



University of Tehran

Homepage: <https://jrels.ut.ac.ir>

The Capacity of Iran's Legal System to Prevent the Environmental Impacts of High Energy Consumption in Cryptocurrency Mining

Ali Zarghani Shiraz¹, Shirin Shirazian², Elham Aminzadeh³,
Nabiollah Mansouri⁴

1. PhD Candidate, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: ali.zarghanishiraz@iau.ac.ir

2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: shirazian.shirin@iau.ac.ir

3. Professor at the Faculty of Law and Political Science, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: eaminzadeh@ut.ac.ir

4. Professor, Faculty of Agriculture, Water, Food and Processes, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: nmansouri@srbiau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Manuscript received:
16 September 2025
final revision received:
4 December 2025
accepted:
12 February 2026
published online:
22 February 2026

Keywords:
Cryptocurrency mining,
Energy consumption,
Climate change,
Environmental pollution,
Iranian legal system

Abstract

Cryptocurrency mining based on proof of work in Iran, due to its high electricity consumption, generates climate impacts and increases pressure on the power grid and water resources. The central question of this study is whether these impacts can be contained through a coherent interpretation and consistent application of existing energy and environmental regulations, or whether new legislation is required. The study aims to identify the operative capacities of Iran's legal system and to propose practical implementation mechanisms to align the mining industry with environmental protection requirements. The research follows a descriptive-analytical, library-based approach grounded in documentary analysis of statutes, by-laws, and executive regulations, complemented by lessons drawn from international experience. The findings indicate that a combined package—mandating clean power supply and data transparency, performance-based tariff design, standard-setting and monitoring of heat discharge and water footprint, integrating the licensing and renewal process, and deploying financial incentives—can provide an enforceable, monitorable framework for reducing the environmental impacts of mining and can lessen the immediate need for new legislation.

Cite this article: Zarghani Shiraz, Ali; Shirazian, Shirin; Aminzadeh, Elham; Mansouri, Nabiollah (2026)“ The Capacity of Iran's Legal System to Prevent the Environmental Impacts of High Energy Consumption in Cryptocurrency Mining” *Energy Law Studies*, 11 (2): 257 - 286 . <https://doi.com/10.22059/jrels.2026.402515.605>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Proof-of-work cryptocurrency mining has become an important legal and environmental issue because network security depends on continuous computational competition and, consequently, substantial electricity consumption. When electricity is mainly generated from fossil fuels, mining may increase greenhouse-gas emissions, place additional pressure on electricity generation and transmission systems, and indirectly increase water consumption and thermal discharges associated with power production and cooling. These concerns are particularly significant in Iran, where electricity-supply shortages, a carbon-intensive energy mix, regional water stress, and fragmented administrative responsibilities create additional environmental and regulatory challenges.

This situation raises a central question: can the environmental impacts of cryptocurrency mining be effectively controlled through a coordinated interpretation and enforcement of existing Iranian laws and regulations, or is the immediate adoption of a new comprehensive statute necessary?

This study evaluates the capacity of Iran's legal system to align cryptocurrency mining with environmental-protection requirements. It focuses on four interconnected areas: the use of renewable and clean electricity; electricity tariffs and energy-efficiency obligations; investment in efficient technologies; and the prevention of water-related and thermal pollution. It also examines how licensing, monitoring, and financial mechanisms can convert general legal duties into measurable and enforceable obligations for individual mining facilities.

Method

The research uses a descriptive-analytical and library-based method. It is based on documentary analysis of the Constitution of the Islamic Republic of Iran, energy and environmental laws, national development plans, executive regulations, ministerial resolutions, and licensing rules relating to cryptocurrency mining. Particular attention is given to the constitutional duty to protect the environment, the Energy Consumption Pattern Reform Act, the Clean Air Act, the Sixth and Seventh Development Plans, Article 12 of the Law on Removing Barriers to Competitive Production, renewable-energy regulations, electricity tariffs for mining centers, environmental-impact assessment rules, and legislation protecting aquatic resources.

The relevant legal rules are examined as parts of an interconnected regulatory chain rather than as isolated provisions. For each area, the study identifies the competent authority, the legal obligation, the available economic or administrative instrument, the monitoring requirement, and the applicable enforcement mechanism. International experience is also used comparatively to identify practical regulatory options, including low-energy consensus mechanisms, renewable-energy supply, demand-response participation, conditional use of associated gas, immersion cooling, waste-heat recovery, environmental disclosure, and measurement, reporting, and verification systems. These experiences are evaluated in light of Iran's energy structure, climate, water limitations, and administrative framework.

Conclusions

The findings show that Iranian law already contains significant, although dispersed, legal capacities for reducing the environmental impacts of cryptocurrency mining. The main weakness is not the absence of legal authority but insufficient coordination among licensing, electricity supply, tariff setting, environmental approval, technical standards, and data verification.

Mining licenses should therefore be issued or renewed only when operators provide verifiable evidence of the lawful source and agreed share of clean electricity, environmental approval appropriate to the facility's scale and location, and an operational agreement defining maximum electricity load, curtailment duties, and continuous reporting. A coordinated procedure should connect the Ministry of Industry, Mine and Trade, the Ministry of Energy and its affiliated bodies, and the Department of Environment while preserving their respective legal powers.

Electricity tariffs should also be based on environmental and technical performance rather than total consumption alone. Incentives and penalties may be linked to energy efficiency, carbon intensity, renewable-electricity share, compliance with peak-load restrictions, water consumption, and heat management. Facilities investing in renewable generation, verified efficiency improvements, or grid-support services should benefit from existing financial mechanisms, particularly those available under Article 12 of the Law on Removing Barriers to Competitive Production.

The environmental framework should further establish measurable standards for water withdrawal, water footprint, and thermal discharge. Permissible temperature changes in receiving waters should be numerically defined, and environmental approvals should require worst-case climatic and hydrological modelling, closed-loop or low-water cooling where necessary, and periodic monitoring. These obligations should be incorporated into operating and grid-connection permits.

Finally, major mining facilities should be subject to a uniform measurement, reporting, and verification system covering electricity consumption, energy source, carbon intensity, water use, cooling performance, and waste-heat management. Reliable and auditable data are essential for differentiated tariffs, inspections, accountability, and enforcement. Therefore, the immediate priority is not necessarily new legislation but coordinated enforcement of existing legal capacities through supplementary regulations, numerical standards, integrated licensing, and credible monitoring. New legislation would become necessary only if these measures fail to resolve persistent regulatory and enforcement gaps.



ظرفیت نظام حقوقی ایران در جلوگیری از آثار زیست‌محیطی مصرف

بالای انرژی در استخراج رمزارزها

علی زرقانی شیراز^۱، شیرین شیرازیان^۲، الهام امین‌زاده^۳، نبی‌اله منصوری^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: ali.zarghanishiraz@iau.ac.ir
۲. نویسنده مسئول: استادیار، دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. رایانامه: shirazian.shirin@iau.ac.ir
۳. استاد گروه حقوق عمومی، دانشکده حقوق و علوم سیاسی دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: eaminzadeh@ut.ac.ir
۴. استاد، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: nmansouri@srbiau.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

استخراج رمزارزهای مبتنی بر اثبات کار در ایران به دلیل مصرف بالای برق، پیامدهای اقلیمی و فشار بر شبکه و منابع آب ایجاد می‌کند. مسئله این پژوهش آن است که آیا می‌توان با تفسیر و به‌کارگیری منسجم مقررات موجود در حوزه انرژی و محیط زیست، این آثار را مهار کرد یا نیاز به قانونگذاری جدید است. هدف، شناسایی ظرفیت‌های بالفعل نظام حقوقی ایران و ارائه سازوکارهای اجرایی برای همسویی صنعت استخراج با الزامات حفاظت از محیط زیست است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و کتابخانه‌ای و مبتنی بر تحلیل اسنادی قوانین، آیین‌نامه‌ها و مصوبات اجرایی و بهره‌گیری از تجربه‌های بین‌المللی است. یافته‌ها نشان می‌دهد ترکیبی از الزام به تأمین برق پاک و شفافیت داده‌ای، تعرفه‌گذاری عملکردمحور، استانداردگذاری و پایش تخلیه حرارت و ردپای آب، یکپارچه‌سازی فرایند صدور و تمدید مجوزها و به‌کارگیری مشوق‌های مالی می‌تواند چارچوبی قابل نظارت برای کاهش آثار زیست‌محیطی استخراج فراهم کند و نیاز فوری به قانونگذاری جدید را کاهش دهد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۶/۲۶

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۹/۱۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۱۱/۲۳

تاریخ انتشار:

۱۴۰۴/۱۲/۳

کلید واژه‌ها:

استخراج رمزارز، آلودگی زیست‌محیطی، تغییرات اقلیمی، مصرف انرژی، نظام حقوقی ایران.

استناد: زرقانی شیراز، علی؛ شیرازیان، شیرین؛ امین‌زاده، الهام؛ منصوری، نبی‌اله (۱۴۰۴). «ظرفیت نظام حقوقی ایران در جلوگیری از آثار زیست‌محیطی مصرف بالای انرژی در استخراج رمزارزها»، *مطالعات حقوق انرژی*، ۱۱(۲)، ۲۸۶-۲۵۷.

<https://doi.com/10.22059/jrels.2026.402515.605>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.



مقدمه

رشد فناوری‌های مالی، استخراج رمزارزهای مبتنی بر اثبات کار را به یکی از مصرف‌کنندگان بزرگ برق تبدیل کرده است. در صورتی که برق مورد نیاز این فعالیت از سوخت‌های فسیلی تأمین شود، انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد و فشار بیشتری بر شبکه انرژی و محیط زیست وارد می‌شود. ایران نیز در سال‌های اخیر با افزایش فعالیت استخراج رمزارز و در نتیجه افزایش مصرف برق روبه‌رو بوده است؛ با توجه به سهم بالای نیروگاه‌های فسیلی در تولید برق کشور، این افزایش تقاضا می‌تواند انتشار آلاینده‌ها و فشار بر شبکه و محیط زیست را تشدید کند (شهبازی و حیدری ترک‌آباد، ۱۴۰۳: ۲۷۳۹).

با توجه به اهمیت موضوع و خلأ موجود در ادبیات حقوقی داخلی، این پژوهش به یک پرسش اصلی می‌پردازد: آیا می‌توان با تفسیر و اجرای منسجم مقررات موجود در حوزه انرژی و محیط زیست، آثار زیست‌محیطی استخراج رمزارزها را کنترل کرد یا تدوین قوانین جدید ضروری است؟ بر این اساس، هدف پژوهش شناسایی و تبیین ظرفیت‌های بالفعل نظام حقوقی ایران برای مدیریت این آثار و ارائه پیشنهادهایی برای کارآمدسازی این ظرفیت‌ها در جهت همسویی صنعت استخراج رمزارز با سیاست‌های انرژی و الزامات حفاظت از محیط زیست است. روش پژوهش توصیفی - تحلیلی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای است. پژوهش در چارچوب حقوق عمومی و حقوق محیط زیست انجام شده است و بر تحلیل قوانین، مقررات و مصوبات اجرایی داخلی تکیه دارد. هدف آن نیز ارائه چارچوبی تدریجی، منعطف و قابل اجرا برای تنظیم صنعت استخراج رمزارز است.

۱. آثار منفی استخراج رمزارزها بر محیط زیست

رمزارزها گونه‌ای از دارایی‌های دیجیتال‌اند که بر فناوری زنجیره بلوکی^۱ استوارند و به واسطه سازوکار اثبات کار یا همتایان کم‌مصرف‌تر آن، امکان ثبت و تصدیق تراکنش‌ها را در یک دبتای کل توزیع‌شده فراهم می‌کنند. در الگوی اثبات کار، امنیت شبکه از طریق رقابت محاسباتی هزاران پردازنده تأمین می‌شود. این فرایند به مصرف مداوم و بسیار بالای برق نیاز دارد و به همین دلیل به یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بحث در حوزه محیط زیست تبدیل شده است. مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که مصرف انرژی و پیامدهای اقلیمی استخراج مبتنی بر اثبات کار به اندازه‌ای است که مقایسه آن با صنایع انرژی‌بر مناسب‌تر از مقایسه با زیرساخت‌های متعارف فناوری اطلاعات است (Gallersdörfer et al., 2020: 1843; Jones et al., 2022: 1).

1. Blockchain

برآوردهای همگرا در پژوهش‌های معتبر نشان می‌دهد که مصرف برق شبکه بیت‌کوین^۱ از بازه ده‌ها تا صدها تراوات ساعت در سال نوسان می‌کند و این مقدار بسته به قیمت، سختی شبکه و ترکیب جغرافیایی استخراج‌کنندگان تغییر می‌کند (Gallersdörfer et al., 2020: 1843-1845; Jones et al., 2022: 2). اهمیت این مقیاس مصرف تنها در اعداد خلاصه نمی‌شود، بلکه در شدت کربن^۲ تولیدی است که این مصرف را تغذیه می‌کند. وقتی بخش شایان توجهی از این برق از سوخت‌های فسیلی تأمین شود، برآیند انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌تواند در حد ده‌ها تا بیش از صد میلیون تن دی‌اکسید کربن در سال باشد. برای نمونه، یک مطالعه مدل‌سازی نشان می‌دهد در سناریوهای رشد، انتشار سالانه بیت‌کوین می‌تواند به حوالی ۱۳۰ میلیون تن برسد (Jiang et al., 2021: 1). همچنین پژوهش دیگری که خسارات اقلیمی ناشی از مصرف انرژی را برآورد کرده است، نشان می‌دهد استخراج بیت‌کوین در فاصله سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ از سه معیار پایداری تعریف‌شده فراتر رفته و در برخی دوره‌ها، هزینه‌های اقلیمی آن از حدود قابل قبول تجاوز کرده است (Jones et al., 2022: 1).

آثار زیست‌محیطی استخراج، منحصر به کربن نیست. ردپای آب به‌ویژه در کشورها و مناطقی که با تنش آب روبه‌رو هستند، به سرعت به دستور کار پژوهش‌ها آمده است. ارزیابی تازه‌ای که سیر تحول مصرف آب رمزارزها را از ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ دنبال کرده، نشان می‌دهد ردپای آب شبکه بیت‌کوین در سال ۲۰۲۱ نسبت به ۲۰۲۰ حدود ۱۶۶ درصد افزایش یافته است و مصرف سالانه آب به مقیاسی می‌رسد که توجه سیاست‌گذاران را در حوزه انرژی و محیط زیست برمی‌انگیزد. این ردپای آب تنها به خنک‌سازی مراکز استخراج محدود نمی‌شود، بلکه آب مصرفی نیروگاه‌های حرارتی تأمین‌کننده برق نیز در محاسبه آن لحاظ می‌شود. از این‌رو، راهکارهای کاهش فشار بر منابع آبی تنها به بهبود روش‌های خنک‌سازی، مانند خنک‌سازی غوطه‌وری، محدود نیستند، بلکه استفاده از منابع تولید برق کم‌آب‌بر، مانند انرژی بادی و خورشیدی، نیز نقش مهمی در کاهش این فشار ایفا می‌کند (de Vries, 2024: 1-2).

از منظر اجتماعی و اقتصادی، استخراج رمزارز می‌تواند الگوهای مصرف انرژی و جهت‌گیری سرمایه‌گذاری‌های محلی را تحت تأثیر قرار دهد. پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهند که تغییرات قیمت رمزارزها و میزان سودآوری استخراج، در برخی دوره‌ها بار شبکه‌های برق را به سرعت دگرگون می‌کند و در نتیجه، برنامه‌ریزی برای توسعه و مدیریت ظرفیت شبکه را دشوارتر می‌سازد (Chamanara, Ghaffarizadeh & Madani 2023: 2). به‌طور معمول، افزایش قیمت رمزارزها سبب ورود شمار بیشتری از استخراج‌کنندگان به بازار می‌شود؛ از جمله واحدهایی

1. Bitcoin

2. Carbon Intensity

که از نظر مصرف انرژی کارایی کمتری دارند. در مقابل، کاهش قیمت‌ها بخشی از این فعالان را از چرخه استخراج خارج می‌کند. این نوسانات در تقاضای برق افزون بر تغییر میزان انتشار آلاینده‌ها، در شبکه‌هایی که ظرفیت ذخیره محدودی دارند، خطر خاموشی و ازدحام خطوط انتقال را افزایش می‌دهد (Chamanara et al., 2023: 1-3).

دغدغه‌های حاکمیتی نیز به دنبال همین آثار شکل گرفته است. در سطح راهبردی، دو پاسخ اصلی در ادبیات سیاستی برجسته است: نخست، حرکت از الگوهای پرمصرف به الگوهای کم‌مصرف اجماع؛ دوم، الزام به شفافیت داده‌های انرژی و افشای ردپای کربن. درباره پاسخ نخست، نمونه اثبات‌شده کاهش، مهاجرت یکی از شبکه‌های بزرگ به الگوریتم اثبات سهام است که نشان داد وابستگی به رقابت محاسباتی سرنوشت محتوم فناوری‌های زنجیره بلوکی نیست و می‌توان امنیت شبکه را با هزینه انرژی به مراتب کمتر نیز تأمین کرد. هرچند این بحث، به طور کامل در بخش دوم مقاله گسترش می‌یابد. درباره پاسخ دوم، روند مقرراتی بین‌المللی به سمت افشای منبع انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حرکت کرده است؛ برای مثال، مقررات اروپایی بازار دارایی‌های رمزارزی^۱ چارچوبی برای گزارش‌دهی اثرات زیست‌محیطی فراهم آورده است که از منظر حکمرانی مبتنی بر داده، اهمیت مضاعفی دارد (Woo et al. 2021: 3).

جمع‌بندی این مرور نشان می‌دهد که آثار منفی استخراج رمزارز بر محیط زیست، صرفاً یک برداشت شهودی از مصرف برق بالا نیست، بلکه شبکه‌ای از پیامدهای به هم پیوسته است: از انتشار مستقیم و غیرمستقیم کربن تا فشار بر منابع آب، از تولید پسماند الکترونیکی تا نوسانات مخرب در بار شبکه و دشواری‌های برنامه‌ریزی ظرفیت. در عین حال، داده‌های علمی و تجارب اخیر حاکی از آن است که شدت این پیامدها به شاخص‌هایی مانند الگوریتم اجماع، ترکیب سبد انرژی، کارایی سخت‌افزاری و قواعد شفافیت وابسته است؛ شاخص‌هایی که در بخش استخراج پایدار به عنوان مسیرهای کاهش آسیب، به صورت نظام‌مند بررسی می‌شوند.

۲. استخراج پایدار: روشی برای کاهش آثار منفی استخراج رمزارز بر محیط زیست

استخراج پایدار در این پژوهش بر پایه منطق توسعه پایدار سنجیده می‌شود؛ یعنی کارکرد اقتصادی شبکه‌های غیرمتمرکز حفظ شود و همزمان آثار زیست‌محیطی و اجتماعی آن به صورت قابل اندازه‌گیری کاهش یابد. بنابراین پایداری به یک عامل واحد وابسته نیست و با مجموعه‌ای از شاخص‌ها ارزیابی می‌شود. مهم‌ترین این شاخص‌ها عبارت‌اند از: شدت مصرف انرژی، شدت انتشار کربن، سهم برق پاک در سبد مصرف، ردپای آب و حرارت، کارایی تجهیزات، نیاز سرمایشی متناسب با اقلیم، انعطاف‌پذیری بار و مشارکت در پاسخگویی به تقاضای شبکه، امکان

1. MICA

استفاده از گرمای دفعی و میزان شفافیت داده‌ها، در مطالعات بین‌المللی نیز این شاخص‌ها همراه با متغیرهایی مانند قیمت و ترکیب تولید برق، دمای محیط، وضعیت حقوقی و هزینه‌های توسعه فناوری بررسی می‌شوند تا امکان مقایسه مناطق مختلف فراهم شود. در ایران، به دلیل اتکای بالاتر به سوخت‌های فسیلی، اقلیم گرم در بخش مهمی از سال، محدودیت منابع آب و ناهم‌آهنگی داده‌های بهره‌برداری، شاخص‌های شدت کربن، مصرف آب و شفافیت اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند و ارزیابی عملکرد به سنجش دقیق همین موارد وابسته می‌شود. بررسی تجربه‌های جهانی می‌تواند نسبت این شاخص‌ها با فناوری و شیوه بهره‌برداری را روشن‌تر کند (Náñez Alonso et al., 2021: 1-3).

گذار الگوریتمی از اثبات کار به اثبات سهام مصداقی از تغییر بنیادین شاخص‌هاست: تجربه ادغام اتریوم در ۲۰۲۲ مصرف برق شبکه را بیش از ۹۹ درصد کاست و ردپا را از تراوات‌ساعت به میلی‌تراوات‌ساعت انتقال داد؛ یعنی کاهش همزمان شدت انرژی و کربن و محدود شدن نیاز ابزار و سرمایه. ادبیات فنی این نمونه را شاهدهی بر امکان حفظ منافع اقتصادی بلاک‌چین با هزینه انرژی بسیار کمتر می‌داند؛ حتی اگر در برخی شبکه‌ها ملاحظات حکمرانی مانع از گذار کوتاه‌مدت شود، تنوع الگوریتم‌ها در سایر زنجیره‌ها ظرفیت بهبود نسبت فایده/زیان زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (de Vries, 2023: 1-2).

همنشینی با تولید پاک وقتی در شاخص‌ها منعکس می‌شود که بار انعطاف‌پذیر استخراج در ساعات وفور فعال و در اوج بار کاهش یابد؛ تجربه بازار تگزاس نشان می‌دهد این همسویی می‌تواند بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش دهد، هرچند آثار مکانی انتشار ناهمگون است (Bruno et al., 2023: 1-3).

در کنار این الگو، بهره‌گیری از گازهای همراه نفت، که معمولاً در میدان‌های نفتی سوزانده می‌شود، به‌عنوان منبع انرژی نیز در پژوهش‌ها طرح شده است. در این روش، متان دارای پتانسیل گرمایش بالاتر به‌طور کنترل‌شده به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود و در سناریوهایی که جایگزین مشعل‌سوزی می‌شود، کاهش اثرات اقلیمی گزارش شده است. در زبان شاخص‌ها، اثر خالص بر شدت کربن و آلودگی محلی تابع این است که آیا مصرف انرژی استخراج دقیقاً جایگزین سوزاندن بی‌هدف می‌شود یا به چرخه‌های تولیدی جدید در بخش فسیلی پیوند می‌خورد؛ از این‌رو ارزیابی مزیت زیست‌محیطی هر پروژه به مقایسه وضع موجود با سناریوی مرجع وابسته است (Vazquez & Crumbley, 2022: 1-3).

در سطح فناوری مزرعه، کارایی الکتریکی/حرارتی و مدیریت گرما دو محور اثرگذار بر شاخص‌ها هستند. پژوهش‌های مرتبط با خنک‌سازی غوطه‌وری نشان داده‌اند که این روش در سناریوهای پیشرفته می‌تواند توان مصرفی سامانه‌های رایانشی را به‌طور معناداری کاهش دهد و

در عین حال سبب حفظ پایداری حرارتی و افزایش عمر تجهیزات شود (Haghshenas et al., 2023: 1-4). این بهبود کارایی، به طور مستقیم در شدت انرژی و غیرمستقیم در شدت کربن بازتاب می‌یابد. افزون بر این، گرمای دفعی مراکز استخراج از حیث دما و پیوستگی واجد ویژگی‌هایی است که اتصال آن به شبکه‌های گرمایش ناحیه‌ای را ممکن می‌کند. مطالعات نظام‌مند در کشورهای شمال اروپا نشان داده است که استفاده از این حرارت در گرمایش شهری، بازده کل سامانه انرژی را بهبود بخشیده و شدت کربن انتشاریافته را در مقیاس سیستم کم کرده است. در چارچوب شاخص‌ها، «کاربرد ثانویه حرارت» نسبت انرژی خالص مفید را بالا می‌برد و در ارزیابی چرخه عمر به کاهش شدت کربن کل سامانه می‌انجامد (Wahlroos et al., 2017: 1228-1230).

اندازه‌گیری و افشای اطلاعات، بخش جدایی‌ناپذیر استخراج پایدار به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر، در ادبیات تنظیم‌گری بین‌المللی تلاش‌های گسترده‌ای برای استانداردسازی گزارش مصرف انرژی، شدت کربن و سایر شاخص‌های محیط زیستی صورت گرفته است. برای نمونه، مقررات بازار دارایی‌های رمزارزی اتحادیه اروپا، ناشران و ارائه‌دهندگان خدمات را به افشای اطلاعات مرتبط با آثار زیست‌محیطی فعالیت خود ملزم کرده و تدوین استانداردهای فنی مربوط به شاخص‌های پایداری را به نهادهای تخصصی واگذار کرده است. نتیجه چنین رویکردی، تولید داده‌های قابل اتکا، مقایسه‌پذیر و قابل راستی‌آزمایی در سطح واحدهای استخراج است. این داده‌ها امکان ارزیابی و رتبه‌بندی عملکرد واحدها را بر اساس معیارهایی مانند شدت مصرف انرژی، شدت کربن، سهم برق پاک، ردپای آب و کارایی حرارتی فراهم کرده و در نهایت، زمینه را برای تصمیم‌گیری مبتنی بر عملکرد و شواهد فراهم می‌سازند (Truby et al. 2022). در سطح ملی نیز تأکید بر سازوکارهای اندازه‌گیری، گزارش‌دهی، راستی‌آزمایی^۱ به این دلیل پررنگ است که بدون داده‌های قابل اتکا، سنجش پیشرفت شاخص‌ها و مقایسه واحدها دشوار می‌شود.

در حوزه استخراج، تحلیل‌های مربوط به عوارض/مالیات آلودگی هدفمند، برحسب شدت انرژی کل، شدت کربن منبع برق و کیفیت مدیریت حرارت و پسماند پله‌بندی شده و گاه در کنار سازوکارهای مشوق برای انرژی‌های تجدیدپذیر مطالعه شده‌اند (Swain, 2023: 1-5). همچنین گزارش‌هایی از دوره‌های تعلیق موقت صدور مجوز برای واحدهای متکی به سوخت فسیلی (برای نمونه در نیویورک) آمده که از منظر تحلیلی، فرصت ارزیابی محیط‌زیستی و بازنگری قواعد را فراهم کرده است؛ با این ملاحظه که اثربخشی بلندمدت این وقفه‌ها به سرعت تصمیم‌گیری و شفافیت داده وابسته گزارش شده است (Bruno et al. 2023: 1-4).

برآیند مباحث بالا این است که «استخراج پایدار» راهی برای کاهش آثار منفی استخراج رمزارز بر محیط زیست است؛ اما این امر با یک اقدام منفرد محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند الگوی مدیریتی و فناوریانه منسجم است. در این الگو، شاخص‌هایی مانند شدت مصرف انرژی، شدت انتشار کربن، سهم برق پاک، ردپای آب و گرما، کارایی تجهیزات، انعطاف‌پذیری بار، استفاده از حرارت دفعی و شفافیت داده‌ای به صورت کمی تعریف می‌شوند و به طور مستمر مورد سنجش و پایش قرار می‌گیرند. پژوهش‌های موجود نشان می‌دهد که می‌توان از مسیرهای مختلف، بهبودهای قابل اندازه‌گیری در این شاخص‌ها ایجاد کرد. از جمله این مسیرها می‌توان به گذار الگوریتمی، همنشینی با تولید برق پاک و مشارکت در پاسخگویی به تقاضای شبکه، استفاده از گازهای همراه نفت (در صورت جایگزینی واقعی مشعل‌سوزی)، افزایش کارایی از طریق خنک‌سازی غوطه‌وری، بهره‌گیری ثانویه از گرمای دفعی در گرمایش شهری و استانداردسازی نظام گزارش‌دهی و سنجش عملکرد اشاره کرد. با توجه به شرایط تولید برق در ایران، وضعیت اقلیمی و محدودیت منابع آب، برخی شاخص‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. مهم‌ترین آنها شدت کربن، ردپای آب و میزان شفافیت داده‌هاست. بنابراین ارزیابی وضعیت استخراج رمزارز در ایران باید بر سنجش همین شاخص‌های اصلی متمرکز باشد. در نهایت، نتیجه‌گیری نیز باید بر پایه داده‌های قابل راستی‌آزمایی درباره بهبود این شاخص‌ها انجام شود، نه صرفاً بر اساس ادعا یا تکیه بر یک عامل منفرد.

۳. نظام حقوقی حاکم بر مصرف انرژی در استخراج رمزارزها

در ادامه، برای ارزیابی امکان‌پذیری و کارامدی مسیرهای استخراج پایدار، باید به این پرسش پاسخ داد که نظام حقوقی ایران چه ظرفیت‌ها، الزامات و محدودیت‌هایی برای مدیریت مصرف انرژی در مراکز استخراج پیش‌بینی کرده است. از همین رو، این بخش به واکاوی قوانین و مقررات مرتبط اختصاص دارد.

۳.۱. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از آنها در استخراج رمزارزها از منظر نظام

حقوقی ایران

بحث استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استخراج رمزارز، از نظر حقوقی، پرسشی دوگانه را مطرح می‌کند: آیا می‌توان این استفاده را به عنوان یک الزام قانونی در ایران تثبیت کرد و اگر بله، آیا بستر اجرایی و حقوقی کافی برای تحقق آن وجود دارد؟ پاسخ به این پرسش، نیازمند نگاه موشکافانه به نظام حقوقی کشور است؛ اما این نگاه باید پیوستگی و تعامل میان قوانین را آشکار

کند تا مشخص شود که چگونه یک ایده کلی در سطح قوانین، به یک تکلیف اجرایی قابل پیگیری برای فعالان حوزه استخراج رمزارز تبدیل می‌شود.

در بالاترین سطح، اصل ۵۰ قانون اساسی به عنوان چارچوب ارزشی و الزام آور، حفاظت از محیط زیست را حق عمومی و وظیفه همگانی دانسته و هر فعالیت اقتصادی را که به آلودگی یا تخریب جبران‌ناپذیر محیط منجر شود، ممنوع اعلام کرده است که تحلیل تفصیلی این اصل و پیامدهای آن برای محدودسازی فعالیت‌های اقتصادی آلاینده، در ادبیات حقوق اساسی ایران نیز مورد توجه قرار گرفته است (رمضانی قوام‌آبادی، ۱۳۹۲: ۹۳-۱۰۰).

این اصل به خودی خود الزام به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را تصریح نمی‌کند، اما به دولت و نهادهای ذی‌ربط اختیار و وظیفه می‌دهد که برای جلوگیری از آثار مخرب فعالیت‌های انرژی‌بر، شرایطی وضع کنند که شامل محدودیت یا حتی الزام به بهره‌گیری از منابع پاک شود. بنابراین، اصل ۵۰ نه به عنوان یک دستور فنی، بلکه به عنوان چتر الزام عمل می‌کند که تمام سیاست‌ها و قوانین پایین‌دستی باید در چارچوب آن معنا پیدا کنند (قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران).

با این حال، برای تبدیل این چارچوب کلی به یک برنامه عملی، نیاز به مقرراتی است که هم هدف‌گذاری کمی داشته باشند و هم مسیر تحقق آن را تعریف کنند. در این نقطه، برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت، به ویژه ماده ۴۶ بند ۱، اهمیت پیدا می‌کند. این ماده دولت را مکلف می‌سازد که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در سبد تولید برق افزایش دهد و برای این کار از ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر استفاده کند. این ارجاع، پیوند میان سیاست کلان و ابزار اقتصادی را برقرار می‌کند؛ بدین معنا که توسعه تجدیدپذیر نه تنها یک هدف زیست‌محیطی، بلکه یک مسیر سرمایه‌پذیر و تجاری است. برای مراکز استخراج رمزارز، این بدان معناست که امکان تأمین برق از منابع پاک می‌تواند از طریق قراردادهای سرمایه‌گذاری و تولید اختصاصی برق، با پشتوانه قانونی و تضمین بازگشت سرمایه، فراهم شود (برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران ۱۴۰۳).

اما صرف وجود هدف‌گذاری و امکان سرمایه‌گذاری کافی نیست. زیرساخت و توان فنی برای استفاده واقعی از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز باید فراهم باشد. قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی در ماده ۶ خود، وزارتخانه‌های نیرو و نفت را مکلف کرده است که فناوری‌های نوین عرضه و مصرف انرژی را که به وضوح می‌تواند شامل منابع تجدیدپذیر نیز شود، توسعه دهند. این ماده، بار مسئولیت اجرایی را بر دوش دستگاه‌های مشخصی می‌گذارد و عملاً آنها را به پاسخگویی در قبال فراهم کردن بسترهای لازم برای اتصال مراکز پرمصرف که طبیعتاً شامل مزارع استخراج نیز می‌شود، به منابع انرژی مورد نیاز ملزم می‌کند. این قانون زمانی اهمیت عملی بیشتری پیدا

می‌کند که شبکه برق کشور نتواند پاسخگوی نیاز صنعت استخراج رمزارز باشد یا توسعه این صنعت سایر مصرف‌کنندگان را تحت فشار قرار دهد. از سوی دیگر، قانون تنها بر تأمین برق تأکید ندارد، بلکه ارتقای کیفیت و پایداری تولید برق را نیز مدنظر قرار داده است. بنابراین، دستگاه‌های مسئول نباید صرفاً به تأمین برق یارانه‌ای اکتفا کنند، بلکه باید با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، هم ظرفیت تولید برق را افزایش دهند و هم نیاز این صنعت را پاسخ دهند (قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی-ماده ۶).

نکته شایان توجه این است که الزامات فنی باید با معیارهای کمی و قابل سنجش همراه شوند تا نظارت و ارزیابی ممکن باشد. در این زمینه، ماده ۱۹ قانون هوای پاک گامی مهم برمی‌دارد. این ماده وزارت نیرو را مکلف کرده است که حداقل ۳۰ درصد از برق کشور را از منابع تجدیدپذیر تأمین کند. اجرای واقعی این سهمیه می‌تواند به‌طور غیرمستقیم الزام استفاده از انرژی پاک را به این مراکز تحمیل کند. هرچند این ماده به‌طور مستقیم به مصرف‌کنندگان خاصی اشاره ندارد، اما از آنجا که مراکز استخراج جزو مصرف‌کنندگان عمده برق هستند، مصرف کلی برق کشور با ورود این مزارع بالا رفته است و عملاً گسترش این صنعت پیوند غیرقابل گسستی با گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر دارد. به بیان دیگر از آنجایی که حداقل ۳۰ درصد از برق کل کشور باید از منابع پاک تأمین شود، هرگونه گسترش مزارع استخراج بدون افزایش میزان برق تولیدی از منابع پاک، غیرقانونی است (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۶، ماده ۱۹).

این زنجیره الزام‌آوری در نهایت باید به یک ابزار اجرایی ختم شود که انتقال از سیاست و تکلیف به مرحله اجرا را ممکن کند. **آیین‌نامه رفع موانع احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر** مصوب ۲۵ بهمن ۱۴۰۲ هیأت وزیران، نمونه‌ای از این ابزار اجرایی است. این آیین‌نامه با پیش‌بینی تسهیلاتی همچون **خارج کردن واگذاری زمین برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی از محدودیت یک‌بار واگذاری (ماده ۱)** و **کاهش تشریفات اداری شامل حذف الزام به طی فرایند پنجره واحد مدیریت زمین (بند ۵ ماده ۱)**، مسیر انعقاد قرارداد میان سرمایه‌گذاران و بهره‌برداران برق پاک را تسهیل می‌کند. همچنین با **حذف الزام انجام مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی برای نیروگاه‌های بیش از ۱۰۰ مگاوات (ماده ۵)** و تعیین **اجاره‌بهای سالیانه حداکثر معادل ۲۰ درصد ارزش معاملاتی زمان واگذاری زمین (ماده ۲)**، این آیین‌نامه هزینه‌ها و موانع ورود سرمایه‌گذاران را کاهش داده است. نتیجه آن، فراهم شدن شرایطی است که تولیدکنندگان برق تجدیدپذیر بتوانند با مصرف‌کنندگان بزرگ قرارداد مستقیم منعقد کنند و انرژی تولیدی، بدون ورود به شبکه سراسری، مستقیماً به مصرف‌کننده برسد. عملاً بهانه‌های

اقتصادی برای استفاده نکردن از منابع انرژی پاک را در این صنعت با این آیین‌نامه می‌تواند غیرقابل توجیه قلمداد شود (هیأت وزیران، ۱۴۰۲، مواد ۱، ۲ و ۵).
 علی‌رغم تمام این قوانین، واقعیت اجرایی همیشه به قوت متن قانون نیست. چالش اصلی، یکپارچه‌سازی این مقررات و ایجاد سازوکاری است که صدور یا تمدید مجوز استخراج را به احراز استفاده واقعی از انرژی پاک گره بزند. این به معنای نیاز به سامانه‌های پایش آنلاین، گزارش‌دهی شفاف و راستی‌آزمایی منبع انرژی مصرفی است. همچنین باید ضمانت اجراهای پیش‌بینی‌شده در قوانین و آیین‌نامه‌ها بدون اغماض اعمال شود تا انگیزه دور زدن الزامات کاهش یابد. تنها در چنین چارچوبی است که می‌توان گفت نظام حقوقی ایران، علاوه بر ظرفیت الزام‌آوری، از قابلیت اجرایی لازم برای توسعه واقعی انرژی‌های تجدیدپذیر در صنعت استخراج رمزارز نیز برخوردار است.

۲.۳. قوانین و مقررات مرتبط با تعیین تعرفه و نرخ برق در استخراج رمزارزها

تعیین تعرفه برق برای مراکز استخراج رمزارز تنها یک مسئله اقتصادی نیست، بلکه با سیاست‌های انرژی، عدالت توزیعی و حفاظت از منابع عمومی نیز ارتباط دارد. ماهیت انرژی‌بر این صنعت موجب می‌شود که استفاده از برق یارانه‌ای، علاوه بر افزایش فشار بر شبکه، بخشی از یارانه‌های عمومی را به فعالیتی اختصاص دهد که لزوماً متناسب با هزینه‌های تحمیل‌شده بر جامعه نیست. از این‌رو، نظام تعرفه‌گذاری باید دو هدف را همزمان دنبال کند: جلوگیری از اتلاف منابع عمومی و ایجاد انگیزه برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از منابع پاک.

در نقطه آغاز این زنجیره، ماده ۳۹ قانون برنامه ششم توسعه قرار دارد که دولت را ملزم می‌کند در راستای اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، از طریق سیاست‌های تعرفه‌ای و دریافت عوارض از صنایع با شدت مصرف انرژی بالا، عدالت در بهره‌برداری از حامل‌های انرژی را تقویت و منابع حاصل را برای بهینه‌سازی مصرف و حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص دهد. هرچند در متن ماده، به‌طور صریح از سقف مصرف نام برده نشده است، اما فلسفه آن می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای اعمال محدودیت‌ها و نرخ‌های ویژه بر واحدهایی که مصرفی فراتر از الگو دارند، تفسیر شود. در این چارچوب، فعالیت‌های نوظهوری مانند استخراج رمزارز نیز، به‌دلیل مصرف بالای برق و آثار آن بر شبکه، می‌توانند مشمول این دسته‌بندی قرار گیرند و از منظر سیاست‌گذاری انرژی، با تعرفه‌ها و ضوابط متناسب با شدت مصرف مواجه شوند (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵، ماده ۳۹). اجرای این سیاست‌ها در سطح شبکه و کنترل رعایت ساعات اوج/غیراوج، بر عهده توانیر و شرکت‌های برق منطقه‌ای است.

این جهت‌گیری در ماده ۴۶ قانون برنامه هفتم پیشرفت ادامه می‌یابد، اما با یک تغییر مهم: این ماده برای حل مسئله قیمت‌گذاری واقعی، به ظرفیت‌های ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر ارجاع می‌دهد. ماده ۱۲ اجازه می‌دهد که سرمایه‌گذاری در بهینه‌سازی مصرف یا ایجاد ظرفیت تولید انرژی، از محل صرفه‌جویی یا فروش برق و سوخت با قیمت صادراتی بازپرداخت شود. پیوند میان این دو ماده، بُعد اقتصادی تعرفه‌گذاری را به بُعد سرمایه‌گذاری گره می‌زند: مراکز استخراج، اگر به دنبال تعرفه پایین‌ترند، می‌توانند با مشارکت در طرح‌های بهینه‌سازی یا احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر اختصاصی، بخشی از هزینه انرژی خود را جبران کنند. این سازوکار، تعرفه را از یک عدد ثابت تحمیلی به یک ابزار تنظیمی و تشویقی تبدیل می‌کند (برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران ۱۴۰۳).

از سوی دیگر، ماده ۲۴ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، واحدهای با قدرت الکتریکی بیش از یک مگاوات را موظف به انجام ممیزی و اجرای برنامه‌های بهینه‌سازی انرژی می‌کند. این الزام، نقش یک معیار فنی در تعرفه‌گذاری ایفا می‌کند: تعرفه واقعی باید نه تنها بر اساس میزان مصرف، بلکه بر اساس رعایت یا عدم رعایت الزامات بهینه‌سازی تعیین شود. این الزام، کارایی انرژی را به یکی از معیارهای مؤثر در تعرفه‌گذاری تبدیل می‌کند. در نتیجه، تعرفه برق نباید صرفاً بر پایه میزان مصرف تعیین شود، بلکه میزان رعایت الزامات بهینه‌سازی انرژی نیز باید در آن لحاظ شود.

اجرای دقیق ماده ۲۴ می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد تعرفه‌های پلکانی بر مبنای عملکرد باشد، نه صرفاً حجم مصرف (قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی-ماده ۶).

در عمل، نقطه عطف قانونگذاری در این حوزه، تصویب‌نامه وزارت نیرو در دی ۱۳۹۹ درباره تعرفه مراکز استخراج است. این مصوبه، برق مصرفی مراکز استخراج مجاز را مشمول نرخ صادراتی دانسته و در ساعات غیر اوج، ضریب ۰/۵ بر آن اعمال کرده و در زمان اوج آن را به‌طور کامل ممنوع کرده است. این رویکرد، دو پیامد مهم دارد: نخست، حذف یارانه پنهان برق برای این صنعت و جلوگیری از رقابت ناعادلانه با سایر مصرف‌کنندگان؛ دوم، هدایت رفتار مصرف به سمت ساعات کم‌بار شبکه و کاهش فشار بر تولید و انتقال. این ترکیب نرخ صادراتی و ضریب زمانی، عملاً استخراج رمزارز را به یک فعالیت قیمت‌پذیر بر اساس شرایط شبکه تبدیل می‌کند، نه مصرف‌کننده‌ای با نرخ ثابت و تضمین‌شده (وزارت نیرو، ۱۴۰۰ الف، مصوبه شماره ۱۴۰۰/۲۰/۱۰۷۸۶/۱۴۰۰).

پیوند نهایی این زنجیره، در آیین‌نامه اجرایی ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید دیده می‌شود. در ماده ۳ و تبصره «ج» این آیین‌نامه، امکان تسویه هزینه‌های صرفه‌جویی یا تولید اضافی با قیمت صادراتی پیش‌بینی شده است. برای مراکز استخراج، این می‌تواند به معنای آن باشد که اگر با سرمایه‌گذاری در تولید برق پاک یا بهینه‌سازی مصرف، هزینه شبکه را کاهش دهند، می‌توانند

مازاد برق تولیدی یا ارزش صرفه‌جویی را با نرخ صادراتی به فروش برسانند و از این محل، بخشی از هزینه انرژی خود را جبران کنند. این سازوکار، همزمان یک مشوق اقتصادی و یک ابزار نظارتی است، چراکه تنها واحدهایی می‌توانند از آن بهره‌مند شوند که اقدامات واقعی و قابل سنجش در کاهش فشار بر شبکه انجام داده باشند (هیأت وزیران، ۱۳۹۴، ماده ۳ و تبصره «ج»).

اگر این مقررات را در کنار هم ببینیم، تصویر روشنی از فلسفه تعرفه‌گذاری در استخراج رمزارز شکل می‌گیرد: ماده ۳۹ برنامه ششم، ضرورت کنترل و عدالت را بیان می‌کند؛ ماده ۴۶ برنامه هفتم، این ضرورت را به ابزار سرمایه‌گذاری و قیمت‌گذاری واقعی پیوند می‌زند؛ ماده ۲۴ قانون اصلاح الگو، معیار فنی و عملکردی را وارد معادله می‌کند؛ تصویب‌نامه ۱۳۹۹، چارچوب اجرایی تعرفه صادراتی و ضریب زمانی را مشخص می‌سازد و آیین‌نامه ماده ۱۲، مسیر تشویق و بازپرداخت از محل صرفه‌جویی یا تولید پاک را فراهم می‌کند.

از نظر تحلیلی، این چارچوب نه تنها ظرفیت الزام‌آوری برای دریافت تعرفه واقعی از مراکز استخراج را دارد، بلکه ابزارهای تشویقی و تنبیهی لازم برای هدایت رفتار مصرفی را نیز پیش‌بینی کرده است. چالش اصلی، در مرحله اجرا و نظارت است: تعیین دقیق نرخ صادراتی و به‌روزرسانی آن متناسب با بازار انرژی، پایش برخط مصرف و رعایت ساعات غیر اوج، و ارزیابی واقعی اقدامات بهینه‌سازی. اگر این حلقه‌های نظارتی به‌درستی عمل کنند، تعرفه‌گذاری می‌تواند به ابزاری مؤثر برای کاهش فشار بر شبکه، بهبود بهره‌وری و حتی تأمین مالی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور تبدیل شود.

۳.۳. قوانین و مقررات جذب سرمایه و فناوری‌های بین‌المللی استخراج پایدار رمزارزها

گذار استخراج رمزارز به سمت الگوی پایدار، بدون دسترسی به سرمایه و فناوری‌های کارآمد امکان‌پذیر نیست. از این‌رو، نظام حقوقی باید از یک سو شرایط جذب سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی و ورود فناوری‌های نو را فراهم کند و از سوی دیگر، مانع ورود تجهیزات سرمایه‌گذاری‌هایی شود که با الزامات زیست‌محیطی سازگار نیستند. در غیر این صورت، اهداف پایداری ممکن است تحت تأثیر ملاحظات کوتاه‌مدت اقتصادی قرار گیرد. در ایران، این معماری حقوقی از بالاترین سطح یعنی قانون اساسی آغاز می‌شود و تا مقررات اجرایی صدور مجوز فعالیت امتداد دارد.

در گام نخست، اصول ۴۴ و ۴۵ قانون اساسی بنیان مشروعیت سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را مشخص می‌کنند. اصل ۴۴، مالکیت بخش خصوصی، تعاونی و دولتی را در حوزه‌های مختلف اقتصاد به رسمیت می‌شناسد و زمینه را برای مشارکت بخش خصوصی، از جمله سرمایه‌گذاران خارجی، فراهم می‌کند. اصل ۴۵ نیز انفال و ثروت‌های عمومی از جمله منابع انرژی را در اختیار

حکومت قرار می‌دهد، با این قید که نحوه بهره‌برداری از آنها باید طبق مصالح عمومی و با رعایت قوانین باشد. ترکیب این دو اصل نشان می‌دهد که نظام حقوقی ایران، در سطح قانون اساسی، مداخله و سرمایه‌گذاری خارجی را در حوزه‌های مرتبط با انرژی، از جمله تولید برق تجدیدپذیر را مجاز می‌داند، مشروط بر آنکه سازوکار بهره‌برداری در چارچوب قوانین و با رعایت ملاحظات حاکمیتی تنظیم شده باشد. این پیش‌فرض، مهم‌ترین گام برای ورود به بحث جذب سرمایه و فناوری‌های بین‌المللی است (جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۵۸، اصول ۴۴ و ۴۵).

حرکت از این چارچوب کلی به بستر اجرایی، در ماده ۴۶ قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت، نمود پیدا می‌کند. این ماده به صراحت اجازه می‌دهد صنایع و مصرف‌کنندگان بزرگ برق (که مزارع استخراج مجاز نیز می‌توانند ذیل آن تعریف شوند) نسبت به احداث نیروگاه‌های خودتأمین اقدام کنند (برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران ۱۴۰۳). این امکان، گره سرمایه‌گذاری را از وابستگی به بودجه‌های دولتی باز می‌کند و مسیر را برای ورود سرمایه‌های خارجی به پروژه‌های تولید برق پاک اختصاصی برای مراکز استخراج هموار می‌سازد. مهم‌تر از آن، آیین‌نامه اجرایی ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر یک مکانیزم بازپرداخت بر اساس صرفه‌جویی یا فروش برق با نرخ صادراتی پیش‌بینی کرده است که ریسک مالی سرمایه‌گذار را کاهش می‌دهد و انگیزه ورود فناوری‌های نو را افزایش می‌دهد (هیأت وزیران، ۱۳۹۴، ماده ۳ و تبصره «ج»).

این مسیر در آیین‌نامه اجرایی ماده ۱۲ شکل قراردادی و عملیاتی پیدا می‌کند. مواد ۱ و ۲ این آیین‌نامه، امکان انعقاد قرارداد با شرکت‌های خدمات انرژی داخلی و خارجی را پیش‌بینی می‌کند. این قراردادها شامل تأمین مالی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از نیروگاه‌های تجدیدپذیر یا واحدهای بهینه‌سازی مصرف است و بازپرداخت سرمایه از محل صرفه‌جویی انرژی یا فروش برق مازاد انجام می‌شود. در حوزه استخراج رمزارز، چارچوب مزبور همکاری با شرکت‌های متخصص در نیروگاه‌های خورشیدی یا سامانه‌های خنک‌سازی کارآمد را در برمی‌گیرد. آیین‌نامه، چارچوب حقوقی این همکاری‌ها را به‌روشنی تبیین کرده و از نظر حقوقی، موانع اصلی ورود فناوری‌های یادشده را رفع کرده است (هیأت وزیران، ۱۳۹۴، مواد ۱-۳).

اما جذب سرمایه و فناوری بدون کنترل کیفیت تجهیزات و رعایت استانداردهای کارایی، می‌تواند به ورود فناوری‌های مستهلک یا پرمصرف بینجامد و فلسفه پایداری را نقض کند. در اینجا، دستورالعمل صدور پروانه بهره‌برداری برای استخراج رمزارز (مصوب ۱۳۹۸ وزارت صنعت، معدن و تجارت) نقش حلقه کنترل نهایی را دارد. بند ۸-۲-۶ این دستورالعمل، صدور مجوز را منوط به اخذ استعلام از وزارت نیرو می‌کند، که به معنای کنترل ظرفیت و منبع برق مصرفی پیش از آغاز فعالیت است. بند ۱۲-۲-۶ نیز واردات و استفاده از تجهیزات استخراج را منوط به

دارا بودن برچسب انرژی و رعایت استانداردهای مصرف می‌داند. این دو بند، سازوکار نظارتی مهمی ایجاد می‌کنند که اطمینان می‌دهد سرمایه‌گذاری جدید، چه داخلی و چه خارجی، تنها در صورتی مجاز خواهد بود که فناوری به کاررفته با معیارهای کارایی و مصرف بهینه سازگار باشد (وزارت صنعت، معدن و تجارت ۱۳۹۸).

مجموعه این مقررات، چارچوب نسبتاً منسجمی برای جذب سرمایه و فناوری‌های مورد نیاز استخراج پایدار رمزارز فراهم می‌کند. نقش وزارت نیرو در این میان کلیدی است، زیرا تنظیم سیاست‌های تعرفه، تخصیص ظرفیت شبکه، اجازه عبور برق و پایش تعهدات ناشی از ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید در حوزه انرژی در حیطه مسئولیت این وزارتخانه است. در ساختار این وزارتخانه، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) به عنوان مرجع تخصصی توسعه نیروگاه‌های پاک و مدیریت قراردادهای خرید یا انتقال برق تجدیدپذیر فعالیت می‌کند و در کنار آن، شرکت توانیر و شرکت‌های برق منطقه‌ای، ارزیابی ظرفیت اتصال، اجرای شرایط شبکه و کنترل مصرف را بر عهده دارند.

وزارت صنعت، معدن و تجارت نیز جایگاه محوری در صدور و تمدید مجوزهای استخراج دارد. این وزارتخانه، با درج شروط مشخص در پروانه‌های فعالیت، می‌تواند تأمین برق از منابع پاک یا اجرای طرح‌های ماده ۱۲ را به یک الزام قانونی تبدیل کند. علاوه بر این، در حوزه واردات تجهیزات، با همکاری سازمان ملی استاندارد، موظف است از ورود دستگاه‌هایی که فاقد برچسب کارایی انرژی یا استاندارد مصرف هستند جلوگیری کند تا سرمایه‌گذاری‌ها به فناوری‌های ناکارا یا پرمصرف گره نخورد.

برای پروژه‌هایی که با سرمایه‌گذاری خارجی یا انتقال فناوری بین‌المللی همراهند، سازمان سرمایه‌گذاری و کمک‌های اقتصادی و فنی ایران و وزارت امور اقتصادی و دارایی، مسیر ثبت و حمایت از این سرمایه‌ها را فراهم کرده و با ایجاد سازوکارهای مالی شفاف، بازپرداخت سرمایه از محل صرفه‌جویی یا فروش برق با نرخ صادراتی را اطمینان‌پذیر می‌سازند. همچنین در طرح‌هایی که هدف آن کاهش سوزاندن گازهای همراه یا جایگزینی سوخت است، وزارت نفت نقش هماهنگ‌کننده منابع سوخت و ارزیاب کاهش واقعی انتشار را بر عهده دارد تا از انتقال آلودگی به شکل یا مکانی دیگر جلوگیری شود.

با توجه به تنوع نقش‌ها و وظایف این نهادها، موضوع هماهنگی میان‌بخشی در اجرای مقررات مزبور اهمیت دارد. فرایندهای مرتبط با تأمین برق، اتصال به شبکه، رعایت الزامات کارایی و استانداردهای زیست‌محیطی بر اساس مقررات هر دستگاه و تعاملات اداری میان آنها پیش می‌رود و مستندات صادره توسط دستگاه‌های ذی‌صلاح مبنای صدور یا تمدید مجوز فعالیت قرار می‌گیرد.

۴. جلوگیری از آلودگی گرمایی اکوسیستم‌های منابع آب شیرین: قوانین و مقررات

نقطه آغاز بحث آلودگی حرارتی، تأثیر افزایش دمای آب بر اکوسیستم‌های آبی است. آبی که در فرایند خنک‌سازی مراکز استخراج یا نیروگاه‌های حرارتی استفاده می‌شود، به‌طور معمول با دمایی بالاتر به محیط بازمی‌گردد. این افزایش دما ظرفیت آب برای حل اکسیژن را کاهش می‌دهد، تعادل زیستی آبزیان را بر هم می‌زند و می‌تواند ساختار اکوسیستم را تغییر دهد. این پدیده که در ادبیات فنی با عنوان «آلودگی حرارتی» شناخته می‌شود، از نظر حقوقی، زمانی که این وضعیت در قالب قواعد قانونی قرار گیرد، در شمار مصادیق آلودگی محیط زیست محسوب می‌شود و قابل تنظیم و کنترل خواهد بود. در سلسله‌مراتب حقوقی ایران، نقطه شروع اصل ۵۰ قانون اساسی است که حفاظت از محیط زیست را تکلیف عمومی می‌داند و هر فعالیت اقتصادی یا صنعتی که به آن آسیب برساند را ممنوع اعلام می‌کند؛ حکمی که بستر مشروعیت برای مداخله دولت در برابر آثار ناشی از آلودگی حرارتی را فراهم می‌سازد (قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران).

از این چتر بالادستی عبور که کنیم، نخستین قاعده روشن، در قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست دیده می‌شود: ماده ۹ این قانون هر اقدامی را که موجب آلودگی هوا، آب، خاک یا زمین شود، ممنوع می‌داند؛ به‌ویژه وقتی این تغییرات برای انسان یا سایر جانداران زیان‌آور باشد. معنای ساده این عبارت برای مورد ما این است که افزایش دمای موضعی آب منطقه (اگر آثار زیست‌سنجی آن مخرب شناسایی شود) نوعی آلودگی آب است و تحت ممنوعیت ماده ۹ قرار می‌گیرد. ماده ۱۱ همان قانون هم دست سازمان حفاظت محیط زیست را برای پیشگیری، کنترل و در صورت لزوم توقف فعالیت‌های آلاینده باز می‌گذارد؛ بنابراین، اگر برق مصرفی مراکز استخراج از نیروگاه‌های حرارتی تأمین شود، آب خنک‌سازی این نیروگاه‌ها پس از ورود مجدد به رودخانه یا مخزن با دمای بالاتر، نوعی آلودگی آب محسوب می‌شود و تحت ممنوعیت ماده ۹ قرار می‌گیرد. در چنین حالتی، سازمان حفاظت محیط زیست طبق ماده ۱۱ همان قانون، اختیار دارد برای پیشگیری یا در صورت لزوم توقف فعالیت آلاینده، اقدام کند (قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست ۱۳۷۱).

اما ممنوعیت کلی بدون استاندارد مشخص قابل اجرا نیست. پیوند این دو را آیین‌نامه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ تولیدی، خدماتی و عمرانی برقرار می‌کند. این آیین‌نامه ابزار فرایندی دولت برای پیش‌آگاهی از آثار و تعیین شروط فنی است. بر اساس آن، اگر یک مرکز استخراج به لحاظ ظرفیت و آثار زیست‌محیطی در زمره طرح‌های بزرگ قرار گیرد، ملزم به ارائه گزارش ارزیابی اجمالی یا تفصیلی خواهد بود؛ گزارشی که باید پیامدهایی مانند تغییرات دما یا مصرف آب را پیش‌بینی و راهکارهای کاهش آن را مشخص کند. سازمان حفاظت محیط زیست نیز بر پایه این گزارش اختیار دارد مجوز فعالیت را تأیید، مشروط به رعایت شروط

اصلاحی کند یا در صورت ناسازگاری، از صدور یا تمدید آن خودداری نماید (آیین‌نامه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ تولیدی، خدماتی و عمرانی ۱۳۹۰). برای اینکه این قوانین به ضمانت اجرا وصل شوند، حقوق تخصصی آبزیان حلقه بعدی را شکل می‌دهد. قانون حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی جمهوری اسلامی ایران با ماده ۱ آغاز می‌کند: منابع آبی ثروت ملی‌اند و حراست از آنها از وظایف دولت است؛ ماده ۲ قلمرو آبی کشور را مشمول این قاعده می‌داند. این چارچوب، ابزار حقوقی لازم برای مداخله در مواردی را فراهم می‌کند که تخلیه حرارت یا پساب صنعتی، اکوسیستم‌های آبی را تهدید کند. به‌ویژه، هرگونه بهره‌برداری یا فعالیتی که به کاهش کیفیت زیستگاه‌های آبزیان یا اختلال در چرخه حیات آنها منجر شود، می‌تواند به موجب این قانون مشمول محدودیت، جریمه یا توقف فعالیت گردد (قانون حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی جمهوری اسلامی ایران ۱۳۷۴).

این سه لایه وقتی معنی‌دار می‌شوند که به زنجیره صدور مجوز و بهره‌برداری وصل شوند. مقررات اجرایی وزارت نیرو درباره تأمین برق مراکز استخراج (وزارت نیرو، ۱۴۰۰ الف، مصوبه شماره ۱۴۰۰/۲۰/۱۰۷۸۶/۱۴۰۰) و مقررات برای تأمین برق از منابع تجدیدپذیر و پاک (وزارت نیرو ۱۴۰۰)، عملاً دو نقطه اتصال بین سیاست انرژی و ملاحظات محیط زیستی می‌سازند: نخست این‌که مراکز بزرگ استخراج اساساً بدون احراز منشأ قانونی برق و رعایت شروط فنی شبکه نمی‌توانند فعالیت کنند؛ دوم اینکه اگر منشأ برق به منابع پاک یا طرح‌های پاسخگویی بار مرتبط شود، شدت حرارت دفعی و فشار بر منابع آب (به‌ویژه در نیروگاه‌های حرارتی) کاهش می‌یابد. همین پیوند، امکان گنجانیدن شرط حرارتی در مجوزهای اتصال یا قراردادهای خرید برق را تقویت می‌کند: شرطی که رعایت تغییرات دما، تعبیه مبدل‌های حرارتی یا استفاده از مدار بسته را الزام کند.

در مقام اجرا، استانداردگذاری دمایی باید محل اجتماع علم بوم‌شناسی و قاعده حقوقی باشد. معنای عملی این جمله چنین است: با تکیه بر ماده ۹ قانون حفاظت و بهسازی، آستانه آلودگی دمایی باید به زبان عددی (برای مثال حداکثر تغییرات دما در فاصله مشخص از نقطه تخلیه) تعریف شود و آیین‌نامه ارزیابی اثرات، گزارش‌دهنده را مکلف کند که نشان دهد در بدترین شرایط اقلیمی و هیدرولوژیک، دما از حد مجاز عبور نمی‌کند؛ سپس این حد در متن مجوز، شرط لازم‌الاجرا باشد و سازمان حفاظت محیط زیست اختیار توقف فعالیت در صورت عدم انطباق را (به استناد ماده ۱۱ همان قانون) اعمال کند. به این ترتیب، ممنوعیت کلی به معیار قابل سنجش و معیار به شرط مجوز بدل می‌شود.

بخش دیگری از منطق حقوقی، مکان و زمان تخلیه است. قواعد آبزیان (به واسطه هدف حمایت از ذخایر و فصل‌های حساس تکثیر) این اختیار را به مقام اجرایی می‌دهد که با استناد به

خطر خسارت به منابع آبی، برنامه رها سازی را در هماهنگی با وزارت نیرو تنظیم کند و در دوره های حساس، شدت یا زمان بندی تخلیه را محدود سازد. این هماهنگی، نه فقط برای کانال های روباز که برای زهکشی برج های خنک ساز نیز قابل اعمال است؛ اگر مسیر خروجی در نهایت به منابع سطحی می پیوندد، مشمول همان منطق حمایتی است.

از سوی دیگر، ابزارهای کاهش در مبدأ (مانند خنک کاری مدار بسته، غوطه وری مایع و بازیافت گرمای دفعی) صرفاً توصیه های فنی نیستند؛ به محض آنکه در گزارش ارزیابی وارد شوند، قابلیت تبدیل به شرط الزام آور را دارند. منطق حقوقی ساده است: وقتی مدلی نشان می دهد که با تعبیه مبدل و اتصال به گرمایش ناحیه ای، تغییرات دمای آب خروجی از آستانه مجاز پایین تر می ماند، رد این گزینه بدون دلیل موجه، با روح ماده ۹ (پرهیز از آلودگی) و ماده ۱۱ (اختیار پیشگیری/کنترل) ناسازگار است و به سازمان محیط زیست مستند می دهد تا اصلاح سامانه را الزام کند.

پرسش محتمل این است که آیا همه مراکز استخراج، الزاماً در دایره پروژه های بزرگ آیین نامه ارزیابی قرار می گیرند؟ پاسخ از جنس طراحی آستانه هاست. تنظیم گر می تواند بر مبنای توان نامی برقی، دبی برداشت/تخلیه آب یا حساسیت منطقه پذیرنده آستانه شمول تعریف کند. هر جا از آستانه عبور شد، شروط حرارتی اجباری است؛ هر جا پایین تر بود، پیوست محیط زیستی سبک با پایش میدانی کفایت می کند. در هر دو حالت، ماده ۹ قانون حفاظت و بهسازی، که آلودگی را ممنوع می کند، پشتوانه اعمال محدودیت باقی می ماند و ماده ۱۱ ضمانت توقف در حالت تخلف را مهیا می کند.

لایه نهادی نیز باید با همین منطق اثر-استاندارد-ضمانت چیده شود. وزارت صمت در خط مقدم صدور پروانه استخراج است و می تواند به استناد آیین نامه ارزیابی و نظریه سازمان محیط زیست، شروط حرارتی (حداکثر تغییرات دما، نوع سامانه خنک کاری، برنامه پایش) را در متن مجوز درج کند. وزارت نیرو و شرکت های تابعه (توانیر و برق های منطقه ای) نیز با تکیه بر مصوبات ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ درباره منشأ برق مراکز استخراج، قادرند رعایت منشأ پاک و شرایط اتصال را به اجرای راهکارهای کم آب بر و کم حرارت پیوند بزنند؛ اینجا پیوند سیاست انرژی با حفاظت آبریزان برقرار می شود، چون کاهش بار حرارتی نیروگاه های فسیلی پشتیبان، فشار بر منابع آب شیرین را نیز کم می کند.

۵. پیشنهادها

بر مبنای ارزیابی انجام شده در بخش های ۲ تا ۴ این مقاله، پیشنهادها در چند محور تنظیم می شود: استفاده از ظرفیت های موجود در قوانین انرژی و محیط زیست، اصلاح سازوکار صدور و

تمدید مجوز، بازآرایی تعرفه‌گذاری و تأمین مالی، و تکمیل استانداردهای زیست‌محیطی به‌ویژه در حوزه آب و حرارت. هدف، تبدیل ظرفیت‌های بالفعل نظام حقوقی به زنجیره‌ای قابل اجرا برای مهار آثار زیست‌محیطی استخراج رمزارز است، بدون نیاز فوری به قانونگذاری جدید.

نخست، همان‌گونه که در بخش‌های ۳،۱ و ۳،۳ نشان داده شد، زنجیره صدور مجوز استخراج رمزارز در حال حاضر میان وزارت صنعت، معدن و تجارت (صدور پروانه بهره‌برداری)، وزارت نیرو و شرکت‌های تابعه آن شامل ساتبا، توانیر و شرکت‌های برق منطقه‌ای (تخصیص و تعرفه برق و تأمین انرژی‌های تجدیدپذیر) و سازمان حفاظت محیط زیست (ارزیابی اثرات زیست‌محیطی) توزیع شده است؛ اما سازوکار الزام‌آوری که پروانه وزارت صمت را به احراز منشأ برق و رعایت الزامات زیست‌محیطی گره بزند، به‌صورت صریح وجود ندارد و اتصال این حلقه‌ها عمدتاً از طریق مکاتبات موردی انجام می‌شود. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود دستورالعمل صدور پروانه بهره‌برداری برای استخراج رمزارز مصوب ۱۳۹۸ اصلاح و صدور یا تمدید پروانه به ارائه سه سند الزام‌آور مشروط شود: ۱. گواهی وزارت نیرو/ساتبا مبنی بر تأمین تمام یا درصد معینی از برق مصرفی از منابع تجدیدپذیر مطابق تکالیف ماده ۱۹ قانون هوای پاک؛ ۲. نظر موافق سازمان حفاظت محیط زیست بر اساس آیین‌نامه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی؛ و ۳. قرارداد سه‌جانبه میان مرکز استخراج، تولیدکننده برق پاک و توانیر درباره شرایط اتصال، سقف بار و گزارش‌دهی برخط مصرف. برای کاهش پراکندگی نهادی، می‌توان ساتبا را بر پایه ماده ۴۶ برنامه هفتم به‌عنوان «پنجره واحد فنی تأمین برق پاک» تعیین کرد؛ بدین معنا که فرایند اخذ گواهی منشأ برق و هماهنگی اتصال شبکه از طریق این سازمان انجام شود، درحالی‌که مرجع صدور پروانه فعالیت همچنان وزارت صمت باقی می‌ماند. به این ترتیب، مسئله نبود مرجع واحد در قالب زنجیره مشخصی که در متن مقاله ترسیم شده، در خود حوزه استخراج رمزارز حل می‌شود و در حد یک انتقاد کلی نسبت به ساختار اداری باقی نمی‌ماند.

دوم، در حوزه استانداردهای زیست‌محیطی، یافته‌های بخش ۴ نشان داد که هرچند قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست و آیین‌نامه ارزیابی اثرات، آلودگی حرارتی را قابل تعقیب می‌دانند، آستانه‌های عددی و پروتکل‌های یکپارچه پایش و راستی‌آزمایی برای تخلیه حرارت در منابع آب شیرین به‌طور صریح تعیین نشده است و ارزیابی‌ها اغلب موردی و وابسته به تشخیص کارشناسی هستند. برای عملیاتی کردن این ظرفیت، پیشنهاد می‌شود سازمان حفاظت محیط زیست با اتکا به مواد ۹ و ۱۱ قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست و با همکاری وزارت نیرو و سازمان شیلات، «استاندارد ملی حداکثر تغییرات دمایی مجاز» را در فاصله مشخصی از محل تخلیه (برای مثال در شعاع ۵۰ یا ۱۰۰ متر) تدوین و الزام به مدل‌سازی سناریوی بدبینانه اقلیمی و هیدرولوژیک را در دستورالعمل‌های ارزیابی اثرات وارد کند. رعایت این آستانه باید به‌عنوان

شرط لازم‌الاجرا در موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی و مجوزهای اتصال به شبکه درج و اختیار توقف فعالیت در صورت عدم انطباق به‌طور صریح بر همین استاندارد مبتنی شود. همزمان، بر مبنای بحث شاخص‌های «استخراج پایدار» در بخش ۲ و تکالیف ماده ۲۴ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، لازم است شاخص‌های شدت انرژی، شدت کربن و ردپای آب در سطح هر مزرعه تعریف و گزارش دوره‌ای آنها (برای مثال هر شش ماه یک‌بار) به‌عنوان پیوست اجباری مجوز فعالیت پیش‌بینی شود. الزام به استفاده از تجهیزات دارای برچسب کارایی انرژی که در دستورالعمل ۱۳۹۸ نیز به آن اشاره شده است، باید در مرحله تمدید پروانه به‌گونه‌ای اعمال شود که استفاده از تجهیزات فاقد استاندارد عملاً امکان تمدید را از واحد سلب کند.

سوم، در حوزه تعرفه، تحلیل بخش ۳,۲ نشان داد که مصوبه دی ۱۳۹۹ وزارت نیرو با تعیین نرخ صادراتی و ممنوعیت مصرف در ساعات اوج، گامی مهم برای حذف یارانه پنهان و مدیریت بار برداشته است، اما ساختار تعرفه همچنان عمده‌تاً زمان‌محور است و پیوند روشنی با عملکرد زیست‌محیطی و کارایی انرژی واحدها ندارد؛ به عبارت دیگر، در وضعیت کنونی، میان واحدی که از برق تجدیدپذیر و تجهیزات کم‌مصرف استفاده می‌کند و واحدی که به برق فسیلی و تجهیزات ناکارا متکی است، تفاوت معناداری در نظام تعرفه‌ای وجود ندارد. برای رفع این خلأ و بر پایه اختیارات ناشی از ماده ۳۹ برنامه ششم و ماده ۴۶ برنامه هفتم، پیشنهاد می‌شود نظام تعرفه‌ای پلکانی مبتنی بر عملکرد طراحی شود؛ به‌گونه‌ای که ضریب کاهش یا افزایش تعرفه بر اساس معیارهایی مانند سهم واقعی برق تجدیدپذیر در سبد مصرف مزرعه، نتایج ممیزی انرژی موضوع ماده ۲۴ قانون اصلاح الگوی مصرف، میزان مشارکت در طرح‌های پاسخگویی بار و درجه استفاده از بازیافت گرما تعیین شود. واحدهایی که در این شاخص‌ها به سطح «مطلوب» یا «برتر» می‌رسند از تخفیف یا ضریب کاهنده برخوردار شوند و واحدهایی که حداقل‌های مقرر را رعایت نمی‌کنند با ضریب افزایش مواجه شوند. در این صورت، تعرفه از یک ابزار صرفاً درآمدی به ابزار تنظیم‌گر فعال برای کاهش شدت انرژی و کربن استخراج رمزارز تبدیل می‌شود.

چهارم، در محور تأمین مالی و جذب فناوری، بخش ۳,۳ نشان داد که ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و آیین‌نامه اجرایی آن امکان بازپرداخت سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی را از محل صرفه‌جویی یا فروش برق با نرخ صادراتی فراهم کرده، اما این ظرفیت در عمل به‌طور نظام‌مند در پروژه‌های استخراج رمزارز به کار گرفته نشده است. برای بهره‌گیری مؤثر از این ظرفیت در راستای توسعه استخراج پایدار، پیشنهاد می‌شود وزارت نیرو و ساتبا الگوهای قراردادی استاندارد میان مزارع استخراج، شرکت‌های خدمات انرژی و سرمایه‌گذاران (داخلی و در صورت لزوم خارجی) را بر مبنای ماده ۱۲ تدوین و منتشر کنند؛ به‌گونه‌ای که نصب سامانه‌های خنک‌سازی غوطه‌وری، بازیافت گرما و احداث

نیروگاه‌های تجدیدپذیر اختصاصی در قالب قراردادهای خدمات انرژی یا خودتأمین، از نظر حقوقی و مالی قابل اتکا باشد. همچنین با همکاری وزارت امور اقتصادی و دارایی و سازمان سرمایه‌گذاری، فرایند ثبت و حمایت از سرمایه‌گذاری خارجی در پروژه‌های ماده ۱۲ که موضوع آن تأمین برق پاک برای استخراج رمزارز است ساده‌سازی شود تا ریسک حقوقی طرف خارجی کاهش یابد و امکان جذب فناوری‌های کارآمدتر فراهم شود.

پنجم، با توجه به تجربه‌های تطبیقی ذکرشده در بخش ۲، از جمله دوره‌های تعلیق صدور مجوز برای واحدهای مبتنی بر سوخت فسیلی در برخی حوزه‌های قضایی، اجرای همزمان همه الزامات جدید بدون توجه به تفاوت ظرفیت‌ها و شرایط محلی می‌تواند به شوک در شبکه و صنعت و در نتیجه تلاش برای دور زدن مقررات منجر شود. بر این مبنای پیشنهاد می‌شود گذار به الگوی استخراج پایدار به صورت مرحله‌ای و منطقه‌محور طراحی شود: اجرای پایلوت‌های استانی در مناطقی که ظرفیت انرژی تجدیدپذیر بالاتر و تنش آبی کمتر است؛ محدودسازی یا تعلیق صدور مجوز جدید در حوضه‌های دارای تنش آبی تا زمان تصویب و اجرای استانداردهای دمایی تخلیه و استقرار سامانه‌های پایش؛ و تعریف برنامه زمان‌مند برای خروج تدریجی تجهیزات پرمصرف از مدار، با تکیه بر نظام برچسب انرژی و الزامات ممیزی انرژی. این اقدامات می‌تواند با استناد به اختیارات سازمان حفاظت محیط زیست در ارزیابی اثرات و اختیار توقف فعالیت‌های آلاینده، و درج شروط مربوط در مجوزهای اتصال به شبکه، اجرایی شوند.

ششم، یکی از محورهای تکرارشونده در بخش ۲، ضرورت شفافیت داده‌ای و استقرار سازوکارهای اندازه‌گیری، گزارش‌دهی و راستی‌آزمایی برای کاهش آثار زیست‌محیطی استخراج رمزارز است. در ایران، همان‌طور که در بخش ۳،۱ اشاره شد، با وجود تکالیف کلی در قوانین بالادستی، منظومه یکپارچه‌ای برای گردآوری و انتشار داده‌های مربوط به منشأ برق، شدت کربن و آب و میزان مشارکت در طرح‌های پاسخگویی بار مزارع استخراج وجود ندارد. برای پر کردن این خلأ، پیشنهاد می‌شود وزارت نیرو با همکاری ساتبا و سازمان حفاظت محیط زیست، سامانه‌ای برخط مبتنی بر کنتورهای هوشمند ایجاد کند که در آن برای هر مزرعه استخراج دارای مجوز، اطلاعات تجمعی ماهانه درباره مصرف برق، سهم برق تجدیدپذیر، شاخص‌های شدت انرژی و کربن و - در صورت ارتباط با منابع آبی - نتایج پایش دمایی و کیفی ثبت و بخش‌هایی از این اطلاعات در قالب داشبورد عمومی منتشر شود. تکمیل گزارش‌های دوره‌ای و راستی‌آزمایی مستقل این داده‌ها می‌تواند به عنوان شرط تمدید مجوز در دستورالعمل‌های صدور و تمدید پروانه و مصوبات وزارت نیرو درج شود. این پیشنهاد به طور مستقیم بر بحث شفافیت داده‌ای و استانداردسازی گزارش‌دهی در مقررات بین‌المللی بازار دارایی‌های رمزارزی که در بخش ۲ به آن پرداخته شد، تکیه دارد.

هفتم، همان‌گونه که در بخش ۴ نشان داده شد، قواعد مربوط به حفاظت از منابع آبی و ممنوعیت آلودگی حرارتی در حال حاضر بیش از آنکه در قالب آستانه‌های عددی و الزامات اجرایی مشخص نمود پیدا کرده باشند، در سطح احکام کلی باقی مانده‌اند. برای تبدیل این ظرفیت به ابزار عملی حمایت از اکوسیستم‌های آب شیرین، پیشنهاد می‌شود «پیوست آبریان» برای مجوزهای مراکز استخراجی که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر منابع آب سطحی اثر می‌گذارند تدوین شود؛ پیوستی که در آن حداکثر تغییرات دما، فصل‌های حساس و ممنوعه تخلیه، شاخص‌هایی مانند اکسیژن محلول و وضعیت جوامع زیستی، و سازوکار توقف خودکار یا کاهش بار در صورت عبور از آستانه‌ها به‌طور صریح تعیین شود. این پیوست باید در متن موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی سازمان حفاظت محیط زیست و در شرایط اتصال به شبکه که توسط وزارت نیرو و شرکت‌های برق منطقه‌ای صادر می‌شود، ادغام و مبنای پایش میدانی قرار گیرد تا پیوند میان قواعد حفاظت از آبریان و سیاست‌های تأمین برق مراکز استخراج، که در بخش ۴ به آن اشاره شد، به‌صورت عملی برقرار شود.

مجموع این پیشنهادها به‌طور مستقیم بر نتایج ارزیابی حقوقی و تطبیقی ارائه‌شده در بخش‌های ۲ تا ۴ تکیه دارد و می‌کوشد ظرفیت‌های موجود در قانون اساسی، برنامه‌های توسعه، قوانین انرژی و محیط زیست و آیین‌نامه‌های اجرایی را به زنجیره‌ای از تعهدات مشخص، قابل سنجش و قابل پایش برای مزارع استخراج رمزارز تبدیل کند؛ زنجیره‌ای که در صورت اجرا، فرضیه اصلی مقاله مبنی بر امکان مهار آثار زیست‌محیطی استخراج رمزارز با تکیه بر همین ظرفیت‌ها را از سطح امکان‌سنجی نظری به سطح برنامه اقدام اجرایی نزدیک می‌کند.

نتیجه

بررسی قوانین و مقررات موجود نشان می‌دهد که نظام حقوقی ایران از ظرفیت لازم برای کنترل آثار زیست‌محیطی استخراج رمزارزها برخوردار است و چالش اصلی، بیش از آنکه ناشی از فقدان قانون باشد، به پراکندگی نهادی و ضعف در اجرای هماهنگ مقررات بازمی‌گردد. مشروط کردن صدور و تمدید مجوز به تأمین برق پاک، اعمال تعرفه‌های عملکردمحور، شفافیت داده‌های مصرف و پایش ردپای آب و آلودگی حرارتی می‌تواند چارچوبی مؤثر و قابل نظارت ایجاد کند. بنابراین، پیش از توسل به قانونگذاری جدید، باید بر یکپارچه‌سازی فرایندهای اجرایی، تدوین استانداردهای فنی و اعمال مؤثر ضمانت اجرای موجود تمرکز شود.

بیانیه نبود تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که تعارض منافع وجود ندارد و تمام مسائل اخلاق در پژوهش را شامل پرهیز از دزدی ادبی، انتشار و یا ارسال بیش از یک بار مقاله، تکرار پژوهش دیگران، داده‌سازی یا جعل داده‌ها، منبع‌سازی و جعل منابع، رضایت ناآگاهانه سوژه یا پژوهش‌شونده، سوء رفتار و غیره، به‌طور کامل رعایت کرده‌اند.

قدردانی

بدین‌وسیله از تمامی مسئولان و دست‌اندرکاران حوزه‌های موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا در دانشگاه آزاد اسلامی و همچنین کتابخانه ملی ایران، که در فراهم‌سازی منابع مورد نیاز این پروژه ما را یاری کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- آرامش شهبازی؛ حیدری ترک‌آباد، فهیمه (۱۴۰۳). استخراج رمزارزها و حقوق بین‌الملل محیط زیست: الزامات و چالش‌ها. *فصلنامه مطالعات حقوق عمومی دانشگاه تهران*، ۵۴(۴)، ۲۷۱۷-۲۷۴۶. DOI: 10.22059/jpls.q.2023.339087.3037
- جمهوری اسلامی ایران (۱۳۵۸). قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران. مصوب همه‌پرسی عمومی مورخ ۱۲ آذر ۱۳۵۸، با اصلاحات مصوب همه‌پرسی مورخ ۶ مرداد ۱۳۶۸، تهران.
- رمضانی قوام‌آبادی، محمدحسین (۱۳۹۲). حفاظت از محیط زیست در حقوق اساسی جمهوری اسلامی ایران. *دیدگاه‌های حقوق قضایی*، ۱۸(۶۳)، ۹۳-۱۴۰. در: https://jlviews.ujss.ac.ir/article_703419.html (۱۲ اسفند ۱۴۰۴)
- هیأت وزیران (۱۳۹۰). آیین‌نامه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ تولیدی، خدماتی و عمرانی. مصوب هیأت وزیران، تهران.
- هیأت وزیران (۱۳۹۴). آیین‌نامه اجرایی ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور. مصوب هیأت وزیران، تهران.
- هیأت وزیران (۱۴۰۲). آیین‌نامه رفع موانع احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر. مصوب هیأت وزیران، تهران.
- مجلس شورای اسلامی (۱۳۵۳). قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست. مصوب ۲۸ خرداد ۱۳۵۳، با اصلاحات و الحاقات بعدی، تهران: مجلس شورای اسلامی.
- مجلس شورای اسلامی (۱۳۷۴). قانون حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی جمهوری اسلامی ایران. مصوب ۱۴ شهریور ۱۳۷۴، تهران: مجلس شورای اسلامی.
- مجلس شورای اسلامی (۱۳۸۹). قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، به‌ویژه ماده (۶). مصوب ۴ اسفند ۱۳۸۹، تهران: مجلس شورای اسلامی، ص ۱-۸.

مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۵). قانون برنامه پنج ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران. مصوب ۱۴ اسفند ۱۳۹۵، تهران: مجلس شورای اسلامی.

مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۶). قانون هوای پاک، به ویژه ماده (۱۹). مصوب ۲۵ تیر ۱۳۹۶، تهران: مجلس شورای اسلامی.

مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۳). قانون برنامه پنج ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران. مصوب ۱۴۰۳، تهران: مجلس شورای اسلامی.

وزارت صنعت، معدن و تجارت (۱۳۹۸). دستورالعمل صدور پروانه بهره برداری برای فعالیت استخراج رمزارز. مصوب وزارت صنعت، معدن و تجارت، تهران.

وزارت نیرو (۱۳۹۸). مقررات تأمین برق مراکز استخراج رمزارزها. مصوب و ابلاغ شده توسط وزارت نیرو، تهران.

وزارت نیرو (۱۴۰۰). اصلاح مقررات تأمین برق مراکز استخراج رمزارزها. مصوب و ابلاغ شده توسط وزارت نیرو، تهران.

وزارت نیرو (۱۴۰۰). مقررات تأمین برق مراکز استخراج رمزارزها از منابع تجدیدپذیر و پاک. ابلاغ شده توسط وزارت نیرو، تهران.

References

- Bruno, A., Weber, P., & Yates, A. J. (2023). Can Bitcoin Mining Increase Renewable Electricity Capacity? *Resource and Energy Economics*, 74, Article 101376. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2023.101376>
- Chamanara, S., Ghaffarizadeh, S. A., & Madani, K. (2023). The Environmental Footprint of Bitcoin Mining across the Globe: Call for Urgent Action. *Earth's Future*, 11(10), Article e2023EF003871. <https://doi.org/10.1029/2023EF003871>
- Council of Ministers of the Islamic Republic of Iran. (2011). *Environmental Impact Assessment By-law for Major Production, Service, and Development Projects*. Approved 20 November 2011 [29 Aban 1390]. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=5796680998973514441> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Council of Ministers of the Islamic Republic of Iran. (2015). *Executive By-law of Article 12 of the Law on Removing Barriers to Competitive Production and Improving the National Financial System*. Approved 12 July 2015 [12 July 2015]. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=77228989880917037> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Council of Ministers of the Islamic Republic of Iran. (2024). *By-law on Removing Barriers to the Construction of Renewable Power Plants*. Approved 14 February 2024 [14 February 2024].

- <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=2087747374539460599> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- de Vries, A. (2023). Cryptocurrencies on the Road to Sustainability: Ethereum Paving the Way for Bitcoin. *Patterns*, 4(1), Article 100633. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100633>
- de Vries, A. (2024). Bitcoin's Growing Water Footprint. *Cell Reports Sustainability*, 1(1), Article 100004. <https://doi.org/10.1016/j.crsus.2023.100004>
- Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., & Stoll, C. (2020). Energy Consumption of Cryptocurrencies beyond Bitcoin. *Joule*, 4(9), 1843–1846. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>
- Haghshenas, K., Setz, B., Bloesch, Y., & Aiello, M. (2023). Enough Hot Air: The Role of Immersion Cooling. *Energy Informatics*, 6(1), Article 14. <https://doi.org/10.1186/s42162-023-00269-0>
- Islamic Consultative Assembly. (1995). *Law on the Conservation and Exploitation of Aquatic Resources of the Islamic Republic of Iran*. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=5232863487203754909> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Consultative Assembly. (2011). *Energy Consumption Pattern Reform Act*. Article 6, approved 23 February 2011 [5 March 2011]. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=5108236226208858804> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Consultative Assembly. (2017). *Law on the Sixth Five-Year Economic, Social, and Cultural Development Plan of the Islamic Republic of Iran*. Approved 4 March 2017 [4 March 2017]. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=6692614242613958019> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Consultative Assembly. (2017). *Clean Air Act*. Article 19. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=1319491017286243401> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Consultative Assembly. (2024). *Law on the Seventh Five-Year Development Plan of the Islamic Republic of Iran*. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=15033449572675229448> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Republic of Iran. (1979, revised 1989). *Constitution of the Islamic Republic of Iran*. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=6623702055317218729> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Islamic Republic of Iran. (1974, amended 1992). *Law on the Protection and Improvement of the Environment*. <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=6697071490203326533> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]

- Jiang, S., Li, Y., Lu, Q., Hong, Y., Guan, D., Xiong, Y., & Wang, S. (2021). Policy Assessments for the Carbon Emission Flows and Sustainability of Bitcoin Blockchain Operation in China. *Nature Communications*, 12(1), Article 1938. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22256-3>
- Jones, B. A., Goodkind, A. L., & Berrens, R. P. (2022). Economic Estimation of Bitcoin Mining's Climate Damages Demonstrates Closer Resemblance to Digital Crude than Digital Gold. *Scientific Reports*, 12(1), Article 14512. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18686-8>
- Ministry of Energy. (2021). *Resolution Amending the Regulations on Electricity Supply to Cryptocurrency-Mining Centers*. Resolution No. 1400/10786/20/100, issued 5 April 2021 [5 April 2021]. <https://davoudabadi.ir/page/93964725> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Ministry of Energy. (2021b). *Regulations on Supplying Electricity to Cryptocurrency-Mining Centers from Renewable and Clean Energy Sources*. Issued 20 December 2021 [20 December 2021]. <https://irrea.ir/blog/> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Ministry of Industry, Mine and Trade. (2019). *Instructions for Issuing Establishment and Operating Licenses for Cryptocurrency-Mining Activities*. Approved 13 November 2019 [13 November 2019]. <https://w2pshop.ir/wp-content/uploads/2020/08/8.-dastoamal-tasis-baraye-faaliat-estekhraj-ramzarzh.pdf> (Accessed 22 July 2026). [in Persian]
- Náñez Alonso, S. L., Jorge-Vázquez, J., Echarte Fernández, M. Á., & Reier Forradellas, R. F. (2021). Cryptocurrency Mining from an Economic and Environmental Perspective: Analysis of the Most and Least Sustainable Countries. *Energies*, 14(14), Article 4254. <https://doi.org/10.3390/en14144254>
- Ramezani Ghavamabadi, M. H. (2013). The Preservation of the Environment in Iran's Constitution. *The Quarterly Journal of Judicial Law Views*, 18(63), 93–140. https://jlviews.ujsas.ac.ir/article_703419.html (Accessed 3 March 2026). [in Persian]
- Shahbazi, A., & Heidari Torkabad, F. (2024). Cryptocurrency Mining and International Environmental Law: Requirements and Challenges. *Public Law Studies Quarterly*, 54(4), 2717–2746. <https://doi.org/10.2259/jpls.q.2023.339087.3037> [in Persian]
- Swain, S. (2023). Design Options for Pollution Tax on Mining of Crypto Assets. *SSRN Electronic Journal*, 1–12. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4531983>
- Truby, J., Brown, R. D., Dahdal, A., & Ibrahim, I. (2022). Blockchain, Climate Damage, and Death: Policy Interventions to Reduce the Carbon Emissions, Mortality, and Net-Zero Implications of Non-Fungible

- Tokens and Bitcoin. *Energy Research & Social Science*, 88, Article 102499. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102499>
- Vazquez, J., & Crumbley, D. L. (2022). Flared Gas Can Reduce Some Risks in Crypto Mining as Well as Oil and Gas Operations. *Risks*, 10(6), Article 127. <https://doi.org/10.3390/risks10060127>
- Wahlroos, M., Pärssinen, M., Manner, J., & Syri, S. (2017). Utilizing Data Center Waste Heat in District Heating—Impacts on Energy Efficiency and Prospects for Low-Temperature District Heating Networks. *Energy*, 140, 1228–1238. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.078>
- Woo, J.-W., Fatima, R., Kibert, C. J., Newman, R. E., Tian, Y., & Srinivasan, R. S. (2021). Applying Blockchain Technology for Building Energy Performance Measurement, Reporting, and Verification (MRV) and the Carbon Credit Market: A Review of the Literature. *Building and Environment*, 205, Article 108199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108199>