منشور سیمرغ

برنامه‌عملیاتی‌بازسازی‌ملی‌برای‌ایران‌آزاد

بخش سوم: زیرساخت‌های فیزیکی و امنیت زیست‌محیطی

ایرانِ آزاد با بحران آب، بحران انرژی، و وضعیت اضطراری زیست‌محیطی مواجه خواهد شد.
این مسائل پیش از شکل‌گیری اقتصاد مبتنی بر فناوری (یا همزمان با آن) باید مورد رسیدگی قرار گیرند.

بدون آب، انرژی و هوای پاک اساساً اقتصادی وجود ندارد که بتوان آن را ساخت.

فوریه 2026

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

فهرست

فصل ۷: انرژی خورشیدی و گذار انرژی 5
۷.۱ ظرفیت فعلی و مزیت طبیعی 5
۷.۲ مأموریت ملی خورشیدی هند: مدل عملیاتی 5
۷.۳ چارچوب سرمایه‌گذاری و اهداف 5
استدلال بازتوزیع یارانه‌ها 6
اقدامات روز اول 6
فصل ۸: امنیت آب — شیرین‌سازی، بازیافت، و هم‌بست آب با کشاورزی 7
۸.۱ ابعاد بحران 7
۸.۲ تحول اسرائیل: از صفر تا بیش از ۸۰ درصد تأمین از شیرین‌سازی 7
۸.۳ راهبرد شیرین‌سازی آب در ایران 8
اقدامات روز اول 8
فصل ۹: شبکه برق هوشمند، ذخیره‌سازی انرژی، و هیدروژن سبز 9
۹.1 بحران شبکه برق 9
الگوهای بین‌المللی برای نوسازی شبکه برق 9
مزیت پنهان ایران: نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای 9
الزامات سرمایه‌گذاری در شبکه 9
۹.2 هیدروژن سبز: کالای صادراتی بعدی ایران 10
چشم‌انداز رقابتی 10
اقدامات روز اول 10
فصل ۱۰: کشاورزی دقیق و امنیت غذایی 11
۱۰.۱ الگوی آبیاری قطره‌ای اسرائیل 11
۱۰.۲ قیمت‌گذاری آب: مهم‌ترین سیاست با بیشترین اثربخشی 11
۱۰.۳ تغییر الگوی کشت و کشاورزی هوشمند 11
اهداف سنجش عملکرد 11
مجموع سرمایه‌گذاری: ۳۷ تا ۴۵ میلیارد دلار طی ۱۵ سال 12
فصل ۱۱: بازسازی محیط‌زیستی 13
۱۱.۱ دریاچه ارومیه: نماد بحران 13
علل بحران: انسانی، نه اقلیمی 13
الگوی دریاچه آرال: اثباتی بر امکان‌پذیر بودن احیای نسبی 13
هدف واقع‌بینانه 13
۱۱.۲ جنگل‌کاری در برابر پیشروی بیابان 13
برنامه «کمربند سبز جنگلی» چین 14
برنامه جنگل‌کاری ایران: ۵ تا ۱۰ میلیون هکتار 14
۱۱.۳ هوای پاک: سریع‌ترین بازگشت سرمایه 14
پکن ثابت کرد کاهش ۶۵ درصدی در یک دهه امکان‌پذیر است 14

سرمایه‌گذاری و بازگشت‌سرمایه 14
اقدامات فوری و موثر 15
۱۱.۴ چارچوب یکپارچه سرمایه‌گذاری در زیرساخت و محیط‌زیست 15
نحوه تأمین مالی 15
توالی اقدامات: چه چیزی در اولویت است؟ 16

بخش سوم: نمای کلی

بحران زیرساخت‌های فیزیکی ایران یک شرایط حاشیه‌ای نیست؛ بلکه یک وضعیت اضطراری وجودی در چندین جبهه به‌طور همزمان است. این کشور با قطعی‌های روزانه ۳ تا ۴ ساعته برق، تراز منفی آب که منجر به تخلیه ۲۱۱ کیلومتر مکعب از ذخایر طی ۱۶ سال شده، آلودگی هوایی که سالانه جان ۳۰,۰۰۰ تا ۵۰,۰۰۰ نفر را می‌گیرد، خشک‌شدن تقریباً کامل دریاچه‌ای که زمانی بزرگ‌ترین دریاچه خاورمیانه بود و گسترش بیابان‌زایی در سطح 32.5 میلیون هکتار روبروست. این‌ها مشکلاتی نیستند که پس از ساختن یک اقتصاد فناوری‌محور به آن‌ها پرداخته شود؛ بلکه پیش‌نیازهایی هستند که بدون آن‌ها هیچ اقتصاد فناوری‌محور (یا اصلاً هرگونه اقتصادی) نمی‌تواند فعالیت کند.

پنج فصل در ادامه می‌آیند. فصل ۷ به گذار انرژی از طریق انرژی خورشیدی می‌پردازد—که فوری‌ترین فرصت ایران محسوب می‌شود. فصل ۸ به بحران حیاتی آب می‌پردازد، از طریق شیرین‌سازی آب، بازیافت، و پیوند آن با بخش کشاورزی. فصل ۹ شبکه برق را نوسازی کرده و ایران را برای ورود به اقتصاد صادرات هیدروژن سبز آماده می‌کند. فصل ۱۰ بخش کشاورزی—که ۹۰ درصد آب کشور را مصرف می‌کند اما تنها ۷ تا ۱۲ درصد از تولید ناخالص داخلی را تشکیل می‌دهد—را از طریق آبیاری دقیق و کشاورزی هوشمند متحول می‌سازد. فصل ۱۱ به احیای محیط‌زیست، از جمله دریاچه‌ها، جنگل‌ها، تالاب‌ها و کیفیت هوا می‌پردازد.

این پنج فصل به‌شدت با یکدیگر در هم تنیده‌اند: توان خورشیدی امکان شیرین‌سازی مقرون‌صرفه آب را فراهم می‌کند. شیرین‌سازی آب فشار بر رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را کاهش می‌دهد. کشاورزی دقیق آب را برای احیای تالاب‌ها آزاد می‌کند. مدرن‌سازی شبکه برق امکان ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر را فراهم کرده و سوخت مورد نیاز اقتصاد هیدروژنی را تأمین می‌کند. جنگل‌کاری طوفان‌های گرد و غبار را که به پنل‌های خورشیدی و سلامت انسان آسیب می‌زنند، کاهش می‌دهد. مجموع سرمایه‌گذاری در تمامی این پنج فصل بین ۱۴۷ تا ۲۴۰ میلیارد دلار در طول ۱۵ سال یا به عبارتی ۱۱ تا ۱۸ میلیارد دلار سالانه (معادل 2.5 تا 4.5 درصد از تولید ناخالص داخلی) برآورد می‌شود. این رقمی بلندپروازانه است، اما با تعهدات کشورهایی نظیر هند، عربستان سعودی و چین برابری می‌کند. نکته حیاتی اینجاست که ایران در حال حاضر سالانه ۸۲ میلیارد دلار صرف یارانه‌های انرژی می‌کند و سالانه ۱۲ تا ۲۳ میلیارد دلار به دلیل هزینه‌های سلامت ناشی از آلودگی هوا از دست می‌دهد. سرمایه وجود دارد؛ اما در مکان‌های اشتباه در حال سوختن است.

فصل ۷: انرژی خورشیدی و گذار انرژی

ایران با وجود بهره‌مندی از تابش خورشیدی بین ۱,۸۰۰ تا ۲,۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال — که مستقیماً با عربستان سعودی و امارات متحده عربی قابل مقایسه است — کمتر از ۱ درصد از برق خود را از منابع خورشیدی تولید می‌کند. شبکه برق کشور با کمبودی معادل ۱۴,۰۰۰ تا ۲۶,۰۰۰ مگاوات مواجه است که باعث قطعی‌های روزانه ۳ تا ۴ ساعته در تمامی استان‌ها می‌شود. بیش از ۸۵ درصد برق ایران از گاز طبیعی تأمین می‌گردد و دولت تنها در سال ۲۰۲۳ حدود ۳۰ میلیارد دلار صرف یارانه‌ی برق کرده است. این در حالی است که نیروگاه الظفره در امارات به رکورد جهانی قیمت برق خورشیدی یعنی 13.5 دلار به ازای هر مگاوات ساعت دست یافته که به قیمت برق یارانه‌ای در ایران نزدیک شده است.

۷.۱ ظرفیت فعلی و مزیت طبیعی

ایران تا اواسط سال ۲۰۲۵ حدود ۱,۷۰۰ تا ۲,۵۰۰ مگاوات ظرفیت خورشیدی نصب‌شده داشت و دولت در می ۲۰۲۵ بودجه‌ای 1.5 میلیارد دلاری را برای یک نیروگاه خورشیدی ۷,۰۰۰ مگاواتی تصویب کرد. همچنین مجوزهایی برای بیش از ۲۹,۰۰۰ مگاوات صادر شده است. پیش‌بینی‌های بازار حاکی از نرخ رشد سالانه ترکیبی ۳۸ درصدی است که در صورت حفظ شتاب فعلی، پتانسیل رسیدن به 12.5 گیگاوات تا سال ۲۰۳۰ را دارد.

بهترین سایت‌های خورشیدی ایران با تراز اول‌ترین مکان‌های جهان رقابت می‌کنند: کرمان (5.5 تا 6.2 کیلووات ساعت بر متر مربع در روز)، سیستان و بلوچستان (5.8 تا 6.3) و یزد (5.4 تا 5.9). ایران بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال و پهنه‌های وسیعی از اراضی بیابانی کم‌ارزش دارد که برای احداث پارک‌های خورشیدی در مقیاس نیروگاهی ایده‌آل هستند. منابع طبیعی در سطح جهانی است؛ آنچه شکست خورده، چارچوب نهادی و مدیریتی است.

۷.۲ مأموریت ملی خورشیدی هند: مدل عملیاتی

هند ظرفیت خورشیدی خود را از ۱۶۱ مگاوات در سال ۲۰۱۰ به ۱۲۷ گیگاوات تا سپتامبر ۲۰۲۵ رساند؛ این مورد، مرتبطترین الگوی تاریخی برای ایران است. کلیدهای موفقیت این تجربه عبارت بودند از:

- مزایده‌های معکوس برای کشف قیمت: پارک خورشیدی «بهادلا» در هند از طریق رقابت قیمتی به ۳۰ دلار به ازای هر مگاوات‌ساعت رسید—در حالی‌که این عدد در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۸۰ دلار بود؛ یعنی ۹۰ درصد کاهش هزینه طی ۱۲ سال.
- مدل پارک‌های خورشیدی: دولت زمین را مشخص می‌کند، زیرساخت‌هایی مانند اتصال به شبکه برق و جاده‌ها را فراهم می‌کند و سپس زمین‌های آماده را به توسعه‌دهندگان خصوصی واگذار می‌کند که گلوگاه‌های مربوط به تملک زمین و مجوزها را حذف می‌کند.
- حمایت مالی برای جبران شکاف اقتصادی: دولت در مراحل اولیه، زمانی که انرژی خورشیدی هنوز از نظر هزینه رقابتی نبود، پروژه‌ها را یارانه می‌دهد تا مقیاس بازار ایجاد شود و طی ۵ سال هزینه‌ها از سوخت‌های فسیلی کمتر شود.
- اجازه ۱۰۰ درصدی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی: در مجموع بیش از ۴۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری خصوصی جذب شده است.

مجتمع خورشیدی نور-ورزازات در مراکش (با ظرفیت حدود ۵۸۰ مگاوات انرژی خورشیدی متمرکز) که با تأمین مالی بانک جهانی، بانک توسعه آفریقا و بانک توسعه آلمان اجرا شد، نشان می‌دهد که تأمین مالی از سوی بانک‌های توسعه چندجانبه می‌تواند به‌طور چشمگیری هزینه سرمایه را برای کشورهایی که بازار سرمایه داخلی عمیقی ندارند کاهش دهد.

۷.۳ چارچوب سرمایه‌گذاری و اهداف

دستیابی به ظرفیت ۳۰ گیگاوات تا سال ۲۰۳۵ میلادی، نیازمند سرمایه‌گذاری مجموعاً ۲۵ تا ۳۳ میلیارد دلار (سالانه 2.5 تا 3.3 میلیارد دلار) است که شامل ارتقای شبکه انتقال و سیستم‌های ذخیره‌سازی نیز می‌شود. با توجه به سطوح تابش در ایران، این ۳۰ گیگاوات سالانه ۵۲ تا ۶۰ تراوات ساعت برق تولید خواهد کرد که تقریباً ۱۳ تا ۱۵ درصد از کل تقاضای پیش‌بینی‌شده برق کشور را پوشش می‌دهد. هزینه‌های سرمایه‌ای که بر اساس شاخص‌های جهانی حدود ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلیون دلار به ازای هر گیگاوات برآورد می‌شود، می‌تواند از طریق مشارکت در زنجیره تأمین چین که در حال حاضر نیز برقرار است، بیش از پیش کاهش یابد.

شاخص کلیدی عملکرد (KPI)	۲۰۲۶	۲۰۳۰	۲۰۳۵
ظرفیت خورشیدی تجمیعی (گیگاوات)	۵	۱۹	۳۰
هزینه تراز شده انرژی - LCOE (دلار/مگاوات ساعت)	۶۵–۵۵	۴۰–۳۰	۳۰–۲۰
سهم خورشیدی از کل تولید برق	۲٪	۸٪	۱۵٪–۱۳
اشتغال ایجاد شده (تجمعی)	۳۰٬۰۰۰ نفر	۱۰۰٬۰۰۰ نفر	۲۰۰٬۰۰۰ نفر
کاهش انتشار دی‌اکسید کربن (میلیون تن در سال)	۵	۱۹	۳۳

استدلال بازتوزیع یارانه‌ها

ایران در سال ۲۰۲۳ میلادی ۸۲ میلیارد دلار صرف یارانه‌های انرژی کرده است که ۳۰ میلیارد دلار آن تنها به بخش برق اختصاص داشت. با هزینه تراز شده انرژی (LCOE) بین ۲۰ تا ۳۰ دلار به ازای هر مگاوات ساعت، تولید ۳۰ گیگاوات برق خورشیدی می‌تواند سالانه ۵۲ تا ۶۰ تراوات ساعت انرژی با هزینه‌ای حدود ۱ تا ۲ میلیارد دلار در سال فراهم کند. این حجم از تولید، جایگزین نیروگاه‌های حرارتی می‌شود که سوخت و یارانه‌های آن‌ها سالانه ۳ تا ۵ میلیارد دلار هزینه به کشور تحمیل می‌کند. هدایت تنها ۵ درصد از یارانه‌های فعلی انرژی به سمت سرمایه‌گذاری در بخش خورشیدی، تمام بودجه مورد نیاز برای تحقق اهداف سالانه استقرار این نیروگاه‌ها را به‌طور کامل تأمین می‌کند. بنابراین، محاسبات مالی و بودجه‌ای مانع اصلی نیست؛ بلکه اقتصاد سیاسی اصلاح یارانه‌ها چالش واقعی است.

اقدامات روز اول

- اعلام انرژی خورشیدی به‌عنوان یک اولویت امنیت ملی و تأسیس «سازمان ملی انرژی خورشیدی».
- اعلام قراردادهای خرید تضمینی برق با مدت ۲۰ سال و شاخص‌گذاری‌شده بر اساس ارز برای پروژه‌های مقیاس بزرگ.
- تخصیص بیش از ۵۰۰ کیلومتر مربع از اراضی بیابانی دولتی برای ایجاد پارک‌های خورشیدی در کرمان، یزد و سیستان و بلوچستان که مورد آخر به‌طور هدفمند زیرساخت انرژی را در محروم‌ترین استان کشور قرار می‌دهد.
- تغییر کامل نظام تأمین پروژه‌های بزرگ به مدل مزایده معکوس هند برای کشف قیمت رقابتی.

> ایران بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال، تابش خورشیدی در سطح جهانی، و وسعت عظیمی از زمین‌های بیابانی دارد. مانع توسعه انرژی خورشیدی در ایران هرگز فناوری یا جغرافیا نبوده است؛ مشکل، حکمرانی بوده است.

فصل ۸: امنیت آب — شیرین‌سازی، بازیافت، و هم‌بست آب با کشاورزی

این فصل به فوری‌ترین بحران ایران می‌پردازد. نه انرژی، نه تکنولوژی؛ بلکه آب. هیچ موضوع دیگری در این کتابچه راهنمای عملیاتی چنین ترکیبی از فوریت وجودی، رنج انسانی و پتانسیل شکست فاجعه‌بار را با خود به همراه ندارد. یک دولت گذار که در سال‌های نخست خود در مهار بحران آب شکست بخورد، با جابجایی انبوه جمعیت در داخل کشور، فروپاشی بخش کشاورزی و بی‌ثباتی سیاسی ناشی از هر دو مواجه خواهد شد.

۸.۱ ابعاد بحران

بحران آب ایران شدیدترین بحرانی است که هر کشوری با این اندازه در تاریخ معاصر با آن روبه‌رو شده است. آمار وضعیت اضطراری را به روشنی نشان می‌دهند:

- مصرف سالانه **۹۶ میلیارد متر مکعب (BCM)** از کل منابع آب تجدیدپذیر کشور که حدود ۸۹ است فراتر رفته است؛ این یعنی ایران سالانه با یک کسری ساختاری مواجه است که از ذخایر محدود زیرزمینی جبران می‌شود.
- بیش از ۳۰۰ دشت از ۶۰۹ دشت ایران در وضعیت بحرانی قرار دارند. ایران سالانه ۱۱۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر خود را استخراج می‌کند؛ این کسری بیش از ۹ میلیارد متر مکعبی در سال، در حال تخلیه دائمی ذخایر راهبردی زیرزمینی است.
- سرانه آب تجدیدپذیر از ۵,۸۴۵ متر مکعب در سال ۱۹۶۱ به تخمین ۵۰۰ تا ۸۵۰ متر مکعب در سال جاری رسیده است که بسیار پایین‌تر از آستانه کمیابی مطلق ۱,۰۰۰ متر مکعب قرار دارد.
- ایران بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۹ میلادی، ۲۱۱ کیلومتر مکعب از کل ذخایر آبی خود را از دست داده است؛ رقمی که بیش از دو برابر کل مصرف سالانه کشور است.
- تراز سد کرج تنها در یک سال ۷۵ درصد سقوط کرد. به دلیل تخلیه آبخوان‌ها، تهران سالانه تا ۲۵ سانتی‌متر نشست می‌کند. در اواخر سال ۲۰۲۵، ذخایر سدها بین ۵ تا ۱۴ درصد ظرفیت آن‌ها گزارش شده است.
- تخمین زده می‌شود که 1.3 میلیون کشاورز بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲ شغل خود را از دست داده‌اند. هزینه بحران آب سالانه ۲۵ میلیارد دلار (معادل 5.5 درصد از تولید ناخالص داخلی) برآورد می‌شود که شامل کاهش تولیدات کشاورزی و افزایش واردات مواد غذایی است.

بخش کشاورزی ۹۰ درصد از آب ایران را مصرف می‌کند، در حالی که تنها ۷ تا ۱۲ درصد از تولید ناخالص داخلی را شامل می‌شود. تقریباً ۷۵ درصد از اراضی آبی از روش آبیاری غرقابی با بازدهی کل تنها ۳۳ تا ۳۷ درصد استفاده می‌کنند؛ این بدان معناست که نزدیک به دوسوم آب کشاورزی پیش از رسیدن به محصولات هدر می‌رود. کشاورزان ایرانی برای کشت محصولات کلیدی، ۲ تا ۳ برابر بیشتر از میانگین جهانی در هر هکتار آب مصرف می‌کنند.

۸.۲ تحول اسرائیل: از صفر تا بیش از ۸۰ درصد تأمین از شیرین‌سازی

اسرائیل در عرض ۱۵ سال (۲۰۰۴–۲۰۲۰) از ظرفیت صفر در شیرین‌سازی به تأمین بیش از ۸۰ درصد آب شرب شهری رسید. ۶ نیروگاه بزرگ (عسقلان، خدرا، سورک۱، پالماخیم، اشدود و نیروگاه رکوردشکن سورک۲) اکنون روزانه بیش از ۲ میلیون متر مکعب آب تولید می‌کنند. نیروگاه سورک۲ به هزینه رقابتی جهانی 0.41 دلار به ازای هر متر مکعب دست یافته است.

عوامل کلیدی این موفقیت عبارت بودند از: یک «سازمان آب» واحد با قدرت قیمت‌گذاری، تعرفه‌های آب مبتنی بر هزینه تمام‌شده، قراردادهای ۲۵ ساله مشارکت عمومی-خصوصی از نوع «بخر یا بپرداز» که بار هزینه‌های سرمایه‌ای را از دوش دولت برداشت و بازچرخانی اجباری ۹۰ درصدی فاضلاب. اسرائیل اکنون ۲۰ درصد بیش از نیاز خود آب تولید می‌کند که برای اولین بار در چندین دهه، امکان احیای آبخوان‌ها (سفره‌های زیرزمینی) را فراهم کرده است.

برنامه NEWater سنگاپور ۴۰ درصد از تقاضا را از طریق بازچرخانی پیشرفته فاضلاب با هزینه 0.3 تا 0.5 دلار به ازای هر متر مکعب تأمین می‌کند که ارزان‌تر از شیرین‌سازی آب دریاست. استرالیا نیز در جریان «خشکسالی هزاره» ۶ نیروگاه بزرگ شیرین‌سازی را تنها در ۵ سال ساخت و ثابت کرد که استقرار سریع زیرساخت‌ها در شرایط بحرانی امکان‌پذیر است.

۸.۳ راهبرد شیرین‌سازی آب در ایران

ایران در حال حاضر حدود ۷۵ تا ۸۵ نیروگاه شیرین‌سازی آب با ظرفیت مجموع تقریبی ۵۰۰,۰۰۰ متر مکعب در روز را در اختیار دارد که تنها 0.1 تا 0.2 درصد از تأمین آب ملی را پوشش می‌دهد. این در حالی است که عربستان سعودی روزانه 11.5 میلیون متر مکعب آب تولید می‌کند. ایران برای پاسخگویی به حتی نیازهای شهری و صنعتی خود، نیازمند افزایش ۱۰ تا ۲۰ برابری ظرفیت شیرین‌سازی است.

شیرین‌سازی آب به تنهایی نمی‌تواند بحرانی را حل کند که در آن بخش کشاورزی ۹۰ درصد آب را مصرف می‌کند. هزینه انتقال هر متر مکعب آب شیرین‌سازی شده به مسافت ۸۰۰ کیلومتر تا فلات مرکزی (اصفهان)، به ۳ تا ۵ دلار می‌رسد که برای مصارف کشاورزی بازدارنده است. راهبرد یکپارچه مستلزم اقدام همزمان در چهار جبهه است:

- شیرین‌سازی برای تأمین مصارف شهری و صنعتی: سرمایه‌گذاری ۱۸ تا ۳۰ میلیارد دلاری طی ۱۵ سال برای ایجاد ظرفیت ۵ تا ۱۰ میلیون متر مکعب در روز در قالب قراردادهای ۲۵ ساله مشارکت عمومی-خصوصی به سبک اسرائیل.
- افزایش بازچرخانی فاضلاب از ۱۵ درصد به ۸۰ درصد: پتانسیل بازیافت ۵ تا ۸ میلیارد متر مکعب آب در سال برای مصارف کشاورزی و صنعتی با هزینه ۰.۳۰ تا ۰.۵۰ دلار به ازای هر متر مکعب.
- انقلاب بهره‌وری کشاورزی: که به‌طور جامع در فصل ۱۰ به آن پرداخته شده است.
- حذف ۲۶ تا ۳۲ درصد هدررفت آب بدون درآمد: در شبکه‌های توزیع شهری از طریق تعویض لوله‌ها و نصب کنتورهای هوشمند.

شیرین‌سازی آب با انرژی خورشیدی از مزیت طبیعی ایران بهره می‌برد؛ یک مطالعه امکان‌سنجی در چابهار نشان داد که هزینه تمام‌شده با استفاده از انرژی خورشیدی به 0.33 دلار به ازای هر متر مکعب می‌رسد. ده گیگاوات برق خورشیدی می‌تواند توان لازم برای تولید 2.5 تا ۴ میلیون متر مکعب آب در روز به روش اسمز معکوس را تأمین کند. همگرایی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی (فصل ۷) و شیرین‌سازی آب قدرتمندترین هم‌افزایی در کل این برنامه عملیاتی است.

اقدامات روز اول

- تأسیس سازمان ملی و واحد آب: ایجاد یک نهاد متمرکز با قدرت قیمت‌گذاری، الگوبرداری شده از «سازمان آب» اسرائیل.
- استقرار واحدهای مدولار و اضطراری شیرین‌سازی: اعزام نیروگاه‌های پیش‌ساخته شیرین‌سازی (قابل تحویل در ۴ تا ۱۲ هفته) به شهرهایی که با بحران شدید و فوری تنش آبی روبرو هستند.
- اعلام اهداف ملی تولید آب: تعیین هدف ظرفیت شیرین‌سازی ۵ میلیون متر مکعب در روز تا سال پنجم و ۱۰ میلیون متر مکعب تا سال دهم.
- برگزاری مناقصات مشارکت عمومی-خصوصی: صدور فراخوان برای احداث نیروگاه‌های بزرگ‌مقیاس شیرین‌سازی در سواحل بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان.

> هزینه بی‌عملی سالانه ۲۵ میلیارد دلار یا 5.5 درصد از تولید ناخالص داخلی در قالب کاهش تولیدات کشاورزی و واردات مواد غذایی تخمین زده می‌شود. این به‌مراتب بیشتر از سرمایه‌گذاری مورد نیاز است. ایران در حال حاضر بیش از آنچه برای حل بحران آب لازم است، صرف پیامدهای ناشی از این بحران می‌کند.

فصل ۹: شبکه برق هوشمند، ذخیره‌سازی انرژی، و هیدروژن سبز

شبکه برق ایران گلوگاهی است که تمامی بخش‌های دیگر ذکر شده در این برنامه عملیاتی را محدود می‌کند. بدون یک شبکه نوسازی‌شده، امکان ادغام ۳۰ گیگاوات برق خورشیدی وجود ندارد. بدون سیستم‌های ذخیره‌سازی، نوسانات انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به تقویت شبکه نمیشود و پایداری آن را کاهش می‌دهد. اما بحران شبکه در دل خود یک فرصت تاریخی نیز نهفته دارد: ترکیب منابع خورشیدی ایران، نزدیکی به بازارهای اروپایی و زیرساخت‌های خط لوله موجود، ایران را در جایگاه یک ابرقدرت بالقوه در حوزه هیدروژن سبز قرار می‌دهد؛ مشروط بر اینکه در همین دهه اقدام کند.

۹.۱ بحران شبکه برق

شبکه برق ایران از ۱۳ تا ۲۰ درصد تلفات در بخش انتقال و توزیع رنج می‌برد که این میزان ۲ تا ۳ برابر شاخص‌های جهانی (۵ تا ۷ درصد) است. راندمان ناوگان نیروگاه‌های حرارتی ایران به‌طور متوسط ۳۳ تا 39.6 درصد است، در حالی که شاخص‌های مدرن جهانی عددی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد را نشان می‌دهند. ۲۰ درصد از ظرفیت شبکه، بیش از ۳۰ سال قدمت دارد. در دسامبر ۲۰۲۴، سیزده نیروگاه به دلیل کمبود سوخت تعطیل شدند. خسارات سالانه بخش صنعت ناشی از قطعی‌های اجباری برق حدود ۶ تا ۸ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود.

الگوهای بین‌المللی برای نوسازی شبکه برق

کشور	دستاورد	هزینه / مقیاس
کره جنوبی (ججو)	پایین‌ترین میزان تلفات انتقال و توزیع در جهان (4.01٪)	طرح آزمایشی ۲۰۸ میلیون دلاری، مدل مشارکت عمومی-خصوصی
تگزاس	13.9 گیگاوات / 22.9 گیگاوات ساعت ذخیره‌سازی باتری	افزایش ۴۰ برابری در ۵ سال؛ مبتنی بر بازار
استرالیا (هورنزدیل)	باتری ۱۵۰ مگاواتی؛ کاهش ۹۱ درصدی هزینه تنظیم فرکانس	۹۰ میلیون دلار استرالیا؛ ساخت در ۶۳ روز؛ بازگشت سرمایه در ۲.۵ سال
چین	42.37 گیگاوات / ۱۰۱ گیگاوات ساعت ذخیره‌سازی جدید در سال ۲۰۲۴	عبور از مجموع ۱۰۰ گیگاوات ظرفیت تا اواسط سال ۲۰۲۵

مزیت پنهان ایران: نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای

یک مطالعه مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پتانسیل ۵,۱۰۸ گیگاوات ساعت ذخیره‌سازی تلمبه‌ذخیره‌ای را در ۲۵۰ سایت در رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز شناسایی کرده است؛ ظرفیتی که به‌طور گسترده‌ای از هرگونه نیاز قابل تصور فراتر می‌رود. نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای با هزینه سرمایه‌ای بین ۵۰ تا ۱۰۰ دلار به ازای هر کیلووات ساعت و طول عمر دارایی بیش از ۵۰ تا ۱۰۰ سال کمترین هزینه ذخیره‌سازی بلندمدت را ارائه می‌دهند؛ این در حالی است که باتری‌های لیتیوم-یون هزینه‌ای معادل ۱۲۵ دلار به ازای هر کیلووات ساعت و طول عمر ۱۵ تا ۲۰ سال دارند. تنها نیروگاه تلمبه‌ذخیره‌ای موجود در ایران نیروگاه سیاه‌بیشه (۱,۰۴۰ مگاوات) که سالانه حدود ۹۴ میلیون دلار در هزینه‌های سوخت صرفه‌جویی می‌کند.

الزامات سرمایه‌گذاری در شبکه

مجموع سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای نوسازی شبکه: ۲۵ تا ۴۵ میلیارد دلار طی ۱۰ تا ۱۲ سال

بازسازی شبکه: ۸ تا ۱۲ میلیارد دلار

هوشمندسازی کنتورها برای ۲۵ تا ۳۰ میلیون خانوار: ۳ تا ۶ میلیارد دلار

ذخیره‌سازی باتری: ۲ تا ۴ میلیارد دلار

ظرفیت جدید نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای: ۵ تا ۱۰ میلیارد دلار

تبدیل ۱۵ گیگاوات از نیروگاه‌های حرارتی ناکارآمد به سیکل ترکیبی: ۵ تا ۸ میلیارد دلار

۹.2 هیدروژن سبز: کالای صادراتی بعدی ایران

اتحادیه اروپا بر اساس برنامه REPowerEU، قصد دارد تا سال ۲۰۳۰ سالانه ۱۰ میلیون تن هیدروژن تجدیدپذیر وارد کند؛ در این میان، تنها آلمان انتظار دارد ۷۰ درصد از هیدروژن مورد نیاز خود را از طریق واردات تأمین نماید. ایران در فاصله تقریبی ۲,۵۰۰ کیلومتری از استانبول قرار دارد و دارای یک خط لوله گاز فعال به ترکیه و ۲۰,۷۹۴ کیلومتر خط لوله گاز داخلی است که بخشی از آن می‌تواند تغییر کاربری دهد. مطالعات اروپایی نشان می‌دهند که تغییر کاربری خطوط لوله موجود برای انتقال هیدروژن ۵۰ تا ۷۰ درصد ارزان‌تر از ساخت خطوط لوله جدید است.

چشم‌انداز رقابتی

کشور	هدف (هیدروژن)	سرمایه‌گذاری
عربستان سعودی (نئوم)	۶۰۰ تن در روز؛ ۱.۲ میلیون تن آمونیاک سبز در سال	8.4 میلیارد دلار؛ ۴ گیگاوات خورشیدی + بادی؛ ۹۰٪ تکمیل شده
مراکش	رزرو ۱ میلیون هکتار زمین	31.9 میلیارد دلار اعلام شده
شیلی	ارزان‌ترین تولیدکننده جهان با ۱.۵ دلار/کیلوگرم تا ۲۰۳۰	استراتژی ملی
عمان	۱ میلیون تن در سال تا ۲۰۳۰	چندین پروژه در حال اجرا
ایران	**استراتژی ملی برای هیدروژن منتشر نشده است.**	**فرصت در حال از دست رفتن است**

اگر ایران ۱۰ گیگاوات از ظرفیت خورشیدی خود را به الکترولیز اختصاص دهد، می‌تواند سالانه ۵۰۰,۰۰۰ تا ۸۰۰,۰۰۰ تن هیدروژن تولید کند. در مقیاس بزرگتر (۳۰ تا ۵۰ گیگاوات خورشیدی برای الکترولیز)، تولید می‌تواند به 1.5 تا ۴ میلیون تن در سال برسد که پتانسیل درآمد صادراتی آن تا سال ۲۰۳۵ سالانه ۲ تا ۱۰ میلیارد دلار خواهد بود. مجموع سرمایه‌گذاری برای دستیابی به جایگاه صادرکننده بزرگ: ۲۰ تا ۳۵ میلیارد دلار در دو فاز؛ یک فاز آزمایشی ۲ تا ۵ میلیارد دلاری (۲۰۲۶–۲۰۳۰) و یک فاز توسعه گسترده ۱۵ تا ۳۰ میلیارد دلاری (۲۰۳۰–۲۰۳۵).

اقدامات روز اول

- تأسیس کمیسیون ملی هیدروژن: با مأموریت انتشار استراتژی ملی ظرف ۱۸۰ روز.
- سفارش مطالعات امکان‌سنجی تغییر کاربری خط لوله: برای کریدور ایران-ترکیه جهت انتقال هیدروژن.
- راه‌اندازی پروژه‌های پایلوت الکترولیز ۱۰ تا ۵۰ مگاواتی: در سایت‌های ساحلی جنوبی در مجاورت منابع خورشیدی و زیرساخت‌های بندری.

> همسایگان ایران هم‌اکنون در حال ساختن زیرساخت‌های انرژی قرن بیست و یکم هستند. پروژه هیدروژن نئوم (NEOM) عربستان سعودی ۹۰ درصد تکمیل شده است. مراکش 32.9 میلیارد دلار متعهد شده است. هر سال تأخیر ایران، این پنجره فرصت را تنگ‌تر می‌کند.

فصل ۱۰: کشاورزی دقیق و امنیت غذایی

بخش کشاورزی ایران ۹۰ درصد از آب کشور را مصرف می‌کند، در حالی که تنها ۷ تا ۱۲ درصد در تولید ناخالص داخلی سهم دارد؛ این بزرگ‌ترین سوءتخصیص منابع در اقتصاد ملی است. تقریباً ۷۵ درصد از اراضی آبی از روش آبیاری غرقابی با بازدهی کل تنها ۳۳ تا ۳۷ درصد استفاده می‌کنند؛ این بدان معناست که نزدیک به دوسوم آب کشاورزی هرگز به محصولات نمی‌رسد. کشاورزان ایرانی برای کشت محصولات کلیدی ۲ تا ۳ برابر بیشتر از میانگین جهانی در هر هکتار آب مصرف می‌کنند. اصلاح بخش کشاورزی صرفاً یک سیاست کشاورزی نیست، بلکه خود «سیاست آب» است.

۱۰.۱ الگوی آبیاری قطره‌ای اسرائیل

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای «نتافیم» اسرائیل، مصرف آب را در مقایسه با آبیاری غرقابی بین ۳۰ تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. در حالی که هزینه نصب این سیستم ۵۰۰ تا ۲,۵۰۰ دلار به ازای هر هکتار است. ایران حدود 8.5 میلیون هکتار اراضی کشاورزی آبی دارد؛ اجرای کامل این طرح در سطح ملی با میانگین هزینه ۱,۵۰۰ دلار در هر هکتار بین ۱۲ تا ۱۵ میلیارد دلار هزینه خواهد داشت. این سیستم در ترکیب با حسگرهای خاک مبتنی بر هوش مصنوعی، پیش‌بینی هواشناسی و آبیاری با نرخ متغیر می‌تواند صرفه‌جویی در مصرف آب را به ۴۰ تا ۷۰ درصد برساند.

نرخ تبدیل فعلی در ایران تقریباً ۱۰۰,۰۰۰ هکتار در سال است و بیش از ۱۰۰ پروژه آزمایشی آبیاری هوشمند در حال اجراست. هدف باید رسیدن به ۵۰۰,۰۰۰ هکتار در سال (یعنی شتابی پنج برابری) باشد که با تأمین تجهیزات یارانه‌ای، برنامه‌های آموزشی برای کشاورزان و تجدید ساختار اساسی در قیمت‌گذاری آب حمایت شود.

۱۰.۲ قیمت‌گذاری آب: مهم‌ترین سیاست با بیشترین اثربخشی

در نظام فعلی، کشاورزان ایرانی تنها 0.25 تا ۳ درصد از ارزش محصول خود را بابت آب پرداخت می‌کنند. این قیمت‌گذاری [که در عمل به معنای رایگان بودن آب است] هرگونه انگیزه برای بهره‌وری را از بین می‌برد. قیمت‌گذاری حجمی آب [که در آن کشاورزان بر اساس هر متر مکعب مصرف واقعی (اندازه‌گیری شده توسط کنتورهای هوشمند) هزینه پرداخت می‌کنند] تنها تغییر سیاستی است که بیشترین تأثیر را بر بحران آب دارد. هر الگوی بین‌المللی که با موفقیت مصرف آب کشاورزی را کاهش داده است (از جمله اسرائیل، استرالیا و اسپانیا) این اصلاحات را در کانون توجه قرار داده است.

اقتصاد سیاسی این موضوع دشوار است: آب یارانه‌ای در واقع نوعی انتقال درآمد به جوامع کشاورزی محسوب می‌شود. بنابراین، این گذار باید مرحله‌بندی شده و همراه با مکانیسم‌های حمایتی جبرانی باشد: تجهیزات آبیاری قطره‌ای رایگان برای سه سال اول، یارانه تغییر الگوی کشت برای حرکت از محصولات آب‌بر مانند چغندرقند و برنج به سمت محصولات مقاوم به خشکی نظیر پسته، زعفران، فندق و بادام، و حمایت مستقیم درآمدی در طول دوره گذار.

۱۰.۳ تغییر الگوی کشت و کشاورزی هوشمند

سبد محصولات کشاورزی ایران با واقعیت‌های آبی آن به‌شدت ناسازگار است. محصولات آب‌بر (برنج، چغندرقند و گندم تحت آبیاری غرقابی) بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند؛ در حالی که مزیت‌های نسبی ایران مانند تولید پسته (ایران پیش از خشکسالی و سوءمدیریت، بزرگ‌ترین تولیدکننده جهان بود)، زعفران (ایران بیش از ۹۰ درصد عرضه جهانی را تأمین می‌کند)، بادام، خرما و انار به‌طور چشمگیری کم‌آب‌بر بوده و ارزش افزوده بسیار بالاتری در هر هکتار دارند.

فناوری‌های کشاورزی هوشمند شامل زمان‌بندی آبیاری با پایش ماهواره‌ای، پیش‌بینی هواشناسی مبتنی بر هوش مصنوعی، پایش سلامت محصول توسط پهپادها و شبکه‌های حسگر خاک می‌توانند مصرف آب را به‌جای غرقابی کردن، بر اساس نیاز واقعی محصول بهینه کنند. نهادهایی مانند ICARDA و CIMMYT بذرهای مقاوم به خشکی را ارائه می‌دهند که اختصاصاً برای شرایط اقلیمی خشک اصلاح شده‌اند.

اهداف سنجش عملکرد

شاخص	وضعیت کنونی	سال پنجم	سال دهم
بهره‌وری آبیاری	۳۳–۳۷٪	۵۵٪	۷۰٪
مصرف آب کشاورزی (میلیارد متر مکعب در سال)	~۹۰	۸۰	۷۰
عملکرد گندم (تن در هکتار، آبی)	2.5	3.5	4.5
بهره‌وری آب (کیلوگرم محصول بر متر مکعب)	1-1.45	۲.۰	2.5
پوشش آبیاری قطره‌ای/دقیق	۲۵٪	۵۰٪	۷۵٪
واردات مواد غذایی (دلار در سال)	۵ میلیارد دلار	۳ میلیارد دلار	1.5 میلیارد دلار

مجموع سرمایه‌گذاری: ۳۷ تا ۴۵ میلیارد دلار طی ۱۵ سال

این رقم شامل موارد زیر است:

تبدیل سیستم‌های آبیاری به قطره‌ای: ۱۲ تا ۱۵ میلیارد دلار.

نصب کنتورهای هوشمند و شبکه‌های حسگر: ۳ تا ۵ میلیارد دلار.

یارانه‌های تغییر الگوی کشت: ۵ تا ۸ میلیارد دلار.

آموزش و ترویج کشاورزی: ۲ تا ۳ میلیارد دلار.

مدیریت آب‌های زیرزمینی و پلمب چاه‌ها: ۵ تا ۷ میلیارد دلار.

مشارکت‌های پژوهشی در حوزه کشاورزی: ۲ تا ۳ میلیارد دلار.

بازگشت این سرمایه‌گذاری، صرفه‌جویی سالانه ۲۰ تا ۳۰ میلیارد متر مکعب آب است؛ میزانی که برای تثبیت آبخوان‌ها (سفره‌های زیرزمینی)، احیای جریان رودخانه‌ها و تأمین برق خورشیدی برای نیروگاه‌های شیرین‌سازی (که بر اثر کاهش تقاضای پمپاژ آب آزاد شده است) کفایت می‌کند.

> ۹۰٪ از آب ایران به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد. در حالی که این بخش تنها ۷ تا ۱۲ درصد از تولید ناخالص داخلی را تولید می‌کند. اصلاح همین یک مورد سوءتخصیص، بیش از مجموع تمام نیروگاه‌های شیرین‌سازی آب برای حل بحران آب ایران موثر خواهد بود.

فصل ۱۱: بازسازی محیطزیستی

بحران محیطزیستی ایران یک تهدید انتزاعی برای آینده نیست؛ بلکه یک وضعیت اضطراری کنونی است که سالانه جان ده‌ها هزار نفر را می‌گیرد. معیشت‌های کشاورزی را نابود می‌کند و با ایجاد طوفان‌های گرد و غبار و بحران‌های سلامتی، محرک اصلی مهاجرت و بی‌ثباتی سیاسی است. این فصل به چهار وجه به‌هم‌پیوسته می‌پردازد: احیای دریاچه ارومیه و تالاب‌ها، جنگل‌کاری برای مقابله با بیابان‌زایی، بهبود کیفیت هوا و چارچوب یکپارچه سرمایه‌گذاری محیطزیستی.

۱۱.۱ دریاچه ارومیه: نماد بحران

دریاچه ارومیه [که زمانی بزرگ‌ترین دریاچه خاورمیانه و ششمین دریاچه آب‌شور بزرگ روی زمین بود] بیش از ۹۸ درصد از حجم خود را از دست داده است؛ حجم آب این دریاچه از ۳۲ میلیارد متر مکعب در سال ۱۹۹۵ به حدود 0.5 میلیارد متر مکعب تا اوت ۲۰۲۵ رسیده است. تصاویر ماهواره‌ای ناسا در اواخر سال ۲۰۲۵ نشان داد که بخش‌هایی از دریاچه برای اولین بار در ۱۲,۰۰۰ سال گذشته به‌طور کامل ناپدید شده‌اند. بستر خشک‌شده دریاچه حاوی تخمینی معادل ۸ میلیارد تن نمک است که طوفان‌های نمکی حاصل از آن جان ۷ تا ۱۵ میلیون نفر را در سراسر شمال غرب ایران با بیماری‌های تنفسی، شور شدن خاک و فروپاشی کشاورزی تهدید می‌کند.

علل بحران: انسانی، نه اقلیمی

تقریباً ۵۰ سد که طی سه دهه گذشته روی رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه ساخته شده‌اند، مسیر آب را برای آبیاری بیش از ۵۰۰,۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی منحرف کرده‌اند. بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۴ بیش از ۲۲,۰۰۰ حلقه چاه عمیق حفر شده است. ایران سالانه ۱۱۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر خود را استخراج می‌کند. تغییرات اقلیمی از طریق کاهش بارش و افزایش تبخیر در این روند نقش داشته است، اما در شرایط کنونی، برداشت‌های بخش کشاورزی عامل تعیین‌کننده اصلی به شمار می‌رود.

الگوی دریاچه آرال: اثباتی بر امکان‌پذیر بودن احیای نسبی

احیای بخشی از دریای آرال شمالی در قزاقستان، امیدوارکننده‌ترین نمونه پیشین در این زمینه است. سد «کوک-آرال» با هزینه ۸۶ میلیون دلار در سال ۲۰۰۵ تکمیل شد و توانست 22.1 میلیارد متر مکعب از حجم آب را بازیابی کرده و شوری آب را تنها در عرض چند ماه از ۳۰ گرم در لیتر به حدود ۸ گرم در لیتر کاهش دهد. این فرآیند بسیار سریع‌تر از پیش‌بینی‌ها رخ داد. در پی این اقدام، ۲۲ گونه ماهی بازگشتند و صنعت ماهیگیری منطقه احیا شد. اما دریای آرال یک مزیت تعیین‌کننده داشت: یک رودخانه تغذیه‌کننده اصلی که می‌توانست با یک سد تغییر مسیر دهد. در مقابل، حوضه ارومیه شامل ۵۰ سد بر روی چندین رودخانه است که مدیریت آن را بسیار پیچیده‌تر می‌کند.

طرح ۱۳ میلیارد دلاری حوضه «ماری-دارلینگ» در استرالیا تا سال ۲۰۲۴ تنها به ۲۶ درصد از اهداف بازیابی آب محیطزیستی خود دست یافت و ۷۴ درصد از شاخص‌های موفقیت آن محقق نشد؛ این یک هشدار جدی است که نشان می‌دهد صرف هزینه برای زیرساخت‌ها بدون کاهش واقعی برداشت آب، با شکست مواجه می‌شود. ستاد احیای دریاچه ارومیه طی ۷ سال حدود 3.5 میلیارد دلار هزینه کرده است، اما روند کوچک شدن دریاچه همچنان ادامه دارد.

هدف واقع‌بینانه

احیای کامل دریاچه به تراز‌های تاریخی در شرایط اقلیمی فعلی امکان‌پذیر نیست. هدف واقع‌بینانه تثبیت دریاچه در سطح پهنه‌ای معادل ۲,۰۰۰ تا ۳,۰۰۰ کیلومتر مربع و حجم ۳ تا ۵ میلیارد متر مکعب است؛ این میزان تنها بخشی از سطوح تاریخی است اما برای عملکرد اکولوژیکی و مهار گرد و غبار کفایت می‌کند. تحقق این هدف مستلزم ورود سالانه 3.1 میلیارد متر مکعب آب به دریاچه از طریق رهاسازی اضطراری سدها، کاهش مصرف آب کشاورزی در حوضه آبریز، پلمب چاه‌های غیرمجاز و تغییر الگوی کشت از محصولات آب‌بری چون سیب و چغندرقند به پسته، فندق و بادام است. مجموع سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای احیای تالاب‌ها و دریاچه: ۷ تا ۱۵ میلیارد دلار.

۱۱.۲ جنگل‌کاری در برابر پیشروی بیابان

بیابان‌ها اکنون 32.5 میلیون هکتار از اراضی ایران را در بر گرفته‌اند و ۱۰۰ تا ۱۱۸ میلیون هکتار دیگر نیز در معرض تهدید بیابان‌زایی قرار دارند. ایران از نظر فرسایش خاک در رتبه ۵ کشور اول جهان قرار دارد و سالانه ۲ میلیارد تن خاک از دست

می‌رود. بیش از ۵۰۰ طوفان گرد و غبار در سال شهرها را می‌پوشاند؛ برای نمونه، خوزستان در آوریل ۲۰۲۵ سطحی از ذرات معلق را تجربه کرد که ۶۷ برابر حد مجاز بود.

برنامه «کمربند سبز جنگلی» چین

از سال ۱۹۷۸ چین بیش از ۶۶ میلیارد اصله درخت در مساحتی بالغ بر ۴۶ میلیون هکتار کاشته است که پوشش جنگلی این کشور را از 5.05 درصد به 13.84 درصد افزایش داده است. مجموع سرمایه‌گذاری حدود ۱۳ میلیارد دلاری طی ۴۵ سال ارزش خدمات اکولوژیکی تخمینی معادل ۳۳۰ میلیارد دلار در سال ایجاد کرده است. درس حیاتی این پروژه: در فازهای بعدی، کاشت تک‌گونه‌ای [که منجر به نابودی ۱ میلیارد درخت سپیدار بر اثر بیماری در نینگ‌شیا شد] متوقف و جای خود را به پوشش گیاهی با نیاز آبی کم و گونه‌های بومی متنوع داد.

بازآفرینی طبیعی تحت مدیریت کشاورزان در نیجر توانست ۵ میلیون هکتار از اراضی را با هزینه‌ای کمتر از ۲۰ دلار در هر هکتار احیا کند. این روش، مقرون‌به‌صرفه‌ترین رویکرد بازسازی محیط‌زیست است که تاکنون ثبت شده است. کلید موفقیت این طرح، توانمندسازی جوامع محلی برای مدیریت رویش مجدد درختان بود به‌جای اینکه پروژه‌های کاشت درخت به‌صورت دستوری و از بالا به پایین تحمیل شوند.

برنامه جنگل‌کاری ایران: ۵ تا ۱۰ میلیون هکتار

یک برنامه واقع‌بینانه از یک رویکرد ترکیبی استفاده می‌کند: ۳۰ درصد بازآفرینی طبیعی هدایت‌شده (۱۰۰ دلار در هکتار)، ۴۰ درصد کاشت در مناطق نیمه‌بیابانی و اگرواکولوژی/دارکشت‌ورزی (۸۰۰ دلار در هکتار)، ۲۰ درصد بذرپاشی با پهپاد در دامنه‌های تخریب‌شده (۲,۰۰۰ دلار در هکتار) و ۱۰ درصد جنگل‌کاری کامل در مناطق اولویت‌دار جنگلی (۳,۰۰۰ دلار در هکتار). میانگین وزنی هزینه که تقریباً ۸۷۰ دلار در هر هکتار است، کل هزینه برنامه را به 4.35 تا 8.7 میلیارد دلار می‌رساند که در مقایسه با سایر بخش‌ها رقم ناچیزی است. با نرخ احیای ۵۰۰,۰۰۰ تا ۱ میلیون هکتار در سال این برنامه سالانه ۱۵۰,۰۰۰ تا ۳۰۰,۰۰۰ شغل ایجاد خواهد کرد و ۱۵ تا ۳۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن را در سال جذب می‌کند. درآمد حاصل از اعتبارات کربن با قیمت‌های پیش‌بینی شده سال ۲۰۳۵ (یعنی ۷۵ تا ۱۲۵ دلار به ازای هر تن) می‌تواند سالانه 1.1 تا 3.75 میلیارد دلار درآمد ایجاد کند که پتانسیل تأمین مالی کل برنامه را داراست.

۱۱.۳ هوای پاک: سریع‌ترین بازگشت سرمایه

آلودگی هوای تهران سالانه بیش از هر بیماری منفرد دیگری جان ایرانیان را می‌گیرد. در سطح ملی سالانه بین ۳۰,۰۰۰ تا ۵۰,۰۰۰ مرگ زودرس به آلودگی هوا نسبت داده می‌شود که سهم تهران به تنهایی بین ۴,۰۰۰ تا ۷,۰۰۰ مورد است. هزینه اقتصادی این فاجعه سالانه به ۱۲ تا ۲۳ میلیارد دلار (معادل ۳ تا ۵ درصد از تولید ناخالص داخلی) می‌رسد.

میانگین غلظت ذرات معلق کمتر از 2.5میکرون در تهران بین ۳۰ تا ۳۵ میکروگرم بر متر مکعب است که ۶ تا ۷ برابر فراتر از دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت است. به طوری که در بیش از ۹۹ درصد روزهای سال میزان $PM_{2.5}$ از حدود مجاز روزانه دستورالعمل سازمان جهانی بهداشت عبور می‌کند. منبع اصلی این آلودگی خودروها هستند: یک ناوگان فرسوده که در آن ۳۰ درصد خودروهای سنگین بیش از ۲۰ سال قدمت دارند و ۵۵ درصد خودروهای سواری تنها استانداردهای یورو ۲ را پاس می‌کنند. این خودروهای سنگین تنها ۲ درصد از ترافیک را تشکیل می‌دهند اما ۸۵ درصد ذرات معلق ناشی از وسایل نقلیه را تولید می‌کنند. سوزاندن مازوت (نفت کوره سنگین با محتوای گوگرد بسیار بالا) در زمستان به دلیل کمبود گاز طبیعی، این بحران را تشدید می‌کند.

پکن ثابت کرد کاهش ۶۵ درصدی در یک دهه امکان‌پذیر است

پکن موفق شد میانگین سالانه ذرات معلق $PM_{2.5}$ را از حدود ۹۰ میکروگرم بر متر مکعب در سال ۲۰۱۳ به حدود ۳۰ میکروگرم بر متر مکعب در سال‌های ۲۰۲۲–۲۰۲۳ برساند. این موفقیت از طریق تعطیلی نیروگاه‌های زغال‌سنگ، جابه‌جایی کارخانه‌ها، سخت‌گیرانه‌تر کردن استانداردهای خودرو، به‌کارگیری ناوگان اتوبوس‌های برقی، محدودیت‌های پلاک خودرو و گسترش گسترده شبکه پایش محقق شد. بودجه مقابله با آلودگی هوای پکن از ۴۳۴ میلیون دلار در سال ۲۰۱۳ به 2.6 میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ افزایش یافت. مکزیکوسیتی نیز که در سال ۱۹۹۲ از سوی سازمان ملل به عنوان «آلوده‌ترین شهر سیاره زمین» شناخته می‌شد، توانست سطح آلودگی خود را به حد متوسط برساند و در تنها یک دهه ۹۰ درصد از میزان سرب هوا بکاهد. همچنین، منطقه انتشار کم‌تراکم لندن طی هفت سال به انطباق 96.7 درصدی وسایل نقلیه با استانداردهای زیست‌محیطی دست یافت.

سرمایه‌گذاری و بازگشت‌سرمایه

مجموع سرمایه‌گذاری ۱۰ تا ۲۸ میلیارد دلار طی ۱۰ سال شامل نوسازی ناوگان خودرویی (۲ تا ۵ میلیارد دلار)، ارتقای کیفیت سوخت پالایشگاه‌ها (1.5 تا ۴ میلیارد دلار)، توسعه حمل‌ونقل عمومی (۶ تا ۱۵ میلیارد دلار)، کنترل آلایندگی‌های صنعتی (۱ تا ۴ میلیارد دلار) و شبکه ملی پایش با حسگرهای هوشمند (۲۰ تا ۶۰ میلیون دلار) می‌شود. این سرمایه‌گذاری منجر به صرفه‌جویی سالانه ۷ تا ۱۵ میلیارد دلار در هزینه‌های سلامت خواهد شد. این به معنای دوره بازگشت سرمایه ۱ تا ۴ ساله است. بهبود کیفیت هوا بالاترین نرخ بازگشت سرمایه را در میان تمامی بخش‌های این استراتژی جامع به خود اختصاص می‌دهد.

اقدامات فوری و موثر

- اجرای قانون هوای پاک مصوب ۱۳۹۶ (۲۰۱۷): که بازرسی فنی خودروها و نصب فیلترهای دوده برای خودروهای دیزلی را الزامی می‌کند.
- ممنوعیت مازوت‌سوزی در محدوده شهرها.
- هدف‌گذاری برای اسقاط فوری ۱۰,۰۰۰ خودروی سنگین آلاینده: با هزینه ۵,۰۰۰ تا ۲۰,۰۰۰ دلار به ازای هر خودرو.
- استقرار ۵,۰۰۰ حسگر ارزان‌قیمت اینترنت اشیا (IoT) برای پایش کیفیت هوا در سراسر تهران: با هزینه ۱ تا 2.5 میلیون دلار؛ این اقدام ایستگاه‌های مرجع فعلی (۲۱ تا ۳۹ ایستگاه) را با پوشش دقیق و لحظه‌ای تکمیل می‌کند.

۱۱.۴ چارچوب یکپارچه سرمایه‌گذاری در زیرساخت و محیط‌زیست

جدول زیر الزامات سرمایه‌گذاری و بازدهی را در تمامی پنج فصل «بخش سوم» تجمیع کرده است که نشان‌دهنده منطق به‌هم‌پیوسته برنامه زیرساخت‌های فیزیکی است.

بخش	مجموع ۱۵ ساله (میلیارد دلار)	هزینه سالانه (میلیارد دلار)	بازدهی کلیدی	اولویت روز اول
برق خورشیدی	25–33	2–3	52–60 تراوات‌ساعت در سال	مناقصات معکوس؛ اراضی کویری
شیرین‌سازی و بازچرخانی آب	18–30	1.2–2	5–10 میلیون مترمکعب در روز	شیرین‌سازی مدولار اضطراری
شبکه هوشمند و ذخیره‌سازی	25–45	2.5–4	کاهش تلفات (از 7٪ به 15٪)	ارزیابی شبکه؛ پروژه‌های پایلوت
هیدروژن سبز	20–35	1.5–2.5	2–10 درآمد سالانه	کمیسیون هیدروژن؛ پایلوت‌ها
کشاورزی دقیق	37–45	2.5–3	20–30 میلیارد مترمکعب صرفه‌جویی	اصلاح قیمت‌گذاری آب
جنگل‌کاری	4.5–9	0.3–0.6	5–10 میلیون هکتار احیا	نهالستان‌ها؛ پایلوت‌های پهپادی
کیفیت هوا	10–28	0.7–2	حفظ جان 15–25 هزار نفر در سال	اسقاط خودرو؛ ممنوعیت مازوت
احیای تالاب‌ها و دریاچه‌ها	7–15	0.5–1	ارومیه: 3–5 میلیارد مترمکعب	رهاسازی سدها؛ پلمب چاه‌ها
جمع کل	**۱۴۷–۲۴۰**	**۱۱–۱۸**	—	—

نحوه تأمین مالی

سرمایه‌گذاری سالانه ۱۱ تا ۱۸ میلیارد دلاری معادل 2.5 تا 4.5 درصد از تولید ناخالص داخلی که تقریباً ۴۳۷ میلیارد دلاری ایران است. سه جریان هزینه‌کرد موجود در کشور ظرفیت لازم برای بازتخصیص منابع به این پروژه‌ها را فراهم می‌کنند:

- ۸۲ میلیارد دلار یارانه سالانه انرژی: تنها با بازتخصیص ۱۰ درصد از این مبلغ، کل بودجه سالانه مورد نیاز برای زیرساخت‌های فیزیکی تأمین می‌شود.

- ۱۲ تا ۲۳ میلیارد دلار هزینه‌های سالانه سلامت ناشی از آلودگی هوا: هر یک دلاری که صرف هوای پاک شود، بین ۲ تا ۸ دلار از هزینه‌های درمانی و بهداشتی کشور می‌کاهد.
- ۲۵ میلیارد دلار هزینه سالانه بحران آب: این مبلغ شامل خسارت به محصولات کشاورزی، واردات مواد غذایی و هزینه‌های ناشی از مهاجرت‌های اجباری داخلی (جابه جایی جمعیت) است؛ سرمایه‌گذاری موفق می‌تواند این هزینه‌ها را به مرور حذف کند.

علاوه بر این، چارچوب‌های مشارکت عمومی-خصوصی که موفقیت آن‌ها در اسرائیل (شیرین‌سازی آب)، هند (انرژی خورشیدی) و امارات (زیرساخت) به اثبات رسیده است، می‌تواند سرمایه‌های بخش خصوصی را جذب کرده و بار مالی دولت را کاهش دهد.

اسرائیل: تمام زیرساخت‌های شیرین‌سازی آب خود را از طریق قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی بنا کرد که نیاز به صفر درصد سرمایه‌گذاری اولیه (CAPEX) از سوی دولت داشت. هند: بیش از ۴۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری خصوصی در بخش خورشیدی را از طریق برگزاری مناقصات معکوس جذب کرد. تأمین مالی بین‌المللی: پس از دوره گذار امکان دسترسی به منابع مالی بانک‌های توسعه چندجانبه مانند بانک جهانی، بانک سرمایه‌گذاری زیربنایی آسیا و بانک توسعه اسلامی فراهم خواهد شد.

توالی اقدامات: چه چیزی در اولویت است؟

سال اول باید بر سه اقدام حیاتی و وجودی تمرکز کند: استقرار اضطراری واحدهای شیرین‌سازی آب (واحدهای مدولار که ظرف ۴ تا ۱۲ هفته قابل تحویل هستند)، اصلاح قیمت‌گذاری آب کشاورزی (تک‌سیاستی که بیشترین تأثیر را بر بحران آب دارد) و اجرای قوانین کیفیت هوا (دارای بالاترین نرخ بازگشت سرمایه با دوره بازگشت ۱ تا ۴ ساله).

در سال‌های اول تا پنجم، ظرفیت انرژی خورشیدی به ۳ تا ۵ گیگاوات در سال افزایش می‌یابد، طرح ملی تبدیل آبیاری به سیستم‌های قطره‌ای آغاز می‌شود، نوسازی شبکه برق کلید می‌خورد و تولید آزمایشی (پایلوت) هیدروژن سبز شروع می‌شود.

در نهایت، در سال‌های پنجم تا پانزدهم، هدف دستیابی به ۳۰ گیگاوات برق خورشیدی، ساخت زیرساخت‌های صادرات هیدروژن، رسیدن به بازچرخانی ۸۰ درصدی فاضلاب و تثبیت وضعیت دریاچه ارومیه محقق خواهد شد.

> فناوری محدودیت اصلی نیست. بلکه حکمرانی، اراده سیاسی و تأمین مالی چالش‌های واقعی هستند. شواهد جهانی این ادعا را ثابت می‌کنند: اسرائیل تمام زیرساخت‌های شیرین‌سازی آب خود را از طریق قراردادهای مشارکت عمومی-خصوصی و با صفر درصد سرمایه‌گذاری دولتی بنا کرد. هند با برگزاری مناقصات معکوس توانست ۴۰ میلیارد دلار سرمایه خصوصی را جذب بخش انرژی خورشیدی کند. چین با صرف ۱۳ میلیارد دلار طی ۴۵ سال ۴۶ میلیون هکتار جنگل‌کاری انجام داد. پکن در عرض یک دهه، آلودگی هوا را ۶۵ درصد کاهش داد. قزاقستان با صرف تنها ۸۶ میلیون دلار بخش‌هایی از دریای آرال را احیا کرد. راه‌حل‌ها وجود دارند و کارآمدی آن‌ها در مقیاس بزرگ به اثبات رسیده است. آنچه تاکنون مفقود بوده، دولتی است که اراده اجرای آن‌ها را داشته باشد.

پایان بخش سوم

بخش چهارم: آزادسازی دیجیتال و زیرساخت‌های محاسباتی