



Structural Analysis of Chip-Design Drivers in Iran

1. Parisa Yarmohammadi
2. Sepehr Ghazinoory ♦
3. Farideh Bahrami

Article Type: Research Paper

Vol. 35 | No. 4 | Serial 100 | Jan. 2026

Received: 2026.03.22

Revised: 2026.04.21

Accepted: 2026.04.29

Published Online: 2025.08.15

Pages:

P-ISSN: 1027-2690

E-ISSN: 2783-4514

Abstract

The global semiconductor industry has become a strategic arena where technological capabilities and geopolitical considerations intersect. Within this landscape, the design segment of the semiconductor value chain is both a high-value-added activity and a relatively accessible entry point for latecomer countries that face constraints in fabrication. In Iran, however, policy and analytical discussions around semiconductors remain fragmented and largely descriptive, typically offering general narratives or high-level checklists rather than a systematic view of the chip design ecosystem, its structure, and its internal drivers and dependencies. This study addresses that gap by examining the systemic configuration of the chip design ecosystem in Iran and identifying key variables that shape its future trajectories.

The contribution of the research is primarily methodological and analytical. Instead of proposing new policy packages, it introduces an explicit structural framework for understanding how components of the chip design ecosystem are interrelated, which variables act as structural drivers, and which are mainly dependent outcomes. This provides a more coherent basis for subsequent policy design, expert deliberation, and strategic planning.

The study applies the MICMAC method (Matrix of Cross-Impact Multiplications Applied to Classification), which is suited to contexts where multiple variables interact in complex ways and where expert knowledge exists but is dispersed or tacit. Conventional, template-based approaches—such as generic policy frameworks, broad checklists, or simple benchmarking—tend to list factors or summarize policies without rigorously representing relationships among variables

Keywords

Structural Analysis, MICMAC, Chip Design, Semiconductor Industry, Technology Policy.

1. PhD Candidate in S&T Policy, Tarbiat Modares University Tehran, Iran,
p.yarmohammadi@modares.ac.ir
ORCID: 0000-0003-1366-8870
2. ♦ Professor of Information Technology Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran (Corresponding Author),
ghazinoory@modares.ac.ir
ORCID: 0000-0002-6761-4694
3. Senior Researcher in Technology Management, HEC Montreal Business School, Montreal, Canada,
bahrami.farideh@hec.ca
ORCID: 0000-0002-7160-0834

Cite This Paper: Yarmohammadi, P., Ghazinoory, S., Bahrami, F. (2025). Structural Analysis of Chip-Design Drivers in Iran. *Rahyافت*, 35 (4), . (Persian).

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12256.1652



© The Author(s)

Publisher: National Research Institute for Science Policy (N.R.I.S.P)

or distinguishing structural drivers from downstream consequences.

In contrast, the structural analysis focuses on patterns of interrelationship. Based on expert input, a cross-impact matrix is constructed that captures direct influences among institutional, technological, human capital, market, and governance variables in the chip design ecosystem. MICMAC is then used to analyze direct and indirect effects, quantify influence and dependence, and classify variables into key drivers, dependent variables, relay variables, and relatively autonomous elements. This moves the analysis beyond inventories of strengths and weaknesses toward a systemic understanding of how changes in one part of the ecosystem propagate through the rest.

Empirically, the research focuses on the design segment rather than the entire semiconductor value chain, reflecting both the relative feasibility of capacity building in design for a country like Iran and the strategic role of design as a knowledge-intensive activity. Existing policy reports in Iran often address semiconductors at an aggregate level, with limited attention to the design ecosystem as a distinct yet interconnected subsystem. The international literature similarly concentrates on global chains and leading players, with little specific analysis of Iran. The study thus seeks to narrow this analytical gap regarding the systemic structure of Iran's chip design ecosystem.

The findings highlight a set of variables with strong driving roles: coherence and continuity of industrial and technological policy in semiconductors; availability of specialized human capital and advanced training; access to design tools and infrastructure; linkages among universities, research centers, and industry; and the degree of integration with regional and global markets. The MICMAC results indicate which variables exert high influence and how some function as indirect levers whose effects emerge through second- and third-order impacts. In contrast, variables such as the number and sophistication of domestic design firms, participation in international projects, and the maturity of local value networks appear as highly dependent. These are important performance indicators but do not constitute effective leverage points in themselves; improving them sustainably requires interventions on the upstream drivers

identified by the structural analysis.

A further contribution of the study lies in transforming dispersed expert intuition into a structured representation. In many policy areas, experts possess rich but informal knowledge about constraints, opportunities, and causal mechanisms. The MICMAC-based structural analysis provides a way to capture such knowledge systematically, enabling collective reflection on ecosystem structure and supporting more coherent debate on strategic options. In the case of Iran's chip design ecosystem, this is particularly relevant because internal documents often present problem lists and solution lists without clarifying how they are connected or which interventions have the highest leverage.

The research also acknowledges its limitations. The analysis relies on a selected group of experts and a finite set of variables and therefore cannot cover all dimensions of the ecosystem. The focus on design implies that interactions with other segments of the semiconductor chain—such as fabrication, packaging, and upstream supply—are captured only indirectly. Moreover, the study does not evaluate specific policy instruments or simulate future scenarios; rather, it offers a structural map intended to inform such work in subsequent research.

These limitations suggest several avenues for future study: comparative international research placing Iran's chip design ecosystem alongside selected successful countries; in-depth case studies examining how governments, intermediary institutions, universities, and firms have jointly shaped their design ecosystems; and exploratory assessments of how alternative policy choices might affect key structural variables, using simple and transparent methods. Overall, the paper does not seek to prescribe a comprehensive strategy; instead, it demonstrates how MICMAC-based structural analysis can be used to construct an analytical framework for understanding the systemic structure of Iran's chip design ecosystem and offers a conceptual foundation on which future empirical and policy-oriented work can build.



تحلیل ساختاری پیشران‌های طراحی تراشه در ایران

۱. پریسا یارمحمدی

۲. سپهر قاضی‌نوری

۳. فریده بهرامی

• نوع مقاله: پژوهشی

• دوره ۳۵ | شماره ۴ | پیاپی ۱۰۰ | دی ۱۴۰۴

• تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

• تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱

• تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸

• تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴

• صفحات:

• شابای چاپی: ۱۰۲۷-۲۶۹۰

• شابای الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۱۴

چکیده

صنعت نیمه‌هادی در سال‌های اخیر به زیرساختی حیاتی برای تحول دیجیتال، رقابت فناورانه و حتی امنیت ملی کشورها تبدیل شده است. در این میان، طراحی تراشه به مثابه حلقه‌ای دانش‌محور و کمتر سرمایه‌بر در زنجیره ارزش نیمه‌هادی، گزینه‌ای واقع‌بینانه برای ورود کشورهای در حال توسعه به این عرصه محسوب می‌شود. با وجود این ظرفیت، مسیر آینده طراحی تراشه در ایران زیر سایه‌ای از عدم قطعیت‌های فناورانه، نهادی و اقتصادی قرار دارد و نگاه صرفاً فنی نمی‌تواند پیچیدگی آن را توضیح دهد. از این رو، پرسش این است که چه نیروهای ساختاری، بیشترین نقش را در شکل‌دهی به طراحی تراشه در ایران ایفا می‌کنند و چگونه می‌توان بر مبنای آنها سیاست‌گذاری مؤثرتری انجام داد. این پژوهش با هدف شناسایی پیشران‌های کلیدی توسعه طراحی تراشه در ایران، از روش تحلیل ساختاری بهره می‌گیرد. ابتدا با مرور نظام‌مند پیشینه صنعت نیمه‌هادی، بوم‌سازگان نوآوری و سیاست‌گذاری فناوری، و نیز انجام مصاحبه و مشورت با خبرگان، مجموعه‌ای اولیه از متغیرهای اثرگذار استخراج شد. این فهرست در چند مرحله بازبینی و ادغام، به ده متغیر نهایی در چهار بعد فناورانه، نهادی، اقتصادی و منابع انسانی تقلیل یافت. در گام بعد، روابط متقابل میان این متغیرها با استفاده از ماتریس اثرات مستقیم و بر اساس قضاوت ده نفر از خبرگان طراحی تراشه، سیاست‌گذاری فناوری و سرمایه‌گذاری ارزیابی و داده‌ها در نرم‌افزار میک‌مک تحلیل شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که «حمایت و سیاست‌گذاری دولت» و «اتصال به بازارهای بین‌المللی و مشارکت در زنجیره ارزش جهانی» بیشترین ظرفیت اثرگذاری ساختاری بر دیگر مؤلفه‌های طراحی تراشه را دارند و به عنوان پیشران‌های اصلی آینده آن در ایران عمل می‌کنند. در مقابل، عواملی مانند توان فنی طراحی پیشرفته، کیفیت آموزش نیروی متخصص، حفظ نخبگان، دسترسی به ابزارهای طراحی و دسترسی به فانداری عمدتاً در

کلیدواژه‌ها

تحلیل ساختاری، میک‌مک، طراحی تراشه، صنعت نیمه‌هادی، سیاست‌گذاری فناوری.

۱. دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

p.yarmohammadi@modares.ac.ir

ORCID: 0000-0003-1366-8870

۲. استاد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت

مدرس، تهران، ایران (پدیدآور رابط)

ghazinoory@modares.ac.ir

ORCID: 0000-0002-6761-4694

۳. پژوهشگر ارشد مدیریت فناوری، دانشگاه اچ‌ای‌سی، مونترال، کانادا

bahrami.farideh@hec.ca

ORCID: 0000-0002-7160-0834

استناد به این مقاله: یارمحمدی، پ.، قاضی‌نوری، پ. و بهرامی، ف. (۱۴۰۴). تحلیل ساختاری پیشران‌های طراحی تراشه در ایران. راه‌یافت، ۳۵ (۴)، صص. .

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12256.1652

ناشر: مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور
نویسندگان: © حق مؤلف



جایگاه متغیرهای وابسته قرار گرفته‌اند و به‌شدت از وضعیت این دو پیشران تأثیر می‌پذیرند. این الگو نشان می‌دهد که مسئله اصلی توسعه طراحی تراشه در ایران، بیش از آنکه صرفاً چالشی فنی باشد، مسئله‌ای ساختاری و سیاستی است؛ مسئله‌ای که حل آن مستلزم ترکیب حمایت پایدار و پیش‌بینی‌پذیر دولت با حفظ و تقویت مسیرهای اتصال به شبکه‌های جهانی دانش، فناوری و بازار است.

مقدمه

صنعت نیمه‌هادی در عصر حاضر از مرزهای یک حوزه صنعتی متعارف فراتر رفته و به پیشران اصلی اقتصاد دیجیتال و رکن بنیادین قدرت ملی کشورها بدل شده است. این صنعت به‌عنوان بستر توسعه فناوری‌های نوظهور، از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا تا سامانه‌های پیشرفته دفاعی، نقشی بی‌بدیل ایفا می‌کند. با گذر ارزش بازار جهانی این حوزه از مرز ۶۰۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۴ و چشم‌انداز تریلیون دلاری آن در دهه پیش رو، تراشه‌های الکترونیکی به کانون اصلی رقابت‌های ژئوپلیتیک و تعیین‌کننده برتری فناوری در نظام بین‌الملل تبدیل شده‌اند (Semiconductor Industry Association, 2025).

هم‌زمان با تشدید رقابت‌های فناوری در میان قدرت‌های بزرگ و بروز اختلالات در زنجیره‌های تأمین، ماهیت این صنعت دستخوش دگرگونی شده و تراشه از یک محصول تجاری به ابزاری برای اهرم‌سازی سیاسی تغییر کارکرد داده است (Bateman, 2021; Capri, 2021; Kim & Rho, 2024; Wong et al., 2024). در این فضای پرتنش، ایران با وضعیتی پیچیده و دوگانه روبه‌روست: از یک‌سو توسعه توانمندی بومی در این حوزه برای تضمین امنیت ملی و تاب‌آوری زیرساخت‌ها ضرورتی حیاتی دارد؛ اما از سوی دیگر محدودیت‌های ساختاری در جذب سرمایه و موانع دسترسی به تجهیزات پیشرفته ساخت، امکان ورود به بخش‌های سرمایه‌بر و سخت‌افزاری را با چالش‌های جدی مواجه کرده است (Naghizadeh et al, 2015).

در مواجهه با محدودیت‌های ساختاری صنعت نیمه‌هادی در ایران، این پژوهش بخش طراحی تراشه را به‌عنوان محور اصلی تحلیل انتخاب می‌کند. هرچند در میان حلقه‌های مختلف زنجیره ارزش نیمه‌هادی، بخش‌هایی مانند بسته‌بندی و آزمون در نگاه نخست ممکن است گزینه‌هایی کم‌هزینه‌تر و در دسترس‌تر برای ورود کشورهای در حال توسعه در نظر گرفته شوند، اما انتخاب نقطه ورود مناسب صرفاً تابع سرمایه‌بری کمتر یا پیچیدگی فنی پایین‌تر نیست، بلکه به امکان استقرار پایدار آن فعالیت در بستر ملی و قابلیت اتصال آن به زنجیره ارزش جهانی نیز بستگی دارد. در خصوص

ایران، بسته‌بندی و آزمون، به‌رغم اهمیت صنعتی، به‌مثابه حلقه‌ای انتهایی برای دستیابی به پایداری اقتصادی و مقیاس‌پذیری، مستلزم جریان مستمر ورودی تراشه، سفارش صنعتی، انطباق با استانداردهای سخت‌گیرانه و پیوند عملیاتی با حلقه‌های بالادستی زنجیره است؛ شرایطی که در وضعیت فعلی کشور با محدودیت‌های جدی‌تری مواجه است. در مقابل، تمرکز بر طراحی و اتخاذ مدل توسعه بدون کارخانه را می‌توان منطقی‌ترین و دسترس‌پذیرترین نقطه ورود به زنجیره ارزش نیمه‌هادی دانست؛ بخشی که بیش از دیگر حلقه‌ها بر سرمایه انسانی متخصص، دانش فنی و توانمندی‌های نرم‌افزاری متکی است و در عین حال، وابستگی کمتری به زیرساخت‌های سنگین، سرمایه‌بر و پرریسک تولید فیزیکی دارد. از این منظر، اولویت‌گذاری بر طراحی تراشه امکان شکل‌دهی تدریجی توانمندی بومی، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و انطباق‌پذیری بیشتر با بوم‌سازگان اقتصادی و نهادی کشور را فراهم می‌سازد و به همین دلیل به‌عنوان محور اصلی این پژوهش انتخاب شده است.

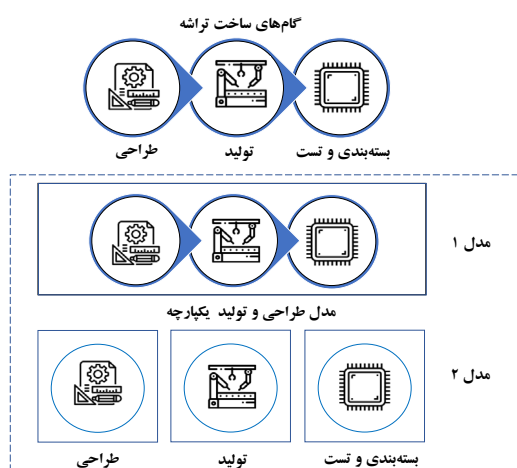
بررسی پیشینه پژوهش و اسناد سیاستی نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده در حوزه نیمه‌هادی‌ها به‌رغم اهمیت آن و اشاره مستقیم در برنامه هفتم توسعه، بسیار محدود است. صنعت نیمه‌هادی به عنوان بنیاد و اساس فناوری‌های نوظهور، پیچیدگی‌های فنی بالایی دارد و مستلزم سیاست‌گذاری دقیق و مبتنی بر مطالعات پویاست. اما در عمل مطالعات محدود انجام‌شده نیز مسیر توسعه این صنعت را بر اساس الگوهای خطی برنامه‌ریزی یا پیش‌بینی‌های مبتنی بر تداوم روندهای گذشته ترسیم کرده‌اند (Ahmadlu, 2025; Kaviani, 2025; Saremi, Zakery, & Kalhor, In press).

طراحی تراشه که حلقه دست‌یافتنی زنجیره ارزش نیمه‌هادی در ایران است، تحت تأثیر مجموعه‌ای از متغیرهای به‌شدت متعامل و ناپایدار قرار دارد؛ از جمله ساختار پیچیده تحریم‌های فناوری، محدودیت دسترسی به ابزارهای طراحی (EDA)، نوسانات اقتصاد کلان و چالش مهاجرت نخبگان. در چنین شرایطی، رویکردهای مبتنی بر پیش‌بینی قطعی یا برنامه‌ریزی خطی، توان تبیین پویایی‌های آینده را ندارند. افزون‌براین، بخش شایان توجهی از الگوهای سیاست‌گذاری ارائه‌شده در پیشینه بین‌المللی بر پیش‌فرض‌هایی استوارند که در بستر ایران وجود ندارد؛ از جمله دسترسی پایدار به حقوق مالکیت فکری، تعامل آزاد با بازارهای جهانی و ثبات نهادی (Hao & Wang, 2024; Jeong, 2024). از این رو، استفاده مستقیم از این الگوها بدون توجه به شرایط بومی، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های کم‌اثر یا پرریسک منجر شود.

در چنین بستری، مسئله اصلی این پژوهش، نه پیش‌بینی خطی آینده صنعت طراحی تراشه، بلکه شناسایی عوامل اصلی و

موتورولا^۳ و تگزاس اینسترومنت^۴ از نمونه‌های شاخص این الگو بودند. در چنین ساختاری، یکپارچگی عمودی نه تنها مزیت فنی، بلکه راهی برای کنترل دانش، کیفیت و سرعت توسعه محصول تلقی می‌شد. با این حال، تداوم این الگو در بلندمدت با افزایش پیچیدگی فناوری و رشد هزینه‌های سرمایه‌گذاری در بخش تولید با محدودیت مواجه شد (Kleinhans & Baisakova, 2020).

از اواخر دهه ۱۹۸۰، هم‌زمان با سرمایه‌برتر شدن فرایند ساخت و نیز افزایش شکاف میان الزامات تولید و طراحی، صنعت نیمه‌هادی به تدریج وارد مرحله‌ای جدید از تخصصی شدن شد (Yeung et al., 2023). در این میان، تأسیس شرکت تی‌اس‌ام‌سی^۵ در تایوان به رهبری موریس چانگ^۶ در سال ۱۹۸۷ به عنوان نقطه عطفی در بازآرایی ساختار صنعت یاد می‌شود (Gao et al., 2023). مدل فاندري^۷ که تی‌اس‌ام‌سی توسعه داد، این امکان را فراهم کرد که طراحی و تولید به صورت نهادی از یکدیگر تفکیک شوند؛ به بیان دیگر، شرکت‌ها می‌توانستند بدون در اختیار داشتن کارخانه ساخت، بر طراحی، معماری و توسعه محصول تمرکز کنند و تولید را به بنگاه‌های تخصصی بسپارند. این تحول یکی از مهم‌ترین تغییرات سازمانی در تاریخ صنعت نیمه‌هادی محسوب شده و زمینه را برای ظهور بازیگران جدید فراهم کرده است. مدل‌های اصلی سازمان‌دهی فعالیت‌ها در صنعت نیمه‌هادی و چگونگی تفکیک طراحی و تولید در زنجیره ارزش این صنعت به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل‌های کسب و کار در صنعت نیمه‌هادی (Kleinhans & Baisakova, 2020)

پیشران‌هایی است که در شرایط آکنده از عدم قطعیت‌های فناورانه، نهادی و اقتصادی، بیشترین نقش را در شکل‌دهی به پویایی‌های توسعه این حوزه ایفا می‌کنند. آینده این صنعت بیش از آنکه تابع تداوم روندهای گذشته باشد، تحت تأثیر برهم‌کنش پیچیده‌ای از عوامل ساختاری، تصمیمات سیاستی و کنش متقابل بازیگران کلیدی قرار دارد؛ عواملی که می‌توانند مسیر توسعه این حوزه را تقویت یا تضعیف کنند. از این رو، تحلیل توسعه طراحی تراشه مستلزم فهم دقیقی از روابط متقابل میان متغیرهای کلیدی مؤثر از طریق شناسایی پیشران‌های اصلی است. بر این اساس، مقاله حاضر با بهره‌گیری از روش تحلیل ساختاری، می‌کوشد پیشران‌های کلیدی مؤثر بر توسعه طراحی تراشه در ایران را شناسایی کند. پرسش اصلی پژوهش عبارت است از اینکه آینده توسعه طراحی تراشه در ایران تحت تأثیر کدام متغیرهای کلیدی شکل می‌گیرد و کدام یک از این متغیرها نقش پیشران در پویایی این حوزه دارند؟

در ادامه، ابتدا پیشینه پژوهش و روندهای تحول صنعت نیمه‌هادی با تمرکز بر جایگاه طراحی تراشه مرور می‌شود. سپس چارچوب روش‌شناختی تحقیق و نحوه اجرای تحلیل ساختاری و مدل میک‌مک تشریح و پس از آن، یافته‌های حاصل از تحلیل روابط میان متغیرها و شناسایی عوامل کلیدی ارائه می‌شود. در مرحله بعد، درباره نتایج به‌دست‌آمده در پرتو ادبیات موضوع و شرایط بومی ایران بحث می‌شود. سرانجام، جمع‌بندی پژوهش همراه با دلالت‌های سیاستی و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

پیشینه پژوهش

تحول صنعت نیمه‌هادی در دهه‌های اخیر بیش از آنکه صرفاً در قالب پیشرفت‌های فنی قابل توضیح باشد، با بازآرایی تدریجی زنجیره ارزش و الگوهای سازماندهی بنگاه‌ها معنا پیدا می‌کند (Kleinhans & Baisakova, 2020). در این چارچوب، نحوه سازماندهی فعالیت‌ها و توزیع نقش‌ها در بخش‌های مختلف زنجیره ارزش، از طراحی و توسعه تا تولید و تأمین تجهیزات، به یکی از محورهای اصلی توجه پژوهش‌ها تبدیل شده است (Akayama et al., 2024). از این منظر، فهم جایگاه کنونی طراحی تراشه مستلزم بازخوانی روندی است که طی آن، صنعت نیمه‌هادی از ساختارهای یکپارچه به الگوهای تخصصی‌تر و شبکه‌ای‌تر گذار کرده است.

بخشی از پیشینه، تحول تاریخی ساختار این صنعت را بررسی کرده و نشان داده که در مراحل اولیه توسعه، الگوی غالب، الگوی یکپارچه بود؛ به این معنا که طراحی، ساخت و گاه بسته‌بندی تراشه‌ها در بنگاهی واحد انجام می‌شد. شرکت‌هایی مانند اینتل^۱، آی‌بی‌ام^۲،

1. Intel
2. IBM

3. Motorola
4. Texas Instrument
5. TSMC
6. Morris Chang
7. Foundry

ظرفیت تولید، تجهیزات و دانش فنی در تعداد محدودی از کشورها و شرکت‌ها، این صنعت را در برابر تنش‌های ژئوپلیتیکی، بحران‌های تجاری، اختلالات ناشی از پاندمی، بلایای طبیعی و محدودیت‌های فناوریانه آسیب‌پذیر کرده است (Grumiller et al., 2022; Kumar et al., 2024; Raj Varadarajan et al., 2024). از این رو، نیمه‌هادی‌ها دیگر صرفاً یک فناوری صنعتی یا کالای واسطه‌ای نیستند، بلکه به یکی از ارکان امنیت اقتصادی، رقابت فناوریانه و سیاست صنعتی کشورها تبدیل شده‌اند. تحلیل برنامه‌هایی مانند قانون چیپس (CHIPS)^۸ در ایالات متحده (United States Congress, 2022)، سرمایه‌گذاری‌های گسترده چین در توسعه ظرفیت‌های بومی (NPCR, 2016, 2021)، و سیاست‌های حمایتی اتحادیه اروپا نیز عموماً در همین چارچوب صورت می‌گیرد. بنابراین، پژوهش‌های صنعت نیمه‌هادی به‌طور فزاینده با مباحث ژئوپلیتیک فناوری، سیاست صنعتی و امنیت اقتصادی درآمیخته است.

بخشی از پیشینه نیز به این پرسش پرداخته که کشورهای در حال توسعه چگونه می‌توانند در صنایع پیچیده، سرمایه‌بر و متمرکز، جایگاهی برای خود ایجاد کنند (Lee et al., 2010; K. Lee & Lim, 2001). در این زمینه، نوعی اجماع نسبی وجود دارد که ورود مستقیم به حلقه ساخت پیشرفته، به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری بسیار سنگین، دسترسی محدود به تجهیزات پیشرفته، انباشت طولانی مدت دانش ضمنی، پیچیدگی زیرساختی و حضور بازیگران مسلط، برای بسیاری از کشورها مسیری دشوار، پرهزینه و پربیسک است (Wang et al., 2023). در مقابل، برخی مطالعات بیان می‌کنند که بخش‌هایی از حلقه‌های زنجیره ارزش نیمه‌هادی‌ها، به‌ویژه طراحی تراشه، توسعه هسته‌های فکری، خدمات مهندسی و آزمون، می‌توانند نقاط ورود واقع‌بینانه‌تری برای کشورهایی باشند که دچار محدودیت سرمایه‌ای هستند، اما از ظرفیت علمی، آموزشی و مهندسی مناسبی برخوردارند (Ahmadlu, 2025; Yeung et al., 2023). در این رویکرد، طراحی تراشه نه به‌مثابه جایگزینی کامل برای ساخت، بلکه نقطه آغاز انباشت قابلیت فناوریانه، پیوند با شبکه جهانی صنعت و شکل‌دهی به زنجیره نوآوری ملی تلقی می‌شود. از این منظر، تمرکز بر فعالیت‌های طراحی را می‌توان یکی از مسیرهای محتمل برای ورود تدریجی به زنجیره ارزش صنعت نیمه‌هادی در کشورهای متاخر تلقی کرد.

در ایران توجه به حوزه میکروالکترونیک و طراحی تراشه، هرچند با فراز و فرود، سابقه‌ای چنددهه‌ای دارد. برخی تلاش‌های اولیه برای ورود به این حوزه از دهه ۱۹۷۰ آغاز شد؛ از جمله فعالیت شرکت صنایع الکترونیک ایران (صایران) که از سال ۱۹۷۲ با سرمایه‌گذاری دولتی در حوزه تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی آغاز به کار کرد

در راستای همین تغییر، پیشینه مربوط به شرکت‌های طراحی بدون تولید^۱ نشان می‌دهد که با تفکیک طراحی از تولید^۲، بخش طراحی تراشه به یکی از مهم‌ترین عرصه‌های خلق ارزش در زنجیره نیمه‌هادی تبدیل شد. شرکت‌هایی مانند کوالکام^۳، انویدیا^۴، ای‌ام‌دی^۵ و برودکام^۶ نمونه‌های شناخته‌شده این الگو هستند؛ شرکت‌هایی که مزیت اصلی آنها نه در مالکیت زیرساخت تولید، بلکه در توان طراحی معماری، توسعه مالکیت فکری و پاسخ‌گویی سریع به تحولات بازار نهفته است. در مقابل، تولید پیشرفته در شرکت‌هایی مانند تی‌اس‌ام‌سی و سامسونگ^۷ تمرکز یافت که این تخصصی شدن دو پیامد اساسی داشته است: طراحی از یک فعالیت پشتیبان در درون بنگاه‌های یکپارچه، به حلقه‌ای مستقل و راهبردی در زنجیره ارزش تبدیل شد؛ و ساختار صنعت از مدل نسبتاً متمرکز، به شبکه‌ای از بازیگران تخصصی با روابط متقابل پیچیده تغییر یافت (Kleinhans & Baisakova, 2020).

بخش دیگری از پیشینه، این تحولات را در سطح کلان‌تر و در قالب زنجیره ارزش جهانی نیمه‌هادی تحلیل می‌کند. از این منظر، تفکیک طراحی، ساخت، بسته‌بندی، آزمون، و تأمین تجهیزات، به توزیع جغرافیایی هریک از این فعالیت‌ها بر مبنای مزیت‌های فناوریانه، دانشی، نهادی و اقتصادی انجامیده است. مطالعات زنجیره ارزش جهانی نشان می‌دهند که صنعت نیمه‌هادی امروز به شبکه‌ای فراملی و عمیقاً درهم‌تنیده تبدیل شده که در آن فعالیت‌های با ارزش افزوده بالا، مانند طراحی پیشرفته، توسعه معماری و مالکیت فکری، عمدتاً در ایالات متحده متمرکز است؛ تولید پیشرفته در تایوان و کره جنوبی تمرکز یافته است و بخش مهمی از مونتاژ، بسته‌بندی و آزمون در کشورهای شرق و جنوب‌شرق آسیا استقرار دارد (Khan et al., 2021; Ou et al., 2024). افزون‌براین، برخی پژوهش‌ها به تمرکز تجهیزات اصلی در نقاط معدودی از جهان اشاره می‌کنند؛ مثلاً نقش شرکت ای‌اس‌ام‌ال در هلند در تأمین ماشین‌های لیتوگرافی پیشرفته نشان می‌دهد که حتی حلقه تجهیزات نیز از منطق تمرکز بالا تبعیت می‌کند (Feng, 2022; Youvan, 2025). بدین ترتیب، زنجیره ارزش نیمه‌هادی را باید نه مجموعه‌ای از فعالیت‌های پراکنده، بلکه سامانه‌ای جهانی، سلسله‌مراتبی و وابسته به گلوگاه‌های متعدد دانست. همین الگوی تمرکز و وابستگی متقابل، در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به مسئله تاب‌آوری زنجیره تأمین و امنیت نیمه‌هادی معطوف کرده است. پژوهش‌های جدید تأکید می‌کنند که تمرکز

1. Fabless
2. Fabrication
3. Qualcomm
4. Nvidia
5. AMD
6. Broadcom
7. Samsung

8. Creating Helpful Incentives to Produce Semiconductors

(Ardalan, 1991). در سال‌های اخیر، همزمان با افزایش اهمیت راهبردی صنعت نیمه‌هادی در سطح جهانی، توجه سیاست‌گذاران ایرانی نیز به توسعه این حوزه افزایش یافته است. در همین راستا، «برنامه ملی میکروالکترونیک» در سال ۲۰۲۳ ذیل معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری شکل گرفت و در برنامه هفتم توسعه نیز بر فناوری‌های میکروالکترونیک به‌عنوان یکی از حوزه‌های پیشران کشور تأکید شده است (IRNA, 2024b). در چارچوب این رویکرد، راهبرد ایران برای ورود به صنعت نیمه‌هادی عمدتاً بر توسعه قابلیت‌های طراحی تراشه متمرکز شده که در مقایسه با مراحل ساخت و تولید، وابستگی کمتری به زیرساخت‌های سرمایه‌بر دارد و بیشتر متکی بر سرمایه انسانی و دانش فنی است. در همین راستا، در سال ۱۴۰۳ بودجه‌ای در حدود ۱۳ هزار میلیارد ریال برای توسعه برنامه‌های مرتبط با میکروالکترونیک، به‌ویژه در حوزه طراحی تراشه، اختصاص یافته است (IRNA, 2024a). بااین‌همه، در ایران نیز همانند بسیاری از کشورهای در حال توسعه، مسئله اصلی صرفاً اعلام اولویت سیاستی نیست، بلکه چگونگی تبدیل این اولویت به مسیر توسعه پایدار، شبکه‌سازی نهادی، انباشت قابلیت و ایجاد پیوند مؤثر میان دانشگاه، صنعت و دولت است.

مرور پیشینه موجود نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات بین‌المللی در زمینه تحول ساختار صنعت نیمه‌هادی، تخصصی شدن زنجیره ارزش، تمرکز جغرافیایی ظرفیت‌ها، امنیت زنجیره تأمین و راهبردهای قدرت‌های بزرگ از غنای درخور توجهی برخوردار است، در مواجهه با مسیرهای کشورهای در حال توسعه، و به‌ویژه در سطح تحلیل‌های بومی و آینده‌نگر، همچنان با محدودیت‌هایی روبه‌روست. بخش مهمی از مطالعات موجود یا بر توصیف ساختار جهانی صنعت متمرکز شده‌اند، یا راهبردهای کشورهای پیشرو را بررسی کرده‌اند، یا به‌صورت کلی از امکان ورود از مسیر طراحی سخن گفته‌اند؛ اما کمتر به این پرسش پرداخته‌اند که توسعه طراحی تراشه در بستر نهادی، اقتصادی و فناورانه یک کشور مشخص، تحت تأثیر چه پیشران‌ها، موانع و عدم قطعیت‌هایی قرار دارد و چه مسیرهای بدیلی را می‌توان برای آینده آن تصور کرد. در خصوص ایران، این خلأ پررنگ‌تر است، زیرا با وجود افزایش توجه سیاستی به این حوزه، هنوز چارچوبی منسجم برای فهم آینده توسعه طراحی تراشه، متناسب با شرایط بومی کشور، به‌قدر کافی بسط نیافته است. از این‌رو، شکاف اصلی پیشینه را می‌توان در نبود یک نگاه سیستمی و آینده‌نگر به توسعه طراحی تراشه در ایران دانست؛ خلأیی که پژوهش حاضر در پی پاسخ‌گویی به آن است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از حیث هدف، کاربردی و از حیث ماهیت، اکتشافی-تحلیلی است. برای شناسایی پیشران‌های اصلی توسعه طراحی تراشه

در ایران، این مطالعه در چارچوب آینده‌نگاری راهبردی انجام شده و از روش «تحلیل ساختاری» برای بررسی روابط میان متغیرها بهره گرفته است (Popper, 2008). در پیشینه آینده‌پژوهی، رویکردهای گوناگونی برای تحلیل آینده صنایع به‌کار رفته‌اند (Moradipour, 2005 & Noroozian)، اما بسیاری از آنها، از جمله رویکرد سناریونویسی مکتب شل، تمرکز اصلی خود را بر شناسایی عدم قطعیت‌های کلان و روایت‌پردازی سناریوها قرار می‌دهند و ابزارهای محدودتری برای تحلیل نظام‌مند ساختار درونی یک سیستم ارائه می‌کنند (Godet, 1979). تحلیل ساختاری، که ریشه در پیشینه روش‌شناسی آینده‌نگاری فرانسوی دارد، امکان شناسایی متغیرهای اصلی و فهم الگوی تعامل آنها را فراهم می‌کند و بر این فرض استوار است که آینده حاصل برهم‌کنش عوامل فناورانه، نهادی، اقتصادی و انسانی در یک سیستم پیچیده است (Ghazinoory et al., 2026). روش تحلیل ساختاری به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی آینده‌نگاری برای مطالعه سیستم‌های پیچیده از فرایندی مرحله‌ای و ساختاریافته پیروی می‌کند (Godet et al., 2008). در کاربرد عمومی این روش، معمولاً چند گام اصلی دنبال می‌شود: نخست، تعریف مسئله و تعیین مرزهای سیستم مورد مطالعه؛ دوم، شناسایی متغیرهای مؤثر بر آینده سیستم بر اساس مرور پیشینه، اسناد سیاستی و نظر خبرگان؛ سوم، تحلیل روابط متقابل میان متغیرها از طریق ماتریس اثرات مستقیم و غیرمستقیم و نرم‌افزارهایی مانند میک‌مک؛ و چهارم، شناسایی متغیرهای اصلی و پیشران‌های اصلی سیستم بر اساس الگوی تأثیرگذاری و وابستگی آنها. در برخی مطالعات آینده‌نگر، از پیشران‌های شناسایی شده برای تدوین سناریوهای سازگار درباره آینده‌های ممکن استفاده می‌شود؛ بااین‌حال، تمرکز پژوهش حاضر صرفاً بر اجرای گام‌های انتهایی به شناسایی متغیرهای اصلی و تحلیل نقش آنها در پویایی سیستم طراحی تراشه در ایران است. بر این اساس، تحلیل ساختاری در این مقاله عمدتاً به‌منظور فهم کمی و نظام‌مند ساختار درونی سیستم و شبکه روابط متقابل میان متغیرها به‌کار رفته است، درحالی‌که رویکردهای سناریونویسی متعارف، مانند مکتب شل، بیشتر بر شناسایی عدم قطعیت‌های کلان محیطی و روایت‌پردازی کیفی سناریوها تمرکز دارند (Hosseini Golkar et al., 2019).

در این پژوهش، سطح تحلیل در مقیاس ملی تعریف شده است؛ بااین‌حال، با توجه به ماهیت جهانی صنعت نیمه‌هادی، برخی عوامل بین‌المللی مؤثر بر اکوسیستم طراحی تراشه نیز در فرایند شناسایی و تحلیل متغیرها مدنظر قرار گرفته‌اند. افق زمانی تحلیل با توجه به ماهیت نسبتاً پایدار متغیرها، میان‌مدت و منطبق با دوره برنامه توسعه کشور (۵ تا ۷ سال) تعیین شد و تحلیل میک‌مک نیز در همین چارچوب زمانی انجام گرفته است. در مرحله شناسایی متغیرها، ابتدا

میکمک، هدف اصلی شناسایی جایگاه و نقش ساختاری متغیرها در شبکه پویای روابط متقابل است. برخلاف مدل‌های خطی و علی سنتی، در این روش تمرکز بر میزان اثرگذاری و اثرپذیری هر متغیر در کل سیستم است، فارغ از اینکه منشأ یا ماهیت مفهومی متغیرها چه ارتباطی با یکدیگر داشته باشند. از این رو، وجود همبستگی یا تداخل مفهومی میان برخی متغیرها نه تنها خللی در تحلیل ایجاد نمی‌کند، بلکه نشان‌دهنده پیچیدگی و درهم‌تنیدگی اجزای سیستم است که میکمک با نگاهی ساختارگرا، نقش هریک را در پویایی نهایی سیستم متمایز می‌سازد.

با مرور پیشینه مرتبط با آینده‌نگاری فناوری، بوم‌سازگان نوآوری و صنعت نیمه‌هادی، و نیز بررسی اسناد و گزارش‌های سیاستی مرتبط با توسعه فناوری‌های راهبردی در ایران، فهرست اولیه‌ای از عوامل اثرگذار بر توسعه طراحی تراشه استخراج شد. سپس متغیرهای مشابه ادغام، عوامل کم‌ارتباط حذف و متغیرهای نهایی متناسب با مسئله پژوهش انتخاب شدند. برآیند این مرحله، شناسایی ۱۰ متغیر اصلی بود که در چهار بعد فناوریانه، نهادی، اقتصادی و منابع انسانی دسته‌بندی شدند و مبنای ورود به تحلیل ساختاری میکمک قرار گرفتند. فهرست نهایی این متغیرها در جدول ۱ ارائه شده است. شایان ذکر است که در تحلیل ساختاری با استفاده از روش

جدول ۱. ابعاد و متغیرهای کلیدی ورودی به تحلیل میکمک در توسعه طراحی تراشه در ایران

متغیرهای کلیدی	بعد
دسترسی به ابزارها و نرم‌افزارهای طراحی تراشه؛ دسترسی به فاندتری (کارخانه) مناسب برای تولید؛ سطح توان فنی کشور در طراحی تراشه‌های پیشرفته	فناورانه
حمایت‌ها و سیاست‌گذاری دولت؛ همکاری بخش‌های مختلف بوم‌سازگان نوآوری؛ اتصال به بازار بین‌المللی و مشارکت در زنجیره ارزش جهانی	نهادی
میزان تخصیص منابع مالی خطرپذیر؛ میزان تقاضای طراحی تراشه در بازار داخلی	اقتصادی
کیفیت آموزش نیروی متخصص؛ توان کشور در حفظ نخبگان	منابع انسانی

نشان‌دهنده نبود اثر، ۱ بیانگر اثر بسیار کم، ۲ نشان‌دهنده اثر متوسط، ۳ بیانگر اثر زیاد و ۴ بیانگر اثر بسیار زیاد بود. با توجه به اینکه در این پژوهش برای همه خبرگان وزن یکسانی در نظر گرفته شد، به‌منظور تجمع دیدگاه‌های آنان از میانگین حسابی امتیازات استفاده شد. بدین ترتیب، پس از گردآوری پرسش‌نامه‌ها، میانگین امتیازات خبرگان برای هر رابطه محاسبه و بر اساس آن ماتریس نهایی اثرات متقاطع شکل گرفت. همچنین به‌منظور سنجش پایایی ابزار گردآوری داده‌ها، ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار آن برابر با ۰٫۹۸، به دست آمد. این مقدار بیانگر همسانی درونی بسیار بالای ابزار اندازه‌گیری و در نتیجه قابلیت اعتماد بالای داده‌های حاصل از ارزیابی خبرگان در تحلیل روابط میان متغیرهاست.

در گام نهایی، ماتریس اثرات حاصل در نرم‌افزار میکمک تحلیل شد. این نرم‌افزار با محاسبه میزان اثرگذاری و وابستگی متغیرها در دو سطح روابط مستقیم و روابط غیرمستقیم، جایگاه هر متغیر را در صفحه تأثیرگذاری-وابستگی ترسیم و در چهار دسته اصلی متغیرهای نافذ، وابسته، پیوندی و مستقل طبقه‌بندی می‌کند (شکل ۲). در این فرایند، افزون‌بر ماتریس اثرات مستقیم، ماتریس اثرات غیرمستقیم نیز از طریق تکرار و توان‌رسانی ماتریس اولیه محاسبه می‌شود تا اثرات زنجیره‌ای، پیامدهای انباشتی و بازخوردهای نهفته میان متغیرها آشکار شود. به بیان دیگر، این ماتریس نشان می‌دهد که

پس از نهایی‌سازی متغیرها، در مرحله بعد، به‌منظور تحلیل روابط متقابل میان آنها، از ماتریس اثرات مستقیم استفاده شد. داده‌های این بخش از طریق پرسش‌نامه تحلیل اثرات متقاطع گردآوری شد. از نظر قلمرو زمانی، فرایند گردآوری داده‌ها، شامل اخذ نظر خبرگان و تکمیل ماتریس روابط میان متغیرها و تحلیل آنها، در اسفند ۱۴۰۴ انجام شد. جامعه خبرگان این پژوهش شامل ۱۰ نفر از افراد متخصص و آگاه در حوزه‌های مرتبط با طراحی تراشه در ایران بود که به‌صورت هدفمند انتخاب شدند. از این میان، ۴ نفر به‌طور تخصصی در حوزه طراحی و فعالیت فنی تراشه دارای تجربه مستقیم بودند، ۲ نفر از خبرگان حوزه صندوق‌های مالی و سرمایه‌گذاری و ۴ نفر نیز از خبرگان حوزه سیاست‌گذاری فناوری بودند. انتخاب این ترکیب از خبرگان با هدف پوشش همزمان ابعاد فناوریانه، اقتصادی و سیاستی مسئله انجام شد تا تحلیل روابط میان متغیرها از منظرهای مختلف تخصصی ارزیابی شود. همچنین با توجه به محدود بودن جامعه متخصصان فعال در حوزه طراحی تراشه در ایران - به‌ویژه در بخش‌های دانشگاهی و صنعتی غیرمحرمانه - بهره‌گیری از دیدگاه این گروه از خبرگان برای افزایش اعتبار و دقت تحلیل اهمیت ویژه‌ای دارد.

در پرسش‌نامه، از خبرگان خواسته شد میزان تأثیر هریک از متغیرها بر سایر متغیرها را در یک مقیاس پنج‌درجه‌ای ارزیابی کنند. این مقیاس به‌صورت عددی از ۰ تا ۴ تعریف شد؛ به‌گونه‌ای که ۰

بر این مبنا، متغیرهایی که از بیشترین ظرفیت اثرگذاری ساختاری و نقش‌آفرینی در پویایی سیستم برخوردار بودند، به‌عنوان پیشران‌های اصلی توسعه طراحی تراشه در ایران شناسایی شدند. در مجموع، خروجی تحلیل میک‌مک نه‌تنها الگوی روابط ساختاری میان متغیرها را به‌روشنی آشکار می‌سازد، بلکه مبنایی معتبر برای اولویت‌بندی عوامل راهبردی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در این حوزه فراهم می‌آورد.

هر متغیر، فراتر از اثرات مستقیم خود، از چه مسیرهایی و با چه شدتی می‌تواند از طریق دیگر متغیرها بر ساختار کلی سیستم اثر بگذارد. اهمیت این سطح از تحلیل در آن است که در نظام‌های پیچیده، بسیاری از اثرات تعیین‌کننده نه در روابط بی‌واسطه، بلکه در تعاملات واسطه‌ای و انباشتی پدیدار می‌شوند. از این‌رو، تحلیل هم‌زمان اثرات مستقیم و غیرمستقیم، درک دقیق‌تری از منطق درونی سیستم، میزان پایداری آرایش متغیرها و نحوه بازتوزیع نفوذ میان آنها فراهم می‌سازد.



مقیاس وابستگی

شکل ۲. نقشه وابستگی (اثرپذیری) نفوذ (اثرگذاری) (Arcade et al., 1999)

یافته‌ها

دستیابی به تصویر دقیق از روابط میان آنها، ماتریسی با ابعاد ۱۰ در ۱۰ تدوین گردید که در آن میزان اثرگذاری هر متغیر بر دیگر متغیرها بر اساس قضاوت خبرگان تعیین شد. این ماتریس مبنای محاسبه شاخص‌های اثرگذاری و وابستگی مستقیم و غیرمستقیم در نرم‌افزار میک‌مک قرار گرفت. برچسب‌های کوتاه هر متغیر که در تمامی جداول و نمودارهای بعدی به کار رفته‌اند، در جدول ۲ ارائه شده است.

گفتیم که در گام نخست از تحلیل یافته‌ها، ده متغیر شناسایی شده در بخش روش‌شناسی به‌عنوان عناصر اصلی نظام مورد بررسی، وارد فرایند تحلیل ساختاری شدند. این متغیرها نمایانگر ابعاد اصلی طراحی تراشه در چهار حوزه فناوریانه، نهادی، اقتصادی و منابع انسانی‌اند و در واقع مجموعه‌ای از قابلیت‌ها، الزامات محیطی و شرایط پشتیبان تشکیل‌دهنده زنجیره ملی طراحی تراشه را بازتاب می‌دهند. برای

جدول ۲. متغیرهای کلیدی تحلیل ساختاری و برچسب‌های اختصاری

ردیف	برچسب	عنوان متغیر	شرح
۱	ابزار	دسترسی به ابزارها و نرم‌افزارهای طراحی تراشه	بازتاب‌دهنده زیرساخت فناوریانه اولیه و توان فنی مهندسان در انجام طراحی‌های مدرن است.
۲	فانداری	دسترسی به فانداری مناسب برای تولید	بیانگر ظرفیت تولید فیزیکی تراشه‌ها و امکان تبدیل طراحی به محصول واقعی است.
۳	توان فنی	سطح توان فنی کشور در طراحی تراشه‌های پیشرفته	نشان‌دهنده عمق دانش و مهارت طراحی داخلی و میزان استقلال فناوریانه کشور است.
۴	حمایت	حمایت‌ها و سیاست‌گذاری دولت	بیانگر رویکرد نهادی و سیاستی دولت در هدایت و سرمایه‌گذاری بخش طراحی تراشه است.
۵	همکاری	همکاری بخش‌های مختلف بوم‌سازگان نوآوری	شاخص میزان هم‌افزایی و ارتباط میان دانشگاه، صنعت و نهادهای پشتیبان است.

ردیف	برچسب	عنوان متغیر	شرح
۶	مالی	میزان تخصیص منابع مالی خطرپذیر	معرف سطح سرمایه‌گذاری مخاطره‌پذیر و حمایت مالی از استارت‌آپ‌ها و پروژه‌های طراحی تراشه است.
۷	تقاضا	میزان تقاضا برای طراحی تراشه در بازار داخلی	بازتاب‌دهنده نیاز واقعی بازار و انگیزه اقتصادی برای تداوم فعالیت‌های طراحی است.
۸	اتصال	اتصال به بازار بین‌المللی و مشارکت در زنجیره جهانی	نشان‌دهنده میزان امکان تعامل، ارتباط و همکاری با شبکه جهانی طراحی و تولید تراشه است.
۹	آموزش	کیفیت آموزش نیروی متخصص	نمایانگر توان نظام آموزشی در تربیت نیروی کار ماهر و به‌روز در حوزه طراحی تراشه است.
۱۰	نخبگان	توان کشور در حفظ نخبگان	شاخص پایداری سرمایه انسانی و تداوم چرخه یادگیری و نوآوری در زنجیره طراحی است.

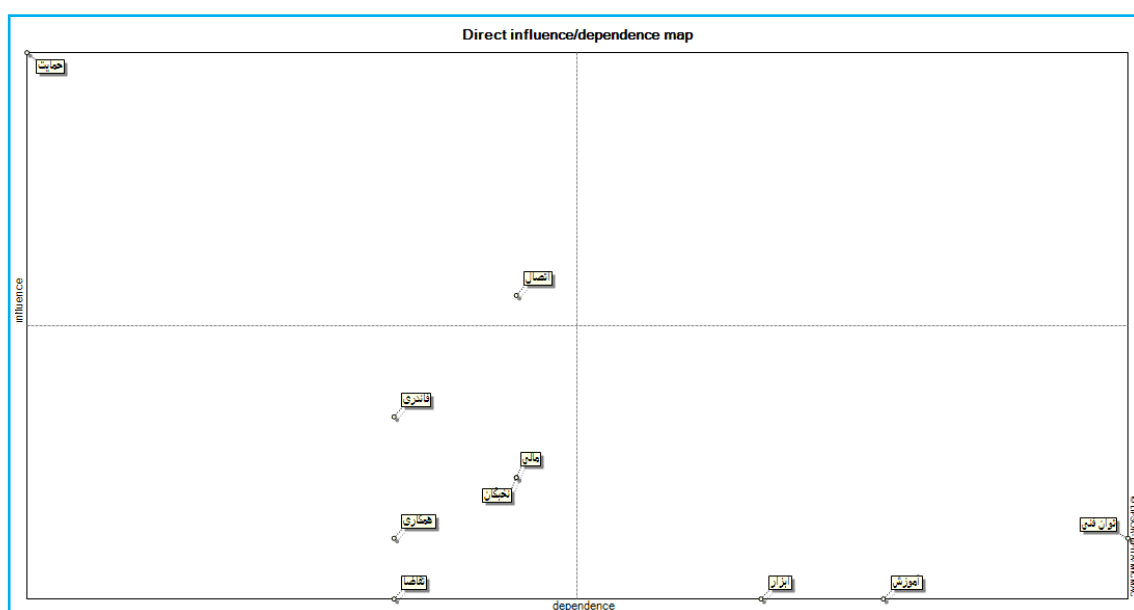
از موقعیت اثرپذیرتر برخوردارند. در این میان، حمایت و سیاست‌گذاری دولت در ناحیه‌ای با نفوذ بالا و وابستگی نسبتاً پایین قرار گرفته است که این امر بیانگر نقش آن به‌عنوان یکی از متغیرهای پیشران در سطح روابط مستقیم است.

همچنین اتصال به بازار جهانی نیز در مقایسه با بسیاری از متغیرهای دیگر، جایگاهی نسبتاً اثرگذار دارد و می‌تواند در جهت‌دهی به پویایی دیگر مؤلفه‌ها نقش داشته باشد. در مقابل، متغیرهایی نظیر توان فنی طراحی پیشرفته، کیفیت آموزش، حفظ نخبگان، دسترسی به ابزارهای طراحی و فانداری برای تولید عمده در بخش‌هایی از نقشه قرار گرفته‌اند که وابستگی بالاتر و نفوذ کمتری را نشان می‌دهد.

در میان این دسته از متغیرها، دسترسی به فانداری مناسب برای تولید نسبت به دیگر عوامل جایگاهی بالاتر از نظر میزان نفوذ دارد

بررسی ماتریس اثرات مستقیم نشان داد که از مجموع ۹۰ رابطه ممکن میان ۱۰ متغیر، ۶۴ رابطه دارای اثر غیرصفر بوده است؛ از این رو، تراکم ماتریس برابر با ۰٫۷۱ به دست آمد. همچنین، توزیع مقادیر نشان داد که روابط ثبت‌شده صرفاً محدود به پیوندهای ضعیف نبوده و سطوح متفاوتی از اثرگذاری مستقیم در میان متغیرها وجود داشته است. این یافته بیانگر آن است که متغیرهای پژوهش در یک ساختار تعاملی قرار دارند و بررسی آنها باید در نسبت با یکدیگر صورت گیرد. بر همین اساس، ماتریس مستقیم مبنای ترسیم نقشه نفوذ-وابستگی مستقیم و تحلیل جایگاه ساختاری متغیرها قرار گرفت.

بر اساس نقشه نفوذ-وابستگی مستقیم متغیرها (شکل ۳)، الگوی توزیع عوامل نشان می‌دهد که جایگاه متغیرها در ساختار سیستم یکسان نیست و برخی از آنها از نقش اثرگذارتر و برخی دیگر



شکل ۳. نقشه نفوذ-وابستگی مستقیم

هرچند همچنان در ناحیه متغیرهای نسبتاً وابسته قرار می‌گیرد. این وضعیت نشان می‌دهد که دسترسی به ظرفیت ساخت، اگرچه خود به‌تنهایی یک پیشران اصلی محسوب نمی‌شود، اما در چارچوب زنجیره طراحی تراشه می‌تواند یکی از مؤلفه‌های اثرگذار در میان متغیرهای فنی و عملیاتی تلقی شود؛ مؤلفه‌ای که تحقق آن تا حد زیادی به شرایط نهادی، سیاستی و ارتباطی سیستم وابسته است. همچنین تقاضای بازار داخلی و همکاری بوم‌سازگان نوآوری در موقعیتی با نفوذ مستقیم محدودتر و وابستگی متوسط قرار دارند. در مجموع، نقشه نفوذ-وابستگی مستقیم نشان می‌دهد که ساختار مستقیم این نظام بیش از آنکه متکی بر پراکندگی متوازن قدرت میان متغیرها باشد، بر حضور تعداد محدودی عامل پیشران و مجموعه‌ای از متغیرهای عمدتاً وابسته استوار است.

در خصوص قرارگیری متغیرهای حمایت و سیاست‌گذاری دولت و اتصال به زنجیره ارزش جهانی در ناحیه عوامل تأثیرگذار، باید تأکید کرد که در روش میک‌مک معیار طبقه‌بندی متغیرها، میزان نقش ساختاری و شدت تأثیر آنها بر دیگر متغیرهای شبکه است، نه منشأ علی یا تقدم و تأخر سیاستی آنها. هرچند حمایت و سیاست‌گذاری دولت می‌تواند بر سطح اتصال به زنجیره ارزش جهانی اثرگذار باشد، اما هر دو متغیر از منظر تحلیل ساختاری در این مطالعه دارای نقش فعال، تأثیرگذار و کلیدی در شکل‌دهی به پویایی کل سیستم زنجیره طراحی تراشه هستند. به‌ویژه، اتصال به زنجیره ارزش جهانی متغیری با درجه بالای عدم قطعیت و تأثیرگذاری متقابل است که تغییرات آن پیامدهای ساختاری چشمگیری در دیگر مؤلفه‌های سیستم دارد؛ از این‌رو، قرارگیری هر دو متغیر در ناحیه عوامل تأثیرگذار کاملاً با منطق تحلیل میک‌مک همخوان است.

نتایج نقشه نفوذ-وابستگی مستقیم نشان می‌دهد که همه متغیرها ظرفیت یکسانی برای اثرگذاری بر ساختار سیستم ندارند و بخش مهمی از مؤلفه‌ها در موقعیت اثرپذیری قرار دارند. این امر بیانگر آن است که درک ساختار مسئله صرفاً بر مبنای روابط مستقیم کافی نیست، زیرا برخی متغیرها ممکن است در سطح مستقیم اثرگذاری محدودی داشته باشند، اما از طریق زنجیره‌ای از روابط واسطه‌ای، در شکل‌دهی به رفتار کل سیستم نقش مهم‌تری ایفا کنند. از این منظر، قرار گرفتن حمایت و سیاست‌گذاری دولت و اتصال به بازار جهانی در موقعیت‌های اثرگذارتر، اهمیت آنها را در سطح اولیه روابط نشان می‌دهد، درحالی‌که وابستگی بیشتر متغیرهایی مانند توان فنی طراحی پیشرفته، کیفیت آموزش، حفظ نخبگان، ابزارهای طراحی و فانداری تولید دلالت بر تأثر آنها از سازوکارهای گسترده‌تر سیستم دارد. بنابراین، برای دستیابی به درکی عمیق‌تر از جایگاه واقعی متغیرها، لازم است روابط غیرمستقیم نیز بررسی شود، زیرا بخشی از اثرگذاری متغیرها ممکن است نه به‌صورت مستقیم، بلکه از طریق مسیرهای واسطه‌ای

در شبکه روابط آشکار شود. تحلیل نقشه نفوذ-وابستگی غیرمستقیم نشان می‌دهد که الگوی کلی توزیع متغیرها در مقایسه با نقشه روابط مستقیم تغییر چشمگیری نداشته و موقعیت نسبی بیشتر متغیرها در ساختار سیستم تا حد زیادی پایدار باقی مانده است. به بیان دیگر، متغیرهایی که در تحلیل مستقیم در جایگاه‌های اثرگذارتر یا اثرپذیرتر قرار داشتند، در نقشه غیرمستقیم نیز عمدتاً همان موقعیت را حفظ کرده‌اند و جایه‌جایی محسوسی میان نواحی مختلف نقشه مشاهده نمی‌شود. این همگرایی میان دو نقشه نشان می‌دهد که الگوی اثرگذاری میان متغیرها تنها محدود به روابط مستقیم نیست، بلکه در سطح روابط واسطه‌ای نیز کمابیش به همان صورت بازتاب می‌یابد. بنابراین، نتایج تحلیل غیرمستقیم نیز تصویری سازگار با ساختار مشاهده‌شده در تحلیل مستقیم ارائه می‌دهد و بیانگر آن است که آرایش کلی متغیرها در سیستم ثابت نسبی دارد.

در این چارچوب، نقشه نفوذ-وابستگی غیرمستقیم نشان می‌دهد که توزیع متغیرها عمدتاً در نواحی متغیرهای نافذ و پیوندی متمرکز است و ربع متغیرهای کاملاً وابسته عملاً خالی باقی مانده است. این الگو به آن معناست که برون‌دهای اصلی زنجیره طراحی تراشه بیش از آنکه در قالب یک یا چند متغیر منفعل و صرفاً پیامدی تجلی یابد، از برهم‌کنش متغیرهای نافذ و پیوندی ناشی می‌شود. از منظر سیاست‌گذاری، چنین ساختاری دلالت دارد که اهرم‌های اصلی مداخله در میان همین متغیرهای نافذ و پیوندی قرار دارند؛ متغیرهایی که تغییر در آنها می‌تواند به‌طور مستقیم و از طریق سلسله‌ای از روابط واسطه‌ای، دیگر مؤلفه‌های سیستم را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، خالی بودن ربع متغیرهای وابسته با تأکید این پژوهش بر ضرورت سیاست‌گذاری و حمایت نهادی در تعارض نیست، بلکه جهت مداخلات را به‌سمت مدیریت و تقویت متغیرهای نافذ و پیوندی هدایت می‌کند.

بر اساس برهم‌نهی نتایج حاصل از ماتریس‌های اثرات مستقیم و غیرمستقیم، حمایت و سیاست‌گذاری دولت و اتصال به بازار جهانی به‌عنوان دو متغیر با قدرت ساختارسازی بالاتر شناسایی شدند. ملاک این انتخاب، نه صرفاً موقعیت آنها در یک نقشه منفرد، بلکه تداوم جایگاه اثرگذار آنها در هر دو سطح تحلیل و عدم انتقال آنها به نواحی عمدتاً وابسته است. در مقابل، دیگر متغیرها یا عمدتاً در مدار تأثیرپذیری قرار گرفته‌اند یا نقش آنها بیشتر در سطح متغیرهای واسط و پیامدی قابل مشاهده است. از این‌رو، در منطق درونی سیستم، تغییرات بنیادین بیش از همه از ناحیه دو متغیر یادشده قابلیت آغاز شدن دارد و لذا این دو متغیر مبنای مناسبی برای تمرکز در مراحل بعدی تحلیل، از جمله تفسیر نتایج و استخراج دلالت‌های راهبردی، فراهم می‌کنند.

همچنین یافته‌ها با الگوی غالب توسعه فناوری در ایران هم‌راستاست؛ الگویی که طی دو دهه اخیر بر نقش محوری دولت و میزان اتصال کشور به شبکه‌های بین‌المللی فناوری در شکل‌دهی



شکل ۴. نقشه نفوذ-وابستگی غیرمستقیم

به‌طور عمده تحت تأثیر دو عامل بنیادین، یعنی سیاست‌گذاری دولت و سطح اتصال به زنجیره جهانی فناوری، قرار دارد.

بحث

پیشینه داخلی درباره طراحی تراشه و زنجیره ارزش نیمه‌هادی ایران هم از نظر حجم و هم از نظر انسجام تحلیلی محدود است. بخش عمده گزارش‌ها و اسناد راهبردی موجود، از جمله گزارش «راهبردهای توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران»، تصویری کلی از وضعیت کشور ارائه می‌کنند و با برشمردن چالش‌ها و فرصت‌ها، مجموعه‌ای از اقدامات پیشنهادی را در قالب سناریوهایی همچون تأسیس کارخانه تولید و طراحی تراشه بدون کارخانه مطرح می‌سازند (Ahmadlu, 2025). این اسناد برای طرح مسئله و جلب توجه سیاست‌گذاران اهمیت دارند، اما بیشتر در سطح فهرست کردن گزینه‌ها باقی می‌مانند و روابط ساختاری میان متغیرهای مؤثر بر صنعت طراحی تراشه را به‌صورت نظام‌مند مدل‌سازی نمی‌کنند.

در مقالات بین‌المللی، گرچه پیشینه گسترده‌ای درباره زنجیره ارزش جهانی نیمه‌هادی، رقابت ژئوپلیتیکی و تمرکز ظرفیت‌های تولید در چند کشور پیشرو وجود دارد، این بدنه پژوهشی به صورت‌بندی گزینه‌های سیاستی برای کشورهایی مانند ایران نمی‌پردازد (Kaviani et al., In press; Kleinhans & Baisakova, 2020). به بیان دیگر، با وجود تصریح اهمیت این حوزه در اسنادی چون برنامه هفتم توسعه و برخی گزارش‌های سیاستی، کوشش‌های منسجم برای مدل‌سازی نظام‌مند روابط درونی و سازوکارهای اثرگذاری متغیرهای کلیدی، همچنان اندک و پراکنده است.

به ظرفیت‌های فناورانه استوار بوده است. شواهد موجود در حوزه‌های مختلف فناوری پیشرفته، از جمله فناوری اطلاعات، زیست‌فناوری و فناوری نانو، نشان می‌دهد که رشد این بخش‌ها عمدتاً در چارچوبی دولت‌محور و متکی بر سیاست‌گذاری، تأمین مالی دولتی، تنظیم‌گری متمرکز و دسترسی برون‌زا به فناوری انجام شده است (Ghazinoory & Farazkish, 2010; Goudarzi et al., 2015; Mahmoodi et al., 2009; Radfar & Khamse, 2008). چنین الگوی توسعه‌ای در حوزه طراحی تراشه نیز قابل مشاهده است، زیرا این صنعت به‌طور ذاتی وابسته به دسترسی پایدار به ابزارهای طراحی الکترونیک، فناوری ساخت نیمه‌هادی، استانداردهای بین‌المللی و بازارهای جهانی است؛ عناصری که در ایران به‌واسطه محدودیت‌های زنجیره تأمین، تحریم‌های فناوری و نبود فانداری‌های پیشرفته با چالش ساختاری مواجه‌اند. از این‌رو، متغیرهایی که در تحلیل میک‌مک در گروه عوامل وابسته یا پیوندی قرار گرفته‌اند، مانند توان فنی طراحی، حفظ نیروی انسانی متخصص، کیفیت آموزش، سرمایه‌گذاری خطرپذیر و همکاری میان بازیگران بوم‌سازگان، در عمل نیز بیشتر تابعی از سطح دسترسی خارجی و چارچوب‌های سیاست‌گذاری داخلی‌اند تا محرک‌های مستقل. همچنین تجربه توسعه فناوری در ایران مؤید آن است که محدودیت در تعاملات بین‌المللی به کاهش ظرفیت‌های فناورانه داخلی منجر شود و برعکس، سیاست‌گذاری هدفمند و حمایت پایدار دولتی پیش‌شرط شکل‌گیری توانمندی‌های بومی بوده است (Ashkezari et al., 2018). بنابراین، آرایش متغیرها در فضای نفوذ-وابستگی میک‌مک بازتابی از واقعیت ساختاری توسعه فناوری در ایران است؛ واقعیتی که در آن شکل‌گیری و پایداری ظرفیت‌های فناورانه پیشرفته

در چه جایگاهی از سیستم قرار می‌گیرد، چه پیش‌نیازهایی دارد و مداخله در کدام متغیرها احتمال بیشتری برای ایجاد تغییرات سرریز در کل صنعت طراحی تراشه دارد. از این منظر، نتایج پژوهش بیشتر به‌عنوان مکمل تحلیلی اسناد سیاستی موجود قابل استفاده است تا جایگزین آنها؛ به این معنا که می‌تواند در اولویت‌بندی و مرحله‌بندی پیشنهادها و توجه به محدودیت‌ها و وابستگی‌های ساختاری زنجیره ارزش طراحی تراشه در ایران به سیاست‌گذاران یاری رساند.

نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل ساختاری نشان می‌دهد که در میان متغیرهای شناسایی‌شده، حمایت‌ها و سیاست‌گذاری دولت و اتصال به بازار بین‌المللی و مشارکت در زنجیره جهانی در زمره متغیرهای کلیدی با قدرت اثرگذاری بالا قرار دارند و نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به وضعیت طراحی تراشه در ایران ایفا می‌کنند. قرار گرفتن این متغیرها در موقعیت پیشران در ساختار سیستم بیانگر آن است که تحولات این حوزه بیش از آنکه صرفاً به عوامل فنی یا قابلیت‌های تخصصی وابسته باشد، تحت تأثیر جهت‌گیری‌های سیاستی و چگونگی تعامل با زنجیره جهانی صنعت نیمه‌هادی قرار دارد. بر این اساس، بسیاری از ظرفیت‌های فنی و آموزشی فقط در چارچوبی امکان‌بروز و توسعه پیدا خواهند کرد که این دو متغیر امکان تقویت پیوندهای صنعتی و ایجاد محیط سیاستی پایدار را فراهم کنند.

ویژگی‌های بخش طراحی در صنعت نیمه‌هادی به‌خوبی نشان می‌دهد که چرا سیاست‌گذاری و حمایت دولتی در توسعه این حوزه اهمیت پیدا می‌کند. طراحی تراشه، اگرچه در مقایسه با بخش ساخت نیاز کمتری به زیرساخت‌های فیزیکی سنگین دارد، اما به‌شدت دانش‌محور، تخصص‌محور، پرهزینه و وابسته به دسترسی پایدار به منابعی مانند نیروی انسانی ماهر، ابزارهای طراحی، استانداردهای فنی، و ارتباط با شبکه‌های تخصصی و بازار است. در چنین شرایطی، توسعه این حوزه را نمی‌توان صرفاً به تلاش شرکت‌های منفرد یا رشد تدریجی توانمندی‌های فنی واگذار کرد. شکل‌گیری زنجیره طراحی تراشه مستلزم اتخاذ سیاست‌هایی است که بتوانند ریسک فعالیت را کاهش دهند، دسترسی به منابع اصلی را تسهیل کنند، میان بازیگران مختلف هماهنگی ایجاد کنند، و جهت‌گیری روشنی برای توسعه این حوزه فراهم آورند. از این منظر، برجسته شدن نقش حمایت سیاست‌گذاری دولت در زنجیره طراحی تراشه ایران را می‌توان ناشی از ویژگی‌های ساختاری همین بخش دانست. به بیان دیگر، اهمیت این عامل نشان می‌دهد که توسعه طراحی تراشه، بیش از حمایت‌های موردی و کوتاه‌مدت، به چارچوبی سیاستی نیاز دارد که بتواند مسیر رشد را تثبیت کند و زمینه فعال شدن دیگر ظرفیت‌ها را فراهم سازد. این برداشت با رویکردهایی در پیشینه سیاست نوآوری، به‌ویژه

نتایج این پژوهش، زمانی معنا می‌یابد که در پیوند با همین خلأ دیده شود. در اسناد راهبردی، اقداماتی مانند ایجاد مراکز آموزش و خدمات طراحی، ایجاد ظرفیت تولید، حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان و پیوند با بازارهای جهانی، عمدتاً در یک سطح و در قالب مجموعه‌ای از توصیه‌ها مطرح می‌شوند. تحلیل ساختاری این پژوهش نشان می‌دهد که این اقدامات، از منظر جایگاه در سیستم، یکسان نیستند. بر اساس قضاوت خبرگان مشارکت‌کننده، متغیرهایی چون جهت‌گیری سیاستی دولت نسبت به صنعت نیمه‌هادی، کیفیت اتصال به بازارها و شبکه‌های جهانی و چارچوب‌های نهادی حاکم بر تعامل دانشگاه و صنعت، رفتار متغیرهای پیشران را دارند؛ در مقابل، متغیرهایی مانند دسترسی به فانداری و بخشی از زیرساخت‌های عملیاتی بیشتر به‌صورت متغیرهای وابسته ظاهر شده‌اند که تحقق آنها مستلزم تغییرات پیشین در سطح سیاستی، نهادی و بین‌المللی است. این تمایز به نوعی بازآرایی در خوانش توصیه‌های موجود منجر می‌شود: بسیاری از اقداماتی که در اسناد راهبردی با عنوان «سیاست پیشنهادی» در خط مقدم فهرست می‌شوند، در این تحلیل بیشتر به‌منابۀ پیامد مداخلات بالادستی قابل درک‌اند.

از منظر روش‌شناختی، تفاوت اصلی این پژوهش با گزارش‌ها و مقالات قبلی در نوع مواجهه با عدم قطعیت و پیچیدگی این صنعت است. بخش مهمی از کارهای پیشین در ایران را می‌توان نزدیک به رویکردهایی دانست که در پیشینه آینده‌پژوهی به مکتب «شل» نسبت داده می‌شوند: رویکردهایی که در آنها عوامل، روندها و عدم قطعیت‌ها شناسایی و بر اساس آنها سناریوها یا توصیه‌های کلی ارائه می‌شود، اما روابط متقابل میان متغیرها به‌صورت صریح و کمی مدلسازی نمی‌شود. در نتیجه، مشخص می‌شود «چه چیزهایی مهم‌اند»، اما به‌روشنی مشخص نمی‌شود «کدام متغیرها از نظر ساختاری اهمی‌ترند». در مقابل، پژوهش حاضر با به‌کارگیری روش تحلیل ساختاری و ابزار میک‌مک، نقطه شروع را ساختن «ماتریس روابط» میان متغیرهای مؤثر بر طراحی تراشه قرار می‌دهد و با اتکا به ارزیابی خبرگان، نفوذ و وابستگی مستقیم و غیرمستقیم هر متغیر را بر دیگر متغیرها برآورد می‌کند. خروجی این فرایند، نقشه‌ای است که در آن می‌توان متغیرهای پیشران، متغیرهای هدف، متغیرهای واسطه و متغیرهای تنظیمی را از یکدیگر تفکیک کرد و بر این اساس، زنجیره‌ای از مداخلات محتمل برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی توسعه طراحی تراشه در ایران را بازسازی کرد.

این ویژگی، حاصل اصلی به‌کارگیری روش تحلیل ساختاری و ابزار میک‌مک در پژوهش حاضر است و آن را از مطالعات پیشین متمایز می‌کند. به‌جای افزودن یک فهرست دیگر از توصیه‌های سیاستی در کنار فهرست‌های موجود، این رویکرد می‌کوشد روابط ساختاری پشت این توصیه‌ها را آشکار کند و به این پرسش پاسخ دهد که هر توصیه

دیدگاه‌های نزدیک به سیاست‌های مأموریت‌گرا همخوانی دارد که در حوزه‌های پیچیده و راهبردی، برای دولت نقشی فعال در تسهیل، هماهنگی و جهت‌دهی فرایند توسعه قائل‌اند.

در کنار حمایت و سیاست‌گذاری دولت، پیشران مهم دیگر در توسعه طراحی تراشه، کیفیت اتصال آن به بازارها و شبکه‌های جهانی است. صنعت نیمه‌هادی، و به‌ویژه بخش طراحی، به‌طور ذاتی در بستر زنجیره‌های ارزش جهانی شکل گرفته است؛ به‌گونه‌ای که دسترسی به دانش تخصصی، ابزارهای طراحی، استانداردهای فنی، مشتریان، سرمایه، و حتی فرصت‌های یادگیری و همکاری، تا حد زیادی از خلال پیوند با شبکه‌های بین‌المللی حاصل می‌شود. از این منظر، رشد در این حوزه بدون ارتباط با محیط جهانی با محدودیت‌های جدی مواجه خواهد شد. تجربه کشورهای پیشرو نیز این واقعیت را تأیید می‌کند. ایالات متحده برای دهه‌ها از مزیت اتصال عمیق به زنجیره‌های ارزش جهانی، دسترسی گسترده به بازارها، و حضور در قانون بازیگران اصلی این صنعت برخوردار بوده است؛ در مقابل، چین برای جبران محدودیت‌های ساختاری و ارتقای موقعیت خود، بیش از همه بر حمایت فعال دولت، سرمایه‌گذاری راهبردی و سیاست صنعتی تکیه کرده است (Swanson, Liu, & Mozur, 2024). بااین‌حال، تشدید رقابت فناوریانه نشان داده است که هیچ‌یک از این دو مؤلفه به‌تنهایی کافی نیست. آمریکا نیز در سال‌های اخیر از اتکای صرف به مزیت‌های بازار و موقعیت جهانی فاصله گرفته و با توسل به بسته‌های حمایتی و سیاست‌های صنعتی، نقش دولت را در این صنعت تقویت کرده است (Luo & Van Assche, 2023). هم‌زمان، اعمال محدودیت‌ها و تحریم‌های فناوریانه علیه چین نشان داده است که سطح دسترسی به شبکه‌های جهانی دانش، بازار و فناوری، تأثیر مستقیمی بر مسیر ارتقای توانمندی‌ها و دامنه رشد بازیگران داخلی دارد. از این منظر، مزیت در صنعت نیمه‌هادی نه از تکیه صرف بر حمایت‌های داخلی و نه از اتصال انفعالی به محیط خارجی، بلکه از پیوند نظام‌مند میان سیاست‌گذاری هدفمند مأموریت‌گرا و تعامل فعال با زنجیره‌های ارزش جهانی حاصل می‌شود.

در پرتو این ملاحظات، توسعه طراحی تراشه در ایران مستلزم نگاهی فراتر از تقویت منفرد اجزایی مانند آموزش، نیروی انسانی یا دسترسی به ابزارهای طراحی است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که بسیاری از این مؤلفه‌ها زمانی به‌طور مؤثر شکل می‌گیرند که بستر نهادی و سیاستی مناسب برای فعالیت و تعامل بازیگران فراهم شده باشد. از این‌رو، توجه سیاستی باید بیش از هر چیز معطوف به ایجاد سازوکارهایی باشد که بتوانند مسیرهای توسعه را روشن‌تر کرده، ناطمینانی‌های پیش روی فعالان این حوزه را کاهش دهند و شرایط لازم برای انباشت تدریجی قابلیت‌ها را در سطح بوم‌سازگان فراهم سازند. در این میان، دو جهت‌گیری کلی اهمیت می‌یابد:

از یک‌سو، شکل‌گیری حمایت سیاستی منسجم و پایدار که بتواند منابع، اولویت‌ها و بازیگران مختلف را حول مسیرهای مشخص توسعه‌ای هم‌راستا کند؛ و از سوی دیگر، تلاش برای حفظ یا گسترش مسیرهای تعامل با شبکه‌های جهانی دانش، فناوری و بازار. در واقع، پویایی و رشد پایدار در این حوزه زمانی امکان‌پذیر می‌شود که این دو بعد به‌صورت مکمل عمل کنند. در غیر این صورت، تمرکز بر تقویت عناصر منفرد این زنجیره ممکن است به پیشرفت‌هایی محدود و پراکنده بینجامد، بی‌آنکه به شکل‌گیری ظرفیت‌های پایدار در سطح کلان منجر شود.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که توسعه طراحی تراشه در ایران، بیش از آنکه به تقویت منفرد اجزایی مانند آموزش، نیروی انسانی یا ابزار وابسته باشد، به فراهم شدن شرایط ساختاری و سیاستی لازم برای فعال شدن این ظرفیت‌ها بستگی دارد. برجسته شدن «حمایت و سیاست‌گذاری دولت» و «اتصال به بازار جهانی» به‌عنوان دو پیشران اصلی نیز مؤید آن است که مسیر توسعه این حوزه، نه از مداخلات پراکنده و جزیرهای، بلکه از طریق شکل‌گیری یک آرایش نهادی و ارتباطی مناسب هموار می‌شود. بر این اساس، اثربخشی سیاست‌ها در این حوزه زمانی افزایش می‌یابد که هم‌زمان بتوانند از یک‌سو ناطمینانی‌ها را کاهش دهند و جهت‌گیری توسعه را مشخص کنند، و از سوی دیگر، امکان بهره‌گیری از فرصت‌ها، دانش و شبکه‌های بیرونی را فراهم آورند. در چنین چارچوبی، انباشت پایدار قابلیت‌ها در طراحی تراشه، بیش از هر چیز، به تقویت همین پیشران‌های بنیادین وابسته خواهد بود.

دلالات‌های سیاستی

بر اساس نتایج تحلیل ساختاری و شناسایی پیشران‌های اصلی، دلالت‌های سیاستی این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

♦ نهادینه‌سازی راهبری یکپارچه توسعه طراحی تراشه: ایجاد سازوکاری هماهنگ‌کننده در سطح ملی برای سیاست‌گذاری این حوزه که از تداخل نهادی، پراکندگی تصمیمات و تعارض برنامه‌ها جلوگیری کرده، در توسعه طراحی تراشه انسجام راهبردی ایجاد کند؛

♦ تمرکز هدفمند بر تقویت قابلیت‌های طراحی به‌عنوان حلقه اولویت‌دار زنجیره ارزش: هدایت منابع و حمایت‌ها به‌سمت توسعه شرکت‌های طراحی، تربیت نیروی انسانی متخصص، و ایجاد هسته‌های دانشی و فنی در این بخش، با توجه به امکان‌پذیری نسبی توسعه آن در مقایسه با دیگر حلقه‌های زنجیره نیمه‌هادی؛

♦ طراحی سازوکارهای پایدار دسترسی به زیرساخت‌های فنی و ابزارهای طراحی: تسهیل دسترسی فعالان داخلی به نرم‌افزارهای طراحی، خدمات آزمون و نمونه‌سازی، و دیگر زیرساخت‌های

می‌تواند به دگرگونی در الگوی روابط میان متغیرها و ضرورت بازنگری در نتایج فعلی منجر شود.

پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی

با توجه به ماهیت پویا و نظام‌مند زنجیره طراحی تراشه، این پژوهش می‌تواند مبنایی برای چند مسیر پژوهشی تکمیلی قرار گیرد. نخست، از آنجاکه تحلیل ساختاری و استخراج متغیرهای پیشران یکی از مراحل مقدماتی در رویکردهای آینده‌پژوهی است، پژوهش‌های آینده می‌توانند بر پایه پیشران‌های شناسایی شده در این مطالعه، به توسعه سناریوهای بدیل برای آینده بپردازند. چنین سناریوهایی خواهند توانست مسیرهای محتمل تحول صنعت طراحی تراشه را تحت شرایط مختلف سیاستی و فناوریانه ترسیم کنند و زمینه تحلیل‌های سیاستی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری را فراهم سازند.

دوم، انجام مطالعات تطبیقی میان زنجیره طراحی تراشه در ایران و نمونه‌های موفق بین‌المللی می‌تواند به شناسایی سازوکارهای مؤثر، الگوهای سیاست‌گذاری موفق و تفاوت‌های ساختاری یا نهادی میان کشورها کمک کند. این نوع مطالعات امکان تشخیص عناصر انتقال‌پذیر و تشخیص عوامل وابسته به زمینه‌های بومی کشور را افزایش می‌دهد.

سوم، پژوهش‌های آتی می‌توانند از طریق انجام مطالعات موردی عمیق درباره کشورها یا مناطق پیشرو، با تمرکز بر نقش نهادهای میانجی، سیاست‌های آموزشی و فناوریانه، و شیوه‌های تعامل دانشگاه و صنعت، درک فرایندی‌تری از چگونگی شکل‌گیری و بلوغ زنجیره طراحی تراشه ارائه دهند. این رویکرد می‌تواند به استخراج درس‌آموخته‌های عملی و ارائه مدل‌هایی برای تقویت ساختار نهادی و سیاستی این حوزه در ایران کمک کند.

تخصصی که برای فعالیت در این حوزه ضروری‌اند؛

- ◆ مدیریت فعال تعاملات بین‌المللی در حوزه طراحی تراشه: اتخاذ رویکردی هوشمندانه برای حفظ و گسترش ارتباطات علمی، فناوریانه و تجاری با شبکه جهانی نیمه‌هادی، به‌منظور ارتقای یادگیری فناوریانه، انتقال دانش و جلوگیری از انزوای فناوریانه؛
- ◆ کاهش ناعلمی‌های سیاستی از طریق ثبات مقرراتی و پیش‌بینی‌پذیری حمایت‌ها: ایجاد افق قابل اتکا برای فعالان این صنعت از طریق ثبات در سیاست‌های حمایتی، مقررات صادرات و واردات، و برنامه‌های تأمین مالی، به‌گونه‌ای که امکان برنامه‌ریزی میان‌مدت برای شرکت‌ها فراهم شود.

محدودیت‌های پژوهش

این پژوهش نیز همچون دیگر مطالعات تحلیلی مبتنی بر نظر خبرگان، با محدودیت‌هایی همراه است که در تفسیر و تعمیم نتایج باید مدنظر قرار گیرد. نخست، تحلیل ساختاری ارائه‌شده مبتنی بر ارزیابی خبرگان است و بنابراین، یافته‌ها تا حدی بازتاب‌دهنده برداشت‌ها و تجربیات آنان از وضعیت طراحی تراشه در ایران است. هرچند با انتخاب خبرگانی از حوزه‌های علمی، صنعتی و سیاستی متفاوت تلاش شد تنوع دیدگاه‌ها تأمین شود، اما ماهیت قضاوت‌محور این رویکرد ناگزیر با سطحی از عدم قطعیت و سوگیری احتمالی همراه است. دوم، چارچوب تحلیل بر مجموعه‌ای از متغیرها استوار است که بر پایه مرور پیشینه، بررسی اسناد و نظر خبرگان شناسایی شده‌اند؛ از این‌رو، نمی‌توان احتمال وجود عوامل اثرگذار دیگری را که در این چارچوب وارد نشده‌اند، منتفی دانست. سوم، ساختار به‌دست‌آمده برای زنجیره طراحی تراشه، بازتاب‌دهنده شرایط سیاستی، اقتصادی و فناوریانه در زمان انجام پژوهش است. با توجه به آنکه حوزه نیمه‌هادی در معرض تحولات سریع فناوریانه و ژئوپلیتیکی قرار دارد، تغییر در این شرایط

References

- Ahmadlu, M. (2025). *Majlis Research Center – Strategies for the development of the microelectronics industry in Iran*. Retrieved from: <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1802571> (Persian)
- Akayama, S., Chow, D., & Gupta, S. (2024). *Localizing the global semiconductor value chain*. Brussels: Arthur D. Little. Retrieved from: <https://www.adlittle.com/jp-en/insights/report/localizing-global-semiconductor-value-chain>
- Arcade, J., Godet, M., Meunier, F., & Roubelat, F. (1999). *Structural Analysis with the MICMAC Method & Actor's Strategy with MACTOR Method*. Retrieved from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Structural-analysis-with-the-MICMAC-method-%26-with-Arcade-Godet/a2985573e8eaac7aa14a8318798ce408a4041979>
- Ashkezari, M. J., Miremadi, T., & RamezanpourNargesi, G. (2018). The assessment of international sanctions on photovoltaic innovation system of Iran. *Journal of Science and Technology Policy*, 11(4), 63-77. (Persian) <https://doi.org/10.22034/jstp.2019.10.4.539575>
- Bateman, J. (2021). U.S.-China technological decoupling. *Carnegie Endowment for International Peace*, 7. <https://doi.org/10.1142/S2377740021500172>

- Capri, A. (2021). *Techno-nationalism via semiconductors: Hinrich Foundation*. Retrieved from: <https://www.wita.org/wp-content/uploads/2021/06/Techno-nationalism-via-semiconductors-Hinrich-Foundation-white-paper-Alex-Capri-June-2021.pdf>
- Feng, J. (2022). *The costs of U.S.-China semiconductor decoupling: New perspectives on Asia*. Retrieved from: <https://www.csis.org/blogs/new-perspectives-asia/costs-us-china-semiconductor-decoupling>
- Gao, H., Ren, M., & Shih, T. Y. (2023). Co-evolutions in global decoupling: Learning from the global semiconductor industry. *International Business Review*, 32(6), 102118. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2023.102118>
- Ghazinoory, S., & Farazkish, M. (2010). A model of technology strategy development for Iranian nano-composite companies. *Technological and Economic Development of Economy*, 1, 25-42. (Persian)
- Godet, M. (1979). *The crisis in forecasting and the emergence of the "prospective" approach: With case studies in energy and air transport*. Retrieved from: <https://digitallibrary.un.org/record/166>
- Godet, M., Durance, P., & Gerber, A. (2008). Strategic foresight la prospective; use and misuse of scenario building. Retrieved from: <http://www.lapropective.fr/dyn/francais/actualites/SR10vEng.pdf>
- Goudarzi, M., Jahani, M., & Aghakhani, O. (2015). The role of supporting policies of governments in increasing innovation absorption capacity of small and medium-sized enterprises. *Rahyafat*, 25(60), 53-68. (Persian)
- Hao, S., & Wang, M. (2025). Walking on eggshells: Politicizing Sino-ROK semiconductor technological ties in the shadow of Sino-US rivalry. *The Pacific Review*, 38(1), 173-202. <https://doi.org/10.1080/09512748.2024.2368223>
- Hosseini Golkar, M., Ghazinoory, S., Saghafi, F., & Eivazi, M. R. (2019). Schools of scenario planning: Comparative study of shell and prospective. *Iranian Journal of Public Policy*, 4(4), 153-177. (Persian) <https://doi.org/10.22059/ppolicy.2019.69722>
- Jeong, H. G. (2024). Analyzing South Korea's semiconductor industry: Trade dynamics and global position. *KIEP Research Paper, World Economy Brief*, 8-24. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4854445>
- Kaviani, K., Saremi, M. S., Zakery, A., & Kalhor, Z. (In press). Techno-nationalism versus Interdependence: A case study of the global value chain in the semiconductor industry. *Science and Technology Policy Letters*, 16(1). (Persian)
- Khan, S. M., Peterson, D., & Mann, A. (2021). The semiconductor supply chain: Assessing national competitiveness. *Center for Security and Emerging Technology*, 8(8), 1-12. <https://doi.org/10.51593/20190016>
- Kim, Y., & Rho, S. (2024). The US-China Chip War, economy-security nexus, and Asia. *Journal of Chinese Political Science*, 29(3), 433-460. <https://doi.org/10.1007/s11366-024-09881-7>
- Kleinhans, J. P., & Baisakova, N. (2020). The global semiconductor value chain: A technology primer for policy makers. *Stiftung Neue Verantwortung*, 1-30.
- Lee, C., Hayter, R., & Edgington, D. W. (2010). Large and latecomer firms: The Taiwan semiconductor manufacturing company and Taiwan's electronics industry. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 101(2), 177-198. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9663.2009.00539.x>
- Lee, K., & Lim, C. (2001). Technological regimes, catching-up and leapfrogging: Findings from the Korean industries. *Research Policy*, 30(3), 459-483. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00088-3)
- Luo, Y., & Van Assche, A. (2023). The rise of technogeopolitical uncertainty: Implications of the United States CHIPS and Science Act. *Journal of International Business Studies*, 54(8), 1423-1440. <https://doi.org/10.1057/s41267-023-00620-3>
- Mahmoodi, M., Shayan, A., & Kalantari, N. (2009). Dimensions of information and communication technology policymaking in Iran. *Journal of New Economy and Trade*, 4(15-16), 151-171. (Persian)
- Moradipour, H., & Noroozian, M. (2005). Foresight: Concepts and methods. *Rahyafat*, 15(36)-45-50. (Persian)
- Naghizadeh, R., Elahi, S., Manteghi, M., & Ghazinoory, S. (2015). The meta-synthesis of regional innovation models: a review of 1990-2013. *Innovation Management Journal*, 3(4), 25-56 (Persian)
- NPCR, C. (2016). *The 13th five-year plan for economic and social development of the people's Republic of China (20162020-)*. National Development and Reform Commission. Retrieved from: <https://en.ndrc.gov.cn/policies/202105/P020210527785800103339.pdf>
- NPCR, C. (2021). *Outline of the 14th five-year plan (2021-2025) for national economic and social development and long-range objectives for 2035*. National Development and Reform Commission. Retrieved from: <https://en.ndrc.gov.cn/policies/202203/P020220315511326748336.pdf>
- Ou, S., Yang, Q., & Liu, J. (2024). The global production

- pattern of the semiconductor an empirical research based on trade. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-13. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03253-5>
- Popper, R. (2008). How are foresight methods selected? *Foresight*, 10(6), 62-89. <https://doi.org/10.1108/14636680810918586>
- Radfar, R., & Khamse, A. (2008). The role of government, university and industry in national innovation system in iran. *Roshd -e- Fanavari*, 3(15), 1-10. (Persian)
- Semiconductor Industry Association. (2025). *2025 State of the U. S. Semiconductor industry*. Retrieved from: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2025/07/SIA-State-of-the-Industry-Report-2025.pdf>
- Swanson, A., Liu, J., & Mozur, P. (2024 September 16). *The Chinese chipmaker at the heart of the U.S.-China Tech War*. The New York Times. Retrieved from: <https://www.nytimes.com/2024/09/16/technology/smhc-china-us-trade-war.html>
- United States Congress. (2022). *CHIPS and Science Act of 2022*. Retrieved from: https://www.commerce.senate.gov/redirect?file_id=592E23A5-B56F-48AE-B4C1-493822686BCB
- Wang, H., & Lim, G. (2023). Catching-up in the semiconductor industry: Comparing the Chinese and Malaysian experience. *Asian Journal of Technology Innovation*, 31(1), 49-71. <https://doi.org/10.1080/19761597.2021.2007144>
- Wong, C. Y., chung Yeung, H. W., Huang, S., Song, J., & Lee, K. (2024). Geopolitics and the changing landscape of global value chains and competition in the global semiconductor industry: Rivalry and catch-up in chip manufacturing in East Asia. *Technological Forecasting and Social Change*, 209, 123749. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123749>
- Yeung, H. W., Huang, S., & Xing, Y. (2023). *From fabless to fabs everywhere? Semiconductor global value chains in transition*. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/ShaoPeng-Huang/publication/377598805_From_Fabless_to_Fabs_Everywhere_Semiconductor_Global_Value_Chains_in_Transition/links/65af7eec7fe0d83cb55fd9a7/From-Fabless-to-Fabs-Everywhere-Semiconductor-Global-Value-Chains-in-Transition.pdf
- Youvan, D. C. (2025). *The global chip bottleneck: Intel, TSMC, and ASML's monopoly on the future of semiconductors*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25354.79047>



پریسایار محمدی

دانشجوی دوره دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری و دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی برق و کارشناسی ارشد مدیریت کسب‌وکار است. حوزه پژوهشی وی بر تحلیل زنجیره‌های ارزش جهانی در فناوری‌های پیشرفته و ابعاد سیاستی و راهبردی آن متمرکز است. او به‌طور خاص به بررسی تحولات زنجیره ارزش جهانی نیمه‌هادی‌ها و تحولات ناشی از تقابل فناوری ملی‌گرایی و فناوری جهان‌گرایی می‌پردازد.



سپهر قاضی‌نوری

دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع از دانشگاه علم‌و‌صنعت ایران و استاد گروه مدیریت فناوری اطلاعات دانشگاه تربیت مدرس است. او همچنین مؤسس و سردبیر فصلنامه سیاست علم و فناوری است. قاضی‌نوری در حال حاضر به پژوهش در زمینه مطالعات اجتماعی علم و فناوری و نظام‌های نوآوری مشغول است.



فریده بهرامی

دانش‌آموخته دکتری مدیریت نوآوری از دانشگاه تهران و پسادکتری از دانشگاه اچ‌ای‌سی مونترال است. حوزه تمرکز پژوهش‌های ایشان مدیریت بوم‌سازگان نوآوری، مدیریت و سیاست‌گذاری برای زنجیره ارزش در صنایع دانش‌بنیان است.

