

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

والحمد لله القاصم الجبارين



اندیشکده قرار

تبدیل تهدیدها به فرصت‌ها یکی از اهداف اصلی مقاومت است. فهمیدن این فرصتی که در دل تهدیدها نهفته است، نیاز به مطالعاتی علمی، روشمند و در عین حال هدفمند و با دغدغه دارد. مطالعاتی ساختاریافته که به دنبال رسیدن به هدفی مشخص در میدان باشد، از پرداختن بیش از اندازه به کلیات و تحلیل‌های بدون مستندات دقیق اجتناب کند، محدودیت‌های میدانی را بشناسد و از اطناب آکادمیک اجتناب کند. اندیشکده قرار تلاش دارد این نیاز حیاتی جبهه مقاومت را برطرف سازد و به محلی برای همگرایی مطالعات ساختاریافته و هدفمند در زمینه مقاومت و استعمار در منطقه غرب آسیا تبدیل شود.

نیمه‌هادی‌ها به مثابه سلاح راهبردی

ساختار، اهمیت و بازیگران کلیدی صنعت نیمه‌هادی اسرائیل

فهرست

پيشگفتار	۵
۱. ساختار و ویژگی‌های صنعت نیمه‌هادی اسرائیل	۷
۱.۱. مدل "موتور دوگانه" (Two-Engine Paradox): همزیستی شرکت‌های چندملیتی و استارت‌آپ‌های بومی ..	۷
۱.۲. آمار و ارقام کلیدی: تعداد شرکت‌ها، اشتغال، سهم از اقتصاد ملی	۸
۱.۲.۱. تعداد شرکت‌ها و استارت‌آپ‌ها	۸
۱.۲.۲. اشتغال و نیروی کار متخصص	۸
۱.۲.۳. سهم از اقتصاد ملی و صادرات	۹
۱.۲.۴. سرمایه‌گذاری و تأمین مالی	۹
۱.۲.۵. موقعیت در بازارهای جهانی	۹
۱.۳. تمرکز استراتژیک: طراحی چیپ‌های تخصصی به جای تولید انبوه	۱۰
۱.۳.۱. اکوسیستم کامل در حلقه‌های بالادستی	۱۰
۱.۳.۳. مزیت رقابتی در طراحی تخصصی	۱۱
۲. بازیگران اصلی و شرکت‌های شاخص	۱۲
۲.۱. Intel	۱۲
۲.۲. Tower Semiconductor	۱۳
۲.۳. Mellanox & NVIDIA	۱۵
۲.۴. Mobileye	۱۶
۲.۵. Nova Ltd.	۱۸
۲.۶. Applied Materials	۱۹
۲.۷. KLA Corporation	۲۰
۲.۸. Broadcom Inc.	۲۲
۲.۹. Qualcomm Inc.	۲۲
۲.۱۰. Annapurna Labs	۲۳
۲.۱۱. Hailo Technologies	۲۴

- ۲۵ SCD (SemiConductor Devices) ۲.۱۲
- ۲۶ سایر بازیگران اکوسیستم ۲.۱۳
- ۳۱ وابستگی‌های راهبردی و نقاط آسیب‌پذیر ۳
- ۳۱ وابستگی به زنجیره تأمین جهانی؛ حلقه مفقوده «خودکفایی» ۳.۱
- ۳۲ ۳.۱.۱ مواد اولیه حیاتی ۳.۱.۱
- ۳۳ تجهیزات پیشرفته تولید ۳.۱.۲
- ۳۳ لیتوگرافی؛ گلوگاه فناورانه ۳.۱.۳
- ۳۴ آسیب‌پذیری لجستیکی؛ اختلال در حمل‌ونقل هوایی و دریایی به مثابه سلاح راهبردی ۳.۲
- ۳۴ تردد هوایی (Air Travel)؛ شریان حیاتی مهندسان خارجی ۳.۲.۱
- ۳۵ اختلال در مسیرهای دریایی (Maritime Chokepoints) ۳.۲.۲
- ۳۵ چالش تأمین مواد اولیه حیاتی؛ مطالعه موردی هلیوم قطر ۳.۳
- ۳۶ مسئله نیروی انسانی و «فرار مغزها» ۳.۴
- ۳۶ فراخوان نیروهای ذخیره ۳.۴.۱
- ۳۷ مهاجرت نخبگان ۳.۴.۲
- ۳۷ واکنش شرکت‌های چندملیتی ۳.۴.۳
- ۳۸ تهدید فیزیکی؛ تمرکز جغرافیایی تأسیسات حساس ۳.۵
- ۳۸ کارخانه‌های حیاتی در خط مقدم ۳.۵.۱
- ۳۸ آسیب‌پذیری در برابر حملات ترکیبی ۳.۵.۲
- ۳۹ همکاری‌های بین‌المللی و اتحاد راهبردی با آمریکا (Pax Silica) ۴
- ۴۰ جمع‌بندی: قدرت، تمرکز و آسیب‌پذیری در صنعت نیمه‌هادی اسرائیل ۵
- ۴۳ منابع

پيشگفتار

در عصر کنونی، صنعت نیمه‌هادی‌ها (Semiconductors) از جایگاه یک بخش اقتصادی صرف فراتر رفته و به ستون فقرات امنیت ملی، اقتدار فناورانه و استقلال راهبردی دولت‌ها تبدیل شده است. از جنگ‌های هوش مصنوعی و سامانه‌های تسلیحاتی پیشرفته گرفته تا زیرساخت‌های ابری و اینترنت اشیا همگی بر مدار تراشه‌هایی می‌چرخند که طراحی و تولید آن‌ها به حساسترین عرصه‌های رقابت ژئوپلیتیکی بدل شده است. در این میدان پیچیده و پراساختار، رژیم صهیونیستی با جمعیتی کمتر از ۱۰ میلیون نفر توانسته خود را به‌عنوان یکی از قطب‌های غیرقابل انکار این صنعت معرفی کند. رژیمی که امروز بیش از ۲۵۰ شرکت فعال در حوزه نیمه‌هادی را در خود جای داده و نزدیک به ۴۵ هزار نیروی کار متخصص را به کار گرفته است. [۱] آنچه این جایگاه را برجسته‌تر می‌سازد، نه صرفاً مقیاس فعالیت، بلکه عمق نفوذ این صنعت در زنجیره ارزش جهانی و نقش محوری آن در معماری فناورانه غرب است. با این حال، علیرغم این درخشش ظاهری، صنعت تراشه اسرائیل سرشار از تناقض‌ها و نقاط آسیب‌پذیری ساختاری است که می‌تواند در یک جنگ فرسایشی و هوشمند به پاشنه آشیل این رژیم تبدیل شود. درک این نقاط ضعف برای طراحی یک راهبرد هوشمندانه و مبتنی بر «بازدارندگی ترکیبی» یک ضرورت راهبردی محسوب می‌شود.

برای درک اهمیت این صنعت، نخست باید به این پرسش پاسخ داد که چرا یک قطعه به اندازه ناخن انگشت، تا این اندازه حیاتی است؟ پاسخ در سه ویژگی کلیدی نهفته است:

- **نخست، نقش زیرساختی در تمام فناوری‌های نوظهور.** از تلفن همراه و رایانه گرفته تا خودروهای خودران، پهپادها، موشک‌های هوشمند، سامانه‌های جنگ الکترونیک و زیرساخت‌های ابری، همگی بدون تراشه‌های پیشرفته قادر به کار نیستند. در واقع، نیمه‌هادی‌ها «مغز متفکر» هر سامانه الکترونیکی هستند. ارزش این صنعت در سال ۲۰۲۴ حدود ۶۸۱ میلیارد دلار برآورد شده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ از مرز یک تریلیون دلار عبور کند. [۱]
- **تمرکز جغرافیایی و آسیب‌پذیری زنجیره تأمین.** برخلاف تصور عموم، زنجیره تأمین جهانی تراشه به‌شدت متمرکز و شکننده است. تایوان و کره جنوبی بر تولید انبوه تراشه‌های پیشرفته تسلط دارند، آمریکا و اسرائیل بر طراحی و اروپا و ژاپن بر تجهیزات لیتوگرافی و مواد خاص. [۲] این تمرکز به این معناست که یک اختلال محلی می‌تواند کل اقتصاد دیجیتال جهان را با بحران مواجه کند. از همین منظر، صنعت نیمه‌هادی اسرائیل به دلیل قرار گرفتن در قلب منطقه خاورمیانه، ذاتاً در معرض ریسک‌های ژئوپلیتیکی مضاعفی قرار دارد.
- **همگرایی با هوش مصنوعی و جنگ‌های آینده.** در دهه آینده، برتری نظامی نه با تعداد سربازان که با حجم داده‌های پردازش‌شده در ثانیه تعیین می‌شود. تراشه‌های شتاب‌دهنده هوش مصنوعی که بخش مهمی

از آن‌ها در اسرائیل طراحی می‌شوند قلب تپنده سامانه‌های تسلیحاتی خودران، پهپادهای انتحاری هوشمند و سامانه‌های شناسایی مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری عمیق هستند. بنابراین، هرگونه تضعیف این صنعت، به‌طور مستقیم توان نظامی و فناورانه این رژیم را کاهش خواهد داد.

با در نظر داشتن این اهمیت، گزارش پیش‌رو با هدف بررسی ساختار چندلایه، بازیگران کلیدی و نقاط ضعف صنعت نیمه‌هادی اسرائیل تدوین شده است. سوالات اصلی که این گزارش به دنبال پاسخگویی به آنهاست عبارت‌اند از:

- مدل «موتور دوگانه» صنعت تراشه اسرائیل چه نقاط قوت و ضعف امنیتی به‌همراه دارد و آیا می‌تواند در شرایط جنگ طولانی تاب‌آوری خود را حفظ کند؟
- زنجیره تأمین و لجستیک این صنعت تا چه اندازه در برابر اختلالات حمل‌ونقل هوایی و دریایی آسیب‌پذیر است و تأمین مواد اولیه حیاتی چگونه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت؟
- بازیگران شاخص این اکوسیستم چه نقشی در ثبات و پویایی آن ایفا می‌کنند و آیا تمرکز قدرت در چند شرکت کلیدی، نقطه‌ای از شکست راهبردی (Single Point of Failure) برای این صنعت ایجاد کرده است؟

۱. ساختار و ویژگی‌های صنعت نیمه‌هادی اسرائیل

۱.۱. مدل "موتور دوگانه" (Two-Engine Paradox): همزیستی شرکت‌های چندملیتی و

استارت‌آپ‌های بومی

آنچه صنعت تراشه رژیم صهیونیستی را از سایر بازیگران این عرصه متمایز می‌سازد، معماری منحصربه‌فرد و غیرخطی آن است. اقتصاددانان فناوری از این ساختار با عنوان «موتور دوگانه» یاد می‌کنند. این مدل، مبتنی بر همزیستی و تعامل دو لایه مجزا اما به‌شدت وابسته به یکدیگر است:

- **موتور نخست، غول‌های فناوری جهانی:** از یک‌سو، تمامی غول‌های فناوری جهان از اینتل و انویدیا تا مایکروسافت تا گوگل و اپل مراکز تحقیق و توسعه استراتژیک خود را در سرزمین‌های اشغالی مستقر کرده‌اند. این شرکت‌های چندملیتی ضمن بهره‌مندی از استعدادهای محلی و زیرساخت‌های فیزیکی، سرمایه‌گذاری‌های کلان و ثبات مالی را به اکوسیستم تزریق می‌کنند. برای نمونه، اینتل با حدود ۱۰ هزار کارمند، بزرگ‌ترین کارفرمای بخش خصوصی در صنعت فناوری اسرائیل است و طی سه دهه گذشته بیش از ۲۰ میلیارد دلار در این رژیم سرمایه‌گذاری کرده است. انویدیا نیز با خرید Mellanox به ارزش ۶.۹ میلیارد دلار، بیش از ۴۵۰۰ کارمند را در اسرائیل به کار گرفته است. [۱]
- **موتور دوم: زیست‌بوم استارت‌آپی بومی (Local Startup Ecosystem):** از سوی دیگر، زیست‌بوم استارت‌آپی پویایی در این رژیم شکل گرفته که در حوزه‌های تخصصی همچون طراحی چیپ‌های هوش مصنوعی، اپتیک سیلیکونی (Silicon Photonics)، سیستم‌های روی تراشه (SoC)، حسگرهای پیشرفته و تجهیزات بازرسی نه تنها همپای غول‌های جهانی عمل می‌کند. این استارت‌آپ‌ها که عمدتاً مدل Fabless (بدون کارخانه) دارند، با تکیه بر سرمایه‌های خطرپذیر (VC) و حمایت‌های دولتی، ایده‌های نوآورانه را به بلوغ فنی می‌رسانند. موفق‌ترین نمونه‌های این مدعا عبارت‌اند از: Mobileye (خریداری شده توسط اینتل به ارزش ۱۵.۳ میلیارد دلار)، Mellanox (خریداری شده توسط انویدیا)، Habana Labs (خریداری شده توسط اینتل به ارزش ۲ میلیارد دلار) و Annapurna Labs (خریداری شده توسط آمازون). [۳]

این ترکیب، اسرائیل را به یک آزمایشگاه زنده برای نوآوری در بخش‌های زیرین اقتصاد دیجیتال تبدیل کرده است. در اینجا، ایده‌های تازه در استارت‌آپ‌ها شکل می‌گیرند، با پشتیبانی سرمایه‌گذاران ریسک‌پذیر رشد می‌کنند و بعداً توسط شرکت‌های بزرگ جهانی خریداری می‌شوند تا به محصولات همگانی تبدیل شوند. این فرآیند یک چرخه خودتقویت‌شونده می‌سازد: مهندسانی که در شرکت‌های بزرگ جهانی مثل اینتل تجربه کسب می‌کنند، بعداً استارت‌آپ‌های جدید راه می‌اندازند و همین استارت‌آپ‌های موفق هم دوباره توسط همان شرکت‌های بزرگ خریداری می‌شوند. طبق داده‌های سازمان نوآوری اسرائیل، این رژیم از منظر تعداد استارت‌آپ‌های نیمه‌هادی پس از ایالات

متحده در رتبه دوم جهان قرار دارد و بیش از ۵۰ درصد از کل سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده در استارت‌آپ‌های نیمه‌هادی در اروپا، به شرکت‌های اسرائیلی اختصاص یافته است. این رقم به‌تنهایی گویای جایگاه ویژه این رژیم در نقشه نوآوری جهانی است. [۴]

با این حال، این مدل یک تناقض مرکزی را نیز به همراه دارد: استارت‌آپ‌های موفق نهایتاً توسط شرکت‌های خارجی خریداری می‌شوند و مالکیت فکری از رژیم خارج می‌گردد. این پدیده که به «خروج زود هنگام»^۱ معروف است، اگرچه سودآوری کوتاه‌مدت برای بنیان‌گذاران و سرمایه‌گذاران دارد، اما در بلندمدت منجر به خروج سرمایه و دانش از رژیم و افزایش وابستگی به تصمیمات شرکت‌های مادر خارجی می‌شود. این تناقض، یکی از نقاط آسیب‌پذیر اصلی مدل «موتور دوگانه» است که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته خواهد شد.

۱.۲. آمار و ارقام کلیدی: تعداد شرکت‌ها، اشتغال، سهم از اقتصاد ملی

برای درک مقیاس و عمق نفوذ صنعت نیمه‌هادی اسرائیل در اقتصاد ملی و چشم‌انداز جهانی، بررسی آمار و ارقام کلیدی ضروری است. این داده‌ها که عمدتاً از گزارش‌های سازمان نوآوری اسرائیل و منابع معتبر بین‌المللی استخراج شده‌اند، تصویری کمی از این اکوسیستم پیچیده ارائه می‌دهند:

۱.۲.۱. تعداد شرکت‌ها و استارت‌آپ‌ها

- اسرائیل امروز بیش از ۲۲۰ شرکت فعال در حوزه نیمه‌هادی را در خود جای داده است که حدود ۳.۵ درصد از کل اکوسیستم فناوری این رژیم را تشکیل می‌دهند. [۵]
- از منظر تعداد استارت‌آپ‌های نیمه‌هادی، اسرائیل پس از ایالات متحده در رتبه دوم جهان قرار دارد. بیش از ۵۰ درصد از کل سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده در استارت‌آپ‌های نیمه‌هادی در اروپا، به شرکت‌های اسرائیلی اختصاص یافته است.
- در طول دهه گذشته، تعداد شرکت‌های نیمه‌هادی اسرائیل ۱۶ درصد رشد داشته است؛ رشدی پایدار اما با شتابی کمتر در مقایسه با رشد ۳۷ درصدی کل بخش فناوری در همین دوره.

۱.۲.۲. اشتغال و نیروی کار متخصص

- صنعت نیمه‌هادی اسرائیل نزدیک به ۴۵ هزار نیروی کار متخصص را به کار گرفته است که تقریباً ۷ درصد از کل نیروی کار فناوری رژیم را تشکیل می‌دهد. [۵]

^۱ Early Exit

- اينتل اسرئيل حدود ۹۳۰۰ کارمند مستقيم (و حدود ۳۰ هزار شغل غيرمستقيم) دارد که معادل حدود ۸ درصد از نيروی کار جهانی اينتل (۱۲۴,۸۰۰ نفر) است. [۶]
- انويديا اسرئيل حدود ۵۵۰۰ کارمند دارد که معادل حدود ۱۲ درصد از نيروی کار جهانی آن (۳۶ هزار نفر) است. [۶]
- برخلاف بسياری از بخش‌های صنعت فناوری اسرئيل که به‌شدت در مرکز سرزمين‌های اشغالی (به‌ويژه تل‌آویو) متمرکز هستند، بخش نيمه‌هادی از نظر جغرافيايی پراکندگی بیشتری دارد و فرصت‌های شغلی را در شمال (ميگدال هائکم، يوکنعام، حيفا) و جنوب (کريات گات، بئر شبع) نیز فراهم می‌کند.

۱.۲.۳. سهم از اقتصاد ملی و صادرات

- به گزارش سازمان نوآوری اسرئيل، بخش فناوری پيشرفته حدود ۴۰ درصد از رشد توليد ناخالص داخلي بين سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۴ را به خود اختصاص داده است. [۴]
- فناوری‌های پيشرفته به‌طور کلی حدود ۵۷ درصد از صادرات اسرئيل را تشكيل می‌دهد. [۷]
- صادرات اينتل در اسرئيل بالغ بر ۹ ميليارد دلار می‌باشد که معادل ۱۰ درصد از صادرات فناوری‌های پيشرفته و ۵ درصد از صادرات اسرئيل به‌طور کلی است. [۵]
- ارزش صادرات سالانه صنعت نيمه‌هادی اسرئيل بيش از ۱۰ ميليارد دلار برآورد می‌شود.

۱.۲.۴. سرمايه‌گذاري و تأمين مالی

- حجم سرمايه‌گذاري در استارت‌آپ‌های نيمه‌هادی اسرئيل در سال ۲۰۲۱ به اوج خود رسيد و به ۱.۲ ميليارد دلار در قالب ۴۸ معامله رسيد.
- در سال‌های پس از آن، سطح تأمين مالی در حدود ۰.۴ تا ۰.۵ ميليارد دلار در سال تثبيت شده است.
- اسرئيل به‌ازای هر پنج دلار سرمايه‌گذاري خطرپذير در نيمه‌هادی‌ها در ايالات متحده، یک دلار جذب می‌کند؛ برای رژيمي با اين اندازه، اين نسبت قابل توجه است.
- بودجه خصوصی نيمه‌هادی در مقايسه با ايالات متحده از حدود ۳۳ درصد در سال ۲۰۱۹ به کمتر از ۱۰ درصد در سال ۲۰۲۵-۲۰۲۴ کاهش يافته است. اين «دوره تثبيت» و کاهش سهم جهانی، لزوماً نشانه قدرت نيست و می‌تواند نشان‌دهنده چالش در جذب سرمايه‌های جديد برای استارت‌آپ‌های نوپا باشد. [۱]

۱.۲.۵. موقعيت در بازارهای جهانی

- اسرئيل حدود ۳۰ درصد از بازار جهانی تجهيزات اندازه‌گيري و بازرسي (Metrology & Inspection) را در اختيار دارد. شرکت‌هایی مانند Nova و Camtek از رهبران جهانی اين حوزه هستند.

- اتحادیه اروپا برای توسعه فناوری تولید نیمه‌هادی بر روی ویفرهای ۴۵۰ میلی‌متری، کنسرسیومی از شرکت‌های فعال در حوزه تجهیزات تست تشکیل داد که مدیریت آن از اسرائیل انجام می‌شد.

این آمار نشان می‌دهد که صنعت نیمه‌هادی اسرائیل علیرغم وسعت کم سرزمین‌های اشغالی، از نفوذی نامتناسب با جمعیت خود در بازارهای جهانی برخوردار است. [۵]

۱.۳. تمرکز استراتژیک: طراحی چیپ‌های تخصصی به جای تولید انبوه

یکی از مهم‌ترین تصمیمات راهبردی اسرائیل در مسیر توسعه صنعت نیمه‌هادی، اجتناب از رقابت مستقیم در حوزه تولید انبوه (به دلیل سرمایه‌گذاری عظیم موردنیاز، مصرف بالای آب و نیاز به نیروی کار ارزان) و تمرکز بر حلقه‌های طراحی پیشرفته، معماری تراشه، مالکیت فکری و تجهیزات تخصصی بوده است. این انتخاب راهبردی، رژیم صهیونیستی را از بسیاری از کشورهای منطقه و حتی جهان متمایز می‌سازد.

۱.۳.۱. اکوسیستم کامل در حلقه‌های بالادستی

برخلاف بسیاری از کشورهای تولیدکننده تراشه که بر یک یا دو حلقه از زنجیره ارزش متمرکزند، اسرائیل موفق به ایجاد یک اکوسیستم نسبتاً کامل در حلقه‌های بالادستی و میان‌دستی شده است که شامل موارد زیر می‌شود:

- **طراحی بدون کارخانه (Fabless Design)** به‌عنوان هسته اصلی صنعت نیمه‌هادی اسرائیل: شرکت‌هایی مانند Mobileye، Habana Labs، Mellanox (قبل از خرید)، Hailo، Valens و صدها استارت‌آپ دیگر در این حوزه فعالیت می‌کنند. این شرکت‌ها معماری تراشه را طراحی کرده و تولید فیزیکی را به کارخانه‌های خارجی (عمدتاً TSMC در تایوان و سامسونگ در کره جنوبی) برون‌سپاری می‌کنند.

- **تولید سفارشی (Foundry):** حضور تاور سمیکانداکتر (Tower Semiconductor) به‌عنوان یک کارخانه تولید سفارشی با تخصص در فناوری‌های سیگنال ترکیبی (Mixed-Signal)، حسگرهای تصویری CMOS و MEMS، یک مزیت منحصربه‌فرد برای اسرائیل محسوب می‌شود. تاور به استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های کوچک امکان نمونه‌سازی و تولید در داخل رژیم را می‌دهد.

- **تجهیزات پیشرفته بازرسی و اندازه‌گیری (Metrology & Inspection):** اسرائیل در این حوزه یک قدرت جهانی است و حدود یک‌سوم بازار جهانی را در اختیار دارد. شرکت‌های بزرگی مانند Applied Materials، LAM Research و Bruker پیشرفته‌ترین تجهیزات اندازه‌گیری و آزمون خود را در اسرائیل توسعه می‌دهند. شرکت‌های مستقل بومی مانند Nova و Camtek نیز از رهبران جهانی این حوزه هستند. این تجهیزات که شامل میکروسکوپ‌های الکترونی، سیستم‌های اشعه ایکس و فناوری‌های نوری مبتنی بر

EUV می‌شوند، برای کنترل کیفیت و شناسایی عیوب در خطوط تولید نیمه‌هادی در سراسر جهان حیاتی هستند.

- **ادغام عمیق با غول‌های فناوری جهان:** حضور مراکز تحقیق و توسعه شرکت‌هایی مانند اینتل، انویدیا، اپل، آمازون، مایکروسافت، گوگل، کوالکام و برودکام در اسرائیل، این کشور را به بخشی جدایی‌ناپذیر از زنجیره ارزش جهانی تبدیل کرده است. این شرکت‌ها راهبردی‌ترین پروژه‌های خود را به تیم‌های اسرائیلی می‌سپارند. [۵]

۱.۳.۳. مزیت رقابتی در طراحی تخصصی

در عوض، اسرائیل بر حوزه‌هایی تمرکز کرده که در آن‌ها مزیت رقابتی دارد:

- **شبکه‌سازی و ارتباط‌گیری (Networking & Interconnects):** میراث Mellanox (اکنون متعلق به انویدیا) در حوزه InfiniBand و Ethernet پرسرعت، اسرائیل را به رهبر جهانی در این حوزه تبدیل کرده است.
- **شتاب‌دهنده‌های هوش مصنوعی (AI Accelerators):** Habana Labs (اینتل)، Hailo و NeuroBlade نمونه‌هایی از تمرکز اسرائیل بر چیپ‌های تخصصی هوش مصنوعی هستند.
- **اپتیک سیلیکونی (Silicon Photonics):** شرکت‌هایی مانند ColorChip، DustPhotonics و Teramount در این حوزه پیشرو هستند.
- **حسگرهای پیشرفته (Advanced Sensors):** Mobileye (بینایی ماشین)، Innoviz و Arbe (LiDAR) و Vayyar و TriEye (تصویربرداری سه‌بعدی) نمونه‌های برجسته‌ای هستند. [۱]

مدل «موتور دوگانه»، ترکیبی از غول‌های چندملیتی و استارت‌آپ‌های چابک، همراه با تمرکز راهبردی بر طراحی تخصصی و تجهیزات بازرسی (به جای تولید انبوه)، اسرائیل را به یک بازیگر غیرقابل‌انکار در زنجیره ارزش جهانی نیمه‌هادی تبدیل کرده است. با این حال، همان‌طور که در بخش‌های بعدی نشان داده خواهد شد، همین مدل دارای نقاط آسیب‌پذیری ساختاری عمیقی است که می‌تواند در شرایط بحران، این جایگاه را به شدت تهدید کند.

۲. بازیگران اصلی و شرکت‌های شاخص

اکوسیستم نیمه‌هادی اسرائیل توسط چند بازیگر محوری هدایت می‌شود که هر یک نقشی بی‌بدیل در شکل‌گیری و تداوم این صنعت ایفا کرده‌اند.

۲.۱. Intel

اینتل یکی از قدیمی‌ترین و اثرگذارترین بازیگران خارجی در صنعت نیمه‌هادی اسرائیل است و حضور آن به سال ۱۹۷۴ بازمی‌گردد، زمانی که فعالیت خود را با تیمی کوچک در حیفا آغاز کرد. در طول چند دهه، این حضور به تدریج گسترش یافت و به یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های تحقیق، توسعه و تولید این شرکت در خارج از ایالات متحده تبدیل شد. برآوردها نشان می‌دهد که اینتل در اسرائیل حدود ۱۰ هزار نیروی مستقیم در اختیار دارد و به‌طور غیرمستقیم نیز از اشتغال ده‌ها هزار نفر دیگر در زنجیره تأمین و خدمات پشتیبان حمایت می‌کند. بخش قابل توجهی از این نیروها در فعالیت‌های تحقیق و توسعه پیشرفته متمرکز هستند، در حالی که بخشی دیگر در تأسیسات تولیدی این شرکت به تولید انبوه ریزپردازنده‌ها مشغول‌اند.

نقش اینتل در اکوسیستم نیمه‌هادی اسرائیل را می‌توان در چند محور اصلی بررسی کرد. نخست، از منظر سرمایه‌گذاری، این شرکت طی دهه‌های گذشته ده‌ها میلیارد دلار در اسرائیل سرمایه‌گذاری کرده و به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین سرمایه‌گذاران خارجی در این کشور شناخته می‌شود. دوم، از نظر توسعه سرمایه انسانی، بسیاری از مهندسان و کارآفرینان فعال در صنعت نیمه‌هادی اسرائیل سابقه فعالیت در اینتل را دارند و این شرکت به‌نوعی در شکل‌گیری نیروی انسانی متخصص این حوزه نقش داشته است. سوم، اینتل یکی از معدود شرکت‌هایی است که علاوه بر تحقیق و توسعه، دارای زیرساخت تولید انبوه (fabrication) در اسرائیل است؛ از جمله تأسیسات تولیدی در کریات گات (۲۸ Fab) که در زمره مراکز مهم تولیدی این شرکت قرار دارد.

اینتل همچنین از طریق راهبرد ادغام و تملک (M&A) در شکل‌دهی به بازار فناوری اسرائیل نقش ایفا کرده است. خرید شرکت‌هایی مانند Mobileye، Habana Labs و DSPC نشان‌دهنده استفاده این شرکت از ظرفیت نوآوری محلی برای تقویت سبد فناوری خود است. این رویکرد، علاوه بر تأثیر بر ساختار صنعت، بر انگیزه سرمایه‌گذاری در استارت‌آپ‌های محلی نیز اثرگذار بوده است.

از نظر جغرافیایی، فعالیت‌های اینتل در اسرائیل در چندین مرکز متمرکز شده است، از جمله حیفا، پتخ‌تیکوا، یاکوم و اورشلیم در حوزه تحقیق و توسعه و کریات گات در حوزه تولید. [۸] این مراکز در حوزه‌های متنوعی مانند طراحی ریزپردازنده‌ها، توسعه فناوری‌های ارتباطی، هوش مصنوعی و سامانه‌های مرتبط با خودروهای خودران فعالیت دارند:

- اینتل حیفا: مرکز توسعه سخت‌افزار و نرم‌افزار برای پردازنده‌ها و هوش مصنوعی.
- اینتل پتخ‌تیکوا: مرکز توسعه راهکارهای ارتباطی و هوش مصنوعی.

- **اینتل قدس اشغالی:** مرکز توسعه راهکارهای ارتباطی، نرم‌افزارهای امنیتی و سایبری و مرکز توسعه جهانی خودروهای خودران.

- **اینتل یاکوم:** مرکز طراحی و توسعه چیپست برای پلتفرم‌های موبایل.

- **اینتل کریات گات:** کارخانه «Intel (FAB)» یکی از پیشرفته‌ترین خطوط تولید اینتل. [۹]

در طول زمان، برخی پروژه‌های کلیدی اینتل با مشارکت تیم‌های مستقر در اسرائیل توسعه یافته‌اند؛ از جمله فناوری‌هایی مانند MMX در دهه ۱۹۹۰ و برخی نسل‌های جدید پردازنده‌ها و رابط‌های ارتباطی پرسرعت. همچنین پس از تملک Habana Labs، توسعه بخشی از پردازنده‌های شتاب‌دهنده هوش مصنوعی (سری Gaudi) در اسرائیل دنبال شده است.

از منظر اقتصادی، فعالیت‌های اینتل سهم قابل توجهی در صادرات فناوری پیشرفته اسرائیل داشته است. برای مثال، در سال ۲۰۲۲ صادرات این شرکت از اسرائیل به چندین میلیارد دلار رسید که سهمی معنادار از کل صادرات بخش های تک این کشور را تشکیل می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که نقش اینتل صرفاً به‌عنوان یک واحد عملیاتی محدود نبوده، بلکه با شاخص‌های کلان اقتصادی نیز پیوند دارد.

در عین حال، تمرکز بخشی از زیرساخت‌های کلیدی این شرکت در اسرائیل، مجموعه‌ای از ریسک‌های بالقوه را نیز مطرح می‌کند:

- **آسیب به زیرساخت‌های تولیدی:** تأسیسات تولیدی اینتل، به‌ویژه در کریات گات، از اجزای مهم زنجیره تأمین جهانی این شرکت محسوب می‌شوند. هرگونه اختلال جدی در این مراکز می‌تواند بر عرضه برخی محصولات اینتل در بازار جهانی اثرگذار باشد، با توجه به این که بازسازی یا جایگزینی ظرفیت‌های تولید نیمه‌هادی معمولاً فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است.

- **ریسک‌های مرتبط با نیروی انسانی:** فعالیت‌های تحقیق و توسعه اینتل به‌شدت به نیروی انسانی متخصص وابسته است. هرگونه اختلال در دسترسی به این منابع انسانی به دلایلی مانند مهاجرت یا بسیج نیروها می‌تواند بر زمان‌بندی پروژه‌های توسعه‌ای تأثیر بگذارد.

- **اثرات سیستمی بر اکوسیستم:** حضور اینتل در اسرائیل به‌عنوان یکی از پیوندهای اصلی میان استارت‌آپ‌ها و بازار جهانی عمل کرده است. کاهش قابل توجه فعالیت این شرکت می‌تواند بر جریان سرمایه‌گذاری، فرصت‌های خروج (exit) برای استارت‌آپ‌ها و در نهایت بر پویایی کل اکوسیستم نیمه‌هادی تأثیر بگذارد.

۲.۲ Tower Semiconductor

Tower Semiconductor یکی از معدود شرکت‌های فعال در حوزه تولید (foundry) نیمه‌هادی در اسرائیل است که ریشه‌های آن به سال ۱۹۸۴ بازمی‌گردد. در این سال، شرکت National Semiconductor یک واحد تولیدی در شهر

میگدال هائمتک تأسیس کرد. در پی تحولات بازار جهانی و تصمیم به تعطیلی این تأسیسات، این واحد توسط گروهی از مدیران محلی خریداری شد و به صورت مستقل به فعالیت ادامه داد؛ فرآیندی که به شکل‌گیری هویت کنونی Tower Semiconductor انجامید. این شرکت امروزه با چند هزار نیروی انسانی (حدود ۵۵۰۰ نفر) به عنوان مهم‌ترین بازیگر بومی در بخش تولید نیمه‌هادی در اسرائیل شناخته می‌شود و ارزش بازار آن در مقطعی به حدود ۲۲ میلیارد دلار رسیده است. [۱۰]

مدل کسب‌وکار Tower مبتنی بر ارائه خدمات تولید قراردادی برای شرکت‌های طراحی تراشه (fabless) است، با تمرکز بر فناوری‌های خاص آنالوگ و سیگنال‌های ترکیبی (Mixed-Signal)، مدیریت توان، حسگرهای تصویری CMOS و برخی کاربردهای فوتونیک سیلیکونی. برخلاف تولیدکنندگان پیشرو در گره‌های بسیار پیشرفته (مانند TSMC یا Samsung)، Tower عمدتاً بر گره‌های بالغ‌تر و کاربردمحور تمرکز دارد؛ حوزه‌ای که تقاضای پایدار در صنایعی مانند خودرو، تجهیزات صنعتی، مخابرات و کاربردهای نظامی دارد. این تمرکز باعث شده شرکت در زنجیره تأمین بخش‌هایی قرار گیرد که حساسیت کمتری به کوچک‌سازی گره‌ها و وابستگی بیشتری به پایداری، قابلیت اطمینان و ویژگی‌های آنالوگ دارند.

در سال‌های اخیر، Tower تغییراتی در جهت‌گیری‌های همکاری خود تجربه کرده است و علاوه بر تعامل با شرکت‌هایی مانند اینتل، روابط خود را با طیف متنوع‌تری از مشتریان و شرکای بین‌المللی گسترش داده است. این شرکت همچنین در سال ۲۰۲۲ موضوع یک توافق پیشنهادی برای تملک توسط اینتل به ارزش حدود ۵.۴ میلیارد دلار بود که در نهایت به دلیل عدم دریافت مجوزهای لازم (از جمله در چین) در سال ۲۰۲۳ نهایی نشد؛ رخدادی که نشان‌دهنده تأثیر ملاحظات ژئوپلیتیکی بر صنعت نیمه‌هادی است.

از نظر زیرساختی، Tower دارای دو کارخانه اصلی در اسرائیل (با وافرهای ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌متری) و چند تأسیسات در خارج از کشور، از جمله در ایالات متحده (۲۰۰ میلی‌متری) است. همچنین این شرکت از طریق مشارکت‌هایی مانند TPSCo در ژاپن (با همکاری Panasonic) و همکاری‌های صنعتی در اروپا و آمریکا، در یک شبکه تولیدی چندملیتی حضور دارد. چنین ساختاری تا حدی به توزیع ریسک‌های عملیاتی کمک می‌کند، هرچند بخش مهمی از ظرفیت تولید و دانش فنی همچنان در اسرائیل متمرکز است. قرار گرفتن Tower در فهرست «تأمین‌کنندگان مورد اعتماد» وزارت دفاع ایالات متحده (Trusted Foundry Program) نیز بیانگر نقش آن در زنجیره تأمین کاربردهای حساس است که نیازمند الزامات امنیتی و کنترلی خاص هستند.

در برخی دوره‌ها، این شرکت رشد قابل توجهی در ارزش بازار خود تجربه کرده است که می‌تواند ناشی از افزایش تقاضا برای تراشه‌های آنالوگ و کاربردی، تحولات زنجیره تأمین جهانی و بازتنظیم روابط با مشتریان باشد. با این حال، این نوسانات باید در چارچوب کلی‌تر بازار نیمه‌هادی و چرخه‌های عرضه و تقاضا تحلیل شوند.

تمرکز جغرافیایی و ماهیت فعالیت Tower، مجموعه‌ای از ریسک‌های بالقوه را نیز به همراه دارد:

- **تمرکز زیرساخت تولید در شمال اسرائیل:** بخش مهمی از تأسیسات تولیدی این شرکت در میگدال هائمک واقع شده است. این تمرکز جغرافیایی می‌تواند در شرایط ناپایداری امنیتی، ریسک‌های عملیاتی ایجاد کند، به‌ویژه در مقایسه با بازیگرانی که توزیع جغرافیایی گسترده‌تری دارند.
- **محدودیت ظرفیت جایگزین داخلی:** در صورت اختلال جدی در تأسیسات داخلی، ظرفیت تولید جایگزین در داخل اسرائیل محدود است. این موضوع می‌تواند بر شرکت‌های طراحی تراشه داخلی که به خدمات تولیدی Tower متکی هستند، اثرگذار باشد و آن‌ها را به استفاده از ظرفیت‌های خارجی واپار کند.
- **پیامدهای بین‌المللی در زنجیره‌های حساس:** با توجه به حضور Tower در برنامه‌های تأمین مورد اعتماد برای کاربردهای خاص، هرگونه اختلال در فعالیت این شرکت می‌تواند فراتر از سطح ملی، بر برخی زنجیره‌های تأمین بین‌المللی، به‌ویژه در حوزه‌هایی با الزامات امنیتی تأثیر بگذارد.

۲.۳ Mellanox & NVIDIA

حضور شرکت NVIDIA در اسرائیل را می‌توان در چارچوب تحولات اخیر صنعت نیمه‌هادی و گسترش زیرساخت‌های محاسباتی مرتبط با هوش مصنوعی تحلیل کرد. نقطه عطف این حضور، تملک شرکت Mellanox Technologies در سال ۲۰۲۰ با ارزش تقریبی ۶.۹ میلیارد دلار بود. Mellanox که در سال ۱۹۹۹ تأسیس شده بود، در حوزه توسعه راهکارهای ارتباطی پرسرعت برای مراکز داده، از جمله فناوری‌های اترنت پیشرفته و InfiniBand، فعالیت داشت و محصولات آن شامل آداپتورها، سوئیچ‌ها، پردازنده‌های شبکه (NIC/DPU) و نرم‌افزارهای مدیریتی، در زیرساخت‌های محاسبات با کارایی بالا (HPC) و مراکز داده ابری به‌کار گرفته می‌شد.

ادغام Mellanox در ساختار NVIDIA، این شرکت را از یک تولیدکننده پردازنده‌های گرافیکی به بازیگری با سبدی گسترده‌تر در حوزه زیرساخت‌های محاسباتی تبدیل کرد. در این چارچوب، NVIDIA توانست زنجیره‌ای نسبتاً یکپارچه از پردازش (GPU)، شبکه‌سازی پرسرعت و اخیراً پردازنده‌های مرکزی (CPUهای سری Grace) و واحدهای پردازش داده (DPUها) را توسعه دهد. فناوری InfiniBand که پیش از این توسط Mellanox توسعه یافته بود، همچنان یکی از اجزای کلیدی در اتصال گره‌های محاسباتی در ابررایانه‌ها و مراکز داده بزرگ محسوب می‌شود، به‌ویژه در کاربردهایی که نیازمند تأخیر کم و پهنای باند بالا هستند.

زیرساخت‌های تحقیق و توسعه NVIDIA در اسرائیل، که بخش عمده آن‌ها بر پایه دارایی‌های Mellanox شکل گرفته‌اند، در شهرهایی مانند حیفا و تل‌حای متمرکز هستند. این مراکز در حوزه‌هایی نظیر طراحی سامانه‌های شبکه‌سازی، معماری مراکز داده و بخشی از توسعه پردازنده‌های پیشرفته نقش دارند. براساس گزارش‌های منتشرشده، تعداد کارکنان NVIDIA در اسرائیل به چند هزار نفر می‌رسد و این کشور یکی از قطب‌های مهم فعالیت‌های تحقیق

و توسعه این شرکت در خارج از ایالات متحده به شمار می‌رود. اعلام برنامه‌هایی برای توسعه بیشتر این مراکز، نشان‌دهنده اهمیت عملیاتی آن‌ها در ساختار جهانی شرکت است.

از منظر کارکردی، نقش NVIDIA در اکوسیستم فناوری را می‌توان در چند محور بررسی کرد. نخست، در حوزه شبکه‌سازی مراکز داده، فناوری‌های مبتنی بر InfiniBand و اترنت پیشرفته به‌طور گسترده در زیرساخت‌های آموزش مدل‌های بزرگ هوش مصنوعی و محاسبات علمی استفاده می‌شوند. دوم، یکپارچه‌سازی اجزای مختلف زیرساخت (از پردازنده تا شبکه) امکان ارائه راهکارهای کامل‌تر برای ارائه‌دهندگان خدمات ابری و اپراتورهای مراکز داده را فراهم کرده است. سوم، حضور گسترده این شرکت در اسرائیل بر بازار نیروی انسانی متخصص در حوزه‌های مهندسی سخت‌افزار و نرم‌افزار تأثیرگذار بوده و در رقابت برای جذب نیروی کار ماهر نقش دارد.

اختلال در فعالیت‌های NVIDIA، به‌ویژه در بخش‌هایی که به دارایی‌های Mellanox در اسرائیل مرتبط هستند، می‌تواند پیامدهایی در مقیاس فراتر از سطح ملی داشته باشد:

- **اختلال در زنجیره تأمین زیرساخت‌های هوش مصنوعی:** بخش مهمی از زیرساخت‌های مورد استفاده در مراکز داده پیشرفته به تجهیزات شبکه‌سازی و پردازشی این شرکت وابسته است. هرگونه وقفه در طراحی، پشتیبانی یا تأمین این تجهیزات می‌تواند بر زمان‌بندی توسعه و بهره‌برداری از مراکز داده در سطح جهانی اثرگذار باشد.
- **تمرکز جغرافیایی فعالیت‌های کلیدی:** تمرکز بخشی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه در مناطق مشخصی از اسرائیل، از جمله شمال این کشور، می‌تواند در شرایط ناپایداری امنیتی به‌عنوان یک عامل ریسک مطرح شود. اختلال در این مراکز ممکن است بر تداوم پروژه‌های توسعه‌ای و پشتیبانی فنی تأثیر بگذارد، هرچند ساختار چندملیتی شرکت تا حدی این ریسک را توزیع می‌کند.
- **پیامدهای سرمایه‌گذاری و ادراک ریسک:** NVIDIA یکی از بازیگران اصلی صنعت نیمه‌هادی با ارزش بازار بسیار بالا است و تصمیمات آن در خصوص توزیع جغرافیایی فعالیت‌ها می‌تواند بر ارزیابی ریسک توسط سایر شرکت‌های چندملیتی اثر بگذارد. کاهش یا جابه‌جایی فعالیت‌ها در یک منطقه خاص ممکن است به‌عنوان سیگنالی برای بازنگری در راهبردهای سرمایه‌گذاری در آن منطقه تلقی شود.

۲.۴. Mobileye

Mobileye یک شرکت فعال در حوزه طراحی سامانه‌های بینایی ماشین و تراشه‌های مرتبط با سیستم‌های کمک‌راننده پیشرفته (ADAS) است که دفتر مرکزی آن در اورشلیم قرار دارد. این شرکت در سال ۱۹۹۹ توسط «امنون شاشوا» و «زیو آویرام» تأسیس شد و تمرکز اولیه آن بر توسعه الگوریتم‌های پردازش تصویر برای کاربردهای خودروپی بود. در ادامه این مسیر، Mobileye در سال ۲۰۰۸ نخستین نسل از پردازنده‌های اختصاصی خود با عنوان

EyeQ۱ را معرفی کرد؛ تراشه‌ای که به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی در تجاری‌سازی سامانه‌های ADAS مورد استفاده قرار گرفت. این فناوری به‌تدریج در طیف وسیعی از خودروها ادغام شد و طبق برآوردها در ده‌ها میلیون وسیله نقلیه از سوی صدها خودروساز از جمله شرکت‌هایی مانند BMW، فولکس‌واگن، هیوندای، فورد و رنو به‌کار گرفته شده است.

مدل کسب‌وکار Mobileye مبتنی بر ترکیب طراحی سخت‌افزار (خانواده تراشه‌های EyeQ) و توسعه نرم‌افزارهای بینایی ماشین است. این شرکت به‌جای تولید فیزیکی تراشه‌ها، عمدتاً به طراحی (fabless) متکی است و تولید را به شرکت‌های نیمه‌هادی دیگر برون‌سپاری می‌کند. همچنین، Mobileye علاوه بر ADAS، در حوزه‌های نقشه‌برداری با دقت بالا (REM)، سامانه‌های رانندگی خودکار و پلتفرم‌های یکپارچه خودران نیز فعالیت دارد و تلاش کرده است زنجیره‌ای نسبتاً کامل از اجزای موردنیاز این فناوری را ارائه دهد.

در سال ۲۰۱۷، اینتل Mobileye را با ارزش تقریبی ۱۵.۷ میلیارد دلار خریداری کرد [۱۶]؛ معامله‌ای که یکی از بزرگ‌ترین تملک‌ها در تاریخ صنعت فناوری اسرائیل محسوب می‌شود. با این حال، در سال ۲۰۲۲ Mobileye مجدداً به‌عنوان یک شرکت مستقل در بورس نزدک عرضه شد، در حالی که اینتل همچنان سهام‌کنترلی آن را حفظ کرده است. این ساختار مالکیتی به Mobileye امکان می‌دهد در عین بهره‌مندی از منابع یک شرکت بزرگ، تا حدی استقلال عملیاتی خود را حفظ کند.

از منظر فنی، تراشه‌های سری EyeQ مبتنی بر معماری‌های تخصصی برای پردازش همزمان داده‌های بصری و اجرای الگوریتم‌های یادگیری ماشین هستند. این تراشه‌ها نقش مهمی در کاهش وابستگی سامانه‌های ADAS به سخت‌افزارهای عمومی‌تر (مانند GPUهای بزرگ) ایفا کرده‌اند و به خودروسازان اجازه داده‌اند سامانه‌های ایمنی را با هزینه و مصرف انرژی کمتر در مقیاس انبوه پیاده‌سازی کنند. همچنین، همکاری Mobileye با تأمین‌کنندگان ردیف اول (Tier ۱) مانند Delphi (سابق Aptiv) و ZF، جایگاه این شرکت را در زنجیره تأمین صنعت خودرو تقویت کرده است.

آسیب یا اختلال در فعالیت‌های این شرکت می‌تواند پیامدهای چندوجهی داشته باشد:

- **اختلال در زنجیره تأمین خودرو:** بخش قابل‌توجهی از خودروهای مدرن به سامانه‌های مبتنی بر تراشه‌های Mobileye متکی هستند. هرگونه وقفه در طراحی، به‌روزرسانی نرم‌افزار یا تأمین این تراشه‌ها می‌تواند فرآیند تولید خودروسازان را با چالش مواجه کند، به‌ویژه در شرایطی که جایگزین‌های سازگار به‌سرعت در دسترس نباشند.
- **تأثیر بر مسیر توسعه فناوری‌های خودران:** Mobileye یکی از بازیگران مهم در توسعه راهکارهای یکپارچه برای رانندگی خودکار محسوب می‌شود. اختلال در فعالیت این شرکت می‌تواند موجب کندی در

توسعه یا تجاری‌سازی این فناوری‌ها، به‌ویژه در بخش‌هایی مانند نقشه‌برداری دقیق و پردازش بلادرنج داده‌های محیطی، شود.

– **تمرکز جغرافیایی زیرساخت‌ها:** بخش قابل‌توجهی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه Mobileye در اورشلیم متمرکز است. این تمرکز جغرافیایی، در صورت بروز ناپایداری‌های امنیتی گسترده، می‌تواند به‌عنوان یک نقطه آسیب‌پذیر در نظر گرفته شود، هرچند شرکت دارای همکاری‌ها و زیرساخت‌های بین‌المللی نیز هست که تا حدی این ریسک را تعدیل می‌کند.

۲.۵. Nova Ltd.

شرکت Nova Ltd یکی از فعالان حوزه تجهیزات و راهکارهای اندازه‌شناسی (Metrology) در صنعت نیمه‌هادی است که در سال ۱۹۹۳ در اسرائیل تأسیس شد. این شرکت در زمینه توسعه سامانه‌هایی فعالیت می‌کند که برای اندازه‌گیری و کنترل دقیق پارامترهای فیزیکی در فرآیند تولید تراشه‌ها به‌کار می‌روند. Nova با بیش از ۱۱۰۰ نیروی متخصص و شبکه‌ای از دفاتر در ایالات متحده، ژاپن، آلمان و سنگاپور، به‌عنوان یکی از تأمین‌کنندگان تجهیزات کنترلی در زنجیره تولید نیمه‌هادی حضور دارد. سهام این شرکت با نماد NVMI در بورس نزدک و تل‌آویو معامله می‌شود و براساس داده‌های سال ۲۰۲۴، درآمدی در حدود ۶۷۲/۴ میلیون دلار و سود خالصی نزدیک به ۱۸۴ میلیون دلار گزارش کرده است. [۱۷]

تمرکز اصلی Nova بر توسعه فناوری‌های اندازه‌گیری نوری (Optical Metrology) و تحلیل مواد در مقیاس نانومتری است. این ابزارها برای پایش دقیق فرآیندهایی مانند لایه‌نشانی، اچینگ و لیتوگرافی استفاده می‌شوند و نقش آن‌ها تضمین انطباق مشخصات فنی تراشه‌ها با طراحی اولیه است. در گره‌های فناوری پیشرفته، به‌ویژه در ابعاد زیر ۵ و ۳ نانومتر، حساسیت فرآیند تولید به خطاهای بسیار کوچک افزایش می‌یابد و به همین دلیل ابزارهای مترولوژی به یکی از اجزای ضروری خطوط تولید تبدیل شده‌اند. Nova در این حوزه با شرکت‌هایی مانند KLA و Applied Materials رقابت می‌کند و تلاش دارد با ارائه ترکیبی از سخت‌افزار و نرم‌افزارهای تحلیلی، جایگاه خود را در بازار حفظ کند.

این شرکت با برخی از بازیگران بزرگ صنعت نیمه‌هادی، از جمله Intel، Samsung Electronics و مراکز تحقیقاتی مانند IBM Research همکاری داشته است. همچنین حضور در کنفرانس‌ها و نهادهای تخصصی مانند SPIE نشان‌دهنده مشارکت Nova در جریان‌های علمی و صنعتی مرتبط با فناوری‌های ساخت تراشه است. با این حال، جایگاه این شرکت باید در چارچوب رقابت شدید در بازار تجهیزات نیمه‌هادی و وابستگی به چرخه‌های سرمایه‌گذاری این صنعت تحلیل شود.

اهمیت Nova صرفاً به‌عنوان یک تأمین‌کننده تجهیزات محدود نمی‌شود، بلکه به نقش آن در کنترل کیفیت و پایداری فرآیندهای تولید بازمی‌گردد. ابزارهای اندازه‌شناسی این شرکت امکان شناسایی انحرافات در مقیاس بسیار کوچک را فراهم می‌کنند و به بهینه‌سازی بازده تولید کمک می‌کنند. در صورت بروز اختلال در دسترسی به این نوع تجهیزات به دلایلی مانند تنش‌های ژئوپلیتیکی، محدودیت‌های تجاری یا مشکلات عملیاتی پیامدهایی در سطح زنجیره تأمین قابل تصور است.

از جمله این پیامدها می‌توان به کاهش بازده تولید و افزایش هزینه تمام‌شده تراشه‌ها اشاره کرد، زیرا عدم دسترسی به ابزارهای دقیق اندازه‌گیری، کنترل کیفیت فرآیند را تضعیف می‌کند. همچنین در گره‌های پیشرفته، احتمال توقف یا کاهش سرعت خطوط تولید وجود دارد، چرا که ادامه تولید بدون پایش دقیق می‌تواند منجر به افزایش نرخ خطا شود. در سطح کلان، چنین اختلالاتی می‌تواند بر عرضه جهانی نیمه‌هادی‌ها اثر گذاشته و به نوسانات قیمتی در بازار محصولات الکترونیکی منجر شود. در این چارچوب، Nova به‌عنوان یکی از اجزای تخصصی اما مؤثر در زنجیره تأمین صنعت نیمه‌هادی قابل تحلیل است.

۲.۶. Applied Materials

شرکت Applied Materials یکی از بازیگران اصلی در حوزه تأمین تجهیزات و خدمات موردنیاز برای تولید نیمه‌هادی‌ها است و از نظر حجم فعالیت، در زمره بزرگ‌ترین شرکت‌های این بخش در سطح جهانی قرار می‌گیرد. این شرکت آمریکایی مجموعه‌ای از تجهیزات پیشرفته، نرم‌افزارهای کنترلی و خدمات فنی را برای مراحل مختلف تولید ارائه می‌دهد؛ از جمله فرآیندهایی مانند لایه‌نشانی (deposition)، اچینگ (etching)، پولیش شیمیایی-مکانیکی (CMP) و بازرسی و کنترل کیفیت. محصولات Applied Materials علاوه بر صنعت مدارهای مجتمع، در تولید نمایشگرهای تخت و برخی کاربردهای مرتبط با انرژی خورشیدی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مشتریان این شرکت شامل تولیدکنندگان بزرگ تراشه مانند TSMC، Samsung Electronics و Intel هستند و تجهیزات آن در بخش‌های مختلف خطوط تولید این شرکت‌ها به‌کار گرفته می‌شود. به همین دلیل، عملکرد Applied Materials به‌طور مستقیم با چرخه سرمایه‌گذاری در صنعت نیمه‌هادی و توسعه گره‌های فناوری جدید مرتبط است.

اسرائیل یکی از مراکز مهم فعالیت‌های تحقیق و توسعه این شرکت در خارج از ایالات متحده محسوب می‌شود. بخش قابل توجهی از این حضور به تملک شرکت اسرائیلی Orbot Instruments در دهه ۱۹۹۰ بازمی‌گردد که در حوزه سیستم‌های بازرسی و کنترل فرآیند فعالیت داشت و بعدها در ساختار Applied Materials ادغام شد. در حال حاضر، این شرکت بیش از ۲۲۰۰ نیروی انسانی در اسرائیل دارد و مراکز آن عمدتاً در حوزه توسعه فناوری‌های مرتبط با بازرسی، اندازه‌گیری و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید فعال هستند.

نقش Applied Materials در زنجیره تأمین نیمه‌هادی‌ها را می‌توان در چارچوب وابستگی تولیدکنندگان به تجهیزات پیشرفته تحلیل کرد. پیچیدگی فزاینده فرآیند ساخت تراشه، به‌ویژه در ابعاد نانومتری، موجب شده است که تأمین‌کنندگان تجهیزات به یکی از گلوگاه‌های کلیدی این صنعت تبدیل شوند. در نتیجه، هرگونه اختلال در فعالیت این شرکت اعم از مشکلات فنی، محدودیت‌های صادراتی یا تنش‌های ژئوپلیتیکی می‌تواند بر ظرفیت تولید و زمان‌بندی پروژه‌های توسعه‌ای در سطح جهانی اثرگذار باشد. [۱۹]

۲.۷. KLA Corporation

شرکت KLA Corporation یکی از تأمین‌کنندگان اصلی تجهیزات و سامانه‌های کنترل فرآیند در صنعت نیمه‌هادی است که دفتر مرکزی آن در ایالت کالیفرنیا قرار دارد. این شرکت در سال ۱۹۹۷ از ادغام دو مجموعه KLA Instruments و Tencor Instruments شکل گرفت و تمرکز آن بر توسعه ابزارهایی است که برای پایش، اندازه‌گیری و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید در مقیاس نانومتری به کار می‌روند. حوزه فعالیت KLA عمدتاً شامل سیستم‌های بازرسی (inspection)، اندازه‌شناسی (metrology) و تحلیل داده برای افزایش بازده تولید است.

محصولات و خدمات این شرکت بخش‌های مختلف زنجیره تولید نیمه‌هادی را پوشش می‌دهد؛ از تولید ویفر و ماسک‌های لیتوگرافی (reticle) گرفته تا ساخت مدارهای مجتمع (IC) و مراحل بسته‌بندی پیشرفته. در فرآیندهای پیچیده تولید تراشه، ابزارهای KLA برای شناسایی نقص‌ها، کنترل کیفیت و کاهش خطاهای تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند و به همین دلیل نقش آن در بهبود کارایی خطوط تولید قابل توجه است. این شرکت در طول زمان از طریق ادغام‌ها و تملک‌های متعدد، سبد فناوری خود را گسترش داده و جایگاه خود را در بازار تجهیزات نیمه‌هادی تثبیت کرده است.

یکی از تحولات مهم در ارتباط با حضور KLA در اسرائیل، تملک شرکت Orbotech در سال ۲۰۱۹ بود. [۱۸] Orbotech که پیش از این یک شرکت اسرائیلی فعال در حوزه تجهیزات بازرسی نوری خودکار (AOI) و راهکارهای تولید برای صنایع الکترونیک محسوب می‌شد، پس از این ادغام به بخشی از ساختار KLA تبدیل شد. فناوری‌های توسعه‌یافته توسط Orbotech، به‌ویژه در زمینه بازرسی نوری و کنترل کیفیت، در صنایع نیمه‌هادی و همچنین در تولید بردهای مدار چاپی (PCB) و نمایشگرها کاربرد دارند.

این ادغام موجب تقویت پیوندهای KLA با اکوسیستم فناوری اسرائیل شد و بخشی از فعالیت‌های تحقیق و توسعه این شرکت در این کشور متمرکز گردید. با توجه به نقش اسرائیل در حوزه طراحی تراشه و توسعه فناوری‌های مرتبط، حضور KLA (از طریق دارایی‌های Orbotech) به‌عنوان یکی از تأمین‌کنندگان تجهیزات بازرسی و کنترل فرآیند، در زنجیره تأمین این صنعت اهمیت دارد.

در عین حال، وابستگی تولیدکنندگان نیمه‌هادی به تجهیزات تخصصی شرکت‌هایی مانند KLA، این بخش از زنجیره تأمین را به یکی از نقاط حساس تبدیل کرده است. هرگونه اختلال در دسترسی به این تجهیزات اعم از محدودیت‌های تجاری، مشکلات عملیاتی یا عوامل ژئوپلیتیکی می‌تواند بر توانایی شرکت‌ها در حفظ کیفیت، مدیریت بازده و ادامه تولید در گره‌های پیشرفته تأثیر بگذارد. در چنین شرایطی تأخیر در شناسایی نقص‌ها یا کاهش دقت کنترل فرآیند می‌تواند به افزایش هزینه‌ها و کاهش بهره‌وری در مقیاس صنعتی منجر شود.

اختلال در فعالیت‌های این شرکت می‌تواند آثار چندلایه‌ای بر صنعت نیمه‌هادی اسرائیل داشته باشد:

۱. **تضعیف کنترل کیفیت در زنجیره تولید:** شرکت‌های فعال در طراحی و تولید تراشه در اسرائیل به‌ویژه آن‌هایی که به خدمات بازرسی و اندازه‌شناسی پیشرفته وابسته‌اند در صورت محدود شدن دسترسی به تجهیزات KLA با کاهش دقت در شناسایی نقص‌ها مواجه خواهند شد. این موضوع می‌تواند به افت بازده تولید و افزایش هزینه‌های توسعه و نمونه‌سازی منجر شود.

۲. **فشار بر شرکت‌های نوپا و مراکز تحقیقاتی:** استارت‌آپ‌ها و مراکز تحقیق و توسعه که در مراحل اولیه طراحی و تست به زیرساخت‌های بازرسی دقیق نیاز دارند، بیش از سایرین در معرض آسیب قرار می‌گیرند. نبود دسترسی به این ابزارها می‌تواند چرخه توسعه محصولات را طولانی‌تر کرده و هزینه ورود به بازار را افزایش دهد.

۳. **اختلال در پیوندهای صنعتی و بین‌المللی:** حضور KLA در اسرائیل، به‌ویژه از طریق Orbotech، بخشی از اتصال این اکوسیستم به زنجیره تأمین جهانی تجهیزات را فراهم می‌کند. هرگونه کاهش فعالیت یا انتقال این ظرفیت‌ها به خارج از کشور می‌تواند این پیوندها را تضعیف کرده و وابستگی شرکت‌های داخلی به تأمین‌کنندگان خارجی را افزایش دهد.

۴. **اثرات غیرمستقیم بر سرمایه‌گذاری:** کاهش دسترسی به زیرساخت‌های کلیدی کنترل فرآیند ممکن است ارزیابی ریسک سرمایه‌گذاران را نسبت به پروژه‌های نیمه‌هادی در اسرائیل تغییر دهد، به‌ویژه در حوزه‌هایی که نیازمند دقت بالا و استانداردهای تولید پیشرفته هستند.

در مجموع، نقش KLA در اسرائیل صرفاً به‌عنوان یک تأمین‌کننده تجهیزات محدود نمی‌شود، بلکه بخشی از زیرساخت پشتیبان برای حفظ کیفیت، قابلیت اطمینان و تداوم نوآوری در این اکوسیستم محسوب می‌شود؛ از این‌رو اختلال در فعالیت آن می‌تواند پیامدهایی فراتر از یک شرکت منفرد داشته باشد.

۲.۸. Broadcom Inc.

Broadcom Inc. یک شرکت پیشرو آمریکایی در حوزه طراحی نیمه‌هادی و توسعه نرم‌افزارهای زیرساختی است که با ارزش بازار بیش از یک تریلیون دلار، در میان بزرگ‌ترین بازیگران فناوری جهان و از اعضای شاخص گروه موسوم به «Magnificent Seven» قرار می‌گیرد. این شرکت ریشه‌هایی در Hewlett-Packard دارد و طی سال‌ها با اجرای مجموعه‌ای از ادغام‌ها و تملک‌های بزرگ از جمله خرید Broadcom Corporation، CA Technologies و VMware توانسته به یک بازیگر یکپارچه و بسیار اثرگذار در سطح جهانی تبدیل شود.

اهمیت استراتژیک Broadcom عمدتاً در دو محور خلاصه می‌شود: نخست، طراحی و تولید تراشه‌های سفارشی (Custom Silicon) که برای بارهای کاری سنگین، به‌ویژه در حوزه هوش مصنوعی، توسط شرکت‌های بزرگی مانند Google و سایر ارائه‌دهندگان زیرساخت AI به‌کار گرفته می‌شوند؛ و دوم، حضور پررنگ در بازار نرم‌افزارهای سازمانی و زیرساختی که بخش‌های حیاتی عملیات دیجیتال کسب‌وکارهای بزرگ را پوشش می‌دهد. این ترکیب سخت‌افزار و نرم‌افزار، موقعیتی منحصربه‌فرد برای Broadcom ایجاد کرده و آن را به یکی از ستون‌های اصلی زنجیره تأمین فناوری جهانی تبدیل کرده است. با درآمدی در حدود ده‌ها میلیارد دلار (بیش از ۶۰ میلیارد دلار در سال‌های اخیر)، این شرکت نقشی کلیدی در معماری و پایداری زیرساخت‌های دیجیتال مدرن ایفا می‌کند.

Broadcom همچنین به‌عنوان یک «شرکت پلتفرمی» شناخته می‌شود که به‌جای تمرکز صرف بر یک محصول، مجموعه‌ای از دارایی‌های استراتژیک در حوزه‌های شبکه، ارتباطات، ذخیره‌سازی داده و مجازی‌سازی را در قالب یک اکوسیستم یکپارچه مدیریت می‌کند. خرید VMware نمونه‌ای مهم از این رویکرد است که جایگاه Broadcom را در بازار نرم‌افزارهای سازمانی و راهکارهای ابری به‌طور قابل توجهی تقویت کرده است.

در اسرائیل، فعالیت‌های Broadcom عمدتاً به مراکز تحقیق و توسعه (R&D) محدود می‌شود و این شرکت در این کشور واحدهای تولیدی (Manufacturing) ندارد. این مراکز نقش مهمی در توسعه فناوری‌های پیشرفته، به‌ویژه در حوزه‌های شبکه، ارتباطات پرسرعت و طراحی تراشه‌های پیچیده ایفا می‌کنند و از نظر دسترسی به نیروی انسانی متخصص، یکی از نقاط کلیدی در شبکه جهانی نوآوری Broadcom محسوب می‌شوند.

۲.۹. Qualcomm Inc.

کوالکام (Qualcomm) یک غول آمریکایی در صنعت نیمه‌رسانا و از بازیگران کلیدی فناوری‌های ارتباطی در جهان است که به‌عنوان یکی از ستون‌های اصلی زیرساخت ارتباطات بی‌سیم مدرن شناخته می‌شود. این شرکت با در اختیار داشتن مجموعه‌ای گسترده از پتنت‌های حیاتی مرتبط با استانداردهای 4G، 5G و CDMA، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری و توسعه اکوسیستم اتصال دستگاه‌های هوشمند ایفا می‌کند و از مهم‌ترین دارندگان مالکیت فکری در حوزه مخابرات به شمار می‌رود.

اهمیت کوالکام تنها به تراشه‌های شناخته‌شده Snapdragon که در بسیاری از گوشی‌های اندرویدی استفاده می‌شوند محدود نیست. این شرکت با سرمایه‌گذاری گسترده و مستمر در تحقیق و توسعه، دامنه فعالیت خود را به حوزه‌های جدیدی گسترش داده است؛ از جمله پردازنده‌های اختصاصی Oryon برای رایانه‌های مبتنی بر ویندوز و راهکارهای پردازشی و شتاب‌دهنده‌های هوش مصنوعی که با هدف رقابت در بازار روبه‌رشد AI و به‌ویژه رقابت با بازیگرانی مانند Nvidia توسعه یافته‌اند. این جهت‌گیری نشان می‌دهد کوالکام در حال حرکت از یک شرکت صرفاً موبایلی به یک تأمین‌کننده جامع محاسباتی در لبه شبکه است.

در سال‌های اخیر، کوالکام با انجام تملک‌های استراتژیک مانند Nuvia (برای تقویت توان طراحی CPUهای پیشرفته) و Autotalks (فعال در حوزه ارتباطات خودرویی V2X)، حضور خود را در بازارهای نوظهور گسترش داده است. این اقدامات به شرکت امکان داده تا در حوزه‌هایی مانند خودروهای متصل به شبکه، سیستم‌های پیشرفته کمک‌راننده (ADAS) و زیرساخت‌های ارتباطی بین خودرو و محیط (V2X) نقش پررنگ‌تری ایفا کند.

کوالکام با ارزش بازار چند صد میلیارد دلاری و درآمدی در حدود ده‌ها میلیارد دلار (حدود ۳۵ میلیارد دلار در سال‌های اخیر)، نه تنها یکی از بازیگران اصلی در زنجیره تأمین صنعت موبایل است، بلکه به‌عنوان یک محرک کلیدی در توسعه فناوری‌های آینده مانند Edge AI، اینترنت اشیاء (IoT) و خودروهای هوشمند شناخته می‌شود. این شرکت با ترکیب توانمندی در طراحی تراشه، مالکیت فکری گسترده و حضور در بازارهای متنوع، جایگاهی راهبردی در معماری ارتباطی و محاسباتی نسل آینده فناوری دارد.

۲.۱۰ Annapurna Labs

شرکت Annapurna Labs در سال ۲۰۱۱ توسط گروهی از کارآفرینان عرب و یهودی در اسرائیل تأسیس شد و به‌عنوان یکی از موفق‌ترین استارت‌آپ‌های حوزه میکروالکترونیک این کشور شناخته می‌شود. این شرکت در سال ۲۰۱۵ طی معامله‌ای به ارزش حدود ۳۵۰ میلیون دلار توسط آمازون (AWS) خریداری شد و از آن زمان به یکی از اجزای کلیدی در زیرساخت سخت‌افزاری و نیمه‌هادی این شرکت تبدیل شده است.

آناپورنا لبز نقش مهمی در توسعه توانمندی‌های محاسبات ابری آمازون ایفا کرده و با طراحی و توسعه خانواده تراشه‌های Graviton (پردازنده‌های مبتنی بر معماری ARM)، Trainium (شتاب‌دهنده‌های اختصاصی هوش مصنوعی) و همچنین سامانه‌های سخت‌افزاری Nitro (برای مجازی‌سازی و امنیت زیرساخت)، به بهینه‌سازی عملکرد، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری مراکز داده AWS کمک کرده است. این رویکرد مبتنی بر «سیلیکون سفارشی» به آمازون امکان داده تا وابستگی خود به تأمین‌کنندگان سنتی مانند Intel و AMD را در برخی کاربردها کاهش دهد و کنترل بیشتری بر کل stack محاسباتی خود داشته باشد.

از جدیدترین دستاوردهای این شرکت می‌توان به تراشه ۲ Trainium اشاره کرد که برای شتاب‌دهی به مدل‌های هوش مصنوعی طراحی شده و نسبت به نسل قبلی خود عملکردی تا حدود چهار برابر بهبود یافته ارائه می‌دهد. این تراشه به‌طور خاص برای آموزش مدل‌های بزرگ یادگیری عمیق در مقیاس دیتاسنتری بهینه‌سازی شده است.

در سطحی کلان‌تر، اهمیت Annapurna Labs تنها در محصولات آن خلاصه نمی‌شود، بلکه در نقشی است که در راهبرد آمازون برای توسعه سخت‌افزار اختصاصی و یکپارچه‌سازی عمودی ایفا می‌کند. این شرکت نمونه‌ای از روند روبه‌رشد «طراحی داخلی نیمه‌هادی» در میان غول‌های فناوری است؛ روندی که در آن شرکت‌های ابری و پلتفرمی با سرمایه‌گذاری در طراحی تراشه، به دنبال بهینه‌سازی عملکرد، کاهش هزینه‌های عملیاتی و ایجاد مزیت رقابتی پایدار هستند. همچنین ریشه‌گیری این شرکت در اکوسیستم نوآوری اسرائیل نشان‌دهنده پیوند عمیق بین استعداد‌های مهندسی محلی و زنجیره ارزش جهانی صنعت نیمه‌هادی است.

۲.۱۱ Hailo Technologies

شرکت Hailo Technologies یک استارت‌آپ نوآور اسرائیلی است که در سال ۲۰۱۷ تأسیس شد و در زمینه طراحی و توسعه پردازنده‌های اختصاصی هوش مصنوعی و شتاب‌دهنده‌های محاسباتی لبه (Edge AI) فعالیت می‌کند. این شرکت با تمرکز بر اجرای مدل‌های یادگیری عمیق روی دستگاه‌های نزدیک به منبع داده، به دنبال کاهش وابستگی به دیتاسنترهای مرکزی و افزایش سرعت، امنیت و کارایی پردازش است.

محصول شاخص Hailo، تراشه Hailo-۸ است که با ترکیب توان پردازشی بالا و مصرف انرژی بسیار پایین، برای کاربردهایی مانند خودروهای خودران، دوربین‌های نظارتی هوشمند، پهپادها و ربات‌های صنعتی طراحی شده است. این تراشه به‌ویژه در سناریوهایی که نیاز به پردازش بلادرنگ (real-time) و محدودیت شدید انرژی و فضا وجود دارد، عملکرد برجسته‌ای ارائه می‌دهد. Hailo با رسیدن به ارزش‌گذاری حدود یک میلیارد دلار، به جمع یونیکورن‌های حوزه فناوری پیوسته و جایگاه قابل توجهی در اکوسیستم استارت‌آپ‌های نیمه‌هادی و AI اسرائیل به دست آورده است.

از جدیدترین محصولات این شرکت می‌توان به Hailo-۱۰ اشاره کرد که امکان اجرای مدل‌های مولد هوش مصنوعی (Generative AI) را به‌صورت مستقیم روی دستگاه‌های لبه فراهم می‌کند؛ قابلیتی که به گسترش کاربردهای هوش مصنوعی در محیط‌های غیرمتمرکز کمک می‌کند و نیاز به ارسال داده به کلود را کاهش می‌دهد. این مسیر نشان‌دهنده حرکت صنعت به سمت «Edge AI» و توزیع‌شدن قدرت پردازشی در شبکه‌های مختلف است.

از منظر زنجیره تأمین، Hailo برای تولید تراشه‌های خود به کارخانه‌های پیشرفته TSMC در تایوان وابسته است. این وابستگی به معنای آن است که اختلالات ژئوپلیتیکی، بلایای طبیعی یا تنش‌های احتمالی در تایوان می‌تواند مستقیماً بر توان تولید و تحویل محصولات این شرکت تأثیر بگذارد، حتی اگر عملیات طراحی و توسعه در اسرائیل

بدون مشکل ادامه یابد. این ویژگی نمونه‌ای از ماهیت به‌شدت جهانی و به‌هم‌پیوسته صنعت نیمه‌هادی است که در آن طراحی، تولید و مونتاژ اغلب در کشورهای مختلف و در قالب یک زنجیره پیچیده انجام می‌شود. در مجموع، Hailo Technologies را می‌توان یکی از بازیگران مهم در موج جدید پردازش‌های هوش مصنوعی در لبه دانست که با تمرکز بر بهره‌وری انرژی و پردازش غیرمتمرکز، در حال تغییر نحوه استقرار و استفاده از مدل‌های AI در صنایع مختلف است.

۲.۱۲. SCD (SemiConductor Devices)

شرکت SCD (SemiConductor Devices) یک مجموعه اسرائیلی فعال در حوزه طراحی و تولید حسگرهای مادون‌قرمز پیشرفته (Infrared Detectors) و فناوری‌های اپتوالکترونیک است که از دهه ۱۹۸۰ فعالیت خود را آغاز کرده و به‌عنوان یکی از بازیگران تخصصی و با سابقه در این حوزه شناخته می‌شود. سهام این شرکت حاصل سرمایه‌گذاری مشترک Rafael و Elbit Systems است و با تمرکز اصلی بر توسعه دتکتورهایی که امکان تصویربرداری حرارتی و شناسایی اشیاء در شرایط نبود نور مرئی را فراهم می‌کنند، فعالیت می‌کند. [۱۱]

محصولات SCD عمدتاً شامل انواع آشکارسازهای مادون‌قرمز در باندهای MWIR (موج میانی) و LWIR (موج بلند) و همچنین آرایه‌های حسگری (Detector Arrays) است. این فناوری‌ها در کاربردهای متنوعی به‌کار می‌روند، از جمله سامانه‌های دید در شب، سیستم‌های رهگیری و هدف‌گیری، تجهیزات هدایت موشک، پایش‌های امنیتی و نیز کاربردهای صنعتی و علمی مانند تصویربرداری حرارتی، تشخیص نشت گاز و پایش وضعیت تجهیزات. نقش این حسگرها در بسیاری از سامانه‌ها حیاتی است، زیرا به‌عنوان «چشم» سیستم عمل کرده و داده‌های محیطی را برای پردازش‌های بعدی فراهم می‌کنند.

SCD به‌طور سنتی در ارتباط نزدیک با صنایع دفاعی و نهادهای مرتبط در اسرائیل فعالیت داشته و بخشی از زنجیره تأمین فناوری‌های حساس این کشور محسوب می‌شود. ساختار مالکیت آن نیز در طول زمان به‌صورت مشارکتی بوده و همکاری‌های صنعتی و راهبردی گسترده‌ای با بازیگران داخلی و بین‌المللی داشته است.

از منظر صنعتی، SCD در یک حوزه بسیار تخصصی از نیمه‌هادی‌ها فعالیت می‌کند که ترکیبی از اپتیک، فیزیک مواد و مهندسی حسگرهای دقیق است. این سطح از تخصص‌گرایی باعث شده موانع ورود به این بازار بالا باشد و جایگزینی فناوری‌های آن در بسیاری از کاربردها دشوار و زمان‌بر باشد. همچنین تولید این نوع حسگرها نیازمند زیرساخت‌های پیچیده و فرآیندهای ساخت پیشرفته است که به زنجیره تأمین مواد و تجهیزات خاص وابسته است.

در مجموع، SCD را می‌توان یکی از اجزای مهم اما کمتر دیده‌شده اکوسیستم نیمه‌هادی و فناوری‌های پیشرفته اسرائیل دانست که در لایه حسگری و دریافت داده فعالیت می‌کند؛ لایه‌ای که برای عملکرد سامانه‌های دفاعی، امنیتی و صنعتی نقشی بنیادی و غیرقابل جایگزین ایفا می‌کند.

۲.۱۳. ساير بازيگران اکوسيستم

فراتر از اين بازيگران اصلي، دهها شركت ديگر در اسرئيل در حوزههاي تخصصي فعاليت ميکنند. Habana Labs که در سال ۲۰۱۶ تاسيس شد و پردازندههاي هوش مصنوعي با کارايي بالا و مصرف انرژي بهينه توسعه داد، در سال ۲۰۱۹ با قيمت ۲ ميليارد دلار توسط اينتل خريداري شد. در حوزه ارتباطات، Valens مخترع فناوری HDBaseT و يکي از تامينکنندگان اصلي محصولات نيمههادي براي انتقال محتوای چندرسانه‌ای با كيفيت بالا است. در حوزه خودروهاي خودران، Innoviz توليدکننده حسگرهاي LiDAR حالت جامد و Arbe Robotics ارائه‌دهنده راهکارهاي کامل رانديگي خودران با استفاده از رادار تصويربرداري اختصاصي هستند. در حوزه حسگرها، Vayyar حسگرهاي تصويربرداري سه‌بعدي کم‌هزينه و TriEye راهکارهاي تصويربرداري SWIR براي شرايط ديد کم توسعه مي‌دهند. Astera Labs تازه‌وارد قدرتمند به بازار با ارزش ۲۸۰ ميليارد دلار در NASDAQ که اخيراً تيم Pliops اسرئيل را جذب کرده است. Check Point نيز هرچند عمدتاً امنيت سايبري شناخته مي‌شود، اما نقش مهمي در همگرایی امنيت سخت‌افزاري و نرم‌افزاري دارد.

ردیف	نام شرکت	حوزه فعاليت	مالکيت	توضيحات
شركت‌هاي چندمليتي (MNCs) مستقر در اسرئيل				
۱	Intel	طراحی و توليد پردازنده‌هاي عمومي (CPU)، چيپ‌هاي هوش مصنوعي	چندمليتي (آمریکا)	بزرگ‌ترين کارفرمای بخش خصوصي در اسرئيل (حدود ۹۳۰۰ کارمند). دارای کارخانه توليد در کريات گات و اورشلیم و مراکز توسعه در حيفا، ياکوم، پتختیکوا.
۲	NVIDIA (Mellanox)	ارتباطات پرسرعت (InfiniBand, Ethernet) برای مراکز داده و هوش مصنوعي	چندمليتي (آمریکا)	خريداري Mellanox در ۲۰۲۰ به ارزش ۶.۹ ميليارد دلار، بيش از ۴۵۰۰ کارمند در اسرئيل. مراکز توسعه در حيفا و تل‌حای.
۳	Qualcomm	چيپ‌هاي ارتباطي، پردازنده‌هاي موبایل	چندمليتي (آمریکا)	دارای دو مرکز تحقيق و توسعه در حيفا و هود هشارون. خريداري پنج شركت اسرئيلي بين ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶.
۴	Apple	طراحی تراشه‌هاي اختصاصي (سری M، Face ID، حافظه)	چندمليتي (آمریکا)	خريداري Anobit ۲۰۱۲ (و PrimeSense ۲۰۱۳) (بزرگ‌ترين مرکز توسعه اپل خارج از آمریکا در اسرئيل).

خریداری Annapurna Labs در ۲۰۱۵. هسته اصلی استراتژی سیلیکون سفارشی. AWS.	چندملیتی (آمریکا)	طراحی تراشه‌های ابری (Graviton, Inferentia, Trainium, Nitro)	Amazon (Annapurna Labs)	۵
پایگاه مهم نیمه‌هادی در حیفا. توسعه پردازنده‌های ARM و شتاب‌دهنده‌های هوش مصنوعی.	چندملیتی (آمریکا)	طراحی پردازنده‌های اختصاصی (Cobalt, Maia)، چیپ‌های شبکه	Microsoft	۶
حضور در اسرائیل با مراکز توسعه مرتبط با سخت‌افزار و هوش مصنوعی.	چندملیتی (آمریکا)	طراحی تراشه‌های اختصاصی (TPU)	Google	۷
سومین شرکت بزرگ Fabless جهان. سه دفتر در یوکنعام، رامات‌گان و پتختیکوا.	چندملیتی (آمریکا)	طراحی چیپ‌های ذخیره‌سازی، شبکه و ارتباطات	Marvell	۸
حضور فعال در اکوسیستم نیمه‌هادی اسرائیل از طریق مراکز توسعه.	چندملیتی (آمریکا)	چیپ‌های ارتباطی، شبکه و ذخیره‌سازی	Broadcom	۹
خریداری TransChip در ۲۰۰۷. فعالیت‌های نیمه‌هادی گسترده در اسرائیل.	چندملیتی (کره جنوبی)	حسگرهای تصویری (CMOS)، حافظه، چیپ‌های موبایل	Samsung	۱۰
بزرگ‌ترین مرکز تحقیق و توسعه خارج از آمریکا در اسرائیل. (PDC) حدود ۲۴۰۰ کارمند.	چندملیتی (آمریکا)	تجهیزات ساخت نیمه‌هادی (لیتوگرافی، بازرسی)	Applied Materials	۱۱
خریداری Orbotech در ۲۰۱۹. یکی از رهبران جهانی در حوزه کنترل کیفیت.	چندملیتی (آمریکا)	تجهیزات بازرسی و اندازه‌گیری (Metrology & Inspection)	KLA (Orbotech)	۱۲
دارای سابقه ۵۰ ساله در اسرائیل (از موتورولا و فیلیپس). فعالیت در تحقیق و توسعه و پشتیبانی فنی.	چندملیتی (هلند)	چیپ‌های خودرویی، امنیت و ارتباطات	NXP (Freescale)	۱۳
زیرمجموعه Nuvoton تایوان، مستقر در هرترتلیا پیتواخ.	چندملیتی (تایوان)	راهکارهای سیلیکونی برای رایانه‌های شخصی و سرورها	Nuvoton	۱۴
مرکز تحقیق و توسعه در حال رشد در هرترتلیا.	چندملیتی (تایوان)	طراحی حافظه‌های غیرفرار امن (Secure Non-Volatile Memory)	Winbond	۱۵

شرکت‌های بومی و مستقل اسرائیلی

حدود ۵۵۰۰ کارمند. دو کارخانه در اسرائیل (میگدال هائمک) و دو کارخانه در آمریکا. ارزش بازار ۱۸۴ میلیارد دلار.	مستقل (بورسی)	تولید سفارشی (Foundry) برای کاربردهای خاص (Mixed-Signal, CMOS, MEMS, RF)	Tower Semiconductor	۱۶
خریداری توسط اینتل در ۲۰۱۷ به ارزش ۱۵.۳ میلیارد دلار. دفتر مرکزی در اورشلیم.	زیرمجموعه اینتل (بورسی)	سیستم‌های کمک‌راننده پیشرفته (ADAS) و خودروهای خودران	Mobileye	۱۷
خریداری در ۲۰۱۹ به ارزش ۲ میلیارد دلار. هسته استراتژی هوش مصنوعی اینتل.	زیرمجموعه اینتل	پردازنده‌های اختصاصی هوش مصنوعی (Gaudi, Goya)	Habana Labs	۱۸
بیش از دو دهه سابقه در نوآوری نیمه‌هادی.	مستقل (بورسی)	چیپست‌های بی‌سیم (DECT, Wi-Fi, VoIP)	DSP Group	۱۹
یکی از پیشروان جهانی در زمینه IP نیمه‌هادی.	مستقل (بورسی)	مالکیت فکری (IP) برای پردازش‌گرهای سیگنال دیجیتال (DSP) و ارتباطات	CEVA	۲۰
رهبر جهانی در حوزه کنترل کیفیت و اندازه‌گیری. تأسیس ۱۹۹۳.	مستقل (بورسی)	تجهیزات اندازه‌گیری و کنترل فرآیند (Metrology)	Nova	۲۱
رهبر جهانی. تأسیس ۱۹۸۷.	مستقل (بورسی)	تجهیزات بازرسی (Inspection) نیمه‌هادی‌ها و بردهای مدار چاپی	Camtek	۲۲
تحول آفرین در صنعت انرژی خورشیدی.	مستقل (بورسی)	فناوری‌های انرژی هوشمند و اینورترهای خورشیدی	SolarEdge	۲۳
فعال در بیش از ۱۳۰ کشور.	مستقل (بورسی)	راهکارهای ارتباطی بی‌سیم برای بک‌هاول شبکه	Ceragon	۲۴

استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان

توسعه تراشه‌های هوش مصنوعی با کارایی بالا و مصرف انرژی پایین.	استارت‌آپ	پردازنده‌های تخصصی یادگیری عمیق (AI Edge Processors)	Hailo	۲۵
مخترع فناوری HDBaseT.	استارت‌آپ (بورسی)	فناوری HDBaseT، انتقال چندرسانه‌ای با کیفیت بالا	Valens	۲۶

توليدکننده LiDAR و نرم‌افزارهای ادراکی.	استارتاپ (بورسی)	حسگرهای LiDAR حالت جامد برای خودروهای خودران	Innoviz	۲۷
راهکارهای کامل برای رانندگی خودران سطح ۴.	استارتاپ (بورسی)	رادار تصویربرداری ۴ بعدی با وضوح بالا برای خودروهای خودران	Arbe Robotics	۲۸
شرکت Fabless در حوزه ارتباطات خودرویی.	استارتاپ	چیپ‌های ارتباطی V2X (Vehicle-to-Everything) برای خودروهای خودران	Autotalks	۲۹
کاربرد در خودرو، پزشکی، ساختمان و صنعت.	استارتاپ	حسگرهای تصویربرداری سه‌بعدی کم‌هزینه	Vayyar	۳۰
تمرکز بر صنعت خودرو.	استارتاپ	راهکارهای تصویربرداری SWIR (موج کوتاه فروسرخ) برای شرایط دید کم	TriEye	۳۱
شرکت Fabless با فناوری برداشت انرژی از امواج محیطی.	استارتاپ	برچسب‌های بلوتوثی بدون باتری برای اینترنت اشیا	Wiliot	۳۲
تمرکز بر اینترنت اشیا صنعتی (IIoT).	استارتاپ	شبکه‌های بی‌سیم صنعتی با تأخیر بسیار پایین	CoreTigo	۳۳
توسعه محصولات جدید برای بهینه‌سازی ذخیره‌سازی.	استارتاپ	راهکارهای افزایش سرعت دسترسی به داده در مراکز داده	Pliops	۳۴
طراحی چیپ‌های تخصصی برای کاربردهای بصری.	استارتاپ	پردازنده‌های چند هسته‌ای برای بینایی ماشین، واقعیت افزوده و رباتیک	Inuitive	۳۵
تمرکز بر بهینه‌سازی مصرف انرژی.	استارتاپ	راهکارهای طراحی SoC برای اینترنت اشیا با مصرف انرژی بسیار پایین	PLSense	۳۶
توسعه راهکارهای نوین حسگری بدون تماس.	استارتاپ	حسگرهای مبتنی بر رادار روی تراشه برای کاربردهای پزشکی و انسانی	Neteera	۳۷
تخصص در فناوری‌های فوتونیک سیلیکونی.	استارتاپ	راهکارهای انتقال داده پرسرعت برای مراکز داده بزرگ	ColorChip	۳۸
طراحی مودم‌های SDR و آنتن‌های چندپرتویی.	استارتاپ (بورسی)	چیپ‌ست‌های ارتباطات ماهواره‌ای نسل جدید	SatixFy	۳۹

فناوری غالب در زیرساخت دیجیتال خانه.	استارتاپ	چیپ‌های Wi-Fi و اتصال هوشمند برای اینترنت اشیا و خانه هوشمند	Celeno	۴۰
تمرکز بر زیرساخت‌های پهن‌بند.	استارتاپ	پردازنده‌های پیشرفته شبکه انتقال نوری (OTN)	IP Light	۴۱
ترکیب داده‌های حسگرها برای ایجاد مدل‌های دقیق محیط.	استارتاپ	مدل‌های سه‌بعدی برای درک محیط خودروهای خودران	Vayavision	۴۲
ورود به اسرائیل در ۲۰۲۶ و جذب تیم Pliops. ارزش بازار ۲۸۰ میلیارد دلار.	چندملیتی (آمریکا)	راهکارهای اتصال برای مراکز داده هوش مصنوعی	Astera Labs	۴۳
توسعه نسل جدید حافظه‌های غیرفرار.	استارتاپ (بورسی)	فناوری حافظه غیرفرار مقاوم (ReRAM)	Weebit Nano	۴۴
ارائه راهکارهای هوشمند برای پیش‌بینی عمر مفید تراشه.	استارتاپ	ابزارهای طراحی و تحلیل سلامت تراشه مبتنی بر داده	proteanTecs	۴۵
خریداری توسط آمازون.	استارتاپ	شتاب‌دهنده‌های پایگاه داده و هوش مصنوعی	NeuroBlade	۴۶
تمرکز بر هوش مصنوعی و محاسبات علمی.	استارتاپ	شتاب‌دهنده‌های محاسبات با کارایی بالا (HPC)	NextSilicon	۴۷
توسعه ماژول‌های نوری پیشرفته.	استارتاپ	راهکارهای فوتونیک سیلیکونی برای مراکز داده	DustPhotonics	۴۸
فناوری برای اتصال پرسرعت بین تراشه‌ها.	استارتاپ	اتصالات فوتونیک برای چیپ‌های سیلیکونی	Teramount	۴۹
توسعه تراشه‌های توان کارآمد.	استارتاپ	فناوری نیتريد گاليم (GaN) برای مدیریت توان	VisIC	۵۰
برداشت انرژی خورشیدی برای دستگاه‌های کم‌مصرف.	استارتاپ	سلول‌های خورشیدی برای اینترنت اشیا و حسگرهای بی‌سیم	SolChip	۵۱
تمرکز بر محاسبات درون حافظه (Computational Storage).	استارتاپ	شتاب‌دهنده‌های محاسباتی برای ذخیره‌سازی	Eideticom	۵۲
حوزه تخصصی تجهیزات تولید.	استارتاپ	تجهیزات پیشرفته برای صنعت نیمه‌هادی	Phononics	۵۳

شرکت‌های دفاعی و صنایع نظامی

تأسیس ۱۹۷۶ در میگدال هائیک از طریق تأمین‌کننده اصلی نیروهای دفاعی اسرائیل.	سرمایه‌گذاری مشترک و Rafael Elbit Systems	حسگرهای فرسوخ و الکترواپتیکی برای هدایت موشک، تصویربرداری حرارتی	SCD (SemiConductor Devices)	۵۴
تأمین‌کننده بخش دفاعی اسرائیل.	مستقر در اشدود	تراشه‌های فرکانس رادیویی (RF) و سیگنال ترکیبی برای ارتباطات دفاعی و رادار	Gal-El	۵۵

۳. وابستگی‌های راهبردی و نقاط آسیب‌پذیر

علیرغم موفقیت‌های قابل توجه و جایگاه برجسته صنعت نیمه‌هادی اسرائیل در سطح جهانی، این حوزه با مجموعه‌ای از آسیب‌پذیری‌های ساختاری و ژئوپلیتیکی روبه‌رو است. ماهیت صنعت نیمه‌هادی، به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین و به‌شدت بین‌المللی‌ترین زنجیره‌های تأمین در میان صنایع به‌گونه‌ای است که هیچ کشور واحدی قادر به پوشش کامل تمامی مراحل آن نیست. در مورد اسرائیل، تمرکز راهبردی بر حلقه‌هایی نظیر طراحی تراشه، معماری سیستم‌ها و توسعه تجهیزات بازرسی و آزمون باعث شده است که این کشور در این بخش‌ها توانمندی‌های پیشرفته‌ای کسب کند. با این حال، در سایر بخش‌های زنجیره ارزش از تأمین مواد اولیه و گازهای صنعتی گرفته تا دسترسی به تجهیزات ساخت پیشرفته، فرآیندهای تولید انبوه و حتی بازارهای نهایی وابستگی قابل توجهی به واردات و همکاری‌های بین‌المللی وجود دارد. این وابستگی متقابل، در کنار تمرکز جغرافیایی بخش‌هایی از زنجیره تأمین در مناطق خاص جهان، موجب می‌شود که این صنعت نسبت به اختلالات ناشی از تنش‌های ژئوپلیتیکی، محدودیت‌های تجاری و شوک‌های زیرساختی حساسیت بالایی داشته باشد.

این وابستگی، در شرایط عادی، یک انتخاب هوشمندانه و مبتنی بر مزیت نسبی است؛ اما در شرایط بحران، جنگ و تنش‌های منطقه‌ای، به نقطه آشیل راهبردی تبدیل می‌شود. در این بخش، به کالبدشکافی چهار لایه اصلی آسیب‌پذیری صنعت نیمه‌هادی اسرائیل می‌پردازیم:

- (۱) وابستگی به زنجیره تأمین جهانی
- (۲) آسیب‌پذیری لجستیکی و زیرساخت‌های حمل‌ونقل
- (۳) چالش تأمین مواد اولیه حیاتی با تأکید بر هلیوم
- (۴) مسئله نیروی انسانی و «فرار مغزها» در دوره جنگ.

۳.۱. وابستگی به زنجیره تأمین جهانی؛ حلقه مفقوده «خودکفایی»

اسرائیل برخلاف ظاهر قدرتمند و تصویری که از «ملت استارت‌آپ» در اذهان شکل گرفته، در لایه‌های فیزیکی و زیرساختی تولید نیمه‌هادی به شدت آسیب‌پذیر و وابسته به خارج است. این وابستگی را می‌توان در سه سطح مجزا اما مرتبط تحلیل کرد:

۳.۱.۱. مواد اولیه حیاتی

ویفرهای سیلیکونی (Silicon Wafers) ماده اولیه اصلی ساخت تراشه‌ها هستند که عمدتاً از آلمان، ژاپن و تایوان وارد می‌شود. کارخانه‌های تولیدی اسرائیل (اینتل و تاور) به تأمین پایدار این ویفرها وابسته هستند. تولید این ویفرهای سیلیکونی و فرآیندهای پیچیده لیتوگرافی به مجموعه‌ای از گازهای خاص، مواد شیمیایی با خلوص فوق‌العاده بالا و عناصر کمیاب وابسته است که اسرائیل فاقد منابع بومی یا استخراج داخلی برای اکثر آنهاست. مهم‌ترین این مواد عبارت‌اند از:

- **هلیوم (Helium):** رژیم صهیونیستی بخش اعظم هلیوم موردنیاز صنایع نیمه‌هادی خود را به‌صورت غیرمستقیم از قطر تأمین می‌کند. قطر تأمین‌کننده حدود ۳۰ درصد از هلیوم مصرفی جهان است. این گاز برای خنک‌کاری تجهیزات لیتوگرافی و شناسایی نشتی‌ها در خطوط تولید حیاتی است. در صورت تشدید درگیری‌های منطقه‌ای و مختل شدن مسیرهای صادراتی قطر (به‌ویژه از طریق تنگه هرمز)، ذخایر هلیوم در اسرائیل ظرف چند هفته به پایان می‌رسد.
- **برم (Bromine):** بحرالमित (بین اردن و اسرائیل) منبع اصلی استخراج برم در جهان است. [۱۲] این عنصر در ساخت ترکیبات بازدارنده شعله و مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیندهای (Etching) کاربرد دارد. اگرچه اسرائیل به این منبع دسترسی دارد، اما هرگونه اختلال در منطقه دریای مرده (به دلیل درگیری‌های احتمالی با اردن یا حملات مقاومت) می‌تواند این زنجیره را مختل کند.
- **گازهای خاص (Specialty Gases):** آرگون، نیتروژن فوق‌خالص، تری‌فلوراید نیتروژن (NF_3) و شش‌فلوراید تنگستن (WF_6) که در فرآیندهای، لایه‌نشانی و تمیزکاری محفظه‌های تولید استفاده می‌شوند، عمدتاً از اروپا، آمریکا و ژاپن وارد می‌گردند.
- **فلزات کمیاب (Rare Earth Metals):** گالیوم، ایندیم و تانتالوم که در ساخت چیپ‌های خاص و تجهیزات پیشرفته کاربرد دارند.

هرگونه اختلال در مسیرهای دریایی یا هوایی واردات این مواد، چه به دلیل درگیری‌های منطقه‌ای، چه تحریم‌های بین‌المللی و چه بحران‌های جهانی، می‌تواند زنجیره تولید کارخانه‌های اسرائیل را در عرض چند هفته با بحران مواجه

کند. برخلاف صنعت نرم‌افزار که ماهیتی مجازی و غیرفیزیکی دارد، صنعت نیمه‌هادی به جریان فیزیکی مستمر و بی‌وقفه مواد وابسته است و توقف این جریان به معنای توقف کامل تولید است.

۳.۱.۲. تجهیزات پیشرفته تولید

اسرائیل هیچ توان بومی برای تولید تجهیزات پیشرفته لیتوگرافی (به‌ویژه سیستم‌های EUV شرکت ASML هلند) و همچنین تجهیزات پیشرفته لایه‌نشانی (Deposition) و حکاکی (Etching) (ساخت شرکت‌های Applied Materials و Lam Research) ندارد. این تجهیزات که قلب تپنده هر کارخانه تولید تراشه محسوب می‌شوند، دارای ویژگی‌های زیر هستند:

- **فناوری انحصاری:** تنها چند شرکت معدود در جهان (عمدتاً در هلند، آمریکا و ژاپن) قادر به تولید این تجهیزات هستند.
- **نیازمند نگهداری و تعمیرات مستمر:** این تجهیزات به تیم‌های متخصص خارجی برای راه‌اندازی، کالیبراسیون و تعمیرات نیاز دارند. در شرایط بحران و بسته شدن مرزها، دسترسی به این خدمات با اختلال جدی مواجه می‌شود.
- **قطعات یدکی حساس:** تأمین قطعات یدکی این تجهیزات نیز از همان منابع خارجی صورت می‌گیرد و انبارش داخلی آنها به دلیل هزینه‌های بالا و پیچیدگی لجستیک، محدود است.

وابستگی به تجهیزات ASML و Applied Materials به این معناست که حتی اگر اسرائیل بتواند مواد اولیه را تأمین کند در صورت بروز تحریم‌های فناورانه یا اختلال در روابط دیپلماتیک، خطوط تولید آن به دلیل نبود قطعه یدکی یا خدمات تعمیرات، ظرف چند ماه از مدار خارج خواهند شد. این وابستگی، یکی از عمیق‌ترین نقاط آسیب‌پذیر صنعت تراشه اسرائیل است.

۳.۱.۳. لیتوگرافی؛ گلوگاه فناورانه

پیشرفته‌ترین و حساسترین مرحله تولید نیمه‌هادی، فرآیند لیتوگرافی فرابنفش شدید (EUV) است که برای ساخت تراشه‌های زیر ۷ نانومتر ضروری می‌باشد. تجهیزات EUV منحصراً توسط شرکت ASML (هلند) تولید می‌شوند و هر دستگاه آن بیش از ۲۰۰ میلیون دلار قیمت دارد. [۱۳] اسرائیل فاقد هرگونه توان بومی در طراحی یا تولید این تجهیزات است. به واردات این تجهیزات از هلند (که خود نیازمند مجوزهای صادراتی پیچیده از سوی دولت‌های اروپایی و آمریکاست) وابسته است و برای آموزش اپراتورها و نگهداری این تجهیزات، به تیم‌های متخصص ASML که معمولاً شهروندان هلندی یا سایر کشورهای اروپایی هستند، وابستگی دارد.

وابستگی سه‌گانه اسرائیل به واردات مواد اولیه، تجهیزات پیشرفته و فناوری لیتوگرافی، این کشور را در موقعیتی قرار داده که هیچ‌یک از حلقه‌های حیاتی تولید فیزیکی تراشه را به‌طور مستقل در اختیار ندارد. این وضعیت، در کنار تمرکز استراتژیک بر طراحی، در شرایط بحران به یک نقطه شکست راهبردی تبدیل می‌شود.

۳.۲. آسیب‌پذیری لجستیکی؛ اختلال در حمل‌ونقل هوایی و دریایی به مثابه سلاح راهبردی

اکوسیستم نیمه‌هادی اسرائیل به دلیل ماهیت «زمان حساس» و «درست به‌موقع^۲» خود، به‌شدت به پایداری کریدورهای هوایی و دریایی وابسته است. هرگونه اختلال در این کریدورها می‌تواند زنجیره تأمین را با شوکی جبران‌ناپذیر مواجه کند. تجربه جنگ‌های اخیر به‌وضوح نشان داده که اختلال در حمل‌ونقل هوایی و دریایی می‌تواند زنجیره تأمین شرکت‌های مستقر در سرزمین‌های اشغالی را با چالش جدی مواجه کند.

۳.۲.۱. تردد هوایی (Air Travel)؛ شریان حیاتی مهندسان خارجی

فرودگاه بین‌المللی بن‌گوریون عملاً تنها دروازه ورود مهندسان خارجی، قطعات یدکی حیاتی و مواد خاص به اسرائیل است. اهمیت این شریان هوایی را در سه سطح می‌توان تحلیل کرد:

- **نیروی انسانی خارجی:** بسیاری از تجهیزات پیشرفته لیتوگرافی (مانند EUV) توسط تیم‌های متخصص خارجی (عمدتاً از هلند، آمریکا و آلمان) راه‌اندازی و نگهداری می‌شوند. بسته شدن حریم هوایی خاورمیانه در جریان درگیری‌های گسترده (به‌عنوان مثال، در سناریوی حمله موشکی گسترده ایران) به معنای توقف کامل ورود و خروج این متخصصان است که مستقیماً به تعطیلی خطوط تولید منجر می‌شود.
- **قطعات یدکی:** تجهیزات لیتوگرافی و لایه‌نشانی به قطعات یدکی حساسی نیاز دارند که معمولاً از طریق حمل‌ونقل هوایی و در کمتر از ۴۸ ساعت به مقصد می‌رسند. اختلال در این مسیر، به معنای توقف خط تولید تا زمان رفع اختلال (که ممکن است روزها یا هفته‌ها طول بکشد) خواهد بود.
- **محصولات نهایی (صادرات):** تراشه‌های طراحی و تولیدشده در اسرائیل نیز عمده‌تاً از طریق هوایی به مشتریان در آمریکا، اروپا و آسیا ارسال می‌شوند. اختلال در صادرات، علاوه بر خسارت مستقیم اقتصادی، به اعتبار و قابلیت اطمینان شرکت‌های اسرائیلی در بازارهای جهانی آسیب می‌زند.

بسته شدن حریم هوایی اسرائیل در یک درگیری گسترده، حتی اگر فقط برای چند روز باشد، می‌تواند زنجیره تأمین را به‌طور کامل مختل کرده و خساراتی بالغ بر صدها میلیون دلار به صنعت نیمه‌هادی وارد آورد. برخلاف صنایعی که

^۲ Just-in-Time

امكان انبارش انبوه مواد اوليه را دارند، ماهيت «فقط-به‌موقع» صنعت تراشه، آن را به‌شدت در برابر اين شوک‌ها آسیب‌پذير ساخته است.

۳.۲.۲. اختلال در مسيرهای دریایی (Maritime Chokepoints)

حمل‌ونقل دریایی برای تأمین مواد اوليه حجيم‌تر (مانند ويفرهای سيلیکونی، گازهای مایع و مواد شیمیایی) و همچنين صادرات محصولات به بازارهای دور (به‌ويژه آسيا) حیاتی است. دو گلوگاه اصلی در منطقه، اسرائیل را به‌شدت آسیب‌پذير می‌کنند:

- **تنگه هرمز:** حدود ۳۰ درصد از نفت و گاز مایع جهان از اين تنگه عبور می‌کند. هرگونه درگیری در اين منطقه نه تنها قيمت انرژی را افزایش می‌دهد، بلکه بيمه حمل‌ونقل دریایی به مقصد اسرائیل را به شدت افزایش داده و بسیاری از خطوط کشتیرانی را به تعلیق درخواهد آورد. کشتی‌های حامل مواد شیمیایی و ويفرهای سيلیکونی که عازم اسرائیل هستند، در اين سناریو يا متوقف می‌شوند يا مجبور به تغيير مسیر به دور آفریقا (با افزایش زمان حمل تا ۳۰ روز) می‌گردند.

- **باب‌المندب:** اين تنگه در جنوب دریای سرخ، مسیر اصلی کشتی‌هایی است که از آسيا و شرق آفریقا به سمت مدیترانه و اسرائیل حرکت می‌کنند. حملات انصارالله یمن به کشتی‌های مرتبط با اسرائیل در سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۲۴ نشان داد که اين مسیر به‌شدت آسیب‌پذير است و بسیاری از خطوط کشتیرانی مجبور به تردد يا تغيير مسیر شدند. اختلال در دریای سرخ يا خليج فارس، اين خطوط را قطع می‌کند.

ترکیب تهديد در تنگه هرمز و باب‌المندب، عملاً اسرائیل را در یک «محاصره دریایی غیررسمی» قرار می‌دهد. حتی اگر حملات مستقیم به کشتی‌ها متوقف شود، افزایش حق بیمه و ناامنی روانی، بسیاری از خطوط کشتیرانی را به سمت مقاصد جایگزین (مانند بنادر اروپایی يا امارات متحده عربي) سوق می‌دهد و اسرائیل را با کمبود مواد اوليه مواجه می‌کند.

۳.۳. چالش تأمین مواد اوليه حیاتی؛ مطالعه موردی هلیوم قطر

در میان تمام مواد اوليه حیاتی، هلیوم (Helium) به دليل کاربردهای منحصربه‌فرد و منبع تأمین حساس خود، یک نقطه آسیب‌پذیری ویژه برای صنعت نیمه‌هادی اسرائیل محسوب می‌شود. هلیوم مایع در چندین مرحله حیاتی تولید نیمه‌هادی استفاده می‌شود:

- **خنک کاری تجهیزات لیتوگرافی:** سیستم‌های EUV و DUV برای دفع گرمای شدید ناشی از فرآیند لیتوگرافی به خنک کاری با هلیوم نیاز دارند.
- **تشخیص نشتی (Leak Detection):** هلیوم به دلیل کوچکترین اندازه مولکولی، برای شناسایی نشتی‌ها در محفظه‌های خلأ خطوط تولید استفاده می‌شود.
- **فرآیندهای آنالیز حرارتی (Thermal Analysis):** در برخی مراحل لایه‌نشانی و اچینگ، هلیوم به‌عنوان گاز حامل یا خنک‌کننده به کار می‌رود.

قطع یک‌ماهه تأمین هلیوم، پیامدهای زیر را برای صنعت نیمه‌هادی اسرائیل به همراه خواهد داشت:

- توقف کامل فرآیندهای لیتوگرافی در کارخانه‌های اینتل و تاور.
- خسارت مستقیم روزانه بالغ بر ده‌ها میلیون دلار (برآوردهای صنعتی حاکی از خسارت ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون دلار در روز برای هر کارخانه بزرگ است).
- اختلال در زنجیره تأمین جهانی: با توجه به نقش اسرائیل در طراحی چیپ‌های خاص، تعطیلی کارخانه‌های اسرائیل می‌تواند بر تولید خودرو، سرورهای هوش مصنوعی و تجهیزات پزشکی در سراسر جهان تأثیر بگذارد.

هلیوم قطر، یکی از آسیب‌پذیرترین حلقه‌های زنجیره تأمین صنعت تراشه اسرائیل است. این وابستگی، یک اهرم فشار بالقوه در اختیار بازیگران منطقه‌ای قرار می‌دهد. تهدید معتبر به اختلال در تأمین هلیوم حتی بدون نیاز به حمله مستقیم به تأسیسات اسرائیل می‌تواند هزینه‌های راهبردی سنگینی را به این صنعت تحمیل کند.

۳.۴. مسئله نیروی انسانی و «فرار مغزها»

چالش چهارم و شاید عمیق‌ترین لایه آسیب‌پذیری صنعت نیمه‌هادی اسرائیل، وابستگی شدید به مهندسان و پژوهشگران نخبه و آسیب‌پذیری این سرمایه‌های انسانی در شرایط جنگ و ناامنی است. صنعت نیمه‌هادی اسرائیل به شدت به مهندسان و پژوهشگران نخبه وابسته است که بسیاری از آنها از طریق خدمت در واحدهای فناورانه نظامی (مانند واحد ۸۲۰۰ و سایر یگان‌های سایبری و فناوری ارتش اسرائیل) تربیت می‌شوند. تداوم جنگ، فراخوان‌های گسترده نیروهای ذخیره و فضای ناامنی می‌تواند منجر به خروج این سرمایه‌های انسانی یا کاهش بهره‌وری آنها شود.

۳.۴.۱. فراخوان نیروهای ذخیره

از اکتبر ۲۰۲۳ و هم‌زمان با آغاز عملیات طوفان الاقصی، اسرائیل گسترده‌ترین فراخوان نیروهای ذخیره در تاریخ خود را تجربه کرده است. برآورد می‌شود حدود ۳۵۰ هزار شهروند به خدمت فراخوانده شده‌اند که سهم قابل توجهی از آنان (در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد) از نیروی کار فعال در شرکت‌های نیمه‌هادی را تشکیل می‌دهند، به‌ویژه مهندسان جوان

و نیروهای متخصص. این وضعیت پیامدهای متعددی به همراه داشته است؛ از جمله اختلال در روند پروژه‌های بلندمدت طراحی تراشه، چرا که توسعه یک تراشه جدید معمولاً بین ۳ تا ۵ سال زمان می‌برد و به تداوم و انسجام تیم‌های مهندسی وابسته است و غیبت چندماهه یا طولانی مدت اعضای کلیدی می‌تواند موجب تأخیرهای جدی یا حتی شکست پروژه شود. همچنین، کاهش نیروی انسانی فعال باعث افزایش فشار کاری بر کارکنان باقی‌مانده شده و سطح استرس و احتمال فرسودگی شغلی را بالا برده است. در کنار این موارد، پروژه‌های نوآورانه نیز به‌ویژه در استارت‌آپ‌های کوچک که معمولاً با تیم‌های محدود ۵ تا ۲۰ نفره فعالیت می‌کنند، بیشترین آسیب را متحمل شده‌اند، به‌گونه‌ای که غیبت تنها یک یا دو نیروی کلیدی می‌تواند عملاً ادامه فعالیت یا پیشبرد پروژه‌ها را با اختلال جدی مواجه کند.

۳.۴.۲. مهاجرت نخبگان

از اکتبر ۲۰۲۳ تا اوایل ۲۰۲۵، برآوردهای معتبر صنعتی نشان می‌دهد که حدود ۸۰۰۰ مهندس و متخصص فناوری از اسرائیل مهاجرت کرده‌اند. [۵] بخش قابل توجهی از این افراد از نیروهای کلیدی در شرکت‌های چندملیتی فعال در این کشور، از جمله اینتل، انویدیا، گوگل و اپل، بوده‌اند. این روند که در ادبیات عمومی از آن به‌عنوان «فرار مغزها» یاد می‌شود، پیامدهای متعددی به همراه دارد. خروج مهندسان ارشد موجب کاهش ظرفیت نوآوری در بلندمدت می‌شود، زیرا دانش ضمنی، تجربه عملی و مهارت‌های انباشته‌ای که این افراد در طول سال‌ها کسب کرده‌اند، به‌سادگی قابل جایگزینی نیست و بازتولید آن مستلزم زمان و سرمایه‌گذاری قابل توجه است. علاوه بر این، شرکت‌ها برای جبران این کمبود ناگزیر به افزایش هزینه‌های جذب نیروی انسانی از خارج یا سرمایه‌گذاری بیشتر در آموزش و تربیت نیروهای تازه‌وارد هستند که این امر فشار مالی و عملیاتی قابل توجهی ایجاد می‌کند. در سطح کلان‌تر نیز مهاجرت نخبگان به‌عنوان یک شاخص از افزایش ریسک و نااطمینانی تلقی شده و می‌تواند سیگنال منفی به سرمایه‌گذاران بین‌المللی ارسال کند؛ موضوعی که در نهایت ممکن است بر ارزیابی آن‌ها از جذابیت و پایداری سرمایه‌گذاری در این کشور اثرگذار باشد.

۳.۴.۳. واکنش شرکت‌های چندملیتی

در چنین شرایطی، شرکت‌های چندملیتی ممکن است به بازنگری در توزیع جغرافیایی فعالیت‌های خود و انتقال بخشی از پروژه‌های حساس به مراکز جایگزین در اروپا یا ایالات متحده روی آورند. تحلیلگران صنعتی بر این نکته تأکید دارند که اگرچه این شرکت‌ها تاکنون تعهد خود را به ادامه فعالیت در اسرائیل حفظ کرده‌اند، اما پایداری این وضعیت در بلندمدت تا حد زیادی به میزان بازگشت ثبات منطقه‌ای وابسته است. در این میان، برخی شواهد نشان می‌دهد که شرکت‌هایی مانند اینتل [۱۴] و انویدیا برنامه‌هایی تحت عنوان «Continuity Plan» تدوین کرده‌اند تا در صورت لزوم، بتوانند برخی از پروژه‌های حیاتی را به مراکز خود در ایرلند (در مورد اینتل) و ایالات متحده (در مورد انویدیا) منتقل کنند. در مقابل، استارت‌آپ‌های کوچک‌تر که از ظرفیت مالی و عملیاتی کافی برای اجرای چنین جابه‌جایی‌هایی برخوردار

نیستند، با ریسک‌های جدی‌تری مواجه‌اند و در برخی موارد ممکن است با تعطیلی یا واگذاری اجباری با ارزش‌گذاری پایین روبه‌رو شوند. در این چارچوب، سرمایه انسانی به‌عنوان مهم‌ترین و در عین حال کمیاب‌ترین دارایی این صنعت مطرح می‌شود؛ دارایی‌ای که برخلاف تجهیزات و زیرساخت‌ها، به‌سادگی قابل جایگزینی نیست و بازسازی آن مستلزم صرف زمان طولانی و سرمایه‌گذاری مستمر در آموزش و تجربه‌اندوزی است. تداوم نااطمینانی و فضای بی‌ثباتی، این سرمایه حیاتی را در معرض تهدید قرار می‌دهد و در صورت استمرار، می‌تواند در بلندمدت به تضعیف بنیان‌های توسعه در این حوزه و کاهش تاب‌آوری ساختاری آن منجر شود.

۳.۵. تهدید فیزیکی؛ تمرکز جغرافیایی تأسیسات حساس

برخلاف تصور عموم که صنعت فناوری اسرائیل را «توزیع‌شده» و «پراکنده» می‌پندارند، واقعیت میدانی نشان می‌دهد که صنعت نیمه‌هادی اسرائیل بیش از آنکه توزیع شده باشد، متمرکز و قابل هدف‌گیری است. این تمرکز جغرافیایی، یک آسیب‌پذیری فیزیکی جدی ایجاد کرده است:

۳.۵.۱. کارخانه‌های حیاتی در خط مقدم

- **۲۸ Fab اینتل در کریات گات (Kiryat Gat):** این کارخانه در جنوب اسرائیل، در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری نوار غزه و در شعاع موشک‌ها و پهپادهای مقاومت قرار دارد. در درگیری‌های اخیر، این منطقه چندین بار مورد تهدید مستقیم قرار گرفته است.
- **مراکز انویدیا در حیفا و تل‌حای (Tel Hai):** حیفا در شمال اسرائیل، در معرض تهدیدات موشکی حزب‌الله قرار دارد. مرکز تل‌حای حتی حساس‌تر است: این مرکز در مجاورت مرز لبنان (در شمال شرقی اسرائیل) واقع شده و عملاً در خط مقدم جبهه شمال قرار دارد.
- **کارخانه‌های Tower در میگدال هائمک (Migdal HaEmek):** این تأسیسات در دره جلیل (شمال اسرائیل) واقع شده و مانند حیفا، در معرض تهدیدات جبهه شمال است.
- **مرکز Mobileye در اورشلیم:** اگرچه اورشلیم از جنوب و شمال امنیت نسبی بیشتری دارد، اما در صورت گسترش دامنه درگیری، این تأسیسات نیز در معرض تهدید قرار خواهد گرفت.

۳.۵.۲. آسیب‌پذیری در برابر حملات ترکیبی

تمرکز جغرافیایی صنعت نیمه‌هادی اسرائیل، آن را در برابر حملات ترکیبی (موشکی، پهپادی و سایبری) آسیب‌پذیر ساخته است:

- حملات موشکی دقیق: موشک‌های بالستیک و کروز با دقت بالا می‌توانند تأسیسات حساس را هدف قرار دهند.

- پهپادهای انتحاری: پهپادهای کوچک و کم‌رادار می‌توانند با نفوذ به لایه‌های پدافندی، خسارت‌های محدود اما راهبردی (مانند انفجار در یک نقطه حساس خط تولید) ایجاد کنند.

- حملات سایبری: اختلال در سیستم‌های کنترل صنعتی (SCADA) کارخانه‌ها، می‌تواند بدون نیاز به تخریب فیزیکی، خط تولید را برای هفته‌ها متوقف کند.

تمرکز جغرافیایی تأسیسات حساس نیمه‌هادی اسرائیل، یک فرصت راهبردی برای بازدارندگی ترکیبی فراهم می‌آورد. تهدید معتبر به هدف‌گیری این تأسیسات - چه از طریق حملات مستقیم، چه از طریق مختل‌سازی زنجیره تأمین و چه از طریق جنگ سایبری - می‌تواند هزینه‌های سنگینی را به اقتصاد و امنیت اسرائیل تحمیل کرده و معادلات بازدارندگی را به نفع جبهه مقاومت تغییر دهد.

قابلیت بهره‌برداری توسط رقبا	شدت تأثیر در بحران	ماهیت	لایه آسیب‌پذیری
متوسط (نیازمند اقدام بین‌المللی)	بسیار بالا	ساختاری	وابستگی به زنجیره تأمین جهانی
بالا (قابل تهدید توسط بازیگران منطقه‌ای)	بسیار بالا	ژئوپلیتیکی	آسیب‌پذیری لجستیکی (هوایی و دریایی)
بسیار بالا (اهرم فشار مستقیم)	بحرانی	ژئوپلیتیکی و ساختاری	تأمین مواد اولیه حیاتی (هلیوم قطر)
پایین (نیازمند زمان طولانی)	بالا	انسانی-اجتماعی	فرار مغزها و کاهش نیروی کار متخصص
بسیار بالا (قابل هدف‌گیری مستقیم)	بسیار بالا	فیزیکی-امنیتی	تمرکز جغرافیایی تأسیسات حساس

۴. همکاری‌های بین‌المللی و اتحاد راهبردی با آمریکا (پیمان Pax Silica)

نفوذ و موفقیت صنعت نیمه‌هادی اسرائیل را نمی‌توان جدا از اتحاد راهبردی آن با ایالات متحده تحلیل کرد. این همکاری فراتر از مناسبات تجاری، به یک مشارکت امنیتی- فناورانه عمیق تبدیل شده است. در ژانویه ۲۰۲۶، آمریکا و اسرائیل سند راهبردی جامعی را با عنوان «چارچوب همکاری برای رهبری در فناوری‌های حیاتی و نوظهور» امضا کردند. این توافق، نقطه عطفی در همکاری دو کشور محسوب می‌شود. این توافق، چارچوبی برای همکاری در

زمينه‌های نیمه‌رساناها، هوش مصنوعی، فضای مجازی و فناوری‌های فضایی ایجاد کرده و اسرائیل را به‌عنوان یک «گره حیاتی» در معماری فناورانه غرب تثبیت می‌کند. محورهای اصلی توافق شامل:

- **نیمه‌رساناها:** ایجاد کریدور زنجیره تأمین امن برای طراحی و تولید تراشه‌های پیشرفته با تمرکز بر کاهش وابستگی به شرق آسیا (به‌ویژه تایوان و چین). اسرائیل به‌عنوان «هاب طراحی و تحقیق و توسعه» این کریدور تعریف شده است.
- **هوش مصنوعی (AI):** همکاری در توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای کاربردهای دفاعی و امنیتی، از جمله سامانه‌های خودران، جنگ سایبری و تحلیل داده‌های اطلاعاتی.
- **فضا و فناوری‌های کوانتومی:** سرمایه‌گذاری مشترک در پروژه‌های فضایی و رایانش کوانتومی.
- **امنیت سایبری:** یکپارچه‌سازی سامانه‌های دفاع سایبری دو کشور با هدف مقابله با تهدیدات مشترک (با اشاره صریح به ایران و چین).
- **انتقال فناوری:** آمریکا متعهد شده است که برخی از فناوری‌های کلیدی محصورشده در قانون CHIPS را با اسرائیل به اشتراک بگذارد. [۱۵]

این پیمان عملاً به معنای الحاق نظامی - فناورانه اسرائیل به پنتاگون است. اسرائیل به «هسته سخت تحقیقاتی» غرب در حوزه جنگ‌های سایبری و خودکار تبدیل می‌شود. از سوی دیگر، این وابستگی اسرائیل را به «گلوگاه» امنیتی غرب تبدیل می‌کند؛ بدین معنا که یک ضربه موفق به زیرساخت‌های نیمه‌هادی اسرائیل، می‌تواند کل اکوسیستم فناوری آمریکا را لرزاند و هزینه‌های سیاسی سنگینی را به واشنگتن تحمیل کند.

۵. جمع‌بندی: قدرت، تمرکز و آسیب‌پذیری در صنعت نیمه‌هادی اسرائیل

صنعت نیمه‌هادی در اسرائیل، با وجود تصویر رایج از پراکندگی و انعطاف‌پذیری بالا، در واقع بر بستری از تمرکزهای ساختاری و جغرافیایی شکل گرفته که آن را به‌طور همزمان به یک دارایی راهبردی و یک نقطه آسیب‌پذیر جدی تبدیل کرده است. این صنعت که در لایه طراحی، نوآوری و توسعه فناوری‌های پیشرفته جایگاهی برجسته در زنجیره ارزش جهانی دارد، به‌شدت به شبکه‌ای از وابستگی‌های بیرونی و تمرکزهای درونی متکی است؛ ترکیبی که در شرایط عادی کارآمدی بالایی ایجاد می‌کند، اما در شرایط بحران می‌تواند به‌سرعت به یک گلوگاه راهبردی بدل شود.

نخستین و بنیادی‌ترین آسیب‌پذیری، وابستگی عمیق به زنجیره تأمین جهانی است. اسرائیل برخلاف نقش برجسته خود در طراحی تراشه و فناوری‌های پیشرفته، در حوزه تولید انبوه و تجهیزات کلیدی مانند لیتوگرافی، وابسته به چند کشور محدود است. این تمرکز جهانی به این معناست که هرگونه اختلال در این حلقه‌ها چه ناشی از تنش‌های

ژئوپلیتیکی، محدودیت‌های صادراتی یا بحران‌های صنعتی می‌تواند به‌طور مستقیم توان عملیاتی این اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد. در نتیجه، بخشی از کنترل بر حیاتی‌ترین لایه‌های این صنعت عملاً خارج از اختیار این بازیگر قرار دارد.

در کنار این وابستگی، آسیب‌پذیری لجستیکی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. جریان مداوم تجهیزات، مواد و نیروی انسانی متخصص به مسیرهای حمل‌ونقل بین‌المللی وابسته است و هرگونه اختلال در این مسیرها می‌تواند چرخه تولید و نوآوری را مختل کند. با توجه به ماهیت دقیق و زمان‌محور صنعت نیمه‌هادی، حتی وقفه‌های کوتاه نیز می‌توانند به تأخیرهای گسترده و هزینه‌های بالا منجر شوند.

با این حال، مهم‌ترین لایه آسیب‌پذیری را باید در جغرافیای متمرکز این صنعت جست‌وجو کرد؛ واقعیتی که برخلاف تصور عمومی از پراکندگی صنعت فناوری اسرائیل، نشان‌دهنده تمرکز خطرناک زیرساخت‌ها در نقاطی محدود و قابل هدف‌گیری است. کارخانه ۲۸ Fab اینتل در کربات گات در فاصله‌ای حدود ۲۰ کیلومتری نوار غزه قرار دارد و در برد مستقیم موشک‌ها و پهپادهاست. مراکز انویدیا در حیفا و به‌ویژه تل‌حای در مجاورت مرز لبنان عملاً در خط مقدم جبهه شمالی قرار گرفته‌اند. تأسیسات شرکت تاور در میگدال هائکمک در دره جلیل نیز در معرض تهدیدات مستقیم همین جبهه قرار دارند و حتی مرکز Mobileye در اورشلیم نیز در صورت گسترش دامنه درگیری از خطر مصون نخواهد بود. این تمرکز جغرافیایی، به‌جای ایجاد عمق راهبردی، نوعی «تمرکز ریسک» ایجاد کرده که امکان هدف‌گیری همزمان چند گره حیاتی را فراهم می‌سازد.

ماهیت تهدیدات نیز چندلایه و ترکیبی است. حملات موشکی دقیق می‌توانند زیرساخت‌های حساس را هدف قرار دهند؛ پهپادهای کوچک و کم‌سطح راداری قادرند با عبور از لایه‌های پدافندی، خسارت‌هایی محدود اما راهبردی مانند اختلال در یک بخش کلیدی خط تولید ایجاد کنند؛ و در سطحی دیگر، حملات سایبری به سامانه‌های کنترل صنعتی (SCADA) می‌توانند بدون تخریب فیزیکی، خطوط تولید را برای هفته‌ها یا حتی بیشتر متوقف سازند. در صنعتی که به دقت، پیوستگی و هماهنگی بالا وابسته است، چنین اختلالاتی می‌توانند اثراتی فراتر از خسارات فیزیکی مستقیم داشته باشند.

تمرکز زیرساختی همچنین با تمرکز کارکردی ترکیب شده است. بسیاری از این تأسیسات نه‌تنها در سطح ملی، بلکه در زنجیره تأمین جهانی نقش ایفا می‌کنند. شرکت‌هایی مانند اینتل، انویدیا، تاور و موبایل‌آی صرفاً بازیگران داخلی نیستند، بلکه گره‌هایی حیاتی در شبکه جهانی فناوری محسوب می‌شوند. از این رو، هرگونه اختلال در فعالیت آن‌ها، به‌سرعت به شرکت‌های مادر، بازارهای جهانی و صنایع وابسته سرایت خواهد کرد. این ویژگی، اگرچه در شرایط عادی به معنای نفوذ و اهمیت بالاتر است، اما در شرایط بحران، دامنه اثرگذاری آسیب را به‌مراتب گسترده‌تر می‌کند.

در سطح انسانی نیز این صنعت با ریسک‌های قابل توجهی مواجه است. وابستگی شدید به نیروی انسانی متخصص و پدیده مهاجرت نخبگان، می‌تواند در شرایط بی‌ثباتی به تضعیف ظرفیت نوآوری منجر شود. همچنین حضور پررنگ شرکت‌های چندملیتی، با وجود مزایای فراوان، نوعی وابستگی راهبردی ایجاد کرده که تصمیمات آن‌ها متأثر از ملاحظات سیاسی و اقتصادی جهانی می‌تواند مسیر این صنعت را تغییر دهد.

مجموع این عوامل نشان می‌دهد که صنعت نیمه‌هادی در اسرائیل نمونه‌ای بارز از هم‌زمانی قدرت و آسیب‌پذیری است. این صنعت از یک سو امکان ایجاد برتری فناورانه و نفوذ در زنجیره‌های جهانی را فراهم می‌کند و از سوی دیگر، به دلیل تمرکز جغرافیایی، وابستگی ساختاری و پیوند عمیق با شبکه‌های بین‌المللی، در برابر طیفی از تهدیدات بسیار حساس است. به بیان دیگر، همان عواملی که این صنعت را به یک «سلاح راهبردی» تبدیل کرده‌اند، آن را به یک نقطه فشار بالقوه نیز بدل ساخته‌اند.

در افق آینده، با تشدید رقابت‌های ژئوپلیتیکی و افزایش وابستگی جهان به نیمه‌هادی‌ها، این آسیب‌پذیری‌ها اهمیت بیشتری خواهند یافت. تداوم نقش راهبردی این صنعت، نه صرفاً به توسعه فناوری، بلکه به میزان موفقیت در مدیریت این ریسک‌ها وابسته خواهد بود؛ در غیر این صورت، تمرکز و وابستگی، می‌تواند در شرایط بحران به عاملی تعیین‌کننده در تضعیف این مزیت تبدیل شوند.

منابع

- [۱] <https://finder.startupnationcentral.org/reports/israel-semiconductor-landscape-۲۰۲۰>
- [۲] <https://www.runtime.news/silicon-valley-is-heavily-invested-in-israels-chip-talent/>
- [۳] <https://anysilicon.com/israeli-semiconductor-companies/>
- [۴] <https://www.isra-tech.net/the-israeli-semiconductor-industry/>
- [۵] <https://innovationisrael.org.il/israeli-chip-industry/>
- [۶] <https://www.israeldefense.co.il/en/node/۶۶۷۳۴>
- [۷] <https://innovationisrael.org.il/en/report/the-state-of-high-tech-۲۰۲۰/>
- [۸] <https://anysilicon.com/israeli-semiconductor-companies/>
- [۹] https://finder.startupnationcentral.org/mnc_page/intel
- [۱۰] <https://www.calalstech.com/ctechnews/article/skbchhti\ \x>
- [۱۱] https://finder.startupnationcentral.org/company_page/semiconductor-devices
- [۱۲] <https://www.albemarle.com/global/en/what-we-offer/reliable-supply/bromine-resources-processing>
- [۱۳] <https://www.cnbc.com/۲۰۲۲/۰۳/۲۳/inside-asml-the-company-advanced-chipmakers-use-for-euv-lithography.html>
- [۱۴] <https://www.intel.com/content/www/us/en/policy/policy-business-continuity-practices.html>
- [۱۵] <https://www.state.gov/pax-silica>
- [۱۶] <https://www.reuters.com/article/technology/intels-۱۰-billion-purchase-of-mobileye-shakes-up-driverless-car-sector-idUSKBN۱۶K۰Z۴/>
- [۱۷] <https://www.novami.com/investors/press-releases/nova-reports-record-fourth-quarter-and-full-year-۲۰۲۴-results/>
- [۱۸] <https://ir.kla.com/news-events/press-releases/detail/۰۹/kla-completes-acquisition-of-orbotech-ltd>
- [۱۹] <https://www.appliedmaterials.com/us/en/about.html>