منشور سیمرغ

برنامه‌عملیاتی‌بازسازی‌ملی‌برای‌ایران‌آزاد

بخش چهارم: آزادسازی دیجیتال و زیرساخت‌های محاسباتی

ارتباطات و پردازش

این بخش شامل شش فصل است که حوزه‌های آزادی اینترنت، مخابرات، رایانش ابری و هوش مصنوعی، آمادگی کوانتومی، امنیت سایبری و فناوری فضایی را پوشش می‌دهد.
مجموع سرمایه‌گذاری: ۲۴ تا ۵۰ میلیارد دلار طی ۱۵ سال.

فوریه 2026

برای توزیع راهبردی بین: ایرانیان خارج از کشور، سرمایه‌گذاران جهانی، سیاست‌گذاران، شرکای منطقه‌ای

فهرست

فصل ۱۲: برچیدن «پرده آهنین دیجیتال» 4
۱۲.۱ معماری کنترل 4
۱۲.۲ اقدامات روز اول 4
۱۲.۳ گذار از زیرساخت‌های کنترلی به زیرساخت‌های خدماتی 5
فصل 13: نوسازی مخابرات 6
۱۳.۱ استقرار شبکه 5G: ۱۵ تا ۲۵ میلیارد دلار در یک دهه 6
ستون‌فقرات فیبر نوری ملی 6
۱۳.۳ تنوع‌بخشی به کابل‌های زیردریایی 6
۱۳.۴ تصمیم‌گیری در مورد تأمین‌کنندگان: پیامدهای ژئوپلیتیک 6
فصل ۱۴: زیرساخت ابری، مراکز داده و توان محاسباتی هوش مصنوعی 8
۱۴.۱ مرکز هوش مصنوعی میرزاخانی 8
۱۴.۲ شکاف هوش مصنوعی در زبان فارسی 8
۱۴.۳ یکپارچه‌سازی انرژی و پردازش 9
استراتژی مشارکت با ارائه‌دهندگان بزرگ (اصلی) 9
فصل ۱۵: آمادگی برای رایانش کوانتومی 10
۱۵.۱ قابلیت‌های موجود 10
۱۵.۲ پنج کشور، پنج مسیر 10
۱۵.۳ وضعیت اضطراری رمزنگاری پساکوانتومی 10
۱۵.۴ کاربردهای اولویت‌دار برای ایران 11
فصل ۱۶: امنیت سایبری و حاکمیت دیجیتال 11
۱۶.۱ مدل اسرائیلی: از اطلاعات نظامی تا ۱۱ میلیارد دلار صادرات 11
۱۶.۲ استونی و سنگاپور: دو مدل مکمل 12
۱۶.۳ آنچه ایران باید محافظت کند و هزینه آن 12
۱۶.۴ چالش نیروی کار 12
معادل سایبر-اسپارک 12
فصل ۱۷: فضا و سنجش از دور 14
۱۷.۱ قابلیت‌های فعلی 14
۱۷.۲ چهار کشور، چهار استراتژی 15
۱۷.۳ سنجش از دور زمین: کاربرد اضطراری 15
۱۷.۴ پایگاه فضایی چابهار و عادی‌سازی کاربری دوگانه 15
بخش چهارم: چارچوب یکپارچه سرمایه‌گذاری دیجیتال 15
منطق هم‌افزایی 16

بخش چهارم: نمای کلی

بحران دیجیتال در ایران صرفاً یک شکاف توسعه‌ای نیست؛ بلکه یک معماری مهندسی‌شده برای کنترل است. «شبکه ملی اطلاعات» نه برای خدمت‌رسانی بلکه برای نظارت و سرکوب طراحی شده است. قطع اینترنت که ساعتی 15.4 میلیون دلار ضرر اقتصادی به همراه دارد، ابزاری برای سرکوب سیاسی است، نه یک نقص فنی در زیرساخت‌ها. پژوهشگران ایرانی از دسترسی به سرویس‌های حیاتی مانند AWS (آمازون)، گوگل کلاود، Azure (مایکروسافت) و OpenAI محروم هستند و در وضعیتی شبیه به «آپارتاید دیجیتال» جدا از اقتصاد دانش‌بنیان جهانی فعالیت می‌کنند. پوشش شبکه 5G در کشور تنها به 8.2 درصد از جمعیت می‌رسد و ظرفیت مراکز داده در مقایسه با استانداردهای جهانی، ناچیز و غیرقابل‌ذکر است.

شش فصل در ادامه چنین بیان می‌شود. فصل ۱۲: برچیدن «پرده آهنین دیجیتال» در روز اول؛ لغو کامل فیلترینگ و پایان دادن به سیاست قطع اینترنت به عنوان اولین گام برای بازگشت به جامعه جهانی. فصل ۱۳: نوسازی مخابرات؛ استقرار گسترده شبکه 5G، توسعه فیبر نوری و اتصال مجدد به کابل‌های زیردریایی بین‌المللی برای افزایش پهنای باند. فصل ۱۴: زیرساخت ابری و ظرفیت محاسباتی هوش مصنوعی؛ ساخت مراکز داده عظیم و تأمین توان پردازشی مورد نیاز برای یک اقتصاد دانش‌بنیان رقابتی. فصل ۱۵: آمادگی برای رایانش کوانتومی؛ قرار دادن ایران در مسیر فناوری‌های کوانتومی برای تضمین امنیت و قدرت محاسباتی در دهه‌های آینده. فصل ۱۶: امنیت سایبری از پایه؛ بازسازی ساختار امنیت دیجیتال با تمرکز بر حفاظت از زیرساخت‌های حیاتی و حریم خصوصی شهروندان (به جای نظارت بر آن‌ها). فصل ۱۷: توسعه فناوری فضایی و سنجش از دور؛ بهره‌گیری از ماهواره‌ها برای مدیریت دقیق کشاورزی، پایش منابع آب و تقویت بنیه دفاعی مدرن.

مجموع سرمایه‌گذاری در هر شش فصل این بخش، طی یک بازه ۱۵ ساله تقریباً ۲۴ تا ۵۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود که بزرگ‌ترین جزء آن مربوط به توسعه زیرساخت‌های مخابراتی (۱۵ تا ۲۵ میلیارد دلار) است. انتظار می‌رود بازدهی ترکیبی حاصل از بهره‌وری اقتصادی، صادرات، کاهش کلاهبرداری (شفافیت دیجیتال) و ارزش‌های ایجاد شده، تا سال پانزدهم به بیش از ۵ تا ۱۰ میلیارد دلار در سال برسد. زیرساخت دیجیتالی که در اینجا ترسیم شده، خودِ هدف نیست؛ بلکه سیستم عصبی است که تمامی بخش‌های دیگر این استراتژی جامع از طریق آن عمل می‌کنند.

فصل ۱۲: برچیدن «پرده آهنین دیجیتال»

این فصل مربوط به «روز اول» است. نه سال اول، بلکه دقیقاً روز اول. اقدام برای بازگشایی اینترنت ایران به‌طور کامل، بدون قید و شرط و برای همیشه بارزترین سیگنالی است که یک دولت گذار می‌تواند ارسال کند تا نشان دهد نظم قدیمی به پایان رسیده است. این کار تقریباً هیچ هزینه‌ای ندارد، اما همه چیز را تغییر می‌دهد.

۱۲.۱ معماری کنترل

«شبکه ملی اطلاعات» از یک معماری چندلایه به نام «سانسور در عمق» بهره می‌برد که بسیار پیچیده‌تر از تصور عمومی است. تحقیقات فنی حداقل پنج لایه اصلی را در این سیستم شناسایی کرده‌اند: مسموم‌سازی دی‌ان‌اس (DNS Poisoning): هدایت خودکار درخواست‌های کاربران به صفحات مسدودسازی دولتی. بازرسی عمیق بسته‌ها (یک روش پیشرفته تحلیل ترافیک شبکه): بررسی دقیق هدرهای HTTP و فیلدهای SNI در پروتکل TLS برای شناسایی محتوا. لیست سفید پروتکل‌ها: سیاستی که از حدود سال ۲۰۲۰ اجرا شد و تنها به ترافیک DNS، HTTP و HTTPS اجازه عبور می‌دهد، در حالی که تمامی پروتکل‌های VPN را به‌صورت بی‌صدا مسدود می‌کند. محدودسازی پهنای باند: کاهش عمدی سرعت اینترنت در دوره‌های حساس سیاسی و اجتماعی. خروج از مسیرهای BGP (پروتکلی است که ترافیک را در اینترنت هدایت می‌کند): قطع کامل دسترسی بین‌المللی از طریق حذف مسیرهای مسیریابی جهانی. تمامی این فرآیندهای فیلترینگ در نقاط گلوگاهی متمرکز که توسط «شرکت ارتباطات زیرساخت» مدیریت می‌شوند، اتفاق می‌افتد و نه در سطح «ارائه‌دهنده خدمات اینترنت» محلی. این تمرکز، سیستم را در عین قدرتمند بودن بسیار شکننده کرده است؛ چرا که با تغییر در یک نقطه مرکزی کل ساختار سانسور فرو می‌ریزد.

هزینه‌های اقتصادی این اقدامات تکان‌دهنده است. نت‌بلاکس (NetBlocks) هزینه قطعی اینترنت در آبان ۱۳۹۸ را 15.4 میلیون دلار در هر ساعت (معادل 369.5 میلیون دلار در روز) برآورد کرد. رئیس سابق اتاق بازرگانی ایران، کل هزینه آن قطع یک‌هفته‌ای در سال ۱۳۹۸ را 1.5 میلیارد دلار اعلام نمود. همچنین قطعی‌های مربوط به اعتراضات سال ۱۴۰۱ (مهسا امینی) طی ۱۷ ماه مسدودسازی جزئی، هزینه‌ای در حدود 1.6 میلیارد دلار به بار آورد. اما شدیدترین مورد در تاریخ، قطعی ژانویه ۲۰۲۶ (دی‌ماه ۱۴۰۴) بود که روزانه ۳۷ تا ۶۰ میلیون دلار خسارت برجای گذاشت و تنها در دو هفته اول، خسارات تجمعی آن از ۷۰۰ تا ۸۴۰ میلیون دلار فراتر رفت.

۱۲.۲ اقدامات روز اول

یک دولت گذار باید اقدامات زیر را در ۲۴ تا ۴۸ ساعت نخست اجرایی کند:

- صدور فرمان اجرایی برای توقف فیلترینگ: ابلاغ دستور فوری به شرکت ارتباطات زیرساخت برای غیرفعال‌سازی تمامی سیستم‌های فیلترینگ محتوا، سامانه‌های بازرسی عمیق بسته‌ها (DPI) و لیست‌های سفید پروتکل‌ها. همان تمرکزی که «شبکه ملی اطلاعات» را به ابزاری کارآمد برای سانسور تبدیل کرده بود، اکنون برچیدن آن را آسان می‌کند؛ یک دستور واحد به TIC کافی است تا لایه فیلترینگ به‌طور کامل حذف شود.
- بازگرداندن کامل مسیریابیBGP: برقراری مجدد پیوند کامل با تمامی تأمین‌کنندگان ترانزیت بین‌المللی و اتصال دوباره ایران به اینترنت جهانی با حداکثر پهنای باند موجود.
- قانونی‌سازی استارلینک و خدمات اینترنت ماهواره‌ای: آزادسازی فوری فعالیت استارلینک و سایر خدمات مشابه. علی‌رغم مجازات‌هایی تا ۱۰ سال حبس، تخمین زده می‌شود ۵۰,۰۰۰ ترمینال استارلینک به ایران قاچاق شده باشد. هم‌اکنون اسپیس‌ایکس با بیش از ۹,۴۲۲ ماهواره، به بیش از ۱۰ میلیون مشترک در ۱۵۰ کشور خدمات می‌دهد. هزینه ترمینال به ۳۴۹ دلار کاهش یافته و سرویس ۱۲۰ دلاری آن، سرعتی بین ۱۲۰ تا ۲۲۰ مگابیت بر ثانیه ارائه می‌دهد. قانونی‌سازی این سرویس، دسترسی به پهنای باند پهن را در مناطق روستایی که زیرساخت زمینی ندارند، فوراً فراهم می‌کند.
- رفع مسدودیت از خدمات ابری و پلتفرم‌های آموزشی: آزادسازی فوری دسترسی بهAWS ، گوگل کلاود، Azure، OpenAI، گیت‌هاب(GitHub) ، اسلک (Slack) و کورسرا (که از سال ۲۰۱۴ مسدود است). تمامی پلتفرم‌های بین‌المللی همکاری و آموزشی باید بلافاصله در دسترس قرار گیرند.

- اعلام صیانت قانون اساسی از آزادی اینترنت: ثبت «آزادی اینترنت» به عنوان یک حق بنیادین در قانون اساسی، تا تضمین شود هیچ دولتی در آینده نتواند مجدداً «پرده آهنین دیجیتال» را برقرار کند.

> باز کردن اینترنت هیچ هزینه‌ای ندارد. در حالی که بسته نگه داشتن آن ساعتی 15.4 میلیون دلار ضرر به همراه دارد. این یک تصمیم اقتصادی نیست، بلکه یک تصمیم سیاسی است و باید در همان روز اول اجرا شود.

۱۲.۳ گذار از زیرساخت‌های کنترلی به زیرساخت‌های خدماتی

زیرساخت‌های فیزیکی شبکه ملی اطلاعات شامل ستون فقرات فیبر نوری، تجهیزات مسیریابی و مراکز داده، تخریب نمی‌شوند بلکه تغییر کاربری می‌یابند. همان فیبری که ترافیک فیلتر شده را حمل می‌کرد، اکنون ترافیک آزاد را انتقال می‌دهد. شرکت ارتباطات زیرساخت به یک «اپراتور عمومی تحت نظارت» تبدیل شده و خدمات زیرساختی را تحت یک چارچوب مجوزدهی شفاف به شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات اینترنت ارائه می‌دهد. پایگاه‌های داده نظارتی نظیر هدا، شاهکار و سیام، یا برچیده می‌شوند و یا با رعایت قوانین سختگیرانه حفاظت از داده‌ها و حقوق دسترسی شهروندان (مدل استونی: شهروندان می‌بینند چه کسی سوابق آن‌ها را مشاهده کرده است) به نظارت نهادهای مدنی منتقل می‌گردند.

ادغام ماهواره‌ای، لایه دوم تاب‌آوری را فراهم می‌کند. منظومه‌های ماهواره‌ای مدار پایین (LEO) نظیر استارلینک، وان‌وب و آمازون کوییپر، پهنای باند فوری را برای مناطق روستایی و محروم که استقرار فیبر نوری در آن‌ها سال‌ها به طول می‌انجامد، تأمین می‌کنند. این امر به‌ویژه برای استان‌های مرزی و حاشیه‌ای همچون سیستان و بلوچستان، کردستان و خوزستان حیاتی است؛ جایی که «چارچوب برابری» (فصل ۶) ایجاب می‌کند اتصال به شبکه نه یک کالای لوکس بلکه یک «حق» تلقی شود.

فصل 13: نوسازی مخابرات

پایه مخابراتی ایران پیشرفته‌تر از آن چیزی است که غالباً تصور می‌شود: ۱۵۹ میلیون اتصال تلفن همراه (1.7 خط به ازای هر نفر) 81.7 درصد ضریب نفوذ اینترنت (۷۳ میلیون کاربر) و تقریباً ۹۰ تا ۹۴ درصد پوشش جمعیتی شبکه 4G. با این حال، پوشش شبکه 5G تنها به 8.2 درصد از جمعیت (با فقط ۱,۲۰۰ ایستگاه پایه) می‌رسد و ضریب نفوذ پهنای باند ثابت در حدود ۸ درصد باقی مانده است. دو اپراتور همراه اول (MCI) با ۶۶ درصد سهم بازار و ایرانسل (MTN Irancell) با ۱۰ درصد بر بازار مسلط هستند. بازار مخابرات سالانه تقریباً 4.4 میلیارد دلار درآمد ایجاد می‌کند.

۱۳.۱ استقرار شبکه 5G: ۱۵ تا ۲۵ میلیارد دلار در یک دهه

هزینه‌های راه‌اندازی بین‌المللی شاخص‌های روشنی ارائه می‌دهند. کره جنوبی برای تبدیل شدن به اولین کشور با پوشش سراسری 5G در سال ۲۰۱۹ بیش از ۲۴ میلیارد دلار هزینه کرد و به آمار ۵۹۳ ایستگاه پایه به ازای هر ۱۰۰,۰۰۰ نفر دست یافت. هند با سرمایه‌گذاری بیش از ۳۰ میلیارد دلار (شرکت ریلاینس‌جیو به تنهایی ۲۵ میلیارد دلار متعهد شد) ظرف سه سال به بیش از ۴۰۰ میلیون کاربر 5G و ۸۵ درصد پوشش جمعیتی رسید. با در نظر گرفتن هزینه ۱۶۵ تا ۲۷۵ دلار به ازای هر نفر استقرار سراسری شبکه 5G در ایران طی یک دهه تقریباً ۱۵ تا ۲۵ میلیارد دلار هزینه خواهد داشت.

ستون‌فقرات فیبر نوری ملی

پروژه «تلاش» در ایران حدود ۳۰٬۰۰۰ کیلومتر فیبر نوری با هزینه تقریبی ۳۳۳ میلیون دلار اجرا کرده است و یک زیرساخت اولیه قابل اتکا برای توسعه بیشتر فراهم می‌کند.

کشور	برنامه	مقیاس	هزینه
هند	BharatNet	۲۶۴,۰۰۰ روستا؛ ۶۹۲,۲۹۹ کیلومتر فیبر	16.5 میلیارد دلار (تصویب شده)
رواندا	شبکه مادر ملی	بیش از ۴,۰۰۰ کیلومتر؛ ۹۷٪ پوشش 4G	حدود ۱۳۰ میلیون دلار
عربستان سعودی	هاب دیجیتال STC	توسعه ملی	بیش از ۱ میلیارد دلار (فقط شرکت STC)
ایران (تخمینی)	شبکه مادر کامل + آخرین مایل	1.65 میلیون کیلومتر مربع؛ ۹۲ میلیون نفر	۱۰ تا ۱۵ میلیارد دلار

۱۳.۳ تنوع‌بخشی به کابل‌های زیردریایی

ایران در حال حاضر از طریق سیستم‌های FLAG FALCON (خلیج فارس، هند، شرق آفریقا)، EPEG (مسیر شمالی از طریق آذربایجان به اروپا)، GBICS/MENA (کویت به بمبئی) و GBI (کشورهای حوزه خلیج فارس) متصل است. آسیب‌پذیری اصلی تمرکز جغرافیایی در خلیج فارس است. ایجاد دو تا سه سیستم کابل منطقه‌ای جدید برای پشتیبانی شامل مسیرهای شمالی اضافی و یک مسیر مستقیم فرعی به هند بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار هزینه خواهد داشت.

۱۳.۴ تصمیم‌گیری در مورد تأمین‌کنندگان: پیامدهای ژئوپلیتیک

پس از خروج اریکسون به دلیل تحریم‌ها (کاهش درآمد این شرکت در ایران از ۹۳ میلیون دلار به ۱۱ میلیون دلار در یک سال)، شرکت هواوی بر زیرساخت‌های فعلی ایران مسلط شده است. در سناریوی پس از تحریم، سه گزینه راهبردی پدیدار می‌شود:

- همسویی با غرب (اریکسون/نوکیا/سامسونگ): سیگنالی از جهت‌گیری ژئوپلیتیک است، مشارکت‌های تکنولوژیک همسو با ناتو را باز می‌کند و معماری شبکه باز (OpenRAN) را فعال می‌سازد. هزینه اولیه بالاتر اما دسترسی استراتژیک گسترده‌تری دارد.
- تداوم وابستگی به چین (هواوی/ZTE): هزینه کمتر و استقرار سریع‌تر با بهره‌گیری از زیرساخت‌های موجود. ریسک وابستگی تکنولوژیک طولانی‌مدت را به همراه دارد و سرمایه‌گذاری غربی و ترتیبات اشتراک‌گذاری اطلاعاتی را محدود می‌کند.
- استراتژی تاب‌آوری با چند تأمین‌کننده (توصیه‌شده): رویکرد پیشنهادی؛ استفاده از تأمین‌کنندگان مختلف برای بخش‌های مختلف شبکه — اریکسون/نوکیا برای شبکه هسته (Core) و 5G شهری، سامسونگ برای OpenRAN در استقرار روستایی، و تداوم همکاری با هواوی برای بخش‌های غیرحساس «آخرین مایل[1]» (Last-Mile). این مدل باعث تنوع فناوری، رقابت قیمتی و پوشش ریسک (Hedging) ژئوپلیتیک می‌شود.

> تصمیم‌گیری در مورد تأمین‌کننده، مسئله مربوط به خرید و تدارکات نیست؛ بلکه یک بیانیه ژئوپلیتیک درباره جایگاهی است که ایران قصد دارد در نظم فناورانه قرن بیست و یکم برای خود انتخاب کند.

[1] به بخش نهایی شبکه گفته می‌شود که سرویس (مانند اینترنت) را به مکان نهایی کاربر می‌رساند.

فصل ۱۴: زیرساخت ابری، مراکز داده و توان محاسباتی هوش مصنوعی

پژوهشـــگران ایرانی امروزه نمی‌توانند به AWS (ســـرویس‌های وب آمازون - پلتفرم جامع رایانش ابری)، Google Cloud (زیرســـاخت ابری گوگل)، Azure (ســـرویس ابری مایکروســـافت) یا OpenAI APIs (رابط‌های برنامه‌نویســـی مدل‌های هوش مصـــنوعی) دســـترســـی داشـــته باشـــند. جایگزین‌های ابری داخلی از نظر ســـخت‌افزارهایی مانند GPU (واحد پردازش گرافیکی - تراشه‌های حیاتی برای محاسبات سنگین) و TPU (واحد پردازش تنسور - شتاب‌دهنده‌های اختصاصی برای یادگیری ماشین) چندین نسل عقب‌تر و ۴۰۰ درصد گران‌تر هستند؛ امری که آموزش هوش مصنوعیِ رقابتی را در داخل مرزهای فعلی غیرممکن می‌سازد. ظرفیت مراکز داده ایران بســیار ناچیز اســت: ۵ تا ۲۰ مرکز بدون هیچ مرکز تأیید شـده با گواهی Tier 3 or 4 (اسـتاندارد جهانی رتبه‌بندی دیتاســنتر از نظر پایداری و امنیت که رتبه ۴ بالاترین ســطح آن اســت). کل ظرفیت زیر ۵۰ مگاوات (MW) تخمین زده می‌شود که با استانداردهای جهانی عملاً ناچیز محسوب می‌شود.

۱۴.۱ مرکز هوش مصنوعی میرزاخانی

این مرکز ملی تحقیقات هوش مصنوعی پیشنهادی که به نام زنده‌یاد مریم میرزاخانی (ریاضی‌دان ایرانی‌تبار که نخستین زن و نخستین ایرانی برنده مدال Fields [فیلدز - معتبرترین جایزه ریاضـی جهان] شـد) نام‌گذاری شـده اسـت، سـتون فقرات زیرسـاخت پردازشـی (Compute Infrastructure) ایران را تشکیل خواهد داد. نمونه‌های بین‌المللی با هزینه‌های مشخص:

کشور	مرکز / برنامه	سرمایه‌گذاری
عربستان سعودی	HUMAIN: ۱۱ مرکز داده، هر کدام ۲۰۰ مگاوات (MW)	۱۰۰ میلیارد دلار متعهد شده
امارات متحده عربی	MGX (همکاری G42 و Mubadala)	هدف‌گذاری ۱۰۰ میلیارد دلار دارایی هوش مصنوعی (AI)
هند	مأموریت IndiaAI	1.25 میلیارد دلار تأیید شده
بریتانیا	Isambard-AI: تعداد ۵,۴۴۸ تراشه GH200 (انویدیا گریس هاپر)، ۲۱ اگزافلاپس (Exaflops - واحد سنجش قدرت پردازش)	۳۰۰ تا ۳۵۰ میلیون پوند
ژاپن	ابررایانه Fugaku	1.2 میلیارد دلار
سنگاپور	پردازش ملی هوش مصنوعی (AI compute) تا سال ۲۰۲۹	۱ میلیارد دلار سنگاپور (۷۵۰ میلیون دلار)

یک خوشـه متشـکل از ۱۰,۰۰۰ پردازنده گرافیکی NVIDIA H100 GPU (واحد پردازش گرافیکی پیشـرفته انویدیا) بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلیون دلار هزینه خواهد داشـت [هر GPU بین ۲۵,۰۰۰ تا ۴۰,۰۰۰ دلار، به‌اضـافه هزینه‌های شـبکه، برق و سـیسـتم‌های خنک‌کننده]. هزینه آموزش مدلی در سـطح GPT-4 (مدل زبانی بزرگ شـرکت OpenAI) به‌تنهایی ۶۳ تا ۱۰۰+ میلیون دلار در بخش پردازش هزینه می‌برد. با این حال، «تطبیق دقیق» (Fine-tuning) مدل‌های متن‌باز موجود برای زبان فارسی بسیار ارزان‌تر است: ۵ تا ۳۰ میلیون دلار برای یک مدل ۷۰ میلیارد پارامتری (B-parameter70) با کیفیت بالا و بهینه‌سازی شده برای فارسی یا ۲۰ تا ۵۰ میلیون دلار برای یک مدل زبانی بزرگ حاکمیتی بلندپروازانه‌تر که با مدل Jais (جایس) امارات متحده عربی قابل مقایسه باشد.

۱۴.۲ شکاف هوش مصنوعی در زبان فارسی

زبان فارســـی در حوزه هوش مصـــنوعی در دســـته «کم‌منبع» طبقه‌بندی می‌شـــود: تنها 2.1 درصـــد از شـــاخص مرجع SuperNaturalInstructions (دســـتورالعمل‌های فوق‌طبیعی - پایگاه داده وظایف NLP) و ۱ درصـــد از مجموعه داده Aya Dataset (دیتاست چندزبانه گوگل) به زبان فارسی است. مدل‌های موجود مانند ParsBERT (مدل پردازش زبان فارسی بر پایه

برت) و FarsInstruct (مجموعه داده آموزشی فارسی) نقاط شروع مفیدی هستند، اما از قابلیت‌های مدل‌های لبه تکنولوژی بسیار عقب‌ترند. این برنامه عملیاتی، بودجه‌ای معادل ۵۰ تا ۲۰۰ میلیون دلار را برای یک برنامه جامع هوش مصنوعی فارسی شامل گردآوری داده، آموزش مدل، شاخص‌های ارزیابی و زیرساخت‌های استقرار در نظر گرفته است.

۱۴.۳ یکپارچه‌سازی انرژی و پردازش

جغرافیای ایران مزیتی طبیعی برای خنک‌سازی مراکز داده فراهم می‌کند. اراضی فلات مرتفع (با ارتفاع ۱,۰۰۰ تا ۲,۰۰۰ متر) در ترکیب با قیمت برق زیر 0.05 دلار به ازای هر کیلووات ساعت (kWh) مبانی رقابتی قدرتمندی ایجاد می‌کند. سیستم‌های خنک‌کننده در سطح جهانی ۴۰ درصد از کل انرژی مراکز داده را مصرف می‌کنند؛ هر ۱ درجه سانتی‌گراد (1°C) کاهش در دمای محیط، انرژی مورد نیاز برای خنک‌سازی را ۲ تا ۴ درصد کاهش می‌دهد. ساخت یک پردیس عظیم با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات (MW) با نرخ‌های جهانی فعلی ۹۰۰ میلیون تا 1.5 میلیارد دلار هزینه دارد.

مجموع سرمایه‌گذاری در بخش مراکز داده و پردازش هوش مصنوعی: ۵ تا ۱۵ میلیارد دلار طی ۱۵ سال. این بازه قیمتی منعکس‌کننده دو رویکرد است: ساخت ظرفیت پردازشی حاکمیتی در مقیاس وسیع (سقف بودجه) یا مشارکت با ارائه‌دهندگان بین‌المللی مقیاس‌پذیر که مراکز را تحت الزامات حاکمیت داده ایران می‌سازند و اداره می‌کنند (کف بودجه).

استراتژی مشارکت با ارائه‌دهندگان بزرگ (اصلی)

در دوران پس از تحریم، شرکت‌های آمازون (Amazon)، گوگل (Google)، مایکروسافت (Microsoft) و اوراکل (Oracle) برای سهم داشتن در بازار ایران رقابت خواهند کرد. مسئله استراتژیک، دعوت یا عدم دعوت از آن‌ها نیست، بلکه چگونگی ساختاردهی به مشارکت‌هایی است که موارد زیر را تضمین کنند:

حاکمیت داده: باقی ماندن داده‌های ایرانی در داخل خاک ایران.
انتقال فناوری: ساخت و مدیریت تأسیسات توسط مهندسان ایرانی؛ با الگوبرداری از مدل کاوشگر «امید» (Hope Probe) امارات متحده عربی.
ظرفیت‌سازی محلی: الزامات آموزشی اجباری و استخدام نیروهای بومی.
مذاکرات امارات با گوگل و AWS (سرویس‌های وب آمازون) الگوی مناسبی است: ایجاد زیرساخت‌های کلاس جهانی مطابق با استانداردهای بین‌المللی که تحت نظارت نهادهای رگولاتوری محلی و با مفاد صریح انتقال دانش اداره می‌شوند.

فصل ۱۵: آمادگی برای رایانش کوانتومی

پایگاه تحقیقات کوانتومی ایران پیشرفته‌تر از آن چیزی است که شهرت بین‌المللی آن نشان می‌دهد. این کشور در سال ۲۰۲۳ رتبه ۱۶ جهانی را در انتشارات فناوری کوانتومی کسب کرد که نسبت به رتبه ۲۳ در سال ۲۰۱۴ ارتقا یافته است؛ همچنین ایران جایگاه نخست را در میان کشورهای اسلامی در تمامی زیرشاخه‌های کوانتوم داراست. در حوزه‌های خاص، ایران رتبه ۸ جهانی در سنجش از دور کوانتومی (Quantum Remote Sensing)، رتبه ۱۲ در ساعت‌های کوانتومی (Quantum Clocks) و رتبه ۱۴ در تصویربرداری کوانتومی (Quantum Imaging) را در اختیار دارد. استراتژی این نیست که با گوگل (Google) یا آی‌بی‌ام (IBM) بر سر تعداد کیوبیت‌ها (Qubit counts) رقابت شود؛ بلکه هدف ایجاد خط لوله پیش از نیاز به آن است — با تمرکز بر کاربردهایی که بیشترین ارتباط را با اقتصاد ایران دارند.

۱۵.۱ قابلیت‌های موجود

دانشگاه صنعتی شریف میزبان «مرکز تحقیقات مهندسی کوانتوم و فناوری‌های فوتونیک» (تأسیس ۱۳۹۵) است. دانشگاه علم و صنعت ایران «آزمایشگاه کوانترونیک» را اداره می‌کند. «مرکز علوم و فناوری کوانتومی اصفهان» حوزه‌های ارتباطات کوانتومی، رایانش، سنجش و رمزنگاری را پوشش می‌دهد. «پژوهشگاه دانش‌های بنیادی» که بر اساس شاخص نیچر (Nature Index) رتبه نخست را در ایران دارد، تحقیقات بنیادی در زمینه اطلاعات کوانتومی انجام می‌دهد. ایران نقشه‌راه ملی فناوری کوانتومی را تدوین کرده که در انتظار تصویب مجلس است.

ضعف حیاتی، فرار مغزهاست. دکتر پدرام روشان که به دلیل بهایی بودن از ورود به دانشگاه در ایران محروم شد، اکنون عضو تیم برتری کوانتومی (Quantum Supremacy) گوگل است — تنها یک نمونه از بسیار دانشمندان ایرانی‌تبار که برنامه‌های کوانتومی جهانی را رهبری می‌کنند. سرمایه‌گذاری تخمینی فعلی کمتر از ۱۰ میلیون دلار در سال است — تقریباً یک‌هفتادم آنچه سنگاپور به‌طور تجمعی سرمایه‌گذاری کرده است.

۱۵.۲ پنج کشور، پنج مسیر

کشور	سرمایه‌گذاری	ساختار	نتیجه کلیدی	ارتباط با ایران
هند	۷۳۵ میلیون دلار / ۸ سال	۴ قطب موضوعی در مؤسسات برتر	هدف‌گذاری ۵۰ تا ۱,۰۰۰ کیوبیت (Qubits)	مناسب‌ترین مدل: مقیاس و جامطلبی مشابه
سنگاپور	۵۱۵ میلیون دلار تجمعی	مرکز واحد (CQT) + استراتژی ملی	بیش از ۲,۰۰۰ مقاله؛ ماهواره مکعبی SpooQy-1	اثبات می‌کند سرمایه‌گذاری متمرکز در مقیاس کوچک جواب می‌دهد
کره جنوبی	2.3 میلیارد دلار اعلام شده	قانون کوانتوم ۲۰۲۴؛ بیش از ۱۰۰ شرکت	هدف‌گذاری نیروی کار ۱۰,۰۰۰ نفری	مدل چارچوب قانون‌گذاری
عربستان سعودی	۶.۴ میلیارد دلار در فناوری‌های آینده	ریخته‌گری کوانتومی KAUST؛ همکاری آرامکو و Pasqal	کاربردهای کوانتومی در نفت و گاز	مورد پژوهشی استفاده کوانتومی در پتروشیمی
ترکیه	حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میلیون دلار	محوریت دفاعی (ASELSAN)	کامپیوتر ۵ کیوبیتی	مدل تبدیل (کاربری) دفاعی

۱۵.۳ وضعیت اضطراری رمزنگاری پساکوانتومی

این مبرم‌ترین اقدام مرتبط با کوانتوم است. مؤسسه ملی استاندارد و فناوری آمریکا (NIST) اولین سه استاندارد رمزنگاری پساکوانتومی خود را در اوت ۲۰۲۴ منتشر کرد. تهدید «اکنون برداشت کن، بعداً رمزگشایی کن» (Harvest now, decrypt

later) همین امروز فعال است: مهاجمان در حال جمع‌آوری ارتباطات رمزگذاری‌شده برای رمزگشایی در آینده توسط کامپیوترهای کوانتومی هستند.

هر سیستمی که از زیرساخت‌های حیاتی محافظت می‌کند — شبکه‌های SCADA (سامانه سرپرستی و گردآوری داده) در بخش نفت و گاز، تراکنش‌های بانکی، ارتباطات دیپلماتیک و سیستم‌های نظامی — نیازمند ارزیابی و برنامه‌ریزی برای مهاجرت به استانداردهای جدید است. ایالات متحده پذیرش فدرال PQC را تا سال ۲۰۳۵ اجباری کرده است؛ ایران نمی‌تواند اجازه دهد یک دهه عقب بماند. استانداردهای PQC رایگان و در دسترس هستند؛ اجرای آن‌ها نیازمند مهندسی نرم‌افزار است، نه سخت‌افزار کوانتومی.

۱۵.۴ کاربردهای اولویت‌دار برای ایران

- حسگرهای کوانتومی برای اکتشاف نفت و گاز: ایران دارای چهارمین ذخایر بزرگ اثبات‌شده نفت و دومین ذخایر بزرگ گاز طبیعی در جهان است. گرانش‌سنج‌ها و مغناطیس‌سنج‌های کوانتومی، ذخایر زیرسطحی را با دقتی بسیار بالاتر از حسگرهای کلاسیک شناسایی می‌کنند. شرکت‌های BP و ExxonMobil برای تحلیل زمین‌شناسی زیرسطحی به شبکه IBM Q(شبکه پردازش کوانتومی آی‌بی‌ام) پیوسته‌اند.
- شیمی کوانتومی برای پتروشیمی: صنعت پتروشیمی ایران (دومین صنعت بزرگ در خاورمیانه با درآمد ۲۴ میلیارد دلار) می‌تواند از شبیه‌سازی کوانتومی (Quantum simulation) برای طراحی کاتالیزورها و مواد پیشرفته‌تر استفاده کند.
- ارتباطات امن کوانتومی: توزیع کلید کوانتومی (QKD) مبتنی بر ماهواره، که با برنامه فضایی (فصل ۱۷) هماهنگ شده است، رمزنگاری در تئوری غیرقابل‌نفوذی را برای ارتباطات دولتی و مالی فراهم می‌کند.
- مجموع سرمایه‌گذاری کوانتومی: ۴۵۰ تا ۷۵۰ میلیون دلار طی ۱۵ سال — کمتر از مأموریت ۸ ساله هند، اما متناسب با تولید ناخالص داخلی و نقطه شروع ایران. هدف: سهم ۵۰۰ میلیون دلاری سالانه فناوری کوانتوم در تولید ناخالص داخلی تا سال پانزدهم.

فصل ۱۶: امنیت سایبری و حاکمیت دیجیتال

ایران همزمان یکی از فعال‌ترین و یکی از هدف‌گذاری‌شده‌ترین کشورها در فضای سایبری است. این کشور دارای توانمندی‌های تهاجمی سایبری قابل‌توجهی است، در حالی که زیرساخت‌های غیرنظامی آن عمیقاً آسیب‌پذیر باقی مانده‌اند. چالش گذار دیجیتال دوگانه است: محافظت از زیرساخت‌های تازه و همزمان تبدیل توانمندی‌های تهاجمی به اهداف دفاعی و تجاری. این موضوع بی‌سابقه نیست؛ صنعت امنیت سایبری اسرائیل دقیقاً بر پایه همین تبدیل (توان تهاجمی به تجاری) بنا شده است.

۱۶.۱ مدل اسرائیلی: از اطلاعات نظامی تا ۱۱ میلیارد دلار صادرات

بخش امنیت سایبری اسرائیل تا سال ۲۰۲۱ حدود ۱۱ میلیارد دلار صادرات ایجاد کرد و در سال ۲۰۲۴ موفق به جذب ۴ میلیارد دلار سرمایه خطرپذیر شد که ۳۸ درصد از کل تأمین مالی فناوری اسرائیل را تشکیل می‌دهد. زیربنای این بخش «واحد ۸۲۰۰» (Unit 8200) است؛ بزرگ‌ترین واحد ارتش اسرائیل با تقریباً ۵,۰۰۰ سرباز فعال که مسئولیت اطلاعات سیگنالی (Signals intelligence) و جنگ سایبری را بر عهده دارد. ۸۰ درصد از بنیان‌گذاران شرکت‌های امنیت سایبری اسرائیل سابقه حضور در بخش اطلاعات ارتش را داشته‌اند. فارغ‌التحصیلان این واحد شرکت‌های Check Point (اولین فایروال تجاری، ۱۹۹۳، با ارزش بازار فعلی حدود ۱۶ میلیارد دلار)، CyberArk (حدود ۱۵ میلیارد دلار) و بنیان‌گذاران Palo Alto Networks (حدود ۱۳۰ میلیارد دلار) را تأسیس کردند. شرکت Wiz که در سال ۲۰۲۰ تأسیس شد در سال ۲۰۲۵ توسط گوگل به مبلغ تقریبی ۳۲ میلیارد دلار خریداری شد.

مجموعه CyberSpark در شهر «بئر شبع»، توانمندی نظامی را به نوآوری تجاری تبدیل می‌کند. این سرمایه‌گذاری مشترکِ دفتر ملی سایبری، شهرداری بئر شبع و دانشگاه بن‌گوریون، میزبان شرکت‌های IBM، Oracle، Deutsche Telekom، Lockheed Martin و ده‌ها استارتاپ در یک پارک فناوری با ۱۵ ساختمان است. مرکز ملی پاسخگویی به فوریت‌های سایبری (CERT) نیز در همین پارک مستقر است. ارتش حدود ۳۰,۰۰۰ سرباز بخش تکنولوژی را به پایگاه‌های مجاور منتقل کرده است. خط زمانی این توسعه: پی‌ریزی اطلاعات نظامی در دهه‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، تأسیس چک‌پوینت در ۱۹۹۳، تدوین استراتژی رسمی

سایبری در ۲۰۱۱، عملیاتی شدن CyberSpark در ۲۰۱۷ و رسیدن به ۱۱ میلیارد دلار صادرات تا سال ۲۰۲۱. بیست سال فاصله از سیاست‌گذاری آگاهانه تا سلطه جهانی.

۱۶.۲ استونی و سنگاپور: دو مدل مکمل

در آوریل و مه ۲۰۰۷، عوامل مرتبط با روسیه به مدت ۲۲ روز حملات DDoS (حمله منع سرویس توزیع‌شده - اشباع پهنای باند برای از کار انداختن سرور) گسترده‌ای را علیه نهادهای استونی آغاز کردند. پاسخ به این بحران تحول‌آفرین بود: استونی در سال ۲۰۰۸ «مرکز تعالی دفاع سایبری تعاونی ناتو» (CCDCOE) را در تالین تأسیس کرد که اکنون میزبان ۳۹ کشور عضو است و رزمایش Locked Shields (بزرگ‌ترین تمرین دفاع سایبری زنده جهان) را برگزار می‌کند.

آژانس امنیت سایبری سنگاپور (CSA)، که در سال ۲۰۱۵ مستقیماً زیر نظر دفتر نخست‌وزیری تأسیس شد، نمونه‌ای از ظرفیت‌سازی متمرکز را نشان می‌دهد. این آژانس از زیرساخت‌های اطلاعاتی حیاتی در حوزه‌های انرژی، آب، بانکداری، مراقبت‌های بهداشتی و حمل‌ونقل محافظت می‌کند. سنگاپور ۵۰ میلیون دلار سنگاپور در یک برنامه ۳ ساله «استعداد، نوآوری و رشد سایبری» سرمایه‌گذاری کرد. قانون امنیت سایبری ۲۰۱۸ نیز یک چارچوب قانونی جامع برای این حوزه فراهم آورده است.

۱۶.۳ آنچه ایران باید محافظت کند و هزینه آن

زیرساخت حیاتی	نیاز امنیتی	هزینه تخمینی
نفت و گاز (چهارمین ذخایر بزرگ)	امنیت جامع SCADA (سامانه سرپرستی و گردآوری داده) / ICS (سیستم‌های کنترل صنعتی)	۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیون دلار
شبکه برق (بیش از ۸۵ میلیون نفر)	محافظت از سیستم‌های کنترل شبکه	۵۰ تا ۱۵۰ میلیون دلار
سیستم‌های مالی	امنیت تراکنش‌ها؛ پیشگیری از کلاهبرداری	۳۰ تا ۸۰ میلیون دلار
زیرساخت‌های آب	محافظت SCADA برای سدها و تأسیسات شیرین‌سازی	۲۰ تا ۵۰ میلیون دلار
مخابرات	یکپارچگی شبکه؛ دفاع در برابر حملات DDoS (منع سرویس توزیع‌شده)	۲۰ تا ۵۰ میلیون دلار

در سطح جهانی، ۵۵ درصد از محیط‌های SCADA / PLC (کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر) با امنیت محدود یا قدیمی کار می‌کنند و میانگین هزینه هر نقض امنیتی در سیستم‌های کنترل صنعتی (ICS) 5.9 میلیون دلار به ازای هر حادثه همراه با ۲۳ روز اختلال عملیاتی است.

۱۶.۴ چالش نیروی کار

ایالات متحده به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت حدود ۳,۷۰۰ متخصص امنیت سایبری را به خدمت می‌گیرد؛ این رقم در اسرائیل و بریتانیا فراتر از ۲,۰۰۰ تا ۴,۰۰۰ نفر در هر میلیون است. برای جمعیت ۸۵ میلیونی ایران، حداقل هدف ۵۰۰ نفر در هر میلیون نفر، به معنای نیاز به ۴۲,۵۰۰ متخصص است که هدف‌گذاری آرمانی آن ۸۵,۰۰۰ نفر خواهد بود. در حال حاضر، این تعداد احتمالاً در حد چند هزار نفر است.

استراتژی «تبدیل»، مزیت پنهان ایران است. توانمندی‌های سایبری که برای عملیات‌های تهاجمی توسعه یافته‌اند، می‌توانند به سمت استفاده‌های دفاعی و تجاری هدایت شوند. یک برنامه خدمات اجباری ۲ ساله امنیت سایبری برای فارغ‌التحصیلان برتر علوم کامپیوتر — نسخه‌ی ایرانی «واحد ۸۲۰۰» (Unit 8200) — سالانه ۵۰۰ مدافع آموزش‌دیده تولید خواهد کرد. با ترکیب برنامه‌های دانشگاهی (رشته‌های امنیت سایبری در ۱۰ دانشگاه)، بوت‌کمپ‌های فشرده (بوت‌کمپ ۵,۰۰۰ نفر در سال) و خروجی نظامی (۲,۰۰۰ نفر در سال)، نیروی کار می‌تواند ظرف ۵ سال به ۲۰,۰۰۰ تا ۳۰,۰۰۰ نفر افزایش یابد.

معادل سایبر-اسپارک

ایجاد یک قطب تحقیق و توسعه اختصاصی امنیت سایبری در اصفهان یا شیراز — با ترکیب تحقیقات دانشگاهی، مرکز ماهر (National CERT - مرکز مدیریت امداد و هماهنگی عملیات رخدادهای رایانه‌ای)، مراکز رشد استارتاپی (Startup incubators) و شرکای فناوری بین‌المللی. اگر ایران تا سال ۲۰۳۰ تنها ۳ درصد از بازار پیش‌بینی‌شده ۲۶ میلیارد دلاری امنیت سایبری خاورمیانه را از آن خود کند، این به معنای ۷۸۰ میلیون دلار درآمد سالانه خواهد بود. مجموع سرمایه‌گذاری در امنیت سایبری: ۷۰۰ میلیون تا 1.15 میلیارد دلار طی ۱۵ سال. بازگشت سرمایه سالانه بالقوه تا سال دهم: ۵۰۰ میلیون تا ۲ میلیارد دلار حاصل از صادرات، به‌علاوه جلوگیری از خسارات احتمالی.

فصل ۱۷: فضا و سنجش از دور

ایران نهمین کشوری است که به‌طور مستقل ماهواره‌ای را در مدار قرار داده است، اما توانمندی‌های آن بسیار پایین‌تر از پتانسیل موجود باقی مانده است. این برنامه میان «سازمان فضایی ایران» در بخش غیرنظامی و «نیروی هوافضای سپاه پاسداران» که یک برنامه نظامی موازی را از شاهرود اداره می‌کند، تقسیم شده است. این موازی‌کاری باعث اتلاف منابع شده، اما در عین حال محرک نوآوری‌های رقابتی نیز بوده است.

۱۷.۱ قابلیت‌های فعلی

ایران چهار ماهواره‌بر فعال را در اختیار دارد: **سیمرغ:** قابلیت حمل ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم به مدار پایینی زمین - این ماهواره‌بر اولین موفقیت مداری خود را در ژانویه ۲۰۲۴ به دست آورد و سپس در دسامبر ۲۰۲۴ با پرتاب ۳۰۰ کیلوگرم محموله (شامل یک یدک‌کش فضایی) رکورد ملی جدیدی ثبت کرد. **قاصد (سپاه):** (۵۰ تا ۶۰ کیلوگرم به ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری)؛ با سه موفقیت پیاپی در پرتاب سری ماهواره‌های نظامی **نور** کارنامه موفقی دارد. **قائم-100:** راکت تمام‌سوخت جامد که در ژانویه ۲۰۲۴ ماهواره **ثریا** را در ارتفاع ۷۵۰ کیلومتری (بالاترین مدار ایران) قرار داد.

در بخش ماهواره‌ها: **خیام :**ساخت روسیه (۲۰۲۲، حدود ۶۰۰ کیلوگرم، رزولوشن ۱ متر، هزینه حدود ۴۰ میلیون دلار) همچنان توانمندترین ماهواره تصویربرداری ایران است. **پایا/طلوع-۳ :**ساخت داخل (دسامبر ۲۰۲۵، ۱۵۰ کیلوگرم، رزولوشن ۵ متر) سنگین‌ترین ماهواره بومی سنجش از دور ایران محسوب می‌شود. **جام جم ۱) :**۲۰۲۵ (اولین ماهواره پخش تلویزیونی ایران در مدار زمین‌آهنگ است که از پایگاه بایکونور پرتاب شد. **بخش خصوصی:** با پرتاب **کوثر-1.5** یک مکعب‌ماهواره یا CubeSat برای اینترنت اشیا و تصویربرداری کشاورزی هوشمند) وارد این عرصه شده است.

بودجه روایتگر بی‌توجهی است: تخصیص بودجه سازمان فضایی ایران در سال ۲۰۱۷ (دوره روحانی) به تنها 4.6 میلیون دلار کاهش یافت و برنامه فضایی عملاً از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ به حالت تعلیق درآمد. این رقم را با بودجه سالانه 1.55 میلیارد دلاری سازمان فضایی هند سرمایه‌گذاری تجمعی 5.5 میلیارد دلاری امارات یا بودجه 1.7 میلیارد دلاری کره جنوبی (صرفاً برای راکت Nuri) مقایسه کنید.

۱۷.۲ چهار کشور، چهار استراتژی

کشور	استراتژی	دستاورد کلیدی	درس برای ایران
هند (ISRO)	مهندسی مقتصدانه؛ خدمات تجاری	مدارگرد مریخ با ۷۴ میلیون دلار؛ پرتاب ۴۳۴ ماهواره خارجی؛ ۳۳۵ میلیون دلار درآمد تجاری	مدل مقرون‌به‌صرفه؛ خودکفایی ناشی از تحریم‌ها
امارات متحده عربی	مشارکت‌های انتقال دانش	کاوشگر مریخ «امید» (۲۰۰ میلیون دلار) در عرض ۶ سال بدون پیشینه قبلی	مشارکت‌های دانشگاهی با الزام ساخت در داخل
ترکیه	تولید داخلی	ماهواره سنجش از دور İMECE با رزولوشن زیر یک متر؛ ماهواره زمین‌آهنگ TÜRKSAT 6A	تولید ماهواره بدون داشتن توانمندی پرتاب مستقل
کره جنوبی	توسعه پرتابگرهای سنگین	Nuri: حمل ۱,۵۰۰ کیلوگرم به مدار LEO پس از 1.7 میلیارد دلار سرمایه‌گذاری طی ۱۲ سال	سرمایه‌گذاری طولانی‌مدت روی راکت به ثمر می‌رسد

۱۷.۳ سنجش از دور زمین: کاربرد اضطراری

ایران با بدترین خشکسالی ثبت‌شده در تاریخ خود مواجه است. ذخیره سد امیرکبیر تهران در دسامبر ۲۰۲۵ تنها ۸ درصد بود. پایش آب مبتنی بر ماهواره یک خواسته برای آینده نیست، بلکه یک نیاز اضطراری در زمان حال است. یک منظومه ماهواره‌ای ملی اختصاصی برای سنجش از دور زمین که سطوح مخازن سدها، فرونشست آب‌های زیرزمینی، تنش آبی محصولات کشاورزی و خطر سیل را پایش کند، می‌تواند میلیاردها دلار در بهره‌وری مدیریت آب و جلوگیری از خسارات کشاورزی صرفه‌جویی کند.

انقلاب ماهواره‌های کوچک محاسبات را تغییر داده است. یک مکعب‌ماهواره (CubeSat) پایه را می‌توان با ۱۰۰,۰۰۰ تا ۵۰۰,۰۰۰ دلار ساخت. شرکت Planet Labs بیش از ۲۰۰ ماهواره (مکعب‌ماهواره‌های ۵ کیلوگرمی Dove با رزولوشن ۳ تا ۵ متر) را اداره می‌کند که سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون دلار درآمد دارند. یک منظومه ۲۰ ماهواره‌ای سنجش از دور برای پایش کشاورزی و آب می‌تواند ۱۰ تا ۲۰ میلیون دلار در بخش سخت‌افزار هزینه داشته باشد که کاملاً در دسترس است. اقتصاد جهانی فضا در سال ۲۰۲۴ به ۶۱۳ میلیارد دلار رسید (۷۸ درصد تجاری) و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۲ از ۱ تریلیون دلار فراتر رود.

۱۷.۴ پایگاه فضایی چابهار و عادی‌سازی کاربری دوگانه

پایگاه فضایی چابهار که از سال ۱۴۰۲ (۲۰۲۳) در حال ساخت است [هدف: بهره‌برداری کامل تا اسفند ۱۴۰۹/مارس ۲۰۳۱] در مختصات 25.3 درجه شمالی واقع شده و مزایای پرتاب نزدیک به استوا را فراهم خواهد کرد. گذار از یک برنامه فضایی تحت سلطه نظامی به برنامه‌ای غیرنظامی‌محور و با رویکرد تجاری، نیازمند ادغام برنامه‌های سازمان فضایی ایران و سپاه پاسداران زیر نظر یک «مرجع ملی فضایی» واحد با مدیریتی غیرنظامی است که مستقیماً به رئیس‌جمهور پاسخگو باشد. اقدام روز اول: صدور فرمان اجرایی برای تأسیس این مرجع واحد.

مجموع سرمایه‌گذاری فضایی: ۸۰۰ میلیون تا ۱.۵ میلیارد دلار طی ۱۵ سال. برای مقایسه، این رقم نصف هزینه‌ای است که کره جنوبی تنها صرف پروژه Nuri کرد و کمتر از کل سرمایه‌گذاری فضایی امارات است. بازگشت سرمایه: خدمات داده‌های ماهواره‌ای با درآمد سالانه ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار در بخش‌های کشاورزی، شهرسازی و مدیریت بحران در سطح منطقه، به‌علاوه درآمد حاصل از پرتاب‌های تجاری با الگوبرداری از مدل ISRO هند.

بخش چهارم: چارچوب یکپارچه سرمایه‌گذاری دیجیتال

حوزه	مجموع (۱۵ ساله)	سالانه	بازگشت کلیدی	اولویت روز اول
آزادسازی اینترنت (فصل ۱۲)	نزدیک به صفر	—	15.4 میلیون دلار صرفه‌جویی در هر ساعت	غیرفعال‌سازی شبکه ملی اطلاعات (NIN)؛ قانونی‌سازی استارلینک

حوزه	مجموع (۱۵ ساله)	سالانه	بازگشت کلیدی	اولویت روز اول
مخابرات (5G + فیبر) (فصل ۱۳)	۱۵ تا ۲۵ میلیارد دلار	1.5 تا 2.5 میلیارد دلار	پوشش کشوری 5G	استراتژی تأمین از چندین فروشنده
ابری + پردازش هوش مصنوعی (فصل ۱۴)	۵ تا ۱۵ میلیارد دلار	0.5 تا 1.5 میلیارد دلار	هوش مصنوعی حاکمیتی	مشارکت با ارائه‌دهندگان مقیاس‌پذیر
آمادگی کوانتومی (فصل ۱۵)	۴۵۰ تا ۷۵۰ میلیون دلار	۳۰ تا ۵۰ میلیون دلار	۵۰۰ میلیون دلار سهم در GDP سالانه	ممیزی اضطراری رمزنگاری پساکوانتومی (PQC)
امنیت سایبری (فصل ۱۶)	۷۰۰ میلیون تا 1.15 میلیارد دلار	۵۰ تا ۸۰ میلیون دلار	۵۰۰ میلیون تا ۲ میلیارد دلار صادرات	تشکیل مرجع ملی سایبری
فضا + سنجش از دور (فصل ۱۷)	۸۰۰ میلیون تا ۱.۵ میلیارد دلار	۵۵ تا ۱۰۰ میلیون دلار	۲۰۰ تا ۵۰۰ میلیون دلار درآمد سالانه	مرجع واحد فضایی؛ منظومه سنجش از دور زمین (EO)
مجموع	۲۴ تا ۵۰ میلیارد دلار	۲ تا ۵ میلیارد دلار در سال	—	—

منطق هم‌افزایی

این شش بخش، یک سیستم عصبی دیجیتال به‌هم‌پیوسته را تشکیل می‌دهند. امنیت سایبری از همه‌چیز محافظت می‌کند: از تمام ایستگاه‌های زمینی ماهواره‌ای و تراکنش‌های بلاک‌چین گرفته تا پیوندهای ارتباطی کوانتومی و سوابق هویت دیجیتال. فضا لایه سنجش را فراهم می‌کند: داده‌های ماهواره‌ایِ سنجش از دور زمین، خوراک اطلاعاتیِ بخش کشاورزی را تأمین می‌کنند که سپس توسط سیستم‌های یارانه‌ایِ متصل به هویت دیجیتال توزیع می‌شوند. رایانش کوانتومی ضامن بقا در آینده است. رمزنگاری پساکوانتومی تمام سیستم‌های دیجیتال را در برابر تهدیدات نوظهور ایمن می‌سازد. پردازش ابری و هوش مصنوعی به همه امور قدرت می‌بخشند. از مدل‌های زبان فارسی که به ۹۲ میلیون شهروند خدمات می‌دهند تا سیستم‌های یادگیری ماشین که شبکه برق، توزیع آب و خروجی کشاورزی شرح داده شده در بخش سوم را بهینه می‌کنند.

فناوری وجود دارد. مدل‌های بین‌المللی اثبات شـده‌اند. همان‌طور که تمام مطالعات موردی تایید می‌کنند، محدودیت اصلی نهادی است: اراده سیاسی، چارچوب‌های قانونی، ساختارهای حکمرانی، و تصمیم برای ساختن سیستم‌هایی که به جای نظارت بر شهروندان به آن‌ها قدرت می‌بخشند.

پایان بخش چهارم

بخش پنجم: صنایع پیشرفته و زیست‌بوم نوآوری