



Design and Jurisprudential Analysis of Smart Gas Export Contracts Based on Modern Monetary and Financial Technologies, the Islamic Jurisprudence of Transactions, and Technical Requirements for the Automated Execution of Obligations

Ahmad Norouzi: Ph.D. Student in Economics, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University, Tehran, Iran

norouzi.ahm@gmail.com

Mahdi Shahdani-Sadeghi: Professor, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University, Tehran, Iran

sadeghi@isu.ac.ir | 0000-0002-2765-5774

Davoud Manzoor: Associate Professor, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University, Tehran, Iran

manzoor@isu.ac.ir | 0000-0002-9873-2546

Ahmad Shabani: Associate Professor, Faculty of Islamic Studies and Economics, Imam Sadiq University, Tehran, Iran

ashksadeq@yahoo.com | 0009-0001-1812-0233

Mahdi Ghaemi Asl: Associate Professor, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

m.ghaemi@khu.ac.ir | 0000-0002-2246-2914

Abstract

The transformation of international energy trade structures and the emergence of modern monetary and financial technologies—particularly blockchain-based smart contracts—have presented new challenges to the fundamental principles of the Islamic jurisprudence of transactions (Fiqh al-Mu'amalat). Within this context, the necessity to reinterpret classical jurisprudential doctrines such as intent and consent (qasd wa riḍā), knowledge of the subject matter and consideration (‘ilm bi-l-‘iwaḍayn), prohibition of uncertainty (gharar), ignorance (jahl), no-harm (lā-ḍarar), ancillary conditions (shurūt), and options (khiyārāt) in light of the technical requirements of self-executing contractual obligations has become increasingly

evident. This study aims to design and conduct a jurisprudential analysis of smart gas export contracts within the framework of Imami jurisprudence to elucidate the relationship among Shariah rules, self-executing systems, and digital payment technologies. Employing a descriptive-analytical and comparative jurisprudential methodology, alongside a conceptual technological design approach, the study first extracts the governing rules of Islamic commercial law as applied to digital contracts and reformulates them into formal constraints and state machine logic based on the theory of intelligent agents. Subsequently, mechanisms such as non-interest escrow accounts, multi-source oracles for verifying gas delivery and pricing (aligned with AGA and ISO standards), decision automation through intelligent agents, and algorithmic arbitration are examined from both jurisprudential and technical perspectives. The findings demonstrate that by precisely redefining the concepts of knowledge of consideration, legal possession (qabd), and liability arising from data errors (daman), a theoretical and operational bridge can be built between Imami jurisprudence and smart contract technology. The study concludes by proposing a jurisprudential-technological framework for smart gas export contracts that ensures compliance with Islamic principles and international trade law requirements.

Keywords: Smart Contract; Gas Export; Fiqh al-Mu'amalat; Blockchain; Algorithmic Fiqh; Legal Possession (Qabd)

JEL Classification: K12, K22, O33, Q40, P48, Z12

طراحی و تحلیل فقهی قراردادهای هوشمند صادرات گاز مبتنی بر فناوری‌های نوین پولی و مالی بر مبنای قواعد فقه معاملات و الزامات فنی اجرای خودکار تعهدات^۱

احمد نوروزی: دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران
 norouzi.ahm@gmail.com

مهدی صادقی شاهدانی: استاد دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران
 sadeghi@isu.ac.ir

داود منظور: دانشیار دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران
 manzoor@isu.ac.ir

احمد شعبانی: دانشیار دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد، دانشگاه امام صادق علیه‌السلام، تهران، ایران
 shabany@isu.ac.ir

مهدی قائمی‌اصل: دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
 m.ghaemi@khu.ac.ir

چکیده

تحول در ساختار تجارت بین‌المللی انرژی و ظهور فناوری‌های نوین پولی و مالی به‌ویژه قراردادهای هوشمند مبتنی بر زنجیره‌بلوکی در ادبیات نظری اقتصاد انرژی، مفاهیم بنیادین فقه معاملات را با چالش‌های نوینی مواجه ساخته است. در چنین بستری، ضرورت بازخوانی قواعد فقهی همچون قصد و رضا، علم به عوضین، غرر و جهالت، لاضرر، شروط ضمن عقد و اختیارات در پرتو الزامات فنی اجرای خودکار تعهدات بیش‌ازپیش احساس می‌شود. هدف این پژوهش، طراحی و تحلیل فقهی قراردادهای هوشمند صادرات گاز در چارچوب فقه امامیه است تا نسبت میان قواعد شرعی، نظام‌های خوداجرا و فناوری‌های پرداخت دیجیتال تبیین گردد. پژوهش حاضر با رویکرد تحلیل فقهی-استنباطی و تطبیقی و با بهره‌گیری از روش طراحی مفهومی-فناورانه انجام شده است. در گام نخست، قواعد فقه معاملات در بستر قراردادهای دیجیتال استخراج و در قالب قیود و منطق ماشینی قراردادهای هوشمند طبق نظریه عامل‌های هوشمند بازنمایی گردیده است. سپس، سازوکارهایی نظیر حساب‌های امانی بدون بهره، اوراکل‌های چندمنبعی برای سنجش تحویل گاز و قیمت، خودکارسازی تصمیمات توسط عامل هوشمند و داوری الگوریتمی مورد ارزیابی فقهی و فنی قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که با بازتعریف دقیق مفهوم علم به عوضین، قبض و تحویل و ضمان ناشی از خطای داده‌ای می‌توان میان فقه امامیه و فناوری قراردادهای هوشمند پلی نظری و اجرایی برقرار ساخت. نتیجه این پژوهش، ارائه چارچوبی برای تدوین الگوی فقهی-فناورانه قراردادهای هوشمند صادرات گاز است که قابلیت انطباق با اصول شرعی و الزامات حقوقی تجارت بین‌المللی را داراست.

۱. مقاله مستخرج از رساله دکتری این‌جانب در دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع) تحت عنوان «طراحی مدل مفهومی به‌کارگیری فناوری‌های نوین پولی و مالی در صنعت انرژی» است.

واژگان کلیدی: قرارداد هوشمند، صادرات گاز، فقه معاملات، زنجیره بلوکی، فقه الگوریتم

طبقه بندی JEL: K12, K22, O33, Q40, P48, Z12

مقدمه

در عصر حاضر، فناوری اطلاعات با پیشرفت‌های شتابان خود جامعه‌ای مجازی با آثار و تبعات کاملاً واقعی پدید آورده است (شکرانی، ۱۳۹۶) که صنایع و بخش‌های مختلف اقتصادی نیز به فراخور اقتضائات خاص خود کم‌وبیش از این جریان تأثیر پذیرفته‌اند و مسیر همگرایی را با روند رشد و پیشرفت فناوری برگزیده‌اند. در این میان، حقوق قراردادهای همچنین موضوعات فقهی ناظر بر آن به‌عنوان یکی از پویاترین عرصه‌های نظام فقهی و حقوقی، به‌شدت تحت تأثیر ظهور فناوری‌های نوین پولی و مالی قرار گرفته و از بسترهای سنتی به ساختارهای دیجیتالی و هوشمند تحول یافته است (Alexander, 2017). از مهم‌ترین مصادیق این روند، پیدایش مفهوم قراردادهای الکترونیکی و سپس تکامل آن‌ها به قراردادهای هوشمند مبتنی بر فناوری زنجیره‌بلوکی^۱ است که نقطه عطفی در تحول حقوق قراردادهای فقه معاملات محسوب می‌شود.

ماده ۱۸۳ قانون مدنی بیان می‌دارد که «عقد عبارت است از اینکه یک یا چند نفر در مقابل یک یا چند نفر دیگر تعهد بر امری نمایند و مورد قبول ایشان واقع شده باشد». بر همین اساس، قراردادهای الکترونیکی را می‌توان توافق دو یا چند اراده در قالب ایجاب و قبول در محیط الکترونیکی دانست (کاویار و مافی، ۱۳۹۲) که از لحاظ ماهیت تفاوت ماهوی با قراردادهای سنتی ندارند و تنها محیط انعقاد و اجرای آن‌ها دیجیتالی است؛ به عبارت دیگر، قراردادهای الکترونیکی همان قراردادهای سنتی هستند که در بستر دیجیتال و با ابزارهای نوین فناوری اطلاعات منعقد می‌گردند (ناصر و صادقی، ۱۳۹۷)؛ از این رو، قانون‌گذار اگرچه مقررات خاصی برای تنظیم این دسته از قراردادهای پیش‌بینی نکرده، اما اصل صحت و نفوذ آن‌ها را بر پایه قواعد عمومی قراردادهای می‌پذیرد (مقامی‌نیا، ۱۳۹۱).

با معرفی فناوری دفاتر کل توزیع‌شده و زنجیره‌بلوکی، قراردادهای الکترونیکی مفهومی نو یافته و در قالب قراردادهای هوشمند^۲ وارد ادبیات حقوقی و فقهی شدند. به بیان ساده،

1. Blockchain
2. Smart Contracts

قراردادهای هوشمند توافقی‌هایی هستند که در بستر زنجیره‌بلوکی و بر اساس کدهای رایانه‌ای و ایجاب و قبول طرفین به صورت خودکار منعقد و اجرا می‌شوند (Böhme et al., 2015). این قراردادها امکان اجرای خودکار تعهدات، نظارت شفاف بر انجام معاملات و کاهش نقش واسطه‌ها را فراهم می‌کنند و بدین ترتیب می‌توانند به عنوان ابزارهایی تحول‌آفرین در تجارت بین‌المللی انرژی و نظام‌های پرداخت دیجیتال ایفای نقش نمایند.

در چنین شرایطی، پرسش‌های بنیادینی درباره ماهیت فقهی این نوع قراردادها، شرایط صحت آن‌ها، مشروعیت ابزارهای مورد استفاده مانند اوراکل‌ها، حساب‌های امنی بدون بهره و رمزارزهای تسویه و همچنین میزان انطباق آن‌ها با قواعد فقه معاملات در فقه امامیه مطرح می‌شود. چالش‌هایی از قبیل غرر و جهالت در موضوع معامله، علم به عوضین، قبض و تحویل در بستر دیجیتال و ضمان ناشی از خطای داده‌ای نیازمند بازخوانی دقیق در پرتو الزامات فنی اجرای خودکار تعهدات است.

بررسی نحوه بومی‌سازی این فناوری در زیست‌بوم حقوقی و فقهی کشور، تحلیل آثار آن بر ارکان اساسی قرارداد و تبیین نسبت میان فقه معاملات و فناوری‌های نوین پولی و مالی از ضروریات مطالعات میان‌رشته‌ای در حوزه فقه قراردادها و اقتصاد انرژی است. بر همین اساس، پژوهش حاضر با تمرکز بر قراردادهای بلندمدت صادرات گاز از طریق خط لوله طراحی شده است؛ چراکه چالش‌های فقهی نظیر قبض و اقباض در جریان سیال، تعیین ثمن شاخص‌محور و ضمان ناشی از خطای داده‌ها در این نوع قراردادها نسبت به سایر الگوهای فروش برجسته‌تر و پیچیده‌تر است. هدف اصلی، عبور از کلی‌گویی‌های نظری و ارائه راهکارهای عملیاتی برای انطباق فناوری قراردادهای هوشمند با فقه معاملات است. لذا این پژوهش در پی پاسخگویی به سؤالات اصلی به شرح ذیل است: ۱. در قرارداد هوشمند صادرات گاز، قبض و تحویل شرعی با کدام شاخص‌های فنی نظیر اوراکل‌های اینترنت اشیا قابل تحقق و اثبات است؟ ۲. خطای اوراکل در سنجش حجم یا کیفیت گاز، از نظر فقه امامیه ضمان را بر عهده چه کسی می‌گذارد و چه سازوکار فنی برای توزیع ریسک قابل قبول است؟ ۳. فرمول قیمت‌گذاری شاخص‌محور و متغیر در قراردادهای هوشمند، در چه شرایطی علم به عوضین را تأمین می‌کند و چه حدی از عدم قطعیت مصداق غرر ممنوع است؟

بدین ترتیب، پژوهش با بهره‌گیری از روش توصیفی - تحلیلی و استنباط فقهی - تطبیقی، به واکاوی چالش‌ها و ظرفیت‌های فقهی و فناوریانه اجرای این نوع قراردادها در بستر زنجیره‌بلوکی می‌پردازد.

در این میان، با واکاوی چالش‌های مطرح‌شده، دو موضوع «تحقق قبض و اقباض شرعی در گاز در حال جریان» و «توزیع ضمان ناشی از خطای داده‌ای اوراکل‌ها» به‌عنوان گلوگاه‌های اصلی فقهی - فنی شناسایی گردیدند. اگرچه مسائل دیگری نظیر داوری الگوریتمی نیز مطرح است، نوآوری محوری این پژوهش بر حل تعارض میان «ماهیت سیال موضوع معامله» و «الزامات دیجیتال قبض» و همچنین «تعیین تکلیف ضمان در خطای سیستم‌های غیرمتمرکز» استوار است. لذا تحلیل‌های آتی با اولویت‌بندی این دو گلوگاه کلیدی دنبال خواهد شد.

در این راستا، برای عینی‌سازی ادعای نوآوری و نشان دادن نحوه صورت‌بندی عملیاتی قواعد فقهی در منطق ماشین، پژوهش حاضر فرایند ترجمه احکام شرعی به کدهای قابل اجرا را مدل‌سازی می‌کند؛ برای نمونه، قاعده فقهی «قبض» به تابع فنی «تأیید داده حسگر اینترنت اشیا به انضمام ثبت هش (نوعی الگوریتم ریاضی که ورودی را به مقدار ثابت و منحصر به فردی تبدیل می‌کند) در زنجیره‌بلوکی» و قاعده «نفی غرر» به الگوریتم «اجماع اوراکل‌های چندمنبعی» ترجمه می‌شود. خروجی نهایی این فرایند، ارائه مدل مفهومی از کد قرارداد است که در آن شروط فقهی به توابع منطقی^۱ تبدیل شده و قابلیت راستی‌آزمایی فقهی - فنی دارند. بدین ترتیب، پژوهش از سطح تحلیل نظری عبور کرده و چگونگی پیاده‌سازی قواعدی مانند علم به عوضین و ضمان در لایه فنی قرارداد هوشمند را تبیین می‌نماید.

درنهایت، با توجه به گستردگی ذاتی موضوع قراردادهای هوشمند در تجارت بین‌الملل انرژی، لازم به توضیح است که پژوهش حاضر با هدف حفظ تمرکز تحلیلی، دامنه بررسی خود را به تحلیل فقهی - فنی ارکان اجرایی قرارداد محدود نموده است. بدین ترتیب، مباحثی نظیر طراحی اوراکل‌ها، سازوکارهای امانی و عامل‌های هوشمند به‌عنوان هسته مرکزی تحلیل مورد واکاوی قرار می‌گیرند؛ درحالی‌که موضوعاتی مانند رژیم‌های حقوقی بین‌المللی، تحریم‌ها و انتخاب ارز تسویه، صرفاً در حد بستر زمینه‌ای و قیود بیرونی مورد اشاره قرار گرفته و تحلیل عمیق آن‌ها به پژوهش‌های آتی موکول می‌گردد.

1. If-Then

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی با رویکرد میان‌رشته‌ای فقه و فناوری است. برای تضمین قابلیت بازتولید و شفافیت روش، فرآیند پژوهش در چهار مرحله عملیاتی طراحی شده است: ۱. استخراج قواعد فقهی: شناسایی قواعد حاکم بر عقود معوض از منابع دست اول فقه امامیه نظیر جواهر الکلام، المکاسب، تحریر الوسیله با معیار گزینش مشهور فتوا و در صورت اختلاف، ترجیح نظر متأخران. ۲. استخراج الزامات فنی: شناسایی مؤلفه‌های فنی قرارداد هوشمند از قبیل اوراکل، حالت‌های قرارداد، تراکنش‌ها و نظایر آن متناسب با سناریوی صادرات گاز. ۳. نگاشت^۱: ترجمه قواعد فقهی به منطق کترلی کد^۲. ۴. اعتبارسنجی: آزمون مدل با سناریوهای خطا نظیر خطای اوراکل. واحد تحلیل در این پژوهش، «سناریوی قراردادی صادرات گاز از طریق خط لوله با تسویه هوشمند» است. جدول زیر خلاصه فرآیند استخراج قواعد فقهی در مرحله نخست را نشان می‌دهد.

1. Mapping
2. State Machine Logic

جدول ۱. خلاصه فرایند استخراج قواعد فقهی

ردیف	قاعده فقهی	شرط صحت/ لزوم	مستند فقهی	اثر حقوقی در قرارداد
۱	قصد و رضا	قصد انشاء و اختیار طرفین	آیه ۲۹ نساء، جواهر الکلام	نفوذ عقد و عدم بطلان به دلیل اکراه
۲	علم به عوضین	معلوم بودن کمیت و کیفیت گاز و قیمت	المکاسب، تحریر الوسیله	رفع غرر و جهالت فاحش از موضوع و ثمن
۳	قدرت بر تسلیم	امکان تحویل فیزیکی و دیجیتال گاز	قواعد فقهیه (عاملی)	صحت عقد و عدم بطلان به دلیل عدم توانایی
۴	وفای به شرط	لزوم اجرای شروط ضمن عقد	سیره عقلاء، اصل لزوم	ضمانت اجرای خودکار تخلف از شرط
۵	لاضرر	عدم تحمیل ضرر فاحش به طرفین	قاعده لاضرر پیامبر (ص)	امکان تعدیل قیمت یا فسخ در شرایط اضطراری

منبع: یافته‌های پژوهش

بدین ترتیب، چارچوب روشی پژوهش بر مبنای گذار از استنباط فقهی به طراحی فنی استوار گردیده است. همچنین در گام بعد مؤلفه‌های فنی قرارداد هوشمند شامل اوراکل‌های داده‌ای برای قیمت و تحویل، حساب‌های امانی هوشمند برای پرداخت و عامل‌های خودمختار برای اجرا متناسب با سناریوی صادرات گاز شناسایی گردید. همچنین برای عملیاتی‌سازی ادعای پژوهش، قواعد فقهی استخراج‌شده به منطق ماشین ترجمه شدند که جدول زیر نحوه تبدیل شروط فقهی به توابع کنترلی کد را نشان می‌دهد.

جدول ۲. نحوه تبدیل شروط فقهی به توابع کنترلی

قاعده فقهی	وضعیت قرارداد	رویداد محرک	شرط فنی	اقدام کد
قبض و اقباض	انتظار تحویل	داده حسگر IoT	تطابق حجم و کیفیت با استاندارد	تغییر وضعیت به «تحویل شده» و آزادسازی وجه
نفی غرر	تعیین قیمت	دریافت داده اوراکل	اجماع ۳ منبع داده قیمتی	ثبت قیمت نهایی در متغیر ثمن
وفای به شرط	اجرای تعهد	سررسید زمانی	عدم وجود خطای فنی در سیستم	انتقال خودکار توکن پرداخت به فروشنده
لاضرر	تعليق قرارداد	گزارش اختلاف داده	انحراف بیش از ۵ درصد از میانگین بازار	توقف پرداخت و ارجاع به مازول داوری

منبع: یافته‌های پژوهش

در ادامه، برای اطمینان از کارایی مدل طراحی شده، دو سناریوی خطا تعریف و رفتار سیستم تحلیل گردید. سناریوی اول در صورتی که داده‌های حسگر کیفیت گاز را خارج از استاندارد نشان دهد، کد قرارداد به صورت خودکار وضعیت را به نقص تعهد تغییر داده و پرداخت را متوقف می‌کند که این موضوع را می‌توان در جهت انطباق با خیار تخلف شرط تلقی نمود. سناریوی دوم نیز در صورت ارسال داده قیمت پرت توسط یک اوراکل، الگوریتم اجماع چندمنبعی داده خطا را حذف و میانگین دو منبع دیگر را مبنا قرار می‌دهد که در قالب انطباق با قاعده نفی غرر و ضرر تعریف می‌گردد. بدین ترتیب، روش پژوهش از سطح نظری عبور کرده و چارچوبی قابل بازتولید برای پیاده‌سازی فقه‌الگوریتم در صنعت انرژی ارائه می‌دهد.

پیشینه تحقیق

درامر و نثومن^۱ (۲۰۲۰) در مقاله «تطبیق فنی و حقوقی قراردادهای هوشمند مبتنی بر زنجیره‌بلوکی» ضمن مفروض گرفتن این که قراردادهای هوشمند مبتنی بر زنجیره‌بلوکی به تسهیل جریان تجارت بین‌الملل کمک می‌کند، اظهار داشته‌اند که شکل‌گیری زبان مشترک میان حقوق‌دانان و خبرگان حوزه علوم رایانه یکی از مهم‌ترین چالش‌های ناظر به عملیاتی‌سازی قراردادهای هوشمند است.

کنرسا^۲ (۲۰۱۹) در «قراردادهای هوشمند و حقوق قراردادها» معتقد است که در دهه اخیر همگرایی میان زمینه‌های حقوقی و فناوری بیش‌ازپیش مشهود است. ظهور فناوری زنجیره‌بلوکی و معرفی قراردادهای هوشمند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات این فناوری، مفاهیم جدیدی را به چارچوب تحلیل‌های حقوقی افزوده است. بر همین اساس زمینه جهت معرفی نوآوری در زمینه میان‌رشته‌ای ایجادشده فراهم گردیده است. به‌موجب معرفی ایشان از قراردادهای هوشمند، این نوع از قراردادها، بیان دیجیتالی از مفاد حقوقی قراردادهای متعارف است که البته با توجه به نوع سامانه‌های الکترونیک، نمی‌توان از آن‌ها در قراردادهای بلندمدت استفاده کرد.

گاورنتوری^۳ و همکاران (۲۰۱۸) در «قراردادهای هوشمند قطعی و غیرقطعی مبتنی بر زنجیره‌بلوکی» به بررسی این مقوله می‌پردازد که قراردادهای الکترونیکی تا چه اندازه با جنبه‌های حقوقی قراردادهای متعارف انطباق دارند. سپس به معرفی قراردادهای هوشمند به‌عنوان یکی از مصادیق قراردادهای الکترونیکی می‌پردازند. به‌موجب یافته‌های این تحقیق، قراردادهای هوشمند که برای اجرای خودکار نیاز به کنش عامل بیرونی دارند، انطباق بیشتری با مبانی حقوقی متعارف داشته و بقیه جنبه‌های آن نیازمند بررسی و مذاقه بیشتری از این حیث است.

ساویف^۴ (۲۰۱۷) «قراردادهای هوشمند خاتمه‌بخش دوران حقوق قراردادهای سنتی» قراردادهای هوشمند را سرآغازی بر خاتمه دوران قراردادهای عادی معرفی می‌کند. به‌موجب

1. Drummer and Neumann
2. Cannarsa
3. Governatori
4. Savelyev

یافته‌های ایشان، استفاده از قراردادهای هوشمند در پلتفرم‌های دیجیتال، نیاز به نهاد ثالث تضمین‌کننده اجرای مفاد قرارداد را مرتفع می‌سازد و الگوی تعاملی میان طرفین قرارداد را به شیوه‌ای متفاوت ارائه می‌کند. این قراردادها به زبان قابل بازخوانی توسط رایانه و در قالب کدهای دیجیتال به رشته تحریر درمی‌آیند و نوع اجرای آن در رایانه، ضمانت اجرای آن را فراهم می‌سازد.

ناصر و صادقی (۱۳۹۸) در «ملاحظات برای سیاست‌گذاری حقوقی قراردادهای هوشمند» معتقدند قراردادهای هوشمند قراردادهایی الکترونیکی هستند که در بستری عمومی مانند زنجیره‌بلوکی منعقد شده و از زمان انعقاد تا تأیید نهایی توسط قوه حاکمه و هوش مصنوعی نظارت می‌گردند و طرفین هوش مصنوعی در زمان انعقاد تا نهایی شدن قرارداد امکان دریافت هرگونه اطلاعاتی از مورد معامله یا طرفین عقد را دارند. ایشان در پژوهش خود این‌گونه نتیجه گرفته‌اند که به‌کارگیری این قراردادها در بخش‌های مختلف حقوقی ازجمله ثبت، بازارهای پولی، بازارهای سرمایه به جهت وجود برخی مسائل نظیر شناسایی قانون حاکم بر قرارداد و دادگاه صالح در مورد دعاوی و نحوه اجرای حکم در قراردادهای بین‌المللی با چالش‌هایی مواجه می‌باشند که حل آن‌ها به بهبود روند استفاده از این نهاد حقوقی فناوریانه در نظام حقوقی منتج خواهد شد.

ناصر و رضوی (۱۳۹۸) در مقاله «تحلیل حقوقی کارکرد قراردادهای هوشمند در نقل و انتقالات دیجیتالی در بازارهای مالی» اشعار داشته‌اند که عمده کاربرد قراردادهای هوشمند و زنجیره‌بلوکی در بازارهای مالی، نقل و انتقال انواع مختلف توکن، ایجاد شفافیت و امنیت در مبادلات انجام‌یافته در بازارهای سرمایه، فروش اوراق بهادار دیجیتالی و وام‌های اتحادیه‌ای (سندیکایی) است. همچنین برخورداری این قراردادها از بستر زنجیره‌بلوکی موجب ایجاد شفافیت در مبادلات مبتنی بر زنجیره‌تأمین و جلوگیری از سوءاستفاده‌های مالی شده است.

صادقی و ناصر (۱۳۹۷) در مقاله «اعتبارسنجی و چالش‌های حقوقی به‌کارگیری قراردادهای هوشمند» ایجاد سه نسل از قراردادهای الکترونیکی به شرح قراردادهای مبتنی بر امضائات باینری، قراردادهای داده‌گرا و قراردادهای هوشمند را ماحصل توسعه ادبیات تجارت الکترونیک می‌دانند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از آن است که قراردادهای هوشمند با توجه به دارا بودن ویژگی خوداجرائی، نسبت به اجرای مفاد قرارداد بدون دخالت فرد سوم و اعمال

ضمانت اجراهای عدم انجام تعهدات قراردادی اقدام و این ویژگی با توجه به دارا بودن خصوصیت افزایش امنیت، کاهش هزینه و افزایش سرعت و دقت در انعقاد معاملات منجر به توسعه نظام مبادلاتی می‌گردد.

شکرانی (۱۳۹۶) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با موضوع «شرایط تشکیل قرارداد از طریق سامانه‌های هوشمند در حقوق ایران» بر این عقیده است که جهانی شدن تجارت الکترونیکی امری غیرقابل انکار و پیوستن به این شیوه که تجارت را تسهیل و روابط را سرعت می‌بخشد، یکی از نیازهای بازار تجارت جهانی است. گسترش فناوری و در پی آن رواج تجارت الکترونیکی بر جنبه‌های مختلف زندگی بشر از جمله حقوق تأثیر گذاشته و چون بخش مهمی از تجارت الکترونیکی را قرارداد الکترونیکی تشکیل می‌دهد، رفته‌رفته شیوه‌ها و روش‌های انعقاد قرارداد را نیز دستخوش تغییر قرار داده است. بر همین اساس نتیجه گرفته است که این نسل از قراردادها را می‌توان با قوانین و آیین‌نامه‌های موجود منطبق دانست.

صادقی (۱۳۹۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با موضوع «انعقاد قرارداد از طریق سیستم هوشمند رایانه‌ای» تجارت الکترونیک را یک زمینه در حال توسعه معرفی می‌کند؛ بنابراین معتقد است برنامه‌های رایانه‌ای پیشرفته را که موسوم به سیستم هوشمند رایانه‌ای هستند، قادر به انعقاد قراردادهای الکترونیکی به‌طور مستقل و بدون دخالت انسان نموده است. ایشان خاطرنشان می‌سازد که اعتبار قراردادهای منعقدشده توسط این سیستم از منظر برخی نظریه‌پردازان، صرفاً یک ابزار اعلام اراده همانند تلفن و فاکس است. برخی دیگر سامانه‌های هوشمند را نماینده یا وکیل کاربر دانسته و گروهی دیگر نیز بر این عقیده هستند که این قرارداد یک ماهیت ویژه و خاص دارد و اعطاء شخصیت حقوقی برای سامانه را ضروری دانسته‌اند.

با مرور انتقادی مطالعات پیشین، می‌توان سه دسته اصلی از پژوهش‌ها را شناسایی کرد: (۱) مطالعات حقوقی - عمومی که به تحلیل ماهیت قراردادهای هوشمند پرداخته‌اند (نظیر Cannarsa, 2019؛ ناصر و صادقی، ۱۳۹۸؛ ۲) پژوهش‌های فنی - مهندسی که بر معماری و امنیت این قراردادها متمرکز بوده‌اند (نظیر Clack et al., 2016؛ Xu et al., 2022 و ۳) مطالعات فقهی - مقدماتی که به بررسی کلیات انطباق فناوری‌های نوین با شریعت پرداخته‌اند (نظیر شکرانی، ۱۳۹۶). با این حال، خلأ پژوهشی اصلی در نبود مدلی یکپارچه است که هم‌زمان سه

ضلع «فقه معاملات امامیه با جزئیات استنباطی»، «استانداردهای فنی و قراردادی صنعت گاز» و «معماری عملیاتی قراردادهای هوشمند» را پوشش دهد. بیشتر پیشینه‌ها یا فاقد تحلیل عملیاتی درباره نحوه انطباق قواعدی مانند «قبض»، «علم به عوضین» و «ضمان» با استانداردهای اندازه‌گیری گاز (نظیر AGA و ISO) هستند، یا از منظر صرفاً حقوقی-عمومی به موضوع نگرسته‌اند بدون آنکه وارد لایه‌های فنی اجرا شوند. پژوهش حاضر با تمرکز بر این مثلث مفقودشده، تلاش می‌کند تا گذر از «گزارش‌های توصیفی» به «مدل‌های تجویزی میان‌رشته‌ای» را محقق سازد و چارچوبی بومی برای صنعت انرژی ارائه دهد که هم از استحکام فقهی برخوردار باشد و هم از قابلیت پیاده‌سازی فنی.

مفهوم‌شناسی قراردادهای هوشمند

روند تولید داده‌های حقوقی دیجیتال که ناشی از ترجمه منابع متنی موجود به زبان رایانه است، حجم معتناهایی از داده را تولید می‌کند (Berry, 2017) که با انتظام‌بخشی و جهت‌دهی به‌وسیله ترفندهای تحلیل داده و توسعه سامانه‌های نرم‌افزاری، ظرفیت نوآوری را در زمینه‌های میان‌رشته‌ای متناسب با علم فقه و حقوق در شاخه حقوق قراردادهای، در سال‌های پیش رو فراهم می‌سازد (Cannarsa et al., 2020). در این میان ایده قراردادهای هوشمند، نخستین بار در اوایل دهه ۹۰ مطرح شد (Szabo, 1997)؛ ولی در دهه اخیر ضمن توسعه و بلوغ نسبی دفاتر کل توزیع شده و فناوری زنجیره‌بلوکی، این ایده جامه عمل به خود پوشید و زمینه‌های کاربردی متنوعی برای آن در بخش‌های مختلف اقتصادی معرفی شد (Staples et al., 2017). توجه به این نکته حائز اهمیت است که اجماع جهانی در خصوص تعریف واحد قرارداد هوشمند وجود ندارد ولی هر یک از صاحب‌نظران و خبرگان حوزه‌های میان‌رشته‌ای اقتصاد، حقوق و فناوری نسبت به برداشت خود از موضوع تعریف متفاوتی ارائه کرده‌اند. در یک نگاه، قرارداد هوشمند یک توافق مجازی تعریف شده است که مفاد آن به‌صورت خودکار و یکپارچه اجرا می‌شوند (Savelyev, 2017). تعریفی دیگر در این حوزه وجود دارد که قرارداد هوشمند را یک الگوریتم تراکنش رایانه‌ای معرفی می‌کند که مفاد قرارداد را فراخوانی می‌کند (Shift, 2015). به بیانی دیگر، قراردادهای هوشمند، برنامه‌های رایانه‌ای مشتمل بر مفاد قراردادی میان دو یا چند نفر درگیر مبادلات اقتصادی هستند که بدون نیاز به وجود نهاد ثالث

مورد اعتماد طرفین قرارداد، مفاد مندرج در قرارداد را به صورت خودکار اجرا می کند (Cong and He, 2019). قراردادهای هوشمند همچنین به دستورالعمل (پروتکل) تراکنش های قابل بازخوانی توسط رایانه اطلاق می گردد که مشتمل بر توافقات از پیش تعیین شده میان طرفین مبادلات اقتصادی است و در صورت تحقق شرایط پیش بینی شده در مفاد قرارداد، به صورت خودکار اجرا می گردد (Zheng et al., 2020).

اگر مفهوم فناوری زنجیره بلوکی نیز به ادبیات قراردادهای هوشمند پیوند بخورد، قراردادهای هوشمند را می توان بخشی از کد معرفی کرد که در زنجیره بلوکی ذخیره می شود، قابلیت بازخوانی داده های زنجیره بلوکی را داشته و امکان افزودن داده به آن را دارد و با بازخوانی داده های موجود در این پایگاه داده فعال می شود (Greenspan, 2016). در این حالت و به بیانی عمومی، قراردادهای هوشمند به برنامه های رایانه ای اطلاق می گردد که در زنجیره بلوکی ذخیره شده و از قابلیت های فناوری دفاتر کل توزیع شده بهره می برند و یک نسخه از آن در اختیار تمام اعضای شبکه قرار دارد و در مواقع لزوم قادر به فراخوانی و اجرای آن هستند (Swan, 2015). این برنامه ها خودکار و لازم الاجرا هستند. این نوع از تراکنش های مبتنی بر زنجیره بلوکی در مجامع علمی جهانی به کد قرارداد هوشمند^۱، قراردادهای رمزینه^۲ و برنامه قرارداد هوشمند^۳ شهرت دارد (Stark, 2019).

با توجه به تنوع مفهومی قراردادهای هوشمند، این نوع از قراردادها را می توان به اعتبار نوع ایجاد، نوع ذخیره سازی و نوع اجرا تقسیم بندی کرد. قراردادهای هوشمند را به اعتبار نوع ذخیره سازی می توان به قراردادهای هوشمند متمرکز و قراردادهای هوشمند غیرمتمرکز تقسیم بندی کرد. قراردادهای هوشمند متمرکز نسخه پیشرفته تر قراردادهای الکترونیکی هستند که تمامی فرایندها در آن یکپارچه شده و امکان اجرای خودکار مفاد قرارداد در آن وجود دارد. قراردادهای هوشمند غیرمتمرکز، برنامه های نرم افزاری قابل بازخوانی توسط رایانه هستند که در یک شبکه غیرمتمرکز ذخیره سازی و در صورت تحقق شروط پیش بینی شده مندرج در مفاد قرارداد به صورت خودکار و بدون دخالت عامل انسانی اجرایی می شود (Drummer and Neumann, 2020). فناوری دفاتر کل توزیع شده (بلاکچین) و پلتفرم های مبتنی

1. Smart contract code
2. Crypto contracts
3. Smart contract program

بر فناوری زنجیره‌بلوکی، بستر مناسبی را برای قراردادهای هوشمند فراهم می‌کند تا هم زمینه مناسب و مساعدی جهت ذخیره‌سازی داده به صورت امن و غیرقابل تغییر و دست‌کاری ایجاد گردد و هم شرایط فراخوانی و اجرای خودکار مفاد قرارداد فراهم باشد؛ بنابراین در چارچوب مفهومی اخیر، قرارداد هوشمند به برنامه‌های خودکاری گفته می‌شود که در یک پایگاه داده غیرمتمرکز میان کاربران پلتفرم‌های دیجیتال ایجاد می‌شود و عهده‌دار اجرای تراکنش‌های خودکار میان ایشان است. اجرایی‌سازی این قرارداد می‌تواند ناشی از کنش کاربران باشد و در برخی موارد با توجه به پویایی‌های قرارداد، هرگونه رخدادی در کل شبکه می‌تواند منجر به اجرایی شدن قرارداد گردد (Governatori et al., 2018).

قرارداد هوشمند را به اعتبار نوع ایجاد می‌توان متقسم در دو دسته اصلی دانست. قراردادهای هوشمند نوع اول درواقع نسخه کدنویسی‌شده قراردادهای متعارف هستند. در این نسل از قراردادهای هوشمند، یک نسخه فیزیکی از مفاد قراردادی میان طرفین وجود دارد و زمینه کاربردی‌سازی قرارداد هوشمند مشابه آنچه هست که پیشتر در قراردادهای الکترونیکی وجود داشت (Staples et al., 2017). این نوع از قراردادهای هوشمند، مصادیقی از قراردادهای الکترونیکی هستند که صرفاً نمایانگر و نماینده‌ای از قراردادهای متعارف هستند که به زبان حقوقی ایجاد شده و در یک قالب قابل ذخیره‌سازی در رایانه و به زبان صفر و یک درآمده‌اند. به این حالت، فرضیه کد به مثابه قرارداد^۱ گفته می‌شود؛ بنابراین در حالت پیش‌گفته هیچ توافقی خارج از مفاد قرارداد حقوقی اولیه منعقدشده در کد قرارداد هوشمند منعکس نمی‌شود. تفاوت این نوع قرارداد با قراردادهای عادی در آن است که ضمانت اجرای مفاد آن توسط کدهای رایانه‌ای صورت می‌پذیرد (Wang et al., 2019). در نوع دوم از قراردادها، نسخه فیزیکی قرارداد به صورت از پیش تدوین‌شده وجود ندارد؛ به عبارتی دیگر توافق میان طرفین قرارداد نیز به صورت مجازی صورت پذیرفته و توافق حاصل‌شده میان ایشان در یک بستر نرم‌افزاری غیرمتمرکز ثبت و ضبط می‌شود و در صورت لزوم برای اجرا فراخوانی خواهد شد (Governatori, 2018). نوع دوم از قراردادهای هوشمند تعیین‌کننده قواعد کلی شبکه هستند. در این فرضیه، قرارداد کد به مثابه قانون^۲ است. در این رویکرد

1. Code as Contract
2. Code is Law

توسعه‌دهندگان و معماران سامانه‌های نرم‌افزاری در هنگام توسعه سامانه، در خصوص قواعد کلی حاکم بر شبکه تصمیم‌گیری می‌نمایند و با کدنویسی مربوطه این قوانین را به شبکه اعمال می‌نمایند (Drummer and Neumann, 2020). این نوع از معماری شبکه به کنشگران حوزه تجارت و طرفین قراردادی این امکان را می‌دهد که چارچوب و قواعد داخلی میان ایشان بدون نیاز به مداخله ثالث مرضی‌الطرفین تعیین و اجرا گردد (Raskin, 2017).

تفکیک میان دو مفهوم کد قرارداد هوشمند و قرارداد حقوقی هوشمند در تحلیل‌های مربوط به این نوآوری حقوقی ضروری است. قرارداد حقوقی هوشمند دلالت بر نوعی از قراردادهای هوشمند دارد که ترجمه مفاد توافق صورت پذیرفته میان طرفین قرارداد به زبان قابل فهم برای سامانه‌های نرم‌افزاری است (Mik, 2017). به موجب این اقدام درواقع پیوندی میان دنیای مجازی و جهان واقعی ایجاد می‌گردد که تحقق این مهم مستلزم ترجمه مفاد قرارداد از زبان طبیعی آن به زبان کدهای رایانه‌ای است (Stark, 2019). کد قرارداد هوشمند نمایانگر قراردادهایی است که از ابتدا و بدون داشتن نمونه حقوقی مشخص در جهان واقعی، در یک بستر مجازی ایجاد می‌گردد. در این رویکرد به منظور اجتناب از دشواری‌های ترجمه قرارداد از زبان آنالوگ به کد قابل بازخوانی توسط سامانه‌های دیجیتال، نسبت به نوشتن آن در یک پلتفرم دیجیتال از همان ابتدا اقدام می‌کنند. نکته آنجاست که در این فرایند، حقوق دانان به منظور اجتناب از درگیر شدن در پروسه ایجاد نسخه کاغذی قرارداد و ثبت رسمی آن، ناگزیر از یادگیری برنامه‌نویسی هستند. در غیر این صورت برنامه‌نویسان باید با مفاهیم اولیه و پایه‌ای حقوق قراردادهای آشنا باشند.

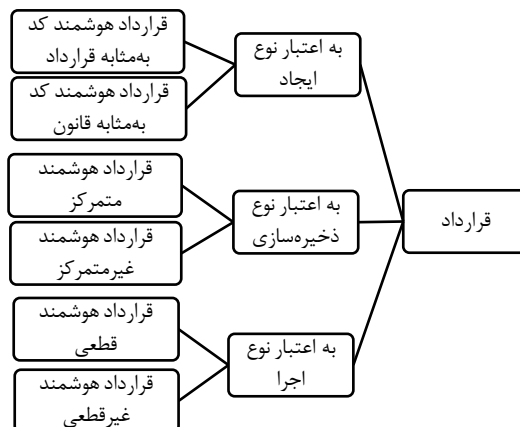
قراردادهای هوشمند از حیث نوع اجرا نیز به قراردادهای هوشمند قطعی^۱ و قراردادهای هوشمند غیرقطعی^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. در قراردادهای هوشمند قطعی، قرارداد به نحوی تنظیم می‌گردد که از داده‌های موجود در شبکه استفاده می‌کند و مبتنی بر همین داده‌های فراخوانی شده در قرارداد هوشمند، در صورت تحقق شرایط مندرج در قرارداد به صورت خودکار اجرا می‌گردد. در قراردادهای هوشمند غیرقطعی، شبکه برای اجرای قرارداد نیازمند داده‌های برون‌زا یا تعامل با اوراکل‌ها^۳ است (Cannarsa, 2020). اوراکل درواقع نقطه اتصال

1. Deterministic smart contracts

2. Non-deterministic smart contracts

3. oracle

دنیای مجازی با جهان واقعی است. در این نوع از قراردادها، یک اثر و تأیید بیرون از شبکه، فرمان نهایی اجرای قرارداد را صادر می‌کند.



شکل ۱. گونه‌شناسی قراردادهای هوشمند

منبع: یافته‌های پژوهش

بر همین اساس تعریف قرارداد هوشمند مبتنی بر نکات پیش گفته، یک تعریفی است که مشتمل بر سه لایه است. ضمن امعان به مبانی برشمرده‌شده، قراردادهای هوشمند، نسلی از قراردادهای الکترونیک هستند که در یک بستر مجازی ایجاد شده و می‌تواند به‌صورت متمرکز یا غیرمتمرکز ثبت و نگهداری شود. این قرارداد می‌تواند ترجمه‌شده از زبان طبیعی به زبان قابل فهم و بازخوانی توسط رایانه باشد یا از همان ابتدا به زبان کد نوشته شود. مؤلفه‌های اجرای آن نیز می‌تواند به‌صورت درون‌زا و با استفاده از داده‌های موجود در سامانه به‌صورت خودکار فعال گردد یا نیازمند نیروی بیرونی جهت اجرای مفاد آن است. در همین راستا در ادامه نوشتار پیش رو ضمن تمرکز بر مفهوم قرارداد هوشمند صادرات گاز در گام نخست به بررسی ارکان قراردادهای هوشمند صادرات گاز پرداخته و در گام بعدی تحلیل فقهی متناسب با موارد یادشده ارائه خواهد شد.

چارچوب نظری و مدل مفهومی پژوهش

برای غلبه بر پراکندگی مباحث و ارائه تحلیلی یکپارچه، پژوهش حاضر از یک مدل مفهومی سه‌لایه بهره می‌برد که تعامل میان مبانی فقهی، الزامات حقوقی و زیرساخت‌های فنی را تبیین می‌کند. این مدل تضمین می‌کند که هر مؤلفه فنی، پشتوانه فقهی و حقوقی مشخصی داشته باشد. لایه‌های این مدل عبارت‌اند از ۱. لایه فقهی (مبانی استنباط): این لایه شامل قواعد بنیادین فقه معاملات نظیر قصد و رضا، علم به عوضین، نفی غرر، لاضرر، ضمان و وفای به شرط است که به‌عنوان پالایه (فیلتر)‌های اعتبارسنجی شرعی عمل می‌کنند. ۲. لایه حقوقی (آثار و احکام): این لایه ترجمه قواعد فقهی به مفاهیم حقوقی نظیر عقد، شرط، اختیار، فسخ، انفساخ و مسئولیت مدنی است که وضعیت حقوقی طرفین را مشخص می‌کند. ۳. لایه فنی (زیرساخت اجرا): این لایه شامل مؤلفه‌های فناوری زنجیره‌بلوکی نظیر قراردادهای هوشمند، اوراکل‌ها، سازوکارهای اجماع، حساب‌های امانی و پروتکل‌های حل اختلاف است. در این مدل، ارتباط میان لایه‌ها به‌صورت علی و دوسویه است؛ بدین معنا که محدودیت‌های فقهی (لایه اول)، طراحی حقوقی قرارداد (لایه دوم) و درنهایت منطق کدنویسی شده (لایه سوم) را محدود و هدایت می‌کند. همچنین بازخوردهای فنی از لایه سوم، می‌تواند منجر به بازتعریف مفاهیم فقهی در لایه اول شود.

در تبیین دقیق‌تر روابط میان لایه‌ها، لازم است تمایزی ظریف میان «اجرای کدی» و «تعهد واقعی» قائل شد. اگرچه در لایه فنی، اجرای خودکار کد، نقض شرط را در بستر زنجیره‌بلوکی غیرممکن می‌سازد، اما این به معنای عدم امکان نقض تعهد در دنیای واقعی نیست؛ چراکه ممکن است داده‌های ورودی به قرارداد توسط اوراکل‌ها یا حسگرها دست‌کاری شده یا کیفیت فیزیکی گاز با استاندارد مغایرت داشته باشد، درحالی‌که کد بر اساس داده‌های مخدوش عمل کرده است. لذا در این مدل، «وفای به شرط» در لایه فنی به معنای اجرای دقیق کد است؛ اما در لایه فقهی منوط به صحت داده‌های ورودی و تطابق واقعی موضوع معامله است. همچنین در خصوص سازوکارهای حل اختلاف خودکار، مفهوم «داوری الگوریتمی» در این چارچوب، ذیل نهاد فقهی «تحکیم» بازتعریف می‌شود. بدین معنا که عامل‌های هوشمند یا اوراکل‌های داوری‌شده، در حکم «حکم مرضی الطرفین» عمل می‌کنند که با رعایت شروط عدالت و تخصص در طراحی کد و اوراکل، مجاز به فصل خصومت

هستند. این تمایزگذاری تضمین می‌کند که مدل مفهومی پژوهش، علاوه بر کارایی فنی، از استحکام مبانی فقه القضاء و التحکیم نیز بهره‌مند باشد.

در تکمیل مدل مفهومی، لازم است سازوکار تبدیل «ثبت داده فنی» به «قبض فقهی» شفاف‌سازی شود. از منظر نظری، صرف ثبت داده تحویل گاز در زنجیره‌بلوکی، به‌خودی‌خود محقق‌کننده قبض شرعی نیست بلکه این «عرف تجاری و صنعتی» است که به این ثبت داده، اثر حقوقی می‌بخشد. در چارچوب نظری این پژوهش، «عرف خاص صنعت گاز» به‌عنوان حلقه واسطه میان لایه فنی و لایه فقهی عمل می‌کند. بدین معنا که اگر عرف متخصصان صنعت انرژی، داده‌های خروجی از حسگرهای نصب‌شده در نقطه تحویل قراردادی^۱ را به‌عنوان امینه تحویل و قبض بپذیرد، ثبت دیجیتال در زنجیره‌بلوکی مصداق قبض حکمی و عرفی خواهد بود. لذا در مدل مفهومی طراحی‌شده، اعتبارسنجی قبض دیجیتال منوط به انطباق با استانداردهای عرفی صنعت نظیر استانداردهای ISO یا قراردادهای نمونه GSPA است. این تمایز تضمین می‌کند که مدل پژوهش، علاوه بر استحکام فنی، از پشتوانه عرفی مورد نیاز برای صحت فقهی معاملات نیز بهره‌مند باشد.

ارکان قراردادهای هوشمند صادرات گاز

رکن نخست؛ طرفین قرارداد: در قراردادهای هوشمند، مفهوم طرفین قرارداد^۲ از قالب سنتی انسان‌محور به ساختاری داده‌محور و الگوریتمی دگرگون می‌شود. در الگوی سنتی، طرفین به‌عنوان اشخاص حقیقی یا حقوقی دارای اهلیت، اراده و قصد انشاء تعریف می‌شوند؛ درحالی‌که در قراردادهای هوشمند، تعامل میان این طرفین به‌واسطه عامل‌های دیجیتال^۳ یا کیف‌پول‌های رمزنگاری‌شده انجام می‌گیرد که به‌صورت خودکار مفاد قرارداد را در بستر زنجیره‌بلوکی اجرا می‌کنند (Werbach & Cornell, 2017).

بدین ترتیب، «طرف» در معنای مدرن خود نه‌صرفاً یک شخص حقیقی یا حقوقی، بلکه یک «هویت دیجیتال»^۴ است که به‌صورت رمزنگاری‌شده و با امضای دیجیتال در شبکه شناسایی می‌شود. این هویت می‌تواند نماینده یک فرد، سازمان یا حتی یک نهاد غیرمتمرکز

1. Contractual Delivery Point
2. Contracting Parties
3. Digital Agents
4. Digital Identity

مانند سازمان خودگردان غیرمتمرکز^۱ باشد (Reijers et al., 2018)؛ به بیان دیگر، طرفین قرارداد در این بستر، مجموعه‌ای از نهادهای انسانی و غیرانسانی هستند که از طریق سازوکارهای رمزنگاری و کلیدهای خصوصی، به یکدیگر اعتماد می‌کنند بدون آنکه نیاز به مرجع ثالث یا نهاد تضمین‌کننده وجود داشته باشد (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

ویژگی بارز این تحول آن است که روابط قراردادی از سطح شخصی و مبتنی بر اعتماد، به سطح ماشینی و مبتنی بر کد منتقل می‌شوند. در چنین وضعی، اراده و رضای طرفین پیش از اجرای قرارداد در کد تعبیه می‌شود و قرارداد، پس از تحقق شروط معین، بدون دخالت مستقیم انسان اجرا می‌شود (Mik, 2017)؛ از این رو، مرز میان «عامل انسانی» و «عامل الگوریتمی» در روابط قراردادی کمرنگ می‌شود و مسئولیت حقوقی طرفین، تابعی از نحوه تعامل میان این دو لایه تلقی می‌گردد.

افزون بر این، در بسیاری از پلتفرم‌های زنجیره‌بلوکی، هویت طرفین به صورت مستعار یا ناشناس باقی می‌ماند و تنها با کلید عمومی شناسایی می‌شود که این امر در حوزه‌های حقوقی و نظارتی چالش‌های خاصی را در زمینه اهلیت، شناسایی و احراز هویت ایجاد می‌کند. به طور کلی در قراردادهای هوشمند، طرفین در قالب «واحدهای کنشگر رمزنگاری شده» تعریف می‌شوند که نه تنها نقش سنتی متعاملین را ایفا می‌کنند بلکه بخشی از منطق اجرایی قرارداد را نیز بر عهده دارند؛ زیرا هر یک از آن‌ها می‌تواند در بستر زنجیره‌بلوکی از طریق تراکنش‌های امضا شده، موجب تغییر در وضعیت قرارداد شود. این دگرگونی، مبنای شکل‌گیری نسل جدیدی از روابط قراردادی است که در آن، تعامل میان «اراده انسانی» و «کد ماشینی» بنیان حقوقی جدیدی را رقم می‌زند.

رکن دوم؛ موضوع قرارداد و شرایط: در قراردادهای هوشمند، «موضوع قرارداد»^۲ و «شرایط»^۳ از قالب توصیفی و کلامی سنتی به ساختاری کدگذاری شده و ماشین‌خوان تبدیل می‌شوند. در نظام قراردادی کلاسیک، موضوع قرارداد معمولاً به صورت نوشتاری در قالب مفاهیمی نظیر انتقال مال، انجام خدمت یا تعهد به فعل مشخص می‌گردد و تحقق آن منوط به تفسیر انسانی از متن است؛ درحالی‌که در قراردادهای هوشمند، این موضوع به زبان

1. DAO

2. Subject Matter of the Contract

3. Terms and Conditions

برنامه‌نویسی و در قالب مجموعه‌ای از دستورها و شروط منطقی^۱ بیان می‌شود که قابلیت اجرا و پایش خودکار دارند (Raskin, 2017).

به بیان دیگر، موضوع قرارداد نه صرفاً انتقال یک دارایی فیزیکی یا انجام یک تعهد، بلکه مجموعه‌ای از «رویدادهای داده‌محور» است که با تحقق آن‌ها، تعهدات تعریف‌شده در کد فعال و اجرا می‌شوند. این ویژگی موجب می‌شود که قراردادهای هوشمند به صورت ذاتی، اجرایی باشند و مرحله انجام تعهد، در همان لحظه تحقق شرط به صورت خودکار انجام گیرد (Giancaspro, 2017).

در این چارچوب، شرایط قرارداد شامل کلیه‌بندهایی است که رفتار قرارداد را کنترل می‌کنند که از آن جمله قواعد تحویل، پرداخت، فرس‌ماژور یا ضمانت اجرا که همگی در قالب منطق الگوریتمی طراحی می‌شوند. این منطق به قرارداد اجازه می‌دهد تا بر اساس داده‌های بیرونی که از طریق «اوراکل‌ها»^۲ دریافت می‌شوند، وضعیت اجرای تعهد را ارزیابی و تصمیم مقتضی را بدون نیاز به دخالت عامل انسانی اتخاذ کند (Mik, 2017).

برای نمونه، در قرارداد صادرات گاز، داده‌های اوراکل می‌توانند میزان تحویل، کیفیت گاز یا شاخص قیمت بازار را اندازه‌گیری و در صورت تحقق یا تخلف، پرداخت یا جریمه را فعال نمایند. بدین ترتیب، موضوع قرارداد در قراردادهای هوشمند نه یک تعهد انتزاعی، بلکه یک سازوکار داده‌محور است که از طریق اتصال به منابع بیرونی، در زمان واقعی اجرا می‌شود (Savelyev, 2019).

یکی از تفاوت‌های بنیادین این نوع قراردادها با مدل سنتی، حذف ابهام تفسیری و جایگزینی آن با قطعیت منطقی است. در قراردادهای سنتی، واژگان مبهم و شرایط ضمنی گاه به منازعات حقوقی منتهی می‌شوند؛ درحالی‌که در قراردادهای هوشمند، موضوع و شرایط باید به گونه‌ای دقیق و عددی بیان شوند که برای سیستم قابل پردازش باشند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016). این امر، هرچند شفافیت و خودکارسازی را افزایش می‌دهد اما از سوی دیگر انعطاف انسانی در تفسیر و سازش را کاهش می‌دهد و به تعبیری قرارداد را از «ابزار تعامل حقوقی» به «دستورالعمل اجرایی ماشینی» بدل می‌سازد؛

1. if-then statements
2. Oracles

بنابراین، در قرارداد هوشمند، موضوع و شرایط نه تنها تعیین کننده مفاد تعهد هستند بلکه ساختار فنی و منطقی قرارداد را نیز شکل می دهند و پیوندی میان قلمرو حقوق و فناوری برقرار می سازند. این پیوند در واقع محور تحول قراردادهای سنتی به قراردادهای الگوریتمی به شمار می رود.

رکن سوم؛ قیمت و فرمول محاسبه: در قراردادهای هوشمند، عنصر «قیمت» و «فرمول محاسبه» از یک مفهوم قراردادی ایستا به سازوکاری پویا و داده محور تبدیل می شود. در قراردادهای سنتی، قیمت معمولاً به صورت ثابت، شاخص محور یا قابل بازنگری در دوره های معین تعیین می شود و اجرای آن منوط به تفسیر، مذاکره و گاه مداخله نهادی است؛ در حالی که در قراردادهای هوشمند، قیمت به عنوان یک متغیر زنده در منطق الگوریتمی قرارداد تعریف می شود و به صورت خودکار بر اساس داده های ورودی از منابع معتبر نظیر اوراکل های قیمتی به روزرسانی می گردد (Clack, Bakshi, & Braine, 2016).

به بیان دیگر، قرارداد هوشمند نه تنها حامل تعهد پرداخت است، بلکه موتور محاسبه خودکار نیز محسوب می شود که از طریق کدهای از پیش تعیین شده، ارزش مبادله را بر پایه شاخص های زمان واقعی^۱ محاسبه می کند. این ویژگی، قیمت را از سطح یک «بند قراردادی» به سطح یک «الگوریتم اقتصادی» ارتقا می دهد (Gatteschi et al., 2018). در مدل های پیشرفته تر، فرمول محاسبه قیمت می تواند ترکیبی از داده های چندمنبعی باشد.

برای مثال، در قراردادهای صادرات گاز، قرارداد هوشمند می تواند داده های شاخص های Henry Hub، Platts یا Brent را از طریق اوراکل های مستقل فراخوانی کرده و میانگین وزنی آنها را به عنوان قیمت مبنا محاسبه کند (Alharby & van Moorsel, 2017). همچنین، قرارداد می تواند سازوکاری برای تعدیل قیمت^۲ در پاسخ به تغییرات نرخ ارز، شاخص تورم یا هزینه های حمل و نقل تعریف کند؛ به گونه ای که در هر دوره زمانی، مازول قیمتی قرارداد هوشمند داده های جدید را دریافت و بر اساس فرمول کدنویسی شده، مبلغ نهایی پرداخت را به طور خودکار محاسبه و ثبت نماید (Savelyev, 2019).

1. Real-time Indices
2. Price Adjustment

در نتیجه، نقش عامل انسانی در بازبینی قیمت حذف می‌شود و فرایند تعیین ارزش مبادله، کاملاً شفاف، قابل ردیابی و مقاوم در برابر فساد یا دست‌کاری می‌گردد (Mik, 2017). از منظر فنی، این تحول مستلزم طراحی دقیق «اوراکل‌های مالی» است که به‌طور غیرمتمرکز و از چند منبع داده^۱ تغذیه شوند تا ریسک خطا یا دست‌کاری قیمت به حداقل برسد (Xu et al., 2022). این اوراکل‌ها واسطه‌ای میان دنیای واقعی و زنجیره‌بلوکی هستند و داده‌های اقتصادی را به قرارداد تزریق می‌کنند تا کد بتواند بر اساس آن تصمیم بگیرد. به همین دلیل، قیمت در قرارداد هوشمند نه یک مقدار مطلق، بلکه تابعی از زمان، شرایط بازار و اعتبار داده‌هاست. این نوع طراحی قراردادهای، مفهوم «اعتماد قراردادی» را از سطح نهادهای حقوقی به سطح زیرساخت‌های فنی انتقال می‌دهد. در نهایت، ماژول قیمتی قرارداد هوشمند، ضمن تضمین دقت و شفافیت محاسبه، امکان ایجاد سازوکارهای تعدیل خودکار^۲ و حتی پوشش نوسانات قیمتی^۳ را نیز فراهم می‌کند که این امر، قرارداد را به یک ابزار مالی و فناورانه پیشرفته برای تنظیم تجارت انرژی تبدیل می‌سازد.

رکن چهارم؛ نحوه تحویل و انتقال: در قراردادهای هوشمند، رکن «نحوه تحویل و انتقال»^۴ از یک فرایند حقوقی و عملیاتی مبتنی بر اعتماد انسانی به یک سازوکار خودکار، داده‌محور و مبتنی بر تأیید رمزنگاری شده تبدیل می‌شود.

در ساختار سنتی، تحویل و انتقال کالا یا خدمات معمولاً با صدور اسناد کاغذی، تأیید مقامات نظارتی و تبادل مکاتبات رسمی میان طرفین انجام می‌شود؛ اما در بستر قراردادهای هوشمند، این فرایند با ترکیب فناوری زنجیره‌بلوکی، اینترنت اشیا^۵ و اوراکل‌های فیزیکی به‌صورت خودکار، لحظه‌ای و شفاف مدیریت می‌گردد (Christidis & Devetsikiotis, 2016). به‌طور مشخص، هر رویداد تحویل، از طریق داده‌های حسگرها یا گره‌های اوراکل تأیید می‌شود و پس از ثبت در دفترکل توزیع شده، انتقال مالکیت یا انجام تعهد به‌صورت خودکار فعال می‌گردد. این تغییر پارادایم، تحویل را از «یک کنش فیزیکی با تأیید انسانی» به «یک کنش دیجیتالی با تضمین رمزنگاری» بدل می‌کند (Gatteschi et al., 2018).

-
1. Multi-source Oracles
 2. Auto-adjustment
 3. Hedging
 4. Delivery and Transfer Mechanism
 5. IoT

در قراردادهای مرسوم در صنعت انرژی مانند قراردادهای صادرات گاز، مفهوم تحویل اهمیت ویژه دارد؛ زیرا سنجش حجم، کیفیت، فشار و زمان تحویل از عوامل تعیین کننده در محاسبه قیمت و تسویه حساب است. در قراردادهای مرسوم در صنعت انرژی مانند قراردادهای صادرات گاز، مفهوم تحویل اهمیت ویژه دارد؛ زیرا سنجش حجم، کیفیت، فشار و زمان تحویل از عوامل تعیین کننده در محاسبه قیمت و تسویه حساب است.

قرارداد هوشمند این شاخص‌ها را از طریق شبکه‌ای از حسگرهای اینترنت اشیا و ماژول‌های اندازه‌گیری دیجیتال دریافت کرده و داده‌های آن را به صورت رمزنگاری شده در زنجیره‌بلوکی ثبت می‌کند تا هیچ‌گونه امکان تغییر یا جعل در سوابق تحویل وجود نداشته باشد. لازم به ذکر است که برای اعتبارسنجی فقهی و حقوقی این داده‌ها، کالیبراسیون حسگرها و دستورالعمل‌های اندازه‌گیری باید منطبق با استانداردهای بین‌المللی صنعت گاز نظیر ISO 13686 برای کیفیت گاز طبیعی و AGA Report No. 3 برای اندازه‌گیری جریان گاز باشد. این انطباق تضمین می‌کند که «قبض دیجیتال» ثبت شده در زنجیره‌بلوکی، با «تحویل فیزیکی عرفی» در نقطه تحویل مراقبتی^۱ همسو باشد.

قرارداد هوشمند این شاخص‌ها را از طریق شبکه‌ای از حسگرهای اینترنت اشیا و ماژول‌های اندازه‌گیری دیجیتال دریافت کرده و داده‌های آن را به صورت رمزنگاری شده در زنجیره‌بلوکی ثبت می‌کند تا هیچ‌گونه امکان تغییر یا جعل در سوابق تحویل وجود نداشته باشد (Hasanova et al., 2019).

در لحظه‌ای که داده‌های اوراکل نشان دهند تحویل با مشخصات قرارداد مطابقت دارد، قرارداد به صورت خودکار مالکیت کالا یا دارایی را منتقل و پرداخت متناظر را آزاد می‌کند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016). این سازوکار جایگزین اعتماد سنتی به طرف مقابل یا نهاد ثالث می‌شود و مفهوم «تحویل و تسویه مبتنی بر اعتماد کد^۲» را محقق می‌سازد (Werbach, 2018).

از منظر فنی، مدل تحویل در قراردادهای هوشمند ممکن است دو گونه باشد: نخست، «تحویل دیجیتال مستقیم»^۳ برای دارایی‌های رمزنگاری شده یا داده‌محور، که در آن انتقال در

1. Custody Transfer Metering
2. Trustless Settlement
3. Direct Digital Delivery

همان شبکه زنجیره‌بلوکی انجام می‌شود و دوم، «تحویل فیزیکی کنترل‌شده دیجیتالی»^۱ که از طریق ادغام داده‌های حسگرها با منطق قرارداد، انتقال مالکیت یا وضعیت حقوقی را تأیید می‌کند (Kouhizadeh & Sarkis, 2018).

در هر دو حالت، ویژگی مشترک آن است که لحظه تحقق شرط تحویل، بلافاصله با انتقال مالکیت یا پرداخت همراه می‌شود. این عبارت بدین معناست که «زمان حقوقی تحویل» با «زمان فنی ثبت داده» یکی می‌گردد. این هم‌زمانی میان اجرا و ثبت، یکی از بزرگ‌ترین نوآوری‌های قراردادهای هوشمند است که موجب حذف تأخیر، کاهش هزینه‌های واسطه‌گری و افزایش شفافیت در زنجیره تأمین می‌شود. افزون بر این، تمامی سوابق تحویل در زنجیره بلوکی قابل بازرسی و ممیزی هستند که از منظر نظارتی و حسابرسی نیز تحولی بنیادین محسوب می‌شود. در نتیجه، نحوه تحویل و انتقال در قراردادهای هوشمند نه تنها یک بند اجرایی، بلکه یکی از ستون‌های فنی و حقوقی اعتماد در معماری قراردادهای مبتنی بر زنجیره‌بلوکی به‌شمار می‌رود.

رکن پنجم؛ مدت قرارداد و تمدید: در قراردادهای هوشمند، «مدت قرارداد» و «تمدید دوره قرارداد» از یک بند تقویمی و حقوقی صرف به یک مؤلفه پویا و زمان‌محور در منطق کد تبدیل می‌شود. در نظام قراردادی سنتی، مدت و تمدید معمولاً در قالب بندهای مشخصی بیان می‌شوند که با گذشت زمان یا تصمیم مشترک طرفین، نیازمند تنظیم مکتوب یا الحاقیه جدید هستند.

در مقابل، قرارداد هوشمند از طریق تعریف «تایمرهای الگوریتمی»^۲ و «شرط‌های زمانی»^۳ زمان را به یک عنصر فعال در ساختار اجرایی خود تبدیل می‌کند؛ به‌گونه‌ای که آغاز، استمرار و پایان تعهدات بر اساس ساعت و توالی ذخیره‌سازی بلوک‌ها در سیستم زنجیره‌بلوکی کنترل می‌شود (Clack, Bakshi, & Braine, 2016)؛ بدین ترتیب، لحظه شروع قرارداد، انقضای مدت و فعال‌سازی تمدید، همگی در بستر غیرقابل تغییر دفترکل ثبت و اجرا می‌گردند و نیازی به مداخله انسانی یا اسناد تکمیلی نیست (Mik, 2017).

1. Digitally Controlled Physical Delivery

2. Algorithmic Timers

3. Time-based Triggers

این تحول موجب می‌شود که مفهوم مدت در قراردادهای هوشمند نه یک بازه ایستا بلکه یک «پارامتر پویا» باشد که قابلیت تنظیم خودکار دارد. به عنوان نمونه، در قرارداد صادرات گاز، می‌توان شرط کرد که در پایان هر دوره سالانه، قرارداد به صورت خودکار تمدید گردد مشروط بر آنکه تمامی پرداخت‌ها انجام و هیچ تعهد نقض شده‌ای در سیستم ثبت نشده باشد. در چنین حالتی، قرارداد با بررسی وضعیت داده‌های زنجیره و امضای دیجیتال طرفین، تصمیم تمدید یا خاتمه را بدون نیاز به مذاکره مجدد اتخاذ می‌کند (Werbach & Cornell, 2017). این سازوکار امکان استمرار خودکار رابطه قراردادی را در صورت تحقق شروط از پیش تعیین شده فراهم می‌آورد (Alharby & van Moorsel, 2017).

از نظر فنی، مفهوم زمان در قرارداد هوشمند مبتنی بر «بلوک‌های زمانی شبکه» است. این عبارت بدان معناست که به جای ساعت محلی یا تقویم قراردادی، از زمان زنجیره‌بلوکی استفاده می‌شود تا از هرگونه دست‌کاری جلوگیری گردد. این ویژگی، یک مزیت امنیتی ایجاد می‌کند اما درعین حال چالش‌هایی مانند تفاوت منطقه زمانی، تأخیر در تأیید تراکنش یا خطا در همگام‌سازی داده‌ها را نیز به همراه دارد (Savelyev, 2019).

افزون بر این، قراردادهای هوشمند می‌توانند مازول‌های پیچیده‌تری برای تمدید تدریجی^۱ یا خاتمه خودکار در شرایط خاص طراحی کنند. برای مثال، تمدید خودکار در صورت تداوم همکاری یا توقف در صورت بروز فرس‌ماژور طولانی مدت از جمله موارد قابل ذکر هستند. در نتیجه، مدت و تمدید در قراردادهای هوشمند به جای آنکه صرفاً توصیف‌کننده یک بازه حقوقی باشند، به اجزای فعال ساختار اجرایی قرارداد تبدیل می‌شوند. **رکن ششم: روش پرداخت و ارزش تسویه:** در قراردادهای هوشمند، «روش پرداخت» و «ارزش تسویه» از یک سازوکار بانکی متکی بر اعتماد به نهاد ثالث، به یک فرآیند رمزنگاری شده، خوداجرا و بی‌نیاز از واسطه تبدیل می‌شوند.

در ساختار سنتی، پرداخت معمولاً از طریق شبکه‌های مالی متمرکز، اعتبارات اسنادی یا سیستم‌های بانکی بین‌المللی انجام می‌گیرد و همواره با ریسک‌های ناشی از تأخیر، تحریم یا نوسانات ارزی همراه است. در مقابل، قراردادهای هوشمند با بهره‌گیری از فناوری زنجیره‌بلوکی، پرداخت را در بستر غیرمتمرکز و با استفاده از دارایی‌های دیجیتال یا

استیبل کوین‌ها انجام می‌دهند به گونه‌ای که تمام مراحل تسویه از صدور صورتحساب تا انتقال وجه به صورت خودکار و در چارچوب منطق کد انجام می‌شود (Peters & Panayi, 2016). بدین ترتیب، پرداخت از یک تعهد مالی متنی به یک کنش ماشینی و بی‌درنگ بدل می‌گردد که در آن، صدور دستور پرداخت، اعتبارسنجی و تسویه نهایی در یک چرخه واحد و غیرقابل تغییر رخ می‌دهد (Gatteschi et al., 2018).

در این بستر، ارز تسویه می‌تواند به چند شکل تعریف شود: نخست، به صورت رمزارزهای با پشتوانه مانند USDT یا DAI که نوسانات قیمتی قابل چشم‌پوشی داشته و برای پرداخت‌های بین‌المللی رایج هستند. دوم، در قالب رمزارزهای ملی یا ارزهای دیجیتال بانک‌های مرکزی^۱ که در حال تبدیل شدن به ابزار رسمی پرداخت بین‌المللی هستند و سوم از طریق دارایی‌های توکن‌شده مانند اوراق گازی یا انرژی دیجیتال که ارزش آن‌ها به دارایی واقعی متصل است (Zhang et al., 2020).

از منظر فنی، پرداخت‌ها در قراردادهای هوشمند از طریق کیف پول‌های دیجیتال چندامضایی^۲ یا حساب‌های امانی هوشمند^۳ انجام می‌شوند که تا زمان تحقق شروط تحویل یا تأیید کیفیت، وجه را در حالت قفل شده نگه می‌دارند. به محض تأیید داده‌های اوراکل، سیستم به صورت خودکار پرداخت را آزاد می‌کند.

این فرایند، شفافیت و اطمینان در تسویه را افزایش داده و عملاً نقش مؤسسات تضمین‌کننده سستی را حذف می‌کند (Alharby & van Moorsel, 2017)؛ افزون بر این، همان‌طور که در بخش‌های پیشین مورد اشاره قرار گرفت، قرارداد می‌تواند در منطق خود، سازوکار پوشش نوسان را نیز لحاظ کند تا در صورت تغییر نرخ ارز یا شاخص تورم، مبلغ پرداختی به‌طور خودکار تعدیل شود (Clack, Bakshi, & Braine, 2016). در نتیجه، روش پرداخت و ارز تسویه در قراردادهای هوشمند نه تنها جنبه مالی دارند، بلکه جزئی از ساختار اجرایی و امنیتی قرارداد محسوب می‌شوند که از طریق رمزنگاری، خودکارسازی و اتصال به داده‌های بلادرنگ، اصل ایفای تعهد را تضمین می‌کنند. این سازوکار «اعتماد به نهاد مالی» را با «اعتماد

1. CBDC

2. Multi-signature Wallets

3. Smart Escrow Accounts

به منطق ریاضی» جایگزین می‌کند و این همان تغییری است که جوهره تحول پولی و قراردادی در عصر زنجیره‌بلوکی است.

رکن هفتم: قوه قاهره: در قراردادهای هوشمند، مفهوم «قوه قاهره»^۱ دگرگونی بنیادینی در مقایسه با الگوی سنتی می‌یابد، زیرا این مفهوم که در حقوق قراردادهای ناظر بر بروز حوادث غیرقابل پیش‌بینی و خارج از کنترل طرفین است باید در قالب منطق ماشینی و داده‌محور بازتعریف شود.

در قراردادهای سنتی، تحقق قوه قاهره مستلزم احراز سه شرط اساسی است: غیرقابل پیش‌بینی بودن، غیرقابل اجتناب بودن و غیرقابل انتساب بودن حادثه به طرف متعهد (UNCTAD, 2020) اما در قراردادهای هوشمند، تشخیص و اعلام وقوع چنین رخدادی نمی‌تواند بر مبنای تفسیر انسانی یا استدلال قضایی صورت گیرد بلکه باید از طریق سازوکاری فناورانه انجام شود که توانایی ثبت، تشخیص و تأیید خودکار وقایع بیرونی را دارد (Reijers et al., 2018).

در این چارچوب، قوه قاهره در منطق قرارداد به صورت یک «رویداد ماشینی» تعریف می‌شود که با تحقق شرایط داده‌ای خاص، ماژول فرس‌ماژور قرارداد را فعال می‌کند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016).

در قراردادهای صادرات گاز، وقوع زلزله یا اختلال در خطوط انتقال می‌تواند از طریق اوراکل‌های چندمنبعی و داده‌های حسگرهای زمین‌شناسی یا شبکه‌های بین‌المللی انرژی شناسایی شود. این داده‌ها، پس از تأیید در سطح اجماع شبکه، موجب فعال شدن حالت فرس‌ماژور در قرارداد شده و تعهدات مالی یا تحویلی طرفین را به‌طور موقت تعلیق می‌کند (Christidis & Devetsikiotis, 2016).

مزیت این روش آن است که تأخیر انسانی در اعلام قوه قاهره از میان می‌رود و شفافیت در ثبت زمان و منشأ حادثه افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، محدودیت مهم آن در این است که قوه قاهره در قرارداد هوشمند تنها در محدوده «آنچه کد می‌تواند تشخیص دهد» معنا پیدا می‌کند؛ یعنی هر حادثه‌ای که از منظر داده‌ای تعریف نشده باشد، حتی اگر

1. Force Majeure

در عالم واقع مصداق قوه قاهره باشد، ممکن است در منطق سیستم بی‌اثر باقی بماند (Werbach, 2018).

برای کاهش این شکاف میان واقعیت فیزیکی و منطق دیجیتال، برخی الگوهای پیشرفته قراردادهای هوشمند از مدل «اوراکل داور شده»^۱ بهره می‌گیرند. در این مدل، در صورت بروز رخداد غیرمنتظره، داده‌های اوراکل به‌وسیله مجموعه‌ای از عامل‌های هوشمند یا رأی‌گیری در سازمان خودگردان غیرمتمرکز تأیید می‌شوند تا تصمیم در خصوص تأخیر، تعلیق یا خاتمه قرارداد به‌صورت جمعی و شفاف اتخاذ گردد (Mik, 2017).

این سازوکار، جنبه عدالت رویه‌ای و اعتماد متقابل را در قرارداد حفظ می‌کند، بی‌آنکه منطق خوداجرا و خودکار قرارداد را نقض نماید. افزون بر آن، تمام فرایند ثبت، بررسی و تصمیم در خصوص قوه قاهره به‌صورت تغییرناپذیر در زنجیره‌بلوکی ذخیره می‌شود و مرجع زمانی دقیق در اختیار طرفین قرار می‌گیرد که این خود می‌تواند جایگزین بسیاری از دعاوی سنتی در باب اثبات وقوع حادثه گردد (Savelyev, 2019). در مجموع، در قراردادهای هوشمند، قوه قاهره از یک «استثناء حقوقی» به یک «وضعیت ماشینی داده‌محور» تبدیل می‌شود که با تحقق شروط داده‌ای از پیش تعیین‌شده، به‌طور خودکار اجرا شده و آثار قراردادی آن اعم از تعلیق، تمدید یا خاتمه را بدون دخالت انسان اعمال می‌کند.

تحلیل فقهی ارکان قراردادهای هوشمند صادرات گاز بر مبنای قواعد فقه معاملات

قواعد فقهی ناظر بر طرفین قرارداد: در فقه امامیه، اعتبار هر عقد وابسته به تحقق قصد و رضا، اهلیت طرفین و اختیار در انشاء عقد است. فقها از این شرایط با عنوان «شروط المتعاقدين» یاد کرده‌اند. این شروط اساساً تضمین‌کننده تحقق واقعی «تراضی» هستند که مبنای قرآنی آن در آیه شریفه «يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَأْكُلُوا أَمْوَالَكُمْ بَيْنَكُمْ بِالْبَاطِلِ إِلَّا أَنْ تَكُونَ تِجَارَةً عَنْ تَرَاضٍ مِنْكُمْ» (النساء: ۲۹) بیان شده است.

المیزان ذیل این آیه تصریح می‌کند که «تراضی» نه صرف رضایت قلبی، بلکه رضایی است که به‌صورت معتبر در قالب عقد ابراز می‌گردد و رکن تحقق مشروعیت معامله است (طباطبایی، ۱۳۷۴). در مکاسب با دقت فلسفی به رابطه میان قصد و تحقق اثر عقد پرداخته

شده است. به موجب این تحلیل آثار عقد تنها هنگامی تحقق می‌یابد که قصد انشاء از سوی طرفین موجود باشد. پس اگر لفظ یا فعل بدون قصد انشاء صادر شود، معامله باطل است (انصاری، ۱۲۸۱).

بر اساس همین اصل، فقها قصد انشاء را از ارکان ماهوی هر عقد دانسته‌اند. در ادامه تحریر الوسیله این معنا را بسط داده و تصریح دارد که در صحت عقد، بلوغ، عقل، قصد و اختیار شرط است و در صورت اکراه یا عدم اهلیت، عقد فاقد اثر است (امام خمینی، ۱۳۴۵). صاحب جواهر در شرح همین مسئله تأکید می‌کند که رضایت، هم شرط صحت و هم شرط لزوم عقد است و الزام بدون رضایت، مصداق ضرر شرعی است که به موجب قاعده لاضرر نفی می‌شود (نجفی، ۱۲۳۱).

بدین ترتیب، اصل رضایت و قصد انشاء نه تنها جنبه اثباتی دارد بلکه به لحاظ فقهی نیز ضروری به نظر می‌رسد. از سویی دیگر شهید ثانی، اکراه را موجب فساد عقد می‌داند (شهید ثانی، ۹۶۶). ایشان همچنین تأکید می‌کنند که در معاملات نیابتی نیز، قصد منوب‌عنه باید از طریق اذن یا وکالت معتبر تحقق یابد؛ در غیر این صورت، عقد به سبب فقدان قصد حقیقی، باطل خواهد بود؛ بنابراین در سطح قواعد کلی، فقهای اصولی قاعده «العقود تابعة للقصد» را از قواعد مسلم دانسته‌اند (حسینی عاملی، ۱۲۲۶) و از آن چنین استنباط کرده‌اند که صحت عقد وابسته به قصد انشاء است نه صرف اجرای صوری الفاظ. از این رو قاعده یادشده پایه‌ای است برای سنجش معاملات نوپدید که در آن شکل لفظی یا فیزیکی عقد دگرگون شده اما قصد طرفین در قالب جدیدی بروز می‌یابد.

در نتیجه، از دیدگاه فقه امامیه، سه رکن بنیادین در تحقق شخصیت قراردادی وجود دارد: (۱) قصد انشاء به عنوان عامل تحقق اثر حقوقی، (۲) رضایت و اختیار به عنوان شرط مشروعیت ترازی و (۳) اهلیت شرعی اعم از بلوغ، عقل و ولایت بر تصرف؛ بنابراین هر عقدی که فاقد یکی از این سه رکن باشد، باطل و یا غیرنافذ شمرده می‌شود.

با ظهور قراردادهای هوشمند، مفهوم «طرفین عقد» در فقه معاملات با پرسش‌هایی نو مواجه شده است؛ از جمله این که آیا می‌توان تحقق قصد و رضای طرفین را در محیطی که کنش‌ها به وسیله کد و الگوریتم اجرا می‌شوند، معتبر دانست و آیا تعامل میان «عامل‌های هوشمند» که به صورت خودکار عمل می‌کنند، مصداقی از ترازی در معنای فقهی آن به شمار

می‌آید؟ پاسخ به این پرسش مستلزم بازخوانی دقیق قواعد «قصد و رضا» و «اهلیت» در پرتو منطق الگوریتمی است.

در نظام فقهی امامیه، قصد انشاء به منزله جوهر عقد است و طبق قاعده «العقود تابعة للقصد»؛ اثر عقد تابع قصد واقعی متعاملین است نه صرف صدور صیغه یا عمل ظاهری (انصاری، ۱۲۸۱). از این منظر، چنانچه در قرارداد هوشمند، متعاملین پیش از استقرار کد، مفاد تعهد و نحوه اجرای خودکار آن را با علم و اراده آگاهانه بپذیرند، این رضایت و قصد، به صورت «تراضی مقدم» تحقق یافته و اجرای بعدی آن به وسیله سامانه در حکم استمرار همان قصد انشایی خواهد بود. این تحلیل با مبنای امام خمینی سازگار است که قصد و اختیار را شرط ابتدایی صحت عقد می‌داند، نه شرط دائمی حضور در تمام لحظات اجرا (امام خمینی، ۱۳۴۵)؛ بنابراین، تفویض اجرای تعهد به سیستم خودکار، به معنای زوال قصد نیست بلکه نوعی نیابت فنی از اراده انسانی تلقی می‌شود؛ اما از حیث «اهلیت»، پرسش اصلی آن است که آیا یک هویت دیجیتال یا کیف پول مبتنی بر زنجیره بلوکی می‌تواند نماینده شخص اهلیت‌دار تلقی شود که در این میان می‌توان گفت در فقه معاملات، اهلیت به معنای توانایی تصرف و قصد عقلایی است (نجفی، ۱۲۳۱).

با توجه به این تعریف، آنچه شرط است، وجود شخص حقیقی یا حقوقی مکلف در پس هویت دیجیتال است و نه شکل ابراز آن. از این رو، اگر مالک کیف پول یا حساب قرارداد، شخص بالغ، عاقل و مختار باشد، اجرای عقد از طریق ابزار دیجیتال به نیابت از او از نظر فقهی مانعی ندارد و در زمره وکالت یا تفویض محسوب می‌شود. همان گونه که شهید ثانی تأکید می‌کند، صحت عقد منوط به تحقق قصد منوب عنه از طریق اذن معتبر است (شهید ثانی، ۹۶۶).

در قرارداد هوشمند نیز همین اذن در قالب امضای دیجیتال و پذیرش پیشینی کد تحقق می‌یابد. البته چالش مهم در این میان، تحقق «رضا» است، زیرا مقوله رضا نه صرف رضایت ذهنی، بلکه باید به نحوی معتبر و آشکار ابراز شود (طباطبایی، ۱۳۷۴). در محیط زنجیره بلوکی، این ابراز از طریق امضای دیجیتال و ثبت غیرقابل تغییر در دفترکل انجام می‌شود؛ بنابراین، رضایت در قالبی داده‌محور و قابل اثبات عینی تحقق می‌یابد. این امر حتی می‌تواند به تقویت

اصل «تِجَارَةٌ عَنْ تَرَاضٍ» بینجامد؛ زیرا قرارداد به صورت رمزنگاری شده و بدون امکان جعل یا اکراه منعقد می شود.

افزون بر این، الگوریتم های چندامضایی، امکان احراز تراضی دو یا چند طرف را به صورت قطعی فراهم می آورند، به نحوی که هیچ یک از طرفین نمی تواند بدون امضای دیگری موجب نفوذ قرارداد شود. درعین حال، یک نگرانی فقهی باقی می ماند و آن، مسئله اراده پسینی است؛ زیرا پس از استقرار قرارداد هوشمند، اجرای آن خارج از اراده جاری طرفین انجام می شود. از دیدگاه سنتی، این می تواند شائبه فقدان قصد فعلی را پدید آورد اما اگر قصد ابتدایی طرفین شامل رضایت به اجرای خودکار و غیرقابل برگشت باشد، اثر عقد همچنان معتبر خواهد بود. فقهای امامیه در مباحث وکالت و نیابت، چنین تفویضی را در صورت تراضی پیشینی جایز دانسته اند به شرط آنکه موجب غرر یا ضرر نگردد (حسینی عاملی، ۱۳۹۶ق)؛ بنابراین، می توان گفت قرارداد هوشمند از حیث قصد و رضا، با فقه معاملات قابل جمع است، مشروط بر آن که طراحی فنی آن به نحوی باشد که قصد تراضی در مرحله آغاز به طور روشن، مستند و قابل اثبات ابراز شود.

در همین خصوص می توان گفت اراده طرفین در قرارداد هوشمند از قالب سنتی لفظ و فعل به قالب داده و امضای دیجیتال منتقل می شود ولی مادامی که این اراده با آگاهی و اختیار ابراز گردد، آثار فقهی عقد بر آن مترتب است. از این رو، فقه امامیه ظرفیت آن را دارد که قصد و تراضی را در بستر دیجیتال تفسیر موسّع کند بی آنکه اصول صحت عقد مخدوش شود.

قواعد فقهی ناظر بر موضوع قرارداد: موضوع قرارداد یا مورد معامله از ارکان اساسی در صحت عقود به شمار می رود. فقهای امامیه بر این باورند که هرگونه معامله، اعم از بیع، اجاره، صلح و غیر آن، باید بر چیزی واقع شود که مالیت، قابلیت تسلیم و علم به عوضین در آن محقق باشد (شهید ثانی، ۹۶۶).

در فقه شیعه، قواعد متعددی بر صحت موضوع عقد نظارت دارند. قاعده نفی غرر یکی از پایه های اصلی در فقه معاملات است. مقصود از غرر در اصطلاح فقهی، معامله ای است که در آن جهل یا خطر قابل توجه نسبت به مورد معامله وجود داشته باشد. بر این اساس، علم دقیق به موضوع معامله و عوض آن شرط صحت عقد است؛ بنابراین، در عقدی مانند قرارداد صادرات گاز، باید کمیت، کیفیت، و مشخصات فنی گاز از قبیل درجه حرارت، ترکیب

مولکولی، فشار و خلوص به نحو قابل اندازه‌گیری تعیین شود. در فقه امامیه، موضوع عقد باید دارای مالیت عرفی و منفعت حلال عقلایی باشد (انصاری، ۱۲۸۱)؛ بنابراین، گازی که به‌عنوان موضوع عقد مطرح می‌شود، از آن‌جهت که دارای ارزش اقتصادی و قابلیت انتفاع مشروع است، مشمول این قاعده است؛ مگر آنکه مورد معامله، استفاده‌ای حرام یا غیراخلاقی داشته باشد. همچنین موضوع عقد باید قابل تسلیم و تسلّم باشد؛ زیرا عدم قدرت بر تسلیم موجب بطلان عقد است (نجفی، ۱۲۳۱).

در معاملات گاز، این شرط از طریق وجود خطوط انتقال و ایستگاه‌های تحویل یا پایانه‌های LNG محقق می‌گردد. در قراردادهای هوشمند، تحقق قدرت بر تسلیم باید در سطح دیجیتال و فیزیکی هر دو تضمین شود. در بسیاری از قراردادهای بین‌المللی گاز، کیفیت یا ترکیب گاز به‌صورت شرط ضمن عقد در ضمائیم قراردادی تعیین می‌شود. در این میان باید توجه داشت که هرگونه شرطی که منافاتی با مقتضای عقد نداشته باشد، لازم‌الوفاست (امام خمینی، ۱۳۴۵).

در بسیاری از قراردادهای بین‌المللی گاز، کیفیت یا ترکیب گاز به‌صورت شرط ضمن عقد در ضمائیم قراردادی تعیین می‌شود. این ضمائیم معمولاً مبتنی بر الگوهای استاندارد قراردادی نظیر Gas Sale Agreement (GSA) یا LNG Sale and Purchase Agreement (SPA) هستند که توسط نهادهایی مانند ICC یا UNIDROIT تدوین شده‌اند. در قراردادهای هوشمند صادرات گاز، موضوع عقد به‌صورت دیجیتالی در قالب داده‌های کمی و کیفی ثبت و اجرا می‌شود. تحلیل فقهی این فرایند مستلزم بازخوانی قواعد فوق در بستر فناوری زنجیره‌بلوکی و اینترنت اشیا است. در قراردادهای هوشمند صادرات گاز، موضوع عقد به‌صورت دیجیتالی در قالب داده‌های کمی و کیفی ثبت و اجرا می‌شود. تحلیل فقهی این فرایند مستلزم بازخوانی قواعد فوق در بستر فناوری زنجیره‌بلوکی و اینترنت اشیا است.

یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای فناوری در زمینه فقه معاملات، امکان رفع غرر از طریق اوراکل‌های داده‌ای است. اوراکل به‌صورت خودکار داده‌های مربوط به حجم گاز، فشار، دما و کیفیت را از تجهیزات اندازه‌گیری فراخوانی کرده و در زنجیره‌بلوکی ثبت می‌کند. بدین ترتیب، علم به موضوع عقد به‌صورت کامل حاصل می‌شود و علم به عوضین به نحو

بی سابقه‌ای تأمین می‌گردد. از دید فقهی، این فرایند مصداق بیع معلوم است که جهل و خطر در آن مرتفع شده است.

در فقه سنتی، تسلیم و قبض شرط صحت و لزوم عقد است و در قرارداد هوشمند، تسلیم دیجیتال معادل ایفای التزام قراردادی تلقی می‌شود. این عبارت بدان معناست که با ثبت داده‌های تأییدشده از سوی حسگرهای فیزیکی، انتقال مالکیت به‌طور خودکار در زنجیره‌بلوکی محقق می‌شود. از منظر فقهی، این امر مشروط به آن است که قبض و تسلیم به‌صورت اعتباری و متعارف عرفی تحقق یابد (نجفی، ۱۳۳۱). در نتیجه، اگر عرف فنی و تجاری، ثبت داده در زنجیره‌بلوکی را معادل تحویل تلقی کند، تسلیم تحقق یافته و عقد صحیح است. در فقه معاملات همچنین، شروط ضمن عقد از ارکان تعیین‌کننده در صحت و لزوم‌اند.

در قرارداد هوشمند، این شروط به‌صورت کدهای شرطی تعریف می‌شوند. برای مثال، شرط «در صورت کاهش درصد متان زیر ۸۵٪ پرداخت متوقف شود» در قالب کد برنامه‌نویسی قابل پیاده‌سازی است. از دیدگاه فقهی، این نوع شرط، مشروط بر عدم مخالفت با مقتضای عقد، نافذ است (امام خمینی، ۱۳۴۵). در فقه سنتی، تخلف از شرط، موجب خیار تخلف شرط یا الزام به وفا می‌شود اما در قرارداد هوشمند، نقض شرط عملاً ممکن نیست، زیرا سازوکار اجرای شرط در سطح نرم‌افزاری تضمین شده است. این وضعیت را می‌توان مصداقی از تحقق وفای خودکار به شرط دانست که از نظر فقهی، قاعده «المؤمنون عند شروطهم» را به‌صورت سیستمی و بدون نیاز به داوری انسانی محقق می‌کند.

قواعد فقهی ناظر بر قیمت و فرمول محاسبه: قیمت و فرمول محاسبه آن در فقه معاملات از مهم‌ترین عناصر قرارداد است، زیرا ثمن و مثن باید هر دو معلوم و معین باشند تا غرر منتفی گردد. فقها تصریح کرده‌اند که جهل به ثمن موجب بطلان عقد است زیرا از مصادیق بیع غرری به شمار می‌آید (انصاری، ۱۲۸۱).

از سوی دیگر می‌توان گفت که اگرچه باید قیمت معلوم باشد، اما می‌توان آن را به شاخص یا معیار عرفی وابسته کرد، مشروط بر اینکه این معیار به‌گونه‌ای تعریف شود که ابهام رفع گردد (امام خمینی، ۱۳۴۵).

در قراردادهای صادرات گاز، معمولاً ثمن به فرمولی وابسته است که شامل قیمت نفت برنت، شاخص تورم، نرخ تبدیل ارز یا هزینه حمل می‌شود. از منظر فقهی، این نوع تعیین ثمن در صورتی که متغیرهای فرمول به صورت شفاف و قابل احراز باشند، مصداق تعیین قیمت معلوم است و اشکال غرر ندارد. در مقابل، اگر فرمول حاوی پارامترهایی باشد که در زمان عقد قابلیت احراز نداشته باشند، موجب بطلان عقد است مگر اینکه عرفاً قابل تعیین تلقی شود.

در قرارداد هوشمند، استفاده از اوراکل‌های داده‌ای که قیمت شاخص‌های جهانی را به صورت خودکار وارد زنجیره بلوکی می‌کنند، امکان رفع این اشکال را فراهم می‌کند. بدین ترتیب، علم به عوضین از طریق فناوری تحقق می‌یابد زیرا طرفین علم فعلی به فرمول دارند و علم حکمی به نتیجه از طریق سامانه تضمین می‌شود. افزون بر این، قاعده لاضرر نیز اقتضا دارد که تغییرات شدید قیمت بدون پیش‌بینی سازوکار تعدیل موجب ضرر فاحش نباشد، لذا شرط تعدیل خودکار قیمت در قراردادهای هوشمند، در چارچوب قاعده «المؤمنون عند شروطهم» معتبر و لازم‌الوفاست. از منظر تطبیقی، قرارداد هوشمند صادرات گاز از طریق الگوریتم‌های خوداجرا می‌تواند محاسبه قیمت را به صورت شفاف، مستند و غیرقابل تحریف انجام دهد و بدین ترتیب، قواعد فقهی مربوط به علم، رفع غرر و وفای به شرط را هم‌زمان تأمین نماید. در نتیجه، ثمن در این ساختار نه تنها معلوم است بلکه به دلیل اتکای مستقیم به داده‌های قابل راستی‌آزمایی، از جهت فقهی اقوی از نظام سستی تلقی می‌شود و قرارداد در این بخش منطبق با اصول فقه امامیه است.

قواعد فقهی ناظر بر مدت قرارداد و تمدید: مدت قرارداد و امکان تمدید آن در فقه معاملات در چارچوب قواعد «لزوم عقد»، «خيارات»، و «الشرط فی ضمن العقد» مورد بررسی قرار می‌گیرد. فقهای امامیه تصریح کرده‌اند که در عقود مستمر مانند اجاره و نیز در عقود معاوضی که انتفاع در طول زمان تحقق می‌یابد، تعیین مدت، شرط صحت است؛ زیرا جهل به مدت، موجب غرر و در نتیجه بطلان عقد می‌شود (شهید ثانی، ۹۶۶). در قرارداد صادرات گاز که معمولاً بلندمدت است، تعیین دقیق مدت و سازوکار تمدید از ارکان رفع غرر به شمار می‌رود. اگر تمدید قرارداد منوط به توافق جدید باشد، عقد نخست با پایان مدت منقضی می‌شود اما اگر شرط تمدید ضمن عقد اولیه گنجانده شده باشد، تمدید خودکار در چارچوب

قاعده «المؤمنون عند شروطهم» صحیح و لازم‌الوفاست مشروط بر آن‌که شرط مذکور با مقتضای عقد منافات نداشته باشد (امام خمینی، ۱۳۴۵).

در قراردادهای هوشمند، مدت و تمدید به‌صورت الگوریتمی و بر مبنای زمان‌بندی خودکار در کد قرارداد تعریف می‌شود، به‌گونه‌ای که با فرارسیدن زمان انقضا یا اجرای شرط تمدید فعال می‌گردد یا فرایند تسویه نهایی انجام می‌شود. از دید فقهی، این وضعیت معادل تحقق شرط ضمن عقد است که آثار آن به‌صورت خودکار اجرا می‌شود و نه شرط مجهول یا غیرقابل کنترل. درعین حال، باید توجه داشت که اگر شرط تمدید به داده‌هایی وابسته باشد که در زمان عقد قابلیت احراز ندارند، مانند تصمیم نهادی ثالث بدون ضابطه، این امر موجب نوعی غرر احتمالی می‌شود و باید در قرارداد هوشمند از طریق تعیین معیار روشن برای فعال‌سازی شرط برطرف گردد. درمجموع، در قرارداد هوشمند صادرات گاز، تعیین مدت و تمدید خودکار در صورت تعریف شفاف و ثبت زمان در زنجیره، از نظر فقه امامیه صحیح و منطبق با قواعد نفی غرر، لزوم علم به شروط و وفای به شرط است و در مقایسه با قراردادهای سنتی حتی دقت بیشتری در تحقق این قواعد دارد.

قواعد فقهی ناظر بر روش پرداخت و ارز تسویه: روش پرداخت و تسویه در فقه معاملات جایگاهی بنیادین دارد، زیرا صحت عقد و برائت ذمه طرفین در گرو تحقق ادای ثمن است. فقها بر لزوم تعیین روش و زمان پرداخت تأکید کرده‌اند تا از وقوع غرر و اختلافات قراردادی جلوگیری شود.

می‌توان گفت پرداخت باید یا نقدی و آنی باشد یا اگر مدت‌دار است، زمان و مکان پرداخت مشخص گردد. تسویه می‌تواند نقدی، نسبی یا اقساطی باشد، مشروط بر آن‌که شرط پرداخت به نحو معلوم و قابل ایفای عرفی تنظیم شود و هیچ‌گونه جهالت در میزان، زمان یا ابزار پرداخت وجود نداشته باشد. در قراردادهای صادرات گاز، معمولاً پرداخت‌ها به‌صورت دوره‌ای و بر پایه صورت‌حساب‌های حجمی انجام می‌گیرد. اگر در ضمن عقد مقرر شود که پرداخت به ارزی خاص یا با نرخ روز شاخصی مانند دلار یا یورو انجام شود، این شرط طبق قاعده «المؤمنون عند شروطهم» نافذ است، به شرط آن‌که موجب ربا یا شرط فاسد نگردد.

در قرارداد هوشمند، پرداخت از طریق شبکه‌های زنجیره‌بلوکی و کیف پول‌های دیجیتال به صورت خودکار اجرا می‌شود و این سازوکار از نظر فقهی معادل قبض عرفی ثمن است زیرا معیار قبض، تحقق انتقال مالکیت در عرف است نه لزوماً تبادل فیزیکی پول. اوراکل‌های بانکی یا ارزی که وظیفه احراز پرداخت را دارند، نقش امین یا وکیل عرفی را ایفا می‌کنند و تحقق پرداخت را به قرارداد اعلام می‌نمایند. همچنین می‌توان شروطی مانند «تسویه تنها در صورت تأیید حجم تحویل شده» یا «توقف پرداخت در صورت اختلاف داده‌ها» را در قالب کدهای خوداجرا گنجانند که دقیقاً در چارچوب قاعده وفای به شرط عمل می‌کند.

از سوی دیگر، قاعده «لاضرر» ایجاب می‌کند که تغییرات ناگهانی نرخ ارز یا بروز موانع پرداخت موجب ضرر فاحش نشود، بنابراین شرط تعدیل خودکار ثمن یا استفاده از رمزارزهای باثبات در این بستر، می‌تواند سازوکار شرعی مشروعی برای حفظ عدالت قراردادی باشد. بدین ترتیب، در قرارداد هوشمند صادرات گاز، تسویه خودکار و مبتنی بر داده، با رعایت شروط شرعی، نه تنها غرر و تأخیر را از میان می‌برد بلکه با روح قواعد فقهی امامیه در باب لزوم علم، قدرت بر تسلیم و وفای به شرط کاملاً سازگار است و حتی امکان تحقق عادلانه‌تر و دقیق‌تر این قواعد را نسبت به سازوکارهای سنتی فراهم می‌سازد.

قواعد فقهی ناظر بر قوه قاهره و حل و فصل اختلافات: در فقه معاملات، قاعده قوه قاهره یا حوادث خارج از اراده طرفین ذیل قواعدی همچون «الاضطرار»، «الاضرر» و «تلف قبل القبض» بررسی می‌شود. فقها در این زمینه تصریح کرده‌اند که اگر اجرای تعهد به سبب حادثه‌ای غیرقابل پیش‌بینی و خارج از اختیار متعهد ناممکن گردد، تکلیف به وفا ساقط است (انصاری، ۱۲۸۱).

در قراردادهای صادرات گاز، وقایعی مانند زلزله، جنگ، تحریم یا قطع شبکه انتقال می‌تواند مصداق قوه قاهره باشد. در فقه، چنین موانعی نه موجب بطلان عقد، بلکه موجب توقف موقت آثار آن تا رفع مانع می‌شود مگر آنکه استمرار مانع، اجرای عقد را به کلی منتفی کند که در آن صورت، عقد منفسخ تلقی می‌شود. در قرارداد هوشمند، مفهوم قوه قاهره باید به صورت دقیق در قالب داده و الگوریتم تعریف شود به گونه‌ای که اوراکل‌های خاصی وقوع رویدادهای اضطراری مانند قطعی خط لوله یا تحریم بانکی را به شبکه اعلام

کنند و قرارداد بر اساس منطق ازپیش تعریف شده، اجرای تعهدات را متوقف یا منفسخ نماید. در خصوص مشروعیت داوری الگوریتمی، این سازوکار در چارچوب نهاد فقهی «تحکیم» و با رعایت شروط مندرج در کتب فقهی نظیر «جواهر الکلام» و پژوهش‌های معاصر در باب «داوری در فقه امامیه» تحلیل می‌شود.

بر اساس مبانی فقهی باب قضا و تحکیم (محقق داماد، ۱۳۸۲؛ Al-Sanhouri, 1998)، شرط صحت داوری، رضایت طرفین به انتخاب «حکم» و همچنین احراز عدالت و تخصص داور است. در مدل پیشنهادی، کد قرارداد هوشمند و اوراکل‌های تأییدکننده داده، در مقام «حکم مرضی‌الطرفین» عمل می‌کنند که با رعایت شروط عدالت در طراحی کد شفاف و بدون دست‌کاری و تخصص در حس‌گرها و الگوریتم‌های سنجش، مجاز به فصل خصومت هستند. همچنین از منظر حقوق داوری تجاری بین‌المللی، این سازوکار با اصول حاکم بر داوری نهادی در چارچوب اسناد ICC و UNCITRAL قابل تطبیق است (کاتوزیان، ۱۳۹۰؛ De Filippi & Wright, 2018). این تمایزگذاری تضمین می‌کند که مدل مفهومی پژوهش، علاوه بر کارایی فنی، از استحکام مبانی فقه القضاء و التحکیم نیز بهره‌مند باشد. بدین ترتیب، توقف خودکار قرارداد در صورت وقوع حادثه قهری، از تحمیل زیان غیرموجه به یکی از طرفین جلوگیری می‌کند و قاعده «المؤمنون عند شروطهم» را در سطحی الگوریتمی و منسجم اجرا می‌گردد. از منظر فقهی، این سازوکار معادل شرط ضمن عقد برای تعلیق التزام در زمان عذر است و منطبق با قاعده «المؤمنون عند شروطهم» و اصل «رفع ما استکرها علیه» است. به بیان دیگر، فناوری زنجیره‌بلوکی می‌تواند ضمانت اجرای عادلانه قاعده «لاضرر» را در این بخش فراهم کند، زیرا توقف خودکار قرارداد در صورت وقوع حادثه قهری، از تحمیل زیان غیرموجه به یکی از طرفین جلوگیری می‌کند. همچنین قاعده «تلف قبل القبض» در مواردی که گاز در مسیر انتقال پیش از تحویل از بین برود، اقتضا دارد که تلف بر عهده مالک باقی بماند و قرارداد هوشمند می‌تواند از طریق ثبت زمان دقیق تلف و وضعیت تحویل، تشخیص مالک در لحظه حادثه را به صورت غیرقابل تحریف تعیین کند؛ بنابراین، قوه قاهره در بستر قرارداد هوشمند صادرات گاز از حیث فقه امامیه کاملاً قابل پیاده‌سازی است و حتی نسبت به نظام سنتی از دقت و عدالت بیشتری برخوردار است زیرا احراز وقوع مانع، زمان

تحقق و آثار آن به صورت عینی، خودکار و مستند انجام می شود و تمامی قواعد فقهی حاکم بر عذر، اضطرار و لاضرر در سطحی الگوریتمی و منسجم اجرا می گردد.

یافته های پژوهش: سناریوهای اختلاف و مدل اجرایی

برای عبور از تحلیل های توصیفی و ارائه یافته های قابل ارزیابی، پژوهش حاضر یک معماری مرجع برای قرارداد هوشمند صادرات گاز طراحی کرده است. این معماری شامل سه ماژول اصلی است: ۱) ماژول اوراکل چندمنبعی برای دریافت داده های حجم، کیفیت و قیمت، ۲) حساب امانی هوشمند برای قفل کردن وجوه تا زمان تحویل و ۳) ماژول حل اختلاف برای مدیریت خطاها و اعمال اختیارات فقهی. بر اساس این معماری، سه سناریوی اختلاف از که بیشترین چالش فقهی را ایجاد می کنند، شناسایی و مدل سازی شدند:

۱. سناریوی اختلاف در کیفیت (خیار عیب/تخلف شرط): در این حالت، داده های حسگر کیفیت گاز را پایین تر از استاندارد نشان می دهند. سؤال اصلی این است که آیا خریدار حق فسخ دارد و چگونه اعمال می شود؟

۲. سناریوی عدم تحویل (تخلف و ضمان): در صورتی که گاز تحویل نشود اما اوراکل خطا داده باشد، ضمان بر عهده کیست و خسارت تأخیر چگونه محاسبه می شود؟
۳. سناریوی خطای اوراکل (ضمان اتلاف/تسبیب): اگر اوراکل داده اشتباه ارسال کند و وجه به خطا آزاد شود، مسئولیت جبران بر عهده توسعه دهنده کد، ارائه دهنده اوراکل یا طرفین قرارداد است؟

در ادامه، حکم فقهی و سازوکار فنی اعمال شده برای هر سناریو در این مدل اجرایی تبیین می گردد تا انطباق عملی قواعد فقهی با فناوری سنجیده شود.

برای سنجش عینی ادعای کارایی مدل طراحی شده، چهار معیار کلیدی شامل «میزان عدم تقارن اطلاعاتی»، «احتمال وقوع اختلاف»، «قابلیت اثبات تحویل» و «هزینه های اجرای تعهد» مورد مقایسه قرار گرفت. جدول زیر نتایج این ارزیابی تطبیقی را میان نظام سنتی مبتنی بر اسناد کاغذی و داوری انسانی و نظام پیشنهادی مبتنی بر قرارداد هوشمند و اوراکل نشان می دهد.

جدول ۳. ارزیابی تطبیقی میان نظام سستی و هوشمند

معیار ارزیابی	نظام سستی اسناد کاغذی/داوری انسانی	نظام پیشنهادی قرارداد هوشمند/ اوراکل	نحوه تغییر
عدم تقارن اطلاعاتی	بالا: دسترسی متفاوت به داده‌های تحویل و قیمت	پایین: دسترسی بلادرنگ و مشترک به داده‌های اوراکل	کاهش چشمگیر
احتمال اختلاف	متوسط تا بالا: تفسیرپذیری بندهای قرارداد	پایین: قطعیت منطق کد و حذف ابهام تفسیری	کاهش قابل توجه
قابلیت اثبات تحویل	وابسته به اسناد قابل جعل و تأییدیه‌های دستی	مبتنی بر ثبت تغییرناپذیر حسگرها در زنجیره‌بلوکی	افزایش امنیت و اعتبار
هزینه و زمان اجرا	زمان‌بر: نیاز به تطبیق اسناد و حواله‌های بانکی	آنی: تسویه خودکار پس از تأیید اوراکل	افزایش سرعت و کاهش هزینه

منبع: یافته‌های پژوهش

بر اساس این جدول، ادعای برتری مدل پیشنهادی نه صرفاً یک گزاره کیفی، بلکه مبتنی بر شاخص‌های قابل سنجش است. برای نمونه، در معیار «قابلیت اثبات»، ثبت داده‌های تحویل در زنجیره‌بلوکی با ویژگی تغییرناپذیری، ریسک انکار تحویل را به صفر نزدیک می‌کند که در نظام سستی همواره وجود دارد. همچنین در معیار «عدم تقارن اطلاعاتی»، استفاده از اوراکل‌های چندمنبعی باعث می‌شود هیچ‌یک از طرفین دسترسی انحصاری به داده‌های قیمت یا کیفیت نداشته باشند. بدین ترتیب، یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه چالش‌های فنی جدیدی نظیر امنیت اوراکل مطرح است اما در مجموع کارایی قراردادی در ابعاد فوق‌الذکر نسبت به سازوکارهای متعارف ارتقاء یافته است.

یکی از چالش‌های بنیادین در تطبیق قراردادهای هوشمند با فقه معاملات، تعارض ظاهری میان ویژگی «تغییرناپذیری» در زنجیره‌بلوکی و امکان «فسخ یا اقاله» در عقود اسلامی است. در فقه امامیه، ثبوت خيارات نظیر خيار عيب، تخلف شرط یا غبن به خریدار حق می‌دهد که عقد را منفسخ نماید، درحالی‌که کد قرارداد هوشمند به‌صورت ذاتی پس از اجرا غیرقابل بازگشت است. برای رفع این تعارض، پژوهش حاضر مدل «تعليق هوشمند با مازول داوری» را پیشنهاد می‌دهد. در این مدل، تغییرناپذیری به معنای عدم امکان دست‌کاری یک‌جانبه است، نه عدم امکان اصلاح توافقی یا قضایی. بدین منظور یک کلید دسترسی چندامضایی^۱ متعلق به نهاد داوری مورد توافق طرفین در کد تعبیه می‌شود که در صورت احراز شرایط فقهی فسخ، امکان توقف اجرا یا بازگرداندن وجوه را فراهم می‌کند. برای عینی‌سازی این سازوکار، سه سناریوی اصلی اختلاف که در آنها اعمال خيارات فقهی ضروری است، طراحی و راهکار فنی متناظر با هرکدام تبیین گردید. جدول زیر نحوه پاسخ‌دهی به این سناریوها را نشان می‌دهد.

جدول ۴. سناریوهای اختلاف و راهکار مبتنی بر قرارداد هوشمند

سناریوی اختلاف	حکم فقهی	سازوکار فنی در قرارداد هوشمند
اختلاف در کیفیت (خیار عیب)	ثبوت خیار عیب برای خریدار؛ حق فسخ یا اخذ ارزش	تعلیق خودکار به شرح: (۱) حسگرها کیفیت پایین را ثبت می کنند، (۲) مازول پرداخت قفل می شود، (۳) ارجاع به اوراکل داوری و (۴) در صورت تأیید عیب، امکان فسخ (بازگشت وجه) یا کسر ارزش (تعدیل قیمت) فعال می شود.
عدم تحویل (خیار تأخیر/شرط)	حق فسخ به دلیل تخلف از شرط زمان یا عدم تسلیم	تایمر انقضا به شرح: (۱) اگر تا زمان بلوک مشخص تحویل ثبت نشود، (۲) وضعیت قرارداد به «نقض تعهد» تغییر می کند و (۳) وجه از حساب امانی به خریدار عودت داده می شود (فسخ خودکار).
خطای اوراکل (غرر/ضمان)	بطلان معامله در صورت جهل فاحش یا ضمان اوراکل خطاکار	اجماع چندمنبعی به شرح: (۱) داده ها از سه اوراکل مستقل گرفته می شود، (۲) اگر یک اوراکل انحراف داشت، (۳) داده آن حذف و (۴) جریمه از وثیقه اوراکل کسر و به طرف زیان دیده پرداخت می شود.

منبع: یافته های پژوهش

بدین ترتیب، مدل پیشنهادی نشان می دهد که اگرچه کد قرارداد تغییرناپذیر است اما «منطق حاکم بر کد» می تواند شرایط اعمال اختیارات فقهی را پیش بینی و تعبیه کند. در این معماری، فسخ به معنای پاک کردن کد نیست، بلکه به معنای اجرای یک تابع جبرانی^۱ است که اثر اقتصادی فسخ را بدون نقض اصل تغییرناپذیری زنجیره بلوکی محقق می سازد. این یافته کلیدی نشان می دهد که محدودیت های فنی قراردادهای هوشمند، مانع اجرای احکام فقهی نیست، بلکه نیازمند طراحی دقیق تر لایه های حاکمیتی و داوری درون قراردادی است.

1. Compensation Function

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بررسی فقهی قراردادهای هوشمند صادرات گاز بر مبنای قواعد فقه معاملات نشان می‌دهد که اصول بنیادین فقه امامیه، نه تنها مانعی در برابر به‌کارگیری فناوری‌های نوین در عرصه قراردادهای تجاری نیستند، بلکه با تفسیر دقیق و عقلایی، به‌صورت کامل با آن قابل انطباق‌اند. تحلیل ارکان مختلف عقد، از جمله طرفین، موضوع، ثمن، نحوه تحویل، مدت، پرداخت و قوه قاهره، نشان داد که قواعدی همچون «العلم بالعوضین»، «نفی غرر»، «المالیه والقدرة علی التسليم»، «المؤمنون عند شروطهم» و «لاضرر» به‌طور طبیعی در بستر فناوری زنجیره‌بلوکی و قراردادهای خوداجرا تحقق می‌یابند.

ابزارهایی مانند اوراکل‌های داده، امضای دیجیتال، کیف‌پول‌های رمزنگاری شده و کدهای شرطی موجب می‌شوند که علم، قبض، تسلیم و وفای به شرط به‌صورت شفاف، خودکار و قابل احراز انجام گیرد. در این چارچوب، «علم بالعوضین» با داده‌های دقیق حسگرها تأمین می‌شود، قاعده «القدرة علی التسليم» از طریق کنترل هوشمند جریان گاز و ثبت آن در زنجیره محقق می‌گردد و وفای به شروط ضمن عقد در قالب الگوریتم‌های غیرقابل نقض تحقق می‌یابد. حتی قواعد استثنایی مانند «قوه قاهره» و «تلف قبل القبض» نیز با تعریف دقیق شاخص‌های داده‌ای و توقف خودکار اجرا در زمان وقوع حادثه، به‌صورت عادلانه پیاده‌سازی می‌شوند.

در نتیجه، قرارداد هوشمند صادرات گاز در صورت طراحی دقیق حقوقی و فقهی نه مصداق عقد مجهول یا غرری است و نه خروج از موازین شرع، بلکه الگویی نو از فقه تطبیقی دیجیتال به شمار می‌آید که اصول جاودان فقه معاملات را در قالبی فناورانه و شفاف بازآفرینی می‌کند. به بیان دیگر، فناوری زنجیره‌بلوکی در این زمینه نقش امین فنی را ایفا کرده و امکان تحقق عملی مقاصد شریعت را از جمله شفافیت، عدالت و وفای به عهد فراهم می‌سازد.

بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که از منظر فقه امامیه، قرارداد هوشمند صادرات گاز نه تنها مشروع و صحیح است، بلکه نسبت به سازوکارهای سنتی از توان بالاتری برای اجرای دقیق، جلوگیری از نزاع و صیانت از حقوق متعاملین برخوردار است و در صورت تصویب ضوابط فقهی و حقوقی لازم، می‌تواند به‌عنوان الگوی بومی اسلامی در حکمرانی انرژی دیجیتال مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

کتابنامه

- انصاری، مرتضی (۱۲۸۱ ق). *المکاسب*. قم: مکتبه الإمام أميرالمؤمنین (ع).
- حسینی عاملی، محمدجواد (۱۲۲۶ ق). *کتاب القواعد الفقهیه*. ج ۱. قم: دار الکتب الإسلامیه.
- خمینی، روح الله (۱۳۴۵ ش). *تحریر الوسیله*. قم: مؤسسه تنظیم و نشر آثار امام خمینی.
- شکرانی، مهدی (۱۳۹۶ ش). «شرایط تشکیل قرارداد از طریق سامانه‌های هوشمند در حقوق ایران» (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). گروه حقوق، دانشکده حقوق و علوم اجتماعی.
- شهید ثانی، زین الدین بن علی (۹۶۶ ق). *الروضة البهیة فی شرح اللمعة الدمشقیة*. ج ۳. قم: دار الهجرة.
- شهیدی، مهدی (۱۳۸۸ ش). *تشکیل قراردادها و تعهدات*. چاپ یازدهم. تهران: انتشارات مجد.
- صفایی، حسین (۱۳۸۹ ش). *حقوق مدنی: اشخاص و محجورین*. تهران: انتشارات سمت.
- طباطبایی، سید محمدحسین (۱۳۷۴ ش). *المیزان فی تفسیر القرآن*. ج. قم: جامعه مدرسین.
- کاتوزیان، ناصر (۱۳۹۰ ش). *داوری تجاری بین‌المللی*. تهران: انتشارات گنج دانش.
- کاویار، حسین، و مافی، همایون. (۱۳۹۲). *بررسی تطبیقی قانون حاکم بر قراردادهای الکترونیکی منعقد در محیط اینترنت از منظر نظام‌های حقوقی آمریکا، اتحادیه اروپا و ایران*. مطالعات حقوق تطبیقی، ۱۵۵-۱۷۵.
- محقق داماد، سید مصطفی (۱۳۸۲ ش). *قواعد فقه: بخش مدنی ۴ (موارد مسئولیت)*. قم: مرکز نشر علوم اسلامی.
- مقامی‌نیا، محمد (۱۳۹۱ ش). «نحوه انعقاد قراردادهای الکترونیکی و ویژگی‌های آن». *دانش حقوق مدنی*، ۱(۱)، ۸۵-۹۸.
- مظفر، محمدرضا (۱۳۸۳ ق). *أصول الفقه*. قم: دار الکتب الإسلامیه.
- ناصر، مهدی و صادقی، حسین (۱۳۹۷ ش). «اعتبارسنجی و چالش‌های حقوقی به‌کارگیری قراردادهای هوشمند با مطالعه تطبیقی نظام حقوقی ایران و آمریکا». *پژوهش حقوق خصوصی*، ۷(۲۷)، ۲۵۵-۲۸۸.
- نجفی، محمدحسن (۱۲۳۱ ق). *جواهر الکلام فی شرح شرائع الإسلام*. بیروت: دار إحياء التراث العربی.

- AGA. (1990). AGA Report No. 3: Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids. American Gas Association.
- Al-Sanhouri, A. (1998). *Sources of Rights in Islamic Jurisprudence*. Vol. 4: Arbitration. Islamic Fiqh Academy.
- Alexander, S. (2017). Contract law 2.0: 'Smart' contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information & Communications Technology Law*, 26(2), 116–134. <https://doi.org/10.1080/13600834.2017.1301036>
- Alharby, M., & van Moorsel, A. (2017). "Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study". In Proceedings of the International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain (ICCBB 2017) (pp. 1–6).
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). "Bitcoin: Economics, technology, and governance". *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238.
- Cannarsa M., DiMatteo LA, Poncibò C., eds. The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence. In: *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence: Global Perspectives on Law and Ethics*. Cambridge Law Handbooks. Cambridge University Press; 2022: i-ii.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*, 4, 2292–2303.
- Clack, C. D., Bakshi, V. A., & Braine, L. (2016). Smart contract templates: Foundations, design landscape and research directions. arXiv preprint arXiv:1608.00771.
- De Filippi, P., & Wright, A. (2018). *Blockchain and the Law: The Rule of Code*. Harvard University Press.
- Drummer, D., and Neumann, D. (2020). Is code law? Current legal and technical adoption issues and remedies for blockchain-enabled smart contracts. *J Inform Technol*. 35(4):337–360. <https://doi.org/10.1177/0268396220924669>
- Gatteschi, V., Lamberti, F., Demartini, C., Pranteda, C., & Santamaría, V. (2018). "Blockchain and smart contracts for insurance: Is the technology mature enough?". *Future Internet*, 10(2), 20.
- Giancaspro, M. (2017). "Is a 'smart contract' really a smart idea? Insights from a legal perspective". *Computer Law & Security Review*, 33(6), 825–835.

- Governatori, G., Idelberger, F., Milosevic, Z., Riveret, R., Sartor, G., & Xu, X. (2018). On legal contracts, imperative and declarative smart contracts, and blockchain systems. *Artificial Intelligence and Law*, 26(4), 377–409. <https://doi.org/10.1007/s10506-018-9223-3>
- Greenspan, G. (2016). Payment and exchange transactions in shared ledgers. *Journal of Payments Strategy & Systems*, 10(2), 172–180.
- Hasanova, H., Baek, U. J., Shin, M. G., Cho, K., & Kim, M. S. (2019). "A survey on blockchain cybersecurity vulnerabilities and possible countermeasures". *International Journal of Network Management*, 29(2), e2058.
- ICC. (2020). Model Gas Sale and Purchase Agreement. International Chamber of Commerce.
- ISO. (2013). ISO 13686:2013 - Natural gas - Quality designation. International Organization for Standardization.
- Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2018). "Blockchain practices, potentials, and perspectives in sustainable supply chain management". *Sustainability*, 10(10), 3652.
- Mik, E. (2017). "Smart contracts: Terminology, technical limitations and real world complexity". *Law, Innovation and Technology*, 9(2), 269–300.
- Peters, G. W., & Panayi, E. (2016). "Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money". In *Banking beyond banks and money* (pp. 239–278). Springer.
- Raskin, M. (2017). "The law and legality of smart contracts". *Georgetown Law Technology Review*, 1(2), 305–341.
- Reijers, W., Wuisman, I., Mannan, M., De Filippi, P., Wray, C., Rae-Looi, V., & Gordijn, B. (2018). "Now the code runs itself: On-chain and off-chain governance of blockchain technologies". *Topoi*, 37(4), 1–11.
- Savelyev, A. (2019). "Contract law 2.0: 'Smart' contracts as the beginning of the end of classic contract law". *Information & Communications Technology Law*, 28(2), 1–21.
- Staples, M., Chen, S., Falamaki, S., Ponomarev, A., Rimba, P., Tran, A. B., Weber, I., Xu, X., Zhu, J., (2017) Risks and opportunities for systems using blockchain and smart contracts. Data61 (CSIRO), Sydney

- Stark, J. (2019). *Making Sense of Blockchain Smart Contracts*. Coindesk. <https://www.coindesk.com/markets/2016/06/04/making-sense-of-blockchain-smart-contracts/>
- Swan, M. (2015) *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol.
- UNCTAD. (2020). *International commercial arbitration: A guide for judges*. United Nations Conference on Trade and Development.
- UNIDROIT. (2016). *Principles of International Commercial Contracts*. International Institute for the Unification of Private Law.
- Wang, S., Ouyang, L., Yuan, Y., Ni, X., Han, X., & Wang, F. (2019). Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49, 2266-2277.
- Werbach, K. & Cornell, N. (2017). "Contracts ex machina". *Duke Law Journal*, 67(2), 313–382.
- Werbach, K. (2018). *The Blockchain and the New Architecture of Trust*, *Information Policy Series*. The MIT Press.
- Xu, J., Xiong, W., Yu, H., & Zhang, Y. (2022). "A review of blockchain oracles: Characteristics, challenges, and trends". *IEEE Access*, 10, 14237–14256.
- Zhang, R., Xue, R., & Liu, L. (2020). "Security and privacy on blockchain". *ACM Computing Surveys*, 52(3), 1–34.