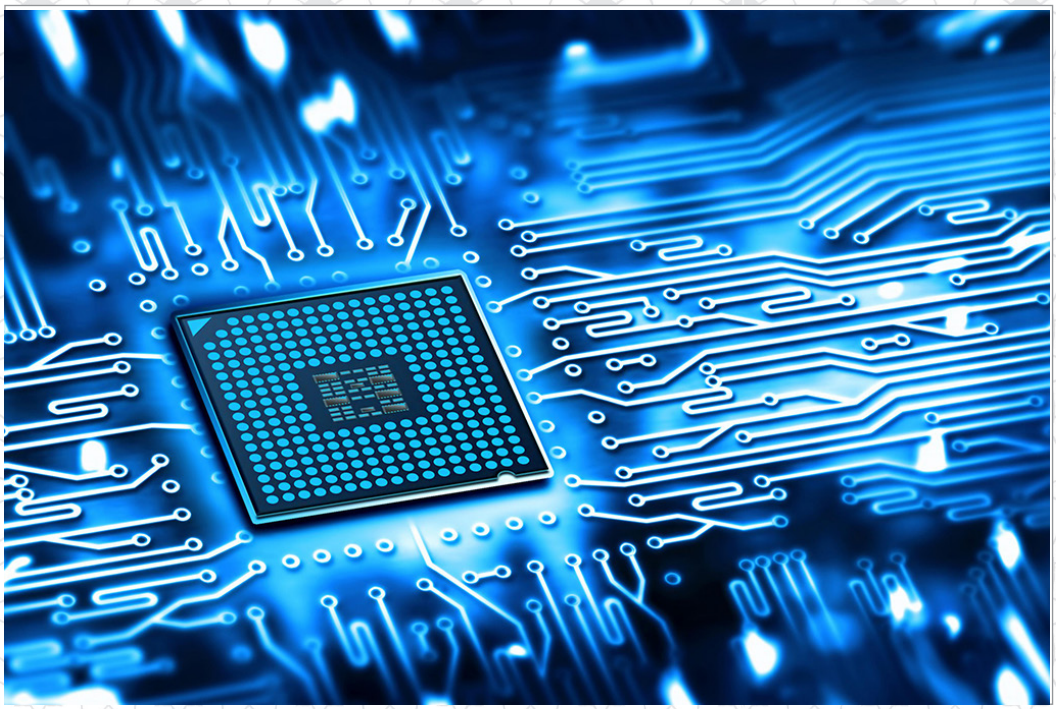
مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی
دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن
مسلسل: ۱۹۷۷۱ ■ اردیبهشت ۱۴۰۳

راهبردهای توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران



بسم الله الرحمن الرحيم

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۲/۱۱

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

شماره مسلسل: ۱۹۷۷۱
کد موضوعی: ۳۱۰

عنوان گزارش:
راهبردهای توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران

نوع گزارش: طرح/ لایحه ☐، نظارتی ☐، راهبردی ■

نام دفتر:
مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه فناوری اطلاعات و ارتباطات)

مدیر مطالعه:
محمدامین احمدلو

تهیه و تدوین کنندگان:
محمدامین احمدلو، محمد محمدی لاریجانی

ناظران علمی:
حبیب‌اله ظفریان، سعید شجاعی

اظهارنظرکننده:
میلاد بیگی

گرافیک و صفحه آرایی:
نفیسه حاجی‌صفری

ویراستار ادبی:
سیده مرضیه موسوی راد

تاریخ شروع:
۱۴۰۲/۱۰/۱

واژه‌های کلیدی:
۱. میکروالکترونیک
۲. سیاست‌گذاری صنعتی
۳. تراشه
۴. نیمه هادی
۵. زنجیره ارزش

دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن

فهرست مطالب

چکیده ۶
خلاصه مدیریتی ۶
۱. مقدمه ۹
۲. اهمیت صنعت میکروالکترونیک ۹
۳. مبانی صنعت میکروالکترونیک ۱۱
۴. بررسی اقدامات و مصوبات مؤثر بر صنعت میکروالکترونیک ایران ۱۷
۵. راهبردهای پیشنهادی توسعه صنعت میکروالکترونیک برای ایران ۱۹
منابع و مآخذ ۲۴

فهرست نمودار

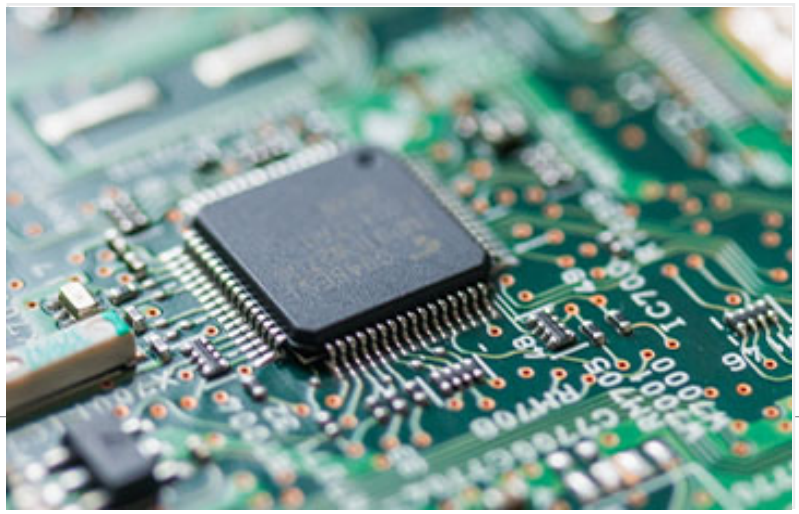
نمودار ۱. اندازه بازار نیمه‌هادی‌ها ۱۰
نمودار ۲. زنجیره ارزش صنعت میکروالکترونیک ۱۲
نمودار ۳. سهم مناطق مختلف از زنجیره ارزش صنعت میکروالکترونیک ۱۲
نمودار ۴. ظرفیت تولید جهانی بر حسب انواع نود و نیمه‌رساناها، سال ۲۰۱۹ (چند درصد ویفر ۸ اینچی در ماه) ۱۵
نمودار ۵. ارتباطات مدل‌های کسب‌وکار متفاوت در صنعت نیمه‌هادی ۱۷
نمودار ۶. هزینه‌های ساخت فب (میلیارد دلار) ۲۳
نمودار ۷. سناریوهای مختلف برای رسیدن به نقطه سر به سر برای کارخانه فب ۲۴

فهرست جدول

جدول ۱. راهبردهای پیشنهادی توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران ۲۰

فهرست شکل

شکل ۱. زنجیره تولید سیلیکون (دلیری) ۲۲



راهبردهای توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران

چکیده

امروزه تولید انواع رایانه‌ها، تجهیـــزات مخابراتی، تلفن‌های همراه، خودروها، لوازم‌خانگی، ســـامانه‌های دفاعی، محصولات حوزه هوافضا و رباتیک، در کنار پدیده‌های نوظهور و تحول‌آفرین دیگر نظیر هوش مصنوعی، خودروهای برقی و خودران، ارتباطات 5G و اینترنت اشیا، به شکل فزاینده‌ای به تراشه‌های نیمه‌هادی و به تعبیر دیگر صنعت میکروالکترونیک وابسته هستند. هدف این پژوهش، بررسی وضعیت صنعت میکروالکترونیک در کشور و پیشنهاد راهبردهای به‌منظور توسعه این صنعت است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد به‌دلیل پیچیدگی‌های فنی و اقتصادی صنعت میکروالکترونیک، ماهیت جهانی زنجیره تأمین این صنعت، یکی از دلایل کلیدی موفقیت آن تا به امروز بوده است و دستیابی به خودکفایی کامل در زمینه نیمه‌هادی‌ها برای هر شرکت یا کشوری امری محال به‌شمار می‌آید. با این وجود، به‌دلیل تسریع تنش‌های ژئوپلیتیکی، ایجاد تعادل مجدد و تقویت موقعیت کشورها در زنجیره جهانی تأمین تراشه برای دولت‌ها امری ضروری به‌شمار می‌آید. در این شرایط نقش‌آفرینی در زنجیره تولید جهانی نیمه‌هادی‌ها برای کشوری نظیر ایران که تحت‌تأثیر محدودیت‌های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با این حوزه در جهان قرار دارد از اهمیت و پیچیدگی بیشتری نیز برخوردار است. در این راستا برای ایران نیز در یک رویکرد حداقلی برنامه‌ریزی برای کاهش آثار منفی و تهدیدات اقتصادی و امنیتی بالقوه این صنعت و در یک رویکرد حداکثری تلاش برای فراهم کردن زمینه‌های نقش‌آفرینی در زنجیره جهانی نیمه‌هادی‌ها امری ناگزیر به‌حساب می‌آید.

خلاصه مدیریتی

بیان / شرح مسئله

نقش‌آفرینی در صنعت میکروالکترونیک به‌دلیل ابعاد فناورانه و اقتصادی پیچیده‌ای که دارد برای ورود بازیگران جدید مســـئله‌ای دشوار به‌شمار می‌آید. ایالات متحده، اروپا، چین، ژاپن، تایوان، کره جنوبی، شش منطقه جغرافیایی اصلی هستند که در طول سالیان متمادی بر صنعت میکروالکترونیک تسلط یافته‌اند و با تعریف نقش برای سایر کشورها یک زنجیره جهانی در این صنعت را راهبری می‌کنند با وجود این افزایش تنش‌های ژئوپلیتیک در جهان در سال‌های اخیر از یک‌سو و نمایان شدن بیشتر اهمیت تراشه‌ها در رهبری آینده جهان منازعات بر

روی تصاحب و تسلط بیشتر بر روی این صنعت را افزایش داده، به‌نحوی که تمامی کشورهای پیشرو در زمینه سیاسی و اقتصادی به‌دنبال باز تعریف جایگاه خود در این صنعت هستند.
در ایران نیز در ابتدای دهه ۱۴۰۰ شمسی، پس از نمایان شدن آثار جدی کمبود تراشه‌ها بر اقتصاد کشور که عمدتاً ناشی از همه‌گیری ویروس کرونا و اختلافات ژئوپلیتیک و برخی آسیب‌های امنیتی بود، مجدداً توجه به این صنعت پس از چند دوره فراز و نشیب برنامه‌ریزی صنعتی افزایش یافته است. با این وجود، همچنان فقدان سیاست صنعتی مناسب در این حوزه دیده می‌شود. لذا این گزارش به‌دنبال ارائه پیشنهاد چارچوبی اولیه برای سیاستگذاری در این حوزه است.

نقطه‌نظرات / یافته‌های کلیدی

نتایج مطالعات نشان می‌دهد زنجیره تولید تراشه در دنیا مسیری به‌شـــدت جهانی و به‌هم‌پیوسته را دنبال می‌کند که ابعاد آن از سه جنبه اقتصادی، امنیتی و سیاسی حائز اهمیت است.

- **از منظر اقتصادی** پیشرفت‌های اخیر در روندهای کلیدی فناوری مانند محاســـبات ابری، هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT) و سیستم‌های کمک راننده پیشرفته خودرو (ADAS) روند رشد صنعت نیمه‌هادی را حفظ کرده و **اندازه بازار این صنعت را در سال ۲۰۲۱ به حدود ۶۰۰ میلیارد دلار رسانده است.** در تخمین اندازه بازار تراشه‌ها برای ایران اطلاعات شفافی در اختیار نیست، اما باید به این نکته توجه کرد که حجم تراشه‌های مصرفی کشور با میزان واردات مستقیم تراشه به کشور تفاوت چشمگیری دارد. زیرا حجم قابل توجهی از تراشه‌های مصرفی کشور در قالب محصولات کامل یا قطعات منفصله به کشور وارد می‌شود. با در نظر گرفتن سهم یک درصدی ایران از مصرف جهانی تراشه، میزان تراشه مصرف شده در کشور حدود ۶ میلیارد دلار و میزان واردات مستقیم انواع تراشه‌ها حدود ۴۵۰ میلیون دلار برآورد می‌شود.
- از **دیدگاه امنیتی** یک زنجیره تأمین جهانی کاملاً وابسته به یکدیگر به‌صورت طبیعی ریسک‌ها و مخاطراتی را نیز به‌همراه دارد که می‌توان این ریسک‌ها را در **دو گروه ریسک‌های مرتبط با دسترسی و تأمین تراشـــه و ریسک‌های مرتبط با خراب‌کاری‌های صنعتی** دسته‌بندی کرد.
- درنهایت **از منظر سیاسی** نیز صنعت نیمه‌هادی‌ها در سالیان اخیر در حال تبدیل شدن به ابزارهای سیاسی برای فشار بر کشورهای رقیب شده است. مناقشات سیاسی میان چین و آمریکا بر سر تایوان، اعمال تحریم‌های فناورانه بر چین به‌منظور جلوگیری از دستیابی این کشور به آخرین نسل از تجهیزات تولید تراشه و آثار منفی جنگ روسیه و اوکراین در تأمین مواد اولیه این حوزه همگی نشان‌دهنده آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها در جهان در راستای اهداف سیاسی است.

درمجموع موارد فوق نشـــان می‌دهد بازتعریف جایگاه ایران در صنعت نیمه‌هادی در جهان موضوعی کلیدی و ضروری به‌شمار می‌آید. **در این شرایط آسیب‌شناسی حمایت‌ها و عدم توســـعه کافی صنعت میکروالکترونیک در کشور را می‌توان در سه سرفصل: ۱. حمایت‌های نوسانی و غیرپایدار، ۲. توجه اندک به سیاست‌های ســـاماندهی طرف تقاضا و ۳. آشفتگی نهادی کشور در تنظیم‌گری صنعت متناسب با هدف‌گذاری‌ها، ریشه‌یابی کرد.**

پیشنهاد راهکار تقنینی، نظارتی یا سیاستی

به‌منظور توســـعه صنعت میکروالکترونیک در ایران باید مجموعه‌ای از سیاســـت‌های صنعتی داخلی و دیپلماسی‌های اقتصادی و فناورانه بین‌المللی به‌صورت هم‌زمان به‌منظور رفع موانع پیش‌روی این صنعت در کشور در دو حوزه فناوری و بازار صورت پذیرد. بدین‌منظور **توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران از طریق پیگیری دو سناریوی مکمل طراحی تراشه (Fabless) و تأسیس کارخانه تولید (Fab) قابل تحقق است.** سناریوی تأسیس کارخانه فب در داخل ایران از لحاظ منابع مالی مورد نیاز و مدت زمان لازم برای سرمایه‌گذاری تفاوت‌های چشمگیری با سناریو طراحی تراشـــه دارد و در عمل نیز اجرای آن پس از دستیابی به اهداف سناریوی اول منطقی و امکان‌پذیر خواهد بود. همین افق‌های متفاوت زمانی و سرمایه‌ای لازم در اجرای این دو سناریو می‌تواند فرصت پیگیری هم‌زمان هر دو را نیز فراهم سازد.
در این راستا راهبردهای ذیل هریک از سناریوهای Fab و Fabless به‌شرح ذیل پیشنهاد می‌شود.

۱. سناریوی اول: طراحی تراشه (Fabless)

مدل کسب‌وکاری طراحی تراشه و برون‌سپاری ساخت آن به کارخانه‌های تولیدی یکی از متداول‌ترین رویکردها در صنعت میکروالکترونیک در جهان است. این رویکرد علاوه‌بر کاهش هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری در تولید می‌تواند تا حد قابل توجهی نگرانی‌های کشور در زمینه

رفع پایدار نیازمندی‌های کشور و ارتقای امنیت تراشه‌های کشور را مرتفع سازد. راهبردهای مورد نیاز کشور برای شکل‌دهی به حوزه صنعت طراحی تراشه بدون فب در کشور عبارتند از:

۱-۱. راهبرد کوتاه‌مدت: ایجاد مراکز خدمات طراحی تراشه

حمایت دولت از تأسیس این مراکز می‌تواند امکان دسترسی و هزینه‌های مضاعف طراحی و نمونه‌سازی تراشه در ایران را تا حد قابل‌قبولی کاهش دهد و از همه مهمتر جریان سرمایه انسانی و تحقیق و توسعه در حوزه میکروالکترونیک را با هدف دستیابی به قابلیت طراحی تراشه‌هایی با سطح فناوری بالا در کشور را حفظ کند.

۱-۲. راهبرد میان‌مدت: تدوین برنامه ملی بومی‌سازی تراشه‌های پرکاربرد و حساس

به‌منظور موفقیت تجاری‌سازی تراشه‌ها در داخل کشور در میان‌مدت، باید سیاست صنعتی متناسبی از سوی دستگاه‌های ذی‌ربط دنبال شود. اصول سیاست صنعتی مناسب برای این حوزه عبارتند از: تعیین تراشه‌های هدف برمبنای نیازمندی‌های کشور، تجمیع تقاضا و سفارش‌گذاری بلندمدت برای طراحان تراشه به‌منظور اقتصادی کردن طراحی و تولید، ارائه یارانه و معافیت مالیاتی به شرکت‌های خریدار تراشه به‌منظور پوشش اختلاف قیمت احتمالی، حمایت‌های تعرفه‌ای و تدوین استانداردهای لازم به‌منظور الزام شرکت‌های بالادست زنجیره تأمین محصولات الکترونیکی به به‌کارگیری تراشه‌های داخلی در تولید محصول نهایی اشاره کرد.

۱-۳. راهبرد بلندمدت: ورود به بازارهای جهانی طراحی تراشه

مزیت بالقوه سرمایه انسانی متخصص و ارزان‌قیمت در کشور یکی از فرصت‌های کلیدی برای ورود به زنجیره ارزش جهانی صنعت میکروالکترونیک از طریق اجرا پروژه‌های طراحی و فروش دارایی‌های فکری (IP Cores) در بلندمدت به‌شمار می‌آید. در این راستا دولت باید به روش‌های مختلف بستر لازم برای جلب همکاری و فرصت‌های بین‌المللی را فراهم سازد. این هدف می‌تواند از طریق راهبرد حمایت از تأسیس دفاتر طراحی در سایر کشورها و جذب فرصت‌های بین‌المللی با پوشش این دفاتر دنبال شود.

۲. سناریو دوم ساخت و تولید تراشه (Fab):

راه‌اندازی یک کارخانه فب در کشور موضوعی پیچیده‌تر از نصب ماشین‌آلات یک کارخانه است و تنظیم فرایندها و پیاده‌سازی دستورالعمل‌های تولید تا دستیابی به بازدهی قابل‌قبول بعضاً ماه‌ها به طول خواهد انجامید. در حال حاضر بخشی از چالش‌های حوزه میکروالکترونیک کشور ناشی از دسترسی دشوار به کارخانه‌های تولید تراشه است و تصمیم‌گیری برای ساخت یک کارخانه فب در کشور تابع متغیرهای متعدد اقتصادی، سیاسی و امنیتی است که باید در وهله اول آمادگی کافی برای آن در کشور فراهم شود. در این راستا راهبردهای ذیل به‌منظور ایجاد آمادگی کافی پیشنهاد می‌شود:

۲-۱. راهبرد کوتاه‌مدت: ایجاد دسترسی پایدار به فب‌های خارجی

ایجاد دسترسی پایدار به یک یا چند کارخانه فب خارجی حول برنامه‌های همکارانه‌ای نظیر دریافت مجوز همکاری مستقیم فب‌های هدف با شرکت‌های طراحی ایرانی، اجاره بخشی از ظرفیت تولید فب‌های خارجی برای ایران، سرمایه‌گذاری مشترک در تأسیس یک فب جدید در کشور خارجی، تملیک بخشی از مالکیت و مدیریت فب‌های خارجی و استفاده از متخصصین ایرانی به‌منظور یادگیری فرایندها، می‌تواند به‌عنوان راهبرد کوتاه‌مدت کشور مدنظر قرار گیرد.

۲-۲. راهبرد میان‌مدت: سرمایه‌گذاری در زنجیره بالادستی مواد اولیه

بهره‌برداری از یک کارخانه تولید تراشه در کشور به‌صورت مداوم نیازمند حجم زیادی از مواد اولیه نظیر ویفرهای سیلیکونی، اسیدها و گازهای خاص منظوره است که تأمین آنها با فرض تأسیس کارخانه در کشور نیز به‌دلیل حساسیت‌های تحریمی، نیازمند برنامه‌ریزی است. در این راستا، به‌دلیل برخی مزیت‌های طبیعی کشور در زنجیره بالادستی این صنعت به‌خصوص در بخش معادن سیلیسیوم، سرمایه‌گذاری در این حوزه‌های بالادستی به‌دلیل تقاضای بالای جهانی، می‌تواند علاوه‌بر کاهش آثار تحریم، به اتصال کشور به زنجیره‌های جهانی میکروالکترونیک و ایجاد وابستگی متقابل بین ایران و سایر کشورها کمک کند.

۲-۳. راهبرد بلندمدت: احداث کارخانه فب در کشور

در صورت افزایش حساسیت‌های جهانی نسبت به موضوع میکروالکترونیک، فقدان یک کارخانه تولید تراشه در کشور می‌تواند به یک اهرم فشار بر کشور تبدیل شود. در چنین شرایطی هدف‌گذاری احداث یک کارخانه فب در کشور با پذیرش لزوم طی کردن راهبردهای قبلی می‌تواند به‌عنوان یک هدف‌گذاری صحیح در توسعه فناوری برای کشور در نظر گرفته و اجرا شود.

۱. مقدمه

انقلاب صنعتی در دنیا با اختراع ماشین بخار و پیشرفت ابزارهای کشاورزی در اروپا آغاز شد و پس از آن انقلاب صنعتی دوم با کشف و به‌کارگیری انرژی برق و خطوط تولید انبوه تا نیمه اول قرن بیستم ادامه یافت. در نیمه دوم قرن بیستم با اختراع ترانزیستور و مدارهای مجتمع، صنایع الکترونیکی نوین به‌وجود آمدند که زمینه‌ساز انقلاب صنعتی سوم یعنی توسعه کامپیوتر، فناوری اطلاعات و اتوماسیون شـــدند. امروزه تولید انواع رایانه‌ها، تجهیزات مخابراتی، تلفن‌های همراه، خودروها، لوازم‌خانگی، سامانه‌های دفاعی، محصولات حوزه هوافضا و رباتیک، در کنار پدیده‌های نوظهور و تحول‌آفرین دیگر نظیر هوش مصنوعی، خودروهای برقی و خودران، ارتباطات 5G و اینترنت اشیا به شکل فزاینده‌ای به تراشه‌ها و تعبیر دیگر صنعت میکروالکترونیک و نیمه‌هادی‌ها وابسته هستند.

با توجه به آنکه در چند سال اخیر، پس از نمایان شدن آثار جدی کمبود تراشه‌ها مجدداً توجه به این صنعت پس از چند دوره فرازونشیب برنامه‌ریزی صنعتی افزایش یافته است. بنابراین در این گزارش سعی شده چارچوبی اولیه برای سیاستگذاری در این حوزه ارائه شود. به همین منظور ابتدا اهمیت صنعت میکروالکترونیک از جنبه‌های اقتصادی، امنیتی و راهبردی مورد بررسی قرار گرفت، سپس مبانی این صنعت معرفی شد. در بخش سوم، اقدامات و مصوبات مؤثر بر صنعت میکروالکترونیک مورد بررسی قرار گرفت و در پایان راهبردهای پیشنهادی در قالب دو سناریو ارائه شد.

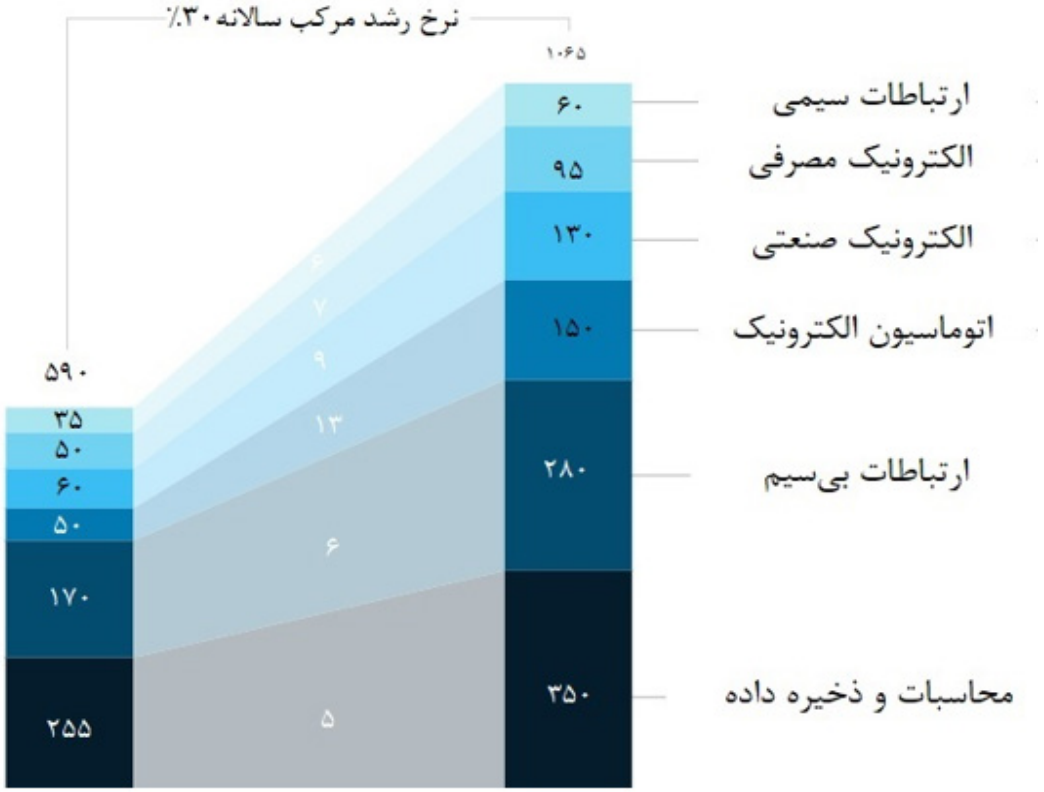
۲. اهمیت صنعت میکروالکترونیک

اهمیت صنعت میکروالکترونیک را می‌توان از جهات مختلف مورد بررسی قرار داد. با وجود این بررسی این صنعت از سه بُعد اقتصادی، امنیتی و راهبردی بیش از سایر ابعاد آن حائز اهمیت است.

۲-۱. ابعاد اقتصادی

اندازه بازار صنعت نیمه‌هادی‌ها در طول سه دهه گذشته شاهد رشد چشمگیری بوده و این رشد اثرگذاری قابل‌توجهی را نیز بر رشد اندازه اقتصاد جهانی به‌همراه داشته است. درحالی‌که در طول یک دهه گذشته رشد اقتصادی جهانی کمتر از ۳ درصد بوده[۱]، این صنعت به‌طور متوسط رشد سالیانه ۴٫۵ درصدی را تجربه کرده است. در سال ۱۹۹۴ فروش جهانی نیمه‌هادی‌ها برای اولین بار از ۱۰۰ میلیارد دلار فراتر رفت و به‌دنبال آن فروش ۲۰۰ میلیارد دلاری در سال ۲۰۰۰ نقطه عطفی را برای این صنعت رقم زد. با اختراع و استفاده انبوه از گوشی‌های هوشمند رشد این صنعت در سال ۲۰۱۱ به ۳۰۰ میلیارد دلار رسید. در سال ۲۰۱۷ صنعت نیمه‌هادی رشد ۲۲ درصدی درآمد را تجربه کرد که علت آن افزایش قیمت‌ها به‌دلیل محدودیت‌های عرضه و افزایش تقاضا برای تراشه‌های حافظه بود که نتیجه آن عبور درآمد این صنعت از ۴۰۰ میلیارد دلار بود. پیشرفت‌های اخیر در روندهای کلیدی فناوری مانند محاسبات ابری، هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT) و سیستم‌های کمک راننده پیشرفته خودرو (ADAS)، روند رشد صنعت نیمه‌هادی را حفظ کرده و اندازه بازار این صنعت را در سال ۲۰۲۱ به حدود ۶۰۰ میلیارد دلار رسانده است. پیش‌بینی می‌شود اندازه بازار صنعت نیمه‌هادی با سه حوزه پیشران ذخیره‌سازی و محاسبات، ارتباطات بیسیم و خودروسازی تا سال ۲۰۳۰ با نرخ رشد مرکب سالیانه بین ۶ تا ۸ درصد از مرز ۱۰۰۰ میلیارد دلار عبور کند[۲].

نمودار ۱. اندازه بازار نیمه‌هادی‌ها



مأخذ: مکنزی، ۲۰۲۱.

در رابطه با اندازه بازار نیمه‌هادی کشور اطلاعات شفافی در دسترس نیست و صرفاً از طریق برخی آمارها می‌توان به تخمین‌هایی از این بازار دست پیدا کرد. در تخمین اندازه بازار تراشه‌های باید به این نکته توجه کرد که حجم تراشه‌های مورد استفاده در کشور با میزان واردات مستقیم تراشه به کشور تفاوت چشمگیری دارد. زیرا اولاً، از یک‌سو بخش عمده‌ای از محصولات الکترونیکی حاوی تراشه به‌صورت کامل (CBU) وارد کشور می‌شوند، ثانیاً، غالب شرکت‌های تولیدکننده از بردهای الکتریکی آماده که تراشه‌ها در خارج از کشور بر آن مونتاژ شده‌اند، استفاده می‌کنند. لذا میزان تراشه‌های مورد استفاده در تجهیزات الکترونیکی کشور تفاوت زیادی با اندازه بازار تراشه کشور دارد.

با در نظر گرفتن سهم ۱ درصدی ایران از مصرف جهانی تراشه، سهم مصرف تراشه ایران از بازار ۶۰۰ میلیارد دلاری تراشه‌ها، حدود ۶ میلیارد دلار برآورد می‌شود. در رابطه با میزان مصرف مستقیم تراشه‌ها نیز براساس آمار OEC[1] واردات قطعات نیمه‌هادی به ایران از مبادی رسمی کمتر از ۱۰۰ میلیون دلار در سال بوده، اما با توجه به ابعاد کوچک این اقلام و تحریمی بودن آنها، عدد واقعی بسیار بیشتر از این میزان است. براساس آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران در سال ۱۴۰۱ حدود ۲۵۰ میلیون دلار ریز تراشه به کشور وارد شده است[۳]. هرچند درصورتی که کارخانه‌های داخل کشور برای تولید این ادوات وجود داشته باشد؛ احتمالاً حجم این بازار افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

۲-۲. ابعاد امنیتی

تراشه‌ها زیربنای تمام دستاوردهای صنعتی حوزه اقتصاد دیجیتال به‌شمار می‌روند، به‌منظور درک بهتر این موضوع کافی است بدانیم صرفاً در یک گوشی تلفن همراه حدود ۱۶۷ تراشه و در یک خودرو ۳۵۰۰ تراشه وجود دارد[۴]، که فقدان یا اخلال در عملکرد هریک از آنها منجر چالش جدی در عملکرد کل دستگاه خواهد شد. به همین دلیل بسیاری از کشورها برای حفظ امنیت تأمین تراشه‌های صنایع راهبردی خود برنامه دقیقی را دنبال می‌کنند. زنجیره تولید تراشه در دنیا مسیری به‌شدت جهانی شده و به‌هم‌پیوسته را دنبال می‌کند. این زنجیره جهانی به‌صورت طبیعی ریسک‌ها امنیتی نیز به‌همراه دارد که می‌توان این ریسک‌ها را در دو گروه دسته‌بندی کرد:

1. Observatory of Economic Complexity

الف) ریسک‌های مرتبط با دسترسی و تأمین تراشه: به‌دلیل رشد بالای تقاضا برای تراشه‌های مختلف در دنیا، کارخانجات تولید تراشه اصول همکاری و زمان‌بندی خاصی با مشتریان خود تعریف می‌کنند و حتی در بسیاری از موارد صرفاً از طریق برخی کارگزاران بزرگ با سایر شرکت‌های متقاضی تراشه تعامل می‌کنند. در این راستا هرگونه اخلال در روند تولید و همکاری منجر به ایجاد زمان انتظار طولانی در تحویل تراشه ازسوی کارخانجات تولیدی می‌شود. برای مثال یکی از علل چالش انباشت خودروهای نیمه تمام در پارکینگ‌های خودروسازان کشور در مقاطع مختلف، عدم تأمین یا تحویل به‌موقع برخی تراشه‌های مورد نیاز به شرکت‌های زنجیره تولید خودروسازی بوده است[۵].
علاوه‌بر این به‌دلیل حساسیت بالای صنعت میکروالکترونیک یکی از سخت‌گیرانه‌ترین رژیم‌های کنترلی و تحریمی آمریکا در این حوزه دنبال می‌شود و تأمین تراشه برای شرکت‌های ایرانی به‌خصوص تراشه‌هایی با سطح فناوری بالا امری بسیار پیچیده و دشوار به‌شمار می‌آید. لذا به‌صورت کلی امنیت تأمین به‌موقع تراشه‌ها امری ضروری برای بسیاری از صنایع تولیدی کشور به‌شمار می‌آید.
ب) ریسک‌های مرتبط با خراب‌کاری‌های صنعتی: یکی دیگر دلایل لزوم پرداختن به صنعت میکروالکترونیک در کشور ریسک‌های مربوط به خراب‌کاری‌های صنعتی از طریق تراشه‌هاست. تراشه‌ها، مغز متفکر سیستم‌های الکترونیکی به‌حساب می‌آیند به همین دلیل در صنایع حساس نظیر صنایع نظامی، هوافضا و مخابرات ایجاد افزونه در تراشه می‌تواند منجر به پیامدهایی نظیر افشای اطلاعات، اخلال در عملکرد سیستم‌ها در شرایط خاص و حتی حوادث ناگوارتر منجر شود. لذا کشورهای پیشرو سعی می‌کنند در صنایع راهبردی سطح خود اتکایی به زنجیره داخلی تأمین تراشه را تا حد ممکن افزایش دهند[۶].

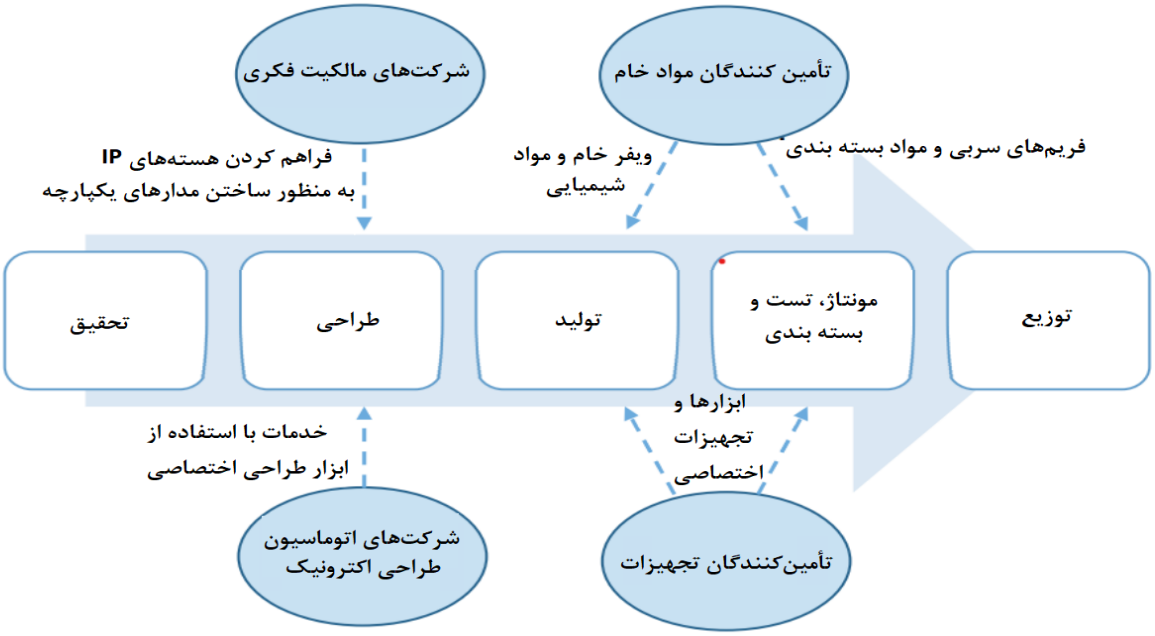
۳-۲. ابعاد راهبردی

اهمیت استراتژیک نیمه‌هادی‌ها به کانون توجه دولت‌ها در سراسر جهان تبدیل شده است. مناقشات سیاسی میان چین و آمریکا بر سر تایوان و جنگ روسیه و اوکراین همگی نشان دادند که آسیب‌پذیری‌های زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها در جهان می‌تواند به‌عنوان ابزار سیاسی برای فشار بر سایر کشورها مورد استفاده قرار گیرد.
مطالعات نشان می‌دهند که ماهیت جهانی زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها یکی از دلایل کلیدی موفقیت این صنعت تا به امروز بوده و دستیابی به خودکفایی کامل در زمینه نیمه‌هادی‌ها برای هر شرکت یا کشوری تقریباً محال است. بااین‌حال تسریع تنش‌های ژئوپلیتیکی بر ضرورت ایجاد تعادل مجدد و تقویت موقعیت کشورها در زنجیره جهانی تأمین تراشه برای دولت‌ها امری ضروری به‌شمار می‌آید. درواقع چندین دولت در سراسر جهان در حال ارزیابی مجدد موقعیت خود در سراسر زنجیره ارزش نیمه‌هادی‌ها و به‌دنبال اقدام اجرای سیاست‌های ملی صنعتی جدید و سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه برای تولید نیمه‌هادی‌ها و تحقیق و توسعه در داخل مرزهای خود هستند.
تحریم و برنامه گسترده آمریکا برای جلوگیری از دستیابی شرکت‌های چینی به‌خصوص دو شرکت هوآوی و SMIC به فناوری‌های ساخت دستگاه‌های پیشرفته تولید تراشه‌ها، تلاش چند دهه‌ای چین برای تصاحب و سرقت فناوری‌های مورد نیاز برای تولید تراشه از کشورهای غربی، اخلال ژاپن در زنجیره مواد اولیه فب‌های کره‌ای به‌منظور حفظ قدرت رقابت با کره، هماهنگی ژاپن و آمریکا برای جلوگیری از کاهش قیمت نیمه‌هادی‌ها به‌منظور تضعیف چین و تلاش دولت‌های پیشرو دنیا به‌منظور راه‌اندازی انواعی از خطوط تولید تراشه در داخل کشورهای خود، همگی صرفاً بخشی از رقابت‌های بین‌المللی به‌منظور باز تعریف جایگاه کشورها در حوزه میکروالکترونیک است. در سطح منطقه‌ای نیز کشورهای نظیر امارات و رژیم صهیونیستی اسرائیل و عربستان برنامه‌ریزی‌های گسترده‌ای را به‌منظور توسعه زیرساخت‌های میکروالکترونیک دنبال کرده‌اند.

۳. مبانی صنعت میکروالکترونیک

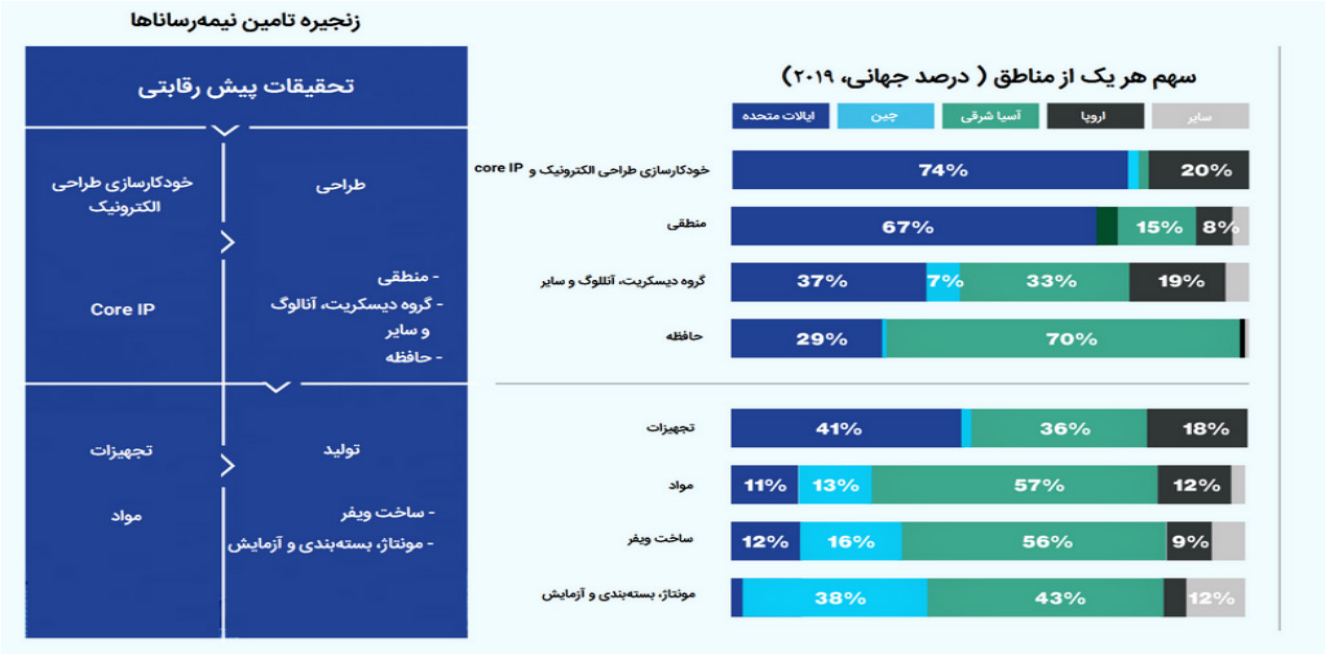
میکروالکترونیک به‌معنای پیاده‌سازی میلیاردها مدار الکترونیکی بر روی عناصر نیمه‌هادی نظیر سیلیسیوم، گالیم و ژرمانیم، در ابعاد میکرو و کمتر از آن است که از طریق فناوری‌های پیچیده لایه نشانی به‌منظور تولید محصولاتی به نام مدار مجتمع (تراشه) صورت می‌پذیرد. اساس کارکرد تراشه‌ها، ایجاد امکان کوچک‌سازی، هوشمندسازی، چندمنظوره‌سازی، افزایش سرعت و کاهش مصرف انرژی سامانه‌های الکترونیکی در مقایسه با مدارات غیرمجتمع است. بسیاری از قطعات موجود در تجهیزات الکترونیکی مانند خازن مقاومت، ترانزیستور، سلف و غیره را می‌توان با استفاده از فناوری میکروالکترونیک در ابعاد بسیار کوچک‌تر تولید کرد. به‌منظور درک بهتر صنعت میکروالکترونیک لازم است در ابتدا مروری بر زنجیره ارزش این صنعت داشته باشیم.

نمودار ۲.زنجیره‌ارزش صنعت میکروالکترونیک



مطابق نمودار بالا تولید یک تراشه از تحقیقات اولیه آغاز و سپس وارد مرحله طراحی می‌شود. پس از اتمام طراحی تراشه مرحله تولید آغاز و سپس ویفرهای تولید شده وارد مونتاژ، تست و بسته‌بندی می‌شوند. درنهایت نیز تراشه‌های تولید شده وارد شبکه توزیع می‌شوند. این زنجیره اصلی توسط فعالیت‌های مکملی شامل بلوک‌های طراحی (IP Core)، نرم‌افزارهای اتوماسیون طراحی الکترونیک (EDA)، تأمین کنندگان مواد اولیه خاص منظوره و ماشین‌آلات بسیار پیشرفته پشتیبانی می‌شـــود. در ادامه به بررسی دقیق‌تر هریک از این اجزا و سهم کشورهای مختلف در زنجیره تولید تراشه‌ها پرداخته می‌شود.

نمودار ۳.سهم مناطق مختلف از زنجیره‌ارزش صنعت میکروالکترونیک



مأخذ: (BCG,۲۰۲۱) [۷].

۱-۳. خودکارسازی طراحی الکترونیک (EDA)[1]

به مجموعه نرم‌افزارها، ابزارها و فرایندهایی اشاره دارد که برای طراحی و توسعه سیستم‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طراحی تراشه‌های الکترونیکی، EDAها اهمیت ویژه‌ای دارند. وظیفه EDA این است که مهندسین و طراحان را در فرایندهای مختلف، ازجمله مدل‌سازی، طراحی، تحلیل، بهینه‌سازی و اعتبارسنجی کمک کند. با استفاده از ابزارهای EDA، مهندسین قادر هستند تراشه‌ها و سیستم‌های الکترونیکی را با سرعت و دقت بالا طراحی و تولید کنند. با توجه به پیچیدگی و اندازه تراشه‌های مدرن، استفاده از EDA ضروری است. بدون این ابزارها، طراحی، تست و تولید تراشه‌های پیچیده به‌صورت مؤثر و کارآمد امکان‌پذیر نیست. مطابق نمودار بالا آمریکا و اروپا بیش از ۹۰ درصد از بازار ۱۱ میلیارد دلاری ارائه نرم‌افزارهای خودکارسازی طراحی الکترونیک را در اختیار دارند.

۲-۳. بلوک‌های طراحی (Core IP)

«IP» که به‌معنای «مالکیت فکری» است. در طراحی تراشه هسته‌های IP به طراحی‌های قابل استفاده مجددی اشاره دارند که نمایانگر یک عملکرد خاص هستند و می‌توانند در طراحی تراشه‌های مختلف گنجانده شوند. این واحدها از قبل طراحی و تأیید شده‌اند و نقش اصلی آنها ساده‌سازی فرایند است. این بلوک‌ها، زمان طراحی را کاهش می‌دهند و عملکرد و قابلیت اطمینان طراحی را تضمین کنند. با استفاده از هسته‌های IP، طراحان تراشه می‌توانند روی یکپارچه‌سازی و طراحی در سطح بالا تمرکز کنند بدون آنکه نیاز داشته باشند هر مؤلفه‌ای را از ابتدا طراحی کنند. IPها می‌توانند درون شرکت‌های نیمه‌هادی توسعه یابند یا از فروشندگان IP تخصصی خریداری شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود آمریکا و اروپا در این حوزه نیز سهم ۷۵ درصدی از بازار ۶ میلیارد دلاری بلوک‌های طراحی را در اختیار خود قرار داده‌اند که نشان‌دهنده تمرکز این کشورها بر روی ابعاد فنی‌تر صنعت میکروالکترونیک بوده است.

۳-۳. طراحی تراشه

طراحی تراشه‌ها پیش از فرایند تولید، کلیدی‌ترین مرحله زنجیره ارزش نیمه‌هادی‌های به‌شمار می‌آید. طراحان تراشه با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی و بلوک‌های IP نسبت به طراحی انواع تراشه‌های اقدام می‌کنند. نکته‌ای که در این بین حائز اهمیت است وابستگی طراحان تراشه بین کتابخانه‌های طراحی کارخانه‌های تولیدی است که باید این طراحی‌های برمبنای آنها صورت پذیرد. اندازه بازار طراحی تراشه در دنیا حدود ۱۲۸ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود[۸]. برای درک بهتر از موضوع طراحی تراشه در ابتدا باید آشنایی اولیه از دسته‌بندی انواع تراشه وجود داشته باشد. طراحی‌های تراشه به‌صورت کلی دسته‌بندی‌های متعددی از تراشه‌ها وجود دارد، بااین‌حال یکی از رایج‌ترین دسته‌بندی‌های این حوزه به‌شرح زیر است:

۱-۳-۳. تراشه‌های منطقی

تراشه‌های منطقی یا پردازشی، نیمه‌رساناهایی هستند که دستورات را اجرا می‌کنند. این تراشه‌ها، درواقع «مغز» یک کامپیوتر یا بسیاری از دستگاه‌های الکترونیکی دیگر هستند. تراشه‌های منطقی عمدتاً پیچیده‌ترین تراشه‌های در زمینه طراحی به‌شمار می‌آیند و در این حوزه آمریکا سهم غالب بازار به میزان ۶۷٪ را در اختیار دارد. تراشه‌های منطقی خود به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که در ذیل به برخی از آنها اشاره شده است:

الف) واحدهای پردازش مرکزی: (CPU) این پردازنده‌ها در کامپیوترها، ایستگاه‌های کاری و سرورها یافت می‌شوند. آنها وظیفه محاسبات اصلی یک سیستم و مدیریت سایر اجزای سخت‌افزاری را برعهده دارند.

ب) واحدهای پردازش گرافیک: (GPU) ابتدا برای تسریع در نمایش تصاویر در بازی‌های ویدئویی طراحی شدند، اما اکنون به پردازنده‌هایی با پردازش موازی تبدیل شده‌اند که قادر به انجام وظایف مختلفی همچون محاسبات علمی و یادگیری ماشین هستند.

ج) میکروکنترلرها: (MCU) اینها درواقع «رایانه‌های کوچک» بر روی یک تراشه هستند و شامل یک CPU، حافظه و رابط‌های ورودی/خروجی می‌شوند. آنها معمولاً در سیستم‌های تعبیه‌شده و در برنامه‌هایی که نیازی به قدرت و پیچیدگی یک CPU معمولی نیست، استفاده می‌شوند.

1. Electronic Design Automation

د) سیستم روی یک تراشه: (SOC) SOC تمامی اجزای یک کامپیوتر یا سیستم الکترونیکی دیگر را بر روی یک تراشه یکپارچه می‌کند. ممکن است شامل CPU، GPU، حافظه و دیگر اجزا باشد.

ه) آرایه‌های دروازه‌ای قابل‌برنامه‌ریزی (FPGA): این تراشه‌ها به‌نحوی طراحی شده‌اند که بعد از ساخت توسط کاربر قابل‌برنامه‌ریزی باشند.

و) تراشه‌های خاص منظوره: (ASIC) این تراشه‌های برای یک کاربری خاص طراحی می‌شوند.

۲-۳-۳. حافظه‌ها

تراشه‌های حافظه (مدارات یکپارچه) دستگاه‌های نیمه‌رسانا هستند که برای ذخیره‌سازی داده‌ها و اطلاعات در سیستم‌های الکترونیکی استفاده می‌شوند. حافظه در تقریباً تمام سیستم‌های محاسباتی و الکترونیکی نقش بسیار حیاتی دارد، به‌عنوان مکانی برای ذخیره داده به‌صورت موقت یا دائم عمل می‌کند. دو نمونه از پرکاربردترین حافظه‌های نیمه‌رسانای امروز حافظه دسترسی تصادفی پویا (DRAM) و حافظه‌های فلش هستند. نکته حائز اهمیت سهم بالای کشورهای شرق آسیا ۷۰٪ به‌خصوص کره جنوبی در تصاحب بازار این حوزه است.

الف) حافظه دسترسی تصادفی پویا (DRAM): برای ذخیره داده یا برنامه‌نویسی کدهای مورد نیاز در حین اجرای پردازنده کامپیوتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع حافظه معمولاً در کامپیوترهای شخصی و سرورها و تلفن‌های هوشمند یافت می‌شوند.

ب) حافظه فلش (Flash): نوعی ذخیره‌سازی غیرفعال است، به این معنا که برای نگه‌داشتن داده نیازی به برق ندارد، بنابراین برای ذخیره دائمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور گسترده‌ای در کارت‌های حافظه، فلش‌ها و درایوهای حالت جامد (SSD) استفاده می‌شود NAND و NOR اصلی‌ترین معماری‌های حافظه فلش هستند.

۳-۳-۳. دیسکریت، آنالوگ و سایر (DAO)

محصولات دیسکریت شامل دیودها و ترانزیستورهایی هستند که به‌صورت مجزا صرفاً برای اجرای یک نقش الکتریکی طراحی شده‌اند. محصولات آنالوگ نیمه‌رساناهایی هستند که اطلاعات مربوط به پارامترهای پیوسته مانند دما و ولتاژ را ارسال، دریافت و تبدیل می‌کنند، مثلاً تبدیل صدا به سیگنال دیجیتال از جمله این تراشه‌هاست.

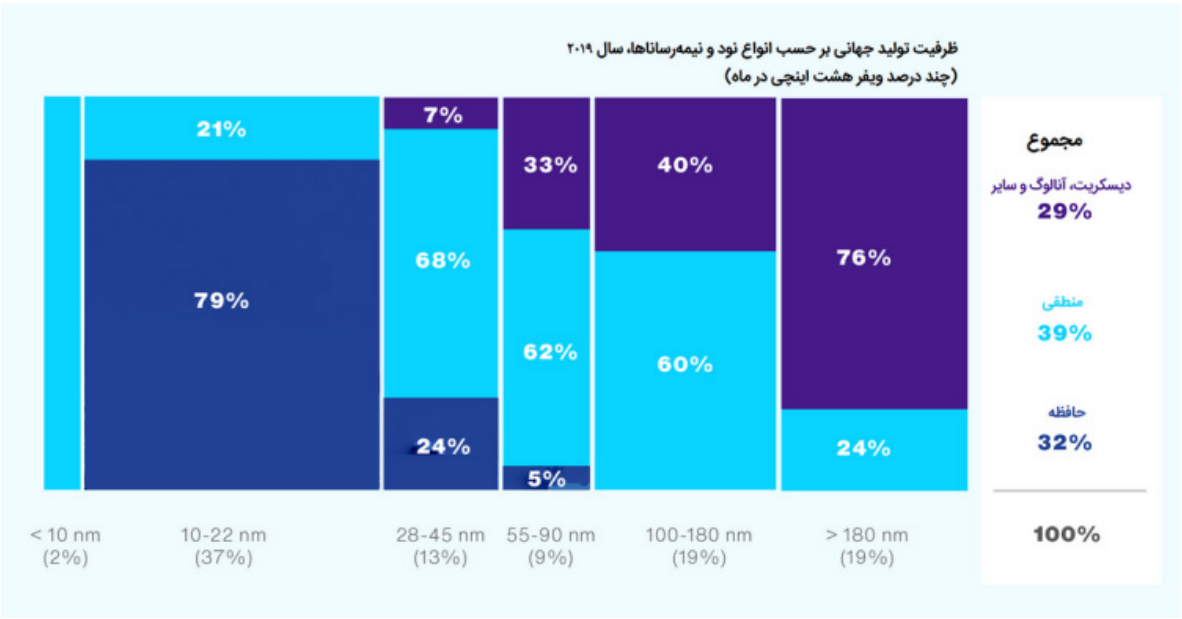
۴-۳. تولید

تمامی مراحل قبلی مقدمات رسیدن به مرحله تولید تراشه بودند. تولید تراشه، کلیدی‌ترین مرحله در زنجیره ارزش نیمه‌هادی‌های به‌شمار می‌آید. سهم عمده‌ای از تولید تراشه در دنیا در اختیار تعداد معدودی از کشورهای جهان است. برخلاف حوزه‌های قبل که نقش کشورهای غربی در زنجیره تولید آن بسیار پررنگ بود. حدود ۷۵٪ از بازار ۱۰۰ میلیارد دلاری تولید تراشه‌های جهان در اختیار کشورهای شرق آسیا به‌خصوص تایوان و چین است.

یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پیشرفت فناوری در تولید تراشه معمولاً با اشاره به‌اندازه نودها مشخص می‌شود. اصطلاح «نود» (Node) به‌معنای اندازه نانو مقیاس گیت‌های ترانزیستورها در مدارهای الکترونیکی است. به‌طور کلی هرقدر اندازه این نودها کمتر باشند، توان تراشه بیشتر و ترانزیستورهای بیشتری در فضای یکسان قرار می‌گیرند. این اصل به قانون مور، در صنعت نیمه‌هادی‌ها مشهور است که طی مدت زمان حدود ۲۴ ماه تعداد ترانزیستورهای روی تراشه‌های منطقی ۲ برابر می‌شود. در حال حاضر کوچک‌ترین تراشه‌های تجاری شده، تراشه‌های ۵ نانومتری هستند و تراشه‌های ۳ نانومتری نیز در حال ورود به بازار هستند.

نکته قابل‌توجه این است که دستیابی به اندازه‌های کوچک‌تر تراشه به‌معنای حذف بازار تراشه‌های با اندازه‌های بزرگ‌تر نیست، بلکه معمولاً با رونمایی از اندازه‌های کوچک‌تر تراشه بازار تراشه‌های قبل در سطح مشخصی ثابت می‌مانند. به‌طور کلی تراشه‌های منطقی و حافظه‌ها بیشترین تأثیر را از کاهش اندازه نودها می‌پذیرند و تراشه‌های DAO چندان نسبت به کاهش اندازه نودها حساس نیستند. نمودار ۴، اندازه بازار هر این حوزه را برحسب نوع تراشه نشان می‌دهد.

نمودار ۴. ظرفیت تولید جهانی بر حسب انواع نود و نیمه‌رساناها، سال ۲۰۱۹ (چند درصد ویفر ۸ اینچی در ماه)



در فرایند تولید تراشه، مدل‌های کسب‌وکاری مختلفی شکل گرفته‌اند که می‌توان آنها را در سه گروه تولیدکنندگان دستگاه مجمع (IDM)، شرکت‌های طراحی و تولید بدون کارخانه (Fabless)، شرکت‌های منحصراً تولیدی (Pure Play Foundry) تقسیم کرد. در ادامه به بررسی هریک از آنها پرداخته می‌شود:

۱-۴-۳. تولیدکنندگان دستگاه‌های مجتمع (IDM)[1]

شرکت‌هایی هستند که نه‌تنها تراشه‌ها را طراحی می‌کند، بلکه آنها را نیز در کارخانجات تولیدی خود (Fab) تولید می‌کند. این موضوع با مدل (Fabless) متفاوت است، که در آن شرکت تراشـــه‌ها را طراحی می‌کند، اما تولید آنها را به کارخانه‌های دیگری واگذار می‌کند. شرکت‌هایی نظیر Intel، Texas instruments و Samsung از جمله این موارد به‌شمار می‌روند. مزایای انتخاب مدل کسب‌وکاری IDM عبارتند از:

الف) کنترل بر تولید: شرکت‌های IDM کنترل مستقیمی بر روی فرایندهای تولیدی خود دارند، که می‌تواند منجر به تکرارهای سریع‌تر و بهبود در تولید تراشه شود.

ب) تضمین کیفیت: نظارت مستقیم بر تولید می‌تواند منجر به کنترل بهتری بر کیفیت و پتانسیل برداشت محصولات بیشتری شود.

ج) حفاظت از مالکیت معنوی: با نگه داشتن تولید درون‌خانه، IDMها می‌توانند حفاظت بهتری از مالکیت معنوی خود داشته باشند.

د) مدیریت زنجیره تأمین: IDMها کنترل بیشتری بر زنجیره‌های تأمین خود دارند، که می‌تواند در مدیریت هزینه‌ها، زمان‌های سررسید، و موجودی مفید باشد.

با وجود این انتخاب این مدل کسب‌وکار با چالش‌هایی نیز مواجه خواهند بود:

الف) هزینه سرمایه‌گذاری بالا: ساخت و حفظ فب‌های پیشرفته بسیار گران است.

ب) تغییرات فناوری سریع: تکامل مداوم در فناوری تولید نیمه‌هادی نیاز به ســـرمایه‌گذاری قابل‌توجه در تحقیق و توسعه و همچنین به‌روزرسانی یا جایگزینی مداوم تجهیزات تولیدی دارد.

ج) اقتصاد مقیاس: IDMها باید از نیاز بالای استفاده از فب‌ها اطمینان حاصل کنند تا هزینه‌های ثابت بالا را بر تعداد بیشتری از تراشه‌ها توزیع کنند.

1. Integrated Device Manufacturer

۲-۴-۳. طراحی و تولید بدون کارخانه (Fabless)

تولید بدون کارخانه (Fabless) به مدل کسب‌وکاری در صنعت نیمه‌هادی اشاره دارد که در آن یک شرکت طراحی و بازاریابی تراشه‌های نیمه‌هادی را انجام می‌دهد، اما هیچ تأسیسات تولیدی (Fab) برای ساخت ویفرهای سیلیکونی که از آنها تراشه ساخته می‌شود، ندارد. به‌جای آن، شرکت‌های Fabless تولید این تراشه‌ها را به یک کارخانه تولید نیمه‌هادی دیگر می‌سپارند. شرکت‌های نیمه‌هادی Fabless معروف شامل NVIDIA، Qualcomm، Broadcom و AMD هستند. آنها تراشه‌ها را برای برنامه‌های مختلف، از پردازش گرافیکی گرفته تا ارتباطات طراحی و سپس با کارخانه‌های دیگر مانند TSMC یا Samsung همکاری می‌کنند تا این تراشه‌ها ساخته شوند.

۳-۴-۳. کارخانه منحصراً سازنده (Pure-play foundry)

یک «کارخانه منحصراً سازنده» در صنعت نیمه‌هادی، شرکتی است که تنها بر روی تولید ویفرهای نیمه‌هادی برای دیگر شرکت‌ها متمرکز است و خود محصول مخصوص به مارک خود را طراحی نمی‌کند. آنها خدمات تولید نیمه‌هادی را براساس قرارداد برای شرکت‌های Fabless ارائه می‌دهند که طراحی اما تولید نمی‌کنند.

ویژگی‌های کلیدی کارخانه‌های تولید خالص عبارتند از:

الف) نداشتن محصولات اختصاصی: برخلاف تولیدکنندگان یکپارچه (IDMs) که نیمه‌هادی‌های مارک خود را طراحی و تولید می‌کنند، کارخانه‌های تولید خالص تراشه‌هایی تحت برند خود تولید نمی‌کنند.

ب) پایه مشتری وسیع: آنها به دسته وسیعی از مشتریان خدمت می‌کنند، از شرکت‌های بزرگ نیمه‌هادی که به ظرفیت تولید اضافی نیاز دارند تا استارتاپ‌های کوچک‌تر که تأسیسات فب خود را ندارند.

ج) اقتصاد مقیاس: به‌دلیل اینکه برای بسیاری از مشتریان تولید می‌کنند، می‌توانند به اقتصادهای مقیاس قابل توجهی دست یابند و هزینه تولید در هر واحد را کاهش دهند.

د) فناوری‌های پیشرفته: بسیاری از کارخانه‌های تولید خالص پیشرو به‌شدت در تحقیق و توسعه سرمایه‌گذاری می‌کنند تا جدیدترین فناوری‌ها و فرایندهای تولید نیمه‌هادی را ارائه دهند. این کمک می‌کند که مشتریانی که به‌دنبال تولید تراشه‌های جدید هستند را جذب کنند.

ه) انعطاف‌پذیری: با نداشتن خط محصول یا برند معین، کارخانه‌های تولید خالص می‌توانند به‌سرعت به تغییرات در تقاضای بازار واکنش نشان دهند و توانایی‌های تولید خود را براساس نیاز تنظیم کنند.

از نمونه‌های برجسته کارخانه‌های صرفاً تولیدی شرکت TSMC و GlobalFoundries و SMIC هستند.

۵-۳. مونتاژ و تست (OSAT)[1]

در صنعت نیمه‌هادی، پس از پردازش ویفر سیلیکون در یک کارخانه، تراشه‌های منفرد (Die) روی ویفر برای محافظت و اتصال به دستگاه‌های خارجی نیاز به بسته‌بندی دارند. علاوه‌بر این آنها باید آزمایش شوند تا مطمئن شویم که به شکل مورد انتظار عمل می‌کنند. این مرحله از مجموعه، بسته‌بندی و آزمایش یک گام حیاتی در فرایند تولید نیمه‌هادی است. تمامی شرکت‌هایی که نیمه‌هادی‌ها را طراحی و / یا تولید می‌کنند، تجهیزات بسته‌بندی و آزمایش خود را ندارند. برای این شرکت‌ها، ارائه‌دهندگان OSAT این خدمات ضروری را ارائه می‌دهند. بزرگ‌ترین ارائه‌دهندگان OSAT معمولاً تجهیزات و امکانات پیشرفته دارند تا با نیازمندی‌های مختلف بسته‌بندی مواجه شوند و آزمایش‌های جامعی روی تراشه‌ها انجام دهند. برخی از بازیگران کلیدی در بازار OSAT شامل شرکت‌های ASE، Amkor و JCET هستند. اندازه بازار شرکت‌های فعال در حوزه OSAT حدود ۳۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود که از این میزان بیش از ۸۰٪ بازار در اختیار چین و سایر کشورهای آسیایی شرقی است.

نمودار زیر به‌خوبی تفاوت‌ها و ارتباطات میان هریک از این مدل‌های کسب‌وکار را نشان می‌دهد. شرکت‌های IDM به‌صورت یکپارچه تمامی مراحل طراحی، تولید، بسته‌بندی و تست را انجام می‌دهند و در این بین در صورت نیاز بخشی از فعالیت‌های خود را متناسب با ظرفیت خود برون‌سپاری می‌کنند. شرکت‌های Fabless به‌طور کامل طراحی‌های خود را در اختیار شرکت‌های Foundry قرار می‌دهند و در سپس این محصولات به شرکت‌های OSAT ارسال می‌شوند.

1. Outsourced Assembly and Test

نمودار ۵. ارتباطات مدل‌های کسب‌وکار متفاوت در صنعت نیمه‌هادی

۶-۳. تجهیزات و مواد اولیه

آخرین گروه از بازیگران کلیدی در زنجیره تأمین میکروالکترونیک که در این بخش به آن پرداخته می‌شود، تأمین‌کنندگان تجهیزات و مواد اولیه تولید تراشه‌ها هستند. تولید تراشه نیازمند بیش از ۵۰ نوع تجهیزات و ماشین‌آلات و بیش از ۳۰۰ نوع ورودی مواد اولیه و شیمیایی است. تولید این ماشین‌آلات و مواد اولیه خود نیازمند پیشرفته‌ترین فناوری‌ها در حوزه خود هستند. اندازه بازار تجهیزات و ماشین‌آلات کارخانه‌های فب حدود ۷۱ میلیارد دلار که حدود ۶۰٪ آن در اختیار آمریکا و کشورهای اروپایی و اندازه بازار مواد شیمیایی و ویفرهای ورودی به کارخانه‌های فب حدود ۸۳ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود که حدود ۷۰٪ آن در اختیار کشورهای شرق آسیاست. با توجه به تنوع و خلوص بسیار بالای مواد شیمیایی و ویفرهای بازار مورد استفاده در کارخانه‌های فب این بخش از زنجیره حساس‌ترین جزء در مدیریت زنجیره تأمین کارخانه‌هاست [۹]. یکی از حساس‌ترین و پرهزینه‌ترین تجهیزات مورد نیاز برای تولید تراشه تجهیزات لیتوگرافی هستند. تجهیزات لیتوگرافی، کلیدی‌ترین نقش در تعیین فناوری تراشه‌ها بر حسب نانومتر را دارند. در حال حاضر بخش عمده از مناقشات میان آمریکا و چین در حوزه میکروالکترونیک در زمینه ممانعت از صادرات محصولات و فناوری‌های مربوط به این تجهیزات به چین است. تعداد بازیگران حوزه تأمین تجهیزات بسیار محدود است، به‌نحوی که چهار شرکت AMAT (آمریکا)، LAM Research (آمریکا)، KLA (آمریکا)، ASML (هلند)، Tokyo Electron (ژاپن) بیش از ۸۰ درصد بازار تجهیزات این حوزه در جهان را تأمین می‌کنند.

۴. بررسی اقدامات و مصوبات مؤثر بر صنعت میکروالکترونیک ایران

نقش‌آفرینی در صنعت میکروالکترونیک به‌دلیل ابعاد فناورانه و اقتصادی پیچیده‌ای که دارد برای ورود بازیگران جدید مسئله‌ای پیچیده به‌شمار می‌آید. ایالات متحده، اروپا، چین، ژاپن، تایوان، کره جنوبی ۶ منطقه جغرافیایی اصلی هستند که بر صنعت میکروالکترونیک احاطه دارند، اما هریک از این مناطق نقش متفاوتی در زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها ایفا می‌کند. به‌طور کلی، ایالات متحده فعالیت‌های متمرکز بر تحقیق و توسعه نظیر نرم‌افزارهای خودکارسازی طراحی الکترونیکی، IP core، طراحی تراشه و ساخت تجهیزات تولید را رهبری می‌کند. ازسوی‌دیگر تولید مواد خام، کارخانه‌های تولید، مونتاژ، تست و بسته‌بندی که نیازمند سرمایه‌گذاری ثابت بیشتری هستند، در آسیا متمرکزند. علی‌رغم این تقسیم‌کار جهانی در سالیان اخیر حتی کشورهای پیشرو این حوزه نیز به‌سمت خوداتکایی بیشتر از طریق انتقال هر چه بیشتر زنجیره تأمین و تولید به داخل خاک کشورهای خود حرکت کرده‌اند.

نقش‌آفرینی در زنجیره تولید جهانی نیمه‌هادی‌ها برای کشـــوری مانند ایران که تحت‌تأثیر تحریم‌های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با این حوزه قرار دارد از پیچیدگی بیشتری نیز برخوردار است. با وجود این با یک نگاه حداقلی برنامه‌ریزی برای کاهش تهدیدات اقتصادی و امنیتی بالقوه این صنعت برای کشور و در یک نگاه حداکثری تلاش برای نقش‌آفرینی در زنجیره جهانی این حوزه برای کشور امری ناگزیر است. بررسی تاریخچه حمایت از صنعت الکترونیک در کشور نشان می‌دهد عمده حمایت‌های صورت گرفته در این حوزه اساساً معطوف به ساخت محصولات نهایی الکترونیکی بوده و صنعت میکروالکترونیک به‌صورت خاص کمتر مورد حمایت قرار گرفته است. بااین‌حال این حمایت‌ها را می‌توان حداقل در ۴ دوره بررسی کرد [۱۰,۱۱].

۱-۴. ادوار مؤثر بر صنعت میکروالکترونیک در ایران

دوره اول حمایت‌ها مربوط به دهه ۴۰ شمسی بوده است که تمرکز اغلب حمایت‌ها بر جلب مشارکت شرکت‌های خارجی صاحب نام نظیر زیمنس آلمان، NEC ژاپن، گروندینگ آلمان و... برای راه‌اندازی خطوط تولید انواع محصـــولات نهایی نظیر تجهیزات مخابراتی، رادیو و تلویزیون و محصولات نظامی قرار داشته است.

دوره دوم توجه به صنعت الکترونیک در کشور معطوف به دهه‌های ۵۰ و ۶۰ و در سایه جنگ بود. هدف حمایت‌ها در این دوره رفع نیازمندی‌های جنگ در حوزه الکترونیک بود، اما نتایج آن در دهه‌های بعد زمینه‌ساز تشکیل نهادها و شرکت‌هایی در حوزه میکروالکترونیک بود.

موج سوم حمایت از صنعت میکروالکترونیک در کشور در دهه ۷۰ شمسی با ایجاد نهادهایی نظیر صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع الکترونیک در وزارت صنایع و شـــرکت‌های تخصصی دولتی و خصوصی با حمایت سازمان صنایع ملی ایران و پس از آن سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران شـــکل گرفت. اولین تلاش‌های متمرکز بر صنعت میکروالکترونیک را می‌توان در این دوره شناسایی کرد با وجود این هرچند تشکیل این شرکت‌ها و نهادها منجر به ایجاد دستاوردهایی در حوزه میکروالکترونیک برای کشور شد، اما برنامه‌ریزی نامناسب و عدم تداوم حمایت‌های لازم باعث عدم دستیابی این جریان به اهداف نهایی خود شد.

موج چهارم حمایت‌ها در دهه ۸۰ در بستر سازمان صنایع نوین وزارت صنایع و با تمرکز بر حمایت از شرکت‌های خصوصی شکل گرفت. هرچند سرفصل میکروالکترونیک یکی از عناوین مورد حمایت این سازمان بود، ولی در این دوره نیز عمده موفقیت‌های حاصل شده در حوزه ساخت محصولات نهایی مخابراتی و الکترونیکی به‌دست آمده و در حوزه نیمه‌هادی‌های صرفاً چند پروژه محدود تعریف و نتیجه رسید.

توجه به صنعت میکروالکترونیک پس از دوره چهارم تقریباً برای حدود یک دهه کم‌رنگ و به شکل محدودی ادامه یافت. آسیب‌شناسی عدم دستیابی به اهداف مدنظر حمایت‌های به عمل آمده از صنعت میکروالکترونیک را می‌توان در دو بُعد ریشه‌یابی کرد:

الف) حمایت‌های مالی نوسانی و غیرمداوم

بررسی اقدامات سایر کشورها در حوزه میکروالکترونیک نشان داد، سیاستگذاری صنعتی در حوزه میکروالکترونیک در تمامی کشورهای دنیا با اصولی ثابتی نظیر تزریق تشویق‌های مالی کلان و انتظار بازدهی اقتصادی در افق‌های زمانی بلندمدت همراه بوده است. در این شرایط عمده حمایت‌های صورت گرفته از صنعت میکروالکترونیک در کشور به شکل مقطعی، غیرمستقیم و با انتظار بازدهی کوتاه‌مدت صورت گرفته است.

ب) توجه اندک به سیاست‌های طرف تقاضا

دومین چالش اصلی صنعت میکروالکترونیک کشور را می‌توان ناشی از بی‌توجهی به مداخلات سیاستی لازم در طرف تقاضا دانست. تیراژ تولید یکی از گلوگاه‌های بسیار کلیدی در تولید تراشه‌ها به‌شمار می‌آیند. ایجاد صرفه اقتصادی در تولید تراشه‌ها نیازمند پیگیری سیاست‌هایی نظیر تجمیع تقاضا، ارائه برنامه‌های زمان‌بندی خرید و مدیریت شرکت‌های حاضر در زنجیره تأمین تولید محصولات نهایی به‌منظور پیروی از خرید تراشه‌های مدنظر است. در صورت عدم اجرا چنین مداخلاتی پروژه‌های طراحی و تولید تراشه در مقیاسی آزمایشگاهی و نمونه‌سازی خلاصه خواهد شد، درحالی که تداوم رشد این صنعت در گروه تعریف پروژه‌های صنعتی است.

۲-۴. قوانین مؤثر بر صنعت میکروالکترونیک ایران

در ابتدای دهه ۱۴۰۰ شمسی، پس نمایان شدن آثار جدی کمبود تراشه‌های بر اقتصاد کشور که ناشی از همه‌گیری ویروس کرونا و اختلافات ژئوپلیتیک میان کشورها بود، توجه به این صنعت در کشور مجدداً افزایش یافت. شکل‌گیری مجدد این توجهات به درخواست نیروهای مسلح و همکاری معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست‌جمهوری آغاز شـــد و در مجلس شورای اسلامی نیز در در تبصره «۷» قانون بودجه سنوات ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ منابع مورد نیاز برای حمایت از این صنعت را در نظر گرفت.

۱-۲-۴. بند «ن» به تبصره «۷» قانون بودجه سال ۱۴۰۱

«ن- حقوق ورودی واردات گوشی‌های همراه ساخته شده خارجی بالای ششصد (۶۰۰) دلار برابر دوازده درصد (۱۲٪) تعیین می‌گردد. کل منابع حاصل پس از واریز به ردیف درآمدی شماره ۱۱۰۴۱۰ جدول ۵ این قانون به وزارت صنعت، معدن و تجارت (صندوق حمایت از تحقیقات

و توسعه صنایع پیشرفته) به‌منظور حمایت از تولید گوشی‌های هوشمند داخلی و صنعت ریزالکترونیک (میکروالکترونیک) اختصاص می‌یابد. آیین‌نامه اجرایی این بند توسط وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات با همکاری وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان برنامه‌وبودجه کشور تهیه و به تصویب هیئت‌وزیران می‌رسد».

بررسی وضعیت عملکرد اجرایی این بند حاکی از چالش‌های جدی و انحرافات عملکرد دولت در تحقق اهداف این بند بوده است. اختلاف قابل‌توجه بین درآمدها حاصل از این محل با میزان تخصیص یافته به صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع پیشرفته مهم‌ترین انحراف در این زمینه به‌شمار می‌آید. بررسی آمار واردات گوشی‌های بالای ۶۰۰ دلار در سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد در شرایطی که فقط یک میلیون دستگاه گوشی تلفن همراه از برند آیفون که عمدتاً قیمت نزدیک به ۱۰۰۰ دلار دارد به کشور وارد شده، در پایان سال ۱۴۰۱ کمتر از ۲۰۰ میلیارد تومان از منابع حاصل از این بند به صندوق مذکور واریز شده است.

تأخیر در تدوین و تصویب آیین‌نامه اجرایی یکی دیگر از ضعف‌های عملکرد دولت در این بخش بوده است. زیرا تصویب آیین‌نامه اجرایی در شهریورماه سال ۱۴۰۱ عملاً فرصتی برای همکاری میان دستگاه‌های ذی‌ربط در آیین‌نامه را فراهم نکرد. درنهایت آخرین چالش پیش‌روی اجرای موفق این قانون مربوط به سازوکارهای هزینه‌کرد منابع واریز شده به صندوق مذکور بوده است. در نظر گرفتن منابع واریزی به‌عنوان افزایش سرمایه صندوق در کنار فقدان ابزارها و سازوکارهای ریسک‌پذیر در صندوق منجر به محدود شدن نحوه هزینه‌کرد این منابع در قالب اعطای ضمانت‌نامه و پرداخت تسهیلات با شرایط غیر متناسب با این صنعت شده است [۱۲]. درحالی‌که درآمد دولت از این محل حدود ۱۰۰ میلیون دلار برآورد می‌شود.

۲-۲-۴. بند «ط» به تبصره «۷» قانون بودجه سال ۱۴۰۲

«ط- حقوق ورودی رویه تجاری واردات گوشی‌های تلفن همراه خارجی بالای ششصد (۶۰۰) دلار حداقل پانزده درصد (۱۵٪) تعیین می‌گردد، واردات گوشی در سایر رویه‌ها به مأخذ دو برابر محاسبه و دریافت خواهد شد. وزارت امور اقتصادی و دارایی (گمرک جمهوری اسلامی ایران) مکلف است منابع حاصل از اجرای این حکم را به ردیف درآمدی ۱۱۰۴۱۰ واریز کند تا صرف حمایت از توسعه زیرساخت‌های صنعت ریز (میکرو) الکترونیک گردد. واردات این کالاها از طریق مناطق آزاد تجاری و صنعتی، نیز مشمول این حکم می‌شود. مسئولیت تقسیم کار نهادی وظایف و راهبری تحقق این بند برعهده کارگروه ویژه اقتصاد رقومی (دیجیتال) دولت قرار دارد».

در متن مصوب قانون بودجه سال ۱۴۰۲ کلیه منابع حاصل از تعرفه واردات گوشی‌های بالای ۶۰۰ دلار بر خلاف سال ۱۴۰۱ به حمایت از صنعت میکروالکترونیک تخصیص یافت. بررسی میزان واردات گوشی‌های تلفن همراه بالای ۶۰۰ دلار در سامانه همتا نشان می‌دهد در صورت تداوم حضور این حکم در قوانین سنواتی بودجه و تخصیص کامل منابع حاصل می‌توان سالیانه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون دلار به‌منظور حمایت از این صنعت تخصیص داد [۱۲].

در نظر گرفتن سرفصل مالی مجزا در قانون سالیانه بودجه کشور و تحقق اجرایی آن، می‌تواند به میزان قابل‌قبولی چالش نوسان حمایت صنعت میکروالکترونیک کشور را مرتفع کند، اما مسئله ساماندهی طرف تقاضا جهت هدف‌گذاری طراحی و تولید تراشه‌های راهبردی و پرکاربرد مورد نیاز کشور همچنان نیازمند برنامه‌ریزی جدی‌تر ازسوی دولت است. در شرایط فعلی دستگاه‌هایی نظیر وزارت صنعت، معدن و تجارت، معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست‌جمهوری، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات و وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح کشور به‌صورت مستقیم در راهبری این صنعت تأثیرگذار بوده و بنابراین ضرورت دارد مطابق برنامه مشترکی در این حوزه فعالیت کنند. مسئله‌ای که در قانون بودجه سال ۱۴۰۲ هماهنگی آن برعهده کارگروه ویژه اقتصاد دیجیتال دولت قرار داده است و پیگیری تصویب دستورالعمل آن به‌رغم گذشت نیمی از سال ۱۴۰۲ همچنان در کارگروه اقتصاد دیجیتال دولت ادامه دارد.

۵. راهبردهای پیشنهادی توسعه صنعت میکروالکترونیک برای ایران

راهبردهای پیشنهادی توسعه صنعت میکروالکترونیک در کشور باید در دو حوزه مکمل تقویت جریان طراحی تراشه کشور (Fablees) و اقدام در راستای ساخت و تولید تراشه (Fab) دنبال شود. جدول زیر به‌طور خلاصه راهبردهای پیشنهادی به‌منظور برای ارتقای صنعت میکروالکترونیک ایران را نشان می‌دهد که در ادامه به بررسی کامل‌تر راهبردهای پیشنهادی ذیل هریک از این حوزه‌ها پرداخته می‌شود.

جدول ۱. راهبردهای پیشنهادی توسعه صنعت میکروالکترونیک در ایران

زمینه فعالیت	راهبرد کوتاه‌مدت	راهبرد میان‌مدت	راهبردی بلندمدت
طراحی تراشه (Fabless)	راه‌اندازی مراکز آموزش و خدمات طراحی تراشه	طراحی تراشه‌های پرکاربرد داخلی	ورود به بازار جهانی طراحی تراشه
تولید تراشه (Fab)	ایجاد دسترسی پایدار به Fab خارجی	سرمایه‌گذاری در زنجیره بالادستی	انتقال کارخانه فب به ایران

۵-۱. طراحی تراشه (Fabless)

همان‌طور که بررسی شد مدل کسب‌وکاری طراحی تراشه و برون‌سپاری آن به کارخانه‌های تولید تراشه خارجی یکی از متداول‌ترین رویکردها در صنعت میکروالکترونیک است. این رویکرد علاوه‌بر کاهش هزینه‌های ثابت سرمایه‌گذاری در تولید می‌تواند تا حد قابل توجهی نگرانی‌های کشور در زمینه رفع پایدار نیازمندی‌های کشور و ارتقای امنیت تراشه‌های کشور منجر شود. راهبردهای مورد نیاز در این بخش عبارتند از: الف) ایجاد مراکز خدمات طراحی تراشه، ب) برنامه ملی بومی‌سازی تراشه‌های پرکاربرد و راهبردی و ج) ورود به بازارهای جهانی طراحی تراشه.

۵-۱-۱. راهبرد پیشنهادی کوتاه‌مدت: راه‌اندازی مراکز تخصصی آموزش و خدمات طراحی تراشه در سطح کشور

به‌طور کلی طراحی تراشه موضوعی کاملاً تخصصی و نیازمند سطوح بالایی از تحصیلات و تجربیات دانشگاهی است به همین دلیل تأمین جریان مداوم از متخصصین دانشگاهی در زمینه طراحی تراشـــه یکی از راهبردهای اصلی برای بقا و ارتقای صنعت میکروالکترونیک در هر کشوری به‌شمار می‌آید. آموزش و تحقیقات کاربردی و بنیادی در زمینه طراحی تراشه، نیازمند تعریف پروژه‌های عملی و نمونه‌سازی تراشه و ارزیابی نتایج آن است. در شرایط فعلی به‌دلیل کامل نبودن برخی زیرساخت‌های کشور نظیر دسترسی مناسب به نرم‌افزارها و کتابخانه‌های طراحی، دسترسی مناسب به فب‌های خارجی جهت تولید نمونه و در کل هزینه بالای اجرای پروژه‌های آموزشی و تحقیقاتی در مقایسه با منابع گروه‌های تحقیقاتی این حوزه، تمایل کمتری ازسوی سرمایه‌های انسانی بالقوه و دانشگاهیان به‌منظور فعالیت و رشد در این حوزه، در مقایسه با سایر حوزه‌های تحقیقاتی الکترونیک که شیوه ارتقای عملی و علمی در آنها ساده‌تر بوده، رایج شده است.

به‌منظور حل این چالش در کوتاه‌مدت، باید همانند بسیاری از کشورهای پیشـــرو دنیا، نهادسازی و برنامه حمایتی مشخصی برای استفاده دانشگاهیان و گروه‌های طراحی در کشور ایجاد شود که از طریق آن خدمات مختلفی نظیر به اشتراک گذاری ابزارهای طراحی، نمونه‌سازی چند پروژه بر روی یک ویفر (MPW)[1] و به‌طور کلی آموزش‌های طراحی ارائه می‌شود.

MPW یک شیوه برای ساخته نمونه اولیه و آزمایشگاهی است که در آن به متقاضیان این امکان داده می‌شود که هزینه ساخت تراشه بین چندین طرح یا پروژه بدین صورت تقسیم شود که چندین طراحی تراشه مختلف بر روی یک ویفر سیلیکونی تولید شود. اجرای چنین مدلی نیاز به «ایجاد مراکز تخصصی ارائه خدمات طراحی تراشه در سطح کشور» است که در کنار ارائه آموزش‌ها و زیرساخت‌های طراحی، طرح‌های تحقیقاتی مختلف را براساس اولویت‌های کشور دریافت و پس از آن نســـبت تجمیع طرح‌ها در کنار یکدیگر و ارسال آن برای کارخانه‌های تولید تراشه از طریق مسیرهای ارتباطی رسمی و غیررسمی اقدام کند. با تأســـیس و حمایت دولت از این مراکز می‌توان امکان دسترسی و هزینه‌های مضاعف سربار طراحی در ایران را تا حدی کاهش داد و از همه مهمتر جریان ایجاد سرمایه انسانی در حوزه میکروالکترونیک را در کشور حفظ کرد.

۵-۱-۲. راهبرد پیشنهادی میان‌مدت: بومی‌سازی طراحی تراشه‌های پرکاربرد و راهبردی کشور

یکی از متغیرهای کلیدی برای موفقیت صنعت میکروالکترونیک در ایران، فراهم کردن صرفه اقتصادی برای طراحی تراشه توسط بازیگران داخلی در مقایسه واردات است. تراشه‌ها از منظر میزان مصرف را می‌توان به دو دسته تراشه‌های خاص منظوره با تیراژ کم و تراشه‌های عمومی با حجم مصرف بالا دسته‌بندی کرد.

1. Multi Project Wafer

به‌طور کلی در طراحی تراشه‌های خاص‌منظوره، نظیر تراشه‌های نظامی، امنیتی و برخی محصولات مخابراتی، عمدتاً به‌دلیل هزینه‌های بالای مهندسی غیرتکراری[1] (NRE) مانند تحقیق و توسعه و حساسیت پایین شکست این هزینه‌ها بر روی تیراژ تولیدی، قیمت تمام شده تراشه در سطح جهانی نیز بالاست. ازسوی دیگر سرمایه انسانی متخصص ارزان‌قیمت یکی از مزیت‌های اصلی در کشور ما به‌شمار می‌آید. همچنین اساساً دسترسی تراشه‌های خارجی به‌دلایل تحریمی و مسائل امنیتی برای کشور دارای هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم مضاعف خواهد بود. لذا رقابت‌پذیری در طراحی این نوع تراشه‌ها برای کشور امکان‌پذیرتر خواهد بود.

در رابطه با طراحی تراشه‌های با مصارف عمومی و تیراژ بالا نظیر تراشه‌های مورد استفاده در صنایع لوازم الکترونیکی مصرفی، لوازم‌خانگی، سیم‌کارت‌ها، خودروسازی و مودم‌های مخابراتی، چالش اصلی طراحان داخلی رقابت قیمتی با تأمین‌کنندگان خارجی به‌دلیل کم اهمیت شدن هزینه تحقیق و توسعه ناشی از نیروی انسانی از طریق شکست هزینه‌ها بر روی تیراژ بالای تولیدات این حوزه است.

به‌منظور موفقیت در طراحی و تجاری‌سازی هر گروه از تراشه‌های فوق در داخل کشور در میان‌مدت، باید سیاست صنعتی متناسبی ازسوی دستگاه‌های ذی‌ربط دنبال شـــود. با وجود این اصول سیاست صنعتی مناســـب برای این حوزه عبارتند از: تعیین تراشه‌های هدف برمبنای نیازمندی‌های کشور، تجمیع تقاضا و سفارش‌گذاری بلندمدت برای طراحان تراشه به‌منظور اقتصادی کردن طراحی و تولید، ارائه یارانه و معافیت مالیاتی به شرکت‌های خریدار تراشه به‌منظور پوشش اختلاف قیمت احتمالی، حمایت‌های تعرفه‌ای و تدوین استانداردهای لازم به‌منظور الزام شرکت‌های بالادست زنجیره تأمین محصولات نهایی الکترونیکی به استفاده از تراشه‌های داخلی در تولید زیرمجموعه‌های محصول نهایی.

۳-۱-۵. راهبردی پیشنهادی بلندمدت: ورود به بازارهای جهانی طراحی تراشه

مزیت بالقوه ســـرمایه انســـانی متخصص و ارزان‌قیمت در کشـــور یکی از فرصت‌های کلیدی برای ورود به زنجیـــره ارزش جهانی صنعت میکروالکترونیک از طریق اجرا پروژه‌های طراحی و فروش دارایی‌های فکری (IP cores) در بلندمدت به‌شمار می‌آید. در این راستا، دولت باید به روش‌های مختلف بستر لازم برای جلب همکاری و فرصت‌های بین‌المللی را فراهم سازد. این هدف می‌تواند از طریق راهبرد حمایت از تأسیس دفاتر طراحی در سایر کشورها و جذب فرصت‌های بین‌المللی با پوشش این دفاتر دنبال شود.

۲-۵. اقدام در راستای ساخت تراشه (Fab)

در حال حاضر بخش زیادی از چالش‌های حوزه میکروالکترونیک کشور از دسترسی پیچیده و دشوار به کارخانه‌های تولید تراشه ناشی می‌شود. در این شرایط راهبردهای: الف) ایجاد دسترسی پایدار به فب‌های خارجی در کوتاه‌مدت، ب) نقش‌آفرینی در زنجیره مواد اولیه در میان‌مدت و ج) احداث کارخانه فب در کشور در بلندمدت توصیه می‌شود که در ادامه به بررسی دقیق‌تر هریک از این موارد پرداخته می‌شود.

۱-۲-۵. راهبرد پیشنهادی کوتاه‌مدت: ایجاد دسترسی پایدار به فب‌های خارجی

به‌دلیل حساسیت‌های تحریمی بر ایران در حوزه خرید تراشه و به همچنین دسترسی به زیرساخت‌های تولیدی کارخانه‌های فب، یکی از اصلی‌ترین راهبردهایی که باید در کوتاه‌مدت توسط دولت دنبال شود، پیگیری ایجاد دسترسی پایدار به یک یا چند کارخانه فب خارجی از طریق مذاکره و همکاری با کشورهای همسو نظیر چین و روسیه است. این مذاکرات می‌تواند حول راهبردهای همکارانه‌ای نظیر دریافت مجوز همکاری مستقیم فب‌های هدف با شرکت‌های طراحی ایرانی، اجاره بخشی از ظرفیت خطوط تولید فب‌های موجود در طول سال برای ایران، سرمایه‌گذاری مشترک در تأسیس یک فب جدید در کشور خارجی، تملیک بخشی از مالکیت و مدیریت فب خارجی، استفاده از متخصصین ایرانی در فب خارجی به‌منظور یادگیری فرایندها و انتقال فناوری تعریف شود.

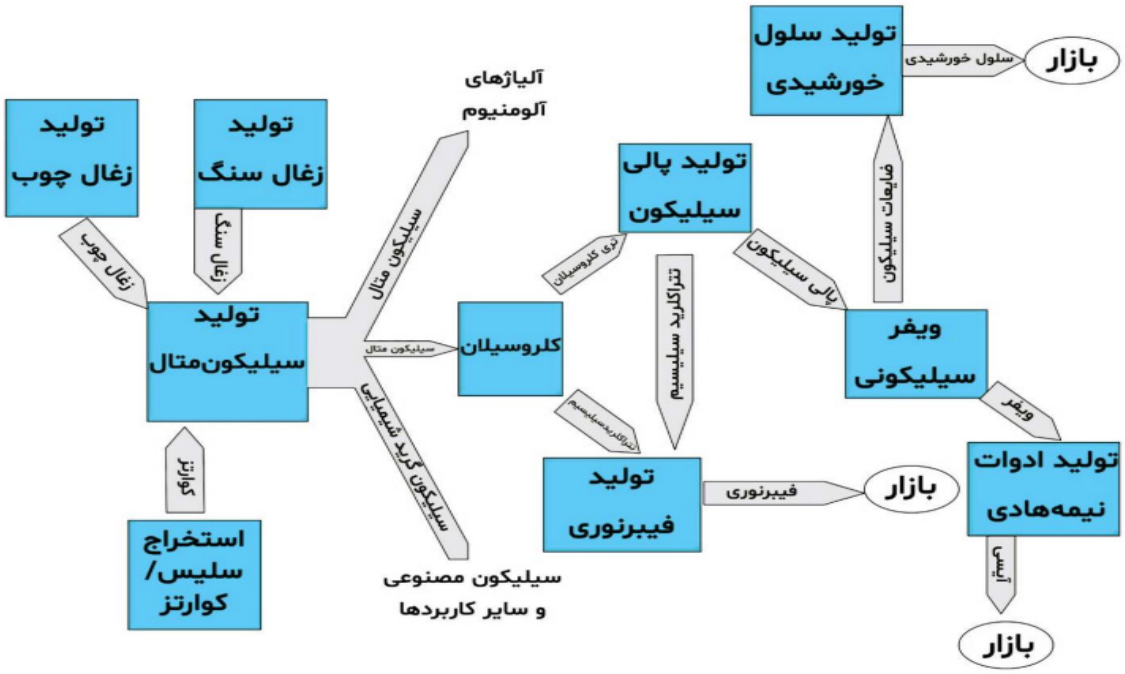
شایان ذکر است راه‌اندازی کارخانه فب موضوعی فراتر و پیچیده‌تر از صرفاً نصب ماشین‌آلات یک کارخانه تولید تراشه است و تنظیم فرایندها و پیاده‌سازی دستورالعمل‌های تولید تا دستیابی به بازدهی[2] قابل‌قبول بعضاً ماه‌ها به طول خواهد انجامید. لذا هرگونه برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت و راه‌اندازی کارخانه فب در داخل یا خارج از کشور باید با یادگیری و استفاده از دانش فنی انباشته شده در متخصصین بین‌المللی این حوزه صورت پذیرد.

1. Non Recurring Engineering
2. Yield

۲-۲-۵ راهبرد پیشنهادی میان‌مدت: سرمایه‌گذاری در زنجیره بالادستی مواد اولیه

نیمه‌هادی‌ها دارای یک زنجیره مواد اولیه بالادستی از جنس سیلیکون با بازارهای وسیع بین‌المللی هستند. سنگ سیلیکون ماده اولیه صنعت نیمه‌هادی‌ها به‌شمار می‌آید. این ماده جزو فراوان‌ترین عناصر بر روی پوسته زمین به‌شمار می‌آید. در ایران نیز معادن سیلیس با خلوص بالا یافت می‌شوند که از جمله آنها می‌توان به معادن موجود در استان‌های لرستان، آذربایجان غربی و فارس مورد اشاره کرد. در حال حاضر تولید سیلیکون متال در کشور با افتتاح چند کارخانه جدید در سال جاری سرعت و حجم بیشـــتری پیدا کرده‌است[۱۳]، با وجود این همچنان سرمایه گذاری‌های بیشتری در سایر بخش‌های زنجیره به دستیابی به یک زنجیره کامل مورد نیاز است. یکی از کلیدی‌ترین مؤلفه‌های تولید سیلیکون متال میزان خلوص حاصل شده است. در حال حاضر خلوص تولیدی این کارخانه‌ها عمدتاً متناسب با صنعت ساخت انواع آلیاژهای آلومینیومی است.

شکل ۱. زنجیره تولید سیلیکون (دلیری)



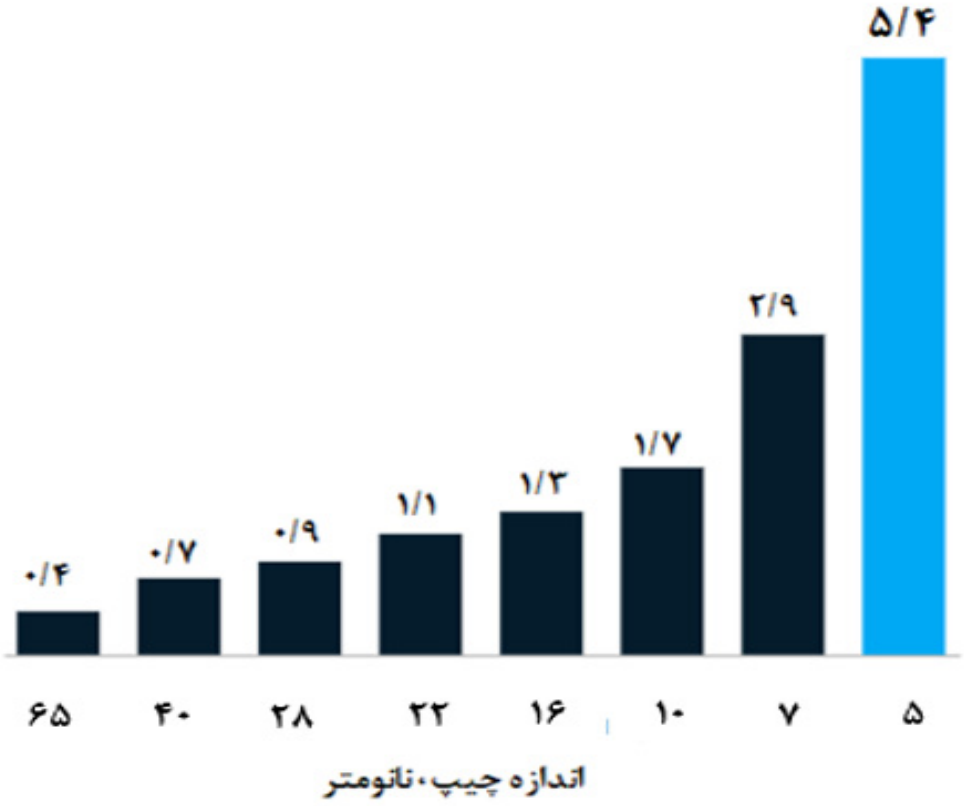
سرمایه‌گذاری در زنجیره ارزش بالادستی می‌تواند به شکوفایی بازارهای جدیدی در صنایع مختلف نظیر سلول‌های خورشیدی در صنعت نیروگاه‌های خورشیدی، ساخت شمش و ویفرها برای صنعت میکروالکترونیک، ساخت انواع تارهای نوری در صنعت کابل‌سازی، ساخت انواع رنگ‌ها و پوشش‌های عایقی در صنعت مواد شیمیایی، ساخت انواع مکمل‌ها و رنگ‌های غذایی و ساخت انواع پودرها و مکمل‌های آرایشی در صنعت آرایشی و بهداشتی منجر شود.

ازسوی‌دیگر بهره‌برداری از یک کارخانه تولید تراشه در کشور به‌صورت مداوم نیازمند حجم زیادی از مواد اولیه نظیر ویفرهای سیلیکونی، اسیدها و گازهای خاص منظوره با خلوص بالاست که در شرایط تحریم به‌سادگی در اختیار کشور نخواهد بود. در این راستا سرمایه‌گذاری در برخی از این حوزه‌ها به‌دلیل مزیت‌های طبیعی کشـــور به‌خصوص در حوزه معادن می‌تواند منجر به کاهش تحریم‌پذیری و تنوع مبادی همکاری‌های بین‌المللی کشور در صنعت نیمه‌هادی‌های و درنهایت ایجاد سطحی از وابستگی متقابل میان ایران و سایر کشور در این حوزه شود. لذا راهبرد پیشنهادی برای کشور در این بخش در میان‌مدت سرمایه‌گذاری بر تکمیل زنجیره ارزش بالادستی صنعت میکروالکترونیک است.

۳-۲-۵. راهبرد پیشنهادی بلندمدت: انتقال کارخانه فب به ایران

احداث کارخانه تولید تراشه (فب) در خاک ایران نیازمند سرمایه‌گذاری بلندمدت است. مقدار این سرمایه‌گذاری تابع عوامل متعددی نظیر ظرفیت تولید کارخانه، فناوری‌های مدنظر از برای کارخانه از منظر اندازه تراشه و میزان وابستگی به تأمین‌کنندگان خارجی است. نمودار زیر برآوردی از میزان سرمایه‌گذاری ثابت مورد نیاز برای ساخت یک کارخانه فب در شرایط معمول و بدون هزینه‌های عملیاتی را نشان می‌دهد.

نمودار ۶. هزینه‌های ساخت فب (میلیارد دلار)

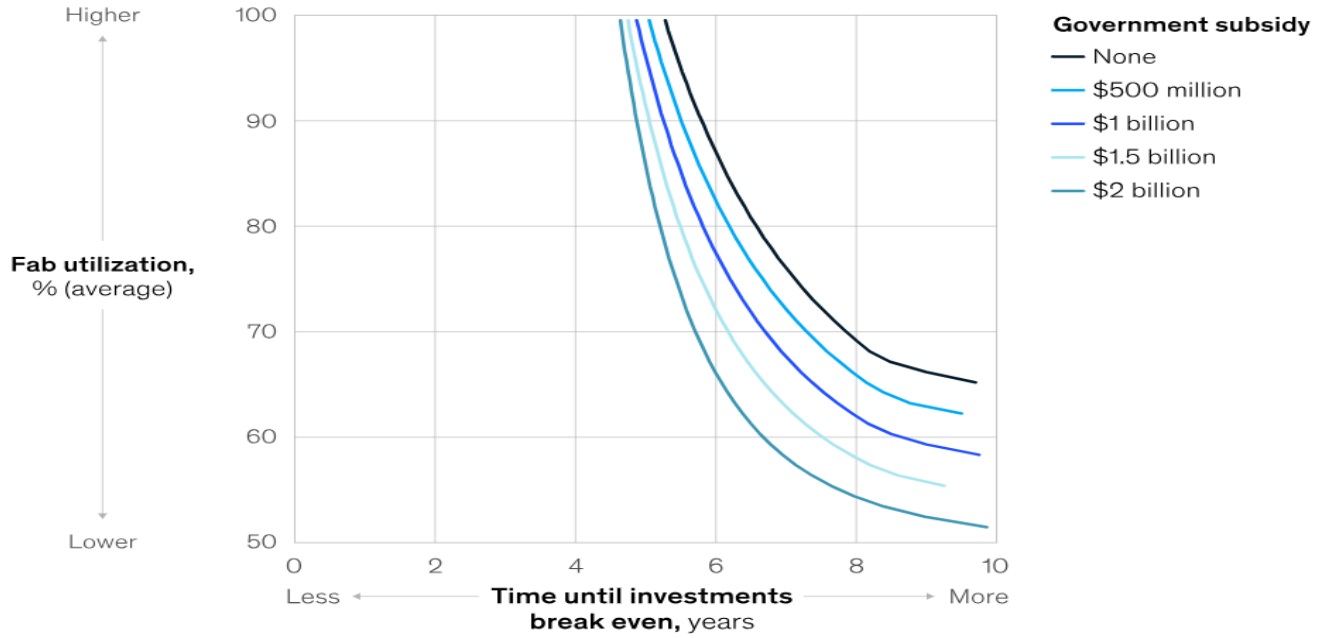


مأخذ: مکنزی [۱۴].

برای کشوری مانند ایران میزان سرمایه‌گذاری لازم برای تأسیس یک کارخانه فب با فناوری سیلیکونی و اندازه ۶۵ تا ۹۰ نانومتر که بتواند برطرف‌کننده غالب نیازهای صنعتی کشور در طول یک تا دو دهه آینده باشد حدود یک میلیارد دلار سرمایه‌گذاری ثابت برآورد می‌شود. زیرا ساخت فب در ایران علاوه‌بر هزینه‌های اشاره شده با هزینه‌های دیگری از جمله تحریم‌ها، هزینه‌های مرتبط با آموزش راه‌اندازی، مدیریت فرایندها و نحوه تأمین مواد اولیه به‌دلیل فقدان تجربه پیشین مواجه خواهد بود.

بررسی‌های بین‌المللی نشان می‌دهند، در رابطه با فب‌های پیشرفته مدت زمان لازم برای رسیدن به نقطه سربه‌سر با در نظر گرفتن عواملی نظیر میزان سرمایه‌گذاری ثابت و دوره استهلاک آن، میزان درآمد براساس متوسط قیمت فروش تراشه در طول سال‌های مختلف، هزینه‌های عملیاتی قابل‌توجه نظیر آب، برق و نیروی انسانی و مواد اولیه و میزان حمایت‌های دولتی به‌عنوان یک متغیر کلیدی بین ۵ تا ۱۰ سال به طول خواهد انجامید. مطابق نمودار ذیل این مدت به‌شدت وابسته به دو متغیر میزان یارانه دولت و میزان بازدهی فب است.

نمودار ۷. سناریوهای مختلف برای رسیدن به نقطه سر به سر برای کارخانه فب [۱۴]



مأخذ: همان [۱۴].

نکته حائز اهمیت این است که سرمایه‌گذاری به‌منظور احداث یک کارخانه فب در کشور بدون تحقق راهبردهای کوتاه‌مدت و میان‌مدت اشاره شده در بخش‌های قبلی عملاً موفق نخواهد بود. لذا به‌منظور تصمیم‌گیری برای ساخت یک کارخانه فب باید در ابتدا وضعیت تقاضای محصولات و تغییرات احتمالی بلندمدت آنها را به‌طور کامل بررسی و پس از آن به‌صورت ویژه با صنایع و مشتریان تراشه وارد قراردادهای همکاری نزدیک و بلندمدت شد تا بتوان همواره سطح قابل‌قبولی از بهره‌وری تولید را تضمین کرد.

منابع و مآخذ

1. https://tradingeconomics.com/world/full-year-gdp-growth.
2. https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors.
۳. آمار واردات سالیانه گمرک جمهوری اسلامی ایران.
4. https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-chips-act/.
5. https://www.farsnews.ir/news/14000610000688.
6. https://www.bloomberg.com/news/features/2018-10-04/the-big-hack-how-china-used-a-tiny-chip-to-infiltrate-america-s-top-companies.
7. Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era | BCG
8. Alam, S,. Chu, T,. Leblanc, J,. Krishnan, A,. Alsheik, Sh,. (2022), Harnessing the power of the semiconductor value chain, Published by Accenture Strategy Semiconductor. Accenture. Harnessing the power of the semiconductor value chain (accenture.com).
9. Harnessing the power of the semiconductor value chain (accenture.com).
۱۰. گزارش جامع سند راهبردی توسعه فناوری میکروالکترونیک معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری، ابراهیم سوزن‌چی کاشانی، پاییز ۱۳۹۵.
۱۱. پژوهشکده سیاستگذاری دانشگاه صنعتی شریف (۱۴۰۲)، بررسی صنعت نیمه‌هادی‌ها در ایران و جهان، کارفرما: صندوق حمایت از تحقیقات و توسعه صنایع پیشرفته.
۱۲. گزارش واردات گوشی‌های تلفن همراه، سامانه همتا.
13. https://www.iribnews.ir/fa/news/3965235.
14. McKinsey on Semiconductors Number 8, October 2021.

گزیده سیاستی

نقش‌آفرینی کشور در زنجیره تولید جهانی نیمه‌هادی‌ها با توجه به محدودیت‌های مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با این حوزه در جهان از اهمیت و پیچیدگی بالایی برخوردار است.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاســـداران، روبروی پـــارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۵۸۵۵-۱۵۸۷۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وب‌سایت: rc@majles.ir