ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور

برنامه ملی
سازگاری با کم‌آبی در ایران

امور اقتصاد مقاومتی و شورای اقتصاد

جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

برنامه ملی

سازگاری با کم‌آبی در ایران

معاونت امور اقتصادی و هماهنگی برنامه و بودجه

امور اقتصاد مقاومتی و شورای اقتصاد

انتشارات سازمان برنامه و بودجه کشور

۱۳۹۷

عنوان اصلی

A National Adaptation Plan for Water Scarcity in Iran

نویسندگان

Mohsen B. Mesgaran; Pooya Azadi

برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی در ایران

تهیه‌کننده: امور اقتصاد مقاومتی و شورای اقتصاد

ناشر: سازمان برنامه و بودجه کشور، مرکز اسناد، مدارک و انتشارات

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۳۹۷

شمارگان: ۲۵ نسخه

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

مفاد گزارش حاضر منعکس‌کننده نظرات این امور نبوده و صرفاً ترجمه غیررسمی نظرات نگارنده‌های گزارش حاضر است.

امور اقتصاد مقاومتی و شورای اقتصاد از افراد زیر به خاطر همکاری در تهیه گزارش «**برنامه ملی سازگاری با کم‌آبی در ایران**»، صمیمانه سپاسگزاری می‌کند:

تهیه و تنظیم‌کننده اثر	
نام و نام خانوادگی	**نوع همکاری**
الهام رستم‌آبادی سفلی	مترجم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

خلاصه اجرایی ۷

برنامه ملی سازگاری با کم آبی در ایران ۸

۱. امنیت غذایی: طرف عرضه ۱۱

۲. امنیت غذایی: طرف تقاضا ۱۵

۳. کمبود آب، کشاورزی و امنیت غذایی ۱۸

نتیجه‌گیری ۳۱

منابع ۳۵

ضمیمه الف: منابع آب ایران ۳۷

ضمیمه ب: پیش‌بینی میزان محصول گندم، جو و نخود به روش دیم ۳۹

ضمیمه ج: قیمت‌های تولیدکننده محصولات کشاورزی در ایران ۴۲

ضمیمه د: تعیین بهترین عملکرد محصولات برای اراضی آبی ناپایدار ۴۳

ضمیمه هـ: فاکتورهای اضافی مؤثر بر ارتباطات آب و غذا ۴۴

خلاصه اجرایی

بحران آب ایران وارد الگوی جدیدی گردیده که تاثیرات آن در زندگی روزمره میلیون ها نفر قابل مشاهده است. امروزه برآورد متوسط مصرف سالیانه آب در ایران درحدود ۹۶ میلیارد مترمکعب[1] می‌باشد که این رقم حدود ۸ درصد بیشتر از کل منابع آب تجدیدپذیر (۸۹ میلیارد مترمکعب) است یا در حدود ۸۰ درصد بیشتر از حد آستانه کمبود کشور می‌باشد (حدود ۵۳ میلیارد متر مکعب). راه‌حل‌های عملی که به طور بالقوه می‌تواند به بحران آب شدید در ایران کمک کند را می‌توان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

(۱) بهبود بهره وری آب (به عنوان مثال، مدرنیزاسیون آبیاری، گسترش گلخانه‌ها و بهینه‌سازی الگوی محصول) و

(۲) خاتمه فعالیت‌های شدید آب‌بر به‌طور انتخابی

استدلال ما این است که با توجه به عدم تعادل گسترده بین عرضه پایدار و تقاضا برای آب، پتانسیل نهایی کاهش مصرف آب با راه‌حل‌هایی که هدف آن افزایش بهره‌وری است، برای تغییر بیلان آب در ایران کافی نخواهد بود. اگر چه سیستم‌های آبیاری مدرن می‌توانند به میزان قابل توجهی آب را در سطح مزرعه ذخیره کنند، اما اثربخشی کلی آن‌ها در کاهش استفاده از آب در سطح حوضه، کم است. علاوه بر این، بیش از نیمی از اراضی آبی (یعنی یک چهارم کل اراضی کشاورزی) در ایران برای چنین تحولی مناسب نمی‌باشند. بنابراین، مقدار آبی که می‌تواند در ایران از طریق ارتقای بهره‌وری آبیاری ذخیره شود، در مقایسه با مقادیر زیادی آب که بایستی بحران جاری در منابع آب (حدود ۴۴ میلیارد مترمکعب) را نجات دهد، بسیار کم است (حدود ۷ میلیارد مترمکعب). سپس نشان می‌دهیم که هزینه‌های سالانه سازگاری با کمبود آب در ایران از طریق کاهش در کشاورزی، حدود ۲۵ میلیارد دلار یا حداکثر ۵/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی پیش‌بینی شده ایران در آینده است. براساس تجزیه و تحلیل ارائه شده در این مقاله، پیشنهاد می‌کنیم:

- تولید در بخش کشاورزی بایستی به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. اگر این کاهش تولید کشاورزی در نظر گرفته نشود، احتمال دارد که در بلندمدت کمبود آب و از بین رفتن خاک منجر به کاهش ناگهانی و کنترل نشده تولید در بخش کشاورزی شود. برای جبران کاهش مقدار مواد غذایی خانگی در کشور، درشرایط سخت، نیاز به این می‌باشد که ۳۰۰ دلار اضافی برای هر فرد در سال برای واردات غذا صرف شود[2]؛
- سیاست‌گذاران باید از سخنانی چون شکوفایی در خودکفایی مواد غذایی با توجه به منابع طبیعی محدود ایران و دسترسی به فن‌آوری بپرهیزند به این دلیل که بار عظیمی برای محیط زیست و نسل‌های آینده ایجاد می‌کند. در

1. Billion Cubic Meter (BCM)

۲. توضیح مترجم: به نظر می‌رسد پیشنهاد ارائه شده بدون در نظر گرفتن امکان توسعه کیفی کشاورزی و نیز اصلاح الگوی مصرف خانوارهای ایرانی باشد. اما آنچه بدیهی به نظر می‌رسد آن است که ادامه روند فعلی بخش کشاورزی در بلندمدت تخریب محیط زیست را به دنبال خواهد داشت.

عوض، بدون هیچ دغدغه‌ای از اینکه سرچشمه غذا از کجاست، تمرکز باید بر تضمین امنیت غذایی کشور باشد. علاوه براین به نظر می‌رسد سیاست‌های جمعیتی در نظر گرفته شده برای افزایش میزان باروری (که در حال حاضر نزدیک به سطح جابجایی است) بایستی مجدداً مورد بازنگری قرار گیرد.

- کارشناسان باید تلاش خود را برای ایجاد چارچوب حکمرانی موثر آب[1] به‌کار برند که شامل ارایه بیلان آب در دسترس و تدوین مجموعه‌ای از قوانین منصفانه و اقتصادی برای توزیع آب در میان ذی‌مدخلان مختلف است. همچنین کارشناسان بایستی به صورت شفاف و حقیقی واقعیت‌های موضوع را به عموم و سیاست‌گذاران توضیح داده و از بیان اظهارات پوپولیستی (برای مثال "نجات هر دو بخش کشاورزی و آب امکان‌پذیر است") یا بحث‌های بی‌محتوا (برای مثال "بحران آب" در برابر "ورشکستگی آب") پرهیز کنند.

برنامه ملی سازگاری با کم آبی در ایران

در طول چند دهه گذشته، با توجه به مقدار آب صرف شده برای کشاورزی، مصرف آب در ایران به‌طور مداوم بیش از آستانه تنش اولیه[2] خود بوده و تقریباً چهار برابر آن شده است. به عنوان یک نتیجه از این شکاف عظیم بین تقاضا و عرضه پایدار آب، ایران به سوی یک بحران اجتماعی و محیط زیستی حرکت می‌کند که تأثیر زیادی بر سلامت نسل‌های فعلی و آینده دارد. علاوه برنشانه‌های قابل ملاحظه‌ای از بحران آب در کوچک شدن دریاچه‌ها، خشک شدن رودخانه‌ها و استخراج آب‌های زیرزمینی فراتر از عملکرد متعادل سفره‌های آب زیرزمینی، روند رو به زوال دسترسی به آب در کشور نشان از تشدید اختلافات میان مناطق و بین بخش‌ها درخصوص آب دارد. هرچه وضعیت فعلی بیشتر ادامه داشته باشد، آسیب بیشتری به محیط زیست وارد شده و احتمال کمتری وجود دارد که محیط زیست بتواند به حالت عادی خود بازگردد.

راه‌حل اساسی برای حل مشکل آب در ایران آشکار است: مصرف بایستی تنظیم و کاهش یابد، بهره‌وری آب بایستی بهبود و فاضلاب بایستی تصفیه و مورد استفاده مجدد قرارگیرد. با این حال، مدیریت هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی مرتبط با این راه‌حل‌های بالقوه از اهمیت زیادی برخوردار است. در هر سال هیدرولوژیکی[3]، آب دردسترس در میان چهار

1. Effective Water Governance

۲. آستانه تنش اولیه عبارت از یک چهارم ازکل آب تجدیدشونده است.

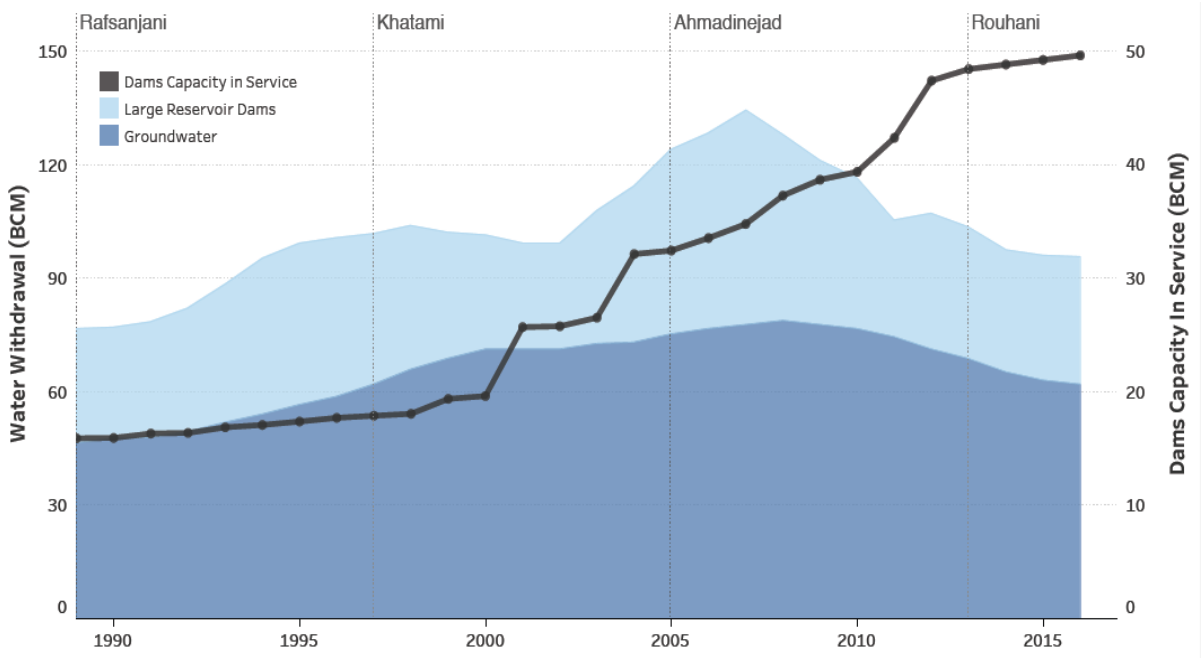
۳. سال هیدرولوژیکی یا سال آبی اشاره به یک دوره دوازده ماهه برای سنجش میزان بارندگی در یک ناحیه دارد. سال آبی از نظر طول زمان به مدت دوازده ماه یا یک سال تمام است.به دلیل بارش های فصل پائیز و زمستان که در خیلی موارد در قالب بارش برف اتفاق می‌افتد و تأخیر در ذوب برف تا اواخر تابستان سال بعد، سال آبی منطبق با سال رسمی نیست. به این ترتیب یک سال آبی در ایران از ۱ مهرماه شروع می‌شود و تا ۳۱ شهریور سال بعد ادامه می‌یابد (مترجم).

بخش اصلی شهری، صنعت، کشاورزی و محیط زیست توزیع می‌شود. تقاضای آب در این بخش‌ها به‌طور قابل توجهی به لحاظ کمیت، کیفیت و قیمت‌های سایه‌ای متفاوت است (به عبارت دیگر، تمایل به پرداخت یک واحد نهایی آب تولیدی). باتوجه به نقش حیاتی آب در زندگی روزمره و سلامت مردم، به‌طور کلی پذیرفته شده است که ارزش سایه‌ای آب برای استفاده مستقیم انسان (آب شهری) بالاترین در میان این بخش‌ها است. همچنین، با توجه به فایده نهایی بالاتر آب برای کاربردهای صنعتی در مقایسه با بخش کشاورزی، تخصیص آب به بخش صنعت به‌طور معمول اولویت بالاتری را به‌دست می‌آورد، اگر رقابت محلی بین این دو بخش برای آب وجود داشته باشد. علاوه بر اولویت‌های تخصیص نسبتاً بالاتر تضمین شده توسط اصول فوق‌الذکر، مصرف آب شهری و صنعتی در ایران، تقریباً یک دهم کل مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهند و بنابراین ذاتاً فاقد ظرفیت برای تأثیر زیاد بر بحران آب می‌باشند. بنابراین، کاهش مصرف آب دربخش کشاورزی تنها گزینه قابل قبول برای مقابله با بحران آب موجود در ایران است.

این هدف ممکن است از طریق ترکیبی از استراتژی‌هایی که در بالا ذکر شد از جمله تنظیم و کاهش انتخابی کشاورزی آبی، افزایش بهره‌وری (به‌عنوان مثال گسترش آبیاری با تکنولوژی بالا و گلخانه‌ها والگوهای هوشمند محصول) و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، به‌دست آید. با این حال، کاهش فعالیت‌های کشاورزی با پیامدهای مهمی چون تأمین غذا برای ملت و اشتغال برای حدود چهار میلیون کشاورز که اکثر آن‌ها بیش از ۵۰ سال سن و فاقد مهارت‌های حرفه‌ای دیگری بوده و با توجه به میزان بیکاری در بخش‌های دیگر، همراه خواهد بود.

تاکنون، راه‌حل‌هایی که دولت برای توازن عرضه و تقاضای آب ارایه داده است، تقریباً به‌طور کامل از هر نوع مداخله مستقیم که منجر به کاهش سهمیه‌های موجود شود اجتناب کرده است. در عوض، تلاش‌ها برای جبران این شکاف به سمت افزایش عرضه آب (با ساخت سدهای بیشتر، بهره‌برداری بیشتر از آب‌های زیرزمینی) و به میزان کمتر، انگیزه استفاده از تکنیک‌های مدرن آبیاری به منظور بهبود راندمان مصرف آب متمرکز شده است. با این وجود، احداث سدهای بیشتر برای استحصال آب‌های سطحی و توسعه چاه‌های آب برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی که قبلاً به عنوان بخشی از راه‌حل‌ها مورد توجه قرار گرفته، اکنون بخشی از مشکل است. روند برداشت آب در ایران و ظرفیت سدهای در دست بهره‌برداری در خلال سه دهه گذشته در شکل ۱ نشان داده شده است.

روند برداشت آب در ایران و ظرفیت سدهای در دست بهره‌برداری



شکل ۱. برداشت آب در ایران (آب‌های سطحی و زیرزمینی) و ظرفیت کل سدهای در دست بهره‌برداری [۱،۲]. منابع برداشت آب زیرزمینی شامل چاه‌ها، قنات‌ها و چشمه‌ها هستند.[۱]

سیاست‌های راهبردی در دهه‌های گذشته علاوه بر تامین غذا و ایجاد اشتغال توسط بخش کشاورزی، به‌طور مداوم از کشاورزی به منظور رسیدن به وضعیت خودکفایی مواد غذایی حمایت کرده است. خودکفایی مواد غذایی که به عنوان نسبت تولید داخلی به کل نیازهای کشاورزی تعریف شده است، برای مدت طولانی یک هدف عمده برای بخش کشاورزی در ایران تعریف شده است. از لحاظ تاریخی، حدود ۸۵ درصد مواد غذایی مصرف شده در ایران در داخل کشور تولید شده است. اما خودکفایی در مواد غذایی لزوماً به معنای امنیت غذایی نیست. سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد[۲] امنیت غذایی را به این‌صورت تعریف می‌کند «به وضعیتی گفته می‌شود که همه مردم، در هر زمان، دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به غذای کافی، امن و مغذی منطبق با نیازهای رژیم غذایی و ترجیحات غذای آن‌ها برای زندگی فعال و سالم دارند». بنابراین، تأمین امنیت غذایی هیچ فرض پیشینی راجع به منشأ ایجاد غذا ندارد، بلکه بر روی دسترسی عادلانه و پایدار غذای مردم تمرکز می‌کند. با تمرکز بر منشأ مواد غذایی و یا ظرفیت تولید آن در داخل، رویکرد تولیدی تنها در دسترس بودن (عرضه) که

---

۱. با توجه به شکل ۱ و همچنین سرمایه‌گذاری‌های کلان دولت در این سه دهه اخیر برای احداث سدهای مخزنی به منظور کنترل، تنظیم و بهره‌برداری مطمئن از منابع آب‌های سطحی، از سال ۲۰۱۰ (۱۳۸۹) نسبت ظرفیت خالی سدهای در دست بهره‌برداری به میزان قابل توجهی بیش از ظرفیت طراحی شده اولیه برای این سدها را نشان می‌دهد (مترجم).

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO)

بخشی از امنیت غذایی است را نشان می‌دهد. در نتیجه، یک کشور صادرکننده یا خودکفا در مواد غذایی ممکن است هنوز با تعداد زیادی از افراد مبتلا به سوء تغذیه مواجه باشد که درآمد پایین آن‌ها برای خرید غذا کافی نیست (برای مثال پاکستان) [۳]. در عین حال، برخی از کشورهای غیرخودکفا مانند انگلستان و ژاپن که کمتر از ۸۰ درصد غذای خود را تولید می‌کنند دارای امنیت غذایی بالایی هستند زیرا آن‌ها نه تنها قادر به وارد کردن غذا هستند بلکه نگرانی‌هایی نیز برای این‌که مورد هدف تحریم بین‌المللی قرارگیرند را ندارند. در هر صورت، همه کشورها در تجارت بین‌المللی مواد غذایی مشارکت می‌کنند، زیرا تمام محصولاتی که سبد غذایی یک کشور را تشکیل می‌دهند، نمی‌توانند در مرزهای سیاسی آن کشور به علت محدودیت‌های ناشی از آب و هوا رشد کنند. بنابراین یک کشور ممکن است یک محصول خاص را براساس مزیت نسبی آن تولید کند اما واردکننده محصول دیگری شود.

پیامدهای بحران آب ایران احتمالاً فراتر از موضوع صرف امنیت غذایی است. کمبود آب شدید می‌تواند به‌طور بالقوه منجربه ناآرامی‌های مدنی در ایران شود، به ویژه هنگامی که با عوامل دیگر مانند نرخ بالای بیکاری و (درک از) نابرابری همراه باشد. همچنین می‌تواند خشونت محلی را بین ذی‌نفعان در بالادست و پایین‌دست بر منابع آب ایجاد کند.

در این مطالعه، مروری کلی از روند عرضه و تقاضای غذا در ایران خواهیم داشت و ظرفیت پایدار کشور را از لحاظ منابع آب و زمین و با توجه به دستاوردهای بالقوه آینده از سرمایه‌گذاری در سیستم‌های آبیاری و زیرساخت‌ها ارزیابی می‌کنیم. پس از آن به شناسایی اراضی کشاورزی آبی که در مناطق تحت تنش شدید آبی قرار دارند و یا در مناطقی که به دلیل ویژگی‌های زمین برای کشاورزی نامناسب می‌باشند، می‌پردازیم. سپس برنامه سازگاری با کم‌آبی در سراسر کشور را برای رفع بحران آب ایران معرفی خواهیم کرد. در نهایت، برآوردی از تغییرات نهایی تولیدات کشاورزی ایران و پیامدهای اقتصادی آن در نتیجه اجرای برنامه پیشنهادی ارایه می‌دهیم.

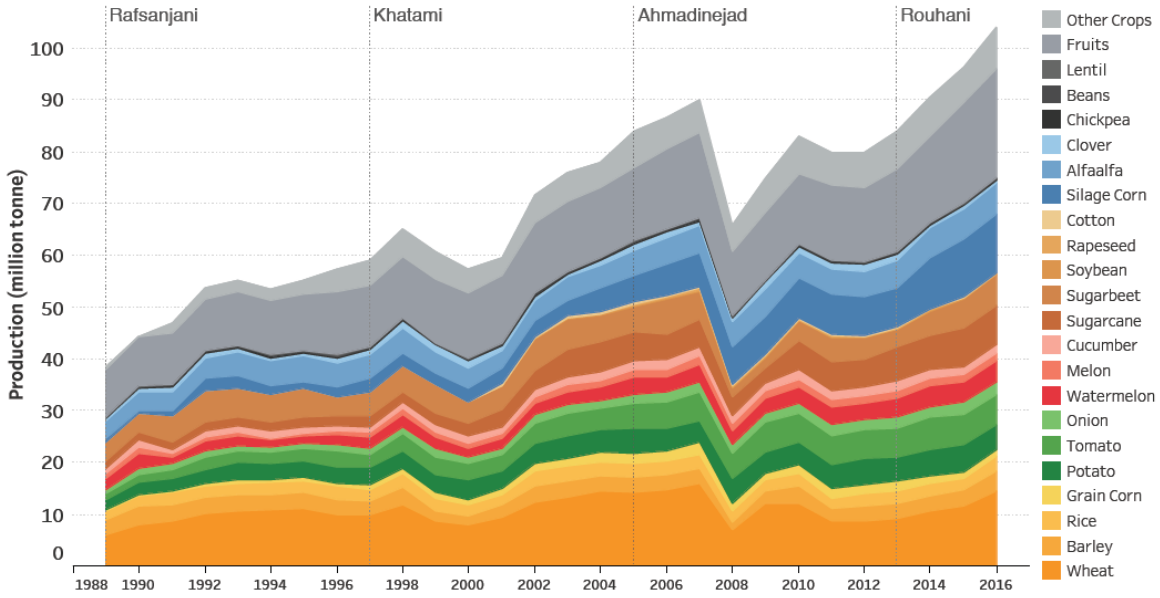
۱. امنیت غذایی: طرف عرضه

بین سال‌های ۱۹۸۹–۲۰۱۶[۱]، کل تولیدات کشاورزی ایران از ۳۹ میلیون تن به ۱۰۴ میلیون تن افزایش یافته است (شکل ۲) [۴،۵]. تجزیه و تحلیل تولید در سطح محصول در طول سه دهه گذشته، روند رو به رشد برای تقریباً تمامی محصولات اصلی کشاورزی در ایران را نشان می‌دهد. با این حال نرخ رشد تولید، اختلافات قابل توجهی را در بین محصولات کشاورزی نشان می‌دهد که بخشی ناشی از تغییرات در الگوهای محصول می‌باشد. گیاهان علوفه‌ای و سبزیجات، دو گروه محصول با بیشترین میزان افزایش تولید می‌باشند. با وجود ده‌ها سال طرفداری و حمایت از خودکفایی گندم، نرخ افزایش تولید گندم با تاخیر بعد از علوفه و سبزیجات می‌باشد: متوسط تولید گندم در سال‌های

۱. سال‌های ۱۳۶۸–۱۳۹۵ هجری شمسی (مترجم)

۱۹۹۲-۱۹۸۹[۱] در ایران حدود ۸ میلیون تن در مقایسه با ۱۱ میلیون تن درسال های ۲۰۱۶-۲۰۱۲[۲] می‌باشد. در طول همان دوره، تولید ذرت و سبزیجات به ترتیب ۸ برابر و ۳ برابر شده است. این روند افزایشی در تولید علوفه و سبزیجات عواقب ناگواری برای منابع آب در ایران به شمار می‌رود، زیرا تولید این محصولات تابستانی تقریبا به‌طور کامل به آبیاری متکی است.

تولید کشاورزی ایران بر اساس نوع محصول



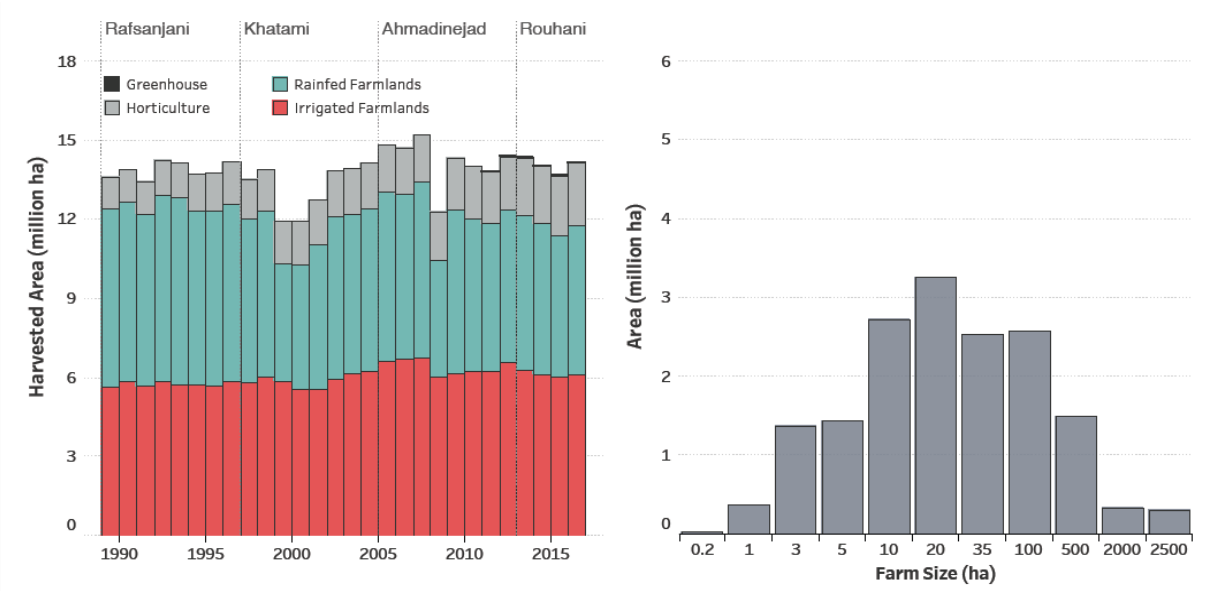
شکل ۲. روند تولید کشاورزی ایران بر اساس نوع محصول[۱،٤،٥]

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مناطق برداشت رسمی برای محصولات زراعی و محصولات باغی از آغاز دهه۹۰[۳] ثابت باقی‌مانده‌اند [۴،۵]. گام‌های گاهاً کاهشی مشاهده شده در سطح کل منطقه برداشت، عمدتاً به دلیل رویدادهای شدید خشکسالی و کاهش برداشت منطقه گندم دیم می‌باشد که تقریبا یک چهارم کل منطقه تحت کشت را تشکیل می‌دهد. اگر چه سهم مناطق آبیاری در کل اراضی کشاورزی سریعاً پس از انقلاب اسلامی سال ۱۹۷۹[۴] افزایش یافت، اما تغییرات عمده‌ای در توزیع نسبی زمین‌های کشاورزی با توجه به آبیاری مشاهده نشده است (شکل ۳). علی‌رغم آن که نیمی از اراضی به کشت آبی و نیمی به کشت دیم اختصاص دارد لیکن حدود ۹۰ درصد از تولیدات بخش کشاورزی در ایران از زراعت آبی به‌دست می‌آید.

۱. سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۷۱ هجری شمسی (مترجم)
۲. سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۵ هجری شمسی (مترجم)
۳. دهه ۷۰ هجری شمسی (مترجم)
۴. سال ۱۳۵۷ هجری شمسی (مترجم)

با داشتن بیش از سه میلیون مزرعه، اندازه متوسط مزارع در ایران نه تنها کوچک است (شکل ۳)، بلکه با وجود برنامه ریزی برای تثبیت زمین نیز، روند نزولی دارد. امروزه، بالای۸۵ درصد از مزارع، کوچکتر از ۱۰۰ هکتار[1] می‌باشند [۱]. به طور متوسط، اندازه مزارع آبیاری (۲,۹ هکتار) کوچکتر از مزارع دیم (۶,۹ هکتار) است [۱] (برای مقایسه، اندازه متوسط مزارع در ایالات متحده ۱۷۵ هکتار است [۶]). اندازه مزارع فردی پیامدهای مختلفی در ارتباط با بهره وری، پایداری و اقتصاد اجتماعی کشاورزی دارد. با این‌که کشاورزی خرد به دلیل جنبه‌های زیست محیطی (به عنوان مثال تنوع بالاتر و نهاده‌های شیمیایی کمتر) و جنبه‌های اجتماعی (به عنوان مثال بازارهای محلی) محبوبیت زیادی به دست آوردند ولی اراضی کشاورزی کوچک ازجمله مزارع با بهره‌وری کمتر، افزایش قابل توجه هزینه تولید در واحد سطح (صرفه‌جویی به مقیاس) [2]و همراه با فقر مواد آلی در خاک زراعی تلقی می‌شوند[3]. علاوه براین، مزارع کوچک و انحصاری با شکل هندسی نامنظم معمول‌ترین مزارع ایران را تشکیل می‌دهند که کمتر می‌توانند از کاربرد ماشین‌آلات مدرن کشاورزی و اجرای سیستم‌های آبیاری و زهکشی مدرن برخوردار باشند.

منطقه برداشت به تفکیک نوع و توزیع اندازه مزرعه



شکل ۳. تغییرات در منطقه برداشت به تفکیک نوع مزرعه (سمت چپ) و توزیع اندازه مزرعه (راست) [۱]

1. Hectare (ha)

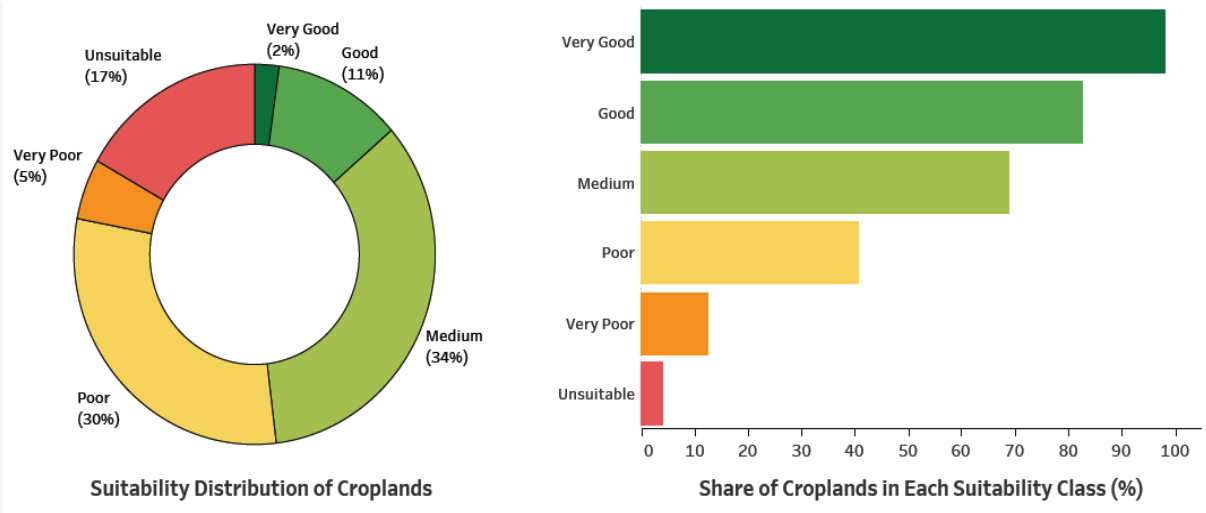
۲. مفهومی در اقتصاد خرد است که به کسب مزیت کاهش هزینه در اثر افزایش حجم تولید اشاره دارد. صرفه به مقیاس به معنای آن است که با افزایش حجم تولید، هزینه متوسط تولید هر واحد کالا کاهش می‌یابد (مترجم).

۳. کوچک شدن اراضی کشاورزی پیامد منفی اقتصادی زیادی به دنبال دارد که از جمله آنها نبود امکان مدیریت و برنامه ریزی درست برای کاهش مصرف آب و انرژی و استفاده بهینه ازخاک، نیروی انسانی و ماشین آلات است که نهایتا منجر به افزایش هزینه تولید و جلوگیری از تولید محصول با کیفیت مطلوب و استاندارد می گردد (مترجم).

ارزیابی اراضی ایران به منظور مناسب بودن برای کشت نشان می‌دهد که به جزء منابع آب که یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های شناخته شده در بخش کشاورزی است، منابع زمین همچنین از موانع مهم برای تولید موادغذایی پایدار برای جمعیت رو به رشد ایران است [۷]. بسیاری از عوامل مربوط به شرایط خاک و زمین مانند ماده آلی کم، شوری بالا و توپوگرافی کوهستانی، بخش اعظمی از سرزمین ایران را برای کشاورزی نامناسب می‌نمایند [۷]. فقط حدود ۴ درصد از اراضی کشور را می‌توان به عنوان اراضی درجه یک، بدون هیچ‌گونه محدودیتی برای کاشت محصول مورد توجه قرار داد، که هم اکنون نیز برای کشاورزی استفاده می‌گردد (شکل ۴). بخش اعظمی از اراضی کشاورزی فعلی (حدود ۵۰ درصد) در اراضی با کیفیت فقیر و نامناسب برای کشاورزی و دارای اهمیت زیست‌محیطی رخ می‌دهند. داده‌ها در شکل ۴ به‌طور جدی پیشنهاد می‌دهد که کشاورزی از تمامی اراضی مناسب در ایران بهره‌برداری می‌کند و هیچ جایی برای گسترش بیشتر وجود ندارد. علاوه بر این، در آینده اراضی موجود کشاورزی به دلایل مختلف از قبیل تغییر کاربری زمین (برای مثال شهرنشینی) و تخریب زمین (از قبیل فرسایش خاک، بیابان‌زایی و شور شدن) احتمالاً کاهش می‌یابد.

بخش کشاورزی در ایران اگرچه بسیار کارآمد نیست ولی به تقاضای غذای فوری جمعیت کشور پاسخ داده و تاکنون به رشد اقتصادی ایران کمک کرده‌است. با این حال، همان‌طور که پیشتر مورد بحث قرار گرفت، این توسعه در ازای هزینه کرد بسیار بالا برای بدتر شدن کیفیت زمین و کاهش منابع آب رخ داده است. در حقیقت، حتی اگر کاهشی در کشاورزی صورت نگیرد، احتمال دارد که کمبود آب و خراب شدن خاک منجر به کاهش ناگهانی و غیرقابل کنترل تولیدات بخش کشاورزی در بلندمدت شود. با این وجود، صرف‌نظر از اینکه عمدی یا ناخواسته باشد، اگر کاهش تولید کشاورزی با رشد اقتصادی پایدار در سایر بخش‌ها همراه نشود، ایران با سطح بالای سوء تغذیه و گرسنگی مواجه خواهد بود.

مناسب بودن اراضی زراعی موجود در ایران



شکل ٤. مناسب بودن اراضی زراعی موجود در ایران (چپ) و سهم اراضی زراعی از کل اراضی در هر طبقه‌بندی مناسب (راست)

۲. امنیت غذایی: طرف تقاضا

میزان جمعیت، درآمد سرانه و رژیم‌های غذایی افراد، تعیین‌کننده‌های اصلی تقاضای غذا در یک کشور می‌باشند. در مقایسه با کشورهای با درآمد بسیار پایین و با درآمد بسیار بالا، کشورهای با درآمد متوسط مانند ایران احتمالاً فشار افزایش تقاضای موادغذایی را از ناحیه هر دو عامل رشد جمعیت و سطح درآمد مردم تجربه می‌کنند. بنابراین در هنگام طراحی برای سیاست‌های امنیت غذایی و زیست‌محیطی علاوه بر منابع طبیعی ایران که پتانسیل ذاتی کشور برای عرضه مواد غذایی داخلی را تعیین می‌نمایند، بایستی مراحل کنونی و آینده توسعه کشور هم مورد توجه قرار گیرد. در این بخش، به برآورد سهم جمعیت در طول تاریخ و نرخ رشد درآمد در تقاضای مواد غذایی در ایران و پیش‌بینی روند آتی آن پرداخته می‌شود. برای این منظور فرض می‌کنیم که رابطه تغییرات تقاضای غذا با نرخ رشد جمعیت و درآمد سرانه واقعی را می‌توان با این رابطه $d = p + n \cdot pci$ بیان کرد، که در آن d نرخ رشد تقاضا برای غذا[۱]، p نرخ رشد جمعیت[۲]، n متوسط کشش درآمدی تقاضا برای غذا[۳] است، و pci نرخ رشد واقعی درآمد سرانه[۴] است [۸].

در طول سه دهه گذشته، علیرغم کاهش چشمگیر نرخ باروری در کل کشور[۵]، جمعیت ایران حدود یک میلیون نفر در سال افزایش یافته (شکل ۵) که در سال ۲۰۱۶[۶] به ۸۰ میلیون نفر رسیده است[۹،۱۰]. با این حال، نرخ رشد جمعیت از ۲,۵ درصد در سال ۱۹۸۹[۷] به ۱,۲ درصد در سال ۲۰۱۶ کاهش یافته است و این کاهش احتمالاً در آینده نیز بیشتر می‌شود، زیرا بزرگ‌ترین جمعیت جامعه که در سال‌های پس از انقلاب اسلامی متولد شده‌است، از پنجره باروری خارج می‌شوند. فرض می‌کنیم که نرخ باروری آینده ایران همچنان در سطح فعلی خود قرار گیرد (که نزدیک به میزان جایگزینی ۲,۱ تولد برای هر زن)، جمعیت ایران تا سال ۲۰۲۵ [۸] به ۸۷ میلیون نفر خواهد رسید[۹]. به این معنا است که نرخ رشد جمعیت سالانه از ۱,۱ درصد در سال ۲۰۱۸ [۹]به ۰,۷ درصد تا سال ۲۰۲۵ کاهش خواهد یافت.

عبارت دوم در معادله تقاضای غذا (n. pci) به پویایی تقاضای مواد غذایی کشور که از طریق مراحل مختلف توسعه و درآمدسرانه (pci) حاصل می‌شود، اشاره دارد. کشش درآمدی تقاضا برای مواد غذایی (n) عبارت از درصد تغییر در تقاضا برای موادغذایی (کالای خاص یا موادغذایی به‌عنوان کل) به ازای یک درصد تغییر در درآمد سرانه است. کشش درآمدی تقاضای

1. Growth Rate of Demand for Food
2. Population Growth Rate
3. Income Elasticity of Demand for Food
4. Real Per Capita Income Growth Rate
5. Total Fertility Rate (TFR)

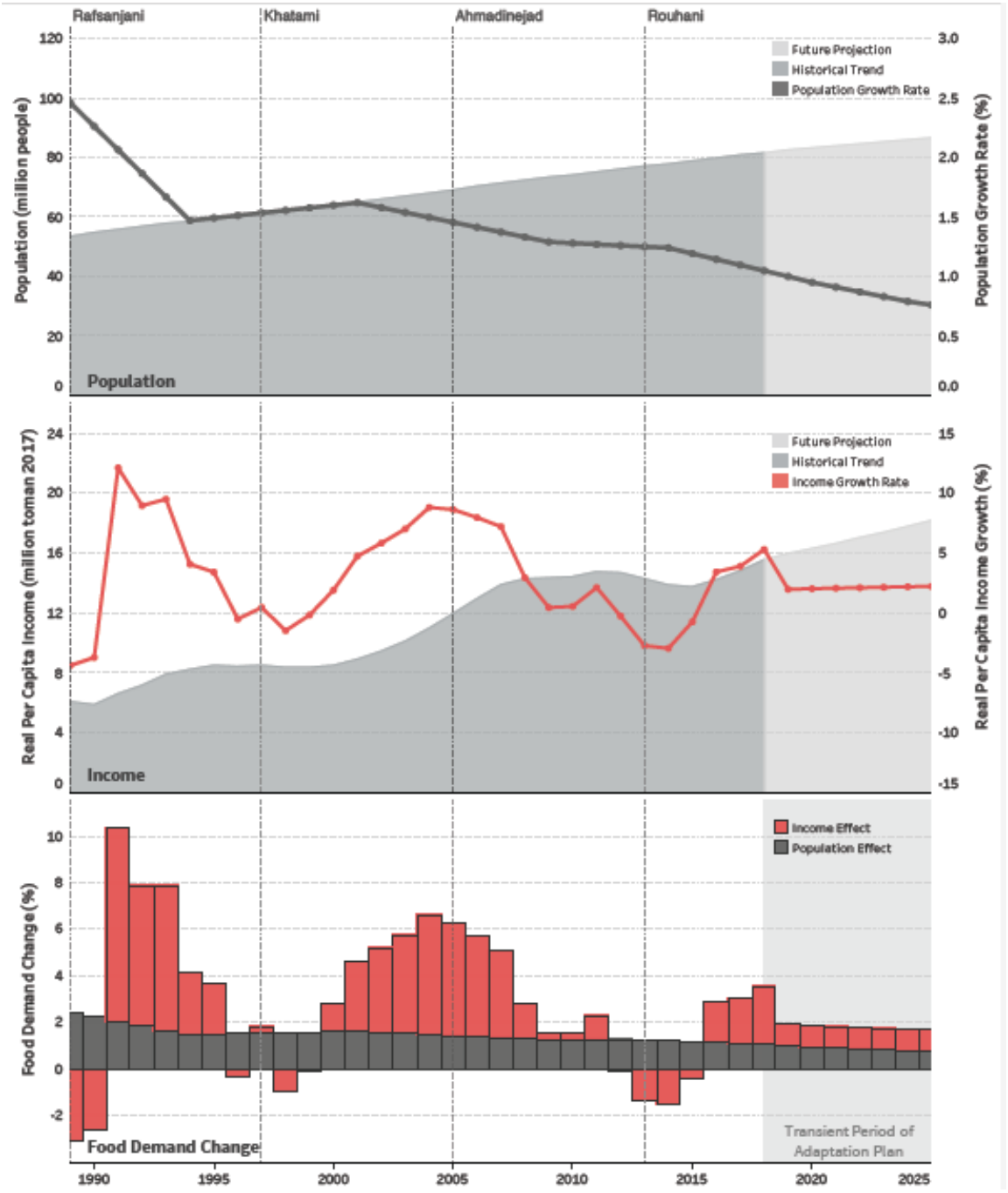
۶. سال ۱۳۹۵ هجری شمسی (مترجم)
۷. سال ۱۳۶۸ هجری شمسی (مترجم)
۸. سال ۱۴۰۴ هجری شمسی (مترجم)
۹. سال ۱۳۹۷ هجری شمسی (مترجم)

موادغذایی به‌طور قابل توجهی بسته به نوع کالا و سطح درآمد متفاوت است. کشش درآمدی برای موادغذایی لوکس (به عنوان مثال برخی محصولات حیوانی) در مقایسه با محصولات اصلی (مثلا گندم) بیشتر است. مواد غذایی بزرگ‌ترین سهم را در هزینه‌های فقرا دارند، اما با افزایش درآمد آن‌ها، مردم اغلب درصد کمتری از درآمد خود را صرف موادغذایی می‌کنند که سبب افزایش کمتری در کشش درآمدی تقاضا برای موادغذایی می‌شود. متوسط کشش درآمدی تقاضا برای موادغذایی در کشورهای با درآمد بسیار پایین و با درآمد بسیار بالا معمولاً به ترتیب درحدود ۰،۸ و ۰،۱ است [۸]. این بدان معنی است در زمانی که یک کشور در مراحل اولیه توسعه می‌باشد، تغییرات در تقاضای موادغذایی، به رشد درآمد بسیار حساس است. علاوه بر تغییر در مقدار غذا، درآمد سرانه بر ترکیب سبد غذای کشور تأثیر می‌گذارد که آن نیز به نوبه خود، تقاضای آب توسط بخش کشاورزی را متأثر می‌گذارد. با افزایش درآمد، مردم تمایل بیشتری به خرید غذاهای گران‌تر از قبیل میوه‌ها، سبزیجات و محصولات حیوانی (گوشت، لبنیات و ماهی) دارند که اغلب با افزایش رد پای آب[1] مرتبط هستند. به طور معمول، با افزایش مصرف سرانه محصولات حیوانی، مصرف مستقیم غلات کاهش و تقاضای غیر مستقیم برای خوراک دام افزایش می‌یابد که به نوبه خود باعث افزایش تقاضای کل برای غلات می‌شود.

شکل ۶ تغییرات سبد غذایی انتخاب شده ایرانیان را در طی سه دهه گذشته نشان می‌دهد. براساس میانگین بلندمدت، گندم (۲۰۰ کیلوگرم به ازای هر نفر) به طور مداوم در سبد غذایی ایرانیان غالب است، در حالی که سیب زمینی (۶۰ کیلوگرم به ازای هر نفر) و برنج (۵۰ کیلوگرم به ازای هر نفر) دو منبع اصلی دیگر کربوهیدرات را تشکیل می‌دهند. با نیاز سرانه ۶۷ کیلوگرم، گوجه فرنگی بیشترین سهم را در سبد غذایی میان سبزیجات به دست آورده است. یک فرد ایرانی به طور متوسط از ۲۰ کیلوگرم روغن و ۲۹ کیلوگرم قند در سال استفاده می‌کند. در میان محصولاتی که به طور عمده برای استخراج روغن و به عنوان خوراک دام و طیور استفاده می شود، ذرت دانه‌ای و سویا در طی پانزده سال گذشته افزایش چشمگیری داشته است. وزن و ارزش مواد غذایی مصرف شده توسط ایرانیان در سال۲۰۱۶ به ترتیب ۱۱۶ میلیون تن به ارزش ۳۷ میلیارد دلار است. براساس روند مورد انتظار برای جمعیت، درآمد سرانه (شکل ۵) و قیمت‌های مواد غذایی در آینده [۱۱]، پیش بینی می‌شود که کل تقاضای مواد غذایی در ایران از نظر ارزش پولی تا سال ۲۰۲۵ به ۴۶ میلیارد دلار (به قیمت ثابت) برسد.

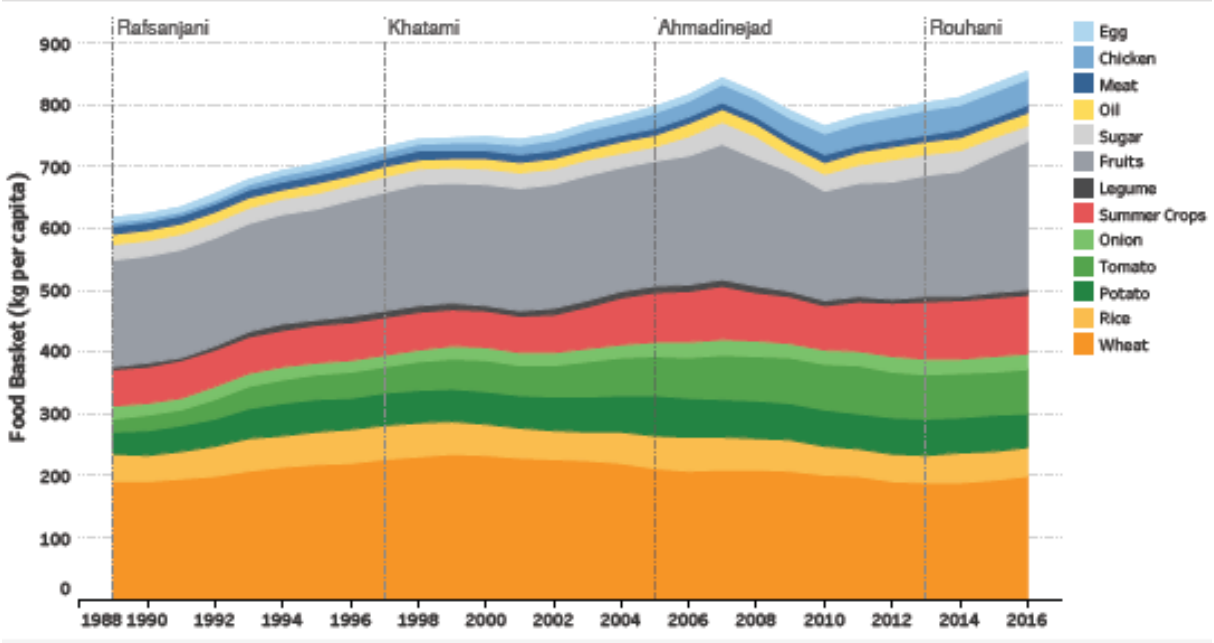
1. water footprint

تأثیر جمعیت و درآمد سرانه بر تقاضای مواد غذایی در ایران



شکل ۵. برآورد آثار نرخ رشد جمعیت و نرخ رشد درآمد واقعی سرانه بر تقاضای کل مواد غذایی در ایران. برای داده‌های درآمد واقعی سرانه، از میانگین متحرک ساده استفاده شده است. فرض بر این است که میانگین کشش درآمدی تقاضای مواد غذایی در محدوده ۰,۷ و ۰,٤ متغیر می‌باشد و با درآمد واقعی سرانه واقعی رابطه معکوس دارد.

روند مصرف سرانه مواد غذایی در ایران



شکل ٦. روند تقاضای سرانه برای مواد غذایی منتخب (مستقیم و غیرمستقیم) در ایران.
محصولات تابستانی شامل خربزه، هندوانه و خیار و لوبیا شامل لوبیای معمولی، عدس و نخود می‌باشند.
برای هر محصول، تقاضای سرانه به عنوان نسبت تقاضای کل محصول (تولید به اضافه واردات منهای صادرات) به جمعیت محاسبه شده است.

۳. کمبود آب، کشاورزی و امنیت غذایی

در این بخش با استفاده از برآوردهای اخیر منابع آب تجدیدپذیر واقعی[1]، ابتدا محدوده آستانه کمبود منابع آب در ایران را محاسبه می‌کنیم که تعیین‌کننده حداکثر مقدار مطلق میزان آبی است که می‌تواند به‌طور پایدار در کشور مورد استفاده قرار گیرد. پس از محاسبه تقاضای آب شهری و صنعتی در آینده و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب بالقوه از طریق سرمایه‌گذاری در تکنولوژی و زیرساخت، مقدار (حداکثر) آب باقیمانده برای مصرف در بخش کشاورزی را تعیین می‌نماییم. سپس برنامه سازگاری با کمبود آب کشور را پیشنهاد می‌کنیم که کل مصرف آب را در ایران به سطح پایداری محیط‌زیستی خواهد رساند. در نهایت، کاهش میزان محصولات کشاورزی را در نتیجه اجرای برنامه پیشنهادی سازگاری محاسبه کرده و هزینه‌های اقتصادی مرتبط را هم در وضعیت مطلق و هم نسبت به تولید ناخالص داخلی[2] آینده محاسبه می‌کنیم.

1. Total actual renewable water resources (TARWR): The annualized total actual renewable water resource is the theoretical maximum annual volume of water resources available in a country. www.unesco.org. (مترجم)
2. Gross Domestic Product (GDP).

براساس داده‌های آب و هوا ارائه شده در مجموعه اطلاعات ناسا برای مدل سازی کشاورزی[1] [۱۲]، میانگین بلندمدت (۱۹۸۰-۲۰۱۰)[2] بارش سالانه در ایران حدود ۲۳۶ میلی‌متر (۳۸۲ میلیارد متر مکعب) است که با داده‌های ایستگاه‌های کنترل بارش در کشور سازگار است (شکل ۷) [۱۳]. تجزیه و تحلیل موقت[3] نشان می‌دهد که میانگین بارش در سال‌های ۱۹۸۰ لغایت ۲۰۱۰ به میزان ۱,۵ میلی‌متر در سال کاهش یافته است. با این حال، همه مناطق به یک میزان تحت تاثیر قرار نگرفته‌اند، غرب و شمال غرب ایران بیشترین افت در میزان بارش را نشان می‌دهند. به‌طور کلی درحدود یک چهارم از کشور، کاهش قابل توجهی در میزان بارش را تجربه کرده است (شکل ۷). علاوه برکاهش بارش، میانگین دمای سالانه ایران در هر دهه به میزان ۰,۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است که موجب از دست رفتن مقدار آب بیشتر از طریق تبخیر و تعرق[4] می‌شود [۱۳]. در نتیجه اثرات ترکیبی این دو عامل، در دسترس بودن منابع آب تجدیدپذیر واقعی[5] در ایران به طور متوسط از بیش از ۱۲۵ به ۸۹ میلیارد مترمکعب کاهش یافته است [۱۳] (منابع آب تجدیدپذیر واقعی به مجموع رواناَب‌های سطحی، ذخیره آب‌های زیرزمینی، و خالص متقابل آب‌های مرزی تعریف شده است). گزارش دقیق بیلان آب ایران در ضمیمه الف ارائه شده است.

خلاصه‌ای از فروض اساسی استفاده شده در این تجزیه و تحلیل در جدول ۱ ارائه شده است. در حال حاضر، مصرف کل آب در ایران درحدود ۹۶ میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود که معادل ۸۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر واقعی است. در حالی‌که برای کاهش بحران آب جاری، مصرف کل آب نبایستی بیش از۶۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر واقعی باشد[۱۴]. به این معنی که کل مصرف آب شیرین باید به ۵۳,۴ میلیارد مترمکعب کاهش یابد. با توجه به اولویت بالاتر برای مصارف آب شهری و صنعتی، فرض کردیم که مصارف آبیاری کشاورزی تنها بخشی است که تخصیص آب برای آن بایستی کاهش یابد. از این رو، بعد از تفریق مصارف آب شهری و صنعتی در آینده (۱۲,۱ میلیارد مترمکعب تا سال ۲۰۲۵)، ۴۱,۳ میلیارد مترمکعب آب شیرین برای مصارف آبیاری کشاورزی باقی خواهد ماند. با این حال، نسبتی از افت تولید ناشی از کاهش در آبیاری می‌تواند با کاشت کشاورزی دیم در اراضی آبیاری تحت تاثیر قرار گرفته، بهبود یابد. ما این عامل را در تجزیه و تحلیل خود مورد نظر قرار دادیم (نگاه کنید به شکل زیر). براساس برنامه سازگاری پیشنهادی، میزان آب سطحی ایران تا ۵۰ میلیارد مترمکعب (از منابع اولیه و ثانویه) افزایش خواهد یافت و تغذیه و برداشت آب‌های زیرزمینی کاملاً متعادل خواهد بود. اطلاعات بیشتر در مورد منابع آب ایران و مصرف و همچنین اثرات جریان زیست‌محیطی بر اکوسیستم در ایران در ضمیمه الف ارائه شده است.

---

1. NASA's Climate Forcing Dataset for Agricultural Modeling (AgMERRA)

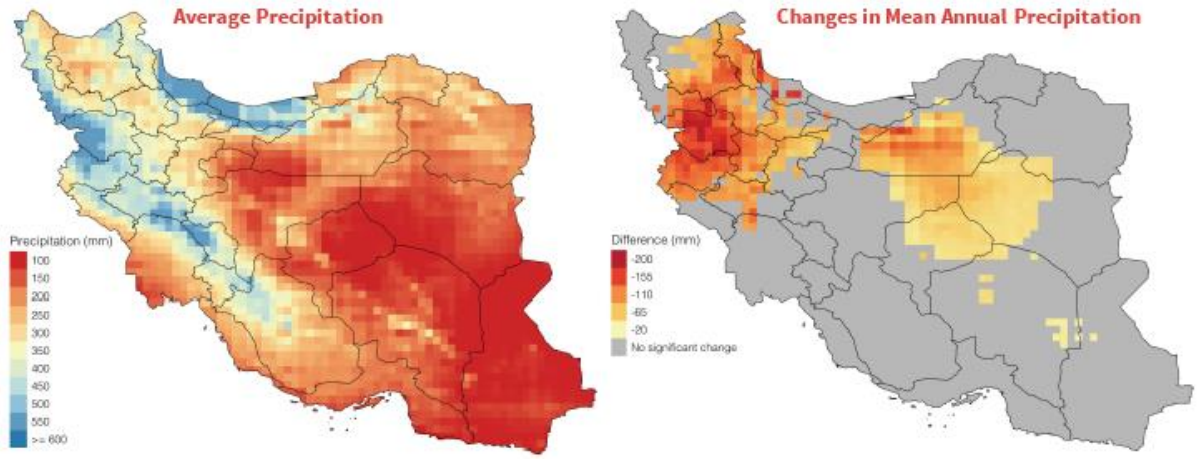
۲. سال‌های ۱۳۵۹-۱۳۸۹ هجری شمسی (مترجم).

3. Temporal statistical analysis enables you to examine and model the behavior of a variable in a data set over time (e.g., to determine whether and how concentrations are changing over time. The behavior of a variable in a data set over time can be modeled as a function of previous data points of the same series, with or without extraneous, random influences. www.itrcweb.org. (مترجم)

4. Evapotranspiration(ET)

5. Total actual renewable water resources (TARWR)

میانگین بلندمدت و تغییرات میانه بارش سالانه (۱۹۸۰-۲۰۱۰)



شکل ۷. میانگین بلندمدت (چپ) و تغییرات میانه بارش سالانه در ایران (راست) بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ براساس داده‌های AgMERRA[۱۲]. برای تک‌تک پیکسل‌ها، تغییرات زمانی بارش براساس شیب مدل رگرسیون خطی متناسب با سری زمانی متوسط بارش سالانه برآورد شده است. مناطق بدون تغییرات قابل توجه در بارش به رنگ خاکستری نشان داده شده است.

به‌منظور ارزیابی دقیقی از تاثیر کاهش آب در دسترس در بخش کشاورزی، بایستی دستاوردهای فنآوری در آینده از جمله مدرن‌سازی آبیاری، گسترش گلخانه‌ها و بهبود سیستم‌های زهکشی و شبکه‌های توزیع آب در نظر گرفته شود.

یک باور عمومی وجود دارد که استفاده از تکنیک‌های پیشرفته آبیاری (به عنوان مثال، آبیاری قطره‌ای) باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در میزان آب از طریق افزایش کارایی آبیاری، معمولاً از ۵۰ درصد تا بیش از۸۰ درصد می‌شود [۱۵]. در حالی که چنین اظهاراتی می‌تواند برای صرفه‌جویی در مزارع فردی معتبر باشد، در واقع آن‌ها از دو پیامد ناخواسته که در مقیاس حوضه آبریز هنگام تغییر آبیاری از سنتی به مدرن اتفاق می‌افتد، چشم‌پوشی می‌نمایند. اول، بخشی از آنچه که در آبیاری سنتی به عنوان آب از دست رفته در نظر گرفته می‌شود، در واقع قابل بازیافت است و از طریق بازگشت به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها به محیط‌زیست کمک می‌کند یا با نفوذ در زمین، سفره‌های آب زیرزمینی را تغذیه می‌نماید [۱۶]. اگرچه، کیفیت آب برگشتی از مزارع اغلب کمتر از آب اولیه مورد استفاده برای آبیاری (به عنوان مثال، آلوده به آفت‌کش‌ها، کود، و نمک) است. دوم، در صورت عدم وجود کنترل فیزیکی از منابع آب توسط دولت، نوسازی سیستم‌های آبیاری به‌طور طبیعی منجر به گسترش اراضی کشاورزی می‌شود، زیرا در یک کشور کم آب مانند ایران، تا زمانی که آب در دسترس است، تمایل به استفاده از آن وجود دارد. با توجه به این عوامل که غالباً نادیده گرفته شده، صرفه‌جویی آب واقعی توسط آبیاری با تکنولوژی بالا در سطح حوضه اغلب کمتر از مزارع فردی است [۱۵،۱۶].

حدود چهار میلیون هکتار از اراضی کشاورزی آبی (از جمله محصولات زراعی و باغات) در ایران مناسب برای ارتقاء به سیستم‌های آبیاری مدرن می‌باشند و توسعه فعلی در حدود ۱۰۰،۰۰۰ هکتار در سال است. صرفه‌جویی مورد انتظار در مصرف آب از اجرای سیستم‌های آبیاری مدرن برای هر هکتار در سطح مزرعه ۴۰۰۰ متر مکعب تخمین زده شده است. براساس داده‌های گزارش شده برای میزان آب برگشتی در بخش کشاورزی در ایران (جدول الف-۲، ضمیمه الف)، ما فرض می‌کنیم که صرفه‌جویی آب در سطح حوضه آبریز ۷۵ درصد میزان برآوردها در سطح مزرعه (۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) است. علاوه بر این، براساس داده‌های اخیر منتشره توسط وزارت جهادکشاورزی ایران [۴]، فرض می‌کنیم که بهبود در شبکه‌های زهکشی، انتقال آب و توزیع منجر به اضافه صرفه‌جویی آب به میزان ۰,۲ میلیارد مترمکعب در سال شود.

گسترش گلخانه‌ها می‌تواند توسعه دیگری باشد که بر مصرف آب کشاورزی آینده در ایران تأثیر می‌گذارد. از سال ۲۰۱۰[۱]، کل مساحت گلخانه‌ها در ایران با متوسط سالانه ۶۲۰ هکتار افزایش، به ۱۱،۲۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۶ [۲]رسیده است. در تجزیه و تحلیل ارائه شده در اینجا فرض می‌کنیم که سرعت گسترش گلخانه‌ها به گونه‌ای است که مساحت کل گلخانه‌ها تا سال ۲۰۲۵ [۳] به ۲۵۰۰۰ هکتار برسد. میانگین صرفه‌جویی آب در هر هکتار گلخانه با فرض کاهش ۵۰ درصد در تبخیر و تعرق و براساس آخرین اطلاعات محصولات ترکیبی تولید شده در گلخانه‌ها در ایران (به عنوان مثال، گوجه فرنگی، خیار و فلفل) [۴] درحدود ۴۰ هزار متر مکعب برآورد می‌شود. باتوجه به فروض فوق، برآورد می‌شود که کل عرضه آب اضافی و میزان آب ذخیره شده از طریق استفاده از تکنیک‌های پیشرفته آبیاری در آینده، گلخانه‌ها، آب بازیافت شده و بهبود زیرساخت‌های انتقال آب و زهکشی، به میزان ۶,۹ میلیارد مترمکعب به آب در دسترس در بخش کشاورزی اضافه می‌گردد و بدین ترتیب تا سال ۲۰۲۵ کل مصرف سالانه آب قابل استفاده برای کشاورزی ۴۸,۵ میلیارد مترمکعب می‌باشد. بنابراین،تا پایان دوره گذار برنامه سازگاری، دسترسی موثر آب بخش کشاورزی به میزان ۴۳ درصد نسبت به سطح کنونی آن کاهش می‌یابد. در قسمت بعدی این بخش توضیح می‌دهیم که چگونه چنین کاهشی در تخصیص آب به بخش کشاورزی بر مقدار، ترکیب و ارزش تولیدات کشاورزی ایران تاثیر می‌گذارد.

۱. سال ۱۳۸۹ هجری شمسی (مترجم)
۲. سال ۱۳۹۵ هجری شمسی (مترجم)
۳. سال ۱۴۰۴ هجری شمسی (مترجم)

جدول ۱. فرض‌های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل (۲۰۲۵ پایان دوره گذار)

برای اطلاعات بیشتر در خصوص بیلان آب ایران، به جدول الف–۲، ضمیمه الف مراجعه کنید.

پارامتر	۲۰۱۶	۲۰۲۵ (سناریوی سازگاری)
جمعیت	۸۰ میلیون	۸۷ میلیون
تولید ناخالص داخلی (به قیمت ثابت سال ۲۰۱۶– دلار)	۳۴۹ میلیارد دلار	۴۶۷ میلیارد دلار
درآمد سرانه واقعی (به قیمت ثابت سال ۲۰۱۶– دلار)	۴۴۰۰ دلار	۵۴۰۰ دلار
سبد مصرف غذا	مانند شکل ۴	مانند شکل ۴
شاخص قیمت غذا	۱۰۰	۱۱۵
ارزش کل مصرف مواد غذایی	۳۷ میلیارد دلار	۴۶ میلیارد دلار
کل منابع آب قابل تجدیدپذیر واقعی	۸۹ میلیارد مترمکعب	۸۹ میلیارد مترمکعب
کل مصرف آب	۹۶٫۴ میلیارد مترمکعب	۵۳٫۴ میلیارد مترمکعب
استفاده از آب شهری، روستایی و صنعتی	۱۰٫۸ میلیارد مترمکعب	۱۲٫۱ میلیارد مترمکعب
استفاده از آب کشاورزی	۸۵٫۶ میلیارد مترمکعب	۴۱٫۷میلیارد مترمکعب
منطقه تحت شبکه آبیاری مدرن	۱٫۶ میلیون هکتار	۳٫۰ میلیون هکتار
منطقه گلخانه‌ای	۱۱٫۲ کیلوگرم در هکتار	۲۵٫۰ کیلوگرم در هکتار
تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن	۱٫۲میلیارد متر مکعب	۱٫۵میلیارد مترمکعب
ذخیره آب اضافی یا عرضه	–	۶٫۹ میلیارد مترمکعب
توسعه شبکه آبیاری مدرن	–	۴٫۲میلیارد مترمکعب
بهبود زهکشی و انتقال آب	–	۱٫۸میلیارد مترمکعب
گسترش گلخانه‌ها	–	۰٫۶میلیارد مترمکعب
آب اضافی احیا شده	–	۰٫۳میلیارد مترمکعب
جبران خسارت زمین	–	۳۰ درصد از هزینه فرصت

در حال حاضر، به ترتیب ۲۳ درصد و ۲۴ درصد از کل منطقه ایران تحت شرایط بحرانی و شدید تنش آب زیرزمینی قرار دارند. تجزیه و تحلیل ما نشان می‌دهد که ۳۴ درصد از اراضی آبی موجود در ایران (از جمله محصولات کشاورزی و باغات) در مناطقی با تنش بحرانی، ۱۹ درصد در اراضی با تنش بالا و ۴۷ درصد در اراضی با تنش بی‌آبی و یا حداقل آب‌زیرزمینی طبقه‌بندی شده‌اند، هرچند این مقادیر در استان‌های مختلف به طور قابل توجهی متفاوت است (شکل ۸، پانل بالای صفحه). با ارزیابی ویژگی‌های خاک و اراضی ایران، همان‌طور که قبلاً در این گزارش مورد بحث قرار گرفت، تجزیه و تحلیل ما نیز نشان می‌دهد که ۱۹ درصد از اراضی آبی موجود در مناطقی با طبقه‌بندی نامناسب و ۳۳ درصد در اراضی با طبقه‌بندی بسیار ضعیف واقع شده‌اند (شکل ۸، پانل پایین). برای رعایت معیارهای پایداری برای

استفاده از آب در برنامه سازگاری پیشنهادی، حذف اراضی آبیاری با تنش بحرانی نسبت به اراضی دارای خاک ضعیف و امتیازات نامناسب توپوگرافی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد.

ما در مراحل ذکر شده در زیر به برآورد تاثیر برنامه سازگاری بر روی خروجی از بخش کشاورزی می‌پردازیم.

الف- برای تشکیل یک لیست اولیه از اراضی آبی ناپایدار[1]، ابتدا اراضی آبی در مناطق بحرانی تنش آب (صرف نظر از امتیاز مناسب بودن زمین) حذف شدند. در این مرحله حدود ۳۴ درصد اراضی آبیاری از تولید خارج شدند. با این حال، این مقدار کاهش در میزان اراضی آبیاری کشاورزی برای کاهش مصرف آب زیر آستانه کمبود کافی نبود.

ب- از اراضی باقی‌مانده آبیاری، اراضی آبیاری بیشتری را که کمترین امتیازات مناسب را داشتند، حذف کرده و به اراضی آبی ناپایدار اضافه کردیم.

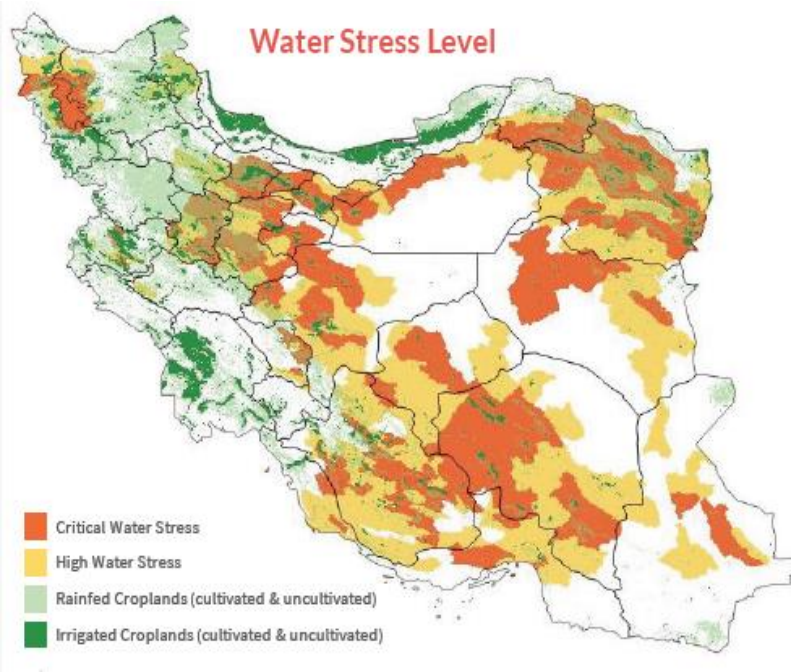
ج- برای هر استان، با دانستن منطقه کشت شده و تولید محصول از اراضی آبی و پس از حذف میزان اراضی آبی ناپایدار، تغییرات تولید هر محصول را برآورد کردیم. به عنوان مثال، اگر ۱۰ درصد از اراضی آبی در یک استان در لیست اراضی آبی ناپایدار قرار داشته باشند، تولید آبیاری هر محصول را به میزان ۱۰ درصد کاهش و میزان کاهش مصرف آب را برآورد کردیم. اگر کاهش در کل مصرف آب هنوز کافی نبود، مرحله (ب) از طریق اضافه کردن اراضی نامناسب دیگر به لیست اراضی آبی ناپایدار تکرار گردید.

د- در نهایت، با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی محصول (ضمیمه ب)، محصولات دیم گندم، جو و نخود را به عنوان محصولات بالقوه مناسب برای دیم مورد بررسی قرار داده تا بر روی اراضی آبی ناپایدار حذف شده کاشته شود (شکل ۹). این محصولات اکثریت کشاورزی دیم را در ایران تشکیل می‌دهند. سپس برای هر نقطه، براساس قیمت نسبی تولیدکننده (ضمیمه ج)، ما بهترین عملکرد محصول برای کشاورزی دیم را از لحاظ بازدهی اقتصادی (ضمیمه د) شناسایی کرده و تولید بالقوه اضافی این محصولات را به ارزش های تولید دیم موجود اضافه کردیم .

نتایج نهایی حاصل از پیگیری روش فوق در جدول ۲ ذکر شده است. به‌طورکلی، هنگامی‌که برنامه سازگاری به‌طور کامل اجرا شود، پیش‌بینی می‌کنیم که وزن و ارزش افزوده تولید محصولات کشاورزی ایران به ترتیب ۴۱ و ۴۴ درصد کاهش یابد. با این حال، تمام محصولات به طورمساوی تحت تاثیر قرار نخواهند گرفت. تولید گندم، جو و برنج به ترتیب فقط ۲۱ درصد، ۱۷ درصد و ۱۳ درصد کاهش می‌یابد. در مقایسه با محصولات اساسی، تولید محصولات کمتر استراتژیک مانند سبزیجات و محصولات تابستانی، حدود ۵۰ درصد افت خواهند کرد.

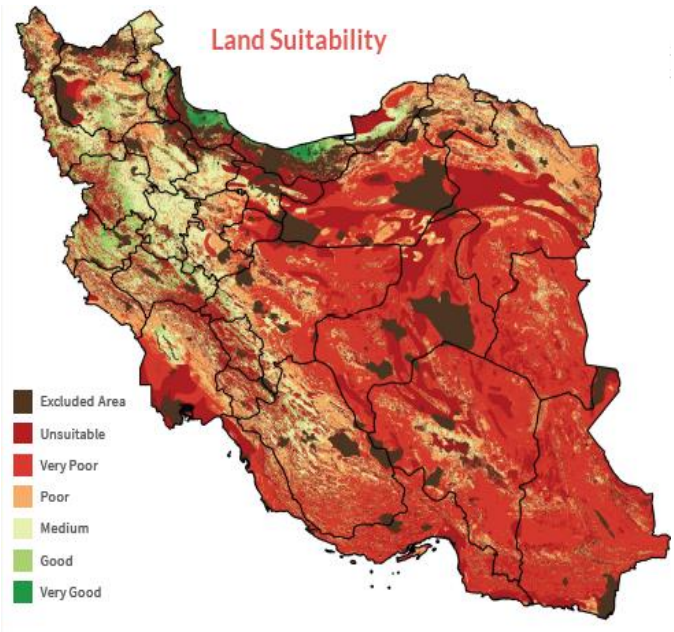
1. Unsustainable Irrigated Lands (UIL)

توزیع مزارع به تفکیک سطح تنش آبی و مناسب بودن اراضی



سهم مزارع آبی به تفکیک استان

استان	بحرانی (٪)	زیاد (٪)
البرز	۹۹	۰
اردبیل	۰	۴۶
بوشهر	۳	۰
چهارمحال بختیاری	۳۰	۲۳
آذربایجان شرقی	۸	۲۹
اصفهان	۶۶	۲۶
فارس	۴۷	۳۶
گیلان	۰	۰
گلستان	۰	۰
همدان	۵۱	۴۸
هرمزگان	۲۰	۷۳
ایلام	۰	۰
کرمان	۸۲	۱۸
کرمانشاه	۱۸	۲۸
خوزستان	۰	۰
کهکیلویه و بویر احمد	۰	۰
کردستان	۱	۰
لرستان	۰	۳
مارکزی	۴۹	۵۱
مازندران	۰	۰
خراسان شمالی	۳۱	۳۹
قزوین	۹۵	۱
قم	۹۹	۱
رضوی خراسان	۷۶	۱۸
سمنان	۷۴	۲۴
سیستان و بلوچستان	۱	۱۰
خراسان جنوبی	۳۱	۳
تهران	۹۶	۳
آذربایجان غربی	۵	۲۲
یزد	۶۴	۳۵
زنجان	۱	۴۰



سهم مزارع آبی به تفکیک مناسب بودن زمین

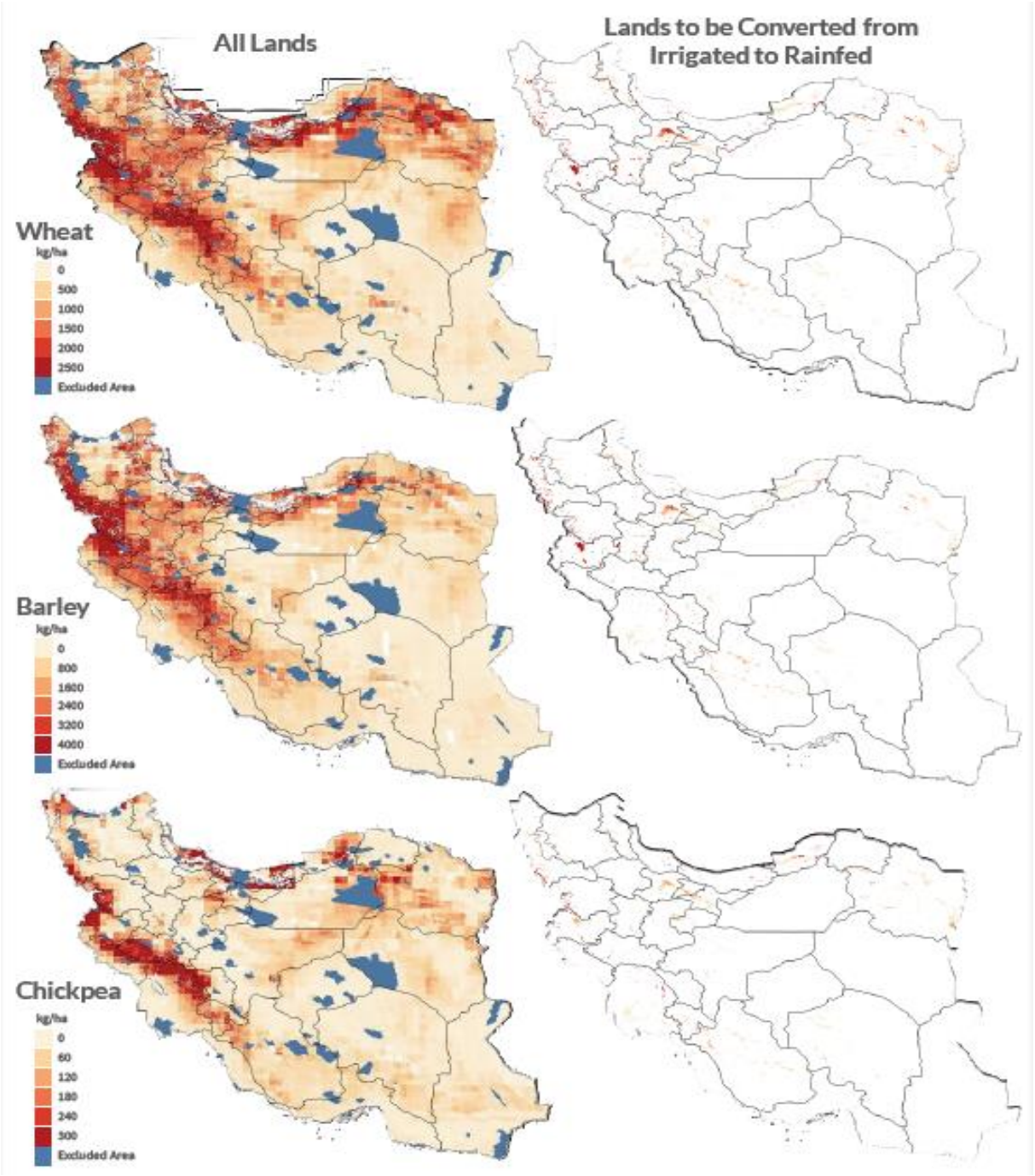
استان	نامناسب (٪)	بسیار ضعیف (٪)
البرز	۶	۶
اردبیل	۱۹	۲۲
بوشهر	۵۳	۷۶
چهارمحال بختیاری	۲۳	۳۰
آذربایجان شرقی	۱۳	۲۲
اصفهان	۵	۲۱
فارس	۳۰	۴۳
گیلان	۵	۶
گلستان	۲۴	۲۷
همدان	۳	۴
هرمزگان	۵۹	۸۵
ایلام	۱۳	۲۵
کرمان	۴۵	۸۱
کرمانشاه	۱۰	۱۳
خوزستان	۲۰	۴۵
کهکیلویه و بویر احمد	۳۵	۴۳
کردستان	۲۷	۳۴
لرستان	۱۶	۲۱
مارکزی	۵	۹
مازندران	۵	۷
خراسان شمالی	۱۱	۱۵
قزوین	۱۴	۱۵
قم	۱۳	۶۸
رضوی خراسان	۱۲	۲۸
سمنان	۳	۱۷
سیستان و بلوچستان	۳۹	۷۶
خراسان جنوبی	۱۲	۸۸
تهران	۲	۵
آذربایجان غربی	۱۶	۲۱
یزد	۲۵	۷۵
زنجان	۶	۸

شکل ۸ . نقشه مزارع (آبی و دیم) برای هر دو مورد کشت شده و کشت نشده [۱۷] و تنش آب در منطقه مورد مطالعه [۱۸] (پانل بالا) و نقشه مناسب بودن زمین برای کشاورزی (پانل پایین) [۷].

جدول‌های بالا و پایین، سهم مزارع آبی در هر استان را به ترتیب با تنش آبی و مناسب بودن زمین مقایسه می‌کند. برای اطلاعات بیشتر در مورد حوضه‌ها، زیرحوضه‌ها و مناطق مورد مطالعه، به پیوست الف مراجعه کنید.

متوسط عملکرد کشت دیم محصولات زراعی منتخب

کل اراضی **اراضی که بایستی از آبی به دیم تبدیل شوند**



شکل ۹. ارزیابی عملکرد متوسط گندم، جو و نخود دیم در کل کشور (ستون سمت چپ) و اراضی که از آبی به دیم تبدیل می‌شوند (به عبارت دیگر آن‌هایی که در مناطق بحرانی با تنش آبی قرار دارند و / یا در شرایط بسیار نامناسب از نظر خواص خاک یا زمین می‌باشند ستون سمت راست).

جدول ۲. تغییرات در تولید محصولات کشاورزی پس از اجرای برنامه سازگاری با کم آبی

محصول	آبیاری شده (کیلو تن)		دیم (کیلو تن)		تغییر خالص
	۲۰۱۶	پس از سازگاری	۲۰۱۶	پس از سازگاری	(درصد)
یونجه	۵۸۹۴	۳۰۴۸	۱۴۸	۱۴۸	-۴۷
جو	۲۳۵۵	۹۳۴	۱۳۶۹	۲۱۶۶	-۱۷
لوبیا	۲۲۹	۱۴۸	۱	۱	-۳۵
نخود	۱۷	۸	۲۵۵	۲۹۸	+۱۲
شبدر	۲۷۰	۱۹۳	۲۳۰	۲۳۰	-۱۵
پنبه	۱۵۹	۶۷	۲	۲	-۵۷
خیار	۱۶۷۲	۸۰۵	۹	۹	-۵۲
میوه‌ها	۱۹۶۶۱	۹۱۹۰	۱۳۴۶	۱۳۴۶	-۵۰
ذرت دانه‌ای	۱۱۷۱	۶۶۹	۰	۰	-۴۳
عدس	۹	۵	۷۴	۷۴	-۵
خربزه	۱۴۷۷	۵۲۲	۱۳	۱۳	-۶۴
پیاز	۲۳۹۵	۱۱۷۲	۶	۶	-۵۱
سایر محصولات کشاورزی	۱۸۴	۱۱۴	۴	۴	-۳۷
سایرمواد غذایی	۲۵۹۱	۱۳۹۷	۲۵۵	۲۵۵	-۴۲
سایر حبوبات	۶۹	۴۸	۱۸	۱۸	-۲۴
سایر محصولات روغنی	۶۴	۴۵	۵	۵	-۲۷
سایر محصولات تابستانی	۷۳۱	۲۸۰	۵۲	۵۲	-۵۸
سایر سبزیجات	۳۶۶۷	۱۸۸۵	۱۲۲	۱۲۲	-۴۷
سیب زمینی	۴۹۸۴	۲۸۱۷	۱۱	۱۱	-۴۳
کلزا	۵۵	۳۴	۱۳	۱۳	-۳۱
برنج	۲۹۲۱	۲۵۴۴	۰	۰	-۱۳
گلرنگ	۵	۲	۰	۰	-۶۴
کنجد	۳۵	۱۴	۲	۲	-۵۸
ذرت سیلیس	۱۱۲۷۷	۴۴۶۲	۳۹	۳۹	-۶۰
سویا	۱۲۴	۹۷	۱۶	۱۶	-۱۹
چغندر قند	۵۹۶۶	۳۴۱۳	۰	۰	-۴۳
نیشکر	۷۴۸۰	۶۰۱۴	۰	۰	-۲۰
آفتابگردان	۱۰	۷	۳	۳	-۲۴
تنباکو	۲۱	۱۱	۰	۰	-۴۸
گوجه‌فرنگی	۵۸۰۷	۲۵۵۱	۲۱	۲۱	-۵۶
هندوانه	۳۹۰۵	۱۸۶۴	۱۸۸	۱۸۸	-۵۰
گندم	۸۸۴۳	۵۰۴۶	۵۷۴۹	۶۴۸۵	-۲۱
جمع	۹۴۰۴۹	۴۹۴۰۵	۹۹۵۰	۱۱۵۲۶	-۴۱

در اینجا، ما هزینه‌های برنامه سازگاری پیشنهادی را در ارتباط با توسعه سیستم‌های مدرن آبیاری و ساختارهای گلخانه‌ای تخمین می‌زنیم. به‌طور معمول، هزینه‌های سرمایه‌ای برای ساخت یک گلخانه با توجه به نوع و امکانات در دسترس در محدوده ۱۰۰ هزار دلار تا ۵۰۰ هزار دلار برای هر هکتار می‌باشد. با در نظر گرفتن میانگین هزینه ۳۰۰ هزار دلار برای هر هکتار و عمر مفید مورد انتظار بیست سال، هزینه‌های استهلاک سالانه مرتبط با مزارع گلخانه‌ای اضافی که در آینده ساخته می‌شوند، حدود ۱۵ هزار دلار در هکتار است. به همین ترتیب، با فرض هزینه‌های سرمایه‌ای ساختمانی ۱۸۰۰ دلار در هکتار و عمر مفید مورد انتظار پانزده سال، هزینه‌های استهلاک سالانه مرتبط با آبیاری با تکنولوژی بالا ۱۲۰ دلار در هر هکتار تخمین زده می‌شود.

بنابراین در بلندمدت برای حفظ و نگهداری از ظرفیت گلخانه‌ای نصب شده اضافی (۱۴۰۰۰ هکتار) و سیستم آبیاری با تکنولوژی بالا (۱,۴ میلیون هکتار) به سرمایه‌گذاری سالانه به میزان ۳۸۰ میلیون دلار نیاز است. در نهایت شکی نیست که خسارت بازندگان در تغییر الگوی پیشنهادی باید جبران شوند چون در غیر این صورت با هر تغییری مخالفت خواهند کرد. برای این منظور، جبران خسارت به میزان ۳۰ درصد هزینه فرصت کشاورزی فرض شده که به کشاورزان آسیب‌دیده به‌منظور کنار گذاشتن اراضی‌شان پرداخت می‌شود. خالص مخارج اضافی برای محصولات کشاورزی به مجموع خالص تجارت بین‌المللی مواد غذایی ایران و هزینه‌های سالانه مرتبط با نگهداری از ظرفیت گلخانه‌ای نصب شده اضافی و سیستم‌های آبیاری با تکنولوژی بالا به اضافه جبران خسارت کشاورزان برای اراضی کنار گذاشته شده تعریف می‌شود. نرخ رشد تولید ناخالص داخلی ایران در آینده (با تاثیرکاهش میزان فعالیت‌های کشاورزی)، ۳ درصد در سال در نظر گرفته شده است. از آنجا که نتایج کاهش فعالیت‌های کشاورزی در برگیرنده کاهش استفاده از ذخایر آب‌های زیرزمینی و تخصیص آب‌های سطحی بیشتری به محیط زیست است، مسائل مربوط به کیفیت آب در این مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است.

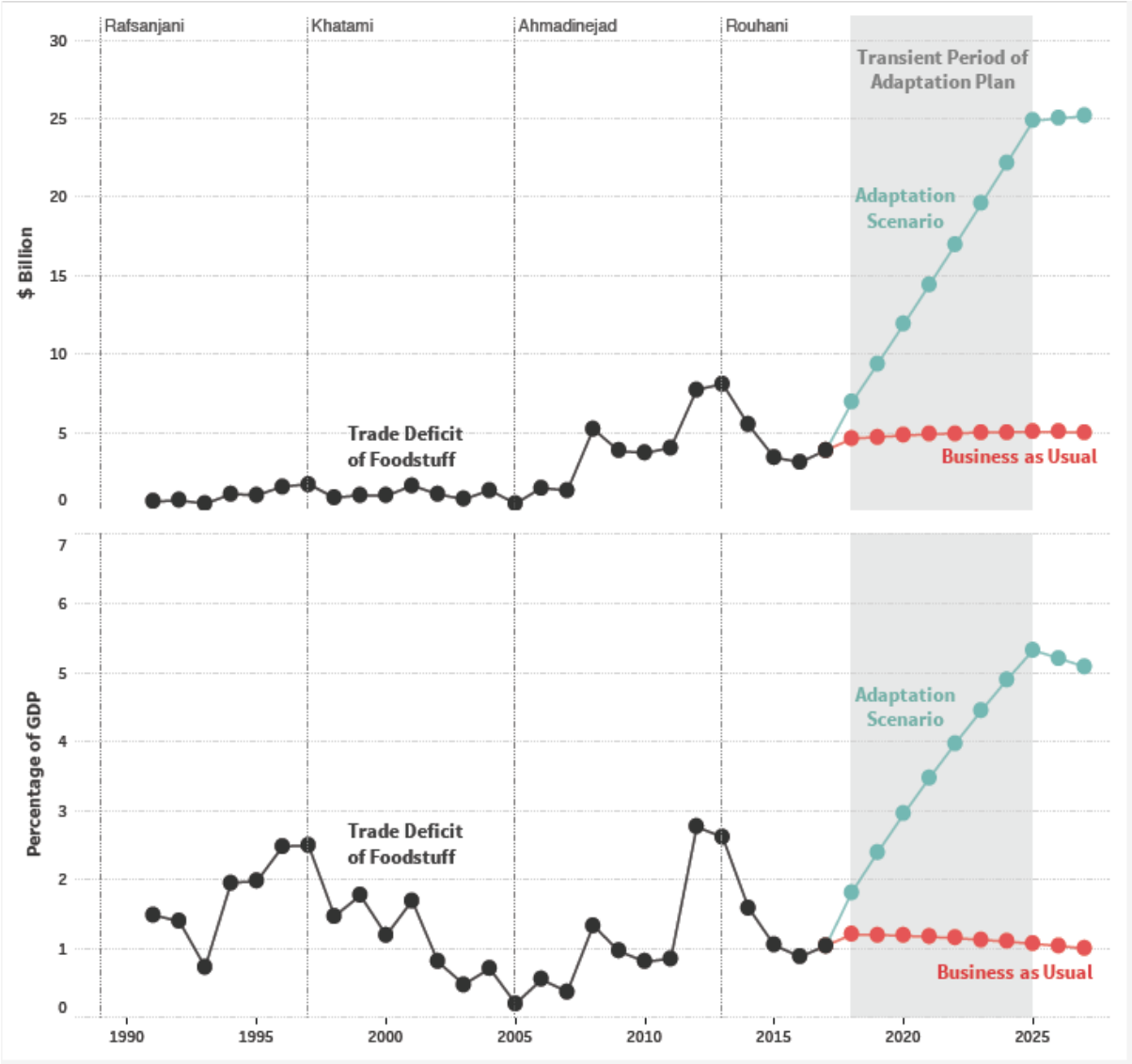
عوامل اضافی که می‌توانند در آینده به طور بالقوه ارتباطات آب و غذا را تحت تأثیر قرار دهند اما در تجزیه و تحلیل (یا به علت عدم قطعیت‌های مرتبط با آن‌ها و یا اثرات کوچک آن) حذف شده‌اند و همچنین ارزیابی مختصری از تاثیرات بالقوه آن‌ها بر وضعیت آب در ایران در ضمیمه هـ ارائه شده است.

نتایج نهایی تجزیه و تحلیل از نظر هزینه‌های اقتصادی تحت دو سناریوی کسب و کار به‌طور معمول و برنامه سازگاری پیشنهادی در شکل ۱۰ ارائه شده است. ما پیش‌بینی می‌کنیم در حالی که کسری تجاری کشاورزی ایران با توجه به سناریوی کسب و کار به‌طور معمول نزدیک به ۵ میلیارد دلار در میان‌مدت تا بلندمدت باقی خواهد ماند، هزینه‌های سالانه مرتبط با برنامه سازگاری، شامل کسری تجاری کشاورزی و کاهش تجهیزات اضافی، تا پایان دوره گذار به ۲۵ میلیارد دلار برسد. پس از دوره گذار برنامه سازگاری، هزینه‌های سالانه با نرخ کمتری افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، نسبت هزینه‌های سازگاری به تولید ناخالص داخلی (انتهای شکل ۱۰) در پایان دوره گذار و قبل از کاهش دوباره با

توجه به رشد اقتصادی آینده، به اوج ۵,۵ درصد خواهد رسید. با این حال، اگر روند فعلی تولید محصولات کشاورزی ادامه یابد، نسبت واردات مواد غذایی به تولید ناخالص داخلی به احتمال زیاد در بلند مدت کاهش خواهد یافت، زیرا نرخ رشد اقتصادی فراتر از افزایش تقاضای غذا خواهد شد (توجه داشته باشید که کشش درآمدی تقاضا برای غذا (n) کاهش می‌یابد زمانی‌که درآمد سرانه واقعی (pci) افزایش می یابد).

برای قرار دادن مفاهیم برنامه سازگاری پیشنهادی در یک چارچوب، نسبت واردات مواد غذایی به تولید ناخالص داخلی را برای تعدادی از کشورها با سطوح مختلف درآمد و دسترسی به آب مقایسه می‌کنیم (شکل ۱۱). در دهه‌های گذشته، تجارت مواد غذایی در بین کشورهای در حال توسعه به‌طور قابل ملاحظه‌ای گسترش یافته و در نتیجه، امنیت غذایی جهانی به‌طور کلی بهبود یافته است. در عین حال، سیاست‌هایی که به دنبال به حداکثر رساندن منافع از مزایای نسبی کشور هستند جایگزین سیاست‌های کشاورزی ملی با هدف حفظ درجه بالایی از خودکفایی مواد غذایی شده‌اند. اگر چه سهم کشاورزی در اقتصاد به‌طور معمول با توسعه‌یافتگی کشور کاهش می‌یابد، کشورهای با درآمد بالاتر به‌طور کلی سهم کمتری از درآمد خود را برای واردات مواد غذایی از خارج از کشور صرف می‌کنند [۸]. انتظار می‌رود که برنامه سازگاری که در این تحقیق بیان شده، نسبت واردات مواد غذایی به تولید ناخالص داخلی را از میزان فعلی ۲,۵ درصد به ۵,۵ درصد افزایش دهد که همچنان در محدوده معقولی با توجه به سطح درآمد سرانه و میزان دسترسی به منابع آب در ایران است. با این حال، پس از دوره گذار، این نسبت احتمالاً کاهش خواهد یافت.

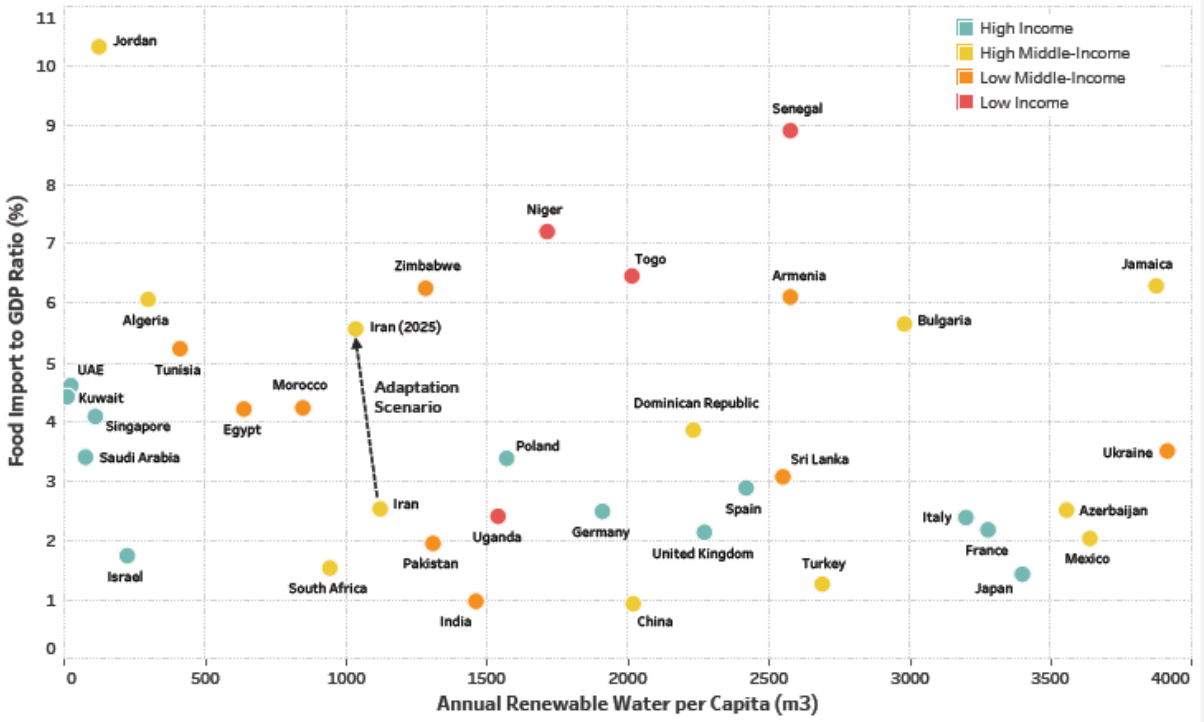
برآورد هزینه‌های برنامه سازگاری با کم آبی در ایران



شکل ۱۰. روند تاریخی و پیش‌بینی‌های آینده کسری تجاری کشاورزی (پانل بالا)

مقادیر پیش‌بینی شده برای هزینه‌های کسب و کار در سناریوی معمول بیان‌کننده کسری تجاری مواد غذایی آینده ایران (واردات منهای صادرات) است در حالی که در سناریوی سازگاری شامل کسری تجاری مواد غذایی در آینده، برآورد هزینه‌های استهلاک امکانات و تجهیزات اضافی (آبیاری با تکنولوژی بالا و گلخانه‌ها) و جبران خسارت‌هایی که به کشاورزان متضرر برای اراضی کنار گذاشته شده پرداخت می‌شود. پانل پایین نشان‌دهنده نسبت متغیرهای فوق به تولید ناخالص داخلی ایران است. ما یادآوری می‌کنیم که سناریوی کسب و کار به‌طور معمول بر این فرض استوار است که سطح فعلی حاصلخیزی خاک و دسترسی به آب برای کشاورزی در آینده بدون تغییر باقی خواهد ماند. به این ترتیب، این سناریو بیش از حد خوش بینانه است که بعید به نظر می رسد در آینده تحقق یابد.

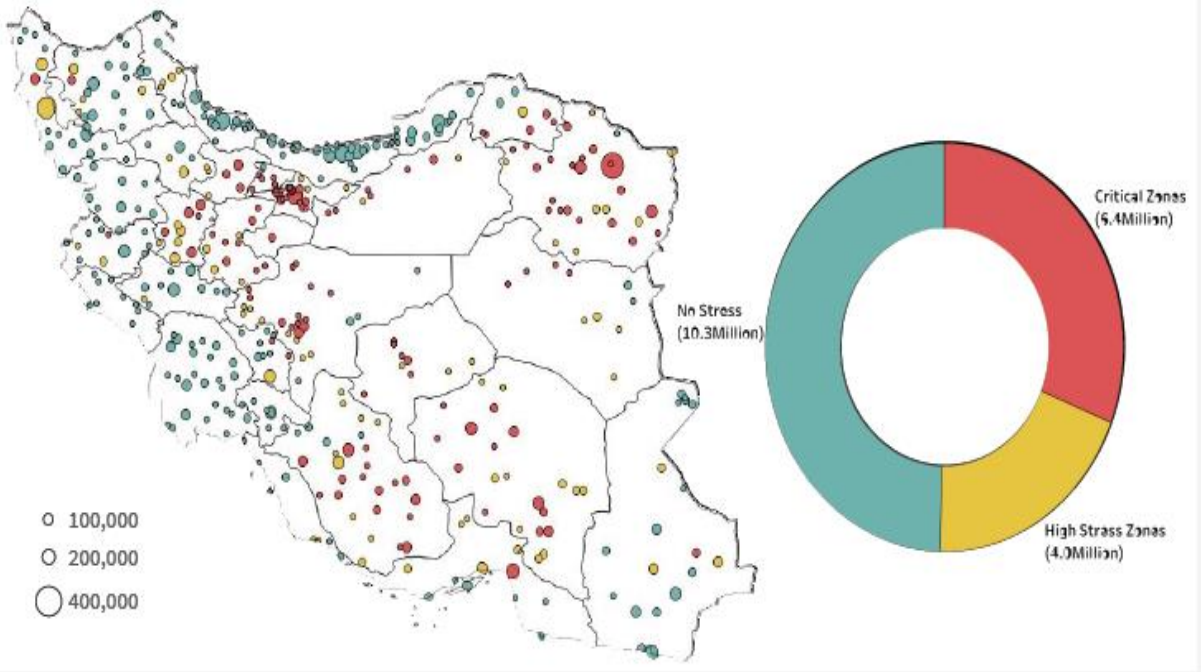
نسبت میزان واردات مواد غذایی به تولید ناخالص داخلی در مقابل سرانه منابع آب تجدیدپذیر سالانه



شکل ۱۱. نسبت میزان واردات مواد غذایی به تولید ناخالص داخلی (۲۰۱۶) در مقابل سرانه منابع آب تجدیدپذیر سالانه برای کشورهای منتخب با سرانه منابع آب تجدیدپذیر واقعی سالانه کمتر از ۴۰۰۰ مترمکعب [۱۹،۲۰،۲۱].

در نهایت، به این نکته توجه داریم که تغییرات در بخش کشاورزی ایران چه ناشی از برنامه سازگاری و چه به عنوان نتیجه ناخواسته فقدان آب برای کشاورزی، می‌تواند بر سلامت و توزیع میلیون ها نفر از مردم ساکن در مناطق روستایی تأثیر بگذارد. براساس آخرین اطلاعات سرشماری [۱۰]، از ۸۰ میلیون نفر جمعیت ایران، حدود سه چهارم جمعیت در مناطق شهری (حدود ۴۳۰ شهر یا شهرستان) و یک چهارم جمعیت در مناطق روستایی (حدود ۲۶۰۰ محلات روستایی یا دهستان‌ها) زندگی می‌کنند. در حال حاضر حدود ۶,۴ میلیون نفر یا ۳۱ درصد از جمعیت روستایی ایران، در مناطقی با شرایط بحرانی تنش آب‌های زیرزمینی و ۴،۰ میلیون نفر دیگر نیز در مناطق روستایی با سطوح بالای تنش آب‌های زیرزمینی زندگی می‌کنند (شکل ۱۲). این بدان معنی است که بحران آب ایران می‌تواند منجر به توزیع مجدد گسترده‌ای از جمعیت از مناطق روستایی ومناطق کمبود آب به سمت شهرها شود.

توزیع جمعیت روستایی به تفکیک سطح تنش آب‌های زیرزمینی



شکل ۱۲. توزیع جمعیت روستایی ایران به تفکیک سطح تنش آب‌های زیرزمینی
داده‌های جمعیت و سطوح تنش آب از منابع [۱۰،۱۸] بدست آمده است.

نتیجه‌گیری

طی دهه گذشته بحران آب ایران به یک الگوی جدید تبدیل شده است و تاثیرات آن در زندگی روزمره میلیون‌ها نفر دیده می‌شود. دلایل اساسی که موجب ایجاد و تشدید این بحران شده است عبارتند از:

- جمعیت زیاد و رو به رشد کشور؛
- افزایش تقاضای سرانه غذا به ویژه برای محصولاتی که آب زیادی مصرف می‌کنند به دلیل افزایش درآمد سرانه؛
- ایجاد اشتغال ناکافی در بخش‌های دیگر برای جذب کشاورزان که منجر به افزایش هزینه‌های اجتماعی مرتبط با اقدامات بالقوه محدودکننده برای کاهش فعالیت‌های کشاورزی شده است؛
- چند دهه سیاست‌های حمایت و تقویت خودکفایی مواد غذایی به عنوان یکی از ارکان اصلی برای استقلال کشور؛
- حکمرانی و مدیریت ضعیف منابع آب با رویکرد افزایش عرضه آب در حالی که تلاش کمی برای بهبود بهره‌وری در مصرف منابع آب انجام شده است. این موضوع بخشی به دلیل حضور گروه‌های ذی‌نفوذ در سیستم است که اجازه ساخت تعداد زیادی سدهای غیرضروری را از بودجه عمومی می‌دهد و از توسعه چند صد هزار حلقه چاه آب غیرقانونی چشم‌پوشی می‌نماید؛

- افزایش متوسط دما و کاهش متوسط بارش، هر دو احتمالاً به علت تغییرات آب و هوایی است؛

امروزه سهم محیط‌زیست از کل منابع آب‌های تجدیدپذیر در کشور به سطح پایینی رسیده است به‌طوری که محیط‌زیست دارای ظرفیت اضافی نمی‌باشد تا با انتقال، کمبود آب در بخش‌های دیگر را جبران و تأمین نماید. از این پس سیستم، تقریباً یک وضعیت مجموعاً صفر را نشان می‌دهد جایی که صرفاً توزیع مجدد جغرافیایی یا بخشی یارانه آب در کشور تنها درد را از یک نقطه به نقطه دیگری در داخل سیستم منتقل می‌کند. هرچقدر این وضعیت بیشتر ادامه یابد، اختلافات میان مناطق یا بین بخش‌ها در مورد حقوق آب که اخیراً نیز رخ داده ، بیشتر می‌شود.

تا زمانی که آب در ایران در دسترس باشد، تمایل به استفاده از آن وجود دارد. بنابراین، بازگرداندن به تعادل پایدار در عرضه و تقاضای آب در ایران نمی‌تواند بدون کنترل فیزیکی منابع آب توسط دولت به دست آید. هنگامی که دولت قادر به اجرای مقرراتی در مورد میزان مصرف آب شود، اجرای قوانین برای تخصیص کارآمدتر و آبیاری با تکنولوژی بالا باید به عنوان گام مکمل در نظر گرفته شود. مهم است بدانیم که بدون کنترل فیزیکی آب توسط دولت، استفاده از آبیاری با تکنولوژی بالا در واقع می‌تواند موجب افزایش مصرف آب شود زیرا در ارتقاء از آبیاری سنتی به آبیاری با تکنولوژی پیشرفته، مناطق آبیاری می‌توانند گسترش پیدا کنند. علاوه بر این، خسارت بازندگان در تغییر الگوی پیشنهادی قطعاً باید از بودجه عمومی جبران شود، چون در غیر این صورت با اصلاحات و یا با هر تغییری مخالفت خواهند کرد.

علی‌رغم هزینه‌های بالای سرمایه، مصرف زیاد انرژی و عواقب عظیم محیط‌زیست، شیرین‌سازی آب (برای اهداف غیر از فراهم آوردن آب شهری) به عنوان راه حل بالقوه برای بحران آب در ایران به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، مشکل کمبود آب در ایران باید ترکیبی از افزایش بهره‌وری آب (مثلاً آبیاری مدرن)، خاتمه انتخابی برخی از فعالیت‌های آب‌بر و افزایش استفاده از آب بازیافت شده باشد. پیشنهاد ارائه شده در این گزارش نشان می‌دهد از آنجا که نیاز به ذخیره آب به میزان ۴۴ میلیارد مترمکعب می‌باشد لذا منفعت بالقوه ناشی از افزایش بهره‌وری آب کشاورزی (خروجی در هر قطره) در ایران که حدود ۷ میلیارد مترمکعب برآورد شده، جوابگو نمی‌باشد. از این‌رو راه‌حل نهایی، تا حد زیادی بایستی به کاهش تخصیص منابع آب به بخش کشاورزی متکی باشد. ما برآورد می‌نماییم که انقباض حاصل از کشاورزی به ۳۰۰ دلار هزینه های اضافی برای واردات مواد غذایی برای هر نفر در سال منجر می‌شود. ارزش کل محصولات وارداتی (آب مجازی) تقریبا برابر با حداکثر ۵,۵ درصد از سطح تولید ناخالص داخلی آتی ایران است.

با توجه به واقعیت‌های چشم‌انداز آب و خاک ایران، نتیجه می‌گیریم که امید به سطح بالایی از خودکفایی در بلندمدت تنها یک مفهوم دست‌نیافتنی است. در عوض خودکفایی، سیاست‌مداران باید هدف اصلی خود را تضمین

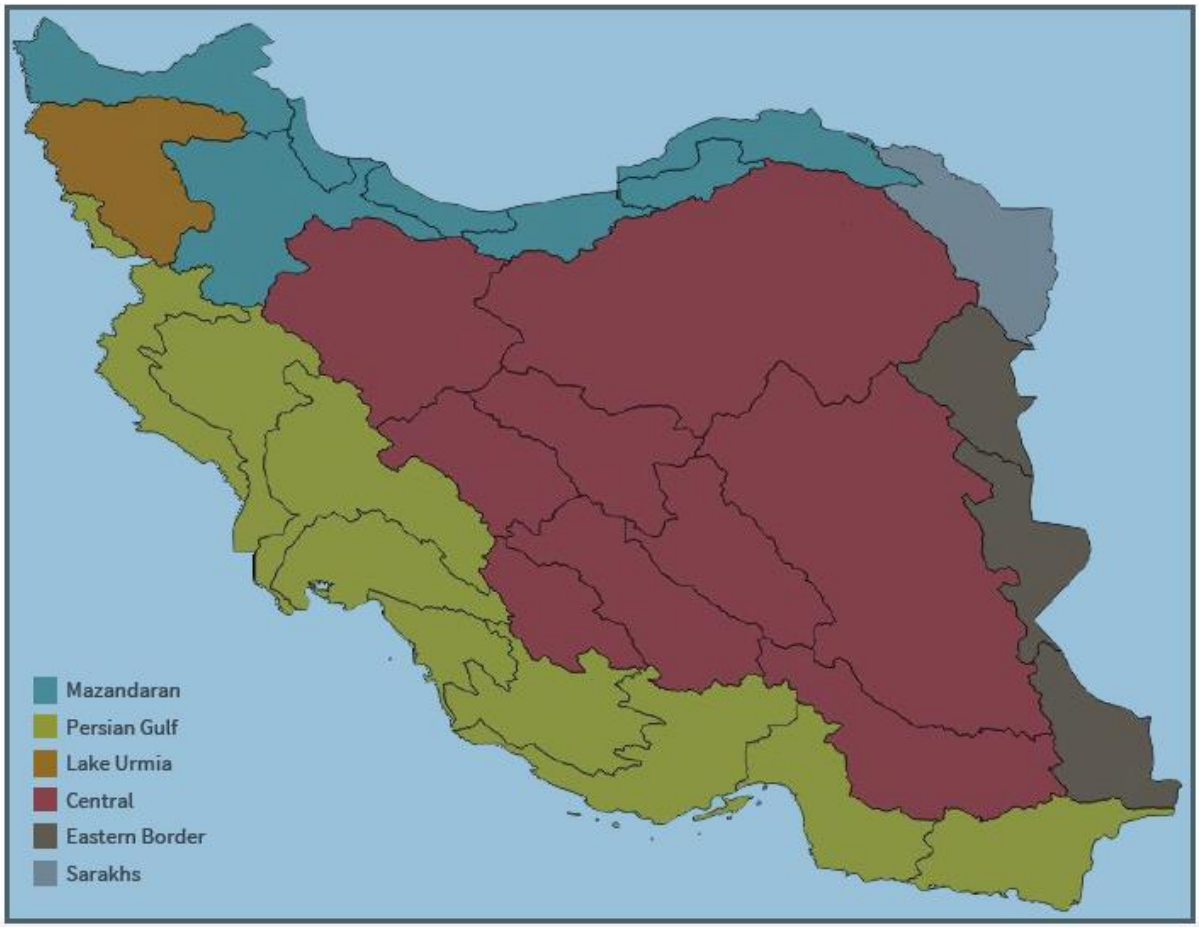
امنیت غذایی کشور تعیین نمایند که می‌تواند با تقویت بخش‌های دیگر اقتصاد به منظور وارد کردن مواد غذایی بیشتر محقق شود. علاوه بر این، بایستی از افزایش میزان باروری بالاتر از سطح کنونی که در واقع نزدیک به سطح جایگزینی است، خودداری شود؛ چرا که فقط کمبود آب رو به رشد و خطر امنیت غذایی در نسل‌های آینده را تشدید می‌کند. به منظور اتخاذ تصمیمات آگاهانه توسط سیاست‌گذاران، کارشناسان و محققان بایستی ساختار مدرن حکمرانی آب برای ایران شامل بیلان مکانی و زمانی دقیقی برای منابع آب در دسترس در مقیاس‌های مختلف، حداکثر مصارف مجاز و توزیع عادلانه و اقتصادی آب در میان ذی‌مدخلان مختلف را توسعه دهند. در این میان تعیین الگوهای کشت منطقه‌ای بهینه شده با مصرف آب، مناسب با آب و هوا و سودآوری اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از این رو کارشناسان باید تلاش خود را برای تحقیق و توسعه فعالیت‌هایی که نتایج ملموسی را تولید می‌نمایند، اختصاص دهند. آن‌ها همچنین باید به طور واضح و صحیح واقعیت‌های موضوع را برای سیاست‌گذاران و مردم به منظور همکاری برای توسعه یک برنامه ملی برای مقابله با بحران آب وحشتناکی که کشور ایران با آن روبرو است، توضیح دهند.

منابع

1. Iran’s Annual Statistical Yearbooks, The Statistical Center of Iran, 1989 – 2016, (in Farsi and English).
2. Iran’s Water Resource Management Company, Iran’s Dams Statistics, (daminfo.wrm.ir).
3. J. Clapp, Food self-sufficiency and international trade: a false dichotomy. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
4. Annual Agriculture Statistics, Vol. 1–3, Iranian Ministry of Agriculture, 2013 – 2016, (In Farsi).
5. A Statistical Overview of Field Crops Harvested Area and Production in the Past 36 Years,Iranian Ministry of Agriculture, 2015, (In Farsi).
6. Highlights of Census of Agriculture, USDA, 2012.
7. M. Mesgaran, K. Madani, H. Hashemi, P. Azadi, Evaluation of Land and Precipitation for Agriculture in Iran, Working Paper 2, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University,December 2016.
8. G.W. Norton, J. Alwang, W.A. Masters, Economics of Agricultural Development: World Food Systems and Resource Use, 3rd Edition, Routledge, 2014.
9. F. Roudi, P. Azadi, M. Mesgaran, Iran’s Population Dynamics and Demographic Window of Opportunity, Working Paper 4, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University, 2017.
10. The 2016 Census Data, Statistical Center of Iran, https://www.amar.org.ir.
11. World Bank Commodities Price Forecast, The World Bank Group, released: April 24, 2018.
12. A.C. Ruane, R. Goldberg, and J. Chryssanthacopoulos, AgMIP Climate Forcing Datasets for Agricultural Modeling: Merged products for Gap-filling and Historical Climate Series Estimation, Agricultural and Forest Meteorology, 200, 2015.
13. Water crisis and feasibility study of connecting the northern and southern waterbodies of the country, 7th Edition, Plan and Budget Organization of Iran, 2018 (in Farsi).
14. The Millennium Development Goals Report, United Nations, 2015.
15. C. Perry, Inquiry into Water Use Efficiency in Australian Agriculture, Water Conservation Technical Briefs, Submission 47, June 2012.
16. C. Perry, Does Improved Irrigation Technology Save Water? A Review of the Evidence, Food and Agriculture Organization of United Nations, 2017.
17. M.K. Gumma, P.S. Thenkabail, P. Teluguntla, A.J. Oliphant, J. Xiong, R.G. Congalton, K.Yadav, A. Phalke, C. Smith, NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSUREs) Global Food Security-support Analysis Data (GFSAD)Cropland Extent 2015 South Asia, Afghanistan, Iran 30 m V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2017.
18. Map of the Status of Iran’s Underground Water at Sub-basin Level, Ministry of Energy,2017.
19. Aqustat Database, Food and Agriculture Organization of United Nations, (fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm).
20. Countries GDP per Capita, World Bank Open Data, The World Bank Group, (data.worldbank.org).
21. Countries Trade of Food, World Integrated Trade Solutions, (witz.worldbank.org).

22. Water Resource Management and Sustainable Development, Iran Water Resource Management Company, Report No 7374, (http://wrbs.wrm.ir/), (in Farsi).
23. Global Environmental Flow Information System, International Water Management Institute (gef.iwmi.org).
24. V.U. Smakhtin, N. Eriyagama, Developing a Software Package for Global Desktop Assessment of Environmental Flows. Environmental Modelling & Software, 23, 2008.
25. G. Hoogenboom, C.H. Porter, V. Shelia, K.J. Boote, U. Singh, J.W. White, L.A. Hunt, R. Ogoshi, J.I. Lizaso, J. Koo, S. Asseng, A. Singels, L.P. Moreno, and J.W. Jones, Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7 (https://DSSAT.net).DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA, 2017.
26. J.W. Jones, G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W.Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman, J.T. Ritchie, The DSSAT cropping system model.European journal of agronomy, 18, 2003.
27. F. Ludwig, S. Asseng, Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. Agricultural Systems, 90, 2006.
28. C. Rosenzweig, J. Elliott, D. Deryng, A.C. Ruane, C. Müller, A. Arneth, K.J. Boote, C.Folberth, M. Glotter, N. Khabarov, K. Neumann, Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111, 2014.
29. E. Eyshi-Rezaie, M. Bannayan, Rainfed wheat yields under climate change in northeastern Iran. Meteorological Applications, 19, 2012.
30. B. Ababaei, T.M. Sarai, B.B. Farhadi, T. Sohrabi, F. Mirzaei, Calibration of CERES-Barley model using inverse modeling method under deficit irrigation conditions. Journal Water and Soil Resources Conservation, 2, 2013.
31. Singh, P., & Virmani, S. (1996). Modeling growth and yield of chickpea (Cicer arietinum L.).Field Crops Research, 46(1-3), 41-59.
32. T. Hengl, J.M. de Jesus, G.B. Heuvelink, M.R. Gonzalez, M. Kilibarda, A. Blagotić, W.Shangguan, M.N. Wright, X. Geng, B. Bauer-Marschallinger, M.A. Guevara, SoilGrids250m:Global gridded soil information based on machine learning. PLoS ONE, 12, 2017.
33. W. Shangguan, Y. Dai, Q. Duan, B. Liu, H. Yuan, A global soil data set for earth system modeling. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 6, 2014.
34. K.E. Saxton, W.J. Rawls, Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil science society of America Journal, 70, 2006.
35. S. Bontemps, P. Defourny, E.V. Bogaert, O. Arino, V. Kalogirou, J.R. Perez, GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report (ESA and UCLouvain), 2011.
36. UNEP-WCMC, Protected Area Profile for Iran (Islamic Republic Of) from the World Database of Protected Areas, www.protectedplanet.net, 2016.
37. Producer Prices, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

ضمیمه الف: منابع آب ایران



شکل الف-۱. حوضه‌ها و زیرحوضه‌های آب در ایران

جدول الف-۱. تعداد حوضه‌ها و مناطق مطالعه شده به تفکیک حوضه در ایران

حوضه	زیرحوضه	مناطق مطالعه شده
مازندران (دریای خزر)	۷	۴۳
خلیج فارس و دریای عمان	۹	۲۶۵
دریاچه ارومیه	۱	۲۵
مرکزی	۹	۲۳۳
هامون	۳	۳۰
سرخس	۱	۱۳
کل ایران	۳۰	۶۰۹

جدول الف-۲. بیلان آب در ایران

منابع/ برداشت	شاخص	مقدار آب (میلیارد متر مکعب)		
		۲۰۰۱	۲۰۱۶	پس از سازگاری
منابع آب تجدیدپذیر	کل منابع آب تجدیدپذیر واقعی	۱۳۰	۸۹	۸۹
	جریان سطحی	۹۲	[a]۶۳	[a]۶۳
	آب زیرزمینی	۳۸	[a]۲۶	[a]۲۶
برداشت آب	سطحی	۴۲	۴۰	۲۳
	آب زیرزمینی	۵۱	۵۶	[b]۳۰
	کل	۹۳	۹۶	۵۳
مصارف آب	شهری	۶	۸	۱۰
	صنعتی	۱	۲	۲
	کشاورزی	۸۶	۸۶	۴۱
	کل	۹۳	۹۶	۵۳
جریان بازگشتی	از کشاورزی	۲۶	[a]۲۷	[a]۱۵
	از صنعتی	۱	[a]۱	[a]۱
	از شهری	۲	[a]۲	[a]۱
	کل	۲۹	۳۰	۱۷
	به سطحی	۱۹	[a]۲۰	[a]۱۱
	به زیرزمینی	۱۰	[a]۱۰	[a]۶
	ذخیره آب زیرزمینی توسط جریان‌های برگشتی	۷	[a]۷	[a]۴
بیلان	منابع آب زیرزمینی پایدار[c]	۴۵	۳۳	۳۰
	جریان سطحی خروجی از کشور[d]	۶۹	۴۳	۵۰
سطح استرس	نسبت برداشت به کل منابع آب تجدیدپذیر واقعی(به درصد)	**۷۲**	**۱۰۸**	**۶۰**

a برآورد شده با تطبیق متناسب داده‌ها از سال ۲۰۰۱.

b فرض می‌شود که برابر با منابع آب زیرزمینی پایدار است.

c جمع کل سالانه ذخیره آبخوان از منابع تجدیدپذیر و جریان بازگشتی.

d مجموع جریان سطحی تجدیدپذیر و بازگشت جریان (به سطح) منهای برداشت سطحی.

جدول الف-۳. جریان محیطی ایران (EF) تحت کلاس‌های مختلف مدیریت محیط زیست (EMC)

کلاس‌های مدیریت محیط زیست (EMC)	EF (میلیارد متر مکعب)	شرح EMC
کلاس A	۱۲۳,۵	رودخانه‌ها و حوضچه‌های حفاظت شده، بدون هیچ پروژه آب جدید
کلاس B	۸۷,۹	اصلاح حوضه‌های کوچک و توسعه منابع آب
کلاس C	۶۴,۸	عملکرد اکوسیستم پایه نامحدود
کلاس D	۵۰,۲	اختلالات شناور قابل مشاهده (سدها، انحرافات، انتقال)
کلاس E	–	بهره‌برداری از منابع آب فراوان، تنها گونه‌های تحمل‌کننده برای زنده ماندن
کلاس F	–	توابع اکوسیستم پایه نابود شده اند

ضمیمه ب: پیش‌بینی میزان محصول گندم، جو و نخود به روش دیم

ما از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی[1] [۲۵،۲۶] استفاده کردیم تا میزان محصول گندم، جو و نخود به روش دیم در ایران را با شفافیتی در حدود ۱ کیلومتر بدست بیاوریم. این محصولات به ترتیب عمده‌ترین محصولات دیم در ایران هستند که به ترتیب ۹۴ درصد و ۸۵ درصد کل اراضی زراعی دیم و تولید محصولات زراعی را اختصاص می‌دهند [۴]. سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی مجهز به مدل‌های پویایی محصول و آب و خاک می‌باشد و یک برنامه قابل مقیاس است که از چهار گروه اصلی ورودی (به عبارتی محصول، خاک، آب و هوا و مدیریت) برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول و همچنین تعداد زیادی از پارامترهای آب- خاک (مانند مصرف روزانه آب و تبخیر و تعرق) استفاده می‌نماید. سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی به‌طور گسترده برای پیش‌بینی عملکرد محصول هم در منطقه [۲۷] و هم در مقیاس جهانی [۲۸] استفاده می شود.

مشخصات محصول و مدیریت

سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی، انواع ابزار (زیر مدل) برای ترکیب اثرات شیوه‌های مدیریت مزرعه مانند کاربرد کود، آبیاری، آماده‌سازی زمین و تراکم کاشت فراهم می‌کند. جدول ب-۱ خلاصه روش‌های کشاورزی که در شبیه‌سازی سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی اجرا می‌شود را نشان می‌دهد. تمام شبیه‌سازی‌ها یک ماه قبل از تاریخ کاشت شروع شده تا مدل را در مورد شرایط خاک در قبل و در زمان کاشت معرفی کند. از آنجا که تاریخ کاشت برای یک محصول خاص می‌تواند در سراسر کشور متفاوت باشد، لذا شبیه‌سازی‌ها را در طیف گسترده‌ای از تاریخ کاشت اجرا کردیم (به جدول ب-۲ مراجعه کنید). تاریخ‌های کاشت مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها شامل کشت‌های پاییز و بهار است که شیوه‌های معمول این سه محصول در ایران است. داده‌های عملکرد در این مطالعه براساس میانگین تاریخ‌های سه کشت در نتیجه بیشترین عملکرد گزارش شده است. ضرایب ژنوتیپ[2] برای گندم و جو از مطالعات قبلی به ترتیب برای ارقام سرداری[3] [۲۹] و والفریج[4] [۳۰] کالیبره شده است. برای نخود ما از ضریب پیش فرض سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی در دسترس برای رقم آنیجری [5] استفاده کردیم [۳۱].

اطلاعات آب و هوا و خاک

داده‌های آب و هوایی روزانه در مورد حداکثر و حداقل دما، بارش، سرعت باد و تابش خورشیدی از مجموعه داده‌های آب و هوا برای مدل‌سازی کشاورزی[6] بدست آمده است[۱۱]. داده‌ها دارای دقت فضایی ۰,۲۵° × ۰,۲۵° (~ ۲۸ کیلومتر) و پوشش دوره

1.DSSAT: Decision Support System for Agricultural Technology Transfer
2. Genotypic Coefficients- (ژنوتیپ: سرشت ارثی یک موجود)
3. Sardari
4. Valfraj
5. Annigeri
6. NASA's Climate Forcing Dataset for Agricultural Modeling (AgMERRA)

زمانی از سال۱۹۸۰ لغایت سال ۲۰۱۰ می‌باشد. در این تجزیه و تحلیل، از داده‌های سه سال گذشته (۲۰۰۸–۲۰۱۰) برای شبیه‌سازی عملکرد محصول استفاده شده‌اند: داده‌های عملکرد به این ترتیب نشان‌دهنده میانگین سه شبیه‌سازی انفرادی از سال‌های مربوطه است.

متغیرهای خاک مورد نیاز در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی عمدتاً از SoilGrids250m[1] [۳۲] و مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین [۳۳] تهیه شده است. دقت فضایی مجموعه داده‌های اولیه ۲۵۰ متر است، در حالی که فاصله آن در حدود ۱ کیلومتر است. به منظور ساختن دقت فضایی یکنواختی از متغیرهای خاک و آب و هوا، ابتدا نقاط شبکه‌ای در حدود ۳۰ ثانیه (~ ۱ کیلومتر) در مرزهای اجرایی ایران ایجاد کردیم. سپس برای هر یک از نقاط، مقدار شبکه را از خاک جهانی و لایه‌های شیب‌دار آب و هوا نمونه‌برداری کردیم. برخی از پارامترهای خاک مورد نیاز سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی در این مجموعه داده‌ها موجود نیستند اما می‌توان از خواص دیگر خاک محاسبه کرد. این خصوصیات هیدرولیکی خاک مربوط به مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی (SLLL)، ظرفیت زراعی (SDUL) و اشباع (SSAT) و هدایت هیدرولیکی اشباع (SSKS) از توابع انتقال[2] بدست آمده است [۳۴]. از نرم‌افزار MATALB[3] برای تبدیل داده‌های خاک از این منابع به فرمت قابل خواندن توسط سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی استفاده می‌کنیم. لیستی از ویژگی‌های مهم خاک که به عنوان ورودی توسط سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی استفاده می شود، در جدول ب–۳ نشان داده شده است.

آب‌های داخلی، مناطق شهری و جنگل‌ها و مراتع طبیعی از تجزیه و تحلیل حذف شدند. ما از GlobCover [۳۵] برای شناسایی کاربری این اراضی استفاده کردیم. همچنین مناطق حفاظت شده که داده‌های آن از پایگاه داده جهانی مناطق حفاظت شده به دست آمده، حذف شدند [۳۶]. مناطق کنار گذاشته شده ۱۹,۳ میلیون هکتار (۱۲درصد) از اراضی ایران را شامل می‌شود.

جدول ب–۱. شیوه‌های مدیریتی مورد استفاده در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم، جو و نخود تحت شرایط بارندگی در ایران

محصول	تراکم کاشت (تعداد/مترمربع)	فاصله ردیف (سانتیمتر)	عمق گیاه (سانتیمتر)	N[a] (کیلوگرم/هکتار)
گندم	۳۰۰	۱۶	۵	۱۰۰
جو	۳۰۰	۱۶	۵	۱۰۰
نخود	۳۰	۴۰	۵	۵۰

[a] N به عنوان میزان اوره در زمان کاشت در نظر گرفته شده است.

۱. مجموعه متادیتا است که نقشه‌های زیادی از طبقه‌بندی خاک‌ها و محیطزیست ارایه می‌کند (مترجم).

2. Pedotransfer Functions

3. MATALB (MathWorks 2017a)

جدول ب-۲. تاریخ کاشت‌های به‌کاربرده شده در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم، جو و نخود تحت شرایط دیم در ایران

محصول	تاریخ‌های کاشت									
گندم	۱ اکتبر	۱۱ اکتبر	۲۱ اکتبر	۳۱ اکتبر	۱۰ نوامبر	۲۰ نوامبر	۳۰ نوامبر	۱۰دسامبر	۲۰ دسامبر	۳۰ دسامبر
جو	۱ اکتبر	۱۱ اکتبر	۲۱ اکتبر	۳۱ اکتبر	۱۰ نوامبر	۲۰ نوامبر	۳۰ نوامبر	۱۰دسامبر	۲۰ دسامبر	۳۰ دسامبر
نخود	۷ نوامبر	۲۲ نوامبر	۷ دسامبر	۲۲ دسامبر	۶ ژانویه	۲۱ ژانویه	۵ فوریه	۲۰ فوریه	۱۲ مارچ	۱ آپریل

جدول ب-۳. متغیرهای خاک مورد استفاده به عنوان ورودی در سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری کشاورزی

متغیر خاک	منبع
عمق خاک، cm	SoilGrids250m
طبقه‌بندی خاک	SoilGrids250m
وزن مخصوص (gr/ cm^3)	SoilGrids250m
کربن آلی، ٪	SoilGrids250m
کربن ارگانیک، ٪	SoilGrids250m
خاک رس (<۰,۰۰۲ میلی متر)، ٪	SoilGrids250m
سیلت (۰,۰۵ تا ۰,۰۰۲ میلی متر)، ٪	SoilGrids250m
قطر درشت (> ۲ میلی متر)، ٪	SoilGrids250m
pH در آب	SoilGrids250m
pH در محلول بافر	SoilGrids250m
محتوای آب: حد پایین یا نقطه پژمردگی، ($cm^3 cm^{-3}$)	به‌دست‌آمده از توابع pedo-transfer با استفاده از داده‌های SoilGrids250m
محتوای آب: حد بالایی تخلیه و یا ظرفیت زراعی، ($cm^3 cm^{-3}$)	به‌دست‌آمده از توابع pedo-transfer با استفاده از داده‌های SoilGrids250m
هدایت هیدولیکی اشباع (cm/h)	به‌دست‌آمده از توابع pedo-transfer با استفاده از داده‌های SoilGrids250m
شماره منحنی رواناب	بااقتباس از گروه هیدرولوژیکی خاک بر اساس خدمات حفاظت خاک[1] با استفاده از داده های SoilGrids250m
وضعیت بافت خاک	بااقتباس از طبقه‌بندی بافت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده[2] با استفاده از داده های SoilGrids250m
میزان نیتروژن کل(٪)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
فاکتور رشد ریشه در خاک (صفر تا ۱)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
ظرفیت تبادل کانونی خاک (cmol/ kg)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
میزان کربنات کلسیم خاک (٪)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
نرخ زهکشی (روز /۱)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
یون‌های پایه اشباع (cmol/ kg)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین
هدایت الکتریکی (dS/m)	مجموعه داده‌های جهانی خاک برای مدل‌سازی زمین

1. Soil Conservation Service (SCS)
2. United States Department of Agriculture (USDA)

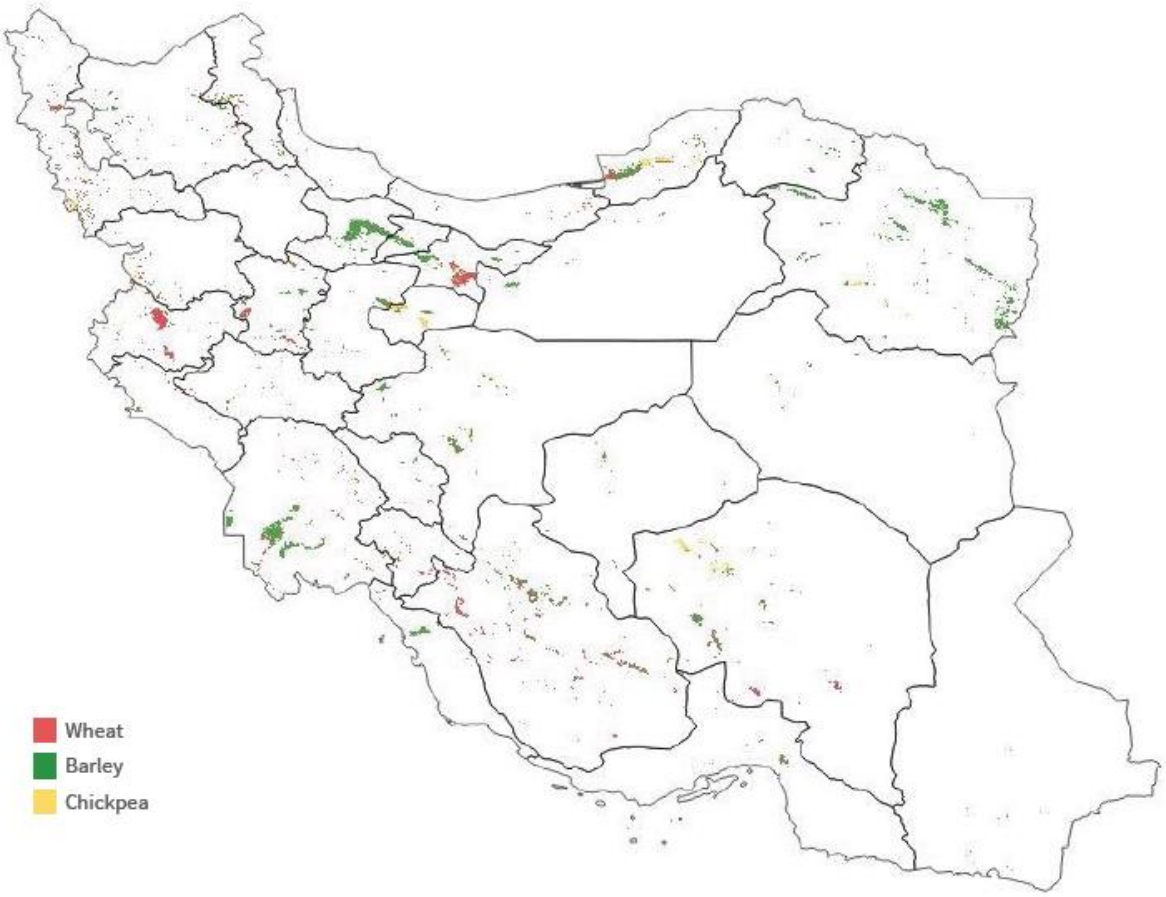
ضمیمه ج: قیمت‌های تولیدکننده محصولات کشاورزی در ایران

جدول ج-۱. قیمت‌های نسبی تولیدکننده برای محصولات و میوه‌های اصلی در سال ۲۰۱۶ (گندم = ۱۰۰) [۳۷]

محصولات	شاخص قیمت
سیب	۱۲۳
یونجه	۷۲
جو	۶۹
لوبیا	۳۹۲
نخود	۳۳۱
شبدر	۶۳
پنبه	۷۸۱
خیار	۸۱
شبدر خشک	۶۳
بادمجان	۵۸
سیر	۲۵۸
ذرت دانه	۸۳
انگور	۸۱
عدس	۳۶۹
خربزه	۶۱
دانه‌های روغنی	۱۹۲
زیتون	۳۳۰
پیاز	۳۹
پرتقال	۶۱
پسته	۱۹۷۷
سیب زمینی	۳۴
کلزا	۱۹۲
برنج	۲۸۸
کنجد	۴۳۵
ذرت سیلیس	۵۲
سویا	۱۷۷
چغندر قند	۲۴
نیشکر	۱۰
آفتابگردان	۲۰۷
چای	۱۲۷
توتون و تنباکو	۹۰۱
گوجه فرنگی	۳۱
هندوانه	۳۷
گندم	۱۰۰

ضمیمه د: تعیین بهترین عملکرد محصولات برای اراضی آبی ناپایدار[1]

بهترین عملکرد محصول برای اراضی تبدیل شده از جمله گندم، جو، نخود



شکل د-۱. بهترین عملکرد برای کشت در اراضی تبدیل شده از آبیاری به دیم در میان گندم، جو و نخود

1. Unsustainable Irrigated Lands

ضمیمه هـ: فاکتورهای اضافی موثر بر ارتباطات آب و غذا

جدول هـ-۱. عوامل اضافی که می‌توانند به طور بالقوه ارتباطات آب و غذا در آینده را تحت تاثیر قرار دهند

عامل	اثرات اصلی	تأثیر روی آب
کشش قیمتی تقاضا	برای غذاهایی با قیمت‌های داخلی پایین‌تر از قیمت‌های بین‌المللی، کاهش عرضه مواد غذایی داخلی قیمت‌های نسبی خود را افزایش می‌دهد، که به نوبه خود مصرف و زائدات را کاهش می‌دهد.	صرفه‌جویی متوسط آب در میان‌مدت تا بلندمدت
تغییرات آب و هوا	احتمالاً باعث کاهش بارش، دمای بالاتر و تبخیر و تعرق بیشتر می‌شود.	کاهش متوسط در منابع آب تجدیدپذیر واقعی
الگوهای کشت و بهبود ژنوتیپ	تغییرات در الگوهای کشت و ژنوتیپ در جهت مصرف آب کمتر و محصولات مقاوم در برابر خشکسالی	صرفه‌جویی در مصرف آب در میان‌مدت لغایت بلندمدت
شوری‌زایی و تخریب خاک	از دست دادن اراضی حاصلخیز، افزایش نیاز به اجرای زهکشی و اصلاح خاک	کاهش بهره‌وری در هر قطره از کم تا متوسط
نمک‌زدایی	بیش از حد گران برای مصارف کشاورزی، انرژی‌بر، و ردپای بزرگ زیست محیطی	تاثیر بر روی آب آبیاری از صفر تا کم

Presidency

Plan and Budget Organization

A National Adaptation Plan for Water Scarcity in Iran

Resilient Economy and Economic Council Affairs

مرکز اسناد، مدارک و انتشارات