Journal of Urban Environmental Management

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.3, No.1; 2025.pp: 74-88

Research paper

(Received June 8. 2025 Accepted July 29., 2025)

Systemic Evaluation of the Effectiveness of Environmental Regulations in Iran's Oil and Gas Industry, Using a Causal Loop Model and Reform Strategies

Raed Mavali[1*], Seyedeh Atena Taleghani[2]

[1]Legal and Contracts Manager, Amir Kabir Petrochemical Company, Mahshahr, Khuzestan, Iran
[2]M.Sc. Student, Petroleum Engineering, Faculty of Petroleum Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Despite the existence of high-level policies and environmental regulations, Iran's legal framework governing the oil and gas industry lacks institutional coherence and effective enforcement. This qualitative study employs Causal Loop Diagramming (CLD) to analyze the structural and behavioral dynamics of the current environmental regulatory system in this strategic sector. After reviewing key documents and extracting core variables, a CLD model representing the existing system was developed using Vensim software. The analysis reveals that the system is driven by reinforcing negative feedback loops—such as weak regulatory enforceability, institutional overlap, the prioritization of short-term economic gains over environmental obligations, and the absence of integrated performance indicators. These dynamics hinder the implementation of environmental laws even when formal policies are in place. Based on the systemic behavior observed in the model, the study proposes seven policy recommendations, including enhancing transparency, developing unified indicators, redefining institutional relationships, and strengthening expert and media capacities. The findings highlight that structural reforms are essential for achieving environmental sustainability in the oil and gas industry. Overall, this study demonstrates the utility of system dynamics modeling as an effective tool for identifying institutional bottlenecks and guiding the formulation of coherent environmental governance policies.

Keywords: Life Cycle Assessment; Causal Loop Diagrams; Environmental Policy; Iran's Oil and Gas Sector; Institutional and Legal Sustainability

*Corresponding Author: Raed Mavali
Email: Raed.mavali@gmail.com
Phone: 09163088465

Doi: 10.48306/juem.2025.529167.1077

نشریه علمی مدیریت محیط زیست شهری

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال سوم/شماره اول/بهار ۱۴۰۴/صفحه ۷۴-۸۸

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱/۱

ارزیابی سیستمی اثربخشی قوانین زیست محیطی صنعت نفت و گاز ایران با استفاده از مدل علّی و ارائه راهکارهای اصلاحی

سید رائد موالی*[۱]، سیده آتنا طالقانی[۲]

[۱] *مدیر حقوقی و قراردادهای پتروشیمی امیر کبیر، ماهشهر، خوزستان، ایران*

[۲] *دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه تهران،تهران، ایران*

چکیده

نظام حقوقی زیست‌محیطی ایران در صنعت نفت و گاز با وجود برخورداری از اسناد بالادستی و آیین‌نامه‌های مرتبط، در عمل فاقد انسجام نهادی و اثربخشی اجرایی لازم است. این پژوهش با رویکرد کیفی و بهره‌گیری از مدل‌سازی حلقه‌های علّی و معلولی (CLD) تلاش می‌کند تا ساختار نهادی و رفتاری نظام قانون‌گذاری زیست‌محیطی کشور را در این حوزه تحلیل کند. برای این منظور، پس از مرور اسناد و استخراج متغیرهای کلیدی، یک مدل CLD برای وضعیت موجود طراحی و در محیط نرم‌افزار Vensim ترسیم شده است. تحلیل این مدل نشان داد که پویایی ساختار فعلی متأثر از حلقه‌های بازخورد منفی مانند ضعف الزام‌آوری مقررات، تداخل وظایف نهادی، تقدم منافع اقتصادی بر الزامات زیست‌محیطی، و نبود شاخص‌های جامع عملکردی است. این حلقه‌ها موجب می‌شوند که حتی در صورت تدوین مقررات پیشرفته، اجرا و نظارت مؤثر بر آن‌ها محقق نشود. در ادامه، با تحلیل ساختار مدل، هفت پیشنهاد سیاستی برای اصلاح وضعیت موجود ارائه شده که شامل ارتقای شفافیت، تدوین شاخص‌های یکپارچه، بازتعریف روابط نهادی، و تقویت ظرفیت‌های کارشناسی و رسانه‌ای است. یافته‌ها نشان می‌دهند که بدون اصلاحات ساختاری، پایداری محیط‌زیستی در این صنعت راهبردی تحقق نخواهد یافت. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌سازی سیستمی می‌تواند ابزاری اثربخش برای شناسایی گلوگاه‌ها و تدوین سیاست‌های منسجم در حکمرانی محیط‌زیستی کشور باشد.

کلیدواژه: ارزیابی چرخه حیات، مدل حلقه‌های علّی و معلولی، سیاست‌گذاری محیط‌زیستی، صنعت نفت و گاز ایران، پایداری نهادی و قانونی

* نویسنده مسئول: سید رائد موالی

ایمیل: *Raed.mavali@gmail.com*

تلفن: ۰۹۱۶۳۰۸۸۴۶۵

Doi: 10.48306/juem.2025.529167.1077

۱-مقدمه

صنایع نفت و گاز طی دهه‌های گذشته یکی از موتورهای اصلی رشد اقتصادی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته به شمار آمده‌اند. این صنایع نه تنها منبع تأمین انرژی جهانی هستند، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در اشتغال‌زایی، توسعه زیرساخت‌ها و درآمد ارزی کشورها دارند [۱]. در کشورهایی نظیر ایران، وابستگی ساختاری به منابع فسیلی بسیار بالا بوده و بخش عمده‌ای از درآمدهای ملی و سرمایه‌گذاری‌های عمومی از طریق صادرات نفت و گاز تأمین می‌شود. بر اساس گزارشات رسمی، بیش از ۸۰ درصد انرژی مصرفی کشور از منابع فسیلی تأمین می‌شود و نفت و گاز سهم بالایی در تولید ناخالص داخلی دارند [۲].

با این حال، توسعه صنایع نفت و گاز همواره با پیامدهای جدی زیست‌محیطی همراه بوده است. استخراج، پالایش و حمل‌ونقل فرآورده‌های نفتی باعث انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای، آلودگی هوا، نشت مواد شیمیایی به منابع آب و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی شده است [۳]. این اثرات تنها محدود به منطقه استخراج یا تولید نیست، بلکه زنجیره کامل تولید تا مصرف نهایی را دربرمی‌گیرد. از این‌رو، رویکرد «ارزیابی چرخه حیات» (Life Cycle Assessment – LCA) به عنوان ابزاری کلیدی در تحلیل پایداری صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار گرفته است تا آثار زیست‌محیطی در تمامی مراحل زنجیره ارزش به‌صورت سیستماتیک سنجیده شود [۴]. به عنوان مثال، نتایج LCA نشان داده است که فعالیت‌های بهره‌برداری و سوزاندن سوخت‌های فسیلی در مقایسه با سایر مراحل، بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند و مسئول سهم قابل توجهی از تغییرات اقلیمی هستند [۵].

در ایران، وابستگی بلندمدت به سوخت‌های فسیلی و نبود جایگزین‌های نهادینه‌شده برای تولید انرژی باعث شده است تا روند گذار به سمت سیستم‌های انرژی پاک با چالش‌های متعدد روبرو باشد. از یک سو، نبود انگیزه‌های قانونی و سیاست‌های الزام‌آور برای ارزیابی چرخه حیات در پروژه‌های نفت و گاز، و از سوی دیگر، تمرکز بر منافع اقتصادی کوتاه‌مدت موجب نادیده گرفتن تبعات بلندمدت زیست‌محیطی شده است [۶]. این وابستگی ساختاری نه‌تنها پایداری محیط‌زیستی کشور را به خطر انداخته، بلکه تهدیدی برای آینده نسل‌های آتی محسوب می‌شود.

در چنین شرایطی، ضرورت بازنگری در نظام مقرراتی محیط‌زیست ایران با تکیه بر ابزارهای تحلیلی مانند LCA بیش از پیش احساس می‌شود. این بازنگری می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا تصویر دقیق‌تری از روابط پیچیده بین اقتصاد نفت‌محور، تخریب زیست‌محیطی و پایداری بلندمدت داشته باشند.

نظام حقوق محیط زیست ایران اگرچه در دهه‌های اخیر توسعه‌هایی را تجربه کرده، اما همچنان با چالش‌های ساختاری قابل‌توجهی در مواجهه با صنایع پرریسک مانند نفت و گاز روبروست. قوانین و مقرراتی نظیر قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست (مصوب ۱۳۵۳)، آیین‌نامه‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA)، و دستورالعمل‌های سازمان حفاظت محیط زیست، چارچوب‌های عمومی را برای پایش و مدیریت اثرات زیست‌محیطی پروژه‌ها ارائه می‌دهند، اما عملاً این چارچوب‌ها در صنعت نفت و گاز به‌صورت سطحی و کم‌اثر پیاده‌سازی شده‌اند. از جمله ایرادات مهم می‌توان به «فقدان الزامات صریح برای ارزیابی چرخه حیات» در قوانین بالادستی و طرح‌های اجرایی اشاره کرد؛ در حالی که LCA ابزاری کلیدی برای سنجش جامع و سیستمی پیامدهای زیست‌محیطی در کل زنجیره ارزش است [۲, ۵].

برخلاف کشورهای پیشرو مانند آلمان، نروژ، یا حتی چین که LCA را به‌عنوان ابزاری سیاستی برای صدور مجوز، طراحی مالیات سبز، یا رتبه‌بندی زیست‌محیطی پروژه‌ها پذیرفته‌اند [۷]، در ایران همچنان ارزیابی‌ها بر پایه شاخص‌های تک‌بُعدی و کوتاه‌مدت نظیر «آلودگی نقطه‌ای» و «تطابق با حد مجاز انتشار» باقی مانده‌اند. همین موضوع باعث می‌شود اثرات انباشته و بین‌بخشی صنایع نفت و گاز (نظیر انتشار متان در فرایندهای بهره‌برداری، سوزاندن گازهای همراه، یا آلودگی منابع آبی بر اثر نشت نفت خام) در تصمیمات مدیریتی و حقوقی بازتاب پیدا نکنند [۳].

از سوی دیگر، ساختار نهادی نظارت زیست‌محیطی بر صنعت نفت در ایران دارای پراکندگی و ناهماهنگی است. سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت نفت، سازمان ملی استاندارد، شرکت‌های تابعه وزارت نیرو و نهادهای محلی همگی در حوزه‌هایی خاص مسئولیت‌هایی دارند اما هیچ‌گونه مکانیسم یکپارچه‌ای برای هم‌راستاسازی اهداف، تبادل اطلاعات، و اتخاذ تصمیم مشترک در چارچوبی نظام‌مند وجود ندارد [۸]. این پراکندگی موجب تداخل وظایف، ابهام در مسئولیت‌ها و ضعف در اجرای مؤثر مقررات شده است. همچنین ابزارهای الزام‌آور مانند جریمه، توقف فعالیت، یا تعلیق مجوزها اغلب با ملاحظات اقتصادی یا سیاسی نادیده گرفته می‌شوند و اثربخشی لازم را ندارند [۹].

نکته مهم دیگر، عدم پیوند مؤثر میان سیاست‌های محیط زیستی و توسعه‌ای است. برای مثال، برنامه‌های پنج‌ساله توسعه اقتصادی، برنامه بودجه، و پروژه‌های ملی در صنعت نفت غالباً بدون ارزیابی جامع پیامدهای محیط‌زیستی مصوب می‌شوند. به عبارتی، سیاست‌گذاری محیط‌زیستی در ایران نه‌تنها از لحاظ حقوقی در حاشیه قرار دارد، بلکه از منظر ساختاری نیز در فرآیندهای کلان تصمیم‌گیری اقتصادی غایب است [۱۰]. در مجموع، بررسی نظام موجود نشان می‌دهد که برای دستیابی به گذار واقعی در صنعت نفت و گاز به سمت پایداری، نیاز به بازنگری جدی در ساختار حقوقی، نهادی و سیاست‌گذاری محیط زیستی کشور وجود دارد؛ بازنگری‌ای که ابزارهایی مانند LCA را در رویکردهای سیاستی مبتنی بر شواهد به‌صورت فراگیر و الزام‌آور در خود جای دهد.

اگرچه موضوع پایداری زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر وارد گفتمان عمومی و دانشگاهی ایران شده است، اما بررسی ساختار نظام‌مند سیاست‌گذاری زیست‌محیطی به‌ویژه در صنایع راهبردی نظیر نفت و گاز، هنوز در مراحل اولیه خود قرار دارد. اکثر مطالعات انجام‌شده در کشور یا رویکردی توصیفی داشته‌اند یا صرفاً بر ابعاد فنی و آلودگی‌های نقطه‌ای متمرکز بوده‌اند، بدون آنکه به تحلیل علّی و سیستماتیک سیاست‌های کلان بپردازند. در چنین شرایطی، فقدان چارچوب‌های مدل‌سازی سیستمی که بتواند روابط چندبُعدی و پویای بین قوانین، نهادها، و اثرات زیست‌محیطی را شناسایی و تحلیل کند، به یکی از خلأهای جدی پژوهشی تبدیل شده است [۱۱].

در سطح جهانی، رویکردهایی مانند مدل‌های حلقه‌های علّی و معلولی (Causal Loop Diagrams - CLD) در بستر روش‌شناسی دینامیک سیستم‌ها، برای تحلیل ساختارهای پیچیده سیاستی به‌کار رفته‌اند. این مدل‌ها به‌ویژه در حوزه محیط زیست و انرژی، توانسته‌اند روابط بین عوامل فنی، اقتصادی، نهادی و زیست‌محیطی را با شفافیت بیشتری نمایش داده و رفتار بلندمدت سیستم‌ها را شبیه‌سازی کنند [۱۲, ۱۳]. با این حال، استفاده از CLD در ایران محدود و اغلب در قالب پایان‌نامه‌ها یا مطالعات نظری باقی مانده و تاکنون به صورت کاربردی و در ارتباط با تحلیل سیاست‌های زیست‌محیطی صنایع نفت و گاز مورد استفاده قرار نگرفته است.

از سوی دیگر، ابزارهای بین‌المللی نظیر ارزیابی چرخه حیات که قابلیت تحلیل کمی پیامدهای زیست‌محیطی در تمامی مراحل تولید، حمل‌ونقل و مصرف منابع انرژی را دارند، در ایران همچنان جنبه عملیاتی و سیاست‌گذارانه پیدا نکرده‌اند. در حالی که کشورهای پیشرو این ابزار را در فرآیندهای تصویب پروژه‌ها، طراحی مشوق‌های مالی، رتبه‌بندی زیست‌محیطی شرکت‌ها و حتی ارزیابی میزان یارانه‌های انرژی استفاده می‌کنند [۲, ۷]، در ایران، این ابزار نه در قانون نهادینه شده و نه در ارزیابی رسمی پروژه‌های نفتی و گازی به‌کار گرفته می‌شود [۸].

علاوه بر این، یکی از مسائل مهمی که در ادبیات پژوهشی ایران مغفول مانده، ضرورت بومی‌سازی (localization) این ابزارها و تطبیق آن‌ها با ویژگی‌های ساختاری، نهادی و سیاسی کشور است. هرچند برخی مطالعات موردی داخلی از روش LCA برای تحلیل پروژه‌های انرژی بهره گرفته‌اند [۳]، اما هنوز یک الگوی کل‌نگر و بومی‌شده برای ادغام LCA و CLD در سیاست‌گذاری محیط زیستی ایران ارائه نشده است. در ادامه خلاصه ای از مطالعات مرتبط در این حوزه ارائه شده است:

جدول ۱- مرور مقالات منتخب مرتبط با LCA، مدل‌سازی علّی و چارچوب‌های حقوقی محیط زیست در صنایع نفت و گاز

منبع	سال انتشار	توضیح خلاصه مقاله
[۹]	2012	تحلیل انتقادی قوانین زیست‌محیطی که ناخواسته به نفع سوخت‌های فسیلی عمل می‌کنند؛ بررسی موانع قانونی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر.
[۶]	2012	بررسی نقش تاریخی و نهادی LCA در سیاست‌گذاری دولت آمریکا؛ تحلیل نقاط قوت و محدودیت‌ها در ادغام با قانون‌گذاری محیط‌زیستی.
[۱۰]	2014	مقایسه مقررات ایالتی و فدرال آمریکا در کنترل آلودگی‌های ناشی از تولید نفت و گاز؛ ارزیابی شکاف‌های اجرایی و حقوقی.
[۱۴]	2014	ارائه الزامات قانونی و نهادی برای پروژه‌های بزرگ CCUS؛ تحلیل تجربیات اولیه کشورهای پیش‌رو.
[۱۱]	2018	ارائه چارچوب مدل‌های علّی برای تحلیل مداخلات سیاستی محیط‌زیستی؛ تأکید بر مزایای استفاده کیفی از نمودارهای تأثیرگذار.

منبع	سال انتشار	توضیح خلاصه مقاله
[۱]	2019	مروری جامع بر مطالعات LCA در صنعت نفت و گاز، با تمرکز بر روش‌ها، شاخص‌های رایج زیست‌محیطی، و چالش‌های اجرای آن در کشورهای در حال توسعه.
[۱۵]	2019	بررسی جامع مقررات محیط‌زیستی ایالات متحده در حوزه نفت و گاز؛ تمرکز بر پیامدهای اجرایی و نهادهای مؤثر.
[۱۶]	2020	مرور انتقادی سیاست‌های CCUS در چین؛ ارزیابی ضعف‌های اجرایی، نبود مشوق‌ها و پیشنهاد تقویت قوانین زیست‌محیطی.
[۱۷]	2021	مقایسه LCA برای حامل‌های انرژی پایدار شامل تولید، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و استفاده نهایی؛ تحلیل گازهای گلخانه‌ای و انرژی مصرفی.
[۳]	2021	مطالعه موردی از LCA در پروژه گاز طبیعی اندونزی با استفاده از شاخص‌های استاندارد ISO؛ شناسایی نقاط پرریسک محیط‌زیستی.
[۷]	2021	تحلیل تطبیقی چارچوب‌های قانونی CCUS در اروپا، چین و خاورمیانه؛ تمرکز بر ساختارهای نظارتی و چالش‌های پیاده‌سازی.
[۱۲]	2022	ارائه مدل حلقه‌های علّی برای تحلیل چالش‌های سیاست‌گذاری گذار انرژی در یک منطقه صنعتی؛ تمرکز بر پیچیدگی نهادی و حلقه‌های بازخورد سیاستی.
[۱۸]	2022	بررسی چارچوب سیاستی CCUS در چین با تمرکز بر هماهنگی نهادی و پیشنهاد تدوین راهبردهای ملی منسجم.
[۱۹]	2023	بررسی روندهای جهانی دعاوی حقوقی زیست‌محیطی علیه صنایع نفت و گاز؛ تحلیل پیامدهای حقوقی بر شرکت‌ها و سیاست‌گذاران.
[۴]	2023	مرور نظام‌مند مطالعاتی که LCA را با مدل‌سازی دینامیک سیستم ترکیب کرده‌اند برای تحلیل سناریوهای محیط‌زیستی.
[۲]	2024	تحلیل روندهای تاریخی و سیاسی در استفاده از LCA در سیاست‌گذاری عمومی، با تمرکز بر فرصت‌ها و موانع ادغام آن در قوانین ملی.
[۵]	2024	توسعه مدل LCA با استفاده از شبکه‌های بیزی برای بهبود تحلیل عدم قطعیت و پیش‌بینی اثرات محیط‌زیستی.
[۲۰]	2024	پیشنهاد طراحی چارچوب نهادی برای CCUS در برزیل؛ تمرکز بر نقش مرجع صلاحیت‌دار و ترتیبات قانونی نوین.
[۲۱]	2024	ارزیابی چرخه حیات سیستم توزیع انرژی گاز طبیعی؛ ارائه یافته‌های کمی درباره GHG، مصرف انرژی و شاخص‌های اکولوژیک دیگر.

در این مطالعه، به‌منظور تحلیل ساختار سیاست‌گذاری و نظام مقررات زیست‌محیطی ایران در صنعت نفت و گاز، از چارچوب مفهومی «مدل حلقه‌های علّی و معلولی» (Causal Loop Diagram – CLD) بهره گرفته شده است. این مدل که یکی از ابزارهای کلیدی در روش‌شناسی پویایی سیستم‌ها به‌شمار می‌رود، با ترسیم روابط علی میان متغیرهای درگیر در یک نظام پیچیده، امکان شناسایی چرخه‌های بازخورد، تحلیل رفتارهای بلندمدت، و کشف ریشه‌های پنهان مشکلات نهادی را فراهم می‌سازد. در این پژوهش، CLD برای مدل‌سازی وضعیت موجود نظام قانون‌گذاری زیست‌محیطی در کشور به‌کار رفته و با ترسیم شبکه‌ای از ۵۴ متغیر کلیدی، پویایی‌های نهادی و قانونی موجود در صنعت نفت و گاز ایران تحلیل شده است.

بر اساس این مدل، عواملی همچون ضعف الزام‌آوری مقررات، تداخل نهادهای تصمیم‌گیر، وابستگی ساختاری به درآمد نفت، و کم‌اثر بودن سازوکارهای نظارتی، به عنوان عواملی شناسایی شده‌اند که پایداری محیط‌زیستی را با اختلال مواجه می‌کنند. در ادامه، با تحلیل ساختاری حلقه‌های علّی و تمرکز بر متغیرهای پرگره و نقاط مداخله مؤثر، هفت پیشنهاد سیاستی مشخص و هدفمند استخراج شده است که می‌توانند به‌عنوان گام‌های اصلاحی برای بهبود اثربخشی قوانین و نهادهای زیست‌محیطی به‌کار گرفته شوند.

بر این اساس، هدف اصلی پژوهش آن است که با به‌کارگیری مدل‌سازی CLD، ساختار پنهان و غیرخطی سیاست‌گذاری زیست‌محیطی کشور در بخش نفت و گاز را شناسایی و تحلیل کند و از دل آن، راهکارهایی مبتنی بر منطق سیستمی برای ارتقای پایداری و حکمرانی کارآمدتر محیط‌زیستی ارائه دهد. پرسش محوری مطالعه چنین تعریف می‌شود: چگونه می‌توان با استفاده از مدل حلقه‌های علّی، ساختار نهادی موجود در سیاست‌گذاری زیست‌محیطی صنعت نفت و گاز ایران را تحلیل کرده و پیشنهادهایی مبتنی بر پویایی‌های واقعی آن برای اصلاح و بازطراحی نظام ارائه داد؟

۲-مواد و روش ها

این پژوهش ماهیتی کیفی–تحلیلی دارد و با هدف بررسی ساختار نهادی و سیاست‌گذاری زیست‌محیطی در صنعت نفت و گاز ایران انجام شده است. تمرکز اصلی مطالعه بر شناسایی روابط میان متغیرهای قانونی، نهادی و اجرایی در نظام موجود و تحلیل نحوه شکل‌گیری رفتارهای پایدار یا ناپایدار در مواجهه با چالش‌های محیط‌زیستی است. برای دستیابی به این هدف، از روش مدل‌سازی حلقه‌های علّی و معلولی استفاده شده که یکی از ابزارهای کلیدی در روش‌شناسی پویایی سیستم‌ها محسوب می‌شود. این ابزار با ترسیم روابط میان متغیرها، به شناسایی چرخه‌های بازخورد، درک رفتار بلندمدت سیستم و کشف ریشه‌های ساختاری مسائل نهادی کمک می‌کند [۲۲].

در مرحله نخست، با بهره‌گیری از تحلیل اسنادی، محتوای قوانین، آیین‌نامه‌ها، سیاست‌نامه‌ها، گزارش‌های رسمی، و مطالعات پیشین بررسی شده و متغیرهای کلیدی مؤثر بر عملکرد نظام مقررات زیست‌محیطی در صنعت نفت و گاز شناسایی شده‌اند. این متغیرها در چهار حوزه اصلی حقوقی، نهادی، نظارتی و اجتماعی دسته‌بندی شدند و روابط علّی میان آن‌ها بر اساس شواهد موجود و تحلیل منطقی ترسیم گردید. سپس مدل CLD وضعیت موجود با استفاده از نرم‌افزار Vensim تدوین شد. این مدل متشکل از ۵۴ متغیر و ۸۷ رابطه علّی است که در قالب چندین حلقه بازخوردی سازمان‌دهی شده‌اند. این حلقه‌ها می‌توانند از نوع تقویتی (reinforcing) یا بازدارنده (balancing) باشند و به پژوهشگر امکان می‌دهند تا چرخه‌های علّی پنهان، گلوگاه‌های سیستمی، و عوامل بروز ناکارآمدی یا مقاومت در برابر اصلاح را شناسایی کند [۲۳].

در ادامه گام‌های اصلی ترسیم و تحلیل یک مدل حلقه‌های علّی و معلولی (CLD) به‌صورت خلاصه ارائه شده است [۲۴, ۲۵]:

گام ۱: تعریف مسئله یا مرز سیستم

– تعیین دقیق مسئله مورد بررسی (مثلاً «چرا نظام قوانین زیست‌محیطی در صنعت نفت و گاز ناکارآمد است؟»)

– تعیین مرز تحلیلی سیستم (درون/بیرون از محدوده: چه عواملی بررسی می‌شوند و چه عواملی خیر)

گام ۲: شناسایی متغیرهای کلیدی

– استخراج مهم‌ترین متغیرهایی که بر مسئله تأثیر دارند (مانند: شدت نظارت، منافع اقتصادی پروژه‌ها، شفافیت، مسئولیت‌پذیری نهادی، تخریب محیط‌زیست، مشارکت عمومی و...)

– این متغیرها از طریق تحلیل اسناد، مصاحبه‌ها یا مرور ادبیات شناسایی می‌شوند.

گام ۳: تعیین روابط علّی میان متغیرها

– رسم پیکان از متغیر علت به متغیر معلول با علامت:

- (مثبت): تغییر در متغیر اول باعث تغییر هم‌جهت در متغیر دوم می‌شود.
- (منفی): تغییر در متغیر اول باعث تغییر خلاف‌جهت در متغیر دوم می‌شود.

گام ۴: شناسایی و ترسیم حلقه‌های بازخورد (Feedback Loops)

– شناسایی حلقه‌های بازخورد در سیستم:

- حلقه‌های تقویتی (Reinforcing): چرخه‌هایی که باعث تقویت رفتار سیستم در یک جهت می‌شوند.
- حلقه‌های بازدارنده (Balancing): چرخه‌هایی که رفتار سیستم را متعادل یا محدود می‌کنند.

هر حلقه را با نام و نوع آن (R یا B) مشخص کنید.

گام ۵: تحلیل کیفی مدل ترسیم‌شده

– تفسیر چرایی رفتارهای ناپایدار یا مقاوم سیستم بر اساس ساختار حلقه‌ها.

– بررسی اینکه کدام حلقه‌ها نیاز به مداخله دارند یا در صورت اصلاح می‌توانند مسیر سیستم را تغییر دهند.

– شناسایی گلوگاه‌ها، نقاط اهرمی (Leverage Points)، و پیشنهادهای سیاستی بر اساس رفتار حلقه‌ها.

پس از ترسیم کامل مدل، تحلیل کیفی آن انجام می‌شود تا چرخه‌های بحرانی و الگوهای رفتاری شناسایی شوند. سپس بر اساس تحلیل رفتارهای سیستم، هفت پیشنهاد سیاستی کلیدی برای اصلاح و بازطراحی ساختار موجود استخراج شد. این پیشنهادها ناظر بر متغیرهای راهبردی، نقاط مداخله مؤثر، و حلقه‌هایی هستند که در صورت اصلاح، می‌توانند پویایی نظام را به سمت پایداری و اثربخشی زیست‌محیطی سوق دهند.

در این پژوهش، نرم‌افزار Vensim برای طراحی و تحلیل مدل CLD به‌کار رفته است. این نرم‌افزار یکی از ابزارهای معتبر در حوزه دینامیک سیستم‌ها بوده و امکان ترسیم دقیق ساختارهای علّی، نمایش گرافیکی متغیرها و حلقه‌ها، و انجام تحلیل‌های ساختاری و مقایسه‌ای را فراهم می‌سازد [۲۶]. استفاده از این نرم‌افزار امکان نمایش متغیرها، روابط علّی، حلقه‌های بازدارنده و تقویتی، و مسیرهای پویای سیستم را به‌صورت گرافیکی فراهم می‌سازد. همچنین قابلیت انجام تحلیل حساسیت و سناریوسازی را داراست و به پژوهشگر کمک می‌کند تا ساختارهای پیچیده نهادی و سیاستی را با دقت و انسجام مدل‌سازی و تحلیل کند.

۳-بحث و نتایج

بخش «بحث و نتایج» به تحلیل ساختار علّی نظام مقررات زیست‌محیطی ایران در صنعت نفت و گاز بر اساس مدل حلقه‌های علّی و معلولی (CLD) می‌پردازد. در این مطالعه، متغیر مرکزی مدل، «اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی» تعریف شده است که نمایانگر توانمندی ساختار حقوقی و نهادی کشور در تدوین، اجرای مؤثر و پایش مقررات زیست‌محیطی در پروژه‌های نفت و گاز است. مدل ترسیم‌شده با بهره‌گیری از داده‌های نهادی و قوانین موجود، روابط میان عوامل کلیدی مؤثر بر این متغیر را در قالب حلقه‌های بازخورد منفی و بازدارنده به تصویر می‌کشد. هدف این تحلیل، شناسایی چرخه‌های ناپایداری و گلوگاه‌های سیستمی است که مانع از تحقق اثربخشی در اجرای مقررات زیست‌محیطی می‌شوند و مسیرهای احتمالی مداخله اصلاحی را روشن می‌سازند.

۳-۱-تحلیل مدل حلقه‌های علّی و معلولی وضعیت موجود نظام مقررات زیست‌محیطی

مدل حلقه‌های علّی و معلولی ترسیم‌شده در این مطالعه، با هدف تحلیل ساختاری و سیستمیِ وضعیت موجود نظام مقررات زیست‌محیطی در صنعت نفت و گاز ایران طراحی شده است. در این مدل، متغیر مرکزی «اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی» (F0) به‌عنوان پیامد نهایی ساختار مقرراتی کشور شناخته شده که از مجموعه‌ای از عوامل سازمانی، قانونی، اقتصادی و نهادی تأثیر می‌پذیرد. عوامل متعددی در اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی تأثیرگذار هستند. در این مقاله، مهمترین عوامل تاثیرگذار بر اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی به صورت در نظر گرفته و تعریف شده است.

جدول ۲: لیست متغییرهای اصلی تأثیرگذار بر اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی

کد	عنوان متغیر	تعریف کوتاه
F0	اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی	موفقیت نظام حقوقی در تدوین، اجرا و پایش مقررات زیست‌محیطی
F1	الزام‌آوری قانونی مقررات زیست‌محیطی	سطح الزام حقوقی مقررات برای مجریان صنعت نفت و گاز
F2	ظرفیت اجرایی نهاد ناظر	توان منابع انسانی و فنی ناظر در اجرای وظایف زیست‌محیطی
F3	استفاده از شاخص‌های جامع	کاربرد ابزارهایی مانند LCA در ارزیابی پروژه‌ها
F4	استقلال نهاد ناظر	استقلال نهاد ناظر از نهادهای دارای منافع اقتصادی
F5	شفافیت و پاسخگویی در گزارش‌دهی	میزان ارائه اطلاعات شفاف و پاسخ‌گویی در عملکرد محیط‌زیستی
F6	دقت و شفافیت صدور مجوز	وضوح و مستند بودن فرآیند ارزیابی و صدور مجوز
F7	فشار سیاسی برای تسریع پروژه	شدت فشار سیاسی برای اجرای سریع پروژه‌های نفتی
F8	وابستگی بودجه به نفت	نقش درآمد نفت در تأمین منابع مالی عمومی کشور

F9	نفوذ نهادهای اقتصادی در قانون‌گذاری	تأثیر نهادهای توسعه‌محور بر تدوین قوانین زیست‌محیطی
F10	اختیارات قانونی نهاد ناظر	دامنه اختیار برای توقف یا اصلاح پروژه‌های مضر زیست‌محیطی
F11	شفافیت نگارش قوانین	وضوح، انسجام و صراحت مقررات زیست‌محیطی
F12	الزام به شاخص‌های جامع	وجود الزامات قانونی برای استفاده از ابزارهای تحلیلی دقیق
F13	نیاز فوری دولت به درآمد نفتی	فوریت تأمین مالی از محل پروژه‌های نفتی در شرایط بحران
F14	غلبه رویکردهای کوتاه‌مدت توسعه‌ای	تمرکز بر نتایج سریع به‌جای پایداری محیط‌زیستی
F15	مشارکت نخبگان در تصمیم‌گیری	میزان مشارکت متخصصان و دانشگاهیان در فرآیند تصمیم‌سازی
F16	بهره‌برداری سیاسی از پروژه‌ها	تلاش نهادهای سیاسی برای استفاده تبلیغاتی از پروژه‌ها
F17	سهم نفت در منابع عمومی	نسبت درآمد نفتی به کل منابع مالی کشور
F18	کارآمدی نظام مالیاتی	توانایی سیستم مالیاتی در تأمین پایدار بودجه عمومی
F19	تنوع صادرات غیرنفتی	گستردگی و پایداری صادرات بخش‌های غیرنفتی
F20	نوسان قیمت جهانی نفت	دامنه تغییرات قیمت نفت و اثر آن بر بودجه دولت
F21	هم‌پوشانی ناظر و بهره‌بردار	تداخل وظایف یا منافع بین ناظر و مجری پروژه‌های نفتی
F22	مشارکت نهادهای مستقل کارشناسی	مشارکت نهادهای علمی و دانشگاهی در تدوین سیاست‌های محیط‌زیستی
F23	قدرت نهادهای توسعه‌محور	نفوذ نهادهای اقتصادی در برابر نهادهای زیست‌محیطی
F24	شفافیت در تدوین مقررات	میزان مستندسازی، مشارکت عمومی و دسترسی به فرآیند قانون‌گذاری
F25	آموزش تخصصی زیست‌محیطی	کیفیت و گستردگی آموزش‌های محیط‌زیستی در کشور
F26	پایداری شغلی متخصصان محیط‌زیست	سطح امنیت، درآمد و انگیزه شغلی برای کارشناسان محیط‌زیستی
F27	آگاهی عمومی از پیامدهای محیط‌زیستی	میزان شناخت عمومی از آثار پروژه‌ها و مفاهیم پایه محیط‌زیستی
F28	نقش رسانه‌ها در محیط زیست	آزادی رسانه‌ها در نقد و پوشش مسائل زیست‌محیطی
F29	نقش نهادهای مدنی	میزان اثرگذاری نهادهای مردمی در سیاست‌گذاری محیط‌زیستی
F30	مشارکت‌پذیری سیاسی	باز بودن نظام حکمرانی نسبت به نقد و مشارکت مردمی
F31	تعارض منافع در صدور مجوز	وجود منافع مالی یا سازمانی که بی‌طرفی در صدور مجوز را تهدید می‌کند
F32	سازوکار تجدیدنظر در مجوزها	امکان اصلاح یا لغو مجوزهای زیست‌محیطی از طریق سازوکارهای رسمی
F33	مشارکت عمومی در تدوین مقررات	میزان نقش آفرینی ذی‌نفعان در فرآیند تدوین قوانین زیست‌محیطی
F34	انتشار پیش‌نویس قوانین	ارائه عمومی پیش‌نویس مقررات برای نقد قبل از تصویب
F35	جایگاه سازمان محیط زیست در دولت	موقعیت ساختاری و نفوذ سازمان حفاظت محیط زیست در نظام اداری
F36	حضور سازمان محیط زیست در شوراها	سطح مشارکت مؤثر در شوراهایی مانند شورای عالی انرژی
F37	قوانین حمایتی از نهاد ناظر	وجود مقرراتی که اختیارات اجرایی ناظر را تضمین کند
F38	سازوکار بازنگری مقررات	فرآیندهای منظم برای به‌روزرسانی و اصلاح مقررات زیست‌محیطی
F39	ارزیابی عملکرد قوانین	استفاده از داده و تحلیل برای سنجش اثربخشی مقررات موجود
F40	منابع مالی برای بازنگری مقررات	بودجه و حمایت مالی برای پروژه‌های بازطراحی مقررات زیست‌محیطی
F41	اولویت محیط زیست در سیاست‌ها	میزان توجه به محیط زیست در تصمیم‌گیری‌های کلان کشور
F42	وابستگی سیاسی انتصابات نهاد ناظر	وابستگی مدیران سازمان ناظر به نهادهای سیاسی–اقتصادی
F43	منابع مالی مستقل نهاد ناظر	دسترسی نهاد ناظر به منابع پایدار و غیرمشروط مالی
F44	قوانین تنظیم‌کننده روابط نهادی	وجود مقررات مشخص درباره حدود اختیارات نهاد ناظر و سایر دستگاه‌ها
F45	مجازات تخلفات گزارش‌دهی	بازدارندگی مجازات پنهان‌کاری و تخلف در گزارش‌های زیست‌محیطی

F46	تخصص تدوین‌کنندگان قوانین	دانش تدوین‌کنندگان قوانین نسبت به اصول علمی و حقوقی محیط‌زیست
F47	توانمندی عملی کارشناسان محیط‌زیستی	مهارت‌های کاربردی و تصمیم‌گیری کارشناسان در شرایط واقعی
F48	کیفیت آموزش زیست‌محیطی دانشگاه‌ها	میزان کاربردی بودن آموزش‌ها برای ارزیابی پروژه‌ها
F49	نظام جذب و ارتقای منابع انسانی	کیفیت و عدالت در جذب، نگهداشت و ارتقای کارشناسان محیط‌زیستی
F50	مطالبه‌گری و فشار اجتماعی	شدت خواست عمومی برای شفافیت و رعایت اصول محیط‌زیستی
F51	استانداردهای بومی شاخص‌ها	سطح تدوین و کاربرد استانداردهای داخلی برای شاخص‌هایی مانندLCA
F52	کارآمدی قضایی در تخلفات زیست‌محیطی	اثربخشی پیگیری قضایی و اجرای مجازات تخلفات محیط‌زیستی
F53	صلاحیت حرفه‌ای مشاوران محیط‌زیستی	کیفیت علمی، بی‌طرفی و شفافیت عملکرد مشاوران تهیه‌کننده گزارش‌ها

یکی از مهم‌ترین حلقه‌های تقویتی در ساختار فعلی، مربوط به وابستگی مالی دولت به درآمد نفتی است. متغیرهای «سهم نفت در منابع عمومی (F17)»، «وابستگی بودجه به نفت (F8)» و «نیاز فوری دولت به درآمد نفتی (F13)» موجب افزایش «فشار سیاسی برای تسریع پروژه‌ها (F7)» شده و این فشار به‌طور مستقیم موجب کاهش «الزام‌آوری قانونی مقررات (F1)» می‌شود. در غیاب «استقلال نهادی (F4)»، «منابع مالی مستقل (F43)» و وجود «وابستگی سیاسی انتصابات (F42)»، نهاد ناظر در مقابل این فشارها تضعیف شده و اثربخشی اجرای مقررات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد.

۳-۲-ترسیم دیاگرام چرخه علّی

برای تبیین دقیق روابط میان متغیرهای کلیدی اثرگذار بر اثربخشی نظام مقررات زیست‌محیطی در پروژه‌های نفت و گاز، یک دیاگرام چرخه علّی ترسیم شده است. این نمودار که در محیط نرم‌افزار Vensim ترسیم شده است، با استفاده از داده‌های کیفی و تحلیل ساختاری روابط علت و معلولی میان متغیرها را به‌صورت یکپارچه نمایش می‌دهد و به شناسایی مسیرهای تقویتی و متعادل‌کننده در نظام سیاست‌گذاری محیط‌زیستی کمک می‌کند. در ادامه، این دیاگرام به‌عنوان خروجی اصلی مرحله مدل‌سازی مفهومی ارائه شده است.

❖ حلقه‌های بازخورد تقویتی (Reinforcing Loops)

یکی از مهم‌ترین حلقه‌های تقویتی در ساختار فعلی، مربوط به وابستگی مالی دولت به درآمد نفتی است. متغیرهای «سهم نفت در منابع عمومی (F17)»، «وابستگی بودجه به نفت (F8)» و «نیاز فوری دولت به درآمد نفتی (F13)» موجب افزایش «فشار سیاسی برای تسریع پروژه‌ها (F7)» شده و این فشار به‌طور مستقیم موجب کاهش «الزام‌آوری قانونی مقررات (F1)» می‌شود. در غیاب «استقلال نهادی (F4)»، «منابع مالی مستقل (F43)» و وجود «وابستگی سیاسی انتصابات (F42)»، نهاد ناظر در مقابل این فشارها تضعیف شده و اثربخشی اجرای مقررات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد.

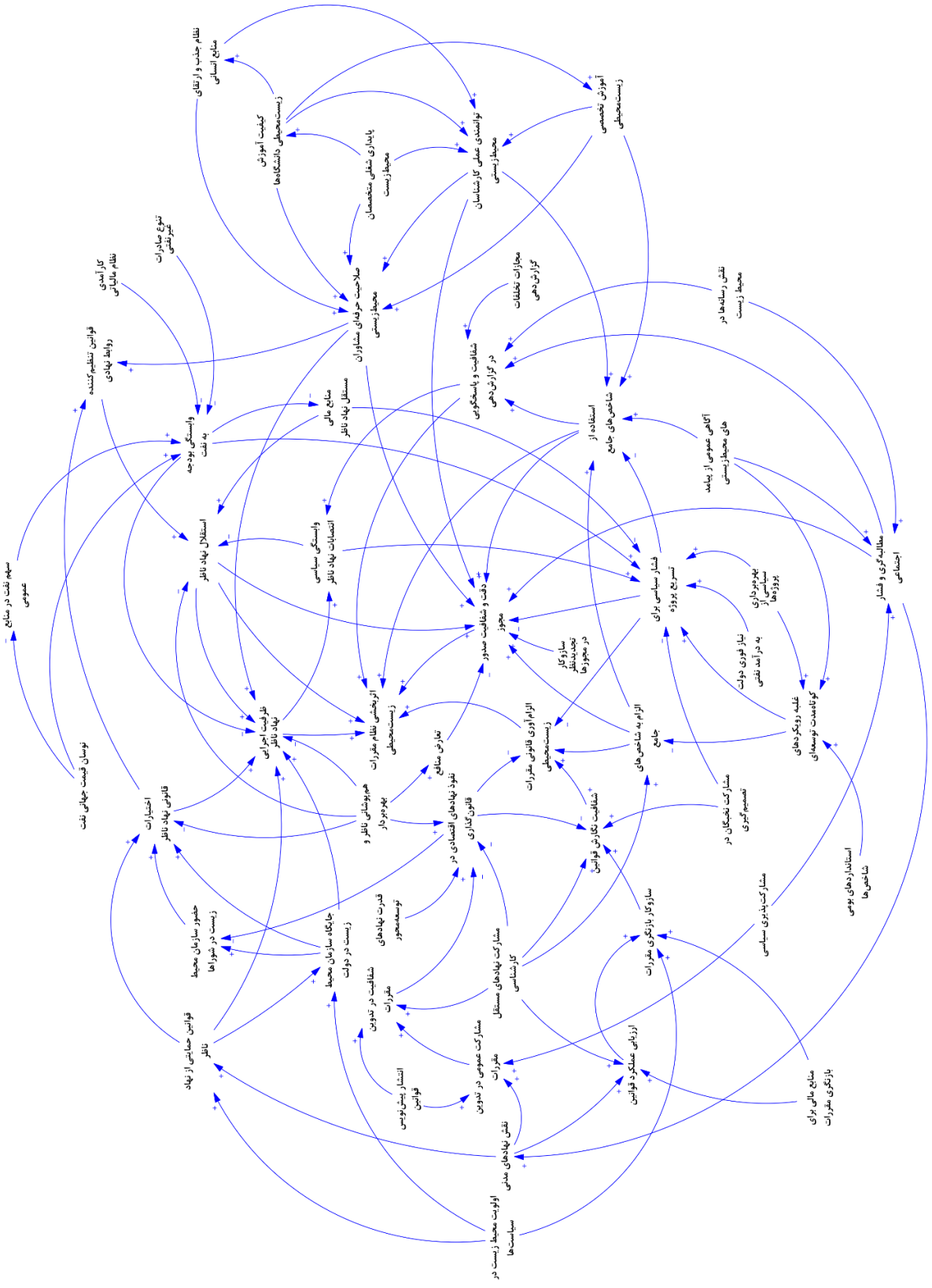
حلقه تقویتی دوم مرتبط با فرآیند ارزیابی و صدور مجوز است. نبود «الزام به شاخص‌های جامع (F12)»، «استانداردهای بومی (F51)» و «صلاحیت حرفه‌ای مشاوران (F53)» استفاده از ابزارهای تحلیلی پیشرفته را محدود می‌کند. این وضعیت باعث می‌شود فرآیند «شفافیت و دقت صدور مجوز (F6)» به‌شدت کاهش یابد. در نبود «سازوکار تجدیدنظر در مجوزها (F32)»، ارزیابی‌ها به شکل صوری انجام شده و موجب تضعیف مداوم اعتماد عمومی و کاهش پاسخگویی می‌شود.

حلقه سوم به ضعف در تدوین مقررات اشاره دارد. «ضعف در انتشار پیش‌نویس قوانین (F34)»، «مشارکت پایین عمومی در تدوین مقررات (F33)» و «ضعف تخصص تدوین‌کنندگان مقررات (F46)» منجر به کاهش «شفافیت در تدوین قوانین (F24)» شده است. این امر در نهایت باعث کاهش اثربخشی «الزام‌آوری قانونی مقررات (F1)» و تداوم روند تدوین مقررات ناکارآمد می‌شود.

❖ حلقه‌های متعادل‌کننده (Balancing Loops)

برخلاف حلقه‌های تقویتی، حلقه‌های متعادل‌کننده در ساختار کنونی می‌توانند به‌عنوان اهرم‌هایی برای بهبود عمل کنند. یکی از این حلقه‌ها، افزایش «مشارکت نهادهای مستقل کارشناسی (F22)»، «مشارکت نخبگان در تصمیم‌گیری (F15)» و «استفاده از شاخص‌های

جامع (F3)» است که به‌طور مستقیم «شفافیت و دقت در صدور مجوزها (F6)» را تقویت می‌کند و باعث بهبود تدریجی اثربخشی نظام مقررات (F0) می‌شود.



شکل ۱: دیاگرام چرخه علّی اثربخشی نظام مقررات زیست محیطی حاکم بر فعالیت‌های حوزه نفت و گاز

حلقه متعادل‌کننده دیگر از مسیر افزایش «آگاهی عمومی از پیامدهای محیط‌زیستی (F27)»، تقویت «آزادی و نقش رسانه‌ها در محیط زیست (F28)» و رشد «مطالبه‌گری و فشار اجتماعی (F50)» وارد عمل می‌شود. این مطالبه‌گری می‌تواند از طریق تقویت «نقش نهادهای مدنی (F29)» و «مشارکت‌پذیری سیاسی (F30)» باعث ارتقای کیفیت و شفافیت در فرآیند تصمیم‌گیری و نظارت بر محیط زیست شود. در حلقه‌ای دیگر، بهبود «کیفیت آموزش زیست‌محیطی دانشگاه‌ها (F48)»، «نظام جذب و ارتقای منابع انسانی (F49)» و تقویت «توان فنی و تخصصی کارشناسان محیط‌زیستی در عمل (F47)» به افزایش «ظرفیت اجرایی و فنی نهاد ناظر (F2)» می‌انجامد. این افزایش ظرفیت می‌تواند به‌طور مستقیم بر اثربخشی اجرای مقررات تأثیر گذاشته و در طولانی‌مدت موجب ارتقای جایگاه سازمان ناظر در ساختارهای حاکمیتی و تصمیم‌گیری شود.

در مجموع، تحلیل ساختار حلقه‌های بازخوردی نشان می‌دهد که علی‌رغم غلبه نسبی حلقه‌های تقویتی که تداوم مشکلات را تضمین می‌کنند، فرصت‌هایی نیز از طریق حلقه‌های متعادل‌کننده برای اصلاح و بهبود نظام تنظیم‌گری زیست‌محیطی وجود دارد. شناسایی و تقویت این حلقه‌های متعادل‌کننده، کلید اصلی حرکت به سوی پایداری زیست‌محیطی و بهبود نظام حکمرانی محیط‌زیستی کشور است.

۴-پیشنهادات اصلاحی با توجه به تحلیل دیاگرام چرخه علّی وضعیت موجود

نتایج تحلیل ساختاری روابط علّی و معلولی موجود در نظام مقررات زیست‌محیطی ایران در صنایع نفت و گاز، نشان‌دهنده چالش‌های اساسی و گلوگاه‌های ساختاری است که منجر به تضعیف پیوسته اثربخشی نظارت و اجرای مقررات شده است. این تحلیل، ضمن آشکار کردن نقاط ضعف ساختاری، فرصت‌هایی برای اصلاحات مؤثر در نظام حکمرانی محیط‌زیستی ارائه می‌دهد. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده، می‌توان مجموعه‌ای از پیشنهادات سیاستی، نهادی و حقوقی مشخص را مطرح کرد که قابلیت اجرای آن‌ها در چارچوب فعلی نیز قابل ارزیابی است.

پیشنهاد اول با توجه به ضعف موجود در الزام‌آوری مقررات (F1)، اصلاح بنیادین فرآیند تدوین مقررات زیست‌محیطی با تأکید بر استفاده اجباری و قانونی از شاخص‌های کمّی و جامع ارزیابی چرخه حیات (LCA) ارائه می‌شود. در این راستا، ضروری است قانون حفاظت و بهسازی محیط‌زیست و همچنین آیین‌نامه‌های ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بازنگری شده و بندهایی جهت الزام دستگاه‌ها و شرکت‌های فعال در حوزه نفت و گاز برای استفاده از ابزارهای دقیق و نظام‌مند ارزیابی چرخه حیات اضافه گردد. این تغییرات، نه‌تنها باعث افزایش دقت در تصمیم‌گیری می‌شود، بلکه از مسیر ایجاد داده‌های جامع و معتبر، امکان نظارت و پاسخگویی شفاف‌تر نهادهای مسئول را فراهم می‌آورد.

پیشنهاد دوم به‌منظور افزایش ظرفیت اجرایی و فنی نهاد ناظر (F2) است. تحلیل موجود نشان می‌دهد که ظرفیت فنی و تخصصی نهاد ناظر به‌طور جدی تحت تأثیر عواملی نظیر صلاحیت حرفه‌ای مشاوران (F53)، آموزش تخصصی زیست‌محیطی (F25)، و نظام جذب و ارتقای منابع انسانی (F49) قرار دارد. برای رفع این نقیصه، پیشنهاد می‌شود برنامه‌ای جامع برای ارتقای تخصصی و حرفه‌ای کارشناسان محیط‌زیستی طراحی شود که شامل تدوین و اجرای دوره‌های تخصصی پیشرفته مبتنی بر استانداردهای جهانی در حوزه ارزیابی چرخه حیات باشد. همچنین بازنگری در نظام استخدام، نگهداشت و ارتقای منابع انسانی به نحوی که انگیزه‌های مادی و غیرمادی کافی برای کارشناسان فراهم شود، در اولویت قرار گیرد.

پیشنهاد سوم، ایجاد مکانیزم شفاف گزارش‌دهی زیست‌محیطی بر مبنای داده‌های کمی و قابل استناد LCA است که مستقیماً به بهبود شفافیت و پاسخگویی (F5) منجر می‌شود. این سامانه گزارش‌دهی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که اطلاعات عملکرد زیست‌محیطی پروژه‌ها به‌طور منظم و استاندارد، در دسترس عموم و نهادهای مدنی و کارشناسی قرار گیرد. چنین شفافیتی موجب تقویت نظارت مردمی، افزایش فشار اجتماعی برای عملکرد بهتر و ارتقای پاسخگویی نهادهای مجری خواهد شد.

پیشنهاد چهارم مرتبط با افزایش استقلال نهاد ناظر (F4) است که به‌عنوان یکی از گلوگاه‌های اصلی در ساختار کنونی مطرح است. برای رفع این چالش، تدوین مقررات شفاف‌کننده روابط میان سازمان محیط زیست و نهادهای دیگر (F44)، تخصیص منابع مالی مستقل (F43)، و تغییر در رویه انتصاب مدیران ارشد (F42) ضروری است. پیشنهاد می‌شود با اصلاح اساسنامه سازمان حفاظت محیط زیست، این نهاد به مرجع قانونی و تنظیم‌گر قدرتمند، با استقلال اداری و مالی کامل تبدیل شود و سازوکارهای انتصابات آن از دخالت نهادهای سیاسی و اقتصادی مصون بماند.

پیشنهاد پنجم به شفافیت و دقت فرآیند صدور مجوزها (F6) اختصاص دارد. در حال حاضر، عدم وجود استانداردهای بومی (F51) و نبود سازوکار مؤثر تجدیدنظر در مجوزها (F32) باعث شده تا صدور مجوزها به‌شدت تحت تأثیر فشارهای اقتصادی و سیاسی قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود که دستورالعمل‌های فنی دقیق مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی و بومی‌شده برای ارزیابی پروژه‌ها تدوین شده و همچنین نهاد مستقل ثالثی برای راستی‌آزمایی و بازبینی مجوزهای صادرشده ایجاد شود.

پیشنهاد ششم مرتبط با بازنگری مداوم در قوانین زیست‌محیطی (F38) و فعال‌سازی حلقه یادگیری نهادی است. ضروری است که ساختارهایی برای ارزیابی مداوم اثربخشی قوانین موجود (F39)، تخصیص منابع مالی کافی برای بازنگری و اصلاح مستمر مقررات (F40)، و افزایش اولویت محیط زیست در سیاست‌های کلان (F41) ایجاد شود. این اقدامات به‌تدریج موجب شکل‌گیری فرهنگ سیاست‌گذاری مبتنی بر یادگیری و اصلاح مستمر خواهد شد.

پیشنهاد هفتم، تقویت نقش رسانه‌ها و افزایش آگاهی عمومی است. با توجه به اهمیت نقش رسانه‌ها (F28) در افزایش فشار اجتماعی و مطالبه‌گری (F50)، پیشنهاد می‌شود حمایت حقوقی و سیاسی از رسانه‌های تخصصی زیست‌محیطی تقویت شود. ایجاد بستر قانونی و حمایتی برای فعالیت آزاد رسانه‌ها در حوزه افشاگری و اطلاع‌رسانی زیست‌محیطی می‌تواند به‌صورت قابل‌توجهی سطح نظارت عمومی و اجتماعی را ارتقا دهد.

در نهایت، تحقق این پیشنهادات به اراده سیاسی جدی در سطوح عالی تصمیم‌گیری و حکمرانی کشور نیازمند است. لازم است تا مجموعه‌ای از اقدامات حمایتی شامل تصویب قوانین مادر، بازنگری در ساختار حقوقی نهادهای نظارتی، توانمندسازی فنی و نهادی کارشناسان، و ایجاد سازوکارهای نظارت مستقل و شفاف به‌طور هم‌زمان و منسجم اجرا شود. تحلیل انجام‌شده نشان می‌دهد که صرفاً با ایجاد تغییرات جزئی و پراکنده نمی‌توان به اثربخشی موردنظر دست یافت؛ بلکه رویکردی جامع، نظام‌مند و مستمر مورد نیاز است تا زمینه‌ساز گذار از وضعیت فعلی به ساختاری پایدار، یادگیرنده و داده‌محور شود. اجرای این پیشنهادات، ضمن ارتقای پایدار شاخص‌های زیست‌محیطی، زمینه‌های لازم برای پاسخگویی بهتر، مشارکت فعال‌تر جامعه مدنی و در نهایت تحقق اهداف توسعه پایدار را فراهم خواهد ساخت.

۴-۱-محدودیت‌های مدل

مدل‌سازی حلقه‌های علّی و معلولی (CLD) که در این مطالعه به‌عنوان ابزار اصلی تحلیل به کار گرفته شده، گرچه توانسته پیچیدگی‌های نهادی، حقوقی و رفتاری نظام سیاست‌گذاری زیست‌محیطی را به‌صورت ساختاری شفاف‌سازی کند، اما به‌طور ذاتی با محدودیت‌هایی مواجه است. مهم‌ترین محدودیت این رویکرد، ماهیت کیفی آن و اتکای اجتناب‌ناپذیر به تفسیر پژوهشگر در شناسایی و جهت‌دهی روابط میان متغیرهاست. برخلاف مدل‌های کمّی مبتنی بر داده‌های عددی، CLD قادر به سنجش شدت روابط، شبیه‌سازی سناریوها یا پیش‌بینی رفتار دینامیک سیستم به‌صورت عددی نیست. به همین دلیل، نتایج این مطالعه عمدتاً در سطح تحلیل سیستمی و ساختاری باقی مانده و به مدل‌سازی پویای رفتار سیستم منتهی نمی‌شود.

برای عبور از این محدودیت، پیشنهاد می‌شود در ادامه مسیر پژوهشی، از مدل‌سازی‌های داده‌محور مانند مدل‌سازی پویایی سیستم (System Dynamics) یا مدل‌سازی مبتنی بر عامل (Agent-Based Modeling) در کنار CLD استفاده شود. چنین ترکیبی این امکان را فراهم می‌سازد که علاوه بر درک ساختاری از سازوکارها، بتوان شدت اثر متغیرها را بر یکدیگر سنجید، سناریوهای سیاستی مختلف را شبیه‌سازی کرد و تحلیل حساسیت انجام داد. بهره‌گیری از داده‌های واقعی حاصل از ارزیابی چرخه حیات (LCA) در پروژه‌های منتخب صنعت نفت و گاز نیز می‌تواند بُعد تجربی مدل را تقویت کرده و قابلیت اتکای آن را برای تصمیم‌گیری افزایش دهد. اتصال میان مدل مفهومی CLD و داده‌های واقعی، گامی کلیدی در تبدیل یک چارچوب تحلیلی کیفی به یک ابزار عملی برای پشتیبانی از سیاست‌گذاری زیست‌محیطی خواهد بود.

علاوه بر این، ساختار طراحی‌شده در این پژوهش با تمرکز بر صنعت نفت و گاز ایران توسعه یافته است. با توجه به اشتراکات ساختاری و نهادی این صنعت با حوزه‌های پرریسک دیگر نظیر صنایع پتروشیمی، نیروگاهی، معادن فلزی و پروژه‌های زیرساختی بزرگ، امکان بسط چارچوب مفهومی حاضر به این بخش‌ها نیز وجود دارد. همچنین پیشنهاد می‌شود از این چارچوب تحلیلی در سطوح بالاتر حکمرانی، از جمله تحلیل سیاست‌گذاری توسعه پایدار کشور، برنامه‌های پنج‌ساله توسعه، و نظام آمایش سرزمین استفاده شود. چنین گسترشی

می‌تواند به غنای ادبیات ملی در حوزه سیاست‌گذاری محیط‌زیستی کمک کرده و پایه‌ای برای تصمیم‌سازی مبتنی بر نگاه سیستمی در سطح کلان کشور فراهم آورد.

۵-نتیجه گیری

ساختار حقوقی و نهادی زیست‌محیطی صنعت نفت و گاز ایران، علیرغم وجود اسناد رسمی و آیین‌نامه‌های ارزیابی، به دلیل ضعف‌های جدی در الزامات اجرایی، ظرفیت نهادی، استقلال نظارتی و شفافیت مقررات، از تحقق مؤثر اهداف پایداری فاصله دارد. تحلیل وضعیت موجود با استفاده از مدل حلقه‌های علّی و معلولی (CLD) نشان داد که عملکرد نظام سیاست‌گذاری زیست‌محیطی در این حوزه، تحت تأثیر شبکه‌ای از روابط تقویتی مخرب قرار دارد؛ روابطی که با تضعیف نهاد ناظر، کاهش انگیزه برای اعمال محدودیت، و تقدم منافع اقتصادی کوتاه‌مدت، چرخه‌هایی را ایجاد کرده‌اند که موجب تقویت موانع اصلاحی و بازتولید ناکارآمدی می‌شوند.

این مطالعه با ترسیم روابط علّی میان ۵۴ متغیر کلیدی شناسایی شده، موفق شد ساختار پنهان و غیرخطی نظام سیاست‌گذاری زیست‌محیطی کشور در بخش نفت و گاز را شفاف‌سازی کند. در این ساختار، کاهش شفافیت و پاسخگویی در گزارش‌دهی (F5)، فقدان کارآمدی در قوانین تنظیم‌کننده روابط نهادی (F44)، کاربرد محدود شاخص‌های جامع (F3)، و سطح پایین مطالبه‌گری و فشار اجتماعی (F50)، از جمله عواملی هستند که نقش مهمی در پایداری وضعیت نامطلوب موجود ایفا می‌کنند. همچنین، شناسایی متغیرهای پرگره و نقاط مداخله مؤثر، از طریق تحلیل موقعیت آن‌ها در حلقه‌های بازخوردی، بستری برای طراحی اقدامات سیاستی هدفمند فراهم کرده است.

بر همین اساس، در این پژوهش هفت پیشنهاد سیاستی مشخص بر پایه یافته‌های مدل دیاگرام چرخه علّی ارائه شده است. این پیشنهادها با هدف مداخله مؤثر در نقاط کلیدی سیستم شامل: ارتقای الزام‌آوری مقررات، استفاده از شاخص‌های داده‌محور مانند LCA، بازآرایی وظایف نهادی، تقویت شفافیت و پاسخ‌گویی، ارتقای ظرفیت کارشناسی، حمایت از مطالبه‌گری اجتماعی و رسانه‌ای، و تقویت استقلال نظارتی تدوین شده‌اند. هر یک از این پیشنهادها، با هدف قطع یا تعدیل روابط تقویتی مخرب و فعال‌سازی حلقه‌های یادگیری و اصلاح در سیستم ارائه شده‌اند.

از منظر سیاست‌گذاری، یافته‌های این پژوهش بر لزوم تغییر نگاه از مداخلات جزیره‌ای و انفعالی به سمت سیاست‌گذاری سیستمی، ساختارمحور و مبتنی بر شواهد تأکید دارد. همچنین نشان می‌دهد که بدون اصلاح در متغیرهای زیرساختی و شبکه‌ای، اصلاحات ظاهری و مقطعی نمی‌توانند منجر به پایداری نهادی یا زیست‌محیطی شوند. این رویکرد تحلیلی می‌تواند الگویی قابل تعمیم برای تحلیل سایر حوزه‌های پرریسک کشور نیز باشد.

در نهایت، پیشنهاد می‌شود در ادامه این مسیر، از روش‌های ترکیبی همچون مدل‌سازی پویایی سیستم یا تحلیل‌های داده‌محور (نظیر SD و ABM) مبتنی بر خروجی‌های واقعی پروژه‌های صنعتی بهره‌گیری شود. پیوند دادن مدل کیفی CLD با داده‌های تجربی، امکان شبیه‌سازی دقیق‌تر، تحلیل حساسیت و تصمیم‌سازی کاربردی برای سیاست‌گذاران را فراهم کرده و زمینه‌ساز گذار به حکمرانی زیست‌محیطی هوشمند و مبتنی بر شواهد خواهد بود.

۶-منابع

1- Shrivastava, S. and S. Unnikrishnan. *Review of life cycle assessment and environmental impacts from the oil & Gas sector*. in *28th International Conference for the International Association of Management of Technology: Managing Technology for Inclusive and Sustainable Growth, IAMOT*. 2019.

2- Jegen, M., *Life cycle assessment: from industry to policy to politics.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 2024. **29**(4): p. 597-606.

3- Muhyinsyah, A., J. Witono, and E. Santosa. *Life cycle assessment of natural gas and crude oil: case study in PT Pertamina Hulu Mahakam–BSP Site*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. IOP Publishing.

4-Yi, Y., et al., *Integration of life cycle assessment and system dynamics modeling for environmental scenario analysis: A systematic review.* Science of The Total Environment, 2023. **903**: p. 166545.

5-Gasmi, C.F. and W. Long, *Building a Life Cycle Assessment Model using Bayesian Networks.* arXiv preprint arXiv:2401.10170, 2024.

6-Reed, D.L., *Life-cycle assessment in government policy in the United States*, in *Department of Forestry, Wildlife, and Fisheries*. 2012, University of Tennessee.

7-Zhang, H., *Regulations for carbon capture, utilization and storage: Comparative analysis of development in Europe, China and the Middle East.* Resources, Conservation and Recycling, 2021. **173**: p. 105722.

8-Reed, D.L., *Life-cycle assessment in government policy in the United States.* 2012.

9-Outka, U., *Environmental law and fossil fuels: Barriers to renewable energy.* Vand. L. Rev., 2012. **65**: p. 1679.

10- Milford, J.B., *Out in Front? State and federal regulation of air pollution emissions from oil and gas production activities in the western United States.* Natural Resources Journal, 2014. **55**(1): p. 1-46.

11- Carriger, J.F., B.E. Dyson, and W.H. Benson, *Representing causal knowledge in environmental policy interventions: Advantages and opportunities for qualitative influence diagram applications.* Integrated environmental assessment and management, 2018. **14**(3): p.۳۸۱-۳۹۴ .

12-Gudlaugsson, B., et al., *A qualitative based causal-loop diagram for understanding policy design challenges for a sustainable transition pathway: the case of tees valley region, UK.* Sustainability, 2022. **14**(8): p. 4462.

13- Vahidi, H., M. BagherzadehKouhbanani, and A. AliHosseini, *Investigating the formal and informal cycle of waste management in Kerman using the CLD model.* Journal of Material Cycles and Waste Management, 2024. **26**(4): p. 2464-2477.

14- Huang, Y., et al., *Enabling the Legal and Regulatory Framework for Large-scale Carbon Capture Utilisation and Storage (CCUS) Projects.* 2014.

15-Shipman, J., et al. *Comprehensive Overview of US Environmental Regulations; Implementation and Impact on the Industry*. in *SPE Western Regional Meeting*. 2019. SPE.

16-Jiang, K., et al., *China's carbon capture, utilization and storage (CCUS) policy: A critical review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020. **119**: p. 109601.

17-Al-Breiki, M. and Y. Bicer, *Comparative life cycle assessment of sustainable energy carriers including production, storage, overseas transport and utilization.* Journal of Cleaner Production, 2021. **279**: p. 123481.

18-Song, D., T. Jiang, and C. Rao, *Review of policy framework for the development of carbon capture, utilization and storage in China.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022. **19**(24): p. 16853.

19-Al-Nasser, S.A., *The Consequences of Legal Challenges for Oil and Gas Industry: Global Trends in Climate Change Litigation and Management.* Access to Just. E. Eur., 2023: p. 163.

20- de Araujo, I.L., et al., *Designing Brazilian institutional framework for Carbon Capture, Use and Storage (CCUS) activities: the role of competent authority.* Revista Jurídica da Presidência, 2024. **26**(138): p.۴۴-۷۴ .

21- Wang, Y., et al., *Life cycle environmental impact assessment of natural gas distributed energy system.* Scientific Reports, 2024. **14**(1): p. 3292.

22- Vahidi, H. and M.A. Bagherzadeh Kohbanani, *Modeling the Causal Loop Diagram of the Waste Management Cycle and Providing a Solution to Organize the Existing Situation (Kerman Case Study).* Environmental Sciences, 2024. **22**(3): p. 407-426.

23- Barbrook-Johnson, P. and A.S. Penn, *Causal loop diagrams*, in *Systems mapping: How to build and use causal models of systems*. 2022, Springer. p. 47-59.

24- May, C.C.M. and N. Sakundarini. *Application of System Dynamic Modelling in Mitigating Engineering Project Management*. in *Selected Articles from the Smart and Sustainable Industrial Ecosystem Conference 2024: SSIEC 2024, 5 August, Kuala Lumpur, Malaysia*. 2025. Springer Nature.

25- Hanf, F.S., et al., *Towards a socio-ecological system understanding of urban flood risk and barriers to climate change adaptation using causal loop diagrams.* International Journal of Urban Sustainable Development, 2025. **17**(1): p. 69-102.

26- Zarlis, M., H. Mawengkang, and S. Efendi, *ANALYSIS OF DECISION MAKING PROBLEM MODELS IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT PLANS USING CAUSAL LOOP DIAGRAMS AND VENSIM APPLICATIONS.* Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, 2021. **12**(12): p. 4776-4783.