**Water and Electricity Law**

**Homepage: http://ewl.nri.ac.ir**

**Volume:** 2, **Issue:** 2
Summer 2025

# Legal Regulatory Challenges of the Electricity Market in the Face of Emerging Technologies

**Soraya Ahmadpour**[1]✉ | **Abdulbaghi Ghaderzadeh**[2]

1. Corresponding Author; M.Sc. Graduate, Legal and Complaint Handling Office, Kurdistan Province Electricity Distribution Company, Sanandaj, Iran. Email: iaukurd@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran. Email: b.ghaderzadeh@iausdj.ac.ir

## Article Info

**Article Type:**
Research Article

**Pages:** 137-160

**Received:**
2025/07/27
**Accepted**:
2025/12/11
**Published online:**
2026/09/19

**Keywords**:
*Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), Blockchain, Legal Regulatory, Electricity Market, Smart Electricity Grid.*

## Abstract

Recent advances in emerging technologies, including artificial intelligence, the Internet of Things and blockchain, have transformed the management of electricity generation, transmission, distribution and consumption and, through smart grids, enhanced energy efficiency and demand forecasting, thereby creating new opportunities for a more efficient and sustainable electricity market. At the same time, these developments give rise to complex legal challenges concerning the protection of privacy and data generated by IoT devices, the delimitation of civil liability for algorithmic errors, and the legal regulation of blockchain-based smart contracts. Using an analytical and comparative methodology, the article examines the Iranian legal framework in light of international standards and the experience of leading jurisdictions such as the European Union, the United States and Canada, and identifies legal gaps and normative fragmentation in the regulation of these technologies in the electricity market. The findings indicate that, unlike those jurisdictions, Iranian law still lacks coherent rules on data protection, algorithmic liability and smart contracts in the context of the smart electricity market, and thus highlight the need to revise and modernize the relevant legislation and to design flexible and forward-looking regulatory mechanisms that ensure legal certainty, transparency and fairness in access to energy services.

**How To Cite**

Ahmadpour, Soraya; Ghaderzadeh, Abdulbaghi (2025). Legal Regulatory Challenges of the Electricity Market in the Face of Emerging Technologies. *Water and Electricity Law*, 2 (2), 137-160.

**Publisher**

Niroo Research Institute.

حقوق آب و برق

Homepage: http://ewl.nri.ac.ir

دوره: ۲، شماره: ۲
تابستان ۱۴۰۴

# چالش‌های تنظیم‌گری حقوقی بازار برق در مواجهه با فناوری‌های نوظهور

**ثریا احمدپور[۱]✉ | عبدالباقی قادرزاده[۲]**

۱. نویسندهٔ مسئول؛ دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دفتر حقوقی و رسیدگی به شکایات، شرکت توزیع نیروی برق استان کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: iaukurd@gmail.com

۲. استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سنندج، سنندج، ایران. رایانامه: b.ghaderzadeh@iausdj.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** پژوهشی

**صفحات:** ۱۳۷– ۱۶۰

**تاریخ دریافت:**
۱۴۰۴/۰۵/۰۵

**تاریخ پذیرش:**
۱۴۰۴/۰۹/۲۰

**تاریخ انتشار برخط:**
۱۴۰۵/۰۶/۲۸

**کلیدواژه‌ها:**
*هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، بلاک‌چین، تنظیم‌گری حقوقی، بازار برق.*

**چکیده**

پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های نوین از جمله هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و بلاک‌چین، موجب دگرگونی در مدیریت تولید، انتقال، توزیع و مصرف برق شده و با توسعه شبکه‌های هوشمند، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای پیش‌بینی تقاضا، فرصت‌های تازه‌ای برای افزایش کارایی و پایداری در بازار برق ایجاد کرده است. هم‌زمان، این تحولات چالش‌های حقوقی پیچیده‌ای را در حوزه حفاظت از حریم خصوصی و داده‌های حاصل از تجهیزات اینترنت اشیاء، تعیین حدود مسئولیت مدنی ناشی از خطاهای الگوریتمی و تنظیم قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین مطرح می‌کند. این مقاله با رویکرد تحلیلی و تطبیقی، چهارچوب حقوقی ایران را در پرتو استانداردها و تجارب نظام‌های پیشرو مانند اتحادیه اروپا، ایالات متحده و کانادا بررسی و خلاءها و پراکندگی‌های هنجاری موجود در تنظیم‌گری این فناوری‌ها در بازار برق را شناسایی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با این نظام‌ها، حقوق ایران هنوز فاقد قواعد منسجم در زمینه حمایت از داده، مسئولیت الگوریتمی و قراردادهای هوشمند در بازار برق هوشمند است و بر این اساس، بر ضرورت بازنگری و روزآمدسازی مقررات و طراحی سازوکارهای تنظیم‌گری منعطف و آینده‌نگر برای تضمین امنیت حقوقی، شفافیت و عدالت در دسترسی به خدمات انرژی تاکید می‌شود.

**استناد**

احمدپور، ثریا؛ قادرزاده، عبدالباقی (۱۴۰۴). چالش‌های تنظیم‌گری حقوقی بازار برق در مواجهه با فناوری‌های نوظهور. *حقوق آب و برق*، ۲ (۲)، ۱۳۷– ۱۶۰.

**ناشر**

پژوهشگاه نیرو

CC BY NC

## ۱. مقدمه

پیشرفت‌های فناوری در حوزه هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و بلاک‌چین، صنعت برق را به‌طور اساسی متحول کرده است. این فناوری‌ها با ارایه امکاناتی نظیر مدیریت هوشمند تولید و توزیع انرژی، شبکه‌های هوشمند و پیش‌بینی دقیق تقاضا، کارایی و پایداری بازار برق را بهبود بخشیده‌اند (Sovacool & Del Rio, 2022). در ایران، بازار برق به‌عنوان بخشی حیاتی از زیرساخت‌های ملی، تحت تأثیر قوانینی مانند قانون سازمان برق ایران (مصوب ۱۳۴۶) اداره می‌شود که برای نظام‌های سنتی تدوین شده و فاقد ظرفیت لازم برای تنظیم فناوری‌های نوین است (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶). این خلاءهای قانونی، از جمله نبود مقررات مشخص برای حفاظت از داده‌ها و تعیین مسئولیت در قبال سامانه‌های خودکار، موانع جدی برای بهره‌برداری از این فناوری‌ها ایجاد کرده است. در مقابل، استانداردهای بین‌المللی مانند مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها[1] و قانون هوش مصنوعی[2] در اتحادیه اروپا، الگوهایی موفق برای مدیریت این چالش‌ها ارایه داده‌اند (Operating AI Systems, 2023).

از منظر بین‌المللی، چهارچوب‌هایی مانند AI Act و مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها[3] در اتحادیه اروپا نمونه‌هایی از تلاش برای تنظیم‌گری فناوری‌های نوین هستند. این قوانین بر اصول شفافیت، پاسخگویی و حفاظت از داده‌ها تاکید دارند و می‌توانند به‌عنوان الگویی برای ایران مورد استفاده قرار گیرند (Regulating AI in Energy, 2023). با این حال، تفاوت‌های ساختاری در بازار برق ایران، مانند دولتی بودن بخش عمده این صنعت، نیازمند بومی‌سازی این استانداردها است. قانون سازمان برق ایران و قانون مسئولیت مدنی، به‌عنوان ستون‌های سنتی حقوق برق، از حیث ساختار و مواد مرتبط با شرایط بهره‌برداری، تعیین تعرفه‌ها و مسئولیت مدنی عمومی، برای نظم پیشادیجیتال طراحی شده‌اند و فاقد مفاد صریح درباره داده، الگوریتم و امنیت سایبری هستند. از این رو، تحلیل گذار از این چهارچوب‌ها به تنظیم‌گری فناوری‌محور یکی از اهداف اصلی این مقاله است» (قانون سازمان برق ایران، ۱۳۴۶؛ قانون مسئولیت مدنی، ۱۳۳۹).

## ۲. ادبیات پژوهشی

در دهه اخیر، هوش مصنوعی[4] نقش کلیدی در پیش‌بینی بار شبکه، بهینه‌سازی تولید و مصرف برق و مدیریت ریسک‌های عملیاتی پیدا کرده است. هوش مصنوعی با ایجاد مدل‌های پیش‌بینی بار، تعمیر و نگهداری پیشگویانه تجهیزات، و بهینه‌سازی سیستم‌های قدرت، جایگاه مهمی در تحقیقات چند دهه‌ی اخیر

1. GDPR: General Data Protection Regulation
2. AI Act: Artificial Intelligence Act, Regulation (EU) 2024/1689
3. GDPR: General Data Protection Regulation
۴. رک: تعریف هوش مصنوعی در قانون ملی توسعه هوش مصنوعی مصوب ۱۴۰۵ مجلس شورای اسلامی

یافته است .(Huang et al., 2021) پژوهشگران نشان دادند که الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند دقت پیش‌بینی تقاضای انرژی را افزایش داده و هزینه‌های عملیاتی شبکه را کاهش دهد (Sovacool & Del Rio, 2022). با این حال، مسایل حقوقی مالکیت داده، شفافیت تصمیم‌گیری الگوریتمی و تعیین مسئولیت مدنی ناشی از خطاهای سامانه‌های خودران، باید مورد تاکید پژوهش‌های حقوقی قرار گیرد (Regulating AI in Energy, 2023). در ایران نیز مطالعاتی به بررسی کاربرد هوش مصنوعی در بهینه‌سازی تولید و مصرف برق و موانع حقوقی مرتبط پرداخته‌اند (حاجیلویی و همکاران، ۱۴۰۰).

اینترنت اشیاء بستر جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از شبکه‌های هوشمند را فراهم کرده و موجب بهبود کیفیت خدمات و افزایش بهره‌وری در توزیع برق شده است .(Sharmeela et al., 2023) بررسی کشورهای مختلف، استفاده از کنتورهای هوشمند برای مدیریت تقاضا، کاهش تلفات و تسهیل پاسخگویی بار را تایید می‌کند .(Energy and AI – Analysis, IEA, 2025) موضوعات مربوط به حریم خصوصی داده‌های مصرف‌کننده و امنیت اطلاعات، محور تحقیقات حقوقی (در بعد بین‌المللی و ملی) می‌باشد (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶).

همچنین مطالعات متعددی به ظرفیت بلاک‌چین برای ایجاد بازارهای برق شفاف، غیرمتمرکز و همتا به همتا[1] اشاره کرده‌اند. بلاک‌چین، با امکان ثبت شفاف و غیرقابل تغییر تراکنش‌ها، بستر تجارت انرژی همتا به همتا و قراردادهای هوشمند را تقویت کرده است .(Mengelkamp et al., 2018) برخی پژوهش‌ها نیز به ظرفیت بلاک‌چین در کاهش هزینه‌های معاملات و تسریع تسویه مبادلات انرژی اشاره دارند اما پیچیدگی‌های حقوقی مثل تعیین صلاحیت قضایی، نگرانی‌های مربوط به اجرای قهری قراردادها و حفاظت از داده‌ها در فضای بلاک‌چین از دیگر موضوعات کلیدی است که می‌بایست مورد پژوهش قرار گیرد (Sovacool & Del Rio, 2022). یافته‌های مربوط به پژوهش های مرتبط با ایران نشان می‌دهد که بازار برق کشور هنوز فاقد چهارچوب حقوقی لازم برای به‌کارگیری قراردادهای هوشمند است (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). ادبیات داخلی و خارجی اجماع دارند که خلاءهای قانونی — به‌ویژه در زمینه مسئولیت مدنی، حفاظت از داده‌ها و امنیت سایبری — پیشرفت عملی این فناوری‌ها را کند می‌کند (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹؛ وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳).

## ۳. مفاهیم و کاربردهای هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در بازار برق

بازار برق به‌عنوان یکی از ارکان حیاتی زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی، در دهه‌های اخیر شاهد تحولات عمیقی به‌واسطه پیشرفت‌های فناوری، به‌ویژه هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء بوده است. این

1. Peer to Peer

فناوری‌ها با ایجاد امکاناتی نظیر شبکه‌های هوشمند، بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدیریت پیشرفته تقاضا، الگوهای سنتی تولید، انتقال و توزیع برق را بازتعریف کرده‌اند (Sovacool & Del Rio, 2022). در ایران، جایی که صنعت برق عمدتا تحت نظارت دولت فعالیت می‌کند، این فناوری‌ها به‌تدریج در حال نفوذ به زیرساخت‌ها هستند، اما همچنان با موانع حقوقی و ساختاری مواجه‌اند (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶). در کشورهای پیشرفته‌تر مانند اعضای اتحادیه اروپا و ایالات متحده، استفاده گسترده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در بازار برق، چالش‌های حقوقی جدیدی را در حوزه تنظیم‌گری ایجاد کرده است (Regulating AI in Energy, 2023). این بخش به بررسی مفاهیم کلیدی هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء، کاربردهای آن‌ها در بازار برق ایران و کشورهای پیشرفته، و نقش این فناوری‌ها در تحول شبکه‌های هوشمند می‌پردازد.

## ۲. ۱. هوش مصنوعی در بازار برق

هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از فناوری‌ها و الگوریتم‌ها اطلاق می‌شود که قادر به شبیه‌سازی تصمیم‌گیری انسانی، یادگیری از داده‌ها و انجام وظایف پیچیده هستند. در بازار برق، هوش مصنوعی در حوزه‌هایی مانند پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی تولید، مدیریت بار و تشخیص خطاها کاربرد دارد (Energy and AI – Analysis, IEA, 2025). به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین[1] برای تحلیل داده‌های مصرف انرژی و پیش‌بینی الگوهای تقاضا استفاده می‌شوند، که این امر به کاهش هزینه‌ها و بهبود پایداری شبکه کمک می‌کند. از منظر حقوقی، استفاده از هوش مصنوعی مسایل پیچیده‌ای مانند مسئولیت مدنی[2] در قبال تصمیمات خودکار و شفافیت الگوریتمیک[3] را مطرح می‌کند (Operating AI Systems, 2023).

## ۲. ۲. اینترنت اشیاء در بازار برق

اینترنت اشیاء به شبکه‌ای از دستگاه‌ها، حسگرها، و سایر اجسام فیزیکی اشاره دارد که از طریق اتصالات دیجیتال، داده‌ها را جمع‌آوری، تبادل، و تحلیل می‌کند. در بازار برق، اینترنت اشیاء امکان رصد (مانیتورینگ) لحظه‌ای[4] تجهیزات، مدیریت هوشمند مصرف و بهبود کارایی شبکه‌های توزیع را فراهم می‌کند (Sharmeela, 2023). دستگاه‌های اینترنت اشیاء، مانندکنتورهای هوشمند[5]، داده‌های دقیقی از مصرف انرژی ارایه می‌دهند که برای مدیریت تقاضا و پاسخگویی بار[6] حیاتی هستند.

---

1. Machine Learning
2. Civil Liability
3. Algorithmic Transparency
4. Real-Time Monitoring
5. Smart Meters
6. Demand Response

### ۳. ۳. کاربردهای هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در بازار برق ایران و بین الملل

در ایران، هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء به‌تدریج در بازار برق نفوذ کرده و کاربردهایی نظیر پیش‌بینی قیمت و مدیریت مصرف را امکان‌پذیر ساخته‌اند. هوش مصنوعی در پیش‌بینی قیمت روزانه برق، به‌ویژه در ساعات اوج مصرف، نقش کلیدی ایفا می‌کند و تولیدکنندگان هیدروالکتریک را قادر می‌سازد تا با بهینه‌سازی عملکرد سدها، سودآوری خود را افزایش دهند (Hosseini et al., 2023). همچنین، اینترنت اشیاء از طریق استقرار کنتورهای هوشمند، داده‌های دقیقی از مصرف انرژی ارایه می‌دهد که به مدیریت تقاضا و کاهش تلفات انرژی کمک کرده است (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶). با این حال، فقدان زیرساخت‌های داده‌ای پیشرفته و نبود چهارچوب‌های حقوقی مشخص، مانند قوانین مربوط به حریم خصوصی داده‌ها و مسئولیت مدنی در قبال خطاهای سیستمی و الگوریتمیک، توسعه این فناوری‌ها را محدود کرده است (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). این چالش‌ها نشان‌دهنده نیاز به تدوین مقررات منسجم برای حمایت از نوآوری و تضمین امنیت حقوقی در بازار برق ایران است.

در کشورهای پیشرو، مانند اعضای اتحادیه اروپا و ایالات متحده، هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء به‌طور گسترده در ایجاد شبکه‌های هوشمند[1] به کار گرفته شده‌اند که قادر به ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر، مدیریت پویای تقاضا و برقراری تعادل لحظه‌ای بین عرضه و تقاضا هستند (Energy and AI – Analysis, IEA, 2025). هوش مصنوعی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیش‌بینی[2]، الگوهای تقاضا را تحلیل کرده و تولید انرژی را بهینه می‌سازد، در حالی که اینترنت اشیاء از طریق حسگرها و دستگاه‌های هوشمند، مصرف انرژی در بخش‌های صنعتی و خانگی را مدیریت می‌کند و به کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی کمک می‌نماید (Sovacool & Del Rio, 2022; Sharmeela, 2023). علاوه بر این، چهارچوب‌های حقوقی پیشرفته مانند مقررات حفاظت از داده‌های عمومی و قانون هوش مصنوعی در اتحادیه اروپا، شفافیت، پاسخگویی و حفاظت از داده‌ها را تضمین کرده و اعتماد عمومی به این فناوری‌ها را تقویت می‌کند (Regulating AI in Energy, 2023).

### ۳. ۴. تحلیل ساختار بازار برق هوشمند

بازار برق ایران در نتیجه فرآیند تدریجی تجدید ساختار، از الگوی عمودیِ یکپارچه و کاملا دولتی به مدلی گذار کرده است که در آن، فعالیت‌های تولید، انتقال، توزیع و مبادلات عمده‌فروشی برق به‌طور رسمی از یکدیگر تفکیک شده‌اند و شرکت مدیریت شبکه برق ایران نقش «اپراتور مستقل سیستم و بازار» را بر عهده دارد (Iran Electricity Industry Restructuring Regulations, 2003 ؛ Iran's

1. Smart Grids
2. Forecasting Algorithms

هیات تنظیم بازار برق به‌عنوان تنظیم‌گر بخشی، Day-Ahead Electricity Market Study, 2022).
وظیفه تدوین و نظارت بر اجرای قواعد بازار، رسیدگی به تخلفات و حل‌وفصل اختلافات میان بازیگران بازار را ایفا می‌کند و در کنار آن، بورس انرژی و قراردادهای دوجانبه، امکان انعقاد قراردادهای میان‌مدت و بلندمدت را در کنار بازار روز–فردا فراهم ساخته‌اند ( PWP Co., 2024) با وجود این، ساختار فعلی همچنان بر محور تولید متمرکز، شبکه انتقال سراسری و شرکت‌های توزیع منطقه‌ای استوار است و تحول دیجیتال، به‌ویژه در سطح مصرف‌کنندگان نهایی، در حال گذار از مرحله پایلوت به استقرار گسترده است.(IEA, 2021)

با ورود فناوری شبکه هوشمند، کنتورهای هوشمند و اینترنت اشیاء، ساختار بازار برق به‌سوی «بازار برق هوشمند» در حال حرکت است؛ بازاری چندلایه که در آن لایه فیزیکی تولید و انتقال و توزیع، با لایه دیجیتال داده و الگوریتم در هم تنیده می‌شود (IEA, 2021; Unlocking Smart Grid Opportunities, 2021). در این الگو، کنتورهای هوشمند و تجهیزات اینترنت اشیا در سطح مشترکان خانگی، تجاری و صنعتی، داده‌های ریزدانه‌ای از الگوی مصرف، تولید و وضعیت لحظه‌ای شبکه پایین‌دست را جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها در سطح شرکت‌های توزیع و اپراتور سیستم، به‌واسطه سامانه‌های تحلیل داده و هوش مصنوعی، برای پیش‌بینی بار، بهینه‌سازی اعزام واحدها، مدیریت ازدحام شبکه و طراحی تعرفه‌های پویا به‌کار گرفته می‌شوند (Sovacool & Del Río, 2023; Iranian Smart Grid Market Forecast, 2017). در لایه بازار، پلتفرم‌های معاملاتی و بالقوه قراردادهای هوشمند بلاک‌چین‌محور، می‌توانند زمینه تجارت انرژی همتا به همتا، مشارکت فعال مصرف‌کننده–تولیدکننده و توسعه خدمات جانبی مبتنی بر داده را فراهم آورند .(Mengelkamp et al., 2018) این تحول اگرچه به افزایش کارایی، کاهش تلفات، مدیریت بهتر ریسک و ایجاد فرصت برای مدل‌های جدید کسب‌وکار می‌انجامد، اما به‌طور هم‌زمان موجب ظهور بازیگران جدیدی مانند ارایه‌دهندگان خدمات داده، توسعه‌دهندگان سامانه‌های هوش مصنوعی، اپراتور پلتفرم‌های معاملاتی و ارایه‌دهندگان زیرساخت‌های ارتباطی می‌شود که هر یک به‌عنوان «بازیگر حقوقی مستقل» وارد اکوسیستم بازار برق می‌گردند .(The Great Grid Revolution, 2025) این وضعیت، صورت‌بندی سنتی روابط حقوقی میان تولیدکننده، اپراتور شبکه، شرکت توزیع و مصرف‌کننده را دگرگون کرده و ضرورت طراحی چهارچوب‌های ویژه در حوزه حاکمیت داده، مسئولیت مدنی الگوریتمی، امنیت سایبری زیرساخت‌های هوشمند و تنظیم قراردادهای هوشمند در بازار برق هوشمند ایران را به‌صورت جدی مطرح می‌سازد.(Sovacool & Del Río, 2023; IEA, 2021)

### ۳. ۵. مدل‌های جدید تعامل مصرف‌کننده و تولیدکننده

گذار به بازار برق هوشمند، نقش مصرف‌کننده را از «گیرنده منفعل خدمات انرژی» به «بازیگر فعال بازار»

تغییر داده و مفهوم مصرف‌کننده–تولیدکننده را در ادبیات حقوقی و تنظیم‌گری برجسته کرده است (IEA, 2021). در این مدل، مشترکان خانگی، تجاری و صنعتی که به منابع تولید پراکنده مانند سامانه‌های خورشیدی، باتری‌های ذخیره‌سازی و تجهیزات مدیریت هوشمند بار مجهز هستند، علاوه بر مصرف برق، در زمان‌ها و شرایط معین می‌توانند به شبکه تزریق انجام داده، در برنامه‌های پاسخگویی بار مشارکت کرده یا انرژی مازاد خود را در قالب قراردادهای دوجانبه، پلتفرم‌های خرده‌فروشی یا سازوکارهای همتابه‌همتا عرضه کنند (Mengelkamp et al., 2018; Iranian Smart Grid Market Forecast, 2017). این تحول، الگوی سنتی رابطه یک‌سویه شرکت برق–مشترک را به الگوی چندوجهی تبدیل می‌کند که در آن، «تولیدکننده–مصرف‌کننده[1]» هم‌زمان می‌تواند در سه جایگاه «مصرف‌کننده»، «تولیدکننده کوچک» و «طرف قرارداد بازار» ظاهر شود و این امر، تعهدات، حقوق و مسئولیت‌های او و نیز شرکت‌های توزیع و اپراتور شبکه را به‌طور اساسی متحول می‌سازد.(The Great Grid Revolution, 2025)

در این بستر، مدل‌های جدید تعامل حقوقی و قراردادی میان تولیدکننده–مصرف‌کننده‌ها و تولیدکنندگان دولتی و خصوصی پدیدار می‌شود که نیازمند تنظیم‌گری دقیق است. از یک سو، قراردادهای خرید تضمینی برق[2] و قراردادهای اتصال به شبکه باید وضعیت حقوقی تزریق برق توسط تولیدکننده–مصرف‌کننده، مسئولیت او در قبال کیفیت توان و ایمنی شبکه، و حقوق او در برابر شرکت توزیع و اپراتور شبکه را به روشنی مشخص کند (IEA, 2021). از سوی دیگر، پلتفرم‌های مبتنی بر بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند برای تجارت انرژی همتا به همتا، این امکان را فراهم کند که تولیدکننده–مصرف‌کننده‌ها برق مازاد خود را مستقیما به سایر مصرف‌کنندگان یا به بازارهای خرد عرضه کنند. در این سناریوها، مسایل حقوقی مرتبط با شناسایی طرفین، اعتبار و قابلیت اجرای قراردادهای خوداجرا، نحوه تسویه، صلاحیت قضایی و قانون حاکم، و نیز نقش تنظیم‌گر در نظارت بر این پلتفرم‌ها مطرح می‌شود (Mengelkamp et al., 2018; Sovacool & Del Río, 2023). افزون بر این، مشارکت تولیدکننده–مصرف‌کننده‌ها در برنامه‌های پاسخگویی بار و خدمات جانبی (مانند تنظیم فرکانس و رزرو ظرفیت) مستلزم طراحی قراردادها و مقرراتی است که حقوق آن‌ها در دریافت پاداش، جبران خسارت در صورت وقفه خدمات و تضمین عدم تبعیض نسبت به تولیدکنندگان بزرگ را تضمین کند (GPECom Special Session, 2023). در مجموع، مدل‌های جدید تعامل، بدون طراحی چهارچوب‌های حقوقی شفاف در حوزه اتصال به شبکه، قراردادهای خرید، تجارت همتابه‌همتا و مسئولیت‌های ناشی از مشارکت در بهره‌برداری شبکه، می‌تواند منبع تعارض و نااطمینانی جدی در بازار برق هوشمند ایران باشد و از این رو، توجه به آن در سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری ضروری است.

---

1. prosumer
2. Feed-in tariffs یا Feed-in premiums

### ۳. ۶. چالش‌های حکمرانی انرژی در شبکه‌های هوشمند

گذار از ساختارهای سنتی صنعت برق به شبکه‌های هوشمند، مدل حکمرانی انرژی را از یک الگوی نسبتا خطی و متمرکز به الگوی چندسطحی، چندبازیگری و داده‌محور تبدیل کرده است .این تکثر بازیگران و لایه‌ها، از یک سو ظرفیت انعطاف‌پذیری، تاب‌آوری و نوآوری را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، مرزهای مسئولیت، پاسخ‌گویی و صلاحیت را مبهم می‌سازد و تعیین اینکه کدام نهاد در قبال امنیت سایبری شبکه، صحت و شفافیت الگوریتم‌های مورد استفاده، حفاظت از داده‌های مصرف‌کنندگان و توزیع عادلانه هزینه‌ها و منافع پاسخ‌گو است، نیازمند بازطراحی دقیق سازوکارهای حکمرانی است (۲۰۱۴; NIST, ۲۰۲۵ENISA).

بازار برق مدرن به‌ویژه در قالب شبکه‌های هوشمند، پیچیدگی‌های مقرراتی ویژه‌ای دارد که آن را از سایر بازارهای کالا متمایز می‌سازد. نخست، هم‌زمان «حیاتی بودن» زیرساخت برق برای نظم عمومی و امنیت ملی و «بازاری بودن» روابط اقتصادی در این بخش، تنشی دایمی میان منطق رقابت و کارایی از یک سو و منطق مداخله حاکمیتی، تنظیم قیمت و تضمین خدمات عمومی از سوی دیگر ایجاد می‌کند. در شبکه‌های هوشمند، این تنش به حوزه‌های جدیدی مانند حکمرانی داده، امنیت سایبری و مدیریت الگوریتمی شبکه تسری می‌یابد ( ,IEA, ۲۰۲۵Eurelectric ;۲۰۲۳). دوم، دیجیتالی‌شدن شبکه و استفاده از پلتفرم‌ها و قراردادهای هوشمند، مرزهای جغرافیایی را کم‌رنگ کرده و امکان مشارکت بازیگران فرامرزی را در تولید، تجارت و ارایه خدمات داده فراهم می‌کند. این امر مسایل پیچیده‌ای در خصوص تعارض قوانین، صلاحیت قضایی، نظارت بر پلتفرم‌های خارجی و هماهنگی میان تنظیم‌گران ملی و نهادهای بین‌المللی ایجاد می‌نماید ( ,IEA, ۲۰۲۵The Great Grid Revolution ;۲۰۲۱). سوم، وابستگی روزافزون بهره‌برداری شبکه به سامانه‌های هوش مصنوعی و تحلیل داده، حکمرانی انرژی را به‌شدت به حکمرانی الگوریتم‌ها و استانداردهای فنی پیوند می‌زند. در نتیجه، نهادهای تنظیم‌گر ناگزیرند علاوه بر قواعد کلاسیک حقوق انرژی، مجموعه‌ای از استانداردها و الزامات فناورانه در حوزه کیفیت داده، شفافیت و توضیح‌پذیری الگوریتم، ممیزی و حسابرسی فنی و مدیریت ریسک سایبری را نیز در چهارچوب حکمرانی خود ادغام کنند ( ,ENISA, ۲۰۲۳Sovacool & Del Río ;۲۰۲۵). این پیچیدگی‌ها نشان می‌دهد که حکمرانی انرژی در شبکه‌های هوشمند، مستلزم تلفیق هوشمندانه ابزارهای حقوق عمومی، حقوق خصوصی، تنظیم‌گری بخشی و استانداردهای فنی است و نمی‌توان با تداوم الگوهای سنتی، انتظار داشت که ریسک‌ها و تعارضات ناشی از تحول دیجیتال در بازار برق به‌طور مؤثر مدیریت شود.

### ۳. ۷. نقش هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در تحول شبکه‌های هوشمند

شبکه‌های هوشمند به‌عنوان نسل نوین نظام‌های توزیع برق، با بهره‌گیری از فناوری‌های هوش مصنوعی

و اینترنت اشیاء، تحولی بنیادین در مدیریت و توزیع انرژی ایجاد کرده‌اند. این شبکه‌ها با ترکیب قابلیت‌های تحلیل داده‌های پیشرفته و ارتباطات دیجیتال، امکان مدیریت پویا و کارآمد انرژی را فراهم می‌کنند. هوش مصنوعی از طریق الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های لحظه‌ای[1]، توانایی پیش‌بینی الگوهای مصرف، بهینه‌سازی تولید و تعادل بار شبکه را دارد، که این امر به کاهش قطعی‌های برق و بهبود پایداری سیستم منجر می‌شود .(Energy and AI – Analysis, IEA, 2025) اینترنت اشیاء نیز با استفاده از حسگرها، کنتورهای هوشمند و دستگاه‌های متصل، امکان رصد (مانیتورینگ) و کنترل دقیق زیرساخت‌های برقی را فراهم می‌آورد، که به بهبود کارایی و کاهش تلفات انرژی کمک می‌کند .(Sharmeela, 2023) از منظر حقوقی، این فناوری‌ها مسایلی مانند مالکیت داده‌ها[2]، حریم خصوصی [3]و مسئولیت مدنی[4] در قبال خرابی‌های سیستمی را مطرح می‌کنند، که نیازمند چهارچوب‌های تنظیم‌گری منسجم است.(Regulating AI in Energy, 2023)

## ۴. بررسی تطبیقی چهارچوب‌های حقوقی موجود در ایران و استانداردهای بین‌المللی

پیش از تحلیل گذار به الگوهای تنظیم‌گری ریسک‌محور و فناوری‌محور، ضروری است حیطه و منطق تنظیم‌گری در چهارچوب قوانین موجود برق ایران به‌طور مشخص تبیین شود. قانون سازمان برق ایران مصوب ۱۳۴۶ و مقررات تفصیلی ناشی از آن، در زمان خود با هدف تمرکز مالکیت، بهره‌برداری و تصمیم‌گیری در دست دولت و ایجاد انحصار عمومی در تولید و توزیع برق تصویب شده است. در این ساختار، تنظیم‌گری بیشتر در قالب تعیین تعرفه‌ها، شرایط اتصال به شبکه، الزامات فنی واحدها و کنترل سرمایه‌گذاری‌ها توسط وزارت نیرو و شرکت‌های دولتی اعمال می‌شد، نه به معنای مدرن «رگولاتوری مستقل» (قانون سازمان برق ایران، ۱۳۴۶؛ مقررات صنعت برق، ۱۳۷۴). مواد مربوط به تصویب آیین‌نامه‌های فنی و مالی، تعیین تعرفه‌ها، صدور مجوز بهره‌برداری و نظارت بر فعالیت شرکت‌ها، مصادیق اصلی تنظیم‌گری سنتی در این قانون هستند که بر رابطه یک‌سویه دولت—مصرف‌کننده و بر انحصار دولتی در زیرساخت تمرکز دارند و طبیعتا موضوعاتی همچون حاکمیت داده، امنیت سایبری، مسئولیت الگوریتمی یا قراردادهای هوشمند را پوشش نمی‌دهند (قانون سازمان برق ایران، مواد ۲، ۳ و ۵).

در کنار آن، قانون مسئولیت مدنی مصوب ۱۳۳۹ با هدف تنظیم قواعد عام جبران خسارت، بدون توجه به فناوری‌های خودکار، شبکه‌های پیچیده و زنجیره‌های تولید مسئولیت، تدوین شده و فلسفه آن

1. Real-Time Data Analysis
2. Data Ownership
3. Data Privacy
4. Civil Liability

مبتنی بر تقصیر شخصی و رابطه مستقیم زیان‌دیده—زیان‌زننده است (قانون مسئولیت مدنی، ۱۳۳۹). در عمل، هنگام مواجهه با حوادث ناشی از عملکرد شبکه برق یا تجهیزات، محاکم و دکترین حقوقی ناگزیر بودند با تفسیر موسع قواعد عام تقصیر، سببیت و مسئولیت مبتنی بر خطر[1] ، خلاءهای ناشی از فقدان مقررات خاص را پر کنند، بدون آن‌که مقرره‌ای صریح درباره مسئولیت ناشی از تصمیمات خودکار سامانه‌های مدیریت شبکه، خطاهای الگوریتمی در پیش‌بینی بار یا نقص امنیتی در سامانه‌های هوشمند وجود داشته باشد (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳؛ پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹). همین «سکوت تقنینی» است که در مقاله از آن به‌عنوان سنتی بودن و ناکافی بودن قانون مسئولیت مدنی برای تنظیم‌گری فناوری‌های نوظهور یاد شده است.

از حیث نهادی، وظایف تنظیم‌گری در صنعت برق ایران میان چند نهاد توزیع شده است: وزارت نیرو به‌عنوان مرجع عالی سیاست‌گذاری، شرکت توانیر و شرکت مدیریت شبکه برق به‌عنوان مجریان و تنظیم‌گران عملیاتی، و هیات تنظیم بازار برق به‌عنوان نهاد تخصصی‌تر در سطح قواعد بازار و رسیدگی به اختلافات میان بازیگران بازار عمده‌فروشی (مقررات بازار برق ایران، ۱۳۸۲؛ معرفی ساختار بازار برق، ۱۳۹۳). این نهادها اگرچه در حوزه‌هایی مانند تعیین قواعد بازار، تقسیم ظرفیت، تعرفه‌ها و شرایط فنی اتصال به شبکه نقش تنظیم‌گر ایفا می‌کنند، اما ماموریت مشخص و صریحی در حوزه حاکمیت داده، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، امنیت سایبری و قراردادهای هوشمند ندارند و غالبا در این حوزه‌ها یا سکوت قانونی وجود دارد یا به اسناد سیاستی و توصیه‌ای غیرالزام‌آور ارجاع داده می‌شود (سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایران، ۱۴۰۲؛ اسناد افتا در زیرساخت‌های حیاتی، ۱۳۹۹).

بر این مبنا، می‌توان مسیر گذار از تنظیم‌گری سنتی به تنظیم‌گری مبتنی بر فناوری‌های نوظهور را در دو سطح ترسیم کرد: در سطح تقنینی، لازم است مواد قانون سازمان برق ایران و قانون مسئولیت مدنی که ناظر به تنظیم شرایط بهره‌برداری، مسئولیت ناشی از خدمات عمومی و نظارت بر ارایه خدمات برق هستند، با افزودن فصول یا مواد جدیدی در حوزه حریم خصوصی داده‌های انرژی، مسئولیت مدنی ناشی از سامانه‌های خودکار و امنیت سایبری شبکه‌های هوشمند به‌روزرسانی شوند. در سطح نهادی نیز، باید بخشی از اختیارات تنظیم‌گری سنتی از ساختار کاملا دولتی وزارت نیرو به سمت یک «رگولاتور مستقل برق» با صلاحیت تخصصی در حوزه داده، هوش مصنوعی و امنیت سایبری انتقال یابد و هم‌زمان نقش شرکت مدیریت شبکه و هیات تنظیم بازار برق در تنظیم بازار دیجیتالی‌شده و تعامل با بازیگران جدیدی مانند تولیدکننده–مصرف‌کننده‌ها و پلتفرم‌های معاملاتی بازتعریف شود (IEA, ۲۰۲۱ & Sovacool ; Del Río, ۲۰۲۳). مقاله حاضر، در بخش‌های بعدی، دقیقا بر همین مسیر گذار تمرکز کرده و با استفاده

1. Risk Liability

از نظریه‌های تنظیم‌گری ریسک‌محور و آینده‌نگر و تجربیات نظام‌هایی چون اتحادیه اروپا، کوشش می‌کند نشان دهد چگونه می‌توان این چهارچوب‌های سنتی را با الزام‌های حکمرانی شبکه‌های هوشمند همسو ساخت.

در کشورهای پیشرو، به‌ویژه در اتحادیه اروپا، استانداردهای بین‌المللی مانند مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها[1] و قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا، چهارچوب‌های جامعی برای تنظیم کاربرد هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء ارایه داده‌اند که در سال ۲۰۱۸ اجرایی شد. در نتیجه، الزامات سخت‌گیرانه‌ای برای حفاظت از داده‌های شخصی وضع شد و شرکت‌ها ملزم به رعایت اصول رضایت آگاهانه، شفافیت در پردازش داده‌ها و امنیت اطلاعات شدند .(Operating AI Systems, 2023) این قانون به‌ویژه در مدیریت داده‌های تولیدشده توسط کنتورهای هوشمند و حسگرهای اینترنت اشیاء در شبکه‌های هوشمند موثر بوده و اعتماد عمومی را تقویت کرده است. برای مثال، در آلمان، شرکت‌های برق ملزم به ارایه گزارش‌های شفاف در مورد نحوه استفاده از داده‌های مصرف‌کنندگان هستند.(Sovacool & Del Rio, 2022) در عمل، در آلمان مدیریت و استفاده از داده‌های کنتورهای هوشمند در درجه نخست تحت شمول مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها و مقررات بخش انرژی قرار دارد و شرکت‌های برق مکلفند اطلاعات روشن، قابل فهم و در دسترس درباره جمع‌آوری، پردازش و اهداف استفاده از داده‌ها به خود مصرف‌کنندگان و در صورت لزوم به مقامات ناظر حفاظت از داده ارایه کنند، نه آن‌که یک گزارش دوره‌ای واحد و مضمون‌محور به مرجع خاصی تسلیم نمایند .(European Commission, 2018) نظارت ساختاری بر این فرایند نیز از حیث تنظیم‌گری بازار و زیرساخت‌های انرژی توسط اداره فدرال شبکه [2] و از حیث رعایت حقوق داده‌ها توسط نهادهای ناظر حفاظت داده اعمال می‌شود؛ به‌نحوی که در گزارش‌های پایشی و نظارتی این مراجع، وضعیت استقرار کنتورهای هوشمند، چهارچوب‌های مدیریت داده و رعایت حقوق مصرف‌کنندگان در پرتو الزامات مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها[3] و مقررات دیجیتالی‌سازی انرژی منعکس می‌گردد.(Bundesnetzagentur, 2023, 2024; European Commission, 2018)

قانون هوش مصنوعی[4]، که در سال ۲۰۲۴ توسط اتحادیه اروپا تصویب شد، چهارچوبی برای تنظیم سامانه‌های هوش مصنوعی با ریسک بالا، مانند آنچه که در مدیریت شبکه هوشمند استفاده می‌شود، ارایه می‌دهد. این قانون بر شفافیت الگوریتمی، پاسخگویی و ارزیابی ریسک‌های سیستمی تاکید دارد و مسئولیت‌های توسعه‌دهندگان و اپراتورهای هوش مصنوعی را مشخص می‌کند ( Regulating AI in

1. GDPR: General Data Protection Regulation
2. Bundesnetzagentur
3. GDPR: General Data Protection Regulation
4. AI Act

Energy, 2023). به عنوان مثال، در صورت بروز خطا در یک سامانه هوش مصنوعی که منجر به خسارت در شبکه برق شود، قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا مسئولیت را بین بازیگران مختلف تقسیم کرده و الزامات گزارش‌دهی را تعیین می‌کند.

در حوزه امنیت سایبری[1]، دستورالعمل[2] NIS2 در اتحادیه اروپا استانداردهای سخت‌گیرانه برای حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی، مانند شبکه‌های برق، وضع کرده است. این دستورالعمل شرکت‌ها را ملزم به اجرای اقدامات پیشگیرانه، مانند رمزنگاری داده‌ها و تست نفوذ[3]، می‌کند تا از حملات سایبری جلوگیری شود (Operating AI Systems, 2023). در ایالات متحده نیز، استانداردهای NIST[4] چهارچوبی برای امنیت سایبری در زیرساخت‌های اینترنت اشیاء ارایه می‌دهد (Sharmeela, 2023). این استانداردها تضمین می‌کنند که دستگاه‌های متصل در شبکه‌های هوشمند در برابر تهدیدات سایبری مقاوم می باشند.

در زمینه قراردادهای هوشمند نیز در کشورهایی مانند انگلستان، چهارچوب‌های حقوقی در حال توسعه هستند تا قراردادهای هوشمند را با اصول حقوق قراردادها تنظیم کنند (Sovacool & Del Rio, 2022). این چهارچوب‌ها تضمین می‌کنند که قراردادهای هوشمند، که در تجارت انرژی همتابه‌همتا استفاده می‌شوند، از نظر قانونی معتبر و قابل اجرا باشند.

## ۵. تحلیل تطبیقی و خلاءهای قانونی

در ادبیات تطبیقی حقوق فناوری و انرژی، معیار اصلی در انتخاب «کشورهای مرجع» معمولا سطح بلوغ تنظیم‌گری و وجود چهارچوب‌های جامع و آزموده در حوزه‌هایی مانند حفاظت از داده‌ها، تنظیم‌گری هوش مصنوعی، امنیت سایبری زیرساخت‌های حیاتی و قراردادهای هوشمند است، نه صرفا نزدیکی سطح فناوری یا مشابهت ساختار بازار (European Parliament, 2024; Clifford Chance, 2024; Sovacool & Del Río, 2023). از این منظر، اتحادیه اروپا، ایالات متحده و کانادا به‌دلیل برخورداری از مجموعه‌ای نسبتا کامل از اسناد هنجاری (از جمله GDPR ، AI Act، NIS2)، مقررات بخشی انرژی و راهنماهای تخصصی برای شبکه‌های هوشمند و کنتورهای هوشمند، نمونه‌های پیشرو محسوب می‌شوند.

انتخاب اتحادیه اروپا، آمریکا و کانادا در این مقاله، بر مبنای «الگوی حداکثری تنظیم‌گری» و برای

---

۱. «مرکز افتا» دستورالعمل‌هایی در حوزه امنیت سایبری زیرساخت‌های حیاتی منتشر کرده که الزامات کلی برای امن‌سازی سامانه‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، از جمله در بخش انرژی و برق، تعیین می‌کند.

2. Network and Information Security Directive

3. Penetration Testing

4. National Institute of Standards and Technology

تبیین استانداردهای مطلوب در حوزه‌هایی چون مسئولیت مدنی الگوریتمی، حفاظت از داده‌ها و امنیت سایبری شبکه‌های هوشمند است. در گام بعد، می‌توان در بخش نتیجه‌گیری یا پیشنهادها تصریح کرد که برای بومی‌سازی این الگوها، مطالعه تجارب کشورهایی با نزدیکی بیشتر در سطح توسعه، ساختار اداری و موقعیت بازار برق نیز ضرورت دارد و می‌تواند موضوع پژوهش‌های تکمیلی باشد.

در حوزه مسئولیت مدنی، استانداردهای بین‌المللی مانند قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا چهارچوب‌های مشخصی برای تعیین مسئولیت در قبال خطاهای سیستمی ارایه می‌دهند، اما در ایران، قوانین مدنی موجود برای مدیریت خطاهای الگوریتمی یا خرابی‌های اینترنت اشیاء ناکافی هستند (مقدسی و همکاران، ۱۴۰۱). این موضوع می‌تواند منجر به ابهامات حقوقی در دعاوی مرتبط با خسارات ناشی از فناوری‌های نوین شود. به‌طور مشابه، در زمینه امنیت سایبری، استانداردهای بین‌المللی مانند NIS2و NIST الزامات روشنی برای حفاظت از زیرساخت‌ها دارند، در حالی که ایران فاقد استانداردهای ملی مشابه است (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹).

**جدول ۱.** مقایسه چهارچوب‌های حقوقی ایران و استانداردهای بین‌المللی

| حوزه حقوقی | ایران | استانداردهای بین‌المللی | خلاءهای قانونی در ایران |
|---|---|---|---|
| **حریم خصوصی داده‌ها** | فاقد قانون جامع مشابهGDPR (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹) | GDPR: الزامات سخت‌گیرانه برای رضایت آگاهانه و شفافیت (Operating AI Systems, 2023) | نبود قانون جامع برای حفاظت از داده‌ها |
| **مسئولیت مدنی** | قوانین مدنی سنتی ناکافی برای خطاهای هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳) | AI Act: تعیین مسئولیت برای سامانه‌های هوش مصنوعی با ریسک بالا (Regulating AI in Energy, 2023). | فقدان رویه‌های قضایی برای خطاهای الگوریتمی |
| **امنیت سایبری** | نبود استانداردهای ملی مشخص (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹) | NIS2وNIST : الزامات برای حفاظت از زیرساخت‌ها (Sharmeela, 2023) | نبود استانداردهای ملی برای امنیت سایبری |
| **قراردادهای هوشمند** | فاقد قوانین خاص (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳) | چهارچوب‌های حقوقی در حال توسعه برای قراردادهای هوشمند (Sovacool & Del Rio, 2022) | نبود مقررات برای تجارت انرژی همتا به همتا |

## ۶. چالش‌های حقوقی و راهکار مدیریت آن‌ها در تنظیم‌گری حقوقی بازار برق

کاربرد هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در بازار برق، ضمن ایجاد فرصت‌های بی‌سابقه برای افزایش کارایی و پایداری، چالش‌های حقوقی و تنظیم‌گری متعددی را به همراه آورده است که نیازمند توجه ویژه

حقوق‌دانان، سیاست‌گذاران و مدیران صنعت برق است. این فناوری‌ها، که در حوزه‌هایی مانند شبکه‌های هوشمند، مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی تولید انرژی به کار می‌روند، مسایلی نظیر حریم خصوصی داده‌ها[1] ، مسئولیت مدنی[2] ، شفافیت الگوریتمی[3] و امنیت سایبری[4] را مطرح کرده‌اند ( Regulating AI in Energy, 2023). این چالش‌ها نه‌تنها مانع بهره‌برداری کامل از پتانسیل هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء می‌شوند، بلکه ریسک‌هایی برای حقوق مصرف‌کنندگان، امنیت سیستم‌ها و اعتماد عمومی ایجاد می‌کنند. این بخش به تحلیل عمیق این چالش‌ها در ایران و مقایسه آن‌ها با رویکردهای تنظیم‌گری در کشورهای پیشرفته می‌پردازد.

یکی از برجسته‌ترین چالش‌های حقوقی در ایران، نبود قوانین جامع در حوزه حریم خصوصی داده‌ها است. دستگاه‌های اینترنت اشیاء، مانند کنتورهای هوشمند، داده‌های حساس مصرف انرژی را تولید می‌کنند که می‌توانند اطلاعات شخصی کاربران، از جمله الگوهای رفتاری و سبک زندگی، را فاش کنند (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹). استفاده از این داده‌ها بدون رعایت اصول رضایت آگاهانه یا بدون شفافیت در مورد نحوه جمع‌آوری، ذخیره و پردازش آن‌ها، نقض حقوق بنیادین مصرف‌کنندگان را به دنبال دارد (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). در نبود قانونی مشابه مقررات حفاظت از داده‌های عمومی در اتحادیه اروپا، که استانداردهای سخت‌گیرانه‌ای برای حفاظت از داده‌ها و جریمه‌های سنگین برای نقض آن‌ها وضع کرده است، شرکت‌های برق در ایران در برابر دعاوی حقوقی مرتبط با نقض حریم خصوصی آسیب‌پذیر هستند .(Operating AI Systems, 2023) این خلاء حقوقی اعتماد عمومی به فناوری‌های نوین را کاهش داده و مانع از گسترش کاربرد اینترنت اشیاء در بازار برق شده است.

چالش دیگر، پیچیدگی‌های مرتبط با مسئولیت مدنی در قبال سیستم‌های خودکار مبتنی بر هوش مصنوعی است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی که در پیش‌بینی تقاضا، مدیریت بار یا بهینه‌سازی تولید انرژی استفاده می‌شوند، ممکن است به دلیل خطاهای سیستمی یا تصمیم‌گیری‌های نادرست، خسارات مالی یا قطعی‌های گسترده در شبکه برق ایجاد کنند .(Sovacool & Del Rio, 2022) در ایران، نبود رویه‌های قضایی مشخص و قوانین مدون برای تعیین مسئولیت در این موارد، ابهامات حقوقی را تشدید کرده است (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). برای مثال، اگر یک الگوریتم هوش مصنوعی در مدیریت بار شبکه دچار خطا شود، مشخص نیست که آیا توسعه‌دهنده نرم‌افزار، اپراتور شبکه یا شرکت برق باید پاسخگوی خسارات باشند.

---

1. Data Privacy
2. Civil Liability
3. Algorithmic Transparency
4. Cybersecurity

البته باید خاطر نشان ساخت که قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا[1] در ماهیت خود یک رژیم «ایمنی و تنظیم‌گری» برای سامانه‌های هوش مصنوعی است و مستقیما قواعد جبران خسارت را وضع نمی‌کند، بلکه با تعیین تکالیف شفافیت، مدیریت ریسک و حاکمیت داده، معیار سنجش رعایت احتیاط متعارف را برای نظام مسئولیت مدنی فراهم می‌کند (European Parliament, ۲۰۲۵ High-Level ; Summary of the AI Act, ۲۰۲۴).

قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا، به‌طور خاص بر شفافیت و پاسخگویی تاکید دارد. فصل چهارم و به‌ویژه ماده ۵۰، ارایه‌دهندگان و بهره‌برداران را مکلف می‌کند که اطلاعات روشن و قابل فهم درباره نحوه عملکرد سامانه، محدودیت‌ها، ریسک‌ها و نظارت انسانی در اختیار کاربران و مقامات ناظر قرار دهند و ثبت و نگهداری سوابق عملکرد سامانه را تضمین کنند.

با این حال، پاسخ مستقیم به خسارات ناشی از سامانه‌های خودکار، در دو سند مکمل آمده است. «دستورالعمل اصلاح‌شده مسئولیت محصول» و «دستورالعمل مسئولیت هوش مصنوعی». دستورالعمل اصلاح‌شده مسئولیت محصول، مفهوم «عیب» را برای محصولات و سامانه‌های دیجیتال و هوش مصنوعی بازتعریف کرده و امکان مطالبه جبران خسارات بدنی، مالی و حتی زیان ناشی از از بین رفتن داده‌های غیرشخصی را در صورت اثبات عیب و رابطه سببیت فراهم می‌سازد (Clifford Chance, 2024). دستورالعمل مسئولیت هوش مصنوعی نیز با پیش‌بینی ابزارهایی مانند «الزام به افشای اطلاعات فنی سامانه» و «فرض قابل ردّ رابطه سببیت در صورت نقض الزامات AI Act و وقوع خسارت ناشی از خروجی سامانه»، بار اثبات را برای زیان‌دیدگان سبک‌تر کرده و امکان استناد به نقض الزامات شفافیت و مدیریت ریسک را به‌عنوان مبنای مسئولیت فراهم می‌کند (Clifford Chance, ۲۰۲۴; European Parliament Study, ۲۰۲۵). در نتیجه، AI Act به‌تنهایی قانون مسئولیت مدنی نیست، اما با تعریف دقیق تکالیف شفافیت، پاسخگویی و ایمنی برای سامانه‌های پرخطر، سنگ بنای نظام مسئولیت و جبران خسارات ناشی از هوش مصنوعی در اتحادیه اروپا را تشکیل می‌دهد و در کنار اسناد مسئولیت محصول و مسئولیت هوش مصنوعی، به تعیین پاسخ‌گویان خسارات (ارایه‌دهندگان، تولیدکنندگان و بهره‌برداران سامانه‌های پرخطر) کمک می‌کند (Sovacool & Del Río, ۲۰۲۳; Clifford Chance, ۲۰۲۴).

امنیت سایبری یکی دیگر از چالش‌های کلیدی در کاربرد اینترنت اشیاء در بازار برق است. دستگاه‌های متصل اینترنت اشیاء، مانند حسگرها و کنتورهای هوشمند، به‌دلیل اتصال به شبکه‌های دیجیتال، در برابر حملات سایبری مانند دسترسی غیرمجاز یا دستکاری داده‌ها آسیب‌پذیر هستند (Sharmeela, 2023).

1. EU AI Act

در نهایت، تنظیم قراردادهای هوشمند[1] مبتنی بر فناوری بلاک‌چین، که در برخی بازارهـای پیشـرفته برای تجارت انرژی همتا به همتا[2] استفاده می‌شود، چالش حقوقی دیگری اسـت. ایـن قراردادهـا، کـه بـا استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء اجرا می‌شوند، نیازمند چهارچوب‌هـای حقـوقی بـرای تضـمین اعتبار قانونی، شفافیت و قابلیت اجرا هستند (Sovacool & Del Rio, 2022 ).

در نظام حقوقی ایران، قانون ملی توسعه هوش مصنوعی به تصویب قانونگذار رسیده و سازمان ملـی هوش مصنوعی، به زودی زیر نظر رییس جمهور تشکیل می شـود. امـا قـانون یـا آیین‌نامـه‌ای جـامع و اختصاصی که به‌طور مستقیم خلاءهای حقوقی مرتبط با هوش مصنوعی، اینترنـت اشـیاء و قراردادهـای هوشمند در بازار برق را برطرف کند، تصویب نشده است. در سـطح سیاسـت‌گذاری کـلان، «سـند ملـی هوش مصنوعی» بیشتر ماهیت راهبـردی دارد و بـر ضـرورت تـدوین لـوایح، اسـتانداردها و مقـررات در حوزه‌هایی مانند حریم خصوصی، مسئولیت‌پذیری و ایمنی سامانه‌های هوش مصنوعی تاکید می‌کند، امـا خود متضمن قواعد ماهوی و الزام‌آور جزیی برای بخش‌هایی نظیر بازار برق و شبکه‌های هوشمند نیست. (گروه حقوقی لگاتک، ۲۰۲۵)

**جدول ۲.** خلاصه جامع از کاربردهای هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء و چالش‌های حقوقی مرتبط در بازار برق ایران و بین‌الملل

| منطقه | کاربردهای هوش مصنوعی | کاربردهای اینترنت اشیاء | چالش‌های حقوقی | منابع |
|---|---|---|---|---|
| **ایران** | – پیش‌بینی قیمت روزانه برق، به‌ویژه در ساعات اوج مصرف، برای بهینه‌سازی تولید (مانند مدیریت سدهای هیدروالکتریک)<br>– مدیریت بار شبکه با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای کاهش قطعی‌ها<br>– تحلیل داده‌های مصرف در پروژه‌های تحقیقاتی محدود | – استفاده از کنتورهای هوشمند در مناطق شهری (مانند تهران و مشهد) برای رصد یا مانیتورینگ مصرف<br>– کاهش تلفات انرژی از طریق جمع‌آوری داده‌های دقیق مصرف<br>– کاربرد محدود در رصد یا مانیتورینگ تجهیزات شبکه | – فقدان قوانین جامع در حوزه حریم خصوصی داده‌ها، منجر به نقض احتمالی رضایت آگاهانه (Informed Consent)<br>– عدم وضوح در مسئولیت مدنی در قبال خطاهای الگوریتمی یا خرابی‌های سیستمی<br>– نبود استانداردهای مشخص برای امنیت سایبری در زیرساخت‌های اینترنت اشیا<br>– فقدان مقررات برای تنظیم قراردادهای هوشمند | (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳؛ بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مقدسی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Hosseini et al., 2023) |
| **بین الملل** | – ایجاد شبکه‌های | – مدیریت انرژی در | – پیچیدگی‌های اجرای | in (Regulating AI Energy, 2023; |

1. Smart Contracts
2. Peer-to-Peer Energy Trading

| منطقه | کاربردهای هوش مصنوعی | کاربردهای اینترنت اشیاء | چالش‌های حقوقی | منابع |
|---|---|---|---|---|
| | هوشمند برای مدیریت پویای عرضه و تقاضا<br>– تجارت انرژی تجدیدپذیر با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی پیشرفته<br>– بهینه‌سازی تولید انرژی خورشیدی و بادی<br>– تجارت انرژی نظیر به نظیر | بخش‌های صنعتی و خانگی از طریق حسگرها و دستگاه‌های هوشمند<br>– ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در مقیاس وسیع<br>– رصد (مانیتورینگ) بلادرنگ تجهیزات و کیفیت توان<br>– پاسخگویی تقاضا با داده‌های اینترنت اشیا | قوانین جامع مانند مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها[1] و قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا برای تضمین شفافیت و پاسخگویی<br>– مدیریت ریسک‌های امنیت سایبری با استانداردهایی مانند NIS2<br>– چالش‌های تنظیم قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین<br>– تعارض منافع بین بازیگران بازار در تجارت انرژی | Sovacool & Del Rio, 2022; Sharmeela, 2023; Energy and AI – Analysis, IEA, 2025) |

## ۷. راهکارهای پیشنهادی برای مدیریت چالش‌ها

برای مدیریت چالش حریم خصوصی داده‌ها در ایران، تدوین قانونی جامع مشابه GDPR ضروری است. این قانون باید الزامات روشنی برای رضایت آگاهانه، شفافیت در پردازش داده‌ها و جریمه‌های نقض قوانین تعیین کند. برای مثال، شرکت‌های برق باید ملزم شوند که پیش از جمع‌آوری داده‌های کنتورهای هوشمند، رضایت صریح کاربران را کسب کنند و گزارش‌های شفاف در مورد استفاده از داده‌ها ارایه دهند (پژوهشکده فناوری ارتباطات، ۱۳۹۹). همچنین، ایجاد نهاد نظارتی مستقل برای نظارت بر اجرای این قانون می‌تواند اعتماد عمومی را تقویت کند.

در حوزه مسئولیت مدنی، تدوین مقررات خاص برای تعیین مسئولیت در قبال خطاهای هوش مصنوعی و خرابی‌های اینترنت اشیاء، با الهام از قانون هوش مصنوعی اروپا، پیشنهاد می‌شود. این مقررات باید مسئولیت‌های توسعه‌دهندگان، اپراتورها و شرکت‌های برق را به‌صورت شفاف تعریف کرده و سازوکارهایی برای جبران خسارت ارایه دهند (Regulating AI in Energy, 2023). برای نمونه، ایجاد صندوق بیمه برای پوشش خسارات ناشی از خطاهای الگوریتمی می‌تواند ریسک‌های حقوقی را کاهش دهد. علاوه بر این، توسعه رویه‌های قضایی برای رسیدگی به دعاوی مرتبط با فناوری‌های نوین ضروری است.

در زمینه امنیت سایبری، تدوین استانداردهای ملی با الگوبرداری از NIS2 و NIST پیشنهاد می‌شود. این استانداردها باید شرکت‌های برق را ملزم به اجرای اقدامات پیشگیرانه، مانند رمزنگاری داده‌ها و

1. GDPR: General Data Protection Regulation

تست‌های امنیتی دوره‌ای کنند .(Sharmeela, 2023) همچنین، همکاری با سازمان‌های بین‌المللی برای انتقال دانش و فناوری‌های امنیتی می‌تواند زیرساخت‌های برقی ایران را مقاوم‌تر کند. ایجاد مراکز پاسخگویی به حوادث سایبری[1] نیز می‌تواند به مدیریت سریع تهدیدات کمک کند. چند سازمان بین‌المللی که می‌توان در این بخش به آن‌ها استناد کرد عبارت‌اند از: آژانس امنیت سایبری اتحادیه اروپا[2]، موسسه ملی استاندارد و فناوری آمریکا[3] و آژانس بین‌المللی انرژی[4]. در سطح سیاست‌گذاری انرژی، نهادهایی مانند آژانس بین‌المللی انرژی در گزارش‌ها و دستورالعمل‌های خود به‌طور خاص بر مدیریت ریسک سایبری در سیستم‌های برق، شبکه‌های هوشمند و زیرساخت‌های دیجیتال انرژی تاکید کرده و با ارایه رهنمودهای سیاستی و بهترین رویه‌ها، دولت‌ها و رگولاتورها را در طراحی چهارچوب‌های امنیت سایبری بخش انرژی یاری می‌کنند. این اسناد معمولا شامل توصیه‌هایی در مورد حاکمیت ریسک، اشتراک‌گذاری اطلاعات تهدید، و هماهنگی میان رگولاتور انرژی و نهادهای امنیت سایبری است (IEA, 2023; Eurelectric, 2025).

## ۸. اصلاح قوانین و تدوین چهارچوب‌های تنظیم‌گری آینده‌نگر

کاربرد هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء در بازار برق ایران، همان‌طور که در بخش‌های قبلی بحث شد، فرصت‌هایی بی‌سابقه برای بهبود کارایی، پایداری و مدیریت شبکه‌های هوشمند فراهم کرده است. با این حال، چالش‌های حقوقی کلیدی مانند حریم خصوصی داده‌ها، مسئولیت مدنی، تنظیم قراردادهای هوشمند و امنیت سایبری به دلیل فقدان چهارچوب‌های حقوقی جامع، توسعه این فناوری‌ها را محدود کرده‌اند (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). تحلیل تطبیقی در بخش دوم نشان داد که ایران در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی مانند مقررات حفاظت از داده‌های عمومی و قانون هوش مصنوعی در اتحادیه اروپا، با خلاءهای قانونی قابل‌توجهی مواجه است (Regulating AI in Energy, 2023). بخش سوم نیز راهکارهای اولیه‌ای برای مدیریت این چالش‌ها ارایه داد. این بخش، با تکیه بر تحلیل‌های پیشین، پیشنهادهای عملی برای اصلاح قوانین موجود و تدوین چهارچوب‌های تنظیم‌گری آینده‌نگر ارایه می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین خلاءهای حقوقی ایران، نبود قانون جامع برای حفاظت از داده‌های تولیدشده توسط دستگاه‌های اینترنت اشیاء، مانند کنتورهای هوشمند است (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). برای رفع این چالش، تدوین قانونی مشابه GDPR پیشنهاد می‌شود. برای مثال، پروژه‌های پایلوت کنتورهای هوشمند در تهران و مشهد می‌توانند به‌عنوان مبنایی برای اجرای آزمایشی این قانون

1. Cyber Incident Response Centers
2. ENISA: European Union Agency for Cybersecurity
3. NIST: National Institute of Standards and Technology
4. IEA: International Energy Agency

استفاده شوند (مقدسی و همکاران، ۱۴۰۱). ایجاد نهاد نظارتی مستقل، مشابه نهادهای نظارتیGDPR ، برای نظارت بر اجرای این قانون و رسیدگی به شکایات مصرف‌کنندگان نیز ضروری است. این نهاد می‌تواند اعتماد عمومی به فناوری‌های اینترنت اشیاء را تقویت کرده و ریسک‌های حقوقی را کاهش دهد.

برای اطمینان از اجرای موثر قوانین پیشنهادی، ایجاد نهادهای نظارتی مستقل در حوزه فناوری‌های نوین بازار برق ضروری است. این نهادها، مشابه نهادهای نظارتی GDPR در اتحادیه اروپا، باید وظیفه نظارت بر اجرای قوانین حفاظت از داده‌ها، امنیت سایبری و قراردادهای هوشمند را بر عهده داشته باشند (Regulating AI in Energy, 2023). پیشنهاد می‌شود که یک نهاد نظارتی تحت نظارت وزارت نیرو یا سازمان فناوری اطلاعات ایران تاسیس شود که با همکاری بخش خصوصی و دانشگاه‌ها، استانداردهای تنظیم‌گری را تدوین و اجرا کند. این نهاد می‌تواند گزارش‌های دوره‌ای در مورد انطباق شرکت‌های برق با قوانین منتشر کرده و به شکایات مصرف‌کنندگان رسیدگی کند. برای مثال، نظارت بر پروژه‌های هوش مصنوعی، مانند شش پروژه بزرگ اعلام‌شده توسط سازمان فناوری اطلاعات ایران برای رفع عدم تعادل انرژی، می‌تواند از وظایف این نهاد باشد.(Tehran Times, 2023)

برای حمایت از اصلاحات حقوقی پیشنهادی، توسعه ظرفیت‌های قضایی و آموزشی در حوزه فناوری‌های نوین ضروری است. پیشنهاد می‌شود که برنامه‌های آموزشی تخصصی برای قضات و وکلا در زمینه چالش‌های حقوقی هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء برگزار شود تا نظام قضایی ایران آمادگی رسیدگی به دعاوی مرتبط با خطاهای الگوریتمی، نقض داده‌ها و قراردادهای هوشمند را داشته باشد (وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در ایران، ۱۴۰۳). همچنین، همکاری با دانشگاه‌ها برای توسعه رشته‌های حقوقی مرتبط با فناوری‌های نوین، مانند حقوق سایبری و حقوق انرژی دیجیتال، می‌تواند به تربیت متخصصان این حوزه کمک کند. برای مثال، ایجاد دوره‌های آموزشی با الهام از برنامه‌های دانشگاه‌های اروپایی می‌تواند ظرفیت ایران را در این زمینه تقویت کند.(Sovacool & Del Rio, 2022)

## ۹. توصیه‌های قانونی

- **تدوین قانون حفاظت از داده‌ها**: سیاست‌گذاران باید تدوین قانونی جامع برای حفاظت از داده‌ها را در اولویت قرار دهند که الزامات رضایت آگاهانه و شفافیت را شامل شود. این قانون باید با همکاری وزارت نیرو و سازمان فناوری اطلاعات ایران اجرا شود.
- **الحاق موادی به قانون مسئولیت مدنی**: بازنگری قانون مسئولیت مدنی برای پوشش خطاهای الگوریتمی هوش مصنوعی و خرابی‌های اینترنت اشیاء – با تاکید بر تقسیم مسئولیت بین بازیگران – ضروری است.

• **تکمیل قانون جرایم رایانه‌ای** (مصوب ۱۳۸۸): این قانون نیازمند بازنگری است تا تهدیدات سایبری خاص در اکوسیستم اینترنت اشیاء، مانند حملات به کنتورهای هوشمند را پوشش دهد.

## ۱۰. نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ورود فناوری‌های نوظهور، به‌ویژه هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و بلاک‌چین، به بازار برق، صرفا یک تحول فناورانه نیست، بلکه اقتضای بازنگری بنیادین در مبانی و سازوکارهای تنظیم‌گری حقوقی این بازار را به همراه دارد. ادغام این فناوری‌ها در شبکه‌های هوشمند، سامانه‌های پیش‌بینی بار، مدیریت خودکار شبکه و الگوهای نوین تجارت انرژی، در کنار فرصت‌های قابل توجه برای ارتقای کارایی، پایداری و شفافیت، ریسک‌های جدی در حوزه حریم خصوصی داده‌های مصرف‌کنندگان، مسئولیت مدنی ناشی از خطاهای الگوریتمی و وضعیت حقوقی قراردادهای هوشمند ایجاد می‌کند که با ابزارهای سنتی حقوق عمومی و خصوصی به‌سادگی قابل مدیریت نیست. مطالعه تطبیقی انجام‌شده میان چهارچوب حقوقی ایران و نظام‌های پیشرو، به‌ویژه اتحادیه اروپا با منظومهGDPR ، AI Act و NIS2 ، و نیز تجربیات کشورهایی مانند ایالات متحده، کانادا و انگلستان، نشان داد که آن نظام‌ها به سمت طراحی نظام‌های منسجم حفاظت از داده، تنظیم‌گری هوش مصنوعی پرخطر، امنیت سایبری زیرساخت‌های حیاتی و شناسایی قراردادهای هوشمند حرکت کرده‌اند. در مقابل، یافته‌های مقاله موید آن است که در کشور، اتکای صرف به قانون سازمان برق ایران و قانون مسئولیت مدنی و قانون جرایم رایانه‌ای، در مواجهه با ریسک‌های پیچیده و فرامرزی فناوری‌های نوین، کفایت نمی‌کند. بر این اساس، پژوهش حاضر مجموعه‌ای از راهکارهای تقنینی و تنظیم‌گرانه را پیشنهاد می کند. اصلاح قوانین موجود در حوزه بازار برق و مسئولیت مدنی با هدف پیش‌بینی رژیم خاص برای مسئولیت ناشی از سامانه‌های هوش مصنوعی، تدوین قانون جامع حفاظت از داده‌های انرژی با الهام از استانداردهایی چون GDPR و متناسب با ویژگی‌های ساختاری بازار برق ایران، طراحی چهارچوب حقوقی قراردادهای هوشمند در تجارت انرژی از جمله ایجاد پلتفرم‌های قانونی ثبت و شناسایی این قراردادها، تدوین استانداردهای ملی الزام‌آور برای امنیت سایبری شبکه‌های هوشمند برق با الهام از NIS2 و چهارچوبNIST ، تقویت رگولاتوری تخصصی در حوزه داده، هوش مصنوعی و امنیت سایبری در بخش برق، و ارتقای حاکمیت داده و حقوق مصرف‌کنندگان از طریق منشور حقوق داده و سازوکارهای نظارتی و جبرانی کارآمد، در این مقاله به عنوان راهکار ارایه شده اند.

در کنار این اصلاحات ساختاری، مقاله بر اهمیت همکاری‌های بین‌المللی با نهادهایی مانندENISA ، NIST و IEA و نیز ضرورت ارتقای ظرفیت نهادی و قضایی از طریق آموزش و توانمندسازی قضات،

وکلا، مدیران حقوقی و متخصصان صنعت برق تاکید کرده است؛ زیرا موفقیت هر چهارچوب تنظیم‌گری، در نهایت، به درک مشترک و توان عملی بازیگران حقوقی و فنی در اجرای آن وابسته است.

از منظر نظری، این پژوهش کوشید شکاف میان ادبیات کلی حقوق فناوری و واقعیت‌های بخشی بازار برق را پر کرده و نشان دهد که چگونه می‌توان اصول عامی چون حاکمیت داده، مسئولیت الگوریتمی، شفافیت و امنیت سایبری را در بستر خاص بازار برق هوشمند ایران ترجمه و بومی‌سازی کرد. از منظر کاربردی نیز، نقشه راه ارایه‌شده می‌تواند مبنایی برای تدوین لوایح قانونی، مقررات بخشی و استانداردهای فنی در سطح ملی قرار گیرد و زمینه گذار از وضعیت واکنشی و پراکنده کنونی به سمت تنظیم‌گری فعال، آینده‌نگر و هماهنگ با استانداردهای بین‌المللی را فراهم آورد.

در نهایت، با توجه به پویایی سریع فناوری، نتایج این پژوهش بیش از آن‌که پایان بحث باشد، دعوتی است به توسعه مطالعات میان‌رشته‌ای عمیق‌تر در پیوند میان حقوق، مهندسی برق و سیاست‌گذاری عمومی، تا بتوان در برابر موج‌های بعدی تحول فناوری در بازار برق، چهارچوبی حقوقی منعطف، مقتدر و عدالت‌محور فراهم ساخت.

## منابع و مآخذ

### ۱. فارسی


۱. آشنا ایمن .(2025) .*طرح امن‌سازی افتا (زیرساخت حیاتی)* .بازیابی‌شده از وب‌سایت آشنا ایمن.

۲. بهبودی، اسلامی و آقازاده (۱۳۹۶). بحث و بررسی چالش‌های اینترنت اشیاء در سیستم‌های قدرت. دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های دانش‌بنیان در مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران . https://civilica.com/doc/695976

۳. بهبودی، بیات و صالحی (۱۳۹۶). چالش‌های حقوقی اینترنت اشیاء در مدیریت انرژی برق. فصلنامه سیاست انرژی، ۳(۲)، ۱۲۲–۱۴۰.

۴. پژوهشکده فناوری ارتباطات. (۱۳۹۹). تنظیم مقررات و چالش‌های حقوقی اینترنت اشیاء در کشور. . https://www.itrc.ac.ir

۵. پژوهشکده فناوری ارتباطات .(1399) .*چالش‌های حفاظت از داده‌های خصوصی در حوزه اینترنت اشیا: مطالعه تطبیقی*.

۶. حاجیلویی، یوسفی و ساعی (۱۴۰۰). بررسی کاربرد هوش مصنوعی در بازار برق و چالش‌های حقوقی آن .*فصلنامه حقوق و فناوری اطلاعات ایران*، ۵)۴(، ۲۰۲–۱۸۵.

۷. سند ملی هوش مصنوعی جمهوری اسلامی ایرا، ۱۴۰۵.

۸. گروه حقوقی لگاتک .(2025) .*وضعیت حقوقی هوش مصنوعی در نظام حقوقی ایران*. بازیابی‌شده از

وب‌سایت لگاتک. https://legatech.ir/

۹. مقدسی، رجبی الم دشت و مزینانی (۱۴۰۱). تأثیر بکارگیری فناوری اطلاعات بر اینترنت اشیاء. بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری، کرمان .

۱۰. مقررات بازار برق ایران .(1382) .*آیین‌نامه و دستورالعمل‌های بازار برق ایران*.

## ۲. انگلیسی

1. Aeris. (2024). *European utility providers, are you ready for NIS2*.
2. Amplyfi. (2025). *AI-optimised smart grids: How EU and US utilities are transforming energy management*.
3. Autoriteit Persoonsgegevens. (2025). *Smart energy meter*. Black, J., & Baldwin, R. (2010). *Really responsive risk-based regulation*.
4. Brownsword, R., & Goodwin, M. (2012). *Law and the technologies of the twenty-first century: Text and materials*.
5. Capco. (2024). *The EU AI Act: A strategic framework for responsible AI in energy*.
6. Clifford Chance. (2024). *The EU introduces new rules on AI liability*.
7. Enerdata. (2024). *Iran energy market analysis*. https://www.enerdata.net/estore/country-profiles/iran.html
8. Energy and AI – Analysis. (2025). International Energy Agency (IEA)
9. Energy Sustainability Directory. (2025). *GDPR compliance in energy*.
10. ENISA. (2025). *Energy sector cybersecurity guidelines and activities*.
11. Eurelectric. (2025). *Cybersecurity in the power sector*.
12. European Commission Joint Research Centre. (2025). *How AI is shaping EU electricity grids: The impact of the AI Act*.
13. European Commission. (2018). *Data protection and smart meters: The GDPR and the recast*
14. European Commission. (2021). *Proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*.
15. European Parliament Study. (2025). *European Parliament study recommends strict liability regime for high-risk AI systems*.
16. European Parliament. (2024). *European Parliament legislative resolution on the proposal for a regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)*.
17. European Parliament. (2025). *EU AI Act: First regulation on artificial intelligence*.
18. GPECom Special Session. (2023). *Wholesale and local electricity market design: New roles for consumers and prosumers*.
19. High-Level Summary of the AI Act. (2024). *High-level summary of the AI Act*.
20. Huang, S., Wu, Q., Wang, J., & Shahidehpour, M. (2021). Artificial intelligence for the future energy system—A review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 7(6), 1349-1365. https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2021.03950
21. IEB Media. (2025). *How NIS2 is redefining cybersecurity for industrial and energy systems*.
22. International Energy Agency (IEA). (2021). *Unlocking smart grid opportunities in*

*emerging markets and developing economies*.
23. International Energy Agency. (2025). *Artificial intelligence and the surging electricity demand from data centres*. https://www.iea.org/news/ai-is-set-to-drive-surging-electricity-demand-from-data-centres-while-offering-the-potential-to-transform-how-the-energy-sector-works
24. International Energy Agency. (2025). *Energy and AI: Executive summary*. https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/executive-summary
25. Iran's Day-Ahead Electricity Market Study. (2022). *Iran's day-ahead electricity market: Structural assessment and design*.
26. Iranian Smart Grid Market Forecast. (2017). *Iran smart grid market forecast 2016–2026*.
27. Law Commission. (2021). *Smart legal contracts: Advice to Government*.
28. Madappgang. (2024). *Applications of IoT in the energy sector*. https://madappgang.com/blog/iot-in-energy-sector/
29. Mengelkamp, E., et al. (2018). *Designing microgrid energy markets: A case study for blockchain-based peer-to-peer electricity trading*.
30. Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, 210, 870-880. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054
31. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2014). *Framework for improving critical infrastructure cybersecurity*.
32. OECD. (2021). *OECD recommendation on agile regulatory governance to harness innovation*.
33. Regulating AI in Energy. (2023). *European Commission Report*.
34. Sharmeela, C. (Ed.). (2023). *IoT, machine learning and blockchain technologies for renewable energy and modern hybrid power systems*. CRC Press. https://bibis.ir
35. Sharmeela, C., Sundararajan, V., & Rana, S. (2023). Internet of Things and energy management: A review. *Energy Reports*, 9, 2186-2200. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.01.015
36. Sovacool, B. K., & Del Río, D. (2023). *Operating AI systems in the electricity sector under Europe's AI Act*.
37. Sovacool, B. K., & Del Rio, D. F. (2022). Smart grids, smart users? The role of artificial intelligence and IoT in energy systems governance. *Energy Policy*, *168*, 113128. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113128
38. Sovacool, B.K., & Del Rio, D.F. (2022). Smart grids and smart governance: A review of emerging legal challenges. *Energy Research & Social Science*, 88, 102518. https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102518
39. Statista. (2024). IoT *market in Iran*. https://www.statista.com/outlook/tmo/internet-of-things/iran
40. The Great Grid Revolution. (2025). *Legal frameworks for energy's next chapter*.
41. U.S. Department of Energy. (2015). *Energy sector cybersecurity framework implementation guidance*.
42. U.S. Energy Information Administration. (2024). *Iran energy market report*. https://www.eia.gov/international/analysis/country/irn
43. UK Jurisdiction Taskforce. (2019). *Legal statement on cryptoassets and smart contracts*.