیست، پلیس محیطی، دادستانی، و وزارت ارتباطات، باعث شده است که پروژه‌های فناورانه گاه با موازی‌کاری و تداخل وظایف روبرو شده یا حتی به شکست بیانجامند. نبود بانک‌های داده یکپارچه، فقدان تعامل‌پذیری بین سامانه‌ها، و فقدان چارچوب‌های استاندارد بین‌نهادی، منجر به ضعف در مدیریت کل‌نگر محیط زیست شده است.

در نهایت، همگرایی بین‌نهادی از طریق ایجاد «پلتفرم ملی فناوری محیط زیست» با محوریت تعامل میان سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت ارتباطات، قوه قضاییه، و نهادهای مردمی توصیه می‌شود. این پلتفرم می‌تواند پایگاه داده مشترک، دستورالعمل‌های فناورمحور، و سامانه‌های هشدار سریع را در سطح ملی یکپارچه کند؛ امری که هم‌اکنون در کشورهای پیشرو مانند فنلاند و ژاپن در حال اجراست. در بسیاری از نظام‌های حقوقی، محافظه‌کاری نهادی و عدم تمایل به پذیرش فناوری‌های نوین از جمله موانع اجرای اثربخش سیاست‌های پیشگیرانه زیست‌محیطی به شمار می‌رود، چراکه این فناوری‌ها اغلب مستلزم شفافیت بیشتر، پاسخگویی نهادها و تغییر در ساختارهای سنتی نظارت هستند. (میرکمالی، ع.، حاجی‌وند، ا.، ۱۳۹۷، ص. ۴۵) در حالی که فناوری‌های نوین می‌توانند به حل مشکلات زیست محیطی کمک کنند، خود این فناوری‌ها نیز ممکن است در صورت عدم مدیریت صحیح، مشکلات زیست محیطی جدیدی ایجاد کنند. به عنوان مثال، برخی از فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، مانند پنل‌های خورشیدی یا توربین‌های بادی، ممکن است مشکلاتی مانند تخریب زیستگاه‌های طبیعی یا تولید زباله‌های الکترونیکی ایجاد کنند. بنابراین، ضروری است که در پیاده‌سازی فناوری‌های نوین، ملاحظات زیست محیطی را نیز در نظر بگیریم (صفرعلی زاده، اسماعیل، ۱۴۰۳).

هرچند استفاده از فناوری‌های نوین در حوزه کشف و پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی با چالش‌های گوناگون مواجه است، اما با تدوین راهبردهای علمی، اجرایی و مبتنی بر مشارکت چندبخشی، می‌توان مسیر بهره‌برداری از این ظرفیت‌ها را هموار ساخت و گامی مؤثر در صیانت از زیست‌بوم کشور و مقابله با جرایم زیست‌محیطی برداشت.

تولید می‌کنند، می‌تواند نقش قابل‌توجهی در کاهش شکاف مالی ایفا کند

از منظر منابع انسانی، توسعه آموزش‌های مهارتی ویژه برای محیط‌بانان، کارشناسان حقوقی، و مدیران اجرایی حفاظت از محیط زیست ضروری است. طراحی دوره‌های تخصصی در زمینه‌هایی نظیر «مدیریت پهباد در پایش محیطی»، «تحلیل داده‌های سنجش‌ازدور»، «کاربرد یادگیری ماشین در پیش‌بینی آتش‌سوزی» یا «شناسایی متخلفان زیست‌محیطی با هوش مصنوعی» از جمله ابزارهای ارتقای ظرفیت بومی است. این آموزش‌ها می‌توانند با همکاری میان وزارت علوم، سازمان محیط زیست و پارک‌های علم و فناوری بومی‌سازی شوند.

در زمینه فرهنگی-اجتماعی نیز، باید با مشارکت جوامع محلی در فرایند طراحی، اجرا و نظارت بر پروژه‌های فناورانه، زمینه پذیرش فناوری‌ها را فراهم ساخت. به‌جای تحمیل یک‌سویه ابزارهای فناورانه، باید از شیوه‌هایی چون «توسعه مشارکتی فناوری» بهره‌گرفت تا به‌عنوان مثال، دامداران، ماهی‌گیران و عشایر خود بخشی از زنجیره پایش محیطی باشند. تجربه موفق مشارکت جامعه بومی در پایش مراتع با فناوری GPS در منطقه حفاظت‌شده «توران» ایران، نمونه‌ای از این رویکرد است. همچنین برای ارتقای امنیت اطلاعات، باید سامانه‌های رمزنگاری‌شده با تأیید ملی راه‌اندازی شوند تا انتقال، ذخیره و تحلیل داده‌های محیطی در بستری ایمن صورت گیرد. ایجاد مراکز عملیات امنیت سایبری (SOC) در بدنه سازمان حفاظت محیط زیست یا همکاری با مراکز آرای دانشگاه‌ها، می‌تواند گامی مؤثر در کاهش ریسک‌های نفوذ سایبری باشد

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در مواجهه با چالش‌های نوظهور محیط‌زیستی، دیگر نمی‌توان به ابزارها و سازوکارهای کلاسیک کشف و پیشگیری اکتفا کرد. گذار از رویکردهای سنتی به یک نظام عدالت کیفری زیست‌محیطی فناورمحور، ضرورتی است که نه از سر انتخاب، بلکه به واسطه واقعیت‌های امروزین تحمیل شده است. آنچه در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، نشان داد که تلفیق فناوری‌های نوینی همچون هوش مصنوعی، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، سنسور از دور، اینترنت اشیا، کلان‌داده‌ها، الگوریتم‌های پیش‌بینی‌گر و زنجیره‌بلوک، بستری مؤثر برای عبور از واکنش‌های دیر هنگام به مداخله‌های هوشمند و بلادرنگ در کشف و پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی فراهم می‌کند. این فناوری‌ها نه تنها ابزاری برای تسهیل فرآیند نظارت، ردیابی، مستندسازی و تعقیب متخلفان فراهم آورده‌اند، بلکه موجب ارتقاء ظرفیت‌های نهادی و بازآرایی گفتمان سیاست کیفری نیز شده‌اند.

با این حال، بهره‌گیری اثربخش از این ظرفیت‌ها منوط به وجود شرایط نهادی، زیرساختی، حقوقی و انسانی متناسب است. در فقدان زیرساخت‌های دیجیتال همگرا، نبود تعامل نهادی میان دستگاه‌های نظارتی، خلأهای قانونی در پذیرش شواهد دیجیتال و ناتوانی در تربیت نیروهای متخصص میان‌رشته‌ای، فناوری نه تنها اثرگذار نخواهد بود، بلکه خود می‌تواند به منشأ جدیدی از بی‌عدالتی، نقض حریم خصوصی و انحصار قدرت اطلاعاتی بدل شود. بنابراین، فناوری‌های نوین تنها در بستری از حکمرانی علمی، قانونمند و مشارکت‌محور است که می‌تواند از نقش ابزاری صرف فراتر رفته و به ستون راهبردی در نظام عدالت کیفری زیست‌محیطی تبدیل گردند.

از این منظر، گذار به نظامی فناورپایه مستلزم بازطراحی ساختارهای حقوقی در تعامل با ظرفیت‌های فناورانه، تدوین پروتکل‌های استاندارد برای استفاده از داده‌های محیط‌زیستی در فرآیندهای قضایی، توسعه سامانه‌های هوشمند گزارش‌گیری مردمی، نهادینه‌سازی همکاری‌های فرابخشی میان دولت، دانشگاه و صنعت، و استقرار نظام ملی داده‌محور برای پیشگیری ساختاری از جرایم زیست‌محیطی است. همچنین، طراحی چارچوب‌های اخلاقی و حقوقی روشن برای استفاده از هوش مصنوعی و داده‌های بزرگ، همراه با آموزش مستمر قضات، کارشناسان و ضابطان قضایی، زمینه را برای تحقق عدالت فناورانه و پایدار فراهم می‌سازد.

نقش مشارکت مردمی در این ساختار نیز کلیدی است. بدون تقویت فرهنگ گزارش‌گری محیط‌زیستی، شفاف‌سازی فرآیندها و تضمین امنیت گزارش‌دهندگان، حتی پیشرفته‌ترین فناوری‌ها نیز دچار ناکارآمدی خواهند شد. در نهایت، تحقق عدالت زیست‌محیطی فناورمحور مستلزم نوعی هم‌افزایی در سطوح محلی، ملی و فراملی است؛ چرا که بحران‌های زیست‌محیطی مرز نمی‌شناسند و عدالت زیست‌محیطی نیز نمی‌تواند به محدوده‌های جغرافیایی محدود بماند. تنها در سایه چنین افقی می‌توان انتظار داشت که ایران نه تنها در سطح داخلی به بازآفرینی سیاست‌های کیفری محیط‌زیستی خود نائل آید، بلکه به الگوی منطقه‌ای در حکمرانی دیجیتال زیست‌محیطی بدل شود.

۷. عبدالهیان دهکردی، مصطفی و مکتب جو، مهیار، ۱۴۰۲، کاربرد اینترنت اشیاء در محیط زیست، هشتمین همایش بین المللی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست
۸. طیبی، سبحان؛ طیبی، نادر؛ (۱۴۰۲)، (تعامل هوش مصنوعی و دیپلماسی برای پایداری محیط زیست، شماره ۱۸، ویژهنامه هوش. صفحه ۱۲۶
۹. نوری دوآبی، پیام. (۱۴۰۱). شفافیت محصول بلاکچین. همایش ملی ارتقای شفافیت
۱۰. صباغی رستمی، مبین و هاشمی داران، حسن و طبری، مهدی، " محیط زیست، فناوری اطلاعات و بلاکچین: راه کارها و چالش ها"، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت محیط زیست، تیر ۱۴۰۲، **Disponible**
۱۱. توکلی، حمید، ۱۳۹۷، پهباده‌ها و حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی، کنفرانس ملی فن آوری ها و کاربردهای نوین ژئوماتیک، تبریز،
۱۲. لعبت، حبیبی، اوین، اسد امرجی، لیلیا. (۲۰۱۶). بررسی اهمیت و جایگاه رسانه در حفاظت از محیط زیست با رویکرد توسعه پایدار. مطالعات رسانه ای، ۳۳(۱۱)، ۱۷-۲۷. صفحه ۱۸
۱۳. دبیری فرهاد و واحدناودان، عارف (۱۳۵۹). رسانه ها و توسعه حقوق محیط زیست. مطالعات رسانه‌های. سال ششم. شماره ۱۳. تابستان. ۱۳۵۹. صفحه ۱۸
۱۴. میرکمالی، ع.، & حاجی‌وند، ا. (۱۳۹۷). تحلیل پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی در پرتو دستورالعمل‌های سازمان ملل متحد و اصل اخلاقی پیشگیری از ضرر. فصلنامه اخلاق زیستی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۴۸(۴)، ۶۱
۱۵. صفرعلی زاده، اسماعیل و پناهی پور، مرضیه و مصری، مهسا، ۱۴۰۳، کاربرد فناوری های نوین در محیط زیست و نقش محیط زیست در توسعه پایدار، بیست و چهارمین همایش ملی جغرافیا و محیط زیست، شیروان، صفحه ۹
۱۶. موسوی داویجانی سید نیکو، پروین خیراله، & شاه حیدر عبدالکریم، (۲۰۲۳) توسعه پایدار از منظر مولفه‌های محیط زیست در نظام حقوقی ایران.
۱۷. انصاریان، مجتبی. (۱۳۹۹). فناوری‌های نوین، چالش‌ها، مخاطرات و فرصت‌های زیست‌محیطی. نشریه حقوق فناوری‌های نوین، دوره اول، شماره ۲، صفحات ۲۰۳-۲۲۶.

## سپاسگزاری

از معاونت محترم پژوهشی به خاطر حمایت حمایت معنوی در اجرای پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.

از آقای دکتر عبدالله عزیززاده به خاطر بازبینی متن مقاله و ارائه نظرهای ساختاری تشکر و قدردانی می‌شود.

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از آقای دکتر محمد رسول آهنگران به خاطر مطالعه متن مقاله حاضر و ارائه نظرهای ارزشمند سپاسگزاری نمایند.

## منابع

۱. اکبرپور، مجید، و اکبرپور، حمیدرضا. (۱۳۹۱). بررسی جرایم زیست محیطی با تاکید بر دریای مکران. همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران.
۲. سایانی، ع.، شهبازی، ع. " حمایت از حقوق محیط زیست از منظر حقوق بشر بین‌المللی " مجله پژوهش در کشور، ۲۰۱۷، ۲(۳): ۸۱-۹۶
۲. روزبه، مهرداد، قهرمانی افشار، نبوشا، اکبری، عباسعلی و علوی، محمد تقی. (۱۴۰۲). اکوساید در پرتو حقوق کیفری با تکوین رفتارهای جنایی در انحطاط محیط زیست. پژوهش‌های حقوقی، ۲۲(۵۶)، ۴۹۳-۵۳۲.
۴. لشکری زاده، مریم و علی اشرفی، محمد، ۱۳۹۰، بررسی اثر حکمرانی خوب بر کیفیت زیست محیطی در کشورهای در حال توسعه، اولین همایش بین المللی مدیریت گردشگری و توسعه پایدار، مرودشت
۵. کشکولیان، اسماعیل، شیخ الاسلام. عباس؛ "چالش‌های قضایی مقابله با جرایم زیست محیطی در حقوق کیفری ایران"، تمدن حقوقی، دوره ۵، شماره ۱۰، بهار ۱۴۰۱ صفحه (۱۱۷)
۶. حیدرزاده، مظفری زاده س. (۲۰۱۶). پیشگیری از جرایم زیست‌محیطی. مجله اخلاق زیستی - علمی پژوهشی، ۳(۷)، ۱۶۷.

. Ahmad, I., Nam, H., & Kim, H. (2022). AI-driven Intrusion Detection Systems: A Survey. IEEE Access

Syahputra, A. R., Aditya, B., & Handayani, Z. S. (2023). Artificial Intelligence (AI) and Internet of Things (IoT): Threats or Future for the Police? \*Jurnal Ilmu Kepolisian\*.

UNEP (2022). Technology for Environmental Crime Prevention. United Nations Environment Programme.

منابع لاتین

Abdollahi, O. and Faryadi, M. (2010). Legal Challenges facing Iran's Department of Environment. *Advanced Environmental Sciences*, 7(4),144

Kumar, R., Sharma, A., & Singh, M. (2020). Remote sensing and GIS for environmental crime detection. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198

Bodansky, D. (2010). *The Art and Craft of International Environmental Law*. Harvard University Press.

Joppa, L. N., et al. (2016). Technology for nature conservation: Trends and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(11), 822.

Reins, L. (2018). The Use of Blockchain in Environmental Law: Transparency and Legal Certainty in Environmental Monitoring. *Environmental Law Review*, 20(3), 162.

Zhou, W., Zhang, Y., & Guo, H. (2021). Smart environmental monitoring based on IoT and AI technologies. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128096.

Zhang, B., Xie, Y., & Wang, Y. (2020). Artificial Intelligence for Environmental Monitoring: A Review. *Environmental Science & Technology*, 54(15), 9500–9514

Liu et al., AI and blockchain can complement each other:v2020" AI provides intelligence, while blockchain provides trust, security, and decentralization." (IEEE Access, 7, p. 10129).

Rohi, G., Ejofodomi, O., & Ofualagba, G. (2020). Autonomous monitoring, analysis, and countering of air pollution using environmental drones. \*Heliyon,

Kavitha, M. (2024). Environmental Monitoring Using IoT-Based Wireless Sensor Networks: A Case Study. *Journal of Wireless Sensor Networks and IoT*, 1(1), 36

Ashworth, A., & Redmayne, M. (2021). *The Criminal Process* (5th ed.). Oxford University Press.

. Li, W., Fu, H., Yu, L., Cracknell, A., & Gong, P. (2017). Deep learning based forest fire detection using remote sensing data. *Remote Sensing*, 9(6), 500.