گزارش طرح تحقیقاتی

تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل‌سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: چشم انداز و سیاست‌های لازم

مجری:

افشین سلطانی*

همکاران:

اسکندر زند، سید مجید عالیمقام، علیرضا نه‌بندانی، حسین بارانی، الیاس سلطانی، بنیامین ترابی، ابراهیم زینلی، شهرزاد میرکریمی و رامتین جولایی

زمستان ۱۳۹۸

این گزارش به سفارش سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (قرارداد شماره ۲۹۴۶۸/۲۱۱ مورخه ۹۷/۶/۲۵) تهیه شده است. در صورت استفاده به صورت زیر ارجاع داده شود: ((سلطانی، ا.، زند، ا.، عالیمقام، م.، نه‌بندانی، ع.، حسین بارانی، سلطانی، ا.، ترابی، ب.، زینلی، ا.، ح.، میرکریمی، ش.، جولایی، ر. ۱۳۹۸. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط‌زیست: چشم انداز و سیاست‌های لازم. گزارش طرح تحقیقاتی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی))

این گزارش دارای ۲۳ پیوست فنّی می‌باشد.

*ایمیل برای مکاتبات: Afshin.Soltani@gmail.com

سایر همکاران:

تکتم خسرویان، احسان حبیب‌پور کاشفی ، صفورا جافرنوده، امیر دادرسی، ثریا قاسمی، سمانه رهبان، شبنم پورشیرازی، عبدالرضا بهره‌مند، امیراحمد دهقانی، فرشید اشراقی، محمود بهمنی، داریوش فتاح طالقانی، کریم احمدی، مریم محمدرضایی، شیدا گلی، امید الستی، رقیه السادات حسینی، محبوبه زاهد، حسنا فیاضی، حسین کمری، راحله عرب عامری، زهرا محمدزاده، سمانه محمدی، صالح کرامت، نعیمه سوسرایی، محبوبه آشناور و مادح احمدی و رضا تقدیسی نقاب

مشاورین:

حمید رحیمیان مشهدی، تقی قورچی، بهروز دستار، فرهاد خرمالی، حسین دهقانی سانیچ، بهنام کامکار
M.K. van Ittersum, T.R. Sinclair, V. Vadez & M.P. van Loon

قدردانی:

بدین وسیله تشکر ویژه خود را به دکتر حمید رحیمیان مشهدی، دکتر علی نجفی نژاد و دکتر سیما ساور بابت پیگیری امور طرح در تمام مراحل آن تقدیم می‌داریم. از آقایان دکتر عیسی کلانتری، دکتر عبدالرضا باقری، دکتر کاظم خاوازی، دکتر احمد زارع فیض آبادی، مهندس عباس کشاورز، مهندس سیّد محمد حسین شریعت‌مدار، مهندس اسماعیل اسفندیاری پور، دکتر جهانفر دانشیان، دکتر علیرضا نیکویی، دکتر رسول زارع، دکتر کامبیز بازرگان و دکتر عبدالرضا ظهیری بابت نقطه‌نظرات سازنده و یا حمایت‌شان از طرح در مراحل اجرایی آن سپاسگزاریم.

توضیح ضروری:

- تلاش شده این گزارش با زبانی ساده‌تر برای طیف گسترده‌تری از مخاطبان تهیه شود و مطالب فنّی به پیوست‌ها منتقل شده-اند. بنابراین، پیوست‌های این گزارش در جای خود مطالعات ارزشمند و مهمّی هستند.
- مبنای تحلیل امنیت غذایی، مدل‌سازی و پیوند دادن آب، زمین، غذا و محیط زیست به صورت کمّی در سطح کشوری بوده-است. از آن‌جایی‌که بخش اعظم منابع و نهاده‌ها در کشاورزی (مثل آب، زمین و کود) در تولید گیاهان در مزارع، باغات و گلخانه‌ها به مصرف می‌رسد، در بسیاری بخش‌ها تمرکز اصلی بر تولیدات گیاهی برای تامین غذا به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم (از طریق تغذیه دام‌ها) است. در موقع مطالعه باید دقت شود که آمار مختلف مثل تولید برای گیاهان هستند یا مجموع گیاهی و دامی (کشاورزی).
- اطلاعات و آمار واقعی از سطح زیر کشت و تولید مربوط به دوره ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ (سال برداشت: معادل ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷) هستند. اما، برای محاسبه خلا عملکرد از داده‌های عملکرد واقعی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ استفاده شده‌است و برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل و نیاز آبیاری از داده‌های اقلیمی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ استفاده‌شده‌است.
- قرار نیست این گزارش بتواند به کلیه سئوالات در ارتباط با کشاورزی و امنیت غذایی پاسخ دهد چون موضوعی پیچیده و چند وجهی است و مطالعات گوناگون ولی در راستای یکدیگر مورد نیاز می‌باشند تا بتوان به تمام ابعاد آن پرداخت. هدف اصلی، مطالعه محدودیت‌های بیوفیزیکی تولید و تقاضا برای غذا در کشور بوده است تا برای تعریف سیاست‌ها و برنامه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.
- احتمالا پیاده‌سازی نتایج این مطالعه در شرایط سخت کنونی و با وجود تحریم‌ها میسر نیست ولی امید می‌رود با پشت سر گذاشتن این شرایط، نتایج این مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست مطالب

۱ – مقدمه

۲ – روش‌ها

۲–۱– روش مورد استفاده برای مطالعه

۲–۲– سیستم SEA و اجزای آن

۲–۳– تحلیل‌ها با کمک سیستم SEA

۳– نتایج و بحث

۳–۱– وضعیت موجود

۳–۱–۱– تقاضا برای محصولات کشاورزی

۳–۱–۲– تولیدات کشاورزی و خودکفایی

۳–۱–۳– استفاده از منابع آب

۳–۱–۴– استفاده از منابع زمین

۳–۱–۵– استفاده از کودها

۳–۱–۶– استفاده از انرژی

۳–۱–۷– انتشار گازهای گلخانه‌ای

۳–۱–۸– شاخص‌های اقتصادی– اجتماعی

۳–۱–۹– امنیت غذایی

۳–۲– چشم انداز آینده

۳–۲–۱– چالش کم آبی

۳–۲–۲– چالش تغییر اقلیم

۳–۲–۳– جمعیت

۳–۲–۴– ظرفیت اقدام از طریق مدیریت تقاضا

۳–۲–۵–ظرفیت اقدام از طریق فشرده سازی کشاورزی

۳–۲–۶– ظرفیت اقدام از طریق الگوی کشت

۳–۲–۷– تصویر آینده مطلوب

۳–۲–۸– سایر ملاحظات

۴– سیاست‌ها و راهبردهای لازم

فهرست منابع

فهرست پیوست های فنّی گزارش

شماره	عنوان	تعداد صفحه
۱	تهیه نقشه پراکنش گیاهان کشاورزی در ایران	۳۶
۲	آماده سازی اطلاعات هواشناسی کشور برای مدل سازی تولید گیاهی	۲۵
۳	آماده سازی اطلاعات خاک کشور برای مدل سازی تولید گیاهی	۳۱
۴	الگوریتم سازی تاریخ کاشت گیاهان زراعی و صیفی در کشور	۳۶
۵	پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی و باغبانی	۱۱۱
۶	ست آپ مدل SSM-iCrop2 برای شبیه سازی تولید گیاهی در کشور تا ۲۰۵۰	۱۹
۷	تغییر اقلیم ایران تا ۲۰۵۰ + تغییر اقلیم و تولید گیاهی ایران	۸۳
۸	تحلیل اطلاعات منابع آب ایران تا ۲۰۵۰	۲۹
۹	برآورد منابع آب مصرفی در تولید ماهی پرورشی در کشور	۴۶
۱۰	برآورد تخلیه عناصر غذایی و نیاز کودی در تولید گیاهی کشور	۳۷
۱۱	برآورد مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی ایران	۳۸
۱۲	برآورد میزان و ترکیب خوراک برای تولید محصولات دامی در کشور	۱۵
۱۳	تحلیل جمعیتی کشور تا ۲۰۵۰	۱۷
۱۴	رژیم غذایی و نقش آن در منابع لازم برای تولیدات کشاورزی	۳۲
۱۵	برآورد تلفات/ضایعات محصولات کشاورزی در ایران	۲۲
۱۶	مدل سازی تولید مراتع کشور تا ۲۰۵۰	۳۲
۱۷	سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط‌زیست (SEA)	۴۳
۱۸	ردپای اکولوژیک در تولید محصولات کشاورزی در کشور	۲۵
۱۹	اثر کاهش تبخیر از خاک و رواناب بر تولید محصولات کشاورزی و مصرف آب در سطح کشور	۱۹
۲۰	پیامدهای کاهش آب کشاورزی و ظرفیت سازگاری با آن از طریق فشرده سازی	۲۹
۲۱	تقاضا برای محصولات کشاورزی در افق ۲۰۵۰	۲۱
۲۲	خودکفایی آبی کشور و ظرفیت افزایش آن	۱۴
۲۳	سازگاری با کم آبی از طریق بهینه سازی الگوی کشت محصولات گیاهی در کشور	۷۶

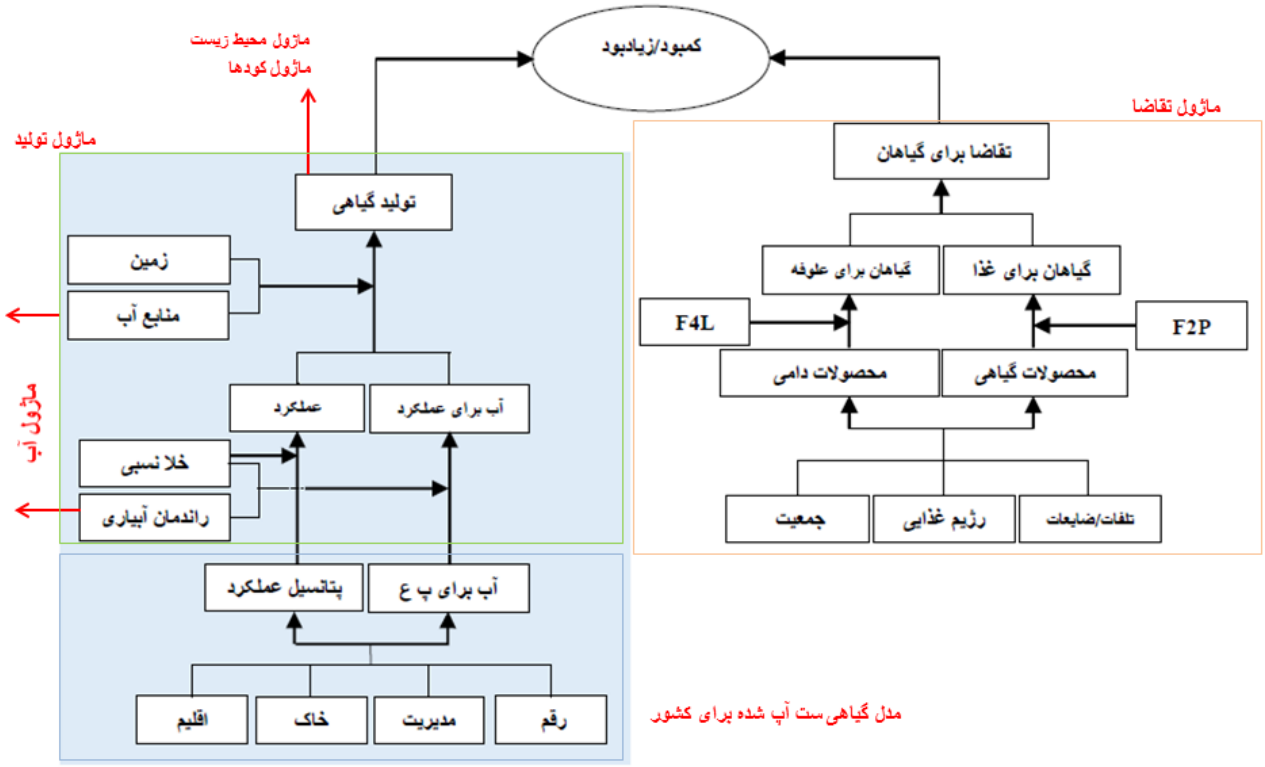
خلاصه مدیریتی

ابهامات و نگرانی‌های جدی در ارتباط با امنیت غذایی در کشور وجود دارد. موضوعاتی مثل افزایش جمعیت، خشکسالی و تغییر اقلیم بر این ابهامات و نگرانی‌ها افزوده‌است به‌ویژه این‌که منابع آب و زمین در کشور محدود است و مدیریت مصرف نهاده‌ها (مثل انرژی) و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از ضروریات می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه کمک به جهت‌گیری‌های صحیح در فعالیت‌های کشاورزی و امنیت‌غذایی با ارزیابی کمّی همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست بود.

سیستم ایجاد شده برای این مطالعه: در این مطالعه سیستمی (سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط زیست: SEA[1]) برای توصیف کمّی و ارزیابی یکپارچه همبست آب-زمین-غذا –محیط زیست در سطح کشوری تهیه شد تا با آن وضعیت کنونی و آینده تولید و تقاضا برای غذا در کشور بررسی گردد (شکل ۱). این سیستم متشکّل از یک مدل شبیه‌سازی گیاهی و تعدادی ماژول می‌باشد. تقاضا برای محصولات گیاهی برای تغذیه مردم کشور به صورت مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق فرآورده‌های دامی)، به عنوان تابعی از جمعیت، رژیم غذایی و تلفات-ضایعات به‌دست می‌آید. تقاضا برای محصولات یا فرآورده‌های دامی مثل گوشت، شیر و تخم مرغ، به معادل‌های گیاهی یا محصولات گیاهی که برای تولید آن‌ها مورد نیاز هستند، تبدیل می‌شوند. تولید محصولات گیاهی در سطح استانی به عنوان تابعی از پتانسیل عملکرد گونه‌های گیاهی مورد کاشت، خلا عملکرد نسبی (خلا نسبی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد کشاورزان)، راندمان آبیاری کل (در شرایط کشت آبی) و منابع زمین و آب قابل‌دسترس در استان محاسبه می‌گردد. تولید و نیاز آبی بیش از ۳۵ گونه گیاهی مهم برآورد می‌شود و سایر گیاهان کشاورزی کشور نیز در دو دسته "سایر زراعی و سبزیجات" و "سایر باغبانی" در مدل لحاظ شدند. سیستم دارای ماژول‌هایی برای برآورد توزیع آب بین گیاهان در هر استان، برآورد نیازهای کودی گیاهان و برآورد نیازهای سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی و نیز منابع و نهاده‌های لازم (آب، زمین، کودها، انرژی) برای تامین تقاضا تحت سناریوهای مختلف می‌باشد. ارزیابی مدل شبیه‌سازی گیاهی و ماژول‌ها نشان داد که دارای کارکرد قابل‌قبول تا رضایت‌بخش هستند. برای تهیه سیستم اطلاعات متنوع و گسترده‌ای از بخش‌های مرتبط جمع آوری و استفاده گردید. این اطلاعات تصویری از وضعیت کنونی به‌دست می‌دهند.

وضعیت کنونی (۱۳۹۲-۱۳۹۶): سالانه به ۱۵۲ میلیون تن (برحسب وزن تر) محصولات کشاورزی شامل گیاهی، علوفه مرتعی و دامی برای جمعیت ۸۰ میلیونی کشور نیاز است که بخش بزرگی از آن (۸۷ درصد) از طریق تولید داخلی تامین می‌گردد. نیاز کشور به محصولات گیاهی که بخش اعظم منابع صرف تولید آن‌ها در مزارع، باغات و گلخانه‌ها می شود، ۱۲۹ میلیون تن در سال است که ۸۵ درصد آن (۱۰۹ میلیون تن در سال) در داخل کشور تولید می‌شود. در مقایسه نظیر به نظیر نیاز به محصولات گیاهی و تولید آن‌ها (برای تغذیه مستقیم و غیر مستقیم از طریق پرورش دام)، میزان کمبود تولیدات ۳۴ میلیون تن در سال و میزان مازاد تولید ۱۴ میلیون تن در سال (وزن تر درب مزرعه) است. سالیانه کمی بیش از ۳۰ میلیون تن از محصولات کشاورزی تولید شده در داخل کشور (۳۰ درصد از کل تولید محصولات کشاورزی داخل کشور) به دلیل تلفات-ضایعات از دسترس خارج می‌شود که معادل هدر رفت ۲۴ درصد از کل سطح زیرکشت و ۳۲ درصد از کل آب اختصاصی بخش کشاورزی است و معادل غذای ۱۸ میلیون نفر در کشور می‌باشد.

[1] System for integrated Assessment of water, land, food and environment (SEA)



شکل ۱. فلوچارت سیستم SEA شامل مدل شبیه سازی گیاهی و ماژول‌های آن

آب اختصاصی به کشاورزی ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال است که با راندمان آبیاری کل ۳۸ درصد مصرف می‌شود[۲]. توزیع منابع آب بین مصارف کشاورزی در سطح کشور به این قرار برآورد گردید: درختان میوه ۳۲ درصد ، گیاهان با مصرف علوفه (شامل جو و ذرّت) ۲۴ درصد، گندم ۱۱ درصد، برنج ۱۱ درصد، سبزی-صیفی ۷ درصد، دانه‌های روغنی ۳ درصد، سیب‌زمینی ۲ درصد، حبوبات ۱ درصد و سایر مصارف کشاورزی (دام، آبزیان، گیاهان تزیینی) ۵ درصد. وزارت نیرو حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی را ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال تعیین کرده‌است. این امر حاکی از آن است که ۲۸ درصد اختصاص فعلی اضافه برداشت بوده، موجب تخریب محیط‌زیست می‌شود و باید تعدیل گردد. برآورد این مطالعه این است که حجم آب قابل‌بهره‌برداری *پایدار* برای کشاورزی سالانه ۳۹ تا ۴۱ میلیارد متر مکعب است. بنابراین، اضافه برداشت آب برای کشاورزی بیش از نیمی از اختصاص فعلی را تشکیل می‌دهد.

[۲] اختصاص آب بر اساس اطلاعات وزارت نیرو که مرجع رسمی اطلاعات و تخصیص آب است، می‌باشد. بر اساس اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، برداشت آب برای کشاورزی کمتر و حدود ۷۵ میلیارد متر مکعب در سال است. در صورتی که این برآورد را مد نظر قرار دهیم، برآورد راندمان آبیاری کل به ۴۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، این اختلاف به راندمان آبیاری کل منتقل می‌گردد. در هر حال، استفاده از هر یک از برآوردهای وزارت نیرو یا جهاد کشاورزی تاثیری بر نتیجه گیری‌های این مطالعه ندارد.

کل سطح زیر کشت کشور ۱۴/۳ میلیون هکتار است (سال‌های برداشت ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶) که ۵/۹۰ میلیون هکتار آن دیم و ۸/۴۱ میلیون هکتار آن آبی می‌باشد[۳]. بیش از ۹۰ درصد تولیدات گیاهی کشور در کشت آبی صورت می‌گیرد. در مجموع همه گیاهان مورد کشت در کشور، خلا عملکرد نسبی ۶۰ درصد برآورد گردید، بدین معنی که عملکردهای فعلی تنها ۴۰ درصد پتانسیل عملکردها می‌باشند. افزایش سطح زیر کشت برای افزایش تولید غیر ممکن به‌نظر می‌رسد چون بخش قابل‌توجهی از اراضی فعلی در دسته نامناسب یا خیلی ضعیف برای کشاورزی قرار دارند، یا دچار تنش شوری هستند و مهمتر این که برای به زیر کشت بردن اراضی جدید آب وجود ندارد. نتایج نشان داد که مصرف کودها در کشور کمتر از حد لازم می‌باشد و برای نیتروژن ۳۷ درصد، فسفر ۵۲ درصد و پتاسیم ۹۳ درصد خلا کودی وجود دارد که احتمالا یکی از دلایل اصلی پایین افتادن ماده آلی خاک‌های کشاورزی کشور است.

از نقطه نظر امنیت غذایی و اجزای آن، در نگاه اول به لحاظ تولید غذا (جز اول امنیت غذایی) شرایط کشور مناسب به‌نظر می‌رسد چون بیش از ۸۰ درصد محصولات کشاورزی مورد تقاضا در داخل تولید می‌گردد. اما، بخش قابل‌توجهی از تولید کشاورزی حاصل اضافه برداشت آب بوده و ناپایدار است. از نظر دسترسی خانوار و استطاعت مالی (جز دوم)، متوسط سرانه هزینه برای غذا در خانوارهای شهری در ۲۵ استان و در خانوارهای روستایی در ۲۸ استان (از ۳۱ استان) کمتر حد لازم (۳۲۱ هزار تومان بر اساس قیمت خرده فروشی در سال ۱۳۹۸) می‌باشد حاکی از این که وضعیت نامناسبی از نظر این جز وجود دارد. از نظر کیفیت غذا (جز سوم)، رژیم غذایی فعلی ایرانیان، منطبق بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای ترکیب و محدودیت‌های مواد غذایی اصلی می‌باشد ولی مصرف قند و شکر معادل ۱۰ درصد انرژی کل است که باید کمتر از ۱۰ درصد باشد. احتمال دارد تداوم و یا تشدید تحریم‌ها مصرف قند و شکر را که ماده خوراکی ارزان قیمتی است، افزایش دهد. از نظر پایداری (جز چهارم) چون بهره‌برداری از منابع آب و زمین در کشور از مرزهای ایمن برای پایداری عبور کرده است، می‌توان گفت وضعیت قابل‌قبولی حاکم نیست.

چالش‌ها: مهمترین چالش‌ها عبارتند از: افزایش جمعیت و تامین غذای آن‌ها، تغییر اقلیم، لزوم کاهش برداشت آب برای کشاورزی (مصوبه شماره ۱۵۸۹۶۹/ت ۵۵۰۹۲ هیئت وزیران به تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۶) و محدودیت‌ها در اراضی موجود مثل نامستعد بودن، شوری، پایین بودن ماده آلی خاک‌ها و تغییر کاربری اراضی مستعد کشاورزی به غیر کشاورزی. پیش‌بینی می‌شود به‌طورمتوسط جمعیت کشور تا ۲۰۳۰ حدود ۱۳ میلیون نفر و تا ۲۰۵۰ حدود ۲۳ میلیون نفر افزایش پیدا کند و به ترتیب به ۹۳ و ۱۰۳ میلیون نفر برسد. بر اساس رژیم غذایی فعلی و تلفات-ضایعات کنونی در کشور، نیاز به محصولات گیاهی در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب ۱۶ و ۲۹ درصد افزایش می‌یابد. چنان‌چه رژیم مطلوب توصیه شده وزارت بهداشت مبنا قرار گیرد، افزایش نیاز یا تقاضا به‌ترتیب ۲۶ و ۴۱ درصد پیش‌بینی می‌شود.

شبیه‌سازی‌ها نشان داد نتیجه خالص تغییر اقلیم بر تولیدات گیاهی در ۲۰۵۰ با فرض مدیریت و الگوی کشت فعلی باعث ۹ درصد کاهش در تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی و ۱۶ درصد افزایش تولیدات گیاهی در شرایط کشت دیم خواهد شد. کاهش تولیدات مرتعی ناشی از تغییر اقلیم (تا ۵ درصد در ۲۰۳۰ و تا ۷ درصد در ۲۰۵۰) قابل تحمل پیش‌بینی می‌شود و احتمالا با اجرای اقدامات احیا و بهبود مراتع قابل پیش‌گیری خواهد بود. اما، نباید انتظار داشت که مراتع بتوانند پاسخگوی افزایش تقاضا در آینده باشند.

[۳] بر اساس نتایج طرح آماربرداری زراعت سال ۱۳۹۷، مساحت اراضی زیر کشت آبی و دیم به ترتیب ۴/۵ و ۶/۵ میلیون هکتار و مساحت اراضی آیش آبی و دیم به ترتیب ۱/۷ و ۲/۸ میلیون هکتار و جمع کل اراضی ۱۵/۵ میلیون هکتار بوده است. به این رقم باید ۲/۶ میلیون هکتار اراضی باغی (۲/۲ میلیون هکتار آبی و مابقی دیم) را نیز اضافه کرد. توجه شود که به دلیل کشت دو محصول در سال و آیش‌گذاری، آمار سطح زیر کشت و اراضی دارای اختلاف هستند.

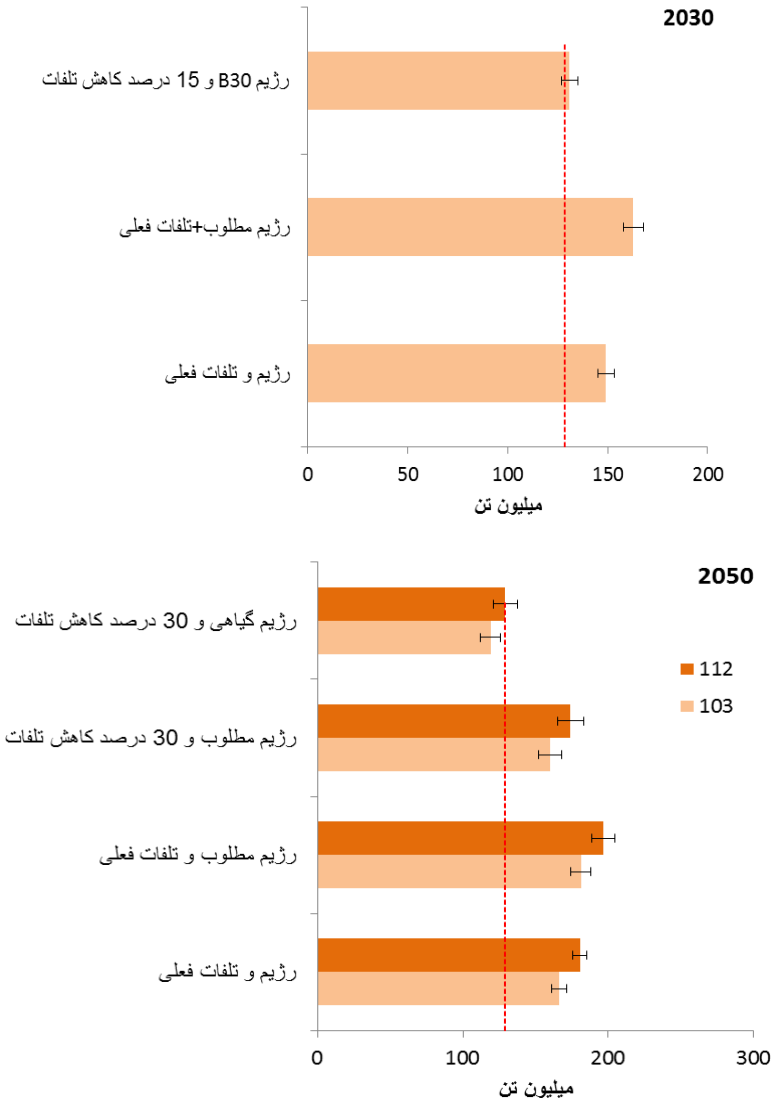
تغییر اقلیم در ۲۰۵۰ بسته به این که صادرات آبزیان در حد فعلی مد نظر باشد یا خیر، نیاز آبی برای مزارع پرورش آبزیان را از ۲/۹۹ فعلی به ۳/۷۹ تا ۴/۴۷ میلیارد متر مکعب در سال افزایش می‌دهد که به‌نظر می‌رسد با صرفه‌جویی‌ها در این بخش یا سایر بخش‌ها قابل تامین خواهد بود.

بزرگترین چالش پیش‌رو، کمبود آب است. نتایج نشان داد در صورتی که اختصاص آب به کشاورزی در مرز *پایداری* تنظیم شود، در شرایط اقلیمی فعلی و با مدیریت و الگوی کشت کنونی، سطح زیر کشت و تولید گیاهی در کشت آبی ۵۶ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۱)، تولیدات قابل صادرات به خارج از کشور به صفر می‌رسد، کمبود تولیدات گیاهی به دو برابر افزایش پیدا می‌کند، خودکفایی برای تولیدات گیاهی از ۸۵ درصد فعلی به ۴۲ درصد (برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری) تنزّل پیدا می‌کند. همچنین، به‌طور تقریبی ۲ میلیون شغل در بخش کشاورزی از دست خواهد رفت. در افق ۲۰۵۰ با فرض عدم اقدام برای افزایش تولید و یا مدیریت تقاضا به معنی تنزّل خودکفایی در تولیدات گیاهی به ۳۴ درصد خواهد بود. یک سئوال مهم این است که در این شرایط به لحاظ بیوفیزیکی چه ظرفیت‌های وجود دارد و تا چه اندازه می‌توان تولید را افزایش و تقاضا را مدیریت نمود طوری که فاصله تقاضا و تولید کمتر شود؟

جدول ۱ - درصد تغییر در سطح زیر کشت آبی، تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی و تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم در صورتی که منابع آب کشاورزی از مقدار کنونی به حد پایدار کاهش یافته باشد (یعنی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال). محاسبات با کمک سیستم SEA تحت شرایط اقلیمی کنونی انجام شده است.

اقدام انجام شده	سطح زیر کشت	تولید در کشت آبی	کل تولید
بدون اقدام	-۵۶	-۵۶	-۵۰
کاهش خلا از ۶۰ درصد کنونی به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد	-۶۶	-۴۹	-۳۹
افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد	-۳۷	-۳۶	-۳۲
ترکیب کاهش خلا و افزایش راندمان آبیاری	-۵۰	-۲۶	-۱۸
ترکیب کاهش خلا، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت فعلی به الگوی ۲	-۳۹	-۱	+۳

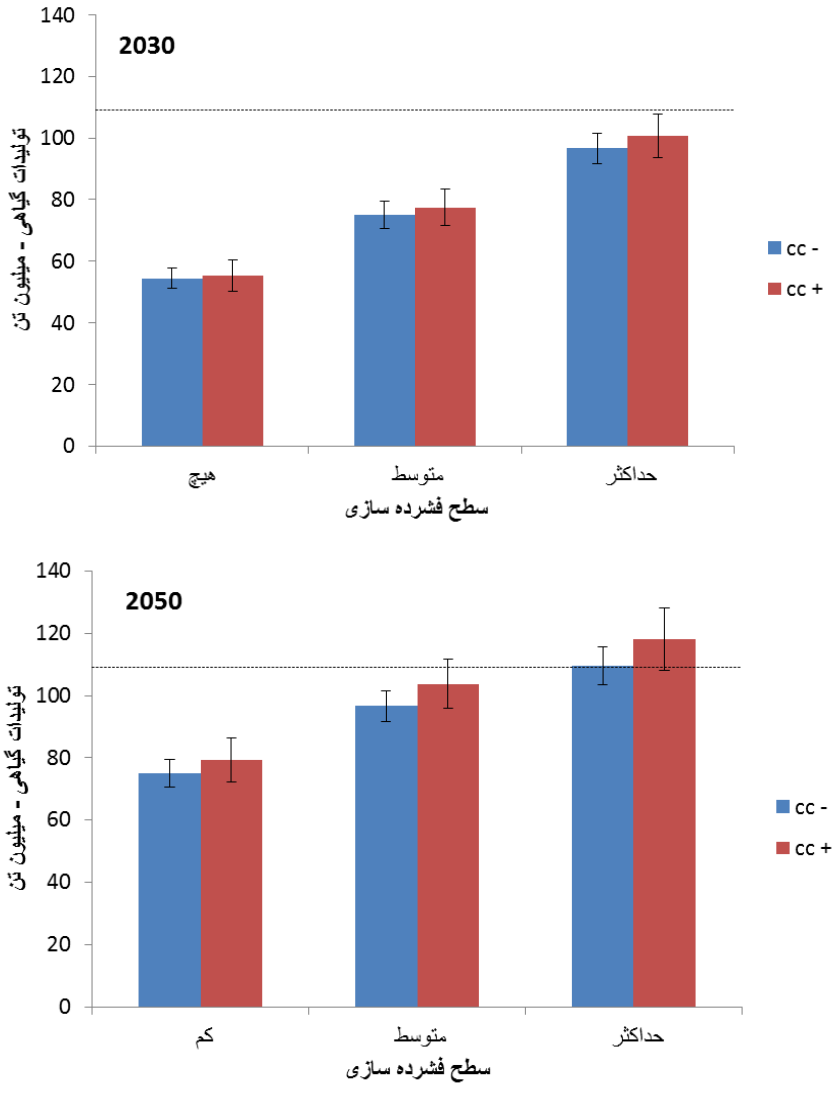
ظرفیت‌ها: یکی از ظرفیت‌ها برای اقدام، مدیریت تقاضا از طریق تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ جایگزینی رژیم غذایی فعلی با رژیم‌های غذایی سالم که سهم فرآورده‌های گیاهی با آب‌بری کمتر در آن‌ها بیشتر باشد توام با کاهش تلفات-ضایعات (۱۵ درصد در افق ۲۰۳۰ و ۳۰ درصد در افق ۲۰۵۰) این امکان را می‌دهد که تقاضا برای محصولات گیاهی با وجود افزایش جمعیت در حد تقاضای فعلی باقی‌بماند. اما، چنان‌چه رژیم غذایی مطلوب توصیه شده وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات کنونی مبنا قرار گیرد، به تولیدات گیاهی و در نتیجه منابع و نهاده‌های بیشتری نیاز خواهد بود (شکل ۲). بر اساس نتایج این مطالعه رژیم غذایی مطلوب مورد توصیه وزرات بهداشت منطبق با شرایط اکولوژیک و محدودیت‌های منابع آب کشور نیست. بنابراین، یکی از اولویت‌ها باید بازنگری این رژیم غذایی و جایگزینی آن باشد.



شکل ۲ – تاثیر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات بر نیاز به محصولات گیاهی برای تغذیه جمعیت کشور در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰. جمعیت کشور در ۲۰۳۰ معادل ۹۳ میلیون نفر یعنی حد متوسط پیش‌بینی شده لحاظ شده است و برای ۲۰۵۰ معادل ۱۰۳ و ۱۱۲ میلیون نفر لحاظ شده است که حد متوسط و حد بالای پیش بینی شده برای این مقطع زمانی هستند. خطوط عمودی نیاز به محصولات گیاهی در مقطع زمانی پایه (۲۰۱۵) را نشان می-دهند که برابر ۱۲۸/۷ میلیون تن در سال است. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

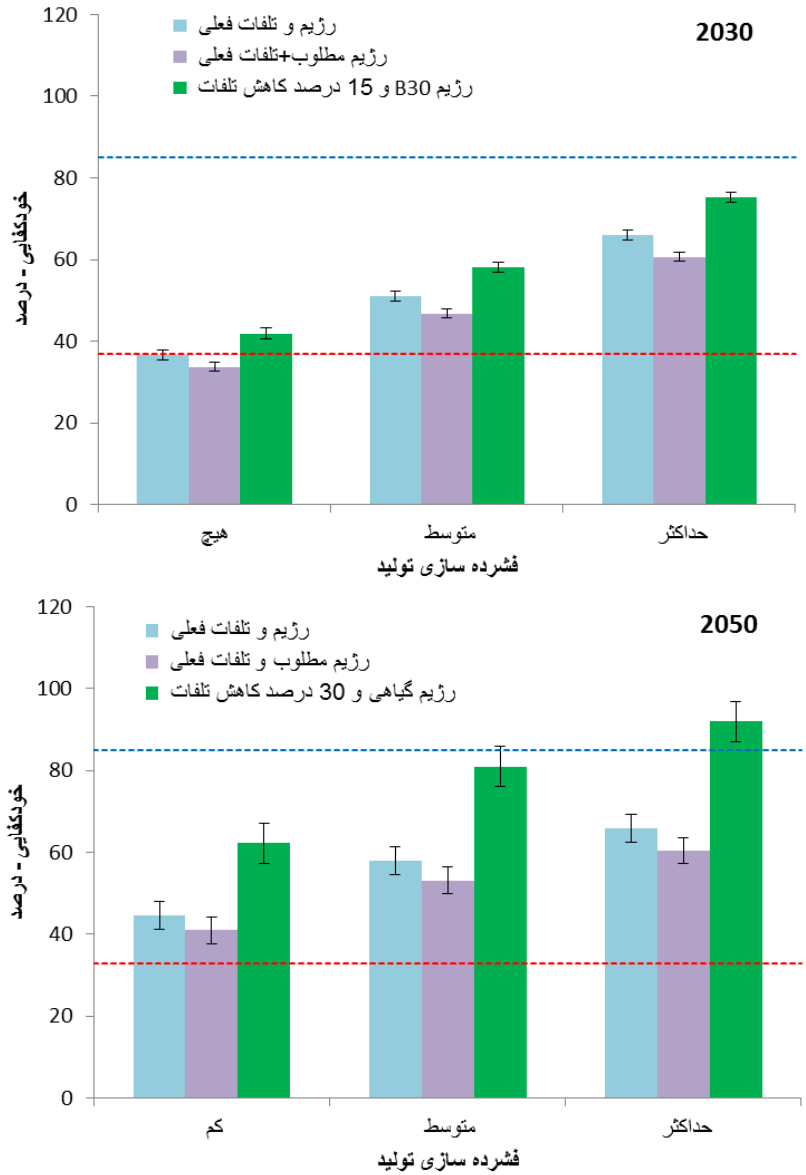
یک ظرفیت دیگر فشرده سازی است. فشرده‌سازی یعنی افزایش بهره‌وری و تولید بیشتر از هر واحد منابع یا نهاده‌های به‌کاررفته در کشاورزی. این مهم با کاهش خلا عملکرد و افزایش راندمان آبیاری قابل پیگیری می‌باشد (جدول ۱). پیش‌بینی شد چنان‌چه بدون اقدام به فشرده‌سازی، اختصاص آب به کشاورزی در حد پایدار تعدیل شود، خودکفایی در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌دلیل کاهش تولیدات گیاهی و افزایش جمعیت به‌ترتیب به ۳۷ و ۳۳ درصد تنزّل می‌یابد. با توجه نرخ‌های منطقی افزایش عملکرد و بهبود راندمان آبیاری، برای هر یک از افق‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ سناریوهای فشرده‌سازی مختلفی تعریف و بررسی شدند (شکل ۳). سناریوهای فشرده‌سازی کم، متوسط و زیاد به ترتیب مستلزم افزایش عملکرد حدود ۱، ۱/۵ و ۳ درصد در سال و افزایش راندمان آبیاری ۰/۶، ۱ و ۱/۵ درصد در سال

خواهند بود. پیش‌بینی شد در افق ۲۰۳۰ و با منابع آب پایدار، سناریوهای فشرده‌سازی متوسط و زیاد، بسته به سناریوی مدیریت تقاضا، خودکفایی را از ۳۷ درصد در حالت بدون اقدام به‌ترتیب به ۴۷ تا ۵۸ درصد و ۶۱ تا ۷۵ درصد خواهند رساند. در افق زمانی ۲۰۵۰، خودکفایی از ۳۳ درصد در حالت بدون اقدام به ۴۱ تا ۶۲ درصد در فشرده‌سازی کم، به ۵۳ تا ۸۱ درصد در فشرده‌سازی متوسط و به ۶۰ تا ۹۲ درصد در فشرده‌سازی زیاد قابل افزایش است که دامنه تغییر به مدیریت تقاضا ارتباط دارد (شکل ۴). نتیجه گیری شد که اجرای فشرده‌سازی وضعیت تامین غذا و خودکفایی را بهبود می‌بخشد ولی خودکفایی کامل در حال حاضر و آینده، جز به هزینه اضافه برداشت آب و ناپایداری و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی، غیر ممکن خواهد بود. در صورت موفقیت در فشرده‌سازی، می‌توان همزمان با کاهش اختصاص آب به کشاورزی و تنظیم آن در حد پایدار، تولیدات کشور را در حدی نزدیک به سطح فعلی حفظ نمود و نباید انتظار افزایش تولید فراتر از تولید کنونی را داشت. درصورت عدم کنترل و تعدیل منابع آب کشاورزی، بهتر است برنامه‌های افزایش راندمان آبیاری مورد تجدید نظر قرار گیرد چون باعث خشکی بیشتر محیط‌زیست می‌شوند.



شکل ۳ – تاثیر سناریوهای مختلف فشرده سازی بر تولیدات گیاهی کشور با ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال منابع آب آبی در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ برای دو حالت که تاثیر تغییر اقلیم لحاظ نشده (-cc) یا شده (+cc) باشد. خط عمودی تولید گیاهی جاری با ۸۶ میلیارد متر مکعب آب آبی را مشخص می-کند. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

یک سئوال مهم این است که آیا تلاش‌ها برای کاهش تقاضا و افزایش تولید به لحاظ اقتصادی دارای صرفه هست؟ بررسی نسبت فایده به هزینه برای اجرای گزینه های فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا نشان داد این نسبت برای افزایش راندمان آبیاری ۲/۲۴، برای رفع کامل خلا قابل مدیریت ۱/۲۳، برای تغییر رژیم غذایی ۲/۵۳ و برای کاهش تلفات-ضایعات ۱/۵۹ می‌باشد. اما، در حالت ترکیب اقدامات، این نسبت برای ترکیب رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری ۲/۳۰ و برای ترکیب کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی ۲/۰۱ می-باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که حرکت در راستای اجرای گزینه‌ها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و بهترین نتایج از ترکیب اقدامات فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا حاصل خواهد شد.



شکل ۴ – تاثیر ترکیبی سناریوهای تقاضا و تولید بر خودکفایی در ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰. خطوط افقی به ترتیب از بالا به پایین عبارتند از خودکفایی در شرایط کنونی (۲۰۱۵) و خودکفایی در شرایطی که با مدیریت فعلی تولید و تقاضا وارد ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰ بشویم. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

تغییر الگوی کشت ظرفیت دیگری است. نتایج این مطالعه نشان داد که با بهینه‌سازی الگوی کشت می‌توان کاهش منابع آب کشاورزی در قدم اول از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال (قابل‌برنامه ریزی وزارت نیرو) و در قدم آخر از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال (حد پایداری) را مدیریت نمود طوری که همزمان بازده اقتصادی کشاورزان نسبت به حال حاضر افزایش یابد و میزان کاهش در سطح زیر کشت آبی، تولیدات کشاورزی و خودکفایی کمتر شود (جدول ۱). در الگوهای بهینه شده کشت گیاهان با آب مجازی کمتر (مثل سیب‌زمینی، صیفی–سبزی، میوه‌جات و حبوبات)، توسعه کشت پاییزه به جای بهاره در برخی محصولات و توسعه کشت‌های گلخانه‌ای

جایگزین کشت‌هایی با آب مجازی بالا (مثل محصولات علوفه‌ای، گیاهان قندی و دانه‌های روغنی تابستانه و برنج) شده‌اند. ترکیب بهینه‌سازی الگوی کشت و فشرده‌سازی ظرفیت بزرگتری را برای انطباق با شرایط چالشی آینده ایجاد می‌کند.

تصویری از آینده مطلوب: این مطالعه دو برنامه راهبردی برای حرکت صحیح در محدوده افق ۲۰۳۰ ارایه می‌کند (جدول ۲). در برنامه اول فرض شد برداشت آب برای کشاورزی در حد رسمی اعلام شده توسط وزارت نیرو (یعنی ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال برای کشاورزی و ۵۹ میلیارد متر مکعب در سال برای تولید گیاهی) تنظیم شده است ولی اقدامات برای فشرده سازی به‌بار ننشسته و عملکردها (یا خلا عملکردها) و راندمان آبیاری در حد فعلی هستند، اما الگوی کشت در شرایط کشت آبی برای سازگاری با کاهش آب تغییر یافته است. این برنامه را می‌توان گام نخست برای حرکت در جهت صحیح تلقّی کرد. در این برنامه، به‌دلیل ۲۷ درصد کاهش در منابع آب برای آبیاری، سطح زیر کشت آبی ۱۸ درصد کاهش می‌یابد و استفاده از نهاده‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین ۱۷ درصد کاهش در تولیدات گیاهی در شرایط آبی و ۱۳ درصد کاهش در کل تولیدات گیاهی وجود خواهد-داشت ولی بازده اقتصادی افزایش می‌یابد (۱۵ درصد). اگر سال وقوع این سناریو ۲۰۳۰ باشد و رژیم غذایی و تلفات-ضایعات تغییر نکرده‌باشد، خودکفایی از رقم ۸۵ درصد فعلی به ۶۳ درصد افت پیدا می‌کند. در صورت پیاده سازی رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداست و تلفات-ضایعات فعلی، خودکفایی به ۵۸ درصد کاهش می‌یابد و در صورت مقداری کاهش در اقلام غذایی آب‌بر در رژیم غذایی همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، خودکفایی به ۷۲ درصد خواهد رسید. این مقدار کاهش خودکفایی در مقایسه با اثرات مثبت کاهش اضافه برداشت آب و نیز بازده مثبت اقتصادی الگوی کشت مربوطه، برای کشور قابل تحمل خواهد بود. پیاده‌سازی این برنامه در سطح کشور از طریق مکانیسم‌های اقتصادی-اجتماعی نظیر قیمت‌گذاری، خرید تضمینی، وام، بهره بانکی، بیمه، تعرفه صادرات و واردات و نظیر این‌ها ممکن خواهد بود.

جدول ۲ – تصویری از آینده مطلوب کشاورزی کشور با ارایه دو برنامه و مقایسه آن‌ها با وضعیت فعلی از نظر میزان استفاده از منابع آب و زمین، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی، میزان تولیدات گیاهی، بازده اقتصادی ناخالص و خودکفایی. محاسبه خودکفایی برای وضعیت فعلی برای زمان حاضر (۲۰۱۵ با جمعیت ۸۰ میلیون نفر) صورت گرفته است ولی برای برنامه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۳۰ (جمعیت ۹۳ میلیون نفر) و بر اساس سه سناریوی مدیریت تقاضا محاسبه شده‌است. توجه شود که در برنامه ۲ تولیدات گیاهی در شرایط دیم نیز در اثر فشرده‌سازی افزایش می‌یابد. محاسبات با کمک سیستم SEA صورت گرفته‌است.

شاخص	میزان تغییرات			درصد تغییر	
	فعلی	برنامه ۱	برنامه ۲	برنامه ۱	برنامه ۲
سال مبنا	۲۰۱۵	۲۰۳۰	۲۰۳۰	–	–
آب (میلیارد متر مکعب) *	۸۱/۷۵	۵۹/۴۵	۳۶/۵۷	-۲۷	-۵۵
سطح فشرده سازی	فعلی	فعلی	زیاد در افق ۲۰۳۰	–	–
الگوی کشت	فعلی	الگوی ۱	الگوی ۲	–	–
سطح زیر کشت آبی (هزار هکتار)	۸۴۰۹	۶۹۰۷	۵۱۵۸	-۱۸	-۳۹
کود نیتروژن (هزار تن)	۹۹۹	۸۸۵	۱۱۳۱	- ۱۱	۱۳
کود فسفر (هزار تن)	۱۴۹	۱۲۳	۱۴۹	- ۱۷	۰
کود پتاسیم (هزار تن)	۷۶۰	۶۴۱	۷۷۹	- ۱۶	۲

انرژی (میلیون مگاژول)	۴۴۱۸۶۳	۳۴۱۶۶۶	۲۷۱۷۴۱	– ۲۳	– ۳۹
سوخت (میلیون لیتر)	۳۲۶۸	۲۶۷۹	۲۰۹۵	– ۱۸	– ۳۶
الکتریسیته (میلیون کیلو وات ساعت)	۱۸۳۶۸	۱۳۱۵۸	۸۶۱۴	– ۲۸	– ۵۳
انتشار گازهای گلخانه‌ای میلیون کیلو گرم معادل CO_2	۳۲۴۹۰	۲۵۷۱۶	۲۱۰۴۵	– ۲۱	– ۳۵
تولیدات گیاهی در کشت آبی (میلیون تن)	۹۱	۷۷	۹۰	– ۱۵	– ۱
کل تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم (میلیون تن)	۱۰۹	۹۵	۱۱۳	– ۱۳	۴
بازده برنامه‌ای کشت آبی (هزار میلیارد ریال)	۱۷۳	۱۹۰	۲۳۰	۹	۳۳
واردات (میلیون دلار)	۱۴۴۶۸	۲۵۲۵۴	۲۲۵۴۷	۷۵	۵۶
صادرات (میلیون دلار)	۱۲۲۵۱	۶۶۶۶	۱۷۷۱۱	–۴۶	۴۵
جمعیت کشور	۸۰	۹۳	۹۳	۱۶	۱۶
تقاضا ۱ (رژیم غذایی و تلفات فعلی – میلیون تن)**	۱۲۸/۷	۱۴۹/۳	۱۴۹/۳	۱۶	۱۶
تقاضا ۲ (رژیم غذایی مطلوب و تلفات فعلی – میلیون تن)	–	۱۶۲/۷	۱۶۲/۷	۲۶	۲۶
تقاضا ۳ (رژیم B30 و ۱۵ درصد کاهش تلفات – میلیون تن)	–	۱۳۱/۰	۱۳۱/۰	۲	۲
خودکفایی بر اساس تقاضای ۱ (درصد)	۸۵	۶۳	۷۵	– ۲۵	– ۱۱
خودکفایی بر اساس تقاضای ۲ (درصد)	–	۵۸	۶۹	– ۳۱	– ۱۸
خودکفایی بر اساس تقاضای ۳ (درصد)	–	۷۲	۸۶	– ۱۵	۱

*۹۵ درصد آب اختصاصی به کشاورزی صرف تولید گیاهی می‌شود.

**تقاضا برای محصولات گیاهی بر حسب میلیون تن درب مزرعه برای تغذیه مستقیم یا غیر مستقیم از طریق پرورش دام.

در برنامه دوم فرض شد برداشت آب برای کشاورزی در حد پایدار تنظیم شده‌است ولی اقدامات موثر برای فشرده‌سازی نیز به‌طور همزمان صورت گرفته‌است طوری که خلا عملکرد نسبی کشور از ۶۰ درصد فعلی به ۴۰ درصد کاهش یافته و راندمان آبیاری کشور از ۳۸ درصد به ۵۵ درصد ارتقا پیدا کرده‌است. در این سناریو اگرچه اختصاص آب به کشاورزی ۵۵ درصد کاهش می‌یابد ولی به دلیل اقدامات مرتبط با تغییر الگوی کشت و فشرده‌سازی، تولیدات گیاهی در شرایط آبی فقط ۳ درصد کاهش یافته در صورتی‌که کل تولیدات گیاهی دیم و آبی ۴ درصد افزایش می‌یابد و بازده اقتصادی ۴۰ درصد بیشتر می‌گردد. چنان‌چه این برنامه در افق ۲۰۳۰ اجرا شود، کاهش خودکفایی با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی فقط ۱۱ درصد خواهد بود (از ۸۵ به ۷۵ درصد)، در صورت پیاده‌سازی رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات فعلی، ۱۸ درصد کاهش می‌یابد (از ۸۵ به ۶۹ درصد) و در صورت مقداری کاهش در اقلام غذایی آب‌بر در رژیم غذایی همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، خودکفایی در حد کنونی (۸۶ درصد) حفظ خواهد شد. نیاز به کودها در این برنامه مشابه شرایط فعلی است ولی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد.

در صورت اجرای این برنامه‌ها با کشاورزی سر و کار خواهیم داشت که در آن بهره‌برداری از آب برای کشاورزی به هزینه مقداری کاهش خودکفایی در حد پایدار تعدیل شده‌است. تولید و خودکفایی در محصولات با آب مجازی بالا (مثل محصولات دامی یا علوفه‌ای، گیاهان قندی، دانه‌های روغنی تابستانه و برنج) کاهش می‌یابد که در نتیجه واردات آن‌ها باید بیشتر شود و در مقابل تولید و صادرات محصولاتی با آب مجازی پایین مثل سیب‌زمینی، صیفی-سبزی، میوه‌جات و حبوبات افزایش پیدا می‌کند. در بهترین برنامه که اجرای آن تاکنون در این سرزمین تجربه نشده‌است، حفظ خودکفایی در شرایطی که استفاده از آب و خاک در مرز ایمن و پایدار

باشد، در حد کنونی مقدور است و نه بیشتر، اما خودکفایی در گندم در حد کنونی حفظ شده یا افزایش می‌یابد. با اجرای این برنامه‌ها تراز تجاری بخش کشاورزی که در حال حاضر منفی است، همچنان منفی باقی‌خواهد ماند اگرچه با اجرای برنامه دوم شرایط تا حدودی بهبود می‌یابد. اجرای این برنامه‌ها مستلزم کوچک شدن سطح زیر کشت آبی است که در نتیجه آن اشتغال در بخش کشاورزی نیز کوچکتر می‌شود. هزینه‌های این دو در طول دوره اجرای برنامه‌ها باید دیده‌شود.

در صورت عدم اجرای این برنامه‌ها و اقدامات توصیه شده این گزارش، ممکن است پیامدهای زیانبار ناشی از بهره‌کشی از منابع آب و خاک از مرزهای برگشت‌پذیر عبور کنند و اکوسیستم‌های طبیعی که پشتیبان نظام تولید بوده و می‌توانند منبع درآمد جایگزین برای کشاورزان باشد (مثل بوم‌گردی) از بین رفته باشند. در این صورت احتمالا در آینده باید هزینه بیشتری برای مهار طبعات آن‌ها صرف نمود (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش‌های غیر متعارف و پرهزینه (مثل انتقال آب دریای خزر) روی آورد. اگرچه در شرایط فعلی و وجود تحریم‌ها امیدی به اجرای چنین برنامه‌هایی نیست ولی لازم است مطالعات تکمیلی صورت گیرد تا بعد از مساعد شدن شرایط به اجرا گذاشته‌شوند.

گزاره‌های سیاستی پیشنهادی حاصل از این مطالعه عبارتند از:

- در اسناد بالادستی باید به محدودیت های بیوفیزیکی کشور در تهیه سیاست‌ها و راهبردها توجه شود. نمونه بارز، هدف-گذاری برای دستیابی به خودکفایی است، که منطبق بر این محدودیت‌ها نیست.
- کلیه برنامه های مرتبط با کشاورزی باید با رعایت مرزهای پایدار استفاده از منابع زیر بنایی (مثل آب، زمین) تهیه و اجرا شوند. نتیجه اضافه برداشت کنونی آب برای کشاورزی، ناپایداری محیط‌زیست و کشاورزی در آینده خواهد بود.
- مسئله اصلی مدیران کشاورزی باید این باشد که "چگونه می‌توان خسارات ناشی از سازگاری به کم‌آبی بر تولید، خودکفایی و امنیت غذایی را به حداقل رساند" نه این‌که "چگونه می‌توان تولید را افزایش داد و به خودکفایی دست یافت".
- مدیران و محققان کشاورزی و منابع طبیعی باید انتظارات از کشاورزی و ظرفیت‌های آن را تعدیل کنند.
- در سیاست‌های افزایش جمعیت باید به آمادگی و زمینه‌چینی برای افزایش واردات غذا توجه شود.
- برای مدیریت در حوزه‌های آب، کشاورزی، غذا و محیط‌زیست از تجربیات متخصصان بین‌المللی استفاده شود.
- منابع آب و نیز زمین و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها باید تحت کنترل حاکمیت قرار گیرند چون پیش‌شرط موفقیت همه برنامه-های مرتبط با آب-کشاورزی-غذا است.
- وظیفه صیانت از منابع آب و نیز وظیفه فرآهم‌سازی و تامین آب برای بخش‌های مختلف که در یک‌جا جمع شده‌اند باید جدا شوند و ساختار دیگری جایگزین شود که در آن واحد مدیریت آب از استان به آبخیز تغییر یافته‌باشد.
- باید برای شکستن تحریم‌ها اقدام شود. تداوم تحریم‌ها، اجرای برنامه‌های لازم برای امنیت غذایی توام با حفظ محیط‌زیست را مشکل یا ناممکن خواهد ساخت.
- برای اطمینان از امنیت غذایی توام با حفظ محیط‌زیست، باید برنامه‌های تحوّل‌ساز تهیه گردد.
- گسترش کشاورزی و ایجاد واحدهای جدید مبتنی بر کشت آبی باید متوقف شود، نسبت به کوچک‌سازی ولی فشرده‌سازی اقدام گردد.

- مدیریت تقاضا (تغییر رژیم غذایی به سمت مصرف بیشتر مواد گیاهی و کاهش تلفات-ضایعات) در حصول امنیت غذایی نباید دست کم گرفته شود. تاثیر برنامه‌های مدیریت تقاضا در حد برنامه‌های افزایش تولید می‌باشد اگر چه هزینه آن‌ها کمتر است.

بسته‌های برنامه‌ای نیز در راستای سیاست‌ها، پیشنهاد شده‌اند که عبارتند از: (۱) فشرده‌سازی اکولوژیک، (۲) تغییر الگوی کشت، (۳) چاره‌جویی برای اراضی آبی غیر قابل آبیاری، (۴) جبران آسیب‌های کوچک‌سازی سطح زیر کشت، (۵) گسترش خاک‌ورزی و کشاورزی حفاظتی، (۶) افزایش کارایی سیستم‌های دامی و سیستم‌های دامی جایگزین، (۷) تحوّل در تولید محصولات باغبانی، (۸) کاهش تلفات-ضایعات، (۹) تغییر رژیم غذایی به سمت استفاده کمتر از محصولات دامی و آب‌بر، و (۱۱) تحقیقات درباره تکنولوژی-های جدید.

باید توجه داشت که در پیاده‌سازی برنامه‌ها هنوز موانع و محدودیت های بی شمار وجود دارد که باید رفع شوند.

۳-۱-مقدمه

امنیت غذایی[۴] وقتی تأمین می‌شود که "همه مردم در همه‌وقت به‌صورت فیزیکی و اقتصادی به غذای کافی، سالم و مغذی برای تأمین نیازهای روزانه خود برای یک زندگی سالم و فعال دسترسی داشته باشند" (FAO، ۲۰۰۲). امنیت غذایی دارای چهار جزء یا مولفه است که عبارت‌اند از (کسمن، ۲۰۱۲):

(۱) فراهمی و پایداری عرضه مواد غذایی[۵]،
(۲) دسترسی شامل استطاعت مالی، سیاست‌ها و عوامل بازار[۶]،
(۳) ارزش غذایی و ایمنی غذایی[۷]، و
(۴) پایداری محیط‌زیست[۸]

بنابراین، امنیت غذایی یک مفهوم چند وجهی است که نمی‌توان آن را در قالب یک عدد خلاصه نمود و لازم است جنبه‌های مختلف آن بررسی گردد. از میان مولفه‌های امنیت غذایی، مولفه اول بیش از بقیه مولفه‌ها با بهره‌برداری از منابع محیطی مثل آب و زمین و نهاده‌ها مثل کود و انرژی مرتبط است. برای مثال، بخش اعظم مصرف آب در کشاورزی با این مولفه مرتبط است. همچنین این مولفه پیچیدگی و گستردگی زیادی دارد، افرادی زیادی درگیر آن هستند و مدیریت آن به راحتی سایر اجزا نیست. باید توجه داشت که امنیت غذایی مساوی با خودکفایی غذایی[۹] نیست. اما، خودکفایی یکی از شاخص‌های مهمّی است که به ارزیابی کمّی روش‌های مختلف مرتبط با تولید و یا تقاضا برای مواد غذایی، کمک می‌کند.

امنیت غذایی دغدغه همیشگی سیاست‌گذاران کشورهای در حال توسعه بوده است (اینگرام، ۲۰۱۱)، اما از حدود سال ۲۰۱۰ به این سو به یک دغدغه جهانی تبدیل گشته است (کسمن، ۲۰۱۲). نگرانی‌ها درباره تولید غذای کافی و امنیت غذایی جهانی رو به افزایش است. گزارشات جدید سازمان‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که گرسنگی و سو تغذیه در سطح جهان پس از یک دوره طولانی کاهش، روبه افزایش گذاشته‌است (فائو و همکاران، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸). بر اساس این گزارشات، امنیت غذایی، آشکارا در بخش‌هایی از صحرای آفریقا و جنوب شرق و غرب آسیا بدتر شده‌است که دلیل اصلی آن منازعات و خشکسالی در این مناطق است. از کشاورزی انتظار می‌رود تا ۲۰۵۰ غذای بیشتری (۶۰ تا ۱۱۰ درصد) برای جمعیت ۹ تا ۱۰ میلیاردی آن زمان تولید کند و در همان حال اثرات زیست‌محیطی این تولیدات را نیز کاهش دهد (تیلمن و همکاران، ۲۰۱۱؛ اسمیت، ۲۰۱۳) که انتظار بالایی محسوب می‌شود به‌ویژه این‌که منابع آب و زمین نیز محدود است.

در این‌جا اشاره به دلایل خوشبینی و سپس نگرانی از امنیت غذایی در قبل و بعد از دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ می‌تواند مفید باشد. در سال‌های منتهی به پایان هزاره دوم (سال ۲۰۰۰) نگرانی کمتری درباره امنیت غذایی وجود داشت و بیشتر پیش‌بینی‌ها حاکی از بهبود دسترسی به غذا بود. اما، بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ افزایش غیرمنتظره قیمت محصولات غذایی رخ داد که این امر باعث شد امنیت

[4] Food security
[5] Availability and stability of supply
[6] Access, affordability, policies and markets
[7] Nutrition and food safety
[8] Environmental sustainability
[9] Food self-sufficiency

غذایی در کل دنیا و نیز کشورهای توسعه‌یافته به مسئله ای مهم تبدیل شود. چهار عامل تا حدود زیادی دلیل بروز این اتفاق بودند (کسمن، ۲۰۱۲): اول این‌که، رشد اقتصادی در پرجمعیت‌ترین کشورهای دنیا مثل هند و چین فراتر از پیش‌بینی‌ها رخ داد و باعث شد تقاضای سرانه برای غذا و به‌خصوص محصولات دامی بیشتر از آن‌که مدل‌های اقتصادی پیش‌بینی می‌کردند، افزایش یابد. دوم این‌که، سرعت افزایش در عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از مناطق اصلی تولید غلات در دنیا شروع به توقف کرده یا به‌صورت بارزی کاهش یافت. این مناطق و گیاهان عبارت بودند از برنج در چین، کره، ژاپن و کالیفرنیا، گندم در اروپای شمالی و هند، ذرت دیم در چین و ذرت آبی در امریکا. این مناطق و گیاهان زراعی روی‌هم ۲۰ درصد تولید و عرضه جهانی را بر عهده‌دارند. سوم این‌که، قیمت سوخت خیلی سریع‌تر از انتظار و هماهنگ با افزایش تقاضا، ناشی از رشد اقتصادی سریع در کشورهای در حال توسعه، افزایش یافت. افزایش قیمت، استفاده از گیاهان برای تولید سوخت را اقتصادی ساخت. اگرچه برخی کشورها به تولید سوخت‌های زیستی یارانه اختصاص می‌دهند، اما بهبود تکنولوژی تولید این سوخت‌ها و افزایش قیمت نفت، باعث شده تولید سوخت‌های زیستی بدون دریافت یارانه هم اقتصادی و سودآور باشد که به این معنی است که رقابت بین تولید غذا و انرژی از گیاهان در آینده هم ادامه خواهد داشت. و چهارم این‌که، گسترش و توسعه شهرها در دنیا باعث شد بهترین اراضی کشاورزی به مصارف دیگری اختصاص داده شوند و تولید گیاهان کشاورزی در اراضی جایگزین باکیفیت پایین‌تر که دارای خاک فقیرتر و اقلیم نامناسب‌تر هستند، صورت گیرد (کسمن، ۲۰۱۲).

در سطح جهان، این چهار روند احتمالاً ادامه می‌یابند و درنتیجه فشار باورنکردنی به سیستم غذایی جهان برای تأمین جمعیت و درآمد در حال رشد وارد می‌شود. قیمت غلات و دانه‌های روغنی مثل گندم، برنج، ذرت و سویا قبلا دو برابر شده است. در حال حاضر، همه مدل‌های مهم اقتصادی پیش‌بینی می‌کنند که قیمت‌ها افزایش خواهند یافت و این علامت افزایش قیمت باعث ترغیب کشاورزان به گسترش اراضی کشاورزی در برخی نقاط جهان مثل برزیل شده است. افزایش عملکرد در اراضی موجود با نرخی بالاتر از تقاضا، تنها راه معکوس کردن روند فعلی است. ادامه روند فعلی باعث گسترش خیلی زیاد کشاورزی به هزینه تخریب جنگل‌های بارانی باقی‌مانده، تالاب‌ها و علفزارهای ساوانا صورت می‌گیرد که اکوسیستم‌های غنی از کربن و تنوع زیستی هستند. انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای نیز نتیجه دیگر ناشی از این تبدیل خواهد بود. اگرچه افزایش عملکرد و تولید غذا در اراضی موجود ضروری است ولی برای دستیابی به امنیت غذایی در جهان کافی نیست، بلکه نیاز است سیاست‌های آگاهانه‌ای اتخاذ شوند تا تولید و عرضه غذای سالم و مغذی، در دسترس و با قیمت مناسب در شرایطی صورت گیرد که کیفیت خاک حفظ شود، از آب و منابع زیستی محافظت شود و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. درواقع به نظر می‌رسد "اطمینان از امنیت غذایی جهانی همراه با حفاظت از محیط‌زیست"، احتمالاً بزرگ‌ترین چالش پیش روی بشر باشد (کسمن، ۲۰۱۲).

شرایط ایران نیز کم‌وبیش مشابه بوده و جای نگرانی دارد طوری‌که توجه به امنیت غذایی در کلیه اسناد بالادستی مشاهده می‌شود. ایران با جمعیتی بیش از ۸۰ میلیون نفر در منطقه‌ای ناپایدار به لحاظ ژئوپولیتیکی، یعنی خاورمیانه، قرار گرفته‌است. بارندگی کم و نامنظم، زمین‌های قابل کشت محدود و منابع آب به‌شدت محدود از خصوصیات ذاتی این سرزمین هستند. طی ۵۰ سال گذشته جمعیت کشور از حدود ۳۰ میلیون نفر به بیش از ۸۰ میلیون نفر افزایش یافته‌است. در طی همین زمان کشاورزی نیز گسترش یافته و هم فشرده شده‌است. پیش بینی می‌شود جمعیت کشور در ۲۰۵۰ از مرز ۱۰۰ میلیون نفر عبور کند (چشم انداز جمعیت جهانی: WPP، ۲۰۱۹). تامین غذای کافی و سالم برای این جمعیت یک چالش مهم خواهد بود، به‌ویژه این‌که به‌نظر می‌رسد منابع زمین و آب بیشتری در کشور وجود ندارد.

بیش از ۹۰ درصد تولیدات گیاهی کشور در شرایط کشت آبی به دست می‌آید، در حالی که متوسط جهانی این رقم ۲۰ درصد است (کیتینگ و همکاران، ۲۰۱۴) و نشان می‌دهد کشاورزی در ایران به شدت به آبیاری وابسته است. در حال حاضر، سالانه ۸۶ میلیارد متر مکعب آب به کشاورزی اختصاص داده می‌شود که حدود ۹۰ درصد برداشت آب (یا آب مصرفی) در کشور را تشکیل می‌دهد. بر اساس اعلام رسمی وزارت نیرو حجم آب قابل برنامه ریزی در کشور برای کشاورزی ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال است. بنابراین، حدقل سالانه ۲۴ میلیارد متر مکعب (۲۸ درصد) اضافه برداشت از منابع آب برای کشاورزی به‌وقوع می‌پیوندد. در حالی که اگر استانداردهای پذیرفته شده جهانی درباره کسر آب تجدیدپذیر که قابل بهره‌برداری است را مد نظر قرار دهیم (برای مثال، اسماختین و همکاران، ۲۰۰۴؛ فدر و همکاران، ۲۰۱۳)، و نیز با نظر داشت خشکسالی‌های اخیر در کشور و کاهش حجم آب تجدیدپذیر (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶)، اضافه برداشت از منابع آب برای آبیاری در کشور، از ۲۸ درصد فراتر رفته و به بالاتر از ۵۰ درصد بالغ می‌گردد[10]، حاکی از این که برداشت آب برای کشاورزی باید تا بیش از ۵۰ درصد کاهش پیدا کند. مصوبه شماره ۱۵۸۹۶۹/ت ۵۵۰۹۲ هیئت وزیران به تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۶ در خصوص تشکیل کارگروه ملی سازگاری با کم آبی در همین راستا تهیه شده است که در آن وزارت نیرو، سازمان صدا و سیما، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان برنامه و بودجه، سازمان حفاظت محیط زیست کشور و وزارت صنعت، معدن و تجارت به عنوان دستگاه‌های مجری موظف به اقدامات لازم شده‌اند.

اضافه برداشت آب برای کشاورزی مسئول بحران آب یا ورشکستگی آبی (مدنی، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۶) و مشکلات زیست محیطی که در گوشه و کنار کشور قابل مشاهده هستند، شناخته شده است: مشکلاتی مثل خشک شدن دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها (مریدی، ۲۰۱۷)، پایین افتادن سطح آب‌های زیر زمینی و خشک شدن چاه‌ها (حجتی و بوستانی، ۲۰۱۰؛ لشکری‌پور و غفوری، ۲۰۱۱؛ ترکمنی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ولی–خودجینی، ۱۹۹۵)، وقوع طوفان‌های گردوغبار در بسیاری از مناطق کشور (برومندی و همکاران، ۲۰۱۷؛ گریوانی و همکاران، ۲۰۱۱) و وقوع پدیده فرونشست زمین (متاق و همکاران، ۲۰۰۷؛ دهقانی و همکاران، ۲۰۱۰) گواه بر این ادعا هستند. از طرفی دیگر، وقوع پدیده تغییر اقلیم که با افزایش دما، افزایش پتانسیل تبخیر و کاهش احتمالی بارندگی همراه است، می‌تواند این بحران را تشدید کند (IPCC، ۲۰۱۳). همه این‌ها در حالی است که گفته می‌شود حدود نیمی از اراضی کشاورزی فعلی در دسته اراضی نامناسب یا خیلی ضعیف برای کشاورزی قرار دارند (مسگران و همکاران، ۲۰۱۶)، حدود ۲۵ درصد از اراضی تحت تنش شوری قرار دارند (مومنی، ۱۳۸۹)، ماده آلی خاک‌های کشاورزی پایین است (ملکوتی، ۱۳۹۷) و تنوع زیستی نیز در معرض خطر قرار دارد (کهراریان و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین، می‌توان اظهار داشت که منابع فعلی آب و زمین برای کشاورزی نه تنها امکان افزایش بیشتر ندارد بلکه باید محدود شود تا کشاورزی و محیط زیست از دور ناپایداری[11] خارج گردند. در این میان، سیاست‌ها و طرح‌های فوری برای کاهش برداشت آب برای کشاورزی قبل از آن که نتایج زیست محیطی غیر قابل برگشت شوند، در اولویت قرار دارند.

با توجه به ارتباط مستقیم آب و تولیدات کشاورزی، کاهش برداشت آب برای کشاورزی می‌تواند چالش تولید غذای کافی را تشدید کند و خودکفایی در تولیدات کشاورزی را به‌شدت تنزّل دهد. بنابراین، سئوالات اساسی عبارتند از:

- چه میزان افزایش تولید از طریق بهبود مدیریت آب و گیاه در واحد سطح یا فشرده‌سازی[12] امکان‌پذیر است؟
- آیا تخصیص فعلی منابع آب و زمین بهینه است؟
- آیا می‌توان با تغییر تخصیص، تولیدات یا درآمد در سطح ملّی را افزایش داد؟

[10] در نتایج و بحث گزارش حاضر و در پیوست شماره ۷ آن جزییات بیشتر در این ارتباط ارایه شده است

[11] Unsustainability spiral

[12] Intensification

- آیا امکان دارد بتوان سطح فعلی خودکفایی را با برداشت کمتر آب برای کشاورزی حفظ نمود؟
- تا چه اندازه می‌توان روی مدیریت تقاضا یعنی کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی حساب کرد؟

برای پاسخ به این سئوالات باید به نقش مکانیسم‌هایی که قادرند تولید را افزایش دهند و یا تقاضا را محدود نمایند، توجه شود. افزایش راندمان آبیاری[13] یعنی نسبت آب مصرف‌شده به آب اختصاص یافته، یکی از این مکانیسم‌هاست که باعث می‌گردد در هر واحد زمین آب کمتری مصرف شود و میزان آب صرفه‌جویی شده را برای آبیاری سایر اراضی استفاده کرد و تولید را افزایش داد (ژاگرمیر و همکاران، ۲۰۱۵؛ ۲۰۱۶). بهره‌برداری از پتانسیل‌های استفاده نشده یعنی رفع خلا عملکرد[14] یکی دیگر از مکانیسم‌هایی است که می‌تواند تولید را افزایش دهد. خلا عملکرد عبارت از اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و پتانسیل عملکرد[15] است. پتانسیل عملکرد عبارت است از عملکرد ارقام سازگار فعلی با مدیریت مطلوب تولید طوری که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به طور موثری کنترل می‌شوند، با انجام آبیاری و کوددهی، محدودیت آب و عناصر غذایی رفع می‌گردد و سایر عملیات تولید نیز به صورت مطلوب انجام می‌گیرند. در شرایط آب محدود (دیم)، به جای واژه پتانسیل عملکرد از پتانسیل عملکرد آب محدود[16] استفاده می‌شود که همان پتانسیل عملکرد است ولی برای شرایط دیم یا شرایطی که محدودیت آب به‌طور کامل قابل‌رفع نیست. رفع خلا عملکرد به عنوان یکی از راه‌های امید بخش برای بهبود تولید غذا و خودکفایی شناخته‌شده‌است (ون ایترسام و همکاران، ۲۰۱۶؛ ون لون و همکاران، ۲۰۱۸؛ تیمسینا و همکاران، ۲۰۱۸).

در سطح جهان سالانه در حدود یک سوم از غذای تولید شده (معادل ۱۳/۳ میلیارد تن در سال)، به دلیل تلفات-ضایعات هرگز مصرف نمی‌شود (گوستاوسون وهمکاران، ۲۰۱۱). کاهش تلفات-ضایعات محصولات کشاورزی و مواد غذایی علاوه بر اهمیت آن در تامین غذا برای مردم در یک کشور، می‌تواند نقش مهمی در کاهش فشار بر منابع (آب شیرین، زمین، نهاده‌های کشاورزی) و کاهش اثرات زیست محیطی داشته باشد (مانیسو و ماسیو، ۲۰۱۹؛ تونینی و همکاران، ۲۰۱۸، رویتر و همکاران، ۲۰۱۷).

میزان استفاده از محصولات دامی به ویژه گوشت قرمز در رژیم غذایی نیز تاثیر مشابهی دارد. برای تولید انرژی و پروتئین از طریق محصولات دامی در مقایسه با محصولات گیاهی به ۲/۵ تا ۱۰۰ برابر منابع (مثل آب) و نهاده‌های (کود) بیشتر نیاز است (فالکن‌مارک و لنرستاد، ۲۰۱۰؛ فائو، ۲۰۰۶؛ گونزالز و همکاران، ۲۰۱۱؛ کانر و همکاران، ۲۰۱۱). ضریب تبدیل انرژی در تولید گوشت گاو بسیار کم و حدود ۳ کالری به ازای ۱۰۰ کالری یعنی ۳ درصد است؛ این ضریب برای لبنیات ۴۰ درصد، تخم مرغ ۲۲ و گوشت مرغ ۱۲ درصد می‌باشد (کسدی و همکاران، ۲۰۱۳). تغییر رژیم غذایی به سوی مواد غذایی که هزینه تولید کمتری دارند، یعنی مواد گیاهی به جای مواد حاصل از دام‌ها و نیز استفاده از محصولات دامی با هزینه کمتر (برای مثال استفاده از گوشت مرغ به جای گوشت قرمز)، به کاهش نیاز به محصولات کشاورزی و استفاده از منابع محدود کمک می‌کند (جاوالا و همکاران، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۶؛ الکساندر و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۷). در بسیاری از نقاط جهان رژیم‌های غذایی جایگزین در حال معرفی هستند طوری که در آن ها از منابع کمتری استفاده شده باشد (پورکا و همکاران، ۲۰۱۳).

برای سیاست گذاری و اتخاذ تصمیمات مناسب در ارتباط با کشاورزی و امنیت غذایی و تاثیرپذیری آن‌ها از بحران آب ضروری است که تصویر و درک درستی از مسئله و متغیرهای تاثیرگذار آن داشته باشیم. اظهارنظرها و مطالب کیفی در این ارتباط خوب است

[13] Irrigation efficiency
[14] Yield gap
[15] Potential yield
[16] Water-limited potential yield

ولی کافی نیست. برآوردهای کمّی از ابعاد مختلف و روابط بین متغیرهای کلان اقلیم، آب، خاک و کشاورزی مورد نیاز است. مطلوبتر آن است که بتوان همبست[17] آب-زمین-غذا-محیط زیست در سطح کشور را در یک مدل توصیف کرد. در این صورت امکان سناریو آنالیز[18] فرآهم شده و شرایط بهتری برای تهیه برنامه های اقتصادی ـ اجتماعی ـ سیاسی نیز مهیا می گردد. بخش بزرگی از سیاست ها و برنامه های ناکارآمد گذشته نتیجه فقدان اطلاعات کمّی از متغیرهای مهم و توجه به روابط بین آن‌ها (جامع‌نگری) بوده است. گسترش کشاورزی فراتر از محدودیت‌های منابع آب یک نمونه است.

از ترکیب عوامل موثر بر تولید و تقاضا برای مواد غذایی، می‌توان سناریوهای بیشماری را تعریف کرد. رهیافت سناریو آنالیز با کمک مدل‌های شبیه‌سازی ابزاری قدرتمند و ضروری برای ارزیابی این سناریوها به‌شمارمی‌رود که در این مطالعه مورد استفاده قرار می گیرد. سناریو آنالیز به سیاست‌گذاران و مدیران این امکان را می‌دهد که سناریوهای مختلف را با توجه به عدم قطعیت آینده، با یک روش سیستماتیک کاوش کنند، نتایج احتمالی تصمیمات گوناگون را بررسی و تحلیل نمایند و تصمیمات مناسبتری اتخاذ کنند (رابینسون و همکاران، ۲۰۱۵). سناریو آنالیز برای ارزیابی راهکارهای مختلف بهبود امنیت غذایی و نحوه توزیع بودجه و امکانات میان راهکارهای مختلف قابل استفاده است. اگر این توزیع بدون توجه به مقدار اهمیت راهکارهای مختلف انجام شود، در این صورت سرمایه‌ها به هدر می‌رود و فرصت‌ها از دست خواهند رفت.

برای درک کامل عمق و دامنه چالش امینت غذایی و ظرفیت‌های بهبود آن لازم است ارزیابی‌هایی در مقیاس گسترده از ظرفیت برای افزایش تولیدات کشاورزی، به‌ویژه تحت تاثیر محدودیت‌های منابع آب و خاک به عمل آید. در این راستا، مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی[19] در انجام ارزیابی‌های امنیت غذایی ضروری هستند (برای مثال، سینکلر و همکاران، ۲۰۱۴؛ ون ایترسام و همکاران، ۲۰۱۶؛ تیمسینا و همکاران، ۲۰۱۸). مدل‌های گیاهی در تعدادی زیادی از مگاپروژه‌های بین المللی مرتبط با امنیت غذایی به‌کاررفته‌اند، از جمله HarvestChoice (اندرسون و همکاران، ۲۰۱۴)، AgMIP (مارتره و همکاران، ۲۰۱۵؛ رونی و همکاران، ۲۰۱۶)، MACSUR (ترنکا و همکاران، ۲۰۱۵)، GYGA (فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳) و پروژه BigData (CIAT، IFPRI، ۲۰۱۶). از مدل‌ها برای ارزیابی عملکرد گیاهان (فن وارت و همکاران، ۲۰۱۳؛ سیارسی و همکاران، ۲۰۱۷؛ فن لون و همکاران، ۲۰۱۸؛ شیلز و همکاران، ۲۰۱۸) و پاسخ آن‌ها به تغییر اقلیم (ارحمان و همکاران، ۲۰۱۸؛ هرناندز اوچا و همکاران، ۲۰۱۸) استفاده شده است. از این مدل‌ها همچنین برای ارزیابی گزینه‌های مختلف مدیریتی و ژنتیکی برای افزایش عملکرد (سینکلر، ۲۰۱۱؛ سینکلر و همکاران، ۲۰۱۰؛ وادز و همکاران، ۲۰۱۷) و نیز بهینه‌سازی استفاده از آب و کودها (ونگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مک‌کارتی و همکاران، ۲۰۰۹؛ فریز و همکاران، ۲۰۱۰؛ کراپ و همکاران، ۲۰۱۹) استفاده شده است.

SSM[20] به گروهی از مدل های شبیه سازی گیاهی اطلاق می شود که ساخت آن‌ها به سال ۱۹۸۶ بر می‌گردد زمانی که سینکلر (۱۹۸۶) مدلی برای رشد و نمو سویا تهیه کرد. ساختار این مدل طی ۳۰ سال بعد بهبود یافته و تقریبا برای همه گیاهان زراعی استفاده شده است که از جمله ذرت، سورگوم، گندم، جو، بادام زمینی و نخود را می‌توان نام برد (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳). از مدل‌های SSM در مطالعات مربوط به تولید غذا در سطح گسترده و امنیت غذایی در نقاط مختلف دنیا استفاده شده که از آن جمله می‌توان به گندم در خاورمیانه (اسکوپاچ و همکاران، ۲۰۱۷) و آمریکا (سایرسی و همکاران، ۲۰۱۹)، سویا در آمریکا (سینکلر و همکاران، ۲۰۱۰) و آفریقا (سینکلر و همکاران، ۲۰۱۴)، ذرت در آمریکا (مسینا و همکاران، ۲۰۱۵)، عدس در شمال

[17] Nexus
[18] Scenario analysis
[19] Crop simulation models
[20] Simple Simulation Models (SSM)

آفریقا (قانم و همکاران، ۲۰۱۵) و جنوب آسیا (گویگویتانت و همکاران، ۲۰۱۷) و بادام زمینی در کشورهای جنوب صحرای آفریقا (وادز و همکاران، ۲۰۱۷) اشاره کرد. مدل SSM، پایه سیستم ایجاد شده در مطالعه حاضر برای ارزیابی تولیدات گیاهی در سطح کشور می‌باشد.

در اکثر مطالعات مدل‌سازی، عملکرد و سایر ویژگی‌های گیاهی در واحد سطح شبیه‌سازی و بررسی شده‌است. اما، در مطالعات امنیت غذایی، برآوردهایی از کل تولیدات در سطح کشوری (برای مثال برای تغذیه جمعیت کشور) و با در نظر گرفتن منابع موجود آب و زمین مورد نیاز است. همچنین شبیه‌سازی‌ها باید برای بررسی نقش گونه‌های مختلف (الگوی کشت یا تولید)، محدودیت‌ها و نحوه تخصیص منابع آب و زمین، و پیشرفت‌ها در مدیریت کشاورزی و آب صورت گیرد. مطالعاتی که در آن‌ها مدیریت تولید و آب در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی و در مقیاس ملّی انجام شده‌باشد، بسیار معدود هستند.

یکی از اهداف این مطالعه تهیه مدلی برای همبست آب-زمین-غذا-محیط‌زیست به منظور ارزیابی جنبه‌های مختلف تولید و تقاضا برای غذا بود. بدین منظور نسخه ساده‌تری از مدل SSM ایجاد شده و برای بیش از ۳۵ گونه گیاهی زراعی و باغبانی مهم کشور و نیز ۱۵ پوشش مرتعی پارامتریابی و ارزیابی گردید. این مدل در سطح استان‌ها و کل کشور ست‌آپ (setup) گردید و دو ماژول[۲۱] به آن اضافه شد طوری که بتوانند تخصیص آب و مقدار تولید بیش از ۳۵ گونه گیاهی در شرایط دیم و آبی و در سطح استان و کشور را به عنوان تابعی از سناریوهای مختلف منابع آب کشاورزی، بهبود راندمان آبیاری و رفع خلا عملکرد برآورد نمایند. ماژول دیگری برای برآورد تقاضا برای مواد غذایی به عنوان تابعی از جمعیت، رژیم غذایی و تلفات-ضایعات تهیه شد. ماژول‌هایی نیز برای محاسبه مقادیر کود مورد نیاز، میزان سوخت و انرژی لازم و مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولیدات گیاهی تهیه شدند. با پیوند زدن مدل شبیه سازی گیاهی و ماژول‌ها سیستمی به نام "سیستم ارزیابی یکپارچه آب-زمین-غذا-محیط‌زیست(SEA[۲۲])" تهیه شد. هدف دیگر از این مطالعه بهره‌گیری از سیستم مذکور با روش سناریو آنالیز و تحلیل کمّی وضعیت امنیت غذایی و آب در کشور تا افق ۲۰۵۰ و ارایه سیاست‌ها و راهبردهای مناسب برای بخش کشاورزی بود.

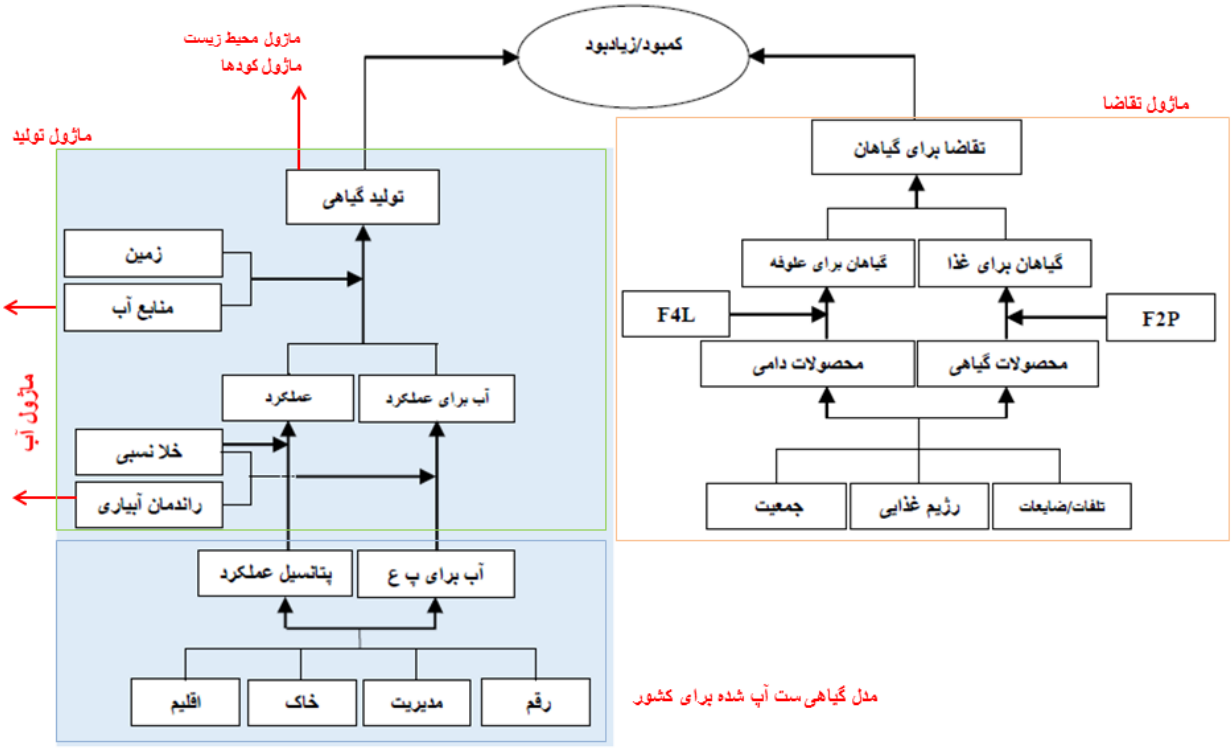
[21] Module

[22] System for intEgrated Assessment of water , land, food and environment (SEA)

۲ - روش‌ها

۲-۱- روش مورد استفاده برای مطالعه

فلوچارت محاسبه تولید و تقاضا برای محصولات کشاورزی در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده‌است. تقاضا برای محصولات گیاهی برای تغذیه مردم کشور به صورت مستقیم یا غیر مستقیم (از طریق فرآورده‌های دامی)، به عنوان تابعی از جمعیت، رژیم غذایی، تلفات-ضایعات و ضرایب تبدیل محصولات گیاهی به اقلام غذایی به‌دست می‌آید. تقاضا برای محصولات یا فرآورده‌های دامی مثل گوشت، شیر و تخم مرغ، به معادل‌های گیاهی یا محصولات گیاهی که برای تولید آن‌ها مورد نیاز هستند، تبدیل می‌شوند. با کمک این روش محاسبه تقاضا می‌توان تاثیر انواع رژیم‌های غذایی، سطوح مختلف تلفات-ضایعات و جمعیت را بر تقاضا یا نیاز به محصولات گیاهی ارزیابی نمود. تولید محصولات گیاهی در مزارع، باغات و گلخانه‌ها، مهمترین مصرف کننده منابع آب و زمین و نهاده‌ها مثل کودها و انرژی هستند. تولید محصولات گیاهی به عنوان تابعی از پتانسیل عملکرد گونه‌های گیاهی مورد کاشت در شرایط دیم و آبی، خلا عملکرد نسبی (خلا نسبی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد کشاورزان)، راندمان آبیاری (در شرایط کشت آبی) و منابع زمین و آب قابل دسترس محاسبه می‌گردد.



شکل ۱ – فلوچارت محاسبه تقاضا و تولید تحت تاثیر مهمترین متغیرهای تاثیر گذار بر آن‌ها در سیستم SEA. بخش سایه‌دار مربوطه به محاسبات تولید است. F2P ضرایب تبدیل فرآورده‌های گیاهی به محصول گیاهی (مثل آرد به گندم) و F4L ضرایب تبدیل علوفه به محصولات دامی هستند.

۲-۲- سیستم SEA و اجزای آن

محاسبات فلوچارت شکل ۱ توسط یک سیستم که "سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط‌زیست (SEA)" نامگذاری شده-است، صورت می‌گیرد (سلطانی و همکاران، ۲۰۲۰). این سیستم متشکل از یک مدل شبیه‌سازی گیاهی و تعدادی ماژول است که محاسبات را انجام می‌دهند. مدل شبیه‌ساز گیاهی SSM-iCrop2 (پیوست ۵) نام دارد و ماژول‌ها عبارتند از ماژول تقاضا (Demand)، ماژول آب (Water)، ماژول تولید (Production)، ماژول کودها (NPK) و ماژول انرژی-محیط‌زیست (EnEn) است.

مدل شبیه‌سازی گیاهی (SSM-iCrop2) مبتنی بر مدل SSM است که به‌طور کامل توسط سلطانی و سینکلر (۲۰۱۲) توضیح داده شده است؛ همچنین سلطانی (۱۳۸۸) ساختار این مدل را تشریح کرده است. در زیر مختصری از ساختار و نحوه عمل مدل توضیح داده می‌شوند. شبیه سازی موازنه آب خاک از تاریخی که کاربر مشخص می‌کند شروع می‌شود. شروع شبیه‌سازی فرآیندهای گیاهی به نوع گیاه بستگی دارد: در گونه‌های چند ساله یعنی گیاهان درختی و دایمی (مثل یونجه)، شروع مجدد رشد بهاره[۲۳] به عنوان نقطه شروع شبیه‌سازی رشد و تولید گیاه است و در این گیاهان فرض شده است که با تجمع مقدار معینی واحد دمایی[۲۴] (درجه روز رشد) از ابتدای ژانویه (۱۰ دی)، رشد مجدد آغاز می‌شود. در سایر گیاهان شروع شبیه‌سازی فرآیندهای گیاهی از تاریخ کاشت انجام می‌شود که توسط کاربر تعریف شده و یا بر اساس انتخاب کاربر توسط مدل با استفاده از الگوریتم‌های یافتن تاریخ کاشت (پیوست ۴) که در مدل تعبیه شده، پیدا می‌شود. مراحل فنولوژی بعدی گیاه بر اساس مفهوم واحد دمایی (درجه روز رشد) اصلاح شده برای تنش خشکی، پیش‌بینی می‌شوند. در مدل SSM-iCrop2 در مقایسه با سلطانی و سینکلر (۲۰۱۲) از روش ساده‌تری برای شبیه‌سازی سطح برگ استفاده می‌شود که نیاز به اطلاعات گیاهی کمتری داشته باشد و مبتنی بر پیشرفت مراحل نموی گیاه و در واقع تابعی از دما و خشکی است. تولید ماده خشک روزانه بر اساس دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی توسط پوشش گیاهی و تبدیل آن به ماده خشک شبیه‌سازی می‌شود. برای این منظور خصوصیات پوشش گیاهی شامل ضریب خاموشی[۲۵] و کارایی استفاده از تشعشع[۲۶] به عنوان پارامترهای ورودی مورد نیاز هستند. کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد در مدل استفاده می‌شود ولی در مدل برای غلظت CO_2، دمای نامناسب هوا و تنش آب (خشکی و غرقابی) اصلاح می‌گردد. تشکیل عملکرد (دانه یا میوه) بر اساس مفهوم شاخص برداشت و افزایش آن در طول دوره موثر پر شدن دانه یا میوه مدل‌سازی می‌شود. برای این منظور حداکثر شاخص برداشت مورد انتظار در شرایط مطلوب رشد، به عنوان پارامتر ورودی مدل مورد نیاز است.

موازنه آب خاک، واکنش گیاه به تنش آب و مقدار آب خاک همانند مدل SSM می‌باشد (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲؛ فصل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵). به طور خلاصه، آب قابل دسترس خاک با اضافه کردن بارندگی و آبیاری و کم کردن میزان زه‌کشی، رواناب، تبخیر از خاک و تعرق گیاه در هر روز محاسبه می‌شود. مشخصات خاک به صورت دو لایه درنظرگرفته شده است: یک لایه فوقانی به ضخامت ۱۵ تا ۶۰ سانتی‌متر و یک لایه دوم که خود شامل لایه اول نیز می‌باشد و عمق آن برابر با عمق موثر استخراج آب[۲۷] توسط گیاه است. بنابراین، عمق این لایه (لایه دوم) در ابتدا برابر با عمق اولیه استخراج آب (عمق اولیه ریشه) توسط گیاه در شروع شبیه‌سازی گیاه (زمان کاشت، زمان شروع مجدد در رشد بهاره یا بازشدن جوانه) است که با رشد ریشه افزایش پیدا می‌کند تا به حداکثر خود برسد. در

[23] Spring re-growth
[24] Temperature unit
[25] Extinction coefficient
[26] Radiation use efficiency
[27] Maximum Effective Extraction Depth

پوشش‌های مرتعی چند ساله عمق اولیه را می‌توان برابر با عمق موثر در نظر گرفت. موازنه آب خاک هر دو لایه به طور جداگانه محاسبه می‌شود.

جدول ۱. گیاهان تحت پوشش این مطالعه به همراه سطح زیرکشت و تعداد استان‌هایی که هر گیاه در آنها کشت می‌شوند (منبع داده‌ها: وزارت جهاد کشاورزی)

گیاه	سطح زیرکشت در کشور (هکتار)*		تعداد استانی که گیاه کشت می‌شود**	گیاه	سطح زیرکشت در کشور (هکتار)*		تعداد استانی که گیاه کشت می‌شود**
	آبی	دیم			آبی	دیم	
یونجه	۵۸۷۴۵۳	۵۵۶۲۷	۳۱ (۱۴)	بادام	۱۰۵۳۳۱	۹۰۰۵۸	۲۷ (۲۵)
جو	۶۹۵۴۴۱	۹۷۳۲۹۹	۳۱ (۲۸)	سیب	۲۳۷۴۵۷	۵۹۰	۳۱ (۴)
لوبیا	۱۱۳۲۶۰	۱۶۵۱	۳۱ (۸)	زردآلو	۶۴۵۲۳	ناچیز	۳۱ (۱)
کلزا	۵۴۳۹۵	۱۹۶۸۲	۳۱ (۹)	خرما	۲۱۸۸۴۷	۱۹۹۷۵	۱۳ (۴)
نخود	۱۰۶۰۳	۴۸۴۶۹۰	۲۶ (۲۶)	انجیر	۷۱۸۶	۴۸۷۰۴	۲۵ (۱۲)
شبدر	۴۰۳۶۴	۱۸۲۲۵	۲۶ (۴)	انگور	۲۲۴۳۰۱	۷۳۷۹۱	۳۱ (۲۳)
ذرت علوفه	۱۹۸۸۱۹	۱۴۸۵	۳۱ (۵)	زیتون	۸۰۰۶۴	۶۵۱۳	۲۵ (۳)
ذرت دانه	۲۰۳۰۶۶	۱۸	۲۹ (۲)	مرکبات	۱۴۰۰۱۸	۳۱۰۱۸	۱۴ (۳)
پنبه	۷۵۲۶۲	۱۳۸۱	۲۰ (۲)	هلو	۵۹۷۴۰	۴۱۲	۳۰ (۳)
عدس	۷۱۴۹	۱۳۲۱۷۶	۲۴ (۲۵)	پسته	۴۱۹۲۱۶	ناچیز	۲۷ (۲)
سیب زمینی	۱۵۶۰۶۳	۶۰۰	۳۱ (۲)	انار	۸۴۵۳۸	۱۰۶۵	۳۰ (۵)
کنجد	۳۹۳۴۰	۵۶۴۹	۲۳ (۴)	زعفران	۹۵۳۹۰	ناچیز	۲۹ (۱)
سویا	۵۰۹۵۵	۶۵۷۱	۶ (۳)	گردو	۱۳۹۲۹۲	۸۱۲۷	۲۸ (۶)
چغندر قند	۱۰۹۵۱۸	۰	۲۲ (۰)	خیار	۷۱۷۰۴	۵۴۲	۳۱ (۳)
نیشکر	۸۹۰۵۰	۴	۲ (۱)	خربزه	۹۱۳۳۴	۱۶۸۲	۳۰ (۸)
آفتابگردان	۴۸۲۹۵	۱۱۳۷۹	۲۳ (۷)	پیاز	۵۷۷۶۵	۲۹۷	۳۱ (۲)
شلتوک	۵۶۵۵۱۹	۰	۲۱ (۰)	گوجه فرنگی	۱۵۲۵۰۹	۸۲۳	۳۱ (۳)
گندم	۲۲۱۳۴۱۶	۳۶۹۵۱۸۷	۳۱ (۲۸)	هندوانه	۱۴۵۴۴۲	۳۱۲۸۵	۳۰ (۱۰)
سایر زراعی و سبزی-صیفی	۳۲۸۴۹۲	۸۳۹۰۵	۳۱ (۲۶)	خیار گلخانه	۴۶۹۹	۰	۳۱ (۰)
				گوجه فرنگی گلخانه	۴۵۷	۰	۳۱ (۰)
				سایر باغبانی	۴۲۲۸۴۲	۹۱۳۷۹	۳۱ (۲۳)

* آمار میانگین سالیانه برای دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ (سال برداشت)

** اعداد خارج پرانتز تعداد استان برای کشت آبی و اعداد داخل پرانتز تعداد استان برای کشت دیم گیاه را نشان می‌دهد

با جمع‌آوری اطلاعات نمو، رشد و عملکرد از بیش از ۴۰۰ مقاله و تعداد زیادی گزارشات علمی-پژوهشی در سطح کشور، مدل SSM-iCrop2 برای گیاهان مورد نظر پارامتریابی و ارزیابی گردید. در مجموع مدل برای ۹۳ گیاه-رقم زراعی و باغبانی و ۱۵ نوع پوشش مرتعی پارامتریابی و ارزیابی شد. تلاش شد تا از استان‌های مهم تولید کننده هر گیاه داده‌هایی برای پارامتریابی و ارزیابی مدل جمع‌آوری شود. همچنین، مدل به طور جداگانه با کمک اطلاعات جمع‌آوری شده توسط مراکز استانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی برای پتانسیل عملکرد و نیاز آبیاری ارزیابی شد که نتایج حاصله قابل قبول بود (پیوست ۵).

مدل شبیه‌سازی گیاهی SSM-iCrop2 برای بیش از ۳۵ گونه گیاهی مهم در کل کشور ست‌آپ (setup) شد طوری که پتانسیل عملکرد این گیاهان در شرایط دیم و آبی و نیز نیاز آبیاری خالص آن‌ها را در سطح استانی شبیه‌سازی می‌کند. گیاهان مهم کشور گیاهانی تعریف شدند که سطح زیر کشت آن‌ها ۵۰ هزار هکتار یا بیشتر باشد (جدول ۱). سایر گیاهان کشاورزی در شرایط دیم و آبی هر استان به‌طور جداگانه و در دو دسته "سایر زراعی و سبزیجات" و "سایر باغبانی" لحاظ شدند و از متوسط متغیرها برای گیاهان متناظر در آن‌ها استفاده گردید. جزییات ست‌آپ مدل برای کشور و نحوه انتخاب ایستگاه هواشناسی و نوع خاک در هر استان و نیز مدیریت تولید گیاه در پیوست ۶ ارایه شده است. به‌طور خلاصه، برای این منظور از یک روش پایین به بالا به نام GYGA[۲۸] (ون-ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳؛ ون‌وارت و همکاران، ۲۰۱۳؛ ون‌باسل و همکاران، ۲۰۱۵؛ گراسینی و همکاران، ۲۰۱۵) که موجب می‌شود از اطلاعات محلی واقعی به عنوان ورودی مدل استفاده شود، بهره‌گیری شده‌است. نتایج شبیه‌سازی شده سپس به سطح استان و کشور درشت مقیاس‌نمایی می‌شوند (تعمیم داده می‌شوند). خروجی این ست‌آپ در ماژول‌های سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مدل SSM-iCrop2 برای پیش بینی رشد و عملکرد گیاه به ورودی های آب و هوا و خاک و نیز مدیریت تولید گیاهی نیاز دارد. برای اجرای مدل به داده های هواشناسی روزانه حداقل و حداکثر دما، تشعشع خورشیدی و بارندگی نیاز می باشد. برای کاهش حجم شبیه سازی ها و ساده سازی پیش بینی ها، تلاش شد در ست‌آپ مدل برای کشور تعداد ایستگاه هواشناسی انتخابی در هر استان به حداقل ممکن برسد. بدین منظور نقشه پراکنش هر یک از گیاهان کشور در شرایط دیم و آبی تهیه شده (پیوست ۱) و با نقشه پهنه-بندی اقلیمی گیگا (GYGA؛ فن وارت و همکاران، ۲۰۱۳؛ فن ایترسام و همکاران، ۲۰۱۳) برای ایران تطبیق داده شد. گیگا یک روش پهنه‌بندی اقلیمی جدید با تمرکز بر تولید گیاهی است. برای هر گیاه در هر استان و در هر یک از شرایط تولید دیم و آبی، "پهنه اقلیمی اصلی گیاه" به صورت پهنه‌ای که بیشترین سطح تولید استانی گیاه مورد نظر در آن قرار دارد، شناسایی گردید. سپس ایستگاه هواشناسی نماینده در هر پهنه اصلی شناسایی شد. نتایج نشان داد که در عموم موارد، ایستگاه‌های هواشناسی پهنه اقلیمی اصلی، حداقل ۴۰ درصد (حداقل حد تعیین شده در پروتکل GYGA) از اراضی هر گیاه در هر یک از شرایط تولید در سطح استان را پوشش دادند. در سطح کشوری در شرایط آبی درصد پوشش بسته به گونه گیاهی بین ۵۱ تا ۷۱ درصد (به استثنای نیشکر با درصد پوشش ۳۴ درصد) و در شرایط دیم بین ۵۵ تا ۱۰۰ درصد بود (پیوست ۶).

برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی، آمار هواشناسی روزانه شامل حداقل و حداکثر دما، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی از سازمان هواشناسی دریافت شد. تشعشع خورشیدی روزانه با رابطه آنگستروم از تعداد ساعات آفتابی محاسبه شد (پیوست ۲). تعداد کل ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده برای مطالعه ۱۵۰ ایستگاه بود که داده‌های روزانه آن‌ها در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ پس از کنترل کیفی، برآورد تشعشع خورشیدی، پرکردن خلاهای آماری و تکمیل طول دوره آماری، مورد استفاده قرار گرفت (جزییات در پیوست ۲).

[28] Global Yield Gap Atlas

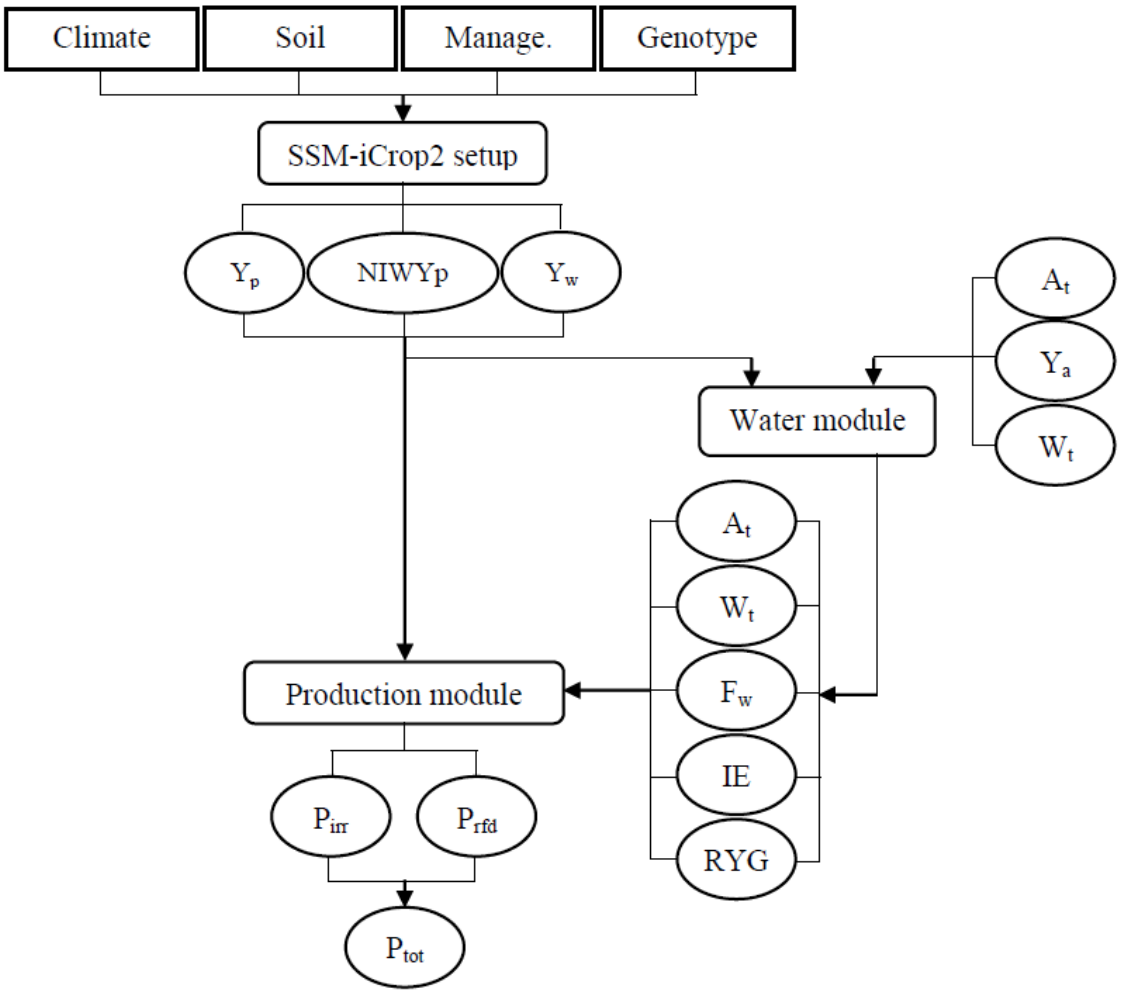
مدل شبیه‌سازی گیاهی به داده‌های ورودی از خاک شامل عمق خاک، حدود رطوبتی خاک یعنی حد اشباع، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی، ضریب زه کشی خاک، شماره منحنی خاک برای محاسبه رواناب، آلبیدوی خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (شوری خاک) نیز نیاز دارد. در شرایط فقدان بانک اطلاعات خاک رقومی شده برای کشور، بانک‌های اطلاعاتی خاک موجود در سطح دنیا بررسی شدند و از میان آن‌ها بانک اطلاعات خاک‌های جهان (موسوم به HC27) تهیه شده توسط موسسه بین المللی تحقیقات سیاست غذا[۲۹] (کو و دیمس، ۲۰۱۳) انتخاب گردید. این بانک اطلاعاتی برای تسهیل کاربرد مدل های شبیه سازی گیاهی در سطح جهان تهیه شده است و در آن بر اساس عمق خاک، بافت خاک و حاصلخیزی خاک تعداد ۲۷ خاک ژنریک تعریف شده است. با تطبیق نقشه خاک های ایران و پراکنش اراضی هر گیاه در هر شرایط تولید در هر استان، نوع خاک تعیین گردید. استفاده از اطلاعات خاک HC27 در مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 باعث تولید نتایجی شد که به لحاظ آماری و ازنظر توزیع، واریانس و میانگین با نتایج حاصل از به‌کارگیری اطلاعات واقعی خاک یکسان بودند. از آن‌جایی که در هیچ‌یک از ترکیبات مکان–گیاه–شرایط تولید–پروفیل آزمون شده، اختلاف معنی‌داری یافت نشد، نتیجه‌گیری شد استفاده از این بانک اطلاعات خاک حداقل در مدل مذکور و مدل‌هایی با سطح پیچیدگی مشابه برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد و نیاز آبی یا تبخیرتعرق، قابل‌استفاده می‌باشد (جزییات در پیوست ۳).

برای اجرای مدل به اطلاعات مدیریتی مثل تاریخ کاشت نیز نیاز می‌باشد. اطلاعات مدیریتی از کلیه استان ها با همکاری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و زیر مجموعه های آن در سراسر کشور جمع آوری شدند. همچنین این اطلاعات با تماس با مدیریت های جهاد کشاورزی استان ها و شهرستان های مهم تولیدکننده برای هر گیاه جمع آوری شدند. در ست‌آپ مدل برای کشور در مجموع برای ۲۷۵۰ ترکیب "گیاه–شرایط تولید–استان"، شبیه‌سازی برای بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ انجام می‌گیرد (جزییات در پیوست ۶).

ماژول تولید (Production) با دریافت پتانسیل عملکرد و نیاز خالص آبیاری هر گیاه در شرایط دیم و آبی هر استان، با کمک سطح زیر کشت آبی و دیم گیاه در استان و نیز مقدار منابع آب اختصاص یافته به آن گیاه در استان، تولید آن گیاه در شرایط دیم و آبی استان را محاسبه می‌کند (شکل ۲). در این محاسبه عملکرد واقعی در واحد سطح و نیاز آبیاری واقعی و ناخالص در واحد سطح، با کمک ضریب خلا عملکرد نسبی و راندمان آبیاری کل از روی پتانسیل عملکرد و نیاز آبیاری خالص برای رسیدن به پتانسیل عملکرد، به‌دست می‌آید. در واقع سطح زیر کشت و منابع آب آبیاری اختصاصی، نشان‌دهنده فرآهمی[۳۰] منابع زمین و آب برای آن گیاه در استان هستند و ضریب خلا عملکرد و راندمان آبیاری، قابلیت[۳۱] یا کارایی تبدیل منابع را نشان می‌دهند. این ماژول همچنین با توجه به تولید انجام شده و میزان منابع زمین و آب به کار رفته برای تولید در هر استان، واحد زمین و آب لازم برای تولید هر واحد محصول، یعنی ردپای[۳۲] زمین و آب، را پیدا می‌کند.

ماژول آب (Water) میزان تخصیص آب به هر گیاه در هر استان را با توجه به منابع آب کشاورزی استان، سطح زیر کشت گیاه در استان در شرایط آبی و نیاز آبیاری خالص برای رسیدن به پتانسیل عملکرد در استان محاسبه می‌کند. این ماژول برای محاسبه تخصیص آب در شرایط متنوع بر اساس سناریوهای انتخابی نیز استفاده می‌شود. ارتباط بین متغیرهای مهم در مدل SSM-iCrop2 ست‌آپ شده برای کشور و ماژول‌های تولید و آب در شکل ۲ نشان داده‌شده‌است.

[29] International Food Policy Research Institute
[30] Availability
[31] Productivity
[32] Footprint



شکل ۲ – تبادل متغیرهای مهم بین مدل SSM-iCrop2 ست‌آپ شده برای کشور و ماژول‌های آب و تولید برای محاسبه تولید هر گونه گیاهی در هر استان. علایم اختصاری عبارتند از: Yp: پتانسیل عملکرد، Yw: پتانسیل عملکرد در شرایط دیم، NIWYp: نیاز خالص آبیاری برای دستیابی به پتانسیل عملکرد، At: سطح زیر کشت گونه گیاهی در استان، Ya: عملکرد واقعی گونه در استان که برای محاسبه خلا نسبی برای شرایط جاری مورد نیاز است، Wt: میزان منابع آب اختصاصی به تولید گیاهی (همه گیاهان مورد کاشت) در استان، Fw: کسری از Wt که به گونه مورد نظر در استان تخصیص داده شده است، IE: راندمان آبیاری کل، RYG: خلا عملکرد نسبی، Pirr: تولید گونه مورد نظر در شرایط آبی استان بر حسب میلیون تن، Prfd: تولید گونه مورد نظر در شرایط دیم استان بر حسب میلیون تن، و Ptot جمع تولید دیم و آبی گونه مورد نظر در استان.

ماژول تقاضا[۳۳] (Demand) میزان نیاز یا تقاضا برای هر یک از محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) برای تغذیه جمعیت کشور را به عنوان تابعی از (۱) جمعیت کشور، (۲) رژیم غذایی، (۳) تلفات–ضایعات، (۴) سایر مصارف و (۵) ضرایب تبدیل محصول کشاورزی به قلم غذایی (مثل گندم به آرد) محاسبه می‌کند. برای مثال، تقاضا برای گندم در کشور ۱۴/۵۳ میلیون تن در سال است که

[33] در این گزارش تقاضا و نیاز به صورت مترادف هم استفاده شده اند

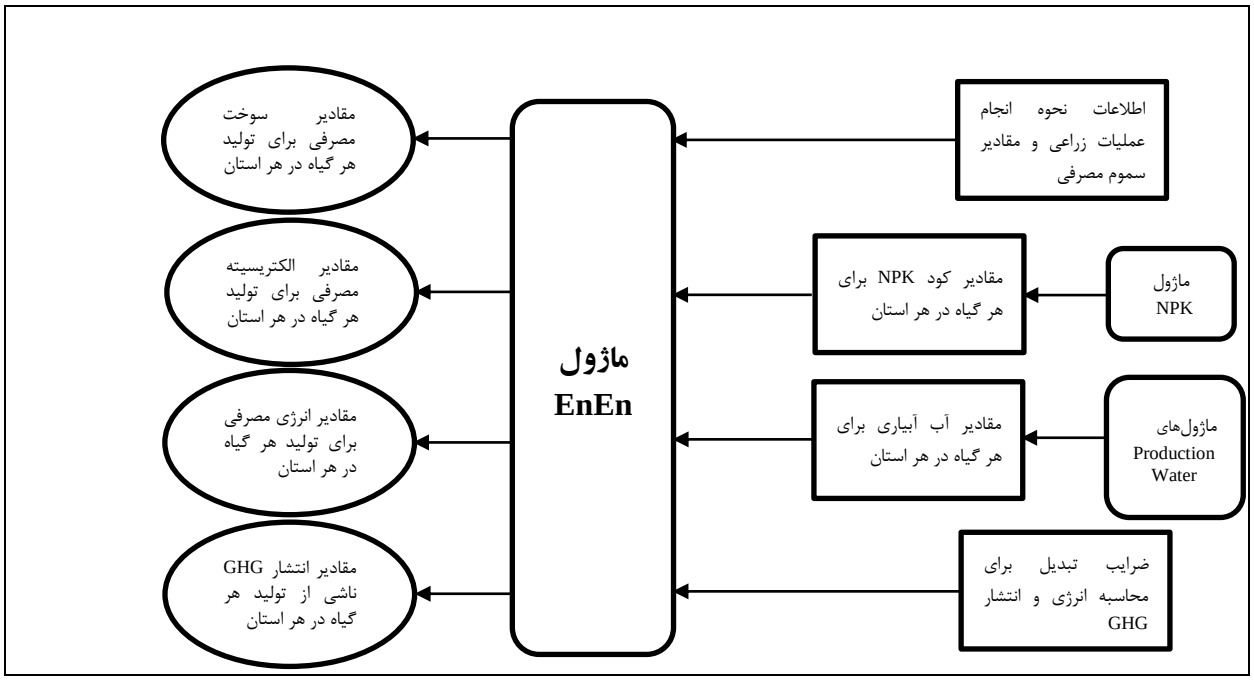
با توجه به جمعیت ۷۹/۹۳ میلیون نفری کشور (در سال مبنا ۲۰۱۵)، مصرف روزانه ۳۳۷ گرم آرد برای هر نفر (عمدتا به صورت نان و ماکارونی)، ضریب تبدیل ۰/۸۶۲ گندم به آرد، ۱۵ درصد تلفات-ضایعات از مزرعه تا مصرف و ۶/۵ درصد سایر مصارف (عمدتا بذری) محاسبه شده‌است (جزییات در پیوست‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵). تقاضا برای محصولات دامی مثل گوشت، شیر و تخم مرغ در این ماژول با توجه به میزان علوفه لازم برای تولید آن‌ها (پیوست ۱۲) به محصولات گیاهی درب مزرعه تبدیل می‌شوند. استفاده از علوفه مرتعی برای تولید فرآورده‌های دامی و میزان تولیدات فعلی و آینده مراتع نیز مد نظر قرار گرفته‌است (پیوست ۱۶). با توجه به عدم قطعیت در ارتباط با ذخایر قابل استفاده ماهیان در دریاها و آب‌های داخلی، مصرف ماهی برای محاسبه تقاضا در کلیه رژیم‌های غذایی ثابت در نظر گرفته‌شد (پیوست ۹ و ۱۴). بنابراین، ماژول تقاضا در نهایت میزان تولیدات گیاهی برای استفاده مستقیم (با یا بدون فرآوری) در تغذیه انسان یا استفاده برای تعلیف دام‌ها و سپس تغذیه انسان را به دست می‌دهد و همچنین مشخص می‌کند برای تولید آن‌ها به چه میزان زمین و آب نیاز است. در راستای اهداف مطلعه، در این جا تقاضا به‌صورت بیوفیزیکی تعریف شده‌است. در مطالعات اقتصادی تعریف تقاضا به صورت جمع تولید و واردات منهای صادرات متداول است.

شکل ۳ – نمودار گردش کار در ماژول کودها (NPK).

ماژول عناصر (NPK) با توجه به میزان عملکرد هر گیاه در شرایط دیم و آبی در هر استان و مشخصات خاک آن استان، میزان تخلیه سه عنصر غذایی پرمصرف و سپس میزان کود لازم برای جبران خروج عناصر (توصیه کودی) را محاسبه می‌کند. همچنین واحد

کودی لازم نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای تولید هر واحد محصول توسط این ماژول محاسبه می‌گردد (شکل ۳). برای توضیح کامل این ماژول به پیوست ۱۰ مراجعه شود.

ماژول انرژی-محیط‌زیست (EnEn) با توجه به عملکرد هر گیاه در هر استان، میزان آب به‌کاررفته در تولید گیاه، مقادیر کودی به‌کاررفته در تولید گیاه و نیز عملیات تولید (مثل خاک‌ورزی و تعداد سم‌پاشی) تیپیک برای گیاه (حاصل از پرسشنامه‌ها)، میزان سوخت، الکتریسیته و انرژی به‌کاررفته در تولید گیاهی در واحد سطح را در مقیاس استانی و کشوری محاسبه می‌کند (شکل ۴). این مشخصه‌ها به صورت کل در استان و کشور و نیز برای هر واحد محصول محاسبه می‌شوند. همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید گیاهی در سطح استانی و کشوری توسط همین ماژول محاسبه می‌شود. در صورت اتّصال این ماژول با بانک‌های اطلاعاتی زیست‌محیطی مثل ecoinvent (ورنت و همکاران، ۲۰۱۶) امکان محاسبه سایر شاخص‌های زیست محیطی نیز وجود دارد. برای نمونه به سلطانی و همکاران (۱۳۸۹؛ ۱۳۹۴) مراجعه شود. جزییات ماژول انرژی-محیط زیست در پیوست ۱۱ آورده شده‌است.



شکل ۴ – نمودار گردش کار در ماژول محیط زیست (EnEn).

سیستم SEA برای کاربرد به صورت سناریو آنالیز تهیه شده‌است. بنابراین، متفاوت از مدل‌هایی است که آینده مورد انتظار کشاورزی را با پیش‌بینی تغییرات در پیش‌ران‌هاپیش‌گویی می‌کنند. در سناریو آنالیز ایده‌ها و تصمیمات ممکنه در قالب سناریوهای "چه می‌شد اگر" مورد آزمون قرار می‌گیرند تا مشخص شود هر تصمیم چه تبعات و پیامدهایی دارد و سپس نسبت به انتخاب تصمیمات مناسب اقدام می‌گردد. کاربرد سیستم SEA محدود به مطالعه حاضر نیست و از آن می‌توان در مطالعات و ارزیابی‌های متنوعی مرتبط با "همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست" استفاده نمود.

نقش اقلیم، خاک، مدیریت و ژنتیک (ارقام مورد استفاده) از طریق تاثیر بر پتانسیل عملکرد و نیاز آبیاری خالص در سیستم لحاظ گردیده است. ولی به‌دلیل پیچیدگی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، به‌ویژه عدم قطعیت بالا در پیش‌بینی آن‌ها در آینده (تا ۲۰۵۰) تاثیر

این عوامل به‌طور مستقیم در سیستم SEA وارد نشده است چون توابع مورد نیاز با درجه اعتبار بالا برای کشور یافت نشد. برای نمونه، در سیستم می‌توان میزان مصرف اقلام غذایی مثل فرآورده‌های دامی را به میزان سرانه درآمد در کشور ارتباط داد، طوری که در سیستم با توجه به درآمد میزان مصرف اقلام در سبد غذایی یا رژیم غذایی مشخص گردد و سپس تاثیر رژیم غذایی مورد ارزیابی قرار گیرد. در این صورت، میزان درآمد ورودی خواهد بود که رژیم غذایی به عنوان تابعی از آن در داخل مدل تعیین خواهد شد. اما، در شرایط فعلی چنین نشده است و اقلام در رژیم غذایی به صورت مستقیم به عنوان ورودی مدل استفاده می‌شوند. بنابراین، مثلا تاثیر افزایش درآمد را باید با انتخاب رژیم‌هایی که در آن‌ها میزان مصرف فرآورده‌های دامی بالاتر است، شبیه‌سازی نمود. در همین مثال، باید توجه نمود که معلوم نیست رابطه مثبت درآمد-مصرف بیشتر اقلام دامی که متکی به داده‌های گذشته است، در آینده نیز معتبر باشد. یافته‌های جدید علمی بر مصرف کمتر فرآورده‌های دامی از نقطه نظر سلامت و جلوگیری از گرمایش جهانی تاکید دارد و ممکن است ترویج این یافته‌ها رابطه درآمد-مصرف بیشتر اقلام دامی در آینده را دگرگون سازد. در سیستم SEA در وضعیت حاضر، تاثیر عوامل اقتصادی-اجتماعی باید به صورت سناریوهای بیوفیزیکی تعریف و ارزیابی گردند. به عنوان نمونه‌ای دیگر، اگر تاثیر سرمایه-گذاری در بخش کشاورزی بر تولید و امنیت غذایی مدنظر باشد، باید در قالب سناریوهایی که در آن‌ها راندمان آبیاری و خلا عملکرد به صورت انفرادی یا با یکدیگر تغییر یافته‌اند، شبیه‌سازی شوند.

برای ارزیابی تاثیر پیشرفت‌های تکنولوژیک نیز باید به همین طریق عمل گردد. تاثیر تکنولوژی‌های جدید مثل ارقام جدید با پتانسیل عملکرد بالاتر، استفاده از گوشت و شیر گیاهی و مصنوعی در سیستم فقط از طریق اعمال فرضیاتی مرتبط با پیش‌ران‌های لحاظ شده در سیستم میسر است، یعنی پیشرفت‌های تکنولوژیک را باید در قالب متغیرهایی که تولید و تقاضا را متاثر می‌سازند، ترجمه نموده و سپس با سیستم تحلیل نمود. برای مثال، گسترش استفاده از گوشت و شیر سنتزی یا گیاهی باشد را باید با اعمال تغییر در رژیم غذایی مورد بررسی قرار داد.

۲-۳- تحلیل‌ها با کمک سیستم SEA

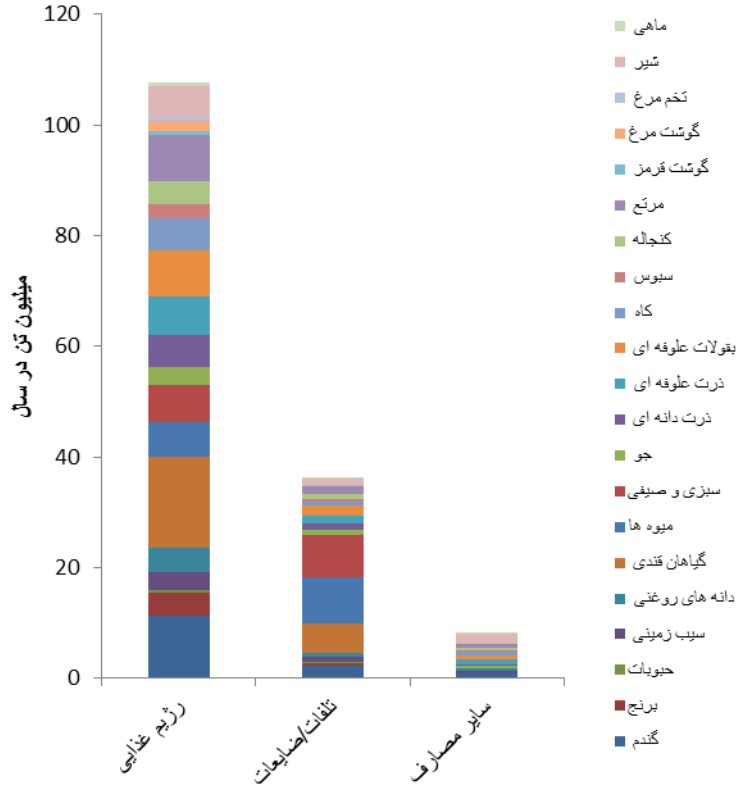
یکی از اهداف به‌کارگیری مدل‌ها، مستندسازی اطلاعات مختلف است که در طی فرآیند مدل‌سازی جمع آوری می‌شوند. تهیه سیستم SEA مستلزم جمع‌آوری وطبقه‌بندی اطلاعات و آمارهای مختلف مرتبط بود. این اطلاعات و آمار وضع موجود را نشان می‌دهند. بخشی از این اطلاعات و آمار برای نشان دادن وضع موجود کشاورزی و امنیت غذایی مورد استفاده و تحلیل قرار گرفت.

از سیستم SEA برای برآورد تقاضا و تولید محصولات گیاهی که بخش اعظم منابع آب و زمین را استفاده می‌کنند تحت سناریوهای مختلف تولید و تقاضا در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ استفاده شد و نتایج با شرایط فعلی (سال مبنا ۲۰۱۵) که متوسط دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ می‌باشد (معادل سال برداشت ۱۳۹۴ و دوره ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶) مورد مقایسه قرار گرفت. در این تحلیل‌ها تقاضا برای محصولات کشاورزی تحت رژیم‌های مختلف غذایی، سطوح مختلف تلفات-ضایعات و پیش‌بینی جمعیتی محاسبه و تحلیل شد. همچنین تولیدات گیاهی به عنوان تابعی از سطوح مختلف میزان منابع آب برای کشاورزی، راندمان آبیاری، رفع خلا عملکرد ارزیابی شدند. نقش الگوی کشت نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. جزییات این ارزیابی‌ها در پیوست‌های ۱۴، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ ارایه شده‌است و در این گزارش نتایج این ارزیابی‌ها به‌صورت خلاصه‌تر ارایه می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- وضعیت موجود

در این قسمت وضعیت کنونی کشور از نظر تقاضا یا نیاز به محصولات کشاورزی، تولیدات کشاورزی، خودکفایی و نیز استفاده از منابع زمین، آب، کودها و انرژی بر اساس داده های دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جمع‌آوری و جمع‌بندی این اطلاعات و آمار بخشی از فرآیند تهیه سیستم SEA بوده‌است.



شکل ۵ – نیاز مصرفی خالص (رژیم غذایی)، تلفات-ضایعات و سایر مصارف محصولات کشاورزی در کشور. جمع این مولفه عبارت از تقاضا یا نیاز کل برای کشور خواهد بود. محاسبات برای رژیم غذایی و تلفات-ضایعات کنونی کشور و با سیستم SEA صورت گرفته‌است و در آن جمعیت کشور ۸۰ میلیون نفر لحاظ شده است.

۳-۱-۱- تقاضا برای محصولات کشاورزی

تقاضا برای محصولات کشاورزی تابعی از رژیم غذایی مردم کشور، تلفات/ضایعات، سایر مصارف و جمعیت کشور است. شکل ۵ تقاضا یا نیاز به محصولات کشاورزی ناشی از سه عامل نخست را نشان می‌دهد و در آن جمعیت کشور برای دوره زمانی مورد بررسی ۸۰ میلیون نفر لحاظ شده است. مقادیر ارایه شده در این شکل بر حسب وزن تر برای محصولات گیاهی درب مزرعه، برای گوشت درب کشتارگاه و برای شیر و تخم مرغ درب مرکز تولید هستند. منظور از سایر مصارف در این مطالعه، مواردی است که محصولات

کشاورزی تولید شده صرف مصارف غیر خوراکی برای انسان می‌شوند. سایر مصارف شامل مواردی مثل مصرف بذر، پرورش حیوانات یا شیر یا تخم مرغ برای تولید مثل یا ماهی برای تهیه خوراک دام هستند.

برای پوشش نیازهای خالص غذایی جمعیت ۸۰ میلیون نفری کشور به ۱۰۸ میلیون تن محصولات کشاورزی شامل گیاهی، محصولات جانبی گیاهی، علوفه مرتعی و دامی نیاز است (شکل ۵). به این رقم، باید ۳۶ میلیون تن در سال تلفات و ضایعات و نیز ۸ میلیون تن سایر مصارف اضافه گردد طوری که جمع کل محصولات مورد نیاز در کشور به ۱۵۲ میلیون تن در سال بالغ می‌گردد. شایان ذکر است چون همه نیاز در داخل کشور تولید نمی‌شود و بخشی از آن وارد می‌شود، بخشی از تلفات-ضایعات نیز در خارج کشور به-وقوع می‌پیوندد. بنابراین، ۷۱ درصد این رقم به مصرف می رسد، ۲۴ درصد آن از مزرعه تا مصرف کننده تلف می شود و ۵ درصد آن برای سایر مصارف مورد نیاز است. در مقیاس سرانه، سالانه ۱۳۴۶ کیلوگرم محصولات کشاورزی به مصرف می‌رسد، ۴۵۲ کیلوگرم بر نفر تلف می‌شود و ۱۰۴ کیلوگرم بر نفر صرف سایر مصارف می‌گردد. بنابراین، به ازای هر نفر ۱۹۰۳ کیلوگرم در سال محصولات کشاورزی نیاز است که سرانه تامین نیز نامیده می‌شود (در مقابل ۱۳۴۶ کیلوگرم در سال سرانه مصرف).

رژیم غذایی ایرانیان یا آن طور که در داخل کشور مصطلح است سبد غذایی ایرانیان توسط مراجع مختلف مطالعه و گزارش شده است. بررسی این مطالعه نشان داد که از میان این برآوردها، برآورد انیستیتو تغذیه وزارت بهداشت (صالحی و همکاران، ۱۳۹۲) مطابقت بیشتری با تحلیل موازنه غذایی[۳۴] کشور دارد. منظور از تحلیل موازنه غذایی، بررسی و مقابله کردن تولید، واردات، صادرات و ذخیره سازی است طوری که سرانه تامینی غذای هر فرد در کشور مشخص می گردد. آن چه به عنوان رژیم یا سبد غذایی گزارش می-شود، سرانه مصرفی خواهد بود. داده های مورد استفاده توسط صالحی و همکاران (۱۳۹۲) عمدتا مربوط به دهه ۸۰ شمسی است و بررسی انجام شده در این مطالعه برای بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ نشان داد که رژیم غذایی فعلی به برآورد ایشان در برخی اقلام غذایی تغییراتی را به خود دیده است. بخشی از این تغییرات ممکن است به دلیل تحریم‌ها علیه کشور باشد که از ۱۳۹۰ به این سو اجرا شده اند. جدول ۲ رژیم غذایی فعلی کشور ارایه شده توسط صالحی و همکاران (۱۳۹۲)، رژیم غذایی فعلی کشور که مطالعه حاضر به آن رسیده است (پیوست ۱۴) و نیز رژیم غذایی مطلوب پیشنهادی وزارت بهداشت برای شرایط کنونی را نشان می دهد. این جدول همچنین برخی ویژگی‌های این رژیم های غذایی را ارایه می‌کند.

در رژیم غذایی فعلی مورد استفاده در این مطالعه در مقایسه با رژیم غذایی فعلی گزارش شده توسط صالحی و همکاران (۱۳۹۲) مصرف گوشت قرمز و برنج کاهش یافته است و مصرف گندم، سیب زمینی و گوشت مرغ افزایش پیدا کرده است (جزییات در پیوست ۱۵). در سبد غذایی مطلوب وزارت بهداشت مقادیر پیشنهادی برای مصرف حبوبات، میوه‌ها و سبزی‌ها، گوشت قرمز، تخم مرغ و شیر نسبت به رژیم غذایی کنونی بیشتر است. اما، مقادیر روغن و قند و شکر کمتر می‌باشد. بقیه اقلام غذایی در رژیم مطلوب وزارت بهداشت نسبت به رژیم فعلی تغییر جزئی دارد (جدول ۲). میزان انرژی که توسط رژیم غذایی فعلی تأمین می‌شود حدود ۱۰۰ کیلوکالری بیشتر از سبد غذایی مطلوب وزارت بهداشت است (۲۶۳۴ در مقابل ۲۵۴۹ کیلو کالری بر نفر روز). در سبد غذایی فعلی سهم پروتئین حاصل از گوشت قرمز ۱۴ درصد است که در سبد غذایی مطلوب وزارت بهداشت مقدار آن به ۱۸ درصد افزایش پیدا کرده است.

[34] Food balance analysis

جدول ۲- میزان مصرف مواد غذایی برحسب گرم بر نفر در روز برای رژیم‌های غذایی کنونی در این مطالعه، کنونی و مطلوب وزارت بهداشت به همراه ویژگی‌های کیفی این رژیم‌ها.

	فعلی در مطالعه حاضر	فعلی وزارت بهداشت	مطلوب وزارت بهداشت
سرانه مصرف مواد			
نان، ماکارونی و مشابه	۳۳۷	۳۳۶	۳۳۰
برنج	۹۱	۱۰۰	۹۵
حبوبات	۱۸	۱۸	۲۶
سیب‌زمینی	۱۰۹	۶۸	۷۰
روغن	۴۶	۴۶	۳۵
قند و شکر	۶۶	۶۶	۴۰
میوه‌ها	۲۱۲	۲۱۲	۲۸۰
سبزی‌ها	۲۲۸	۲۲۸	۳۰۰
گوشت قرمز	۲۸	۳۴	۳۸
مرغ	۶۴	۴۴	۴۶
تخم مرغ	۲۵	۲۵	۳۵
شیر	۱۹۰	۱۹۰	۲۵۰
ماهی	۱۸	۱۸	۱۸
ویژگی‌های رژیم غذایی			
مجموع میوه و سبزی (گرم در روز)	۴۴۰	–	۵۸۰
نسبت میوه به مجموع میوه و سبزی	۰/۴۸	–	۰/۴۸
مجموع انرژی (کیلوکالری)	۲۶۳۴	–	۲۵۴۹
درصد انرژی از پروتئین	۱۲	–	۱۳
درصد انرژی از چربی	۲۴	–	۲۳
مجموع پروتئین (گرم در روز)	۷۶	–	۸۱
درصد پروتئین حیوانی	۳۸	–	۳۹
درصد پروتئین از گوشت قرمز	۱۴	–	۱۸
درصد انرژی از کربوهیدرات	۶۳	–	۶۳
درصد انرژی از قند	۱۰	–	۶

نتایج این مطالعه نشان داد که در کشور، درصد تلفات/ضایعات برای گندم ۱۵ درصد، برنج سفید ۱۰ درصد، حبوبات ۱۰ درصد، سیب زمینی ۲۰ درصد، روغن ۱۲ درصد، قند و شکر ۲۳ درصد، میوه ۵۸ درصد، سبزی ۵۴ درصد، گوشت قرمز ۱۱ درصد، گوشت مرغ ۱۲ درصد، تخم مرغ ۱۲ درصد، شیر ۹ درصد و ماهی ۳ درصد است (جدول ۳؛ پیوست ۱۵). شایان ذکر است که برای سیب زمینی، میوه‌ها و سبزی‌صیفی این درصد ها شامل بخش غیرخوراکی نیز می‌گردد. بدون احتساب بخش غیرخوراکی درصد تلفات-ضایعات میوه‌ها به ۴۵/۵ درصد و سبزی-صیفی به ۳۶/۰ درصد کاهش می‌یابد. برای سیب زمینی این بخش ناچیز است. سالیانه

کمی بیش از ۳۰ میلیون تن از محصولات کشاورزی تولید شده در داخل کشور (۳۰ درصد از کل تولید محصولات کشاورزی داخل کشور) به دلیل تلفات/ضایعات از دسترس خارج می‌شود. این مقدار تلفات/ضایعات محصولات کشاورزی، معادل هدر رفت ۳/۷۲ میلیون هکتار سطح زیرکشت (۲۴ درصد از کل سطح زیرکشت در کشور) و ۲۴/۸ میلیارد متر مکعب آب (۳۲ درصد از کل آب مصرفی در بخش کشاورزی در کشور) است و برای تامین غذای ۱۸ میلیون نفر در کشور کافی می‌باشد. درصد ها و مقادیر حاصله در این مطالعه با آن‌چه توسط موسسه تحقیقات فنّی مهندسی کشاورزی گزارش شده است، تطبیق دارد (بدیعی و همکاران، ۱۳۹۴؛ میرمجید هشتجین و همکاران، ۱۳۹۵).

جدول ۳. مقادیر محاسبه شده درصد سایر مصارف و درصد تلفات/ضایعات محصولات کشاورزی موجود در سبد غذایی نسبت به کل سرانه تامین هر یک از این محصولات.

محصول	سایر مصارف (درصد)	تلفات/ضایعات (درصد)
گندم	۶/۵	۱۵/۰
برنج سفید	۰	۱۰/۴
حبوبات	۹/۳	۱۰/۰
سیب زمینی*	۱۱/۲	۱۹/۸
روغن	۱۰/۹	۱۱/۵
قند و شکر	۰	۲۳/۹
میوه جات*	۰	۵۷/۵
سبزی جات*	۰	۵۴/۰
گوشت قرمز	۰	۱۱/۲
گوشت مرغ	۰	۱۲/۲
تخم مرغ	۷/۶	۱۱/۸
شیر	۲۴/۶	۹/۱
ماهی	۳۲/۶	۲/۸

*بخش‌های غیرخوراکی نیز در تلفات-ضایعات لحاظ شده است. با خارج کردن این بخش از تلفات-ضایعات، درصد تلفات-ضایعات میوه‌جات از ۵۷/۵ به ۴۵/۵ و سبزی-صیفی از ۵۴/۰ به ۳۶/۰ کاهش می‌یابد.

۳-۱-۲- تولیدات کشاورزی و خودکفایی

تولیدات کشاورزی کشور در بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ (سال برداشت) در جدول ۴ نشان داده شده است. شایان ذکر است که تولید گیاهان چوبی و تزیینی، عسل و کرم ابریشم در این جدول ارایه نشده است و مجموع آن‌ها کمتر از یک درصد تولیداتی است که در جدول ۴ ذکر شده اند. شکل ۶ نیز تولیدات کشاورزی را با کل تقاضا یا نیاز کشور مقایسه می کند و مقدار کمبود و مازاد محصولات کشاورزی را نشان می‌دهد. مقادیر در جدول ۴ و شکل ۶ همگی بر حسب وزن تر هستند که برای محصولات گیاهی درب مزرعه، برای گوشت درب کشتارگاه و برای شیر و تخم مرغ درب مرکز تولید می‌باشند.

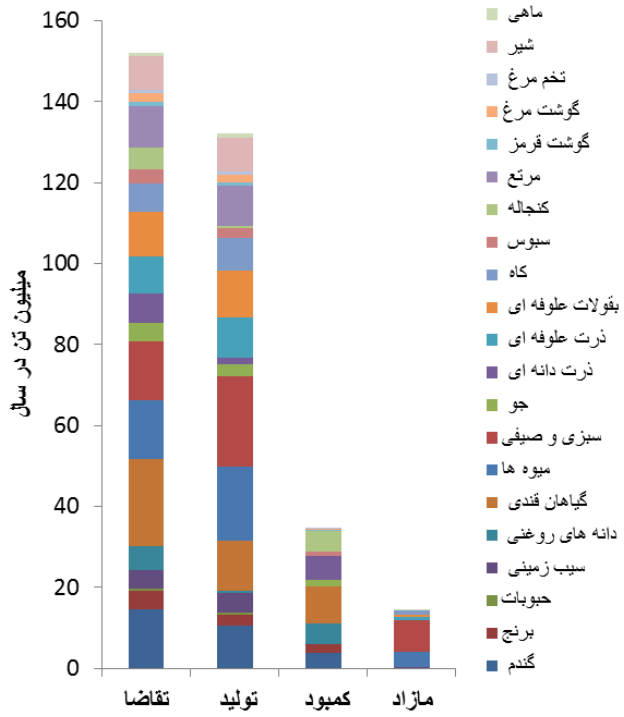
جدول ۴ – نیاز یا تقاضای فعلی، تولید محصولات کشاورزی و خودکفایی کنونی در کشور. تقاضا با توجه به پیش‌ران‌های مربوطه محاسبه شده است و اطلاعات تولید از آمارنامه‌ها استخراج شده‌است. میزان نیاز به آب آبی (منابع آب برای آبیاری) برای تولید کل محصولات لازم در داخل کشور به همراه اختصاص یا مصرف کنونی آب برای تولید هر یک از محصولات که با سیستم SEA محاسبه شده است، نیز آورده شده اند.

	میلیون تن وزن تر در سال			میلیارد متر مکعب آب در سال	
محصول	نیاز	تولید فعلی	خودکفایی (٪)	مورد نیاز	برداشت فعلی
گندم	۱۴/۵۳	۱۰/۶۵	۷۳/۳	۱۳/۳۷	۹/۸۰
برنج	۴/۴۹	۲/۵۰	۵۵/۸	۱۶/۳۲	۹/۱۱
حبوبات	۰/۶۵	۰/۵۳	۸۰/۶	۱/۱۰	۰/۸۹
سیب‌زمینی	۴/۶۲	۴/۸۱	۱۰۴/۰	۱/۶۲	۱/۶۸
دانه‌های روغنی	۵/۷۶	۰/۶۷	۱۱/۵	۲۴/۲۰	۲/۷۹
گیاهان قندی	۲۱/۶۳	۱۲/۴۱	۵۷/۴	۷/۷۸	۴/۴۶
میوه‌ها	۱۴/۵۶	۱۸/۳۴	۱۲۶/۰	۲۰/۷۱	۲۶/۰۹
سبزی–صیفی	۱۴/۴۷	۲۲/۲۵	۱۵۳/۸	۴/۲۷	۶/۵۶
جو	۴/۵۵	۳/۰۳	۶۶/۷	۴/۲۵	۲/۸۴
ذرت دانه‌ای	۷/۲۶	۱/۴۳	۱۹/۷	۱۴/۵۰	۲/۸۵
ذرت سیلویی	۹/۲۳	۱۰/۱۱	۱۰۹/۶	۲/۷۶	۳/۰۳
علوفه (بقولات)	۱۰/۹۸	۱۱/۶۱	۱۰۵/۷	۱۰/۹۶	۱۱/۵۸
کاه	۷/۰۶	۸/۰۹	۱۱۴/۷	۰/۰۰	۰/۰۰
سبوس	۳/۳۵	۲/۳۲	۶۹/۳	۰/۰۰	۰/۰۰
کنجاله	۵/۶۰	۰/۴۶	۸/۲	۴/۷۹	۰/۰۰
علوفه مرتعی	۱۰/۲۳	۱۰/۰۰	۹۷/۷	۰/۰۰	۰/۰۰
گوشت قرمز	۰/۹۱	۰/۷۷	۸۴/۳	۰/۰۷۷	ت.ن.
گوشت مرغ	۲/۱۱	۱/۹۶	۹۲/۶	۰/۰۱۶	ت.ن.
تخم مرغ	۰/۹۰	۰/۸۷	۹۶/۷	۰/۰۰۷	ت.ن.
شیر	۸/۳۷	۸/۳۷	۱۰۰/۰	۰/۰۵۱	ت.ن.
ماهی–میگو	۰/۸۰	۰/۸۴	۱۰۴/۷	–	۲/۹۹
جمع	۱۵۲/۱	۱۳۲/۰	۸۶/۸	۱۳۳/۳	۸۶/۰۲

ت.ن. یعنی تعیین نشد؛ کل موارد ت.ن. به علاوه مصرف آب در تولید گیاهان تزیینی در کشور ۱/۳۳ میلیارد متر مکعب در سال برآورد شده است.

در بین محصولات گیاهی، سبزی–صیفی با ۲۲/۳ میلیون تن، میوه‌جات با ۱۸/۳ میلیون تن، گیاهان قندی (چغندرقندو نیشکر) با ۱۲/۴ میلیون تن، گیاهان علوفه‌ای (عمدتا بقولات مثل یونجه و شبدر) با ۱۱/۶ میلیون تن، گندم با ۱۰/۷ میلیون تن و ذرت علوفه‌ای با ۱۰/۱ میلیون تن، بالاترین تناژ تولیدی را به خود اختصاص داده اند. حبوبات با ۵۲۷ هزار تن و دانه‌های روغنی با ۶۶۵ هزار تن در سوی دیگر قرار گرفته‌اند و کمترین تناژ را دارند. تولید سیب زمینی با ۴/۸ میلیون تن، جو با ۳/۰ میلیون تن، برنج با ۲/۵ میلیون تن و ذرت

دانه‌ای با ۱/۴ میلیون تن در وسط قرار دارند. سالانه ۱۰/۹ میلیون تن کاه، سبوس و کنجاله در کشور تولید می‌شود. تولیدات گیاهی مرتعی نیز ۱۰ میلیون تن می‌باشد (جدول ۴). در بین محصولات دامی بالاترین تناژ به شیر با ۸/۴ میلیون تن و گوشت مرغ با ۲/۰ میلیون تن تعلق دارد. تولید تخم مرغ با ۸۷۲ هزار تن، ماهی و میگو با ۸۴۲ هزار تن و گوشت قرمز با ۷۶۷ هزار تن در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۶ – مقایسه تقاضا یا نیاز با تولید محصولات کشاورزی در کشور. مقادیر کمبود و مازاد نیز نشان داده شده اند.

از نظر خودکفایی، محصولات کشاورزی را می‌توان در چهار دسته قرار داد. دسته اول شامل سیب‌زمینی، میوه‌جات، سبزی-صیفی، ذرت علوفه‌ای، بقولات علوفه‌ای، کاه، و ماهی و میگو هستند که ضریب خودکفایی آن‌ها بالاتر از ۱۰۰ درصد می‌باشد و در واقع بیش از نیاز یا تقاضای کشور تولید می‌شوند، اگرچه برای برخی از این محصولات مثل سیب زمینی میزان تولید فقط ۴ درصد بیش از نیاز است ولی برای میوه‌جات، سبزیجات، درصد تولید مازاد بیشتر و قابل توجه است (۲۶ و ۵۴ درصد). اضافه تولید محصولات علوفه‌ای (مثل کاه و ذرت علوفه‌ای) در قالب صادرات برخی محصولات دامی تجلّی می‌یابد. دسته دوم محصولات کشاورزی شامل گندم، حبوبات، گوشت قرمز و مرغ، تخم مرغ و شیر هستند که ضریب خودکفایی آن‌ها بین ۷۰ تا ۱۰۰ درصد، بدین معنی که کشور از نظر این محصولات خودکفا یا نزدیک به خودکفایی است. دسته سوم شامل برنج، گیاهان قندی، جو و سبوس است که بین ۵۰ تا ۷۰ درصد نیاز کشور به آن‌ها در داخل تولید می‌گردد و دسته چهارم شامل دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای و کنجاله است که به ترتیب ۱۲، ۲۰ و ۸ درصد نیاز کشور به آن‌ها در داخل تولید می گردد.

در مجموع و در سطح کشور با رژیم غذایی، تلفات-ضایعات و سایر مصارف کنونی به ۱۵۲ میلیون تن محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) نیاز می‌باشد که ۱۳۲ میلیون تن آن یعنی ۸۷ درصد از نیاز کشور در داخل تولید می شود. برای محصولات

کشاورزی گیاهی و محصولات جانبی آن‌ها که بخش بزرگی از منابع کشور صرف تولید آن‌ها در مزارع، باغات و گلخانه ها می شود، ضریب خودکفایی ۸۵ درصد می‌باشد (جدول ۴). نیاز کشور به این محصولات ۱۲۹ میلیون تن در سال و تولید آن‌ها در داخل کشور ۱۰۹ میلیون تن در سال است. مجموع کمبود تولید ۳۴ میلیون تن و مجموع مازاد تولید ۱۴ میلیون تن در سال است.

مقایسه میزان آب آبی لازم برای تولید محصولات کشاورزی با میزان آب اختصاصی کنونی نکته جالبی را روشن می‌سازد. منظور از منابع آب آبی[۳۵] عبارت است از آب از منابع سطحی یا زیر زمینی است که برای آبیاری در مزارع، باغات و گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تولید همه نیازهای کشور به محصولات گیاهی به ۱۲۷ میلیارد متر مکعب آب در سال نیاز می‌باشد در حالی که عملا میزان آب اختصاصی به تولید این محصولات ۸۲ میلیارد متر مکعب است. بنابراین، با اختصاص ۶۵ درصد آب مورد نیاز، ۸۵ درصد تولیدات گیاهی کشور حاصل می‌شوند. این بدان معناست که محصولاتی که آب‌بری بیشتری دارند، وارد می‌شوند. همچنین نشان می‌دهد که در حالی که خودکفایی از نظر وزنی ۸۵ درصد است، از نقطه نظر منابع آب برای آبیاری (آب آبی)، ۶۵ درصد است و خودکفایی آبی پایین‌تر از خودکفایی غذایی قرار دارد.

باید توجه داشت که بخشی از تولیدات گیاهی در جدول ۴ و شکل ۶ در شرایط دیم تولید شده‌اند که در آن آب آبی به مصرف نمی‌رسد. شکل ۷ نحوه توزیع تولیدات گیاهی در شرایط دیم را به تفکیک گیاهان زراعی، باغبانی درختی و باغبانی سبزی-صیفی نشان می‌دهد. در مجموع ۹۲ درصد از تولیدات گیاهی کشور در شرایط کشت آبی، صورت می‌گیرد که ۵۹ درصد کل سطح زیر کشت کشور را تشکیل می‌دهند. این درصد برای گیاهان زراعی ۹۰ درصد، برای درختان میوه ۹۲ درصد و برای سبزی-صیفی ۹۸ درصد است.

شکل ۷ – نحوه توزیع تولیدات گیاهی در شرایط دیم یا آبی کشور.

۳-۱-۳- استفاده از منابع آب

در سطح جهان و نیز ایران، کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب است که این موضوع نیز به ماهیت گیاهان و پیوستگی تعرق و فتوسنتز مربوط می شود. برای دریافت CO_2 و انجام فتوسنتز و تولید ماده خشک، گیاهان باید روزنه‌های روی برگ‌های خود را باز

[35] Blue water

نگهدارند که در نتیجه آن بخار آب از برگ ها به اتمسفر منتشر می شود. هر چه محیط خشکتر باشد، به ازای هر واحد CO_2 تثبیت شده یا ماده خشک تولید شده، آب بیشتری از طریق گیاه از دست می رود (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶). منظور از منابع آب در این‌جا آب از منابع سطحی یا زیر زمینی است که برای آبیاری در مزارع، باغات و گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (آب آبی). استفاده از منابع آب و نیز سایر منابع محیطی مشابه دارای دو جنبه مهم است که باید به آن پرداخته شود:

(۱) فرآهمی[۳۶] که حسب مورد شامل کل مقدار بالقوه یا بالفعل یا مجاز برای بهره‌برداری است، و

(۲) کارایی[۳۷] که حسب مورد شامل کسری از منبع است که استفاده مفید از آن شده است یا نسبت تولید به ازای میزان منبع استفاده شده می‌باشد.

در این بخش و برای منابع آب منظور از فرآهمی، کل آب آبی است که از منبع آب (مثل رودخانه یا چاه) به کشاورزی اختصاص داده‌می‌شود و منظور از کارایی، راندمان آبیاری کل می‌باشد که در حقیقت نسبت آب استفاده شده توسط گیاه (تبخیرتعرق) به کل آب اختصاصی به گیاه از منبع آب (رودخانه یا چاه) می باشد. بنابراین، تلفات یا هدرروی آب از منبع آن تا مزرعه نیز به حساب آب اختصاص یافته به گیاه گذاشته می‌شود.

متاسفانه اطلاعات یکپارچه و به‌روز و مربوط به بازه زمانی یکسان از برداشت یا مصرف آب در بخش کشاورزی به تفکیک استان ها یا حوضه ها در دست نیست. بخشی از این مشکل به ماهیت این امر یعنی گستردگی کشاورزی در سطح کشور و محدودیت آماربرداری‌های مرتبط با آب مربوط می‌شود. در مطالعه حاضر، برای تخمین مقدار برداشت آب برای مصارف کشاورزی در هر استان به صورت دو مرحله‌ای عمل شد: در مرحله اول تلاش شد کلیه آمار و ارقام از آب اختصاصی یا مصرفی کشاورزی در استان های کشور جمع آوری شود. این اطلاعات از هر منبع و هر دوره زمانی که در دسترس بودند، جمع آوری شدند. در مرحله دوم، برآوردهای مختلف در هر استان با تولیدات گیاهی آن استان مقایسه شدند و با توجه به رابطه تولید گیاهی-نیاز آبی-راندمان آبیاری برای هر استان از بین مقادیر گزارش شده، مقداری انتخاب شد که با تولیدات گیاهی آن استان و نیز راندمان آبیاری در آن استان تطبیق داشته باشد (جزییات در پیوست ۸). مقادیر حداقل و حداکثر آب اختصاصی به کشاورزی یافت شده برای هر استان و نیز مقدار انتخاب شده در شکل ۸ ارایه شده است. مقادیر آب اختصاصی به کشاورزی از ۴۲۷ تا ۱۱۷۲۷ میلیون متر مکعب در سال بسته به استان دامنه دارد.

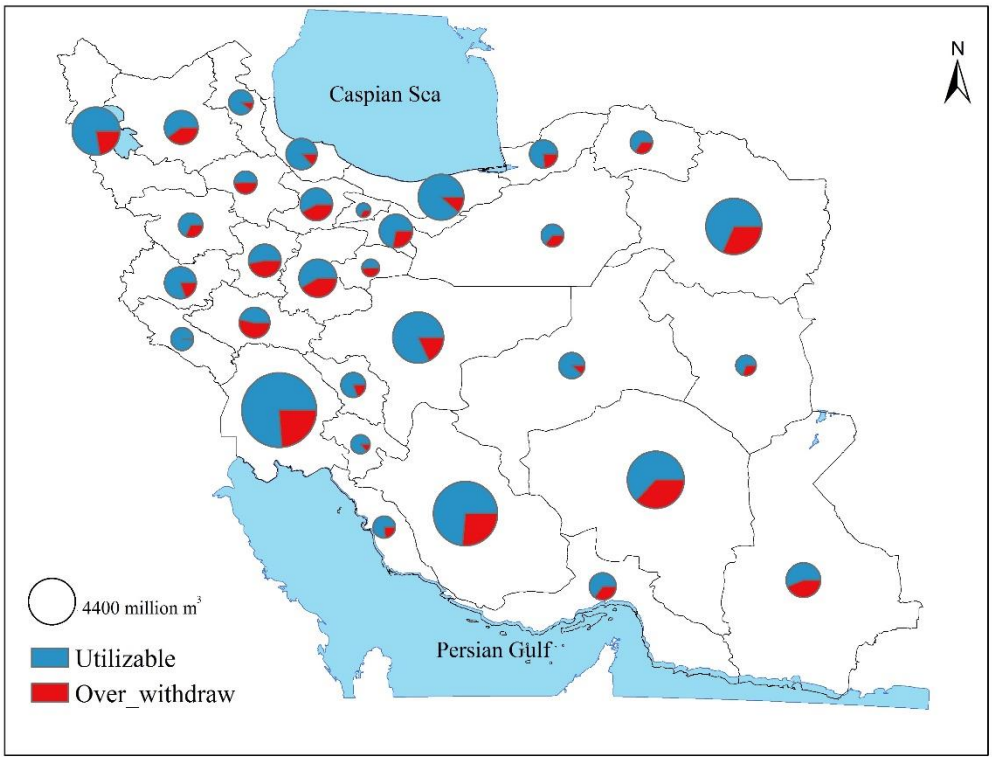
برداشت فعلی آب برای کشاورزی بیش از مقدار قابل بهره‌برداری یا قابل‌برنامه‌ریزی است که توسط وزرات نیرو که مسئولیت تخصیص آب در کشور را بر عهده دارد، اعلام شده است. (نامه مورخ ۹۴/۴/۲۴ وزیر نیرو به دستگاه‌ها). جدول ۵ مقادیر آب قابل-برنامه‌ریزی به تفکیک منابع سطحی و زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در استان‌های کشور نشان می دهد. متاسفانه مستندات در ارتباط با نحوه محاسبات و منبع داده‌ها یا اندازه‌گیری‌ها یافت نشد. برای مثال، مشخص نیست حجم آب تجدیدپذیر و درصد قابل بهره-برداری آن چه مقدار لحاظ شده است. بر اساس این ابلاغیه، مقدار کل آب قابل برنامه‌ریزی برای مصارف کشاورزی ۶۱۷۲۰ میلیون متر مکعب در سال است که ۳۱۳۸۹ میلیون متر مکعب آن از منابع زیرزمینی و ۳۰۳۳۱ میلیون متر مکعب آن از منابع سطحی تعیین شده-است. مقدار آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی در استان‌ها بین ۲۸۷ تا ۸۹۳۰ میلیون متر مکعب در سال متغیر است.

[36] Availability
[37] Efficiency

شکل ۸ – کمترین و بیشترین آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی (ابتدا و انتهای مستطیل) که در منابع مختلف برای هر استان گزارش شده است به همراه مقدار آب اختصاصی به کشاورزی (لوزی) که با استفاده از رابطه منطقی بین تولید گیاهی، راندمان آبیاری و مقدار آب تخصیصی، انتخاب شده است (اعداد بر حسب میلیون متر مکعب در سال).

مقایسه مقادیر آب اختصاصی فعلی به کشاورزی در استان‌ها با مقادیر آب قابل‌برنامه‌ریزی نشان می‌دهد که در همه استان‌ها اضافه برداشت از منابع آب وجود دارد (شکل ۹). مقادیر اضافه برداشت بین ۱۷ تا ۲۷۹۷ میلیون متر مکعب در سال دامنه دارد و جمع اضافه برداشت‌ها ۲۴/۳ میلیارد متر مکعب در سال می باشد. برحسب درصد از برداشت فعلی، متوسط اضافه برداشت ۲۸ درصد است ولی بین ۲ تا ۵۳ درصد دامنه دارد. در استان‌های مرکزی، قزوین، سیستان و بلوچستان، همدان، قم، زنجان و لرستان میزان اضافه برداشت بیش از ۴۰ درصد برداشت فعلی است. در کلیه استان‌ها باید برداشت آب برای کشاورزی کاهش پیدا کند تا به سطح قابل‌برنامه‌ریزی برسد. بدیهی است که تعدیل اختصاص آب به کشاورزی در حد قابل‌برنامه‌ریزی اثرات منفی بر تولیدات کشاورزی و سایر جنبه‌های آن خواهد داشت که در بخش‌های بعدی این گزارش به آن‌ها پرداخته‌می شود. در صورت عدم کنترل اضافه برداشت نیز برخی تغییرات زیست محیطی حاصله از مرزهای برگشت ناپذیر عبور می‌کنند و احتمالا بعدا باید هزینه بیشتری برای مهار آن صرف نمود. برای مثال،

می توان به ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها اشاره کرد. به‌نظر می‌رسد بزرگترین چالش حال و آینده بخش کشاورزی کشور مسئله کم‌آبی و سازگاری با آن باشد.



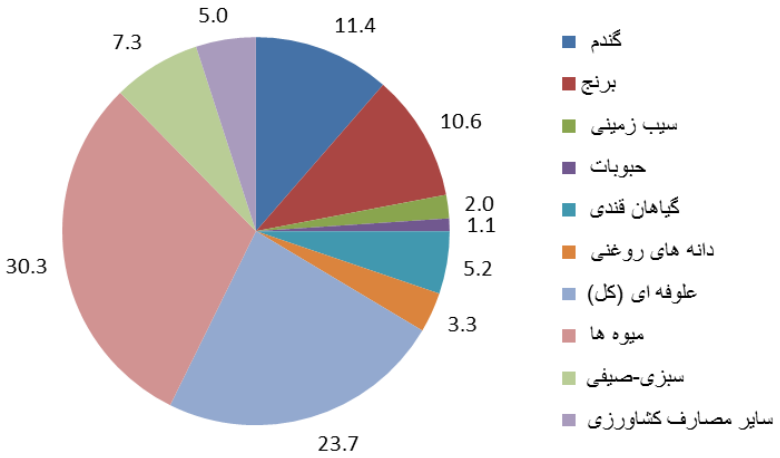
شکل ۹. مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی (رنگ آبی) و اضافه برداشت برای کشاورزی (رنگ قرمز) در استان های کشور بر حسب میلیون متر مکعب در سال. دایره ها مقادیر برداشت فعلی آب برای کشاورزی را نشان می دهند.

به برآورد آب قابل برنامه ریزی توسط وزارت نیرو انتقاداتی وارد است که با لحاظ آن‌ها مقدار آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی از مقداری اعلامی فعلی کمتر خواهد بود (حدود ۴۰ در مقایسه با ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال- قسمت‌های بعدی ملاحظه شوند) و بنابراین، مدیریت منابع آب در حد ایمن برای محیط زیست و پایدار، به معنی کاهش منابع آب به کمتر از نصف مقادیر فعلی است که اثرات عمیقی بر کشاورزی خواهد داشت و سازگاری با آن نیازمند تحوّل در بخش کشاورزی است. این موضوع در بخش-های بعدی این گزارش مورد بحث قرار می‌گیرد.

جدول ۵. مقادیر آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی در استان‌های مختلف کشور از منابع سطحی و زیرزمینی بر اساس ابلاغیه وزارت نیرو بر حسب میلیون متر مکعب در سال (منبع داده‌ها: وزارت نیرو). برخی اختلافات جزیی در جمع اعداد ناشی از گردکردن است.

استان	منابع زیرزمینی	منابع سطحی	جمع زیرزمینی و سطحی
البرز	۱۶۱	۱۲۷	۲۸۷
اردبیل	۹۹	۱۰۴۷	۱۱۴۷
بوشهر	۲۹۷	۴۸۸	۷۸۵
چهارمحال و بختیاری	۴۲۲	۶۳۴	۱۰۵۶
آذربایجان شرقی	۴۲۱	۱۰۱۵	۱۴۳۷
اصفهان	۳۱۹۰	۱۲۸۷	۴۴۷۷
فارس	۴۹۹۱	۱۳۴۱	۶۳۳۲
گیلان	۱۹۱	۱۵۸۳	۱۷۷۴
گلستان	۸۰۶	۴۴۹	۱۲۵۵
همدان	۱۰۹۴	۹۶	۱۱۸۹
هرمزگان	۸۳۰	۱۷۱	۱۰۰۱
ایلام	۲۹۲	۷۸۷	۱۰۷۹
کرمان	۳۶۶۹	۶۴۱	۴۳۱۰
کرمانشاه	۷۷۶	۹۶۹	۱۷۴۵
خراسان رضوی	۳۵۷۷	۹۲۰	۴۴۹۷
خوزستان	۷۱۵	۸۲۱۵	۸۹۳۰
کهکیلویه و بویراحمد	۱۱۴	۵۵۹	۶۷۳
کردستان	۲۷۰	۵۸۶	۸۵۶
لرستان	۴۷۳	۴۵۸	۹۳۱
مرکزی	۱۲۸۶	۴۷۲	۱۷۵۸
مازندران	۴۸۳	۳۴۱۷	۳۹۰۰
خراسان شمالی	۲۰۸	۴۸۲	۶۹۰
قزوین	۱۰۳۴	۴۱۷	۱۴۵۱
قم	۲۲۰	۱۱۲	۳۳۲
سمنان	۴۹۵	۱۸۶	۶۸۱
سیستان و بلوچستان	۶۶۲	۷۴۲	۱۴۰۴
خراسان جنوبی	۴۷۰	۱۲۶	۵۹۶
تهران	۸۱۲	۸۸۲	۱۶۹۳
آذربایجان غربی	۱۷۸۶	۱۹۶۷	۳۷۵۲
یزد	۱۲۵۷	۴۱	۱۲۹۸
زنجان	۲۸۷	۱۱۳	۴۰۰
کل کشور	۳۱۳۸۹	۳۰۳۳۱	۶۱۷۲۰

از ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال آب اختصاصی به کشاورزی در کشور، ۸۲ میلیارد متر مکعب آن (۹۵ درصد) در تولید گیاهی در مزارع، باغات و گلخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و بقیه در تولید دام و آبزیان و گیاهان زینتی به مصرف می‌رسد (جدول ۴). نحوه تخصیص این منابع آب بین گیاهان مختلف که توسط سیستم SEA برآورد شده و در جدول ۴ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. مقدار آب آبی مورد استفاده در آبیاری جهت تولید محصولات بین ۸۸۷ میلیون متر مکعب در سال (۱ درصد) برای حبوبات تا ۲۶۰۹۲ میلیون متر مکعب در سال (۳۲ درصد) برای تولید میوه‌ها دامنه دارد (شکل ۱۰). بعد از میوه‌ها، بیشترین میزان آب آبی مورد مصرف در آبیاری به‌ترتیب در تولید بقولات علوفه‌ای (حدود ۱۴ درصد)، برنج (۱۱ درصد) و گندم (۱۱ درصد) استفاده می‌شود. گیاهان علوفه‌ای (شامل جو و ذرت) در مجموع ۲۴ درصد از منابع آب را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱۰). این موضوع که آیا این نحوه تخصیص به لحاظ استفاده اقتصادی از آب در حد بهینه قرار دارد یا خیر و نیز این موضوع که با کاهش منابع آب آبی به حد ایمن یا پایدار تخصیص مطلوب آب چگونه باید باشد در بخش‌های بعدی این گزارش مورد بحث قرار می‌گیرد.

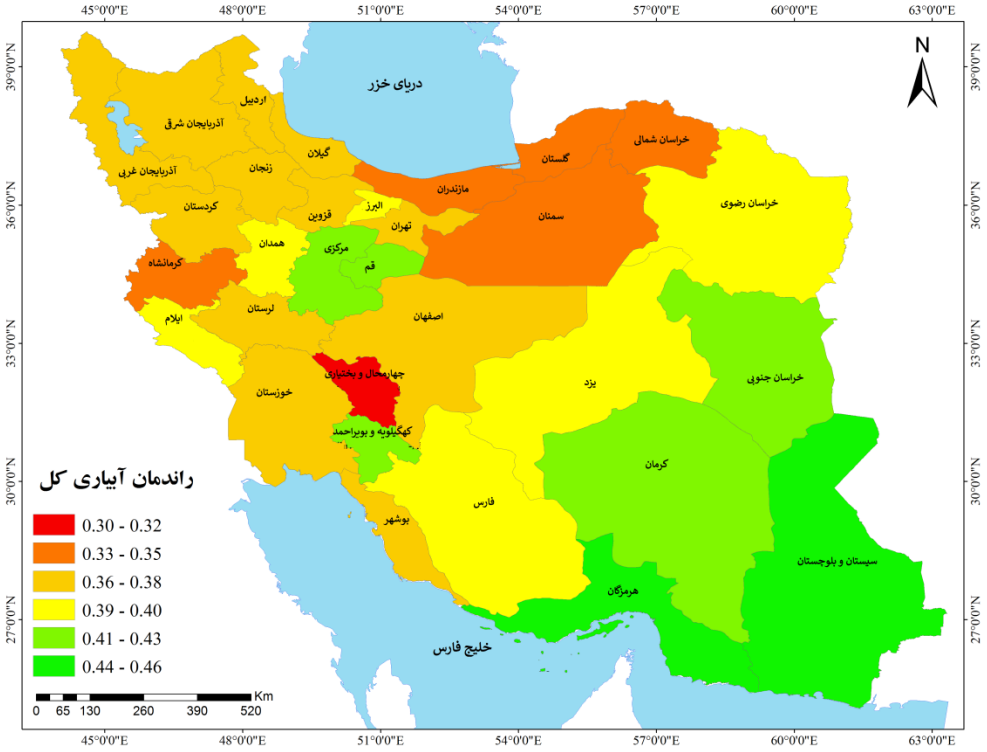


شکل ۱۰- چگونگی توزیع منابع آب آبی بین گیاهان و گروه‌های گیاهی در کشور در شرایط کنونی که با استفاده از سیستم SEA برآورد شده‌است. کل منابع آب آبی برداشت شده برای کشاورزی ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال است.

برای داشتن تصویری کاملتر از منابع آب و استفاده از آن باید به راندمان آبیاری نیز توجه شود. راندمان آبیاری کل عبارت است از نسبت یا درصد آب مصرفی در مزرعه (تبخیرتعرق) تقسیم بر آب اختصاص یافته از منبع (چاه، رودخانه و نظیر این ها). راندمان آبیاری کل حاصلضرب راندمان انتقال آب از منبع به مزرعه و راندمان کاربرد آب در مزرعه است. به‌طور کلی، از نظر FAO راندمان آبیاری کل ۲۰ تا ۳۰ درصد ضعیف، ۴۰ درصد قابل قبول و ۵۰ تا ۶۰ درصد خوب محسوب می گردد (بروور و همکاران، ۱۹۸۹).

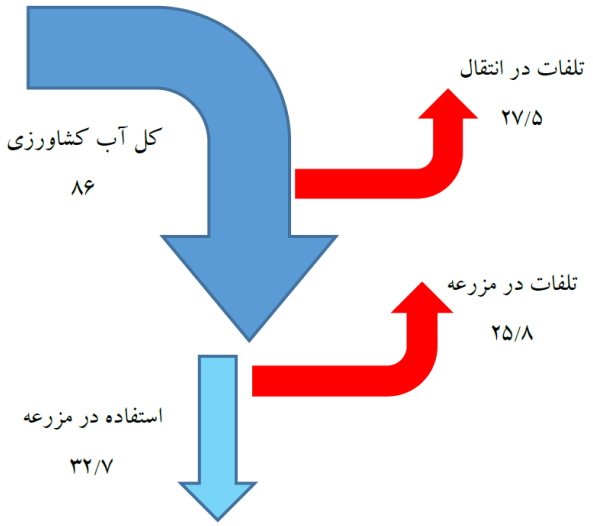
در این مطالعه نسبت به برآورد راندمان آبیاری کل در سطح استانی (بدون تفکیک گیاهان) اقدام گردید و برآوردهای حاصله در سیستم SEA بارگزاری شده‌اند. راندمان آبیاری کل برای هر استان بر اساس راندمان آبیاری در مزرعه برای استان گزارش شده توسط عباسی و همکاران (۱۳۹۵) و برآورد راندمان انتقال آب در استان به دست آمد. عباسی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از ۱۹۰۰ اندازه گیری راندمان آبیاری در مزرعه در ۱۳۵ گزارش، متوسط راندمان آبیاری در مزرعه را برای استان های مختلف ارایه داده اند. راندمان

انتقال آب در هر استان با توجه به نسبت منابع آب زیر زمینی مورد استفاده به کل (جمع سطحی و زیر زمینی) و سطح زیر کشت آبیاری مکانیزه تخمین زده شد (پیوست ۱۷). در شکل ۱۱، برآورد راندمان آبیاری کل برای هر استان نشان داده شده است. مقادیر راندمان آبیاری از ۳۱ تا ۴۶ درصد دامنه دارند. استان‌های چهارمحال و بختیاری، سمنان، گلستان و مازندران دارای راندمان آبیاری ۳۵ درصد و کمتر هستند و استان‌های البرز، یزد، کهکیلویه و بویراحمد، همدان، ایلام، خراسان جنوبی، قم، مرکزی، هرمزگان، کرمان و سیستان و بلوچستان دارای راندمان آبیاری ۴۰ درصد و بالاتر می‌باشند. راندمان آبیاری کل برای کشور ۳۸ درصد برآورد شده است.



شکل ۱۱ – برآورد راندمان آبیاری کل (درصد) در استان‌های مختلف کشور.

خلاصه وضعیت اختصاص و مصرف آب در کشاورزی کشور در شکل ۱۲ به تصویر کشیده شده است. از ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال آب اختصاصی به کشاورزی در کشور، با راندمان ۳۸ درصد ۳۳ میلیارد آن به مصرف می رسد و ۵۳ میلیارد متر مکعب در سال آن (۲۸ میلیارد در انتقال + ۲۶ میلیارد در مزرعه) ظاهرا هدر می رود. براساس مطالعات مختلف جهانی می‌توان اظهار داشت که حدود نیمی از تلفات ظاهری، یعنی ۲۷ میلیارد متر مکعب در سال (نیمی از ۵۳ میلیارد) آن به اکوسیستم‌ها یا محیط زیست بر می گردد اگرچه ممکن است کیفیت آن کاهش یافته باشد. باید توجه داشت که در صورتی که آب اختصاصی به کشاورزی در حد فعلی (۸۶ میلیارد) بماند، افزایش راندمان از ۳۸ به مثلا ۶۰ درصد، مقدار آب مصرفی در مزرعه را از ۳۳ به ۵۲ میلیارد متر مکعب در سال افزایش می دهد که می تواند باعث افزایش چشمگیر تولیدات گیاهی شود. اما، باید توجه داشت که در این حالت مقدار آب برگشتی به طبیعت از ۲۷ به ۱۷ میلیارد متر مکعب در سال کاهش پیدا می‌کند و به معنی بدتر شدن وضعیت برای گردش آب در طبیعت و اکوسیستم ها خواهد بود مگر آن‌که ابتدا کل مصرف آب کاهش داده‌شود و سهم مربوط به جریان‌های محیطی و اکوسیستم‌ها کنار گذاشته‌شود.



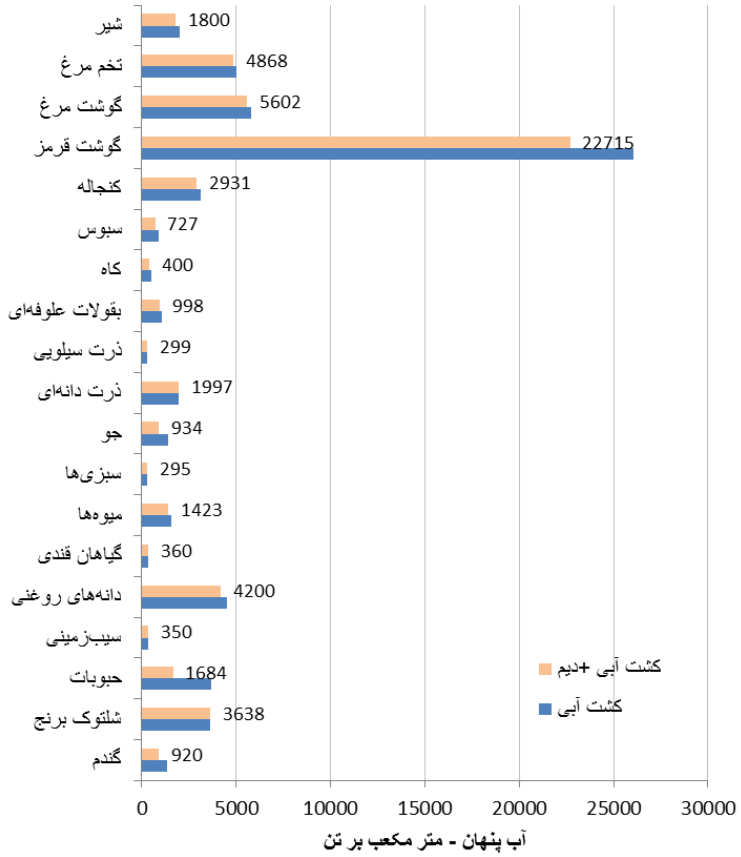
شکل ۱۲ – تصویری از وضعیت کنونی اختصاص و مصرف آب در کشاورزی در سیستم SEA. استفاده در مزارع شامل باغات و گلخانه‌ها نیز می-شود. مقادیر همگی بر حسب میلیارد متر مکعب در سال هستند. کل اختصاص یا برداشت ۸۶ و مصرف در مزارع ۳۳ میلیارد متر مکعب در سال برآورد شده است.

یکی دیگر از جنبه‌های مهم آب و کشاورزی، مقدار آب پنهان[۳۸] یا ردپای آب آبی[۳۹] یا آب مجازی[۴۰] در محصولات کشاورزی است. ردپای آب نشان می‌دهد در تولید هر واحد از محصول چه میزان آب آبی به کار رفته است. بالا یا پایین بودن ردپای آب حاوی نکات زیادی است ولی لزوما نشان دهنده خوب یا بد بودن تولید یک محصول نیست و با لحاظ سایر جنبه ها به ویژه اقتصادی باید در این مورد قضاوت شود. نکته دیگر این است که در شرایط دیم به آب آبی نیازی نیست و در نتیجه چنان‌چه معدل شرایط دیم و آبی را در نظر داشته باشیم، ردپای آب یا آب آبیاری به‌کارفته در تولید هر تن محصول، برای آن دسته از گیاهانی که در شرایط دیم نیز تولید می‌شوند، کم‌تر خواهد شد. ردپای آب برای تولید در شرایط کشت آبی و نیز برای مجموع شرایط دیم و آبی کشور برای محصولات مختلف در شکل ۱۳ ارایه شده است که بر اساس مدیریت و الگوی کشت کنونی برآورد شده‌است. شایان ذکر است که ردپای آب آبی در این‌جا شامل آب مصرفی برای تولید نهاده‌ها مثل کودها نمی‌شود و فقط شامل آب آبیاری می‌باشد.

در شرایط کشت آبی، کمترین مقدار ردپای آب آبی در ذرت سیلویی (۳۰۰ متر مکعب بر تن)، سبزی-صیفی (۳۰۳ متر مکعب بر تن)، سیب‌زمینی (۳۵۱ متر مکعب بر تن)، گیاهان قندی (۳۶۰ متر مکعب بر تن) و بیشترین آب آبی در دانه‌های روغنی (۴۵۲۵ متر مکعب بر تن)، حبوبات (۳۶۸۰ متر مکعب بر تن) و شلتوک برنج (۳۶۳۸ متر مکعب بر تن) وجود دارد. بالاترین مقادیر ردپای آب در بین محصولات کشاورزی مربوط به تولید گوشت قرمز است که در تولید آن از ذرت (سیلویی و دانه‌ای)، بقولات علوفه‌ای و محصولات جانبی (کاه، سبوس و کنجاله) استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که آب مصرفی در تولید محصولات دامی شامل مصرف غیرمستقیم در مزارع و مصرف مستقیم در دامداری و مرغداری می‌شود. میزان آب آبی مورد نیاز برای تولید هر تن گوشت قرمز در

[38] Hidden water
[39] Blue water footprint
[40] Virtual water

کشور ۲۲۷۱۵ متر مکعب است که نسبت به سایر محصولات رقم بالایی است. از نظر تولید محصولات دامی بعد از گوشت قرمز، تولید گوشت مرغ، تخم مرغ و شیر در رتبه‌های بعدی ردپای آب آبی قرار گرفتند که مقادیر آنها در مقایسه با محصولات گیاهی بیشتر است (جدول ۵). برآوردهای ردپای آب در مطالعه حاضر کاربردهای متعددی دارد. یکی از این کاربردها، کمّی کردن صادرات آب در قالب صادرات محصولات غذایی و کشاورزی است.



شکل ۱۳- ردپای آب آبی یا آب پنهان (متر مکعب بر تن یا لیتر بر کیلوگرم) در تولید محصولات مختلف کشاورزی در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی کشور در شرایط کشت آبی و مجموع کشت آبی و دیم. محصولات به صورت وزن تر درب مزرعه برای گیاهان زراعی، درب کشتارگاه برای گوشت و درب مرکز تولید برای تخم مرغ و شیر هستند. در ردپای آب برای تولیدات دامی، آب آبی مصرفی شامل مصرف غیرمستقیم در مزارع و مصرف مستقیم در دامداری و مرغداری می‌شود. برآوردها با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

در گذشته پژوهش‌های متعددی در ارتباط با محاسبه آب مجازی در ایران صورت گرفته است (روحانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عربی‌یزدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ باغستانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ اعتدالی و همکاران، ۱۳۹۶). در اکثر این مطالعات با محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه (از طریق مدل Cropwat یا روش‌های دیگر) مقدار نیاز آبی محاسبه شده است و از آن طریق آب مجازی برای شرایط کشت آبی محاسبه گردیده است. درحالی که میزان آب به‌کاررفته در مزارع ممکن است متفاوت از نیازآبیاری محاسبه شده برای شرایط پتانسیل باشد. معلوم نیست تلفات آب از منبع تا مزرعه در مطالعات قبلی لحاظ شده یا خیر؟ در اکثر این مطالعات تولیدات دیم که نیاز به آب آبی ندارند در محاسبه آب مجازی لحاظ نشده‌اند. با لحاظ نمودن تولیدات دیم تصویر واقعی‌تری از متوسط کشوری آب

مجازی حاصل خواهد شد. همچنین در این مطالعات، آب مجازی برای تولیدات دامی محاسبه نشده است. در پژوهش حاضر، با استفاده از سیستم SEA این نقاط ضعف مرتفع شده‌اند.

۳-۱-۴- استفاده از منابع زمین

یکی از منابع کلیدی تولید محصولات کشاورزی، زمین می‌باشد. کل سطح زیر کشت کشور در بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ (سال برداشت) ۱۴۳۰۷ هزار هکتار (۱۴/۳ میلیون هکتار) بوده است که ۵/۹۰ میلیون هکتار آن دیم و ۸/۴۱ میلیون هکتار آن آبی می‌باشد. بنابراین، ۵۹ درصد از کل سطح زیر کشت کشور به کشت آبی اختصاص دارد. این مقادیر سطح زیر کشت معادل زمین نیست چون در بخشی از اراضی دو یا سه محصول در سال کشت می‌گردد که در این صورت همه با هم جمع شده‌اند و مقادیر مذکور حاصل شده‌است[۴۱]. بر اساس گزارش مسگران و همکاران (۲۰۱۶) ۵/۵ میلیون هکتار (حدود ۴۰ درصد) از اراضی فعلی کشاورزی در دسته اراضی نامناسب یا خیلی ضعیف برای کشاورزی قرار دارند. از طرفی حدود ۲۵ درصد اراضی کشاورزی تحت تاثیر شوری قرار دارند (مومنی، ۱۳۸۸) و ماده آلی خاک‌های کشاورزی پایین است. بنابراین، می‌توان اظهار داشت که منابع زمین فعلی برای کشاورزی در کشور نه تنها امکان افزایش بیشتر ندارد، بلکه نیاز است بخشی از آن کنار گذاشته شود و یا با اقدامات مناسب نسبت به بهبود آن (مثل افزایش ماده آلی خاک) اقدام گردد.

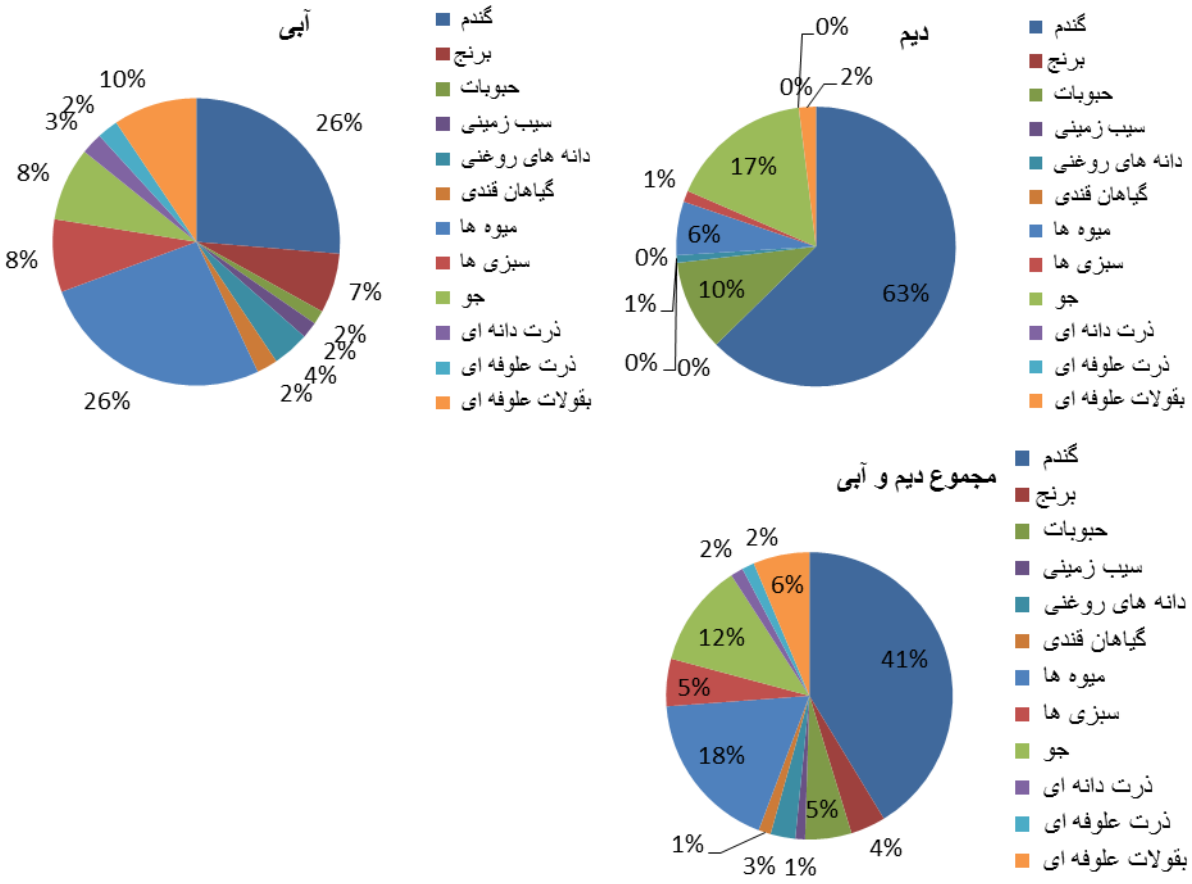
توزیع سطح زیر کشت در شرایط دیم، آبی و مجموع این دو در شکل ۱۴ آورده شده است. در شرایط دیم، گندم با ۶۳ درصد و سپس جو با ۱۷ درصد، حبوبات با ۱۰ درصد و میوه ها با ۶ درصد، ۹۶ درصد سهم سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند. انگور، انجیر، مرکبات و خرما مهمترین میوه‌های هستند که در شرایط دیم نیز تولید می‌شوند. در شرایط آبی، گندم و میوه‌ها هر کدام با ۲۶ درصد، گیاهان علوفه‌ای (جو، ذرت، بقولات و سایر) با ۲۲ درصد، معادل ۷۵ درصد از کل سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده‌اند. سبزیجات با ۸ درصد و برنج با ۷ درصد نیز سهم قابل ملاحظه‌ای را دارند. از نظر مجموع شرایط دیم و آبی، ۸۰ درصد سطح زیر کشت به گندم (۴۱ درصد)، گیاهان علوفه‌ای (۲۱ درصد؛ شامل جو و ذرت) و میوه‌ها (۱۸ درصد) تعلّق دارد (شکل ۱۴).

یکی از شاخص‌های بهره‌وری از منابع زمین، خلا عملکرد نسبی می‌باشد. این شاخص به پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی از زمین ارتباط دارد (شکل ۱۵). پتانسیل عملکرد عبارت است از عملکرد ارقام سازگار فعلی با مدیریت مطلوب تولید طوری که آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز به طور موثری کنترل می‌شوند، با انجام آبیاری و کوددهی، محدودیت آب و عناصر غذایی رفع می‌گردد و سایر عملیات تولید نیز به صورت مطلوب انجام می‌گیرند. در شرایط آب محدود (دیم)، به جای واژه پتانسیل عملکرد از پتانسیل عملکرد آب محدود[۴۲] استفاده می‌شود که همان پتانسیل عملکرد است ولی برای شرایط دیم یا شرایطی که محدودیت آب به طور کامل قابل‌رفع نیست. خلا عملکرد عبارت است از اختلاف عملکرد واقعی کشاورز و پتانسیل عملکرد و خلا عملکرد نسبی عبارت است از نسبت خلا عملکرد به پتانسیل عملکرد که نشان می‌دهد چه بخشی از پتانسیل عملکرد، دستیابی نشده‌است. شکل ۱۵ مفهوم خلا عملکرد را نشان می‌دهد.

---

[۴۱] بر اساس نتایج طرح آماربرداری زراعت سال ۱۳۹۷، مساحت اراضی زیر کشت آبی و دیم به ترتیب ۴/۵ و ۶/۵ میلیون هکتار و مساحت اراضی آیش آبی و دیم به ترتیب ۱/۷ و ۲/۸ میلیون هکتار و جمع کل اراضی ۱۵/۵ میلیون هکتار بوده است. به این رقم باید ۲/۶ میلیون هکتار اراضی باغی (۲/۲ میلیون هکتار آبی و مابقی دیم) را نیز اضافه کرد. توجه شود که به دلیل کشت دو محصول در سال و آیش‌گذاری، آمار سطح زیر کشت و اراضی دارای اختلاف هستند.

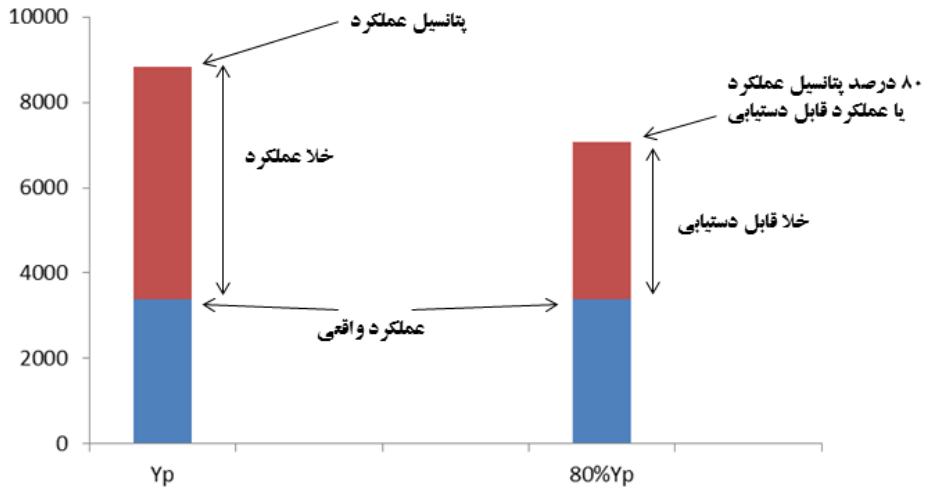
[42] Water-limited potential yield



شکل ۱۴ – توزیع سطح زیر کشت در شرایط دیم، آبی و مجموع این دو بین گیاهان و گروه های گیاهی مختلف در کشور.

رسیدن به پتانسیل عملکرد به لحاظ فنّی دشوار است، به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و شاید به دلیل مصرف زیاد نهاده ها مثل کود و سمّ از نظر زیست محیطی هم مناسب نباشد. بنابراین، هدف گذاری و برنامه ریزی برای دستیابی به ۷۰ تا ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد صورت می گیرد که عملکرد قابل دستیابی[۴۳] نام گذاری شده است. خلا عملکرد قابل دستیابی عبارت است از اختلاف عملکرد واقعی کشاورز و عملکرد قابل دستیابی[۴۴] (شکل ۱۵).

[43] Attainable yield
[44] Exploitable yield gap

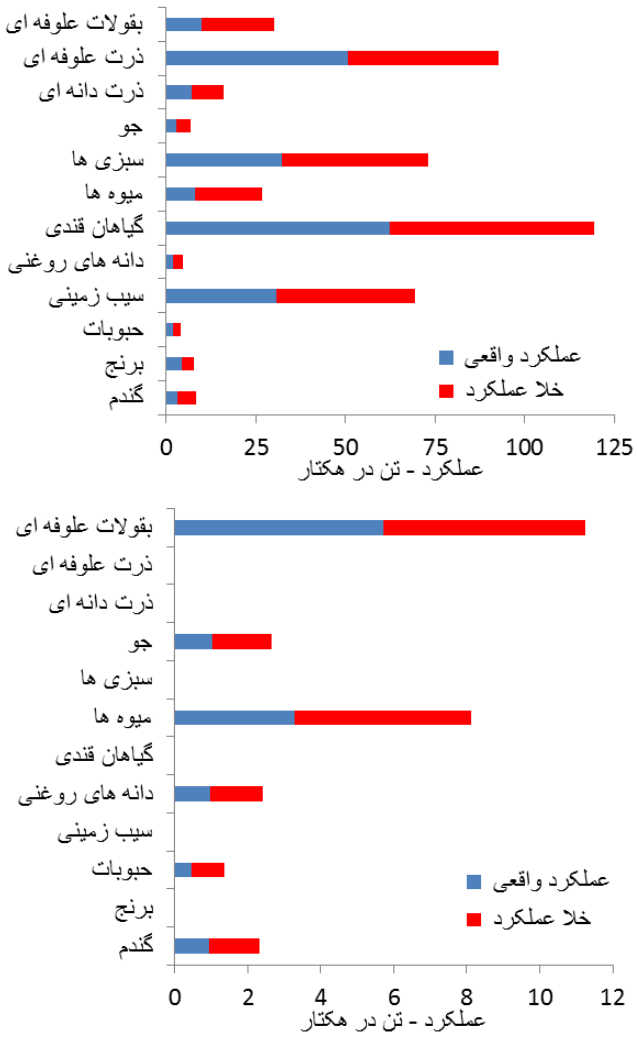


شکل ۱۵ – نمایش مفهوم پتانسیل عملکرد، خلا عملکرد و خلا عملکرد قابل دستیابی.

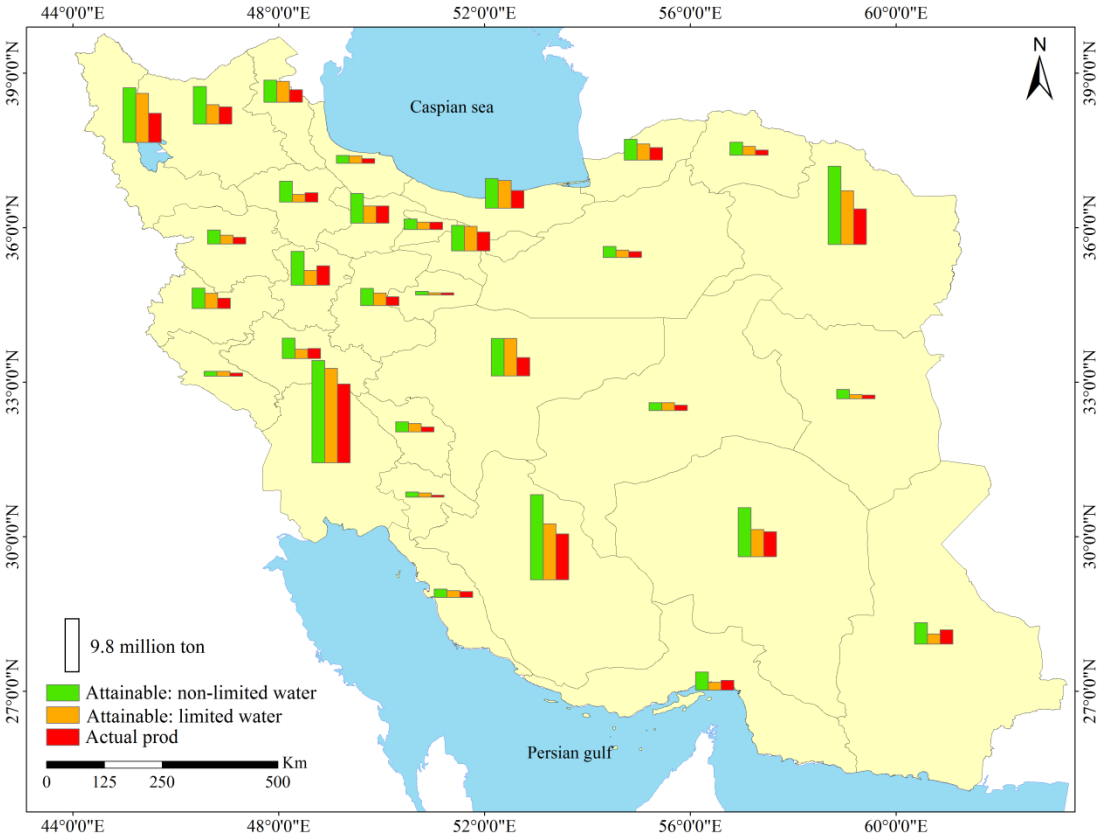
در این مطالعه، پتاسیل عملکرد و خلا عملکرد گیاهان مهم کشور ارزیابی گردید و خلا عملکرد نسبی نیز محاسبه شد. شکل ۱۶ عملکرد واقعی، خلا عملکرد و پتانسیل عملکرد (جمع دو عملکرد قبلی) را برای گیاهان و گروه‌های گیاهی مهّم کشور نشان می‌دهد. در این شکل خلا عملکرد به رنگ قرمز در واقع پتانسیل استفاده نشده از زمین را مشخص می‌سازد. در شرایط آبی، خلا عملکرد نسبی برای برنج (۴۴ درصد)، گیاهان قندی (۴۸ درصد) و ذرت سیلویی (۴۵ درصد) کمتر و برای سبزی-صیفی(۵۶ درصد)، گندم (۶۲ درصد)، دانه‌های روغنی (۵۸ درصد)، میوه‌ها (۶۹ درصد) و بقولات علوفه‌ای (۶۸ درصد) بالاتر است. در شرایط دیم، در مجموع خلا عملکرد و خلا عملکرد نسبی بزرگتر هستند. در شرایط دیم، خلا عملکرد نسبی برای گندم، دانه‌های روغنی، جو و میوه‌ها ۶۰ درصد، حبوبات ۶۶ درصد و برای بقولات علوفه‌ای ۴۶ درصد می‌باشد. شایان ذکر است که عمده بقولات علوفه‌ای دیم (عمدتا شبدر) در استان‌های مرطوب شمالی کشت می‌شوند در حالی که این استان‌ها در کشت آبی این گیاهان حایز اهمیت نیستند. بنابراین، مقایسه خلا عملکرد نسبی برای بقولات علوفه‌ای در شرایط دیم و آبی قابل اتکا نیست. در مجموع شرایط دیم و آبی و برای همه گیاهان مورد کشت در کشور، خلا عملکرد نسبی ۶۰ درصد برآورد گردید، بدین معنی که عملکردهای فعلی تنها ۴۰ درصد پتانسیل عملکردها می-باشند.

باید خاطر نشان ساخت که در شرایط کشت آبی بزرگی خلا عملکرد لزوما به معنی وجود پتانسیل بزرگ برای افزایش تولید نیست چون برای رفع خلا، یک منبع لازم، آب می‌باشد که در بسیاری مناطق موجود نیست. برای توضیح این مطلب به شکل ۱۷ توجه شود. در این شکل، تولید گیاهی کنونی استان‌ها در شرایط آبی با تولید گیاهی در صورتی که خلا نسبی از ۶۰ درصد کنونی به ۲۵ درصد کاهش یافته باشد برای دو حالت عدم محدودیت منابع آب و نیز استفاده از منابع آب در حد آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی (که توسط وزرات نیرو اعلام شده است)، مقایسه شده‌اند. در این شکل همچنین فرض شده است که با کاهش خلا از ۶۰ به ۲۵ درصد، راندمان آبیاری نیز از مقدار کنونی ۳۸ درصد به ۵۵ درصد افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشخص است، محدودیت منابع آب اجازه نخواهد داد که از همه پتانسیل استفاده نشده عملکرد و تولید بتوان بهره‌برداری کرد. بر اساس شکل ۱۷، تولید گیاهی کنونی

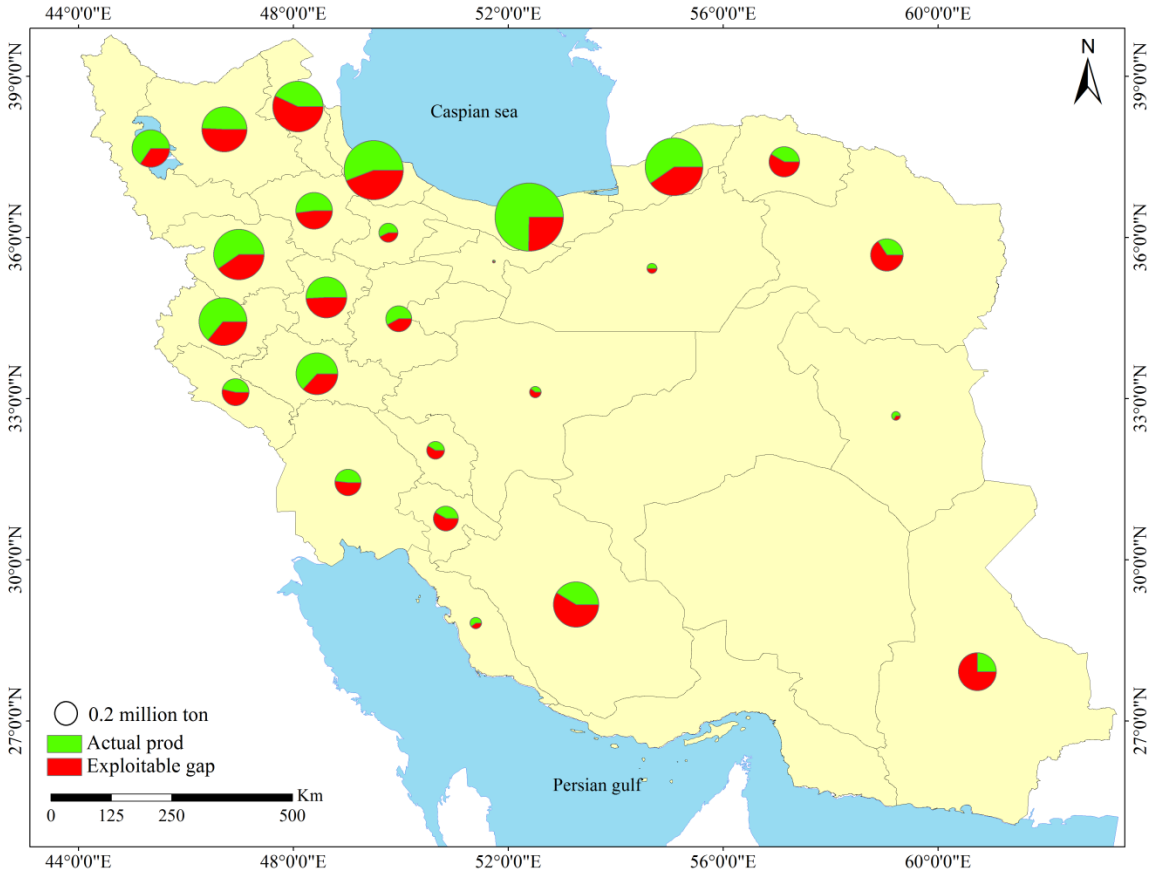
کشور در شرایط آبی از ۸۹ میلیون تن در سال با رفع خلا و عدم محدودیت آب به ۱۵۹ میلیون تن در سال قابل افزایش است ولی محدودیت آب (علی‌رغم فرض افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ به ۵۵ درصد)، این افزایش را به ۱۱۵ میلیون تن محدود می‌سازد.



شکل ۱۶ – عملکرد واقعی و خلا عملکرد گیاهان و گروه‌های مهم گیاهی در شرایط آبی (بالا) و دیم (پایین) برآورد شده در این مطالعه. پتانسیل عملکرد در شکل عبارت از جمع این دو عملکرد یعنی طول میله‌ها است.



شکل ۱۷ – تولید گیاهی فعلی (رنگ قرمز) در مقایسه با تولید گیاهی قابل دستیابی در استان‌های کشور. تولید قابل دستیابی با استفاده از خلا عملکرد نسبی ۲۵ درصد (مقدار کنونی ۶۰ درصد است) با فرض این که محدودیت منابع آب نباشد (رنگ سبز) و نیز با فرض این‌که منابع آب کشاورزی کشور به ۶۲ میلیارد متر مکعب سال (مقدار قابل برنامه‌ریزی اعلام شده توسط وزارت نیرو) محدود گردد (رنگ نارنجی) با سیستم SEA محاسبه شده است. همچنین فرض شده‌است با رفع خلا به ۲۵ درصد، راندمان آبیاری نیز از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد افزایش می‌یابد.



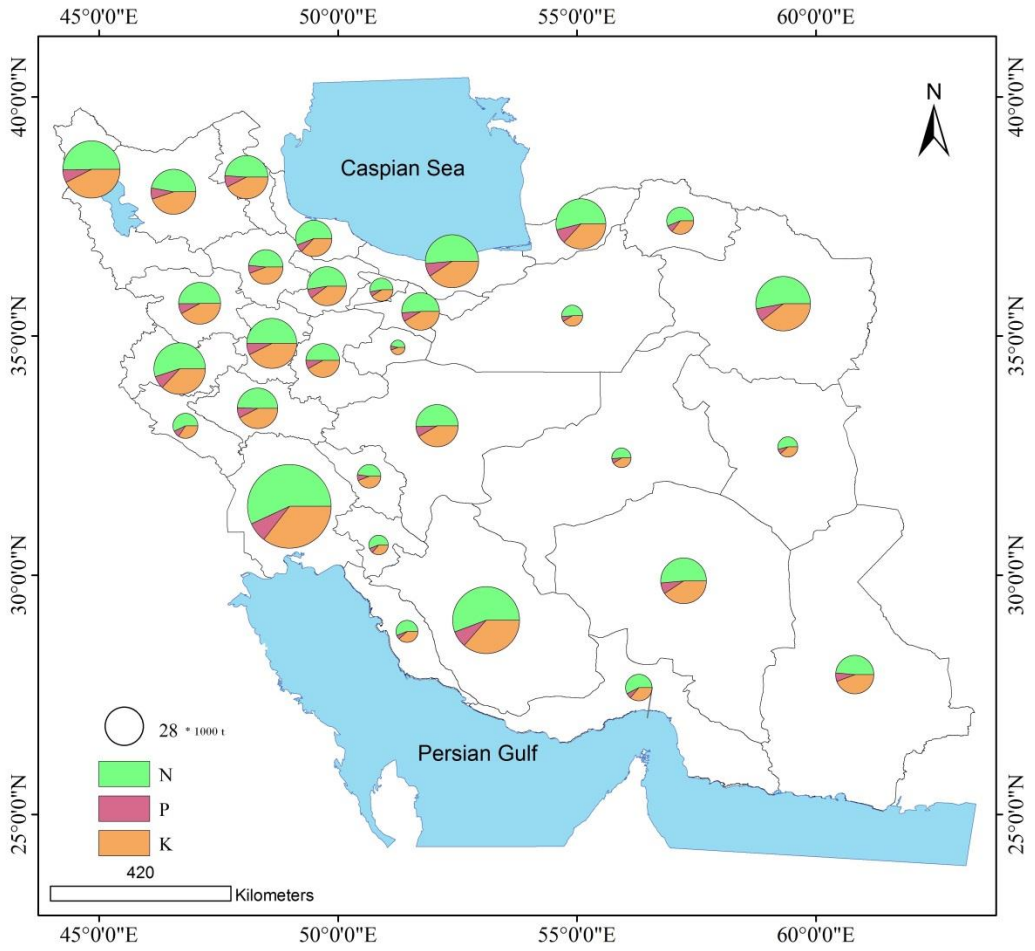
شکل ۱۸ – تولید گیاهی کنونی (رنگ سبز) در شرایط دیم استان‌های کشور و تولید گیاهی قابل دستیابی (رنگ قرمز) با رفع خلا از ۶۰ درصد کنونی به ۲۵ درصد. دایره‌ها کل تولید قابل دستیابی را نشان می‌دهند.

در شرایط دیم، رفع خلا نیازمند آبیاری نیست و امکان بهره‌برداری کامل از خلا عملکرد قابل مدیریت وجود دارد. شکل ۱۸ تولید گیاهی استان‌های مختلف در شرایط دیم را با تولید قابل دستیابی در شرایطی که خلا عملکرد به ۲۵ درصد کاهش یافته باشد، نشان می‌دهد. بر اساس این شکل تولید گیاهی در شرایط دیم با رفع خلا قابل دستیابی از ۷/۷ میلیون تن کنونی به ۱۴/۲ میلیون تن افزایش پیدا می‌کند که به معنی حدود دو برابر شدن تولید است.

۳-۱-۵- استفاده از کودها

نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهمترین عناصری هستند که به صورت کودی و در مقادیر بالا برای تولید گیاهی مورد نیاز می‌باشند. در فاصله ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، سالانه به طور متوسط ۶۱۵ هزار تن نیتروژن، ۶۸ هزار تن فسفر و ۴۷ هزار تن پتاسیم به صورت کود شیمیایی در کشاورزی کشور مصرف شده است. همچنین در همین دوره، سالانه ۱۱ هزار تن نیتروژن، ۳ هزار تن فسفر و ۸ هزار تن پتاسیم در قالب کودهای دامی در کشاورزی کشور مصرف شده‌است (FAO، ۲۰۱۹).

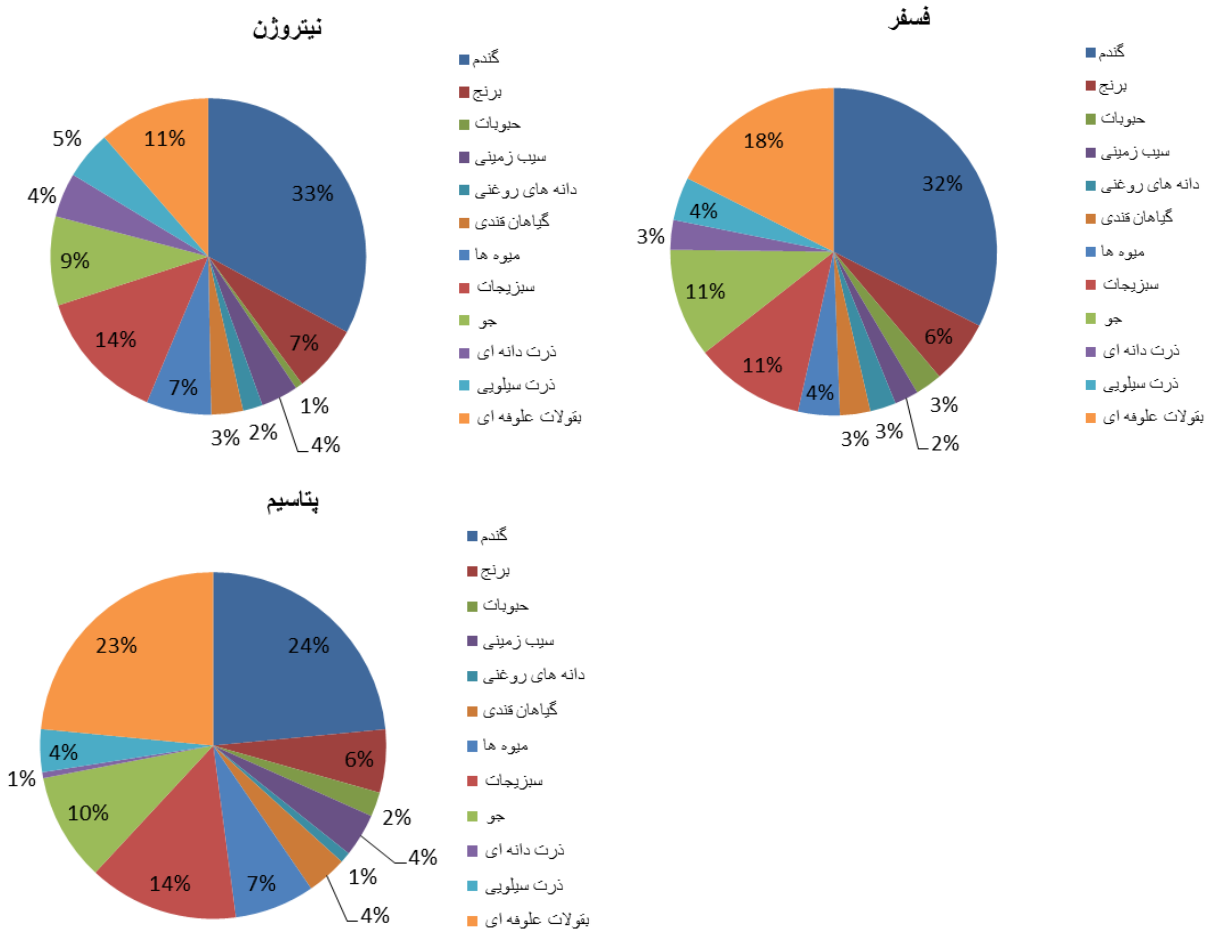
ماژول NPK در سیستم SEA این امکان را می‌دهد که برای شرایط فعلی و نیز سناریوهای مختلف تولید، مقدار کودهای لازم برای مصرف با توجه به خصوصیات گیاه و عملکرد و سطح زیر کشت گیاه بررسی گردد. شکل ۱۹ نیاز کودی استان‌های مختلف با توجه به نوع گیاهان مورد کاشت، سطح زیر کشت موجود و عملکردهای فعلی را نشان می‌دهد. شکل ۲۰ نیز نحوه توزیع متناسب کودها بین گیاهان و گروه‌های گیاهی مهم در کشور را ارایه‌می‌کند. در مجموع برای عملکردها و سطح زیر کشت فعلی کشور، سالانه باید ۹۹۹ هزار تن نیتروژن، ۱۴۹ هزار تن فسفر و ۷۶۰ هزار تن پتاسیم به صورت کود مصرف گردد تا مقدار عناصر خارج شده جایگزین (جبران) شوند.



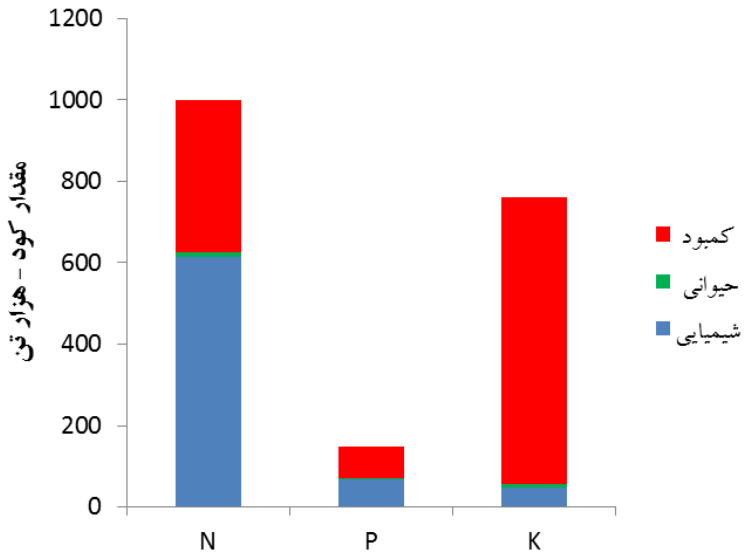
شکل ۱۹ – برآورد نیاز کودی (بر حسب هزار تن) در استان‌های مختلف کشور بر مبنای عملکردها و سطح زیر کشت فعلی گیاهان مختلف با سیستم SEA.

مقایسه مقادیر مصرف و مقادیر لازم برای مصرف نشان می‌دهد خلا کودی بزرگی در کشور وجود دارد (شکل ۲۱). برای کود نیتروژن ۳۷ درصد، فسفر ۵۲ درصد و پتاسیم ۹۳ درصد خلا کودی وجود دارد. باید توجه داشت که این خلا کودی به این معنی نیست که برای همه گیاهان کمتر از حد لازم کود به‌کار می‌رود، بلکه شواهد نشان می‌دهد ممکن است برای برخی گیاهان و مناطق

مصرف در حد نیاز، برای برخی بیش از حد نیاز (گیاهان پرسود) و برای بقیه کمتر از حد نیاز باشد (پیوست ۱۰). بنابراین، غیریکنواختی نیز در کمبود کاربرد کود وجود دارد که وضعیت را بدتر می‌سازد. خلا کودی موجب می‌شود ذخایر ماده آلی خاک که منبع نیتروژن و فسفر هستند و نیز پتاسیم معدنی خاک تخلیه گردند. متخصصان علوم خاک و اکولوژی پایین بودن و کاهش ماده آلی خاک های کشور را در حد فاجعه توصیف می کنند (پروفسور م.ج. ملکوتی، مکاتبات شخصی).



شکل ۲۰ – برآورد نحوه توزیع متناسب کودی بین گیاهان و گروه های مهم گیاهی در کشور با استفاده از سیستم SEA. سالانه باید ۹۹۹ هزار تن نیتروژن، ۱۴۹ هزار تن فسفر و ۷۶۰ هزار تن پتاسیم با درصدهای برآورد شده مصرف گردد.



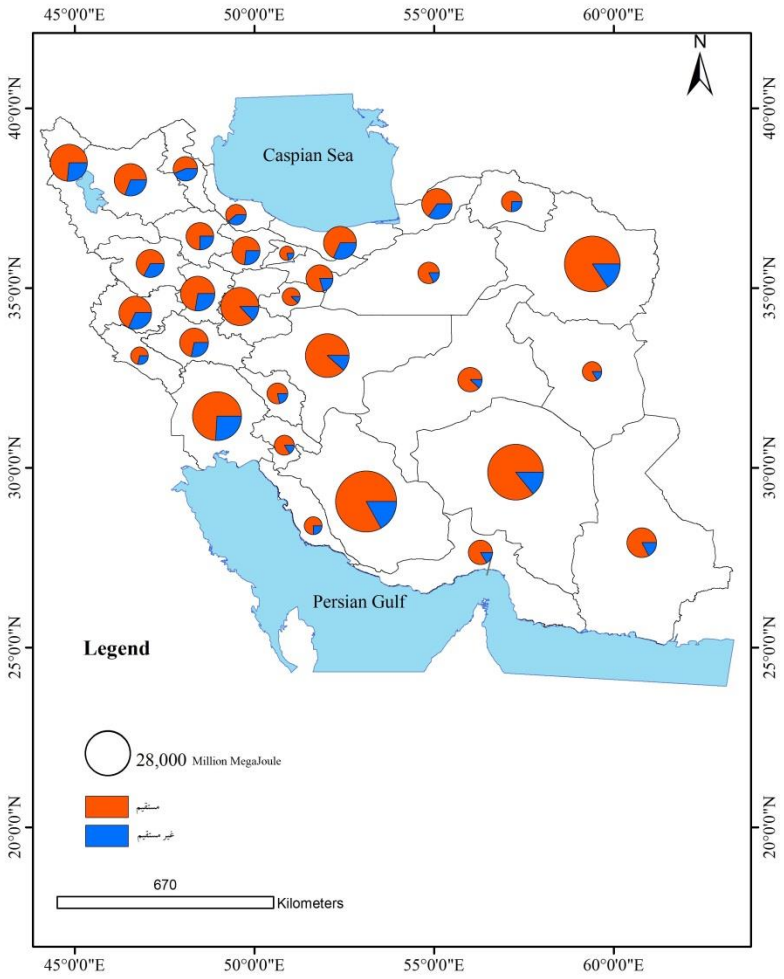
شکل ۲۱ – مقادیر کودهای نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) شیمیایی و حیوانی که سالانه در کشاورزی کشور به مصرف می‌رسند در مقایسه با مقدار کمبود مصرف در کشور.

پرداختن به سه عنصر اصلی کودی در این جا به این معنی نیست که برای سایر عناصر شرایط مساعد وجود دارد، بلکه به این علت است که این سه عنصر در مقادیر بالا به مصرف می‌رسند و نقش پررنگی در مدیریت و اقتصاد کشاورزی دارند. لازم است به کمبودها و خلاهای مرتبط به سایر عناصر نیز در جای خود پرداخته شود.

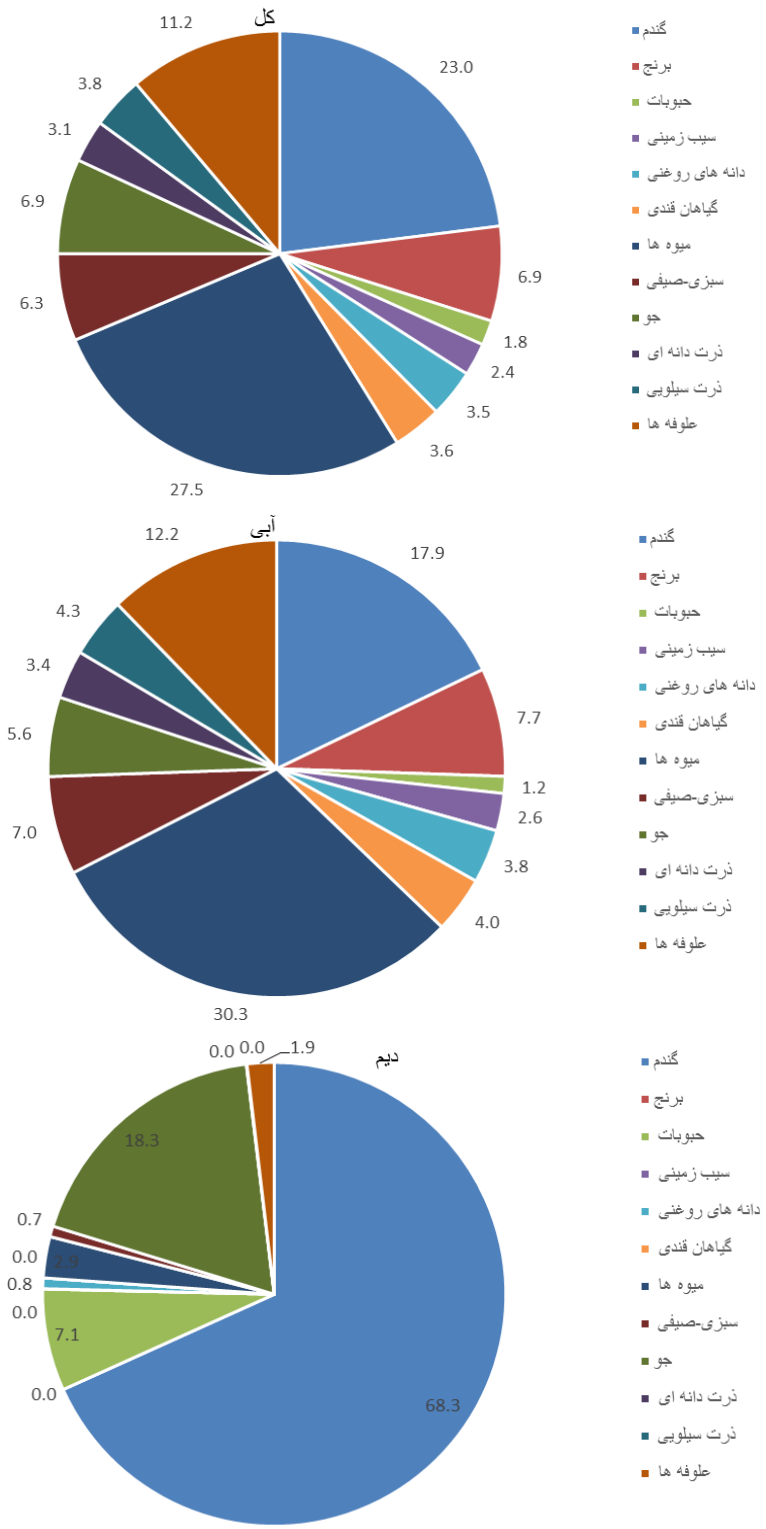
۳-۱-۶- استفاده از انرژی

به برآورد این مطالعه سالانه برای تولیدات گیاهی در مزارع، باغات و گلخانه‌ها ۴۴۲ میلیون گیگاژول انرژی مصرف می‌شود. این انرژی شامل انرژی مستقیم (مثل سوخت و الکتریسیته در مزرعه) و غیر مستقیم (مثل انرژی در نهادها) در تولید گیاهی می‌باشد. محاسبات انرژی مصرفی در تولید گیاهی در ماژول EnEn در سیستم SEA صورت می‌گیرد. نحوه توزیع مصرف انرژی در استان‌ها در شکل ۲۲ و نحوه توزیع بین گیاهان و گروه‌های گیاهی در شکل ۲۳ نشان داده شده است. از نظر ارتباط مصرف انرژی و شرایط تولید، نتایج این بررسی نشان داد که ۸۹ درصد از کل انرژی برای تولید محصولات آبی و ۱۱ درصد برای تولید محصولات دیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شرایط کشت آبی توزیع مصرف انرژی به‌صورت ۶۱ درصد برای گیاهان زراعی، ۳۳ درصد برای گیاهان باغبانی درختی و ۶ درصد برای صیفی و سبزی است. در شرایط دیم، توزیع به‌صورت ۹۶ درصد برای گیاهان زراعی، ۳ درصد برای باغبانی درختی و ۱ درصد برای سبزی-صیفی می‌باشد. در مجموع شرایط دیم و آبی، بالاترین سهم مصرف انرژی در تولید گیاهی به‌ترتیب به میوه‌جات درختی با ۲۸ درصد، گندم با ۲۳ درصد و گیاهان علوفه‌ای با ۱۸ درصد تعلّق دارد (شکل ۲۳). در برنامه‌های آتی برای بهبود تولیدات گیاهی (کشاورزی) مصرف انرژی و بهره‌وری آن یکی از شاخص‌های مهم به شمار می‌آید و داشتن اطلاعات کمّی در این ارتباط و نحوه تاثیر گزینه‌های مختلف بر آن ضروری است. مقادیر سوخت، الکتریسیته و انرژی مصرفی برای تولید هر واحد (بر حسب تن وزن

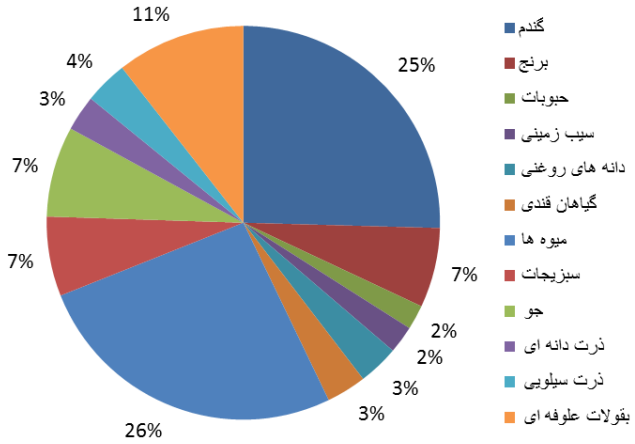
تازه) محصولات کشاورزی در جدول ۶ درج شده‌است. برای تولید هر واحد محصولات دامی در مقایسه با محصولات گیاهی مقادیر بزرگتری سوخت، الکتریسیته و انرژی به‌مصرف می‌رسد.



شکل ۲۲ – برآورد مصرف انرژی (میلیون مگاژول) به شکل مستقیم و غیر مستقیم در تولید گیاهی در مزارع، باغات و گلخانه در استان‌های مختلف کشور با سیستم SEA.



شکل ۲۳ – توزیع مصرف انرژی بین گیاهان و گروه‌های مختلف گیاهی در کشور که با سیستم SEA برآورد شده‌است.



شکل ۲۴ – توزیع انتشار گازهای گلخانه‌ای بین گیاهان و گروه‌های مختلف گیاهی در کشور که با سیستم SEA برآورد شده‌است. برآورد سالانه انتشار گازهای گلخانه به اتمسفر در تولید گیاهی ۳۲۴۹۰ میلیون کیلوگرم معادل CO_2 است.

جدول ۶ – ردپای استفاده از سوخت (لیتر بر تن)، الکتریسیته (کیلو وات ساعت بر تن) و انرژی (گیگاژول بر تن) در تولید محصولات کشاورزی در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی در کشور به همراه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای تولید هر تن (کیلوگرم معادل CO2 بر تن) از این محصولات که با سیستم SEA محاسبه‌شده‌است. شایان ذکر است که برای محصولات دامی شاخص‌ها فقط بر اساس تولیدات گیاهی لازم برای تولید این محصولات محاسبه شده‌اند و مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه در مرحله تولید آن‌ها در مراکز تولید، لحاظ نشده‌است.

	سوخت	الکتریسیته	انرژی	انتشار
گندم	۹۹	۲۳۰	۹/۵۵	۷۷۶
برنج	۸۴	۵۳۴	۱۲/۱۵	۸۵۰
حبوبات	۱۷۵	۴۴۵	۱۵/۱۵	۱۲۴۱
سیب‌زمینی	۱۲	۸۹	۲/۱۸	۱۵۳
دانه‌های روغنی	۱۵۶	۱۱۰۹	۲۳/۱۶	۱۶۲۵
گیاهان قندی	۷	۶۳	۱/۲۸	۸۶
میوه‌ها	۳۸	۳۵۵	۶/۶۳	۴۶۳
سبزی–صیفی	۸	۵۴	۱/۲۶	۹۵
جو	۹۸	۲۷۹	۱۰/۰۶	۷۹۶
ذرت دانه‌ای	۵۷	۴۰۵	۹/۵۵	۶۶۷
ذرت سیلویی	۱۰	۷۵	۱/۶۷	۱۱۴
علوفه (بقولات)	۲۷	۲۱۵	۴/۲۶	۲۹۶
گوشت قرمز	۶۷۸	۴۱۹۴	۹۶/۶۸	۶۹۳۱
گوشت مرغ	۱۸۱	۱۲۷۴	۲۸/۴۲	۱۹۹۲
تخم مرغ	۱۵۵	۱۰۸۷	۲۴/۴۵	۱۷۱۶
شیر	۷۳	۴۰۸	۹/۸۴	۷۱۵

۳-۱-۷- انتشار گازهای گلخانه‌ای

امروزه تغییر اقلیم یکی از چالش‌های اصلی پیش‌روی بشریت محسوب می‌شود و به نسبت سایر چالش‌ها توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌است اگرچه اقدامات انجام شده در سطح جهان کافی به‌نظر نمی‌رسد. ماژول EnEn در سیستم SEA همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را محاسبه می‌کند. در تولید گیاهی در کل کشور سالانه ۳۲۴۹۰ میلیون کیلوگرم معادل CO_2 گازهای گلخانه (معادل ۴۰۶ کیلوگرم به ازای هر نفر) در تولید گیاهی به اتمسفر منتشر می‌گردد که ۸۷ درصد آن مربوط به شرایط کشت آبی و مابقی به کشت در شرایط دیم تعلّق دارد. توزیع انتشار گازهای گلخانه‌ای بین گیاهان و گروه‌های مهم گیاهی در شکل ۲۴ آورده شده است. نحوه توزیع منطبق با توزیع مصرف انرژی است که طبیعی به‌شمار می‌رود. گندم، گیاهان باغبانی درختی و گیاهان علوفه‌ای (شامل جو وذرت) بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. لازم به ذکر است که این محاسبه، شامل انتشار گاز متان از مزارع برنج غرقاب و شکمبه نشخوارکنندگان و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تنفس میکروارگانیسم‌ها و تجزیه مواد آلی در خاک مزرعه و یا انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از آتش زدن بقایای گیاهی نمی‌شود. از آن‌جایی که کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از رسالت‌های کشورها به شمار می‌رود، شناسایی سهم محصولات مختلف در انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارزیابی راه‌های تخفیف انتشار این گازها از اولویت‌ها به‌شمار می‌آید. ردپای کربن یعنی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید هر واحد از محصولات کشاورزی در کشور در جدول ۶ ارایه شده‌است.

۳-۱-۸- شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی

برخی شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی بخش کشاورزی در جدول ۷ آورده‌شده‌اند. تولید ناخالص داخلی کشور در سال ۱۳۹۶ به قیمت بازار و به قیمت پایه سال ۱۳۹۰ (بدون نفت) به ترتیب برابر با ۵۴۰/۲ و ۶۹۴/۱ هزار میلیارد تومان گزارش شده است که سهم بخش کشاورزی از کل تولید ناخالص داخلی برابر با ۹/۸ درصد است. همچنین در سال مذکور ارزش افزوده بخش کشاورزی به قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۰ به میزان ۴۵/۶ هزار میلیارد تومان برآورد گردیده که با توجه به میانگین نرخ ارز در سال ۱۳۹۶ (۳۷۶۹ تومان)، معادل ۱۲/۱ میلیارد دلار می‌باشد. میزان واردات و صادرات این بخش نیز در سال ۱۳۹۶ به ترتیب برابر با ۱۹/۵۸و ۶/۰۸ میلیون تن بوده است که حاکی از تراز تجاری منفی به میزان ۵/۳۹ – میلیارد دلار است. میزان اشتغال بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۶ برابر با ۴۱۰۹ هزار نفر می‌باشد. اما، سهم شاغلان بخش کشاورزی از کل اشتغال کشور روند نزولی را طی کرده است. لازم به ذکر است نرخ رشد اقتصادی بخش کشاورزی نیز نسبت به دوره‌های ما قبل خود روند کاهشی داشته است؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۶ مقدار این شاخص به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ برابر با یک درصد گزارش شده است. کل مبلغ تسهیلات پرداختی بانک‌ها و مؤسسات اعتباری غیر بانکی به بخش کشاورزی در سال ۱۳۹۶ معادل ۴۹۲/۹ هزار میلیارد ریال می‌باشد که در مقایسه با سال قبل ۵/۶ درصد افزایش یافته است.

جدول ۷- شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی بخش کشاورزی در کشور در سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷).

شاخص	واحد	شاخص	سهم بخش کشاورزی از کل اقتصاد	درصد
میزان تولیدات*	میلیون تن	۱۱۸/۷	سهم در رشد تولید ناخالص داخلی	۰/۲
ارزش افزوده	میلیارد دلار	۱۲/۱	سهم از تولید ناخالص داخلی کل	۹/۸
میزان صادرات	میلیون تن	۶/۰۸	از کل میزان صادرات	۵/۲۵
میزان واردات	میلیون تن	۱۹/۵۸	از کل میزان واردات	۵۰/۳۹
ارزش صادرات	میلیارد دلار	۵/۷	از کل ارزش صادرات	۱۴/۲۸
ارزش واردات	میلیارد دلار	۱۱/۰۹	از کل ارزش واردات	۲۰/۳۵
میزان اشتغال	میلیون نفر	۴	از کل اشتغال	۱۷/۵
ارزش سرمایه	میلیارد دلار	۱۳/۰۸	از کل تسهیلات پرداختی	۸

*مجموع میزان تولید در زیربخش‌های زراعی (۸۲/۲ میلیون تن)، باغبانی (۲۱ میلیون تن)، دام و طیور (۱۳/۳ میلیون تن) و شیلات وآبزی‌پروری (۱/۲ میلیون تن)
مأخذ: بانک مرکزی و FAO

۳-۱-۸- امنیت غذایی

در این قسمت وضعیت امنیت غذایی بر اساس چهار جز یا مولفه آن مرور می‌شود. مولفه اول تولید و عرضه است. برای جز اول و در نگاه اول می‌توان اظهار داشت که شرایط نسبتاً مناسب است چون بیش از ۸۰ درصد محصولات کشاورزی مورد تقاضا در داخل تولید می‌گردد. اما، اگر در نظر داشته باشیم که حجم زیادی از منابع آب مورد استفاده در کشاورزی حاصل اضافه برداشت است که پیامدهای ناگواری بر محیط زیست کشاورزی گذاشته و می‌گذارد، تصور مثبت اولیه زیر سئوال قرار می‌گیرد. اگر نظر وزارت نیرو در ارتباط با منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی را مبنا قرار دهیم، با مدیریت فعلی، تولیدات گیاهی فعلی کشور باید به جای ۱۰۹ میلیون تن در سال، ۸۱ میلیون تن در سال می‌بود و در نتیجه آن خودکفایی برای این محصولات از ۸۵ به ۶۳ درصد کاهش پیدا می‌کرد. برخی روایت‌های دیگر حاکی از این است که اضافه برداشت از منابع آب بیش از این‌هاست و در صورت لحاظ آن‌ها، ضریب خودکفایی تا کمی بیش از ۳۰ درصد تنزّل خواهد کرد (به بخش‌های بعدی مراجعه شود).

در ارتباط با جز دوم که به دسترسی و استطاعت مالی مرتبط است، بر اساس قیمت مواد غذایی در سال ۱۳۹۸ در خرده-فروشی‌ها و با در نظر گرفتن تلفات-ضایعات از خرده فروشی تا مصرف، برای خرید اقلام رژیم غذایی کنونی کشور، برای هر نفر ماهانه به ۳۲۱ هزار تومان نیاز است (پیوست ۱۴). بنابراین، برای یک خانواده دو، سه، چهار و پنج نفره، ماهانه ۶۴۱، ۹۶۲، ۱۲۸۳ و ۱۶۰۳ هزار تومان برای خرید اقلام غذایی نیاز خواهد بود. هزینه خوراکی‌ها و آشامیدنی‌ها ۲۷ درصد از هزینه‌های خانوار شهری و ۴۲ درصد هزینه خانوار روستایی را تشکیل می‌دهد. بنابراین، کل هزینه‌های یک خانواده شهری یک، دو، سه، چهار و پنج نفره برای پوشش کلیه هزینه‌ها به ترتیب ۱۱۸۹، ۲۳۷۸، ۳۵۶۷، ۴۷۵۶ و ۵۹۴۴ هزار تومان در ماه خواهد بود. برای یک خانواده روستایی این ارقام عبارتند از ۷۶۴، ۱۵۲۹، ۲۲۹۳، ۳۰۵۷ و ۳۸۲۱ هزار تومان در ماه. حداقل دستمزد در سال ۱۳۹۸ برابر ۱۵۱۷ هزار تومان در ماه بوده‌است که بر اساس محاسبات فوق فقط برای یک خانواده یک نفره شهری و روستایی کفایت خواهد کرد و برای یک خانواده دو نفره روستایی

بسیار نزدیک به کفایت است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که خانوارهایی در کشور که درآمد ماهانه آن‌ها کمتر از ارقام فوق باشد، به لحاظ جز دوم امنیت غذایی، یعنی استطاعت، دچار مشکل هستند.

بر اساس اطلاعات مرکز آمار ایران، متوسط درآمد خانوارهای شهری و روستایی کشور در سال ۱۳۹۸ (اصلاح شده از اطلاعات ۱۳۹۷) به‌ترتیب ۴۱۶۸ و ۲۲۳۴ هزار تومان بوده‌است و متوسط تعداد افراد در خانوار به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۶ نفر گزارش شده است. با احتساب این‌که ۲۷ درصد درآمد خانوار شهری و ۴۲ درصد درآمد خانوار روستایی صرف غذا شود، متوسط سرانه صرف شده برای غذا در کشور در خانوار شهری ۳۳۱ هزار تومان و برای خانوار روستایی ۲۶۱ هزار تومان به‌دست می‌آید. این متوسط برای خانوار شهری در استان‌های مختلف بین ۲۰۱ تا ۴۸۷ هزار تومان و برای خانوار روستایی بین ۱۰۰ تا ۴۱۶ هزار تومان متغیر بوده‌است (مرکز آمار ایران). این متوسط برای خانوارهای شهری در ۲۵ استان از ۳۱ استان کشور و برای خانوارهای روستایی در ۲۸ استان از ۳۱ استان کشور کمتر از رقم ۳۲۱ هزار تومان می‌باشد به این معنی که وضعیت نامناسبی از نظر این مولفه امنیت غذایی حاکم است. البته این امکان وجود دارد که در شرایط سخت اقتصادی، خانوارها به خرید مصارف خورکی اهمیت بیشتری بدهند و از سایر هزینه‌ها بکاهند. تعیین دقیق وضعیت این مولفه امنیت غذایی نیازمند مطالعات جداگانه در استان‌های مختلف کشور است.

از نظر جز سوم و بر اساس رژیم غذایی فعلی ایرانیان، می‌توان اظهار داشت که به لحاظ کیفیت این رژیم منطبق بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای ترکیب و محدودیت‌های مواد غذایی اصلی می‌باشد و فقط مصرف قند و شکر معادل ۱۰ درصد انرژی کل است که باید کمتر از ۱۰ درصد باشد. با تداوم و یا تشدید تحریم‌ها احتمال دارد مصرف قند و شکر که ماده خوراکی ارزان قیمتی است، افزایش پیدا کند زیرا کاهش درآمد خانوارها بر کیفیت مواد غذایی مورد مصرف نیز موثر است. همچنین باید توجه داشت که چون توزیع مصرف در کشور یکنواخت نمی‌باشد، هنوز در بخش قابل توجهی از جامعه مشکلاتی به لحاظ کیفیت غذا وجود دارد.

جز چهارم امنیت غذایی پایداری است. همان طور که اشاره شد، بهره‌برداری از منابع آب و زمین در کشور از مرزهای ایمن برای پایداری عبور کرده است و بنابراین، این جز امنیت غذایی نیاز به توجه زیادی دارد. در گوشه وکنار کشور می‌توان اثرات این بهره‌کشی از منابع پایه را مشاهده نمود، از جمله خشک شدن یا کم آبی شدید رودخانه‌ها و تالاب‌ها، بحران ریزگرده‌ها، پایین افتادن سطح ایستابی در بسیاری از دشت‌های کشور، فرونشست زمین در این دشت‌ها، فرسایش خاک، کاهش ماده آلی خاک و نظیر این‌ها که پیشتر اشاره شد. تولید محصولات کشاورزی در حد فعلی و یا حتی افزایش آن می‌تواند با بهره‌کشی فعلی از منابع آب و زمین تداوم یابد ولی قطعا طول دوره تداوم بی‌نهایت نخواهد بود و با تخلیه ظرفیت‌های بافری منابع آب و زمین (خاک)، متوقف شده و احتمال می‌رود کاهش هم پیدا کند، ولی تعیین زمان وقوع چنین اتفاقی، ساده نیست و مطالعات خاص خود را نیاز دارد.

باید توجه داشت که در کنار تداوم تولیدات کشاورزی به صورت فعلی یا افزایش آن، تخریب منابع با ارزش زیست محیطی و طبیعی کشور هم جریان خواهد داشت. مناسب است قبل از آن که این تغییرات و تخریب‌ها به مرحله غیر قابل بازگشت برسند، اقدامات پیش‌گیرانه و جبرانی، صورت گیرد. ایران دارای جاذبه‌های طبیعی ارزشمندی در حوزه‌های مختلف زیست محیطی از جمله تالاب‌ها، چشمه‌ها و رودخانه‌ها است و سبب شده این کشور جزء پنج کشور مهم دارای تنوع زیستی بالا قرار گیرد. هم‌چنین در سال ۲۰۰۰ میلادی، یونسکو ایران را در مقام هفتم ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره شناسایی کرده است. وجود ۲۸۰ منطقه حفاظت شده در کشور بسترهای گردشگری پایدار هستند. گردشگری طبیعی می‌تواند منبع میلیون‌ها دلار درآمد به کشور باشد و برای بسیاری از مردم محلی اشتغال ایجاد می‌کنند. چنانچه درآمدهای حاصل از اکوتوریسم به‌درستی مورد استفاده قرار گیرند، زمینه لازم برای حفظ محیط‌زیست طبیعی و بسط مناطق حفاظت شده فراهم می‌آید و تحقق هدف‌های توسعه پایدار تسهیل می‌شود.

۳-۲- چشم انداز آینده

در این بخش به مهم‌ترین چالش‌های مرتبط با همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست که پیش‌روی کشاورزی و تولید و مصرف غذا قرار دارد، پرداخته‌می‌شود و نشان داده خواهد شد چگونه می‌توان با گزینه‌های مختلف وضعیت بهتری را برای کشاورزی و امنیت غذایی رقم زد.

۳-۲-۱- چالش کم آبی

مقدار آب قابل برنامه‌ریزی برای مصارف کشاورزی در کشور توسط وزرات نیرو که مرجع رسمی تخصیص منابع آب است، برآورد و اعلام شده است. کل آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی ۶۱۷۲۰ میلیون متر مکعب در سال (معادل ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال) است. در مقیاس استانی، مقدار آب قابل برنامه ریزی برای کشاورزی در استان‌ها بین ۲۸۷ تا ۸۹۳۰ میلیون متر مکعب متغیر است (جدول ۵). در همه استان‌ها اضافه برداشت از منابع آب وجود دارد (شکل ۵) که بین ۱۷ تا ۲۷۹۷ میلیون متر مکعب دامنه دارد (۲ تا ۵۳ درصد اختصاص فعلی) و جمع اضافه برداشت ها ۲۴ میلیارد متر مکعب در سال (۲۸ درصد اختصاص فعلی) می باشد. در استان‌های لرستان، زنجان، قم، همدان، سیستان و بلوچستان، قزوین، مرکزی، آذربایجان شرقی، کرمان، و سمنان، اضافه برداشت بیش از ۳۵ درصد است و تا ۵۳ درصد دامنه دارد. در استان‌های هرمزگان، خراسان شمالی، البرز، کردستان، خراسان رضوی، تهران و فارس بین ۲۵ تا ۳۵ است و در سایر استان‌ها کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد.

در منابع قابل دسترس، میزان آب تجدیدپذیر برای محاسبه آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی، یافت نشد. اما، به‌نظر می‌رسد از رقم ۱۳۷ میلیارد متر مکعب در سال استفاده شده باشد و ۶۵ درصد آن قابل بهره‌برداری لحاظ شده و ۷۰ درصد آب قابل‌بهره‌برداری به کشاورزی اختصاص داده‌شده‌باشد (۱۳۷×۰/۶۵×۰/۷ = ۶۲)[۴۵]. با فرض صحت منطق فوق، یکی از انتقادات به محاسبه آب قابل برنامه‌ریزی، بالا بودن درصد آب قابل بهره برداری (یعنی ۶۵ درصد) است. در ایران ۷۵ درصد بارندگی‌ها در ۲۵ درصد مساحت کشور حادث می شود و نیز ۷۵ درصد بارندگی‌ها خارج از فصل رشد گیاهان هستند (مدنی، ۲۰۱۴). در منابع متعدد و معتبر (مثل اسماختین و همکاران، ۲۰۰۴؛ فدر و همکاران، ۲۰۱۳)، درصد آب قابل‌بهره‌برداری ۴۰ درصد آب تجدید پذیر پیشنهاد شده است. دلیل این است که باید بخشی از آب تجدیدپذیر برای کارکرد طبیعی اکوسیستم‌ها و حفظ جریان‌های محیطی کنار گذاشته شود و نیز بخشی از آب تجدیدپذیر به دلیل عدم تطبیق نیاز به آب و فرآهمی آب در بعد زمانی و مکانی، قابل استحصال نیست. برای مثال، بخش قابل‌توجهی از بارندگی زمستانه در شمال کشور ممکن است قابل استفاده نباشد. بنابراین، چنان‌چه آب تجدیدپذیر را ۱۳۷/۵ میلیاردمتر

[۴۵] یکی از مسئولین دفتر برنامه ریزی کلان آب و آبفا (آقای دکتر هدایت فهمی) در مصاحبه تلویزیونی با بخش گفتگوی خبری ساعت ۲۲:۳۰ شبکه ۲ اظهار داشتند کل آب قابل بهره برداری کشور ۸۹ میلیارد متر مکعب در سال است که با تقسیم رقم ذکر شده توسط ایشان (یعنی ۸۹) به ۰.۶۵ به عدد ۱۳۷ خواهیم رسید که معادل برآورد آب تجدیدپذیر توسط اردکانیان (۲۰۰۵) و فائو (۲۰۰۸) است. ایشان همچنین اظهار داشتند که سهم کشاورزی از آب قابل بهره‌برداری (۸۹ میلیارد متر مکعب) باید ۷۰ درصد باشد ولی ۹۲ درصد می باشد. با ضرب عدد ۸۹ در ۰.۷ (۷۰ درصد) عدد ۶۲ به دست می آید که مقدار آب قابل‌برنامه ریزی برای کشاورزی ابلاغ شده توسط وزارت نیرو است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که احتمالا حجم آب تجدید پذیر در محاسبه آب قابل برنامه‌ریزی، ۱۳۷ میلیارد متر مکعب بوده است که ۶۵ درصد آن قابل بهره برداری در نظر گرفته شده است.

مکعب در سال در نظر بگیریم و ۴۰ درصد آن را قابل‌بهره‌برداری فرض کنیم، حجم آب قابل بهره‌برداری ۵۵ میلیاردمترمکعب در سال خواهد بود. با فرض اختصاص ۷۰ درصد آب قابل بهره‌برداری به کشاورزی، حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی در کشور ۳۸/۵ میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود که ۳۸ درصد کمتر از حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی ابلاغی وزارت نیرو می باشد. همچنین در این حالت ۱۶/۵ میلیارد متر مکعب آب برای مصارف غیر کشاورزی باقی می‌ماند که برای شرایط فعلی و آینده با لحاظ افزایش جمعیت و توسعه صنعتی و سایر نیازها تا ۲۰۵۰ کافی به‌نظر می‌رسد (مراجعه شود به پیوست ۸).

ایراد دوم این است که برآورد آب قابل برنامه ریزی توسط وزارت نیرو عمدتا متکی بر داده تا سال ۱۳۸۵ می باشد. ناصری و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که میزان آب تجدیدپذیر کشور براساس آمار ۵۰ ساله (۱۳۴۳ تا ۱۳۹۳)، ۱۲۸ و براساس آمار ۷ ساله آخر این دوره (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۳)، ۱۰۶ میلیارد مترمکعب در سال است که حاکی از ۱۷ درصد کاهش می باشد. حال چنان چه فرض کنیم این تغییرات در بارندگی و آب تجدیدپذیر دایمی بوده و با نرمال های جدیدی سروکار داریم و چنان‌چه ۵۲ درصد آب تجدیدپذیر را قابل بهره برداری دانسته و ۷۰ درصد آن را به کشاورزی اختصاص دهیم، حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای کشاورزی ۳۸/۵ میلیارد متر مکعب در سال برآورد می‌شود[۴۶]. اما، اگر کسر قابل بهره داری را ۶۵ درصد لحاظ کنیم، حجم آب تجدیدپذیر معادل ۶۸/۹ و حجم آب قابل‌برنامه‌ریزی ۴۸/۲ میلیارد متر مکعب در سال خواهد بود.

با توجه به توضیحات فوق، چهار سناریوی زیر را می توان برای آب آبی قابل بهره برداری در کشاورزی در نظر گرفت[۴۷] (شکل ۲۵):

- سناریوی ۱ یا فعلی: برداشت ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال
- سناریوی ۲ یا قابل‌برنامه‌ریزی وزارت نیرو: معادل ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال
- سناریوی ۳ یا انتقالی: آب قابل برداشت معادل ۴۸ میلیارد متر مکعب در سال
- سناریوی ۴ یا پایدار: برداشت معادل ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال

شکل ۲۵ – مقدار برداشت آب برای مصارف کشاورزی بر اساس شرایط موجود (سناریو ۱) و سناریوهای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی.

[46] ظاهرا در شورای عالی آب به این نتیجه رسیده اند که ۵۵ درصد آب تجدیدپذیر به عنوان قابل بهره‌برداری لحاظ گردد

[47] برآورد حجم آب برای هر سناریو در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ تغییر می‌یابد که در شکل ۲۹ نشان داده‌شده‌است

بدیهی است که سناریوی ۱ یعنی وضع فعلی قابل تداوم و پایدار نیست و باعث می‌شود خسارات زیست محیطی وارده (جدول ۸) به مرحله غیرقابل برگشت برسند یا برای جبران خسارات در آینده هزینه بالاتری مورد نیاز است. راه‌اندازی ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها نمونه‌هایی هستند که ممکن است برای جبران خسارات برداشت بیش از حد آب، در آینده هزینه بالاتری لازم باشد و محیط زیست که پشتیبان نظام تولید است و می‌تواند منبع درآمد جایگزین برای کشاورزان باشد (مثل بوم‌گردی) از بین رفته باشد. نکته دیگر این که این مقدار برداشت اضافی فعلی آب حتی اگر اقدام به کاهش آن نگردد، پس از اتمام ذخایر بافری (مثل تخلیه سفره-های آبی)، ممکن است به‌صورت خود به خودی رخ دهد و این در حالی است که احتمالا اثرات زیانبار آن از مرزهای قابل‌برگشت عبور کرده‌اند. از نظر این مطالعه، سناریوی ۴ حد پایدار برداشت منابع آب برای کشاورزی امنیت غذایی است و سایر سناریوها وضعیت انتقال از شرایط فعلی به شرایط کشاورزی با این مقدار آب را نشان می‌دهند.

جدول ۸. برخی نشانه های برداشت بیش از حد آب و بحران آب در کشور.

محل	نشانه بحران آب	منبع
مشهد	فرونشست دشت و زمین	متاق و همکارن (۲۰۰۷)
تهران	فرونشست دشت و زمین	دهگانی و همکاران (۲۰۱۰)
غرب ایران	وقوع ۵۲۹ طوفان گرد و غبار	مریدی (۲۰۱۷)
سراسر ایران	خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها (دریاچه ارومیه، دریاچه هامون، دریاچه بختگان، دریاچه پریشان، دریاچه کافتر، دریاچه طشک، رودخانه کارون، زاینده رود، کشف رود، سفیدرود)	مطبوعات و روزنامه‌ها
سراسر ایران	تالاب‌های خشک شده یا در حال خشک شدن (تالاب انزلی، تالاب هوراعظیم)	مطبوعات و روزنامه‌ها

یکی از نکات که برای برنامه‌ریزی آینده کشاورزی باید مد نظر قرارگیرد، میزان خسارات ناشی از کاهش منابع آب بر بخش کشاورزی است. در این ارتباط برخی نتایج حاصل از ارزیابی با سیستم SEA و خروجی‌های آن برای شرایط بدون اقدامات سازگاری ارایه می‌گردد. تاثیر بر تولیدات گیاهی، سطح زیر کشت آبی غیرقابل آبیاری (به دلیل کمبود آب)، کاهش ضریب خودکفایی، هزینه-های لازم برای واردات برای جبران کاهش تولیدات داخلی و بیکاری در بخش کشاورزی در این جا ارایه می‌گردد (جدول ۹).

با کاهش منابع آب کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال، در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی، تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی ۲۹ درصد کاهش می‌یابد و از ۹۹ میلیون تن فعلی به ۷۰ میلیون تن می‌رسد. این کاهش برای سناریوی ۳۹ میلیارد متر مکعب آب، ۵۶ درصد است که در آن تولیدات گیاهی در شرایط آبی به ۴۴ میلیون تن کاهش پیدا می‌کند. برای مجموع تولیدات گیاهی در شرایط دیم و آبی کاهش تولیدات گیاهی در سناریوی ۳۹ میلیارد متر مکعب آب، ۵۰ درصد است طوری که تولیدات گیاهی از ۱۰۹ میلیون تن فعلی به ۵۴ میلیون تن کاهش خواهد یافت. میزان کاهش تولیدات برای همه گیاهان و استان ها یکسان نیست چون کاهش آب برای همه گیاهان و استان‌ها یکسان نمی‌باشد. متناسب با کاهش تولیدات گیاهی، ارزش اقتصادی (حاصلضرب قمیت و تولید) حاصل از فروش محصولات گیاهی نیز کاهش می‌یابد و درصد کاهش مشابه کاهش تولیدات گیاهی است. پیش‌بینی می‌شود این کاهش برای سناریوی آب ۶۲، ۴۸ و ۳۹ میلیارد متر مکعب به ترتیب ۲۵، ۳۹ و ۴۹ درصد باشد.

متناسب با کاهش تولیدات گیاهی، میزان تولیدات گیاهی مازاد بر نیاز کشور (بر اساس جمعیّت و تقاضای فعلی) که قابل صادرات می‌باشد از ۱۴ میلیون تن در شرایط فعلی به ۱ میلیون تن برای سناریوی ۶۲ میلیارد متر مکعب آب، کاهش پیدا می‌کند و برای

دو سناریوی آبی دیگر، یعنی ۴۸ و ۳۹ میلیارد متر مکعب، به صفر می‌رسد. برعکس، کمبود تولیدات گیاهی از مقدار ۳۴ میلیون تن در شرایط فعلی (بر حسب وزن تر درب مزرعه) به ۴۹ میلیون تن در سناریوی ۶۲ میلیارد متر مکعب و به ۷۴ میلیون تن در سناریوی ۳۹ میلیارد متر مکعب افزایش پیدا می‌کند.

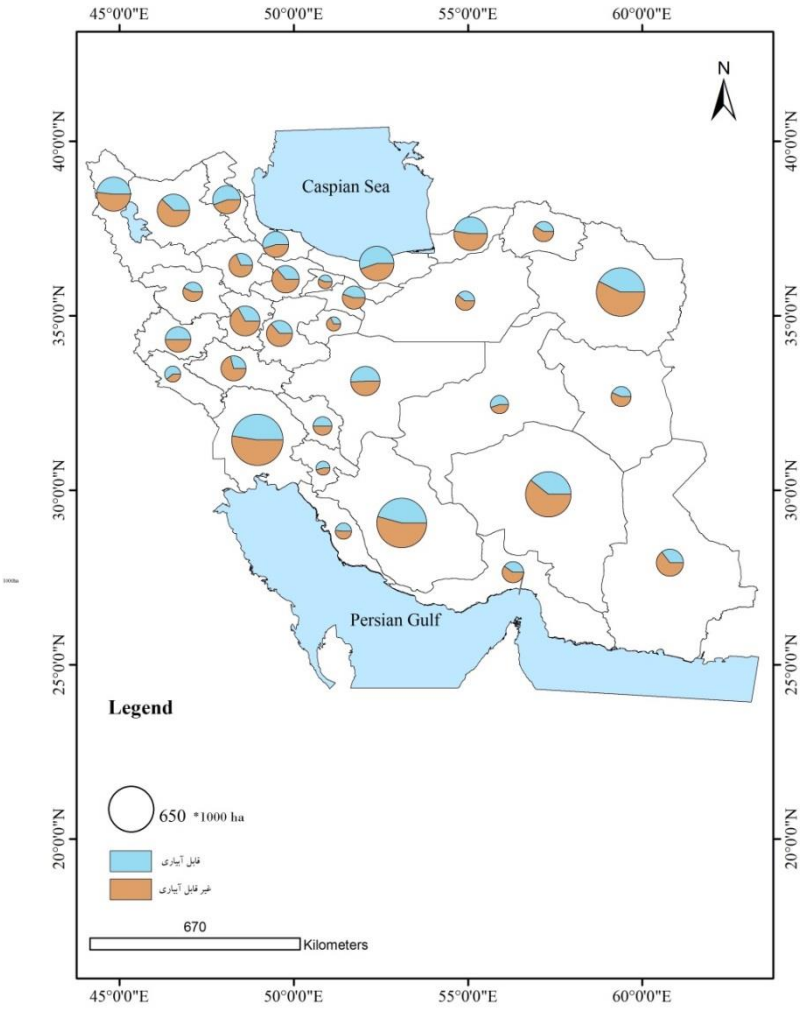
جدول ۹ – تاثیر سناریوهای آب آبی بر تولیدگیاهی، میزان کمبود تولیدات گیاهی، میزان تولیدات گیاهی مازاد بر نیاز کشور، خودکفایی در تولیدات گیاهی، سطح زیر کشت آبی غیر قابل آبیاری (به دلیل کمبود آب)، تعداد شغل از دست رفته (بر اساس الگوی کشت فعلی) و بازده اقتصادی ناخالص. وزن تولیدات گیاهی به صورت تر و قابل عرضه به بازار درب مزرعه است و بازده اقتصادی بر اساس قیمت‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ داخل کشور محاسبه شده است. محاسبات با سیستم SEA و با فرض الگوی کشت و مدیریت فعلی برای شرایط اقلیمی کنونی صورت گرفته است.

شاخص	سناریو آبی (میلیارد متر مکعب در سال)			
	۸۶	۶۲	۴۸	۳۹
تولید گیاهی در شرایط کشت آبی (میلیون تن)	۹۸/۷	۷۰/۳	۵۵/۰	۴۳/۹
کل تولیدات گیاهی (جمع آبی و دیم) (میلیون تن)	۱۰۹/۲	۸۰/۹	۶۵/۵	۵۴/۴
کمبود تولیدات گیاهی (میلیون تن)	۳۳/۸	۴۹/۰	۶۳/۲	۷۴/۳
مازاد تولیدات گیاهی (میلیون تن)	۱۴/۳	۱/۱	۰	۰
خودکفایی در تولیدات گیاهی (درصد)	۸۴/۸	۶۲/۸	۵۰/۹	۴۲/۳
سطح زیر کشت آبی غیر قابل آبیاری (هزار هکتار)	۰	۲۴۶۴	۳۷۶۴	۴۷۰۱
تعداد شغل از دست رفته (هزار نفر)	۰	۱۰۷۱	۱۶۳۶	۲۰۴۴
ارزش اقتصادی تولیدات گیاهی (هزار میلیارد ریال)*	۱۱۰۰	۸۲۶	۶۷۰	۵۵۷

*شامل محصولات جانبی مثل سبوس و کنجاله نمی‌شود

کاهش حجم منابع آب آبی برای کشاورزی، موجب کاهش خودکفایی خواهد شد. در شرایط فعلی خودکفایی برای تولیدات گیاهی ۸۵ درصد است که در سناریوی آب ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال به ۶۳ درصد و در سناریوی آب ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال به ۴۲ درصد نقصان پیدا می‌کند. همچنین به دلیل کاهش منابع آب، بخشی از زمین‌های زیر کشت آبی دیگر قابل کشت نخواهند بود. برآورد می‌شود با الگوی کشت فعلی، در اثر کاهش منابع آب از ۸۶ به ۶۲ و ۳۹ میلیارد متر مکعب، به ترتیب ۲/۴۵ و ۴/۶۹ میلیون هکتار از سطح زیر کشت آبی کاسته شود که معادل ۲۹ و ۵۶ درصد سطح زیر کشت آبی فعلی (۸/۴۱ میلیون هکتار) کشور هستند. توزیع استانی کاهش سطح زیر کشت آبی در اثر کاهش منابع آب آبی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در شکل ۲۶ نشان داده‌شده‌است. طبیعتا این کاهش سطح زیر کشت موجب کاهش اشتغال در بخش کشاورزی خواهد شد. بر اساس الگوی کشت فعلی و سطح مدیریت کنونی، تعداد شغل از دست رفته برای سناریوهای آبی ۶۲ و ۳۹ میلیارد متر مکعب، به ترتیب ۱/۰۷ و ۲/۰۴ میلیون نفر برآورد گردید (جدول ۹) که به ترتیب ۲۷ و ۵۱ درصد کل اشتغال بخش کشاورزی و ۵ و ۹ درصد کل اشتغال کشور هستند.

احتمالا کاهش سطح زیر کشت و مشاغل بخش کشاورزی مهمترین موانع بر سر راه تعادل‌بخشی برداشت آب برای کشاورزی و سازگاری به کم‌آبی می‌باشند. در قسمت‌های بعدی راه‌های افزایش تولید و درآمد در شرایط کم‌آبی و برخی راه‌های تطبیق با کاهش سطح زیر کشت و مشاغل بخش کشاورزی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

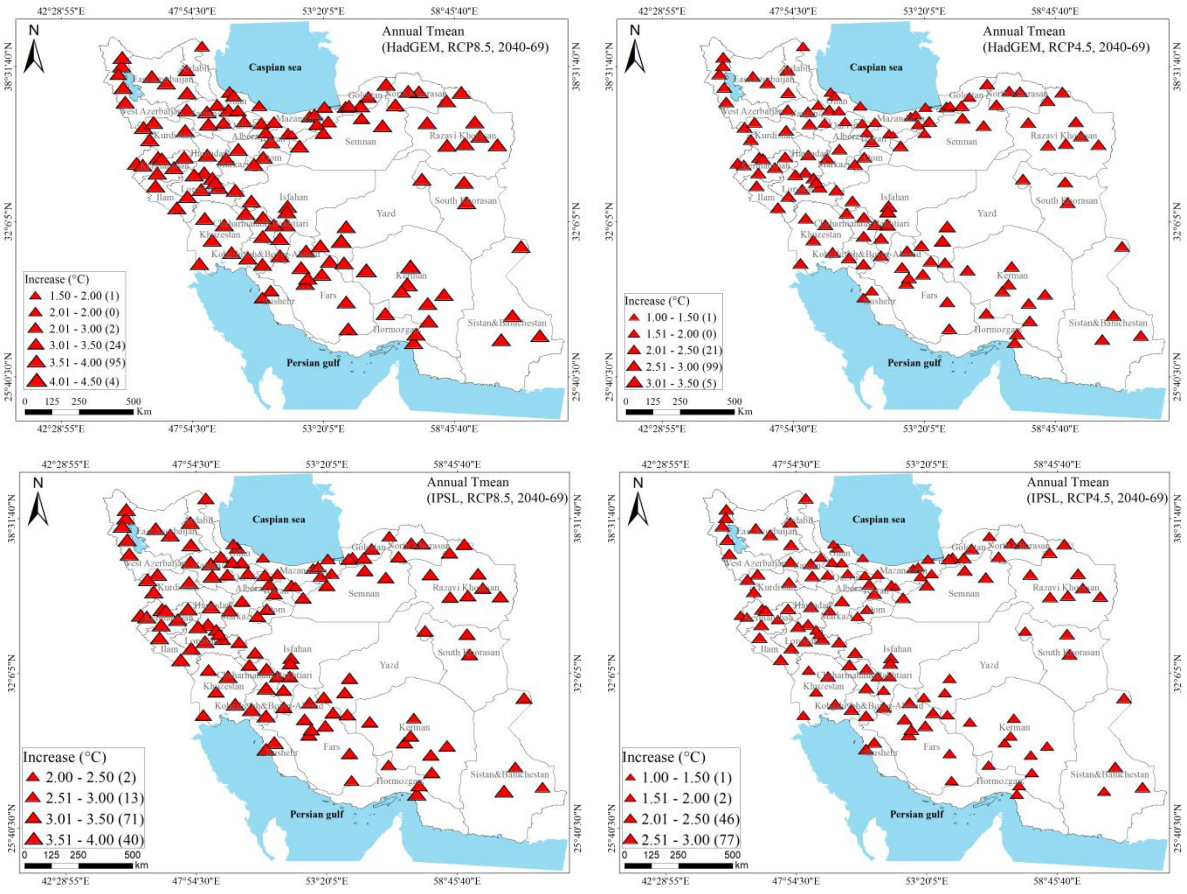


شکل ۲۶ – سطح زیرکشت فعلی (کل دایره) و سطح زیر کشت غیرقابل آبیاری برای سناریو آبی ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال بر اساس الگوی کشت فعلی.

یک نتیجه‌گیری مهم در این بخش این است که با اختصاص ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال منابع آب به کشاورزی، در شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت فعلی کشور، تولیدات آبی حدود ۷۰ میلیون تن در سال و کل تولیدات گیاهی در جمع شرایط دیم و آبی حدود ۸۰ میلیون تن در سال خواهد بود. چنان‌چه میزان اختصاص ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال را مدنظر قرار دهیم، این حدود به ۴۴ و ۵۴ میلیون تن در سال به ترتیب برای کشت آبی و جمع آبی و دیم کاهش می‌یابند. بنابراین، گزارش تولیدات گیاهی بالاتر از این حدود به معنی تداوم و یا تشدید تخریب اکوسیستم‌های طبیعی، آثار طبیعی و تنوع زیستی کشور است. یک سئوال مهم این است که چگونه و چقدر می‌توان تولیدات گیاهی با مقدار محدود آب را افزایش داد؟ به این موضوع در قسمت‌های بعدی پرداخته‌می‌شود.

۳-۲-۲- چالش تغییر اقلیم

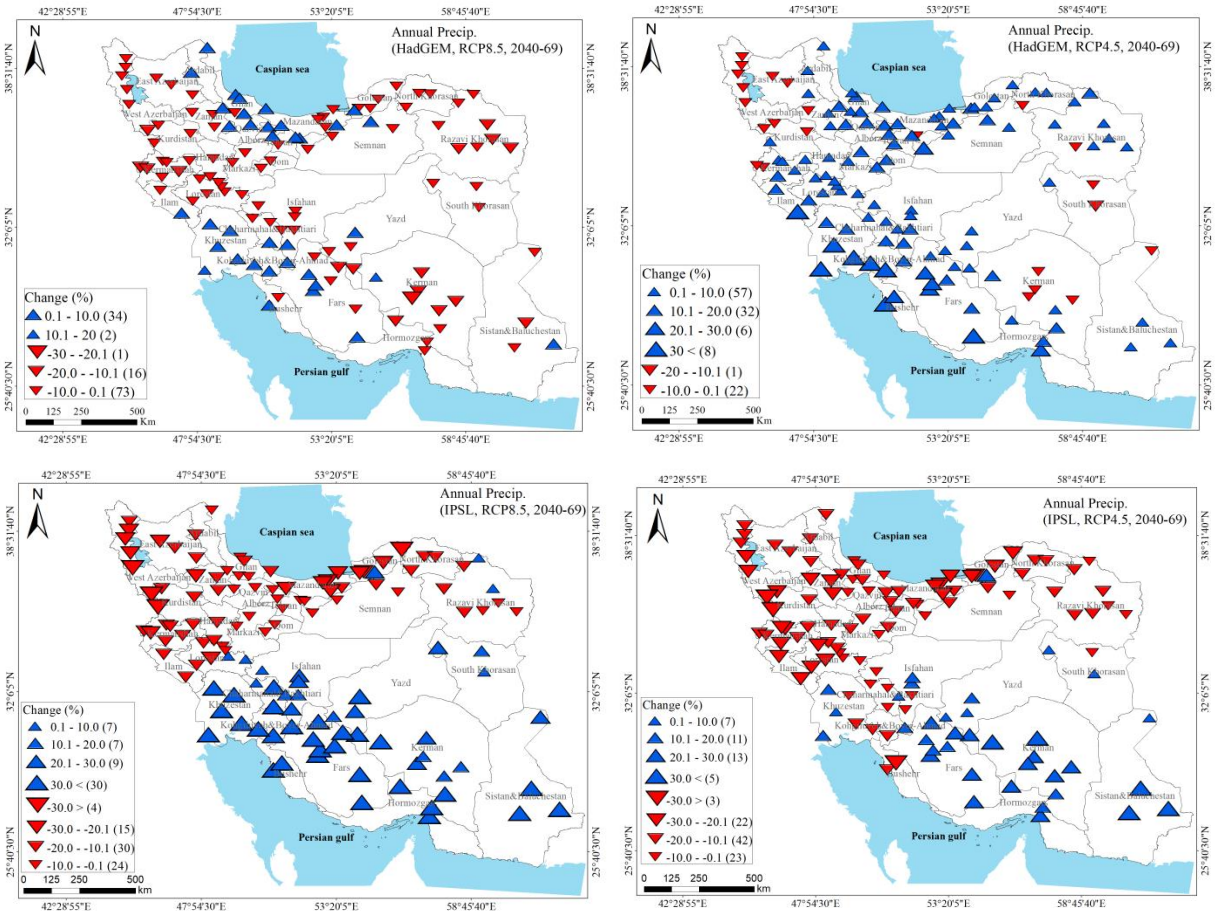
یکی دیگر از چالش‌های مهم، تغییر اقلیم جهانی است. تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مشکلات زیست محیطی قرن بیست و یکم در نظر گرفته شده است. فعالیت‌های بشر از زمان صنعتی شدن منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است که انتظار می‌رود الگوهای بارندگی و دمای منطقه‌ای را تغییر دهد (IPCC، ۲۰۱۳؛ انور و همکاران، ۲۰۱۵). میانگین دمای جهانی در قرن گذشته با ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که تا انتهای این قرن ۱/۱ تا ۶ درجه سانتیگراد دیگر افزایش یابد. در اثر تغییرات اقلیمی تغییراتی در الگوی بارندگی رخ خواهد داد که بسته به مکان منجر به افزایش یا کاهش بارندگی خواهد شد (کنتیجیس و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲۷ – تغییرات دمای سالانه پیش‌بینی شده با مدل‌های عمومی گردش HadGEM و IPSL تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی برای مطالعه حاضر.

در مطالعه حاضر، تغییر اقلیم برای دوره‌های زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ بررسی گردید (جزییات در پیوست ۷). افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم در ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب‌شده برای مطالعه حاضر در دوره زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ (میانه ۲۰۵۵) در شکل ۲۷ نشان داده‌شده‌است. بسته به مدل عمومی گردش و سناریوی انتشار انتخاب شده، میزان افزایش دمای پیش‌بینی شده متفاوت است ولی می‌توان

گفت اکثر ایستگاه‌ها افزایش دمایی بین ۲/۵ تا ۴/۰ درجه سانتی‌گراد را تجربه خواهندکرد. پیش‌بینی تغییرات بارندگی سالانه در شکل ۲۸ نشان داده شده است. در این مورد نیز جهت و میزان تغییرات بسته به مدل عمومی گردش و سناریوی انتشار متفاوت است که حاکی از عدم قطعیت بالاتر برای پیش‌بینی بارندگی می‌باشد. حدود نیمی از ایستگاه‌ها افزایش و نیمی دیگر کاهش بارندگی را تجربه خواهند کرد و در مجموع سناریوها حدود ۸ درصد افزایش بارندگی پیش‌بینی می‌شود، ولی مکان قرارگیری این ایستگاه‌ها بسیار متفاوت می‌باشد که به معنی افزایش شدید در غیر یکنواختی بارندگی است.



شکل ۲۸ – تغییرات بارندگی سالانه پیش‌بینی شده با مدل‌های عمومی گردش HadGEM و IPSL تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره زمانی ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ در ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی برای مطالعه حاضر.

تغییر اقلیم با تاثیر بر پتانسیل عملکرد، نیاز آبیاری و نیز منابع آب آبی بر تولید گیاهی و کشاورزی موثر می‌باشد. در این مطالعه به این جنبه‌ها توجه شده‌است. جدول ۱۰ تاثیر تغییر اقلیم در ۲۰۵۰ را بر پتانسیل عملکرد و نیاز آبیاری گیاهان و گروه‌های مهم گیاهی کشور نشان می‌دهد. تاثیرات کمّی شده در این جدول، معدل شرایط اقلیمی پیش‌بینی شده آینده براساس دو مدل عمومی گردش HadGEM و IPSL (کولینس و همکاران، ۲۰۰۸؛ دوفرس و همکاران، ۲۰۱۳) و برای دو سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای

RCP4.5 و RCP8.5 (واین، ۲۰۱۳) می‌باشند. همچنین اعداد درج شده در جدول ۱۰ معدل‌های وزنی هستند که بر اساس سطح زیر کشت هر گیاه در استان‌های مختلف و بر پایه الگوی کشت فعلی، محاسبه شده‌اند.

جدول ۱۰ – تاثیر تغییر اقلیم بر پتانسیل عملکرد و نیاز خالص آبیاری (شرایط آبی) گیاهان و گروه‌های گیاهی مهم کشور در ۲۰۵۰. اقلیم آینده بر اساس ترکیبی از پیش‌بینی مدل‌های HadGEM و IPSL برای دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد. واحد درصد تغییر نسبت به شرایط فعلی است. محاسبات با سیستم SEA و با توجه به الگوی کشت فعلی صورت گرفته‌است. شایان ذکر است که مقادیر متوسط وزنی برای کل کشور هستند که از مقادیر استانی حاصل شده‌اند و از سطح زیر کشت در هر استان به‌عنوان وزنه استفاده‌شده‌است.

	شرایط آبی		شرایط دیم
گیاه/گروه گیاهی	پتانسیل عملکرد	نیاز خالص آبیاری	پتانسیل عملکرد
گندم	−۶ ± ۰/۸۶	−۳۲ ± ۶/۳	۳۴ ± ۵/۰۲
برنج	−۸ ± ۱/۱۲	۵ ± ۱/۷۹	–
حبوبات سردسیری	−۲ ± ۱/۲۷	−۱۰ ± ۴/۹۵	۱ ± ۸/۲۴
حبوبات گرمسیری	۱ ± ۱/۲۸	۱۰ ± ۴/۰۱	−۱۱ ± ۱/۱۰
سیب زمینی	−۱۰ ± ۴/۷۰	−۱۰ ± ۳/۵۷	–
دانه های روغنی سردسیری	−۶ ± ۱/۶۸	−۳۲ ± ۶/۳۴	۱۹ ± ۶/۷۳
دانه های روغنی گرمسیری	−۱۲ ± ۲/۵۴	−۷ ± ۱/۹۲	−۱۱ ± ۳/۴۷
چغندر قند	−۹ ± ۱/۲۹	−۷ ± ۲/۵۶	–
نیشکر	−۹ ± ۵/۰۶	−۲۰ ± ۸/۴۰	–
میوه های سردسیری	۱ ± ۱/۹۷	۵ ± ۲/۵۲	−۳ ± ۱۰/۹۲
میوه های گرمسیری	−۹ ± ۱/۵۴	−۱۰ ± ۲/۱۵	۰ ± ۱/۶۶
سبزی صیفی	−۱۱ ± ۲/۹۶	−۱۰ ± ۲/۵۴	−۳ ± ۱۱/۷۳
جو	−۵ ± ۰/۸۰	−۳۶ ± ۵/۷۱	۶ ± ۴/۷۳
ذرت دانه ای	−۸ ± ۲/۲۷	−۲ ± ۰/۶۱	–
ذرت سیلویی	−۱۱ ± ۱/۵۳	۲ ± ۱/۳۴	−۱۹ ± ۴/۲۱
یونجه	۲ ± ۲/۴۳	۲ ± ۱/۷۵	−۱ ± ۲/۸۱

در شرایط کشت آبی، از نظر تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد، گیاهان را می‌توان در سه دسته قرار داد: دسته اول شامل برنج، دانه-های روغنی گرمسیری، چغندرقند، میوه‌های گرمسیری، سبزی–صیفی، ذرت دانه‌ای و سیلویی هستند که عملکرد آن‌ها حدود ۱۰ درصد (بین ۸ تا ۱۲ درصد) کاهش می‌یابد و این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار است. دسته دوم، شامل گندم، دانه‌های روغنی سردسیر مثل کلزا و جو است که برای آن‌ها حدود ۵ درصد کاهش عملکرد پیش‌بینی شده که به لحاظ آماری نیز معنی‌دار می‌باشد. دسته سوم، شامل حبوبات، سیب‌زمینی، درختان میوه سردسیری، نیشکر، میوه‌های سردسیری و یونجه است که کاهش عملکرد آن‌ها به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. در شرایط آبی، تاثیر نهایی تغییر اقلیم بر عملکرد حاصل تاثیر نسبی از طریق سه مکانیسم و برآیند آن‌ها است که عبارتند از: (۱) تاثیر مثبت افزایش CO_2 بر افزایش رشد و عملکرد، (۲) میزان کاهش عملکرد در اثر کوتاه شدن فصل رشد به دلیل افزایش دما ، (۳) منفی یا مثبت بودن تاثیر تغییرات دما در طول فصل رشد بر فتوسنتز و تولید گیاه که خود به رژیم دمایی فعلی

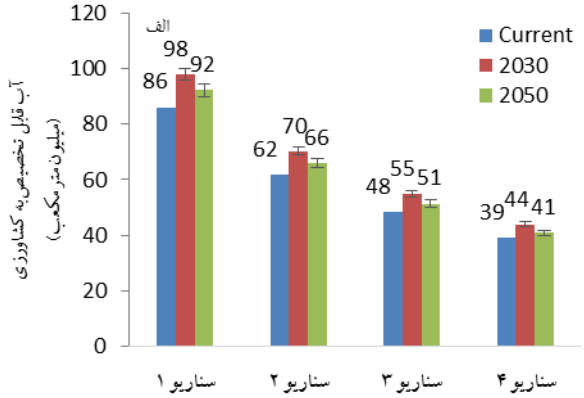
محیط بستگی دارد. با نظرداشت این مولفه ها، برخی مقایسه‌ها مفید خواهد بود. گیاهانی که کاهش بالاتری برای عملکرد آن‌ها در اثر تغییر اقلیم در ۲۰۵۰ پیش‌بینی می‌شود شامل گیاهان گرمسیری (برنج، دانه‌های روغنی گرمسیری مثل سویا، میوه‌های گرمسیری، سبزی و صیفی و ذرت) و نیز چغندر قند هستند که اگرچه گیاهی سردسیری است ولی فصل رشد طولانی در تمام تابستان دارد. بنابراین، با توجه به کشت در نواحی گرمتر یا فصول گرمتر، برآیند تاثیر مکانیزم‌های سه‌گانه برای این گیاهان منفی‌تر بوده‌است. سایر گیاهان که تاثیر تغییر اقلیم بر آن‌ها کاهش کمتر در عملکرد بوده، عمدتا گیاهان سردسیر هستند و در نواحی سرد نیز کشت می‌شوند و یا اگر مثل گندم در نواحی گرم هم کشت شوند، این کشت در زمستان یعنی فصل سرد سال صورت می‌گیرد.

در شرایط دیم، مکانیسم‌های تاثیر تغییر اقلیم مشابه شرایط آبی هستند با یک تفاوت و آن این که کاهش فصل رشد در اثر افزایش دما در شرایط دیم لزوما تاثیر منفی ندارد و حتی می‌تواند دارای تاثیر مثبت باشد. در شرایط دیم، کاهش فصل رشد و زودرسی ممکن است موجب فرار گیاه از خشکی و در نتیجه باعث افزایش عملکرد گردد. در شرایط دیم، پیش‌بینی شد که پتانسل عملکرد گندم و دانه‌های روغنی سردسیری (کلزا) بین ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش یابد. این افزایش برای جو و حبوبات سردسیری کمتر و از نظر آماری معنی‌دار نبود. علت آن است که این گیاهان در مقایسه با گندم، در مناطق گرمتری از کشور تولید می‌شوند و نیز بخش مهمی از حبوبات سردسیری مثل نخود و عدس به‌صورت بهاره و نه پاییزه کشت می‌گردند. برای حبوبات گرمسیری و دانه‌های روغنی گرمسیری (مثل پنبه و سویا) کاهش معنی‌دار در عملکرد در حدود ۱۱ درصد پیش‌بینی می‌شود. این کاهش برای ذرت سیلویی بیشتر (حدود ۲۰ درصد) و معنی‌دار است. برای سایر گیاهان تغییرات عملکرد در شرایط دیم معنی‌دار نبود (جدول ۱۰).

تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیرتعرق و نیاز آبیاری به این مکانیسم‌ها و برآیند آن‌ها بستگی دارد: (۱) کاهش به دلیل تسریع نمو در اثر افزایش دما و کوتاه شدن طول فصل رشد، (۲) کاهش به دلیل کاهش هدایت روزنه ای و در نتیجه تعرق در اثر افزایش CO_2، و (۳) افزایش به دلیل تاثیر مثبت افزایش CO_2 بر فتوسنتز و رشد که در نتیجه به آب بیشتری نیاز خواهد بود. برای گندم، جو و دانه‌های روغنی سردسیری (کلزا) ۳۲ تا ۳۶ درصد کاهش نیاز آبیاری خالص پیش‌بینی می‌شود که به لحاظ آماری معنی‌دار است (جدول ۶). با توجه به این که فصل رشد این گیاهان در ماه‌های سرد و خنک سال است تاثیر افزایشی مکانیسم شماره ۳ در این گیاهان کمتر بوده و در اثر مکانیسم‌های ۱ و ۲ کاهش قابل‌توجهی در نیاز آبیاری این گیاهان پیش‌بینی گردید. در سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی گرمسیری، چغندر قند، نیشکر، درختان میوه گرمسیری و سبزی–صیفی برآیند مکانیسم‌ها موجب کاهش معنی‌دار ۷ تا ۲۰ درصد نیاز آبیاری خواهد شد. برای ذرت دانه‌ای میزان کاهش اندک (۲ درصد) ولی معنی‌دار است. برای برنج (۵ درصد) و حبوبات گرمسیری (۱۰ درصد) افزایش معنی‌دار پیش‌بینی می‌گردد.

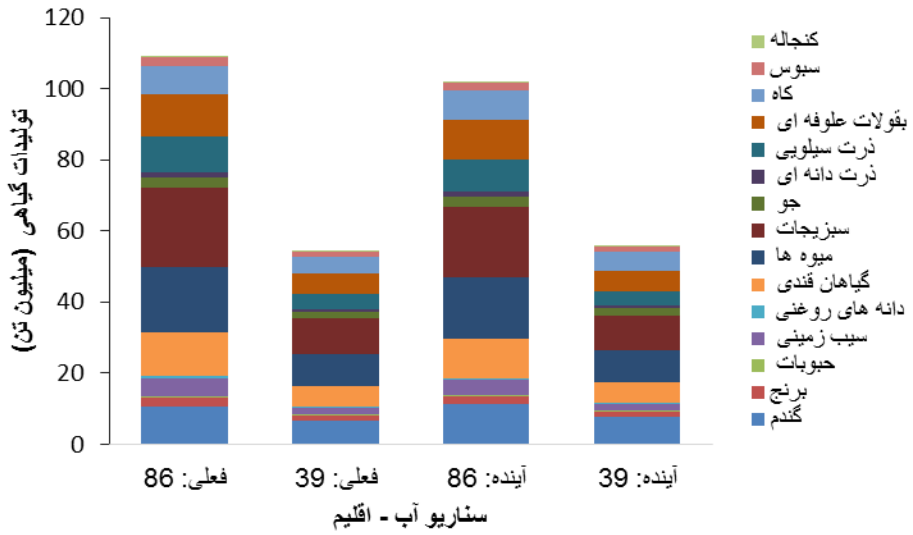
یکی دیگر از جنبه‌های مهم تغییر اقلیم، تاثیر آن بر منابع آب آبی برای کشاورزی است. بنابراین، تاثیر تغییر اقلیم بر سناریوهای آب در آینده (تا ۲۰۵۰) نیز بررسی شد. بدین منظور فرض شد حجم آب تجدید پذیر حاصل تفریق حجم بارندگی و تبخیرتعرق یعنی رواناب از اراضی غیر کشاورزی است. از طرفی، بررسی تغییرات شبیه‌سازی شده تبخیرتعرق برای مراتع کشور، گیاهان دایمی دیم یعنی یونجه، زیتون و مرکبات نشان داد تغییرات تبخیرتعرق کمتر از ۱۰ درصد است و در بیشتر موارد کاهشی است. در مطالعه ناصری و همکاران (۱۳۹۶) حجم بارندگی و آب تجدیدپذیر هر دو در هفت سال آخر نسبت به کل دوره مورد بررسی ایشان (یعنی ۱۳۴۳ تا ۱۳۹۳) ۱۷ درصد کاهش را نشان داد. شاید کاهش تبخیرتعرق در اثر تغییر اقلیم که شامل افزایش دما می باشد، دور از ذهن باشد. اما، باید توجه داشت که برداشت ذهنی افزایش تبخیرتعرق در اثر دما ناشی از تاثیری است که در تبخیرتعرق پتانسیل (مرجع) برای دوره-های زمانی ثابت، مشاهده می‌شود. اما، تبخیرتعرق واقعی به طول دوره رشد گیاه بستگی دارد که در اثر افزایش دما کوتاه می‌گردد. همچنین تبخیرتعرق واقعی به میزان رطوبت خاک بستگی دارد و در شرایط خشکی خاک به شدت کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با

افزایش دما در اثر تغییر اقلیم دوره رشد گیاهان و در نتیجه تبخیرتعرق در طی آن کاهش می‌یابد. افزایش CO_2 ناشی از تغییر اقلیم نیز مقاومت روزنه‌ای را افزایش و تعرق واقعی را کاهش می‌دهد (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶).



شکل ۲۹ – مقدار آب قابل تخصیص به بخش کشاورزی در سناریوهای مختلف آب برای سه بازه زمانی حال حاضر، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰.

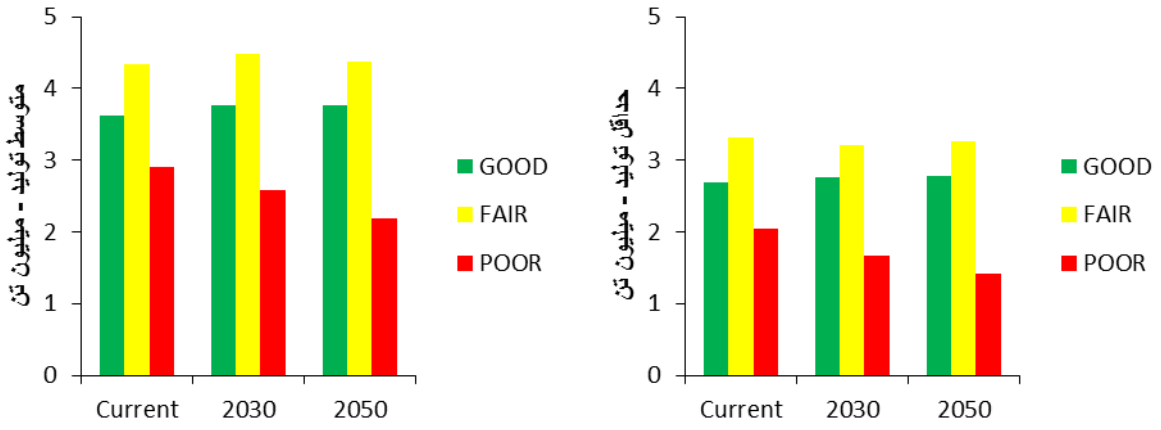
در مطالعه حاضر، در شرایط عدم دسترسی به اطلاعات مستند در ارتباط با تاثیر تغییر اقلیم بر حجم آب تجدیدپذیر در کشور، فرض شد حجم آب قابل‌بهره‌برداری برای کشاورزی در شرایط ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ متناسب با تغییرات بارندگی در دوره های زمانی مذکور باشد. با اعمال درصد تغییر بارندگی در حجم آب قابل‌بهره‌برداری در هر استان و سپس جمع حجم آب قابل بهره‌داری برای کشاورزی در استان‌ها، نتایج مندرج در شکل ۲۹ برای دوره های زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ حاصل شد. در مجموع، حجم آب قابل بهره‌برداری در کشاورزی در ۲۰۳۰ نسبت به شرایط حاضر ۱۴ درصد افزایش و در ۲۰۵۰ نسبت به شرایط حاضر ۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۲۹). سناریوی منابع آب پایدار که در حال حاضر ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال است در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به‌ترتیب به ۴۳ و ۴۱ میلیارد متر مکعب در سال بالغ می‌گردد. باید توجه داشت که تغییرات در حجم آب قابل بهره برداری برای کشاورزی در اثر تغییر اقلیم به مراتب کمتر از میزان تغییرات لازم برای کاهش اضافه برداشت آب برای کشاورزی است. برای مثال، در سناریوی آبی شماره ۴، منابع آب قابل بهره‌برداری برای کشاورزی در کشور از ۸۶ فعلی به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یافته‌است که معادل ۵۵ درصد کاهش است (شکل ۲۵). اما، تغییرات ناشی از تغییر اقلیم برای سناریوی آبی شماره ۴ بین ۸ تا ۱۴ درصد است که بسیار کمتر می‌باشد.



شکل ۳۰ – تاثیر تغییر اقلیم در ۲۰۵۰ بر تولیدات گیاهی در دو سناریو آبی فعلی (۸۶) و پایدار (۳۹) با فرض مدیریت و الگوی کشت فعلی.

شکل ۳۰ تاثیر تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده در ۲۰۵۰ بر تولیدات گیاهی کشور با فرض مدیریت و الگوی کشت کنونی تحت دو سناریوی آب فعلی و پایدار را نشان می‌دهد. در این شکل اثر تغییر اقلیم از طریق عملکرد، نیاز آبیاری و منابع آب لحاظ شده‌است. نگارندگان تصوّر نمی‌کنند سناریوی آب فعلی (با برداشت ۸۶ تا ۹۸ میلیارد متر مکعب در سال) تا ۲۰۵۰ قابل تداوم باشد و فقط برای مقایسه آورده شده‌است. با فرض این که این سناریو در ۲۰۵۰ قابل تداوم باشد، نتیجه خالص تغییر اقلیم بر تولیدات گیاهی عبارت خواهد بود از ۹ درصد کاهش تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی، ۱۶ درصد افزایش تولیدات گیاهی در شرایط دیم و عدم تغییر تولید فرآورده‌های فرعی گیاهی (کاه، سبوس و کنجاله). در سناریو آبی پایدار، در ۲۰۵۰ نسبت به شرایط اقلیمی کنونی ۱ درصد کاهش تولیدات گیاهی در شرایط آبی، ۱۶ درصد افزایش تولیدات گیاهی در شرایط دیم و ۱۰ درصد افزایش تولید فرآوردهای فرعی گیاهی پیش‌بینی می‌شود. در این سناریوی آبی، کل تولیدات گیاهی در اثر تغییر اقلیم ۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد. برای سناریو آبی فعلی، کل تولیدات گیاهی ۷ درصد کاهش را نشان داد. دلیل تفاوت واکنش در سناریوهای آبی فعلی و پایدار این است که در اثر سناریوی پایدار سطح زیر کشت گیاهان در استان‌های مختلف کاهش می‌یابد و این کاهش برای استان‌ها و گیاهان مختلف یکنواخت نمی‌باشد.

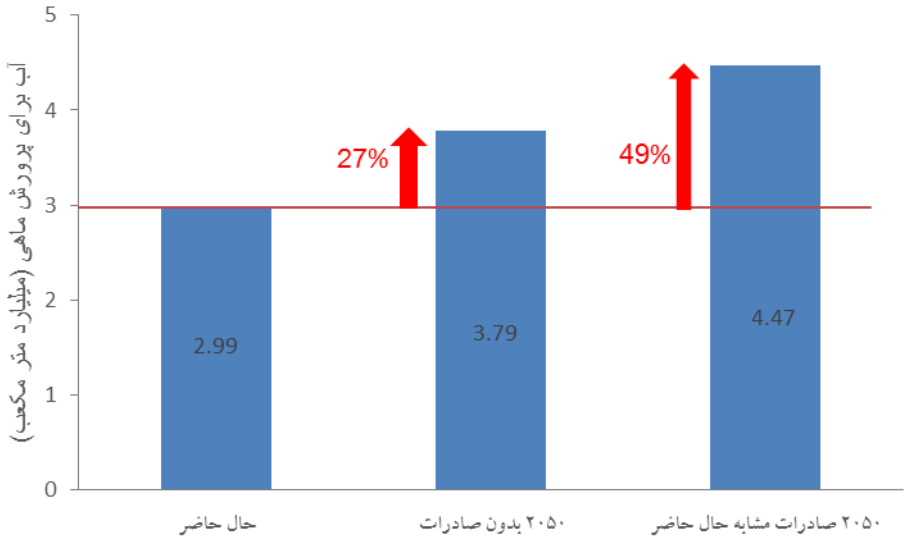
تاثیر تغییر اقلیم بر میانگین تولید قابل برداشت از مراتع کشور در افق‌های زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ در شکل ۳۱ نشان داده شده است. در افق ۲۰۳۰، کل تولید مرتعی کشور به مقدار جزئی یعنی ۰/۲ درصد کاهش خواهد یافت و از ۱۰/۸۶ به ۱۰/۸۳ میلیون تن می‌رسد. اما، در افق ۲۰۵۰، کاهش قدری بیشتر ولی هنوز کوچک یعنی ۴/۸ درصد خواهد بود، طوری که تولید مرتعی کشور از ۱۰/۸۶ میلیون تن فعلی به ۱۰/۳۳ میلیون تن کاهش خواهد یافت (شکل ۳۱). بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد که در ۲۰۳۰، مراتع خوب و متوسط کشور افزایش تولید (۴ و ۵ درصد) و مراتع ضعیف کاهش تولید (۱۱ درصد) را تجربه خواهند کرد (شکل ۳۱). در ۲۰۵۰، برای مراتع خوب و متوسط افزایش تولید (۱ و ۴ درصد) و مراتع ضعیف کاهش تولید (۲۵ درصد) پیش‌بینی شد (شکل ۳۱).



شکل ۳۱- میانگین و حداقل تولید در مراتع خوب (Good)، متوسط (Fair) و ضعیف (Poor) کشور در دوره فعلی (Current) و افق‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ شبیه‌سازی شده با مدل SSM-iCrop2.

یکی دیگر از جنبه‌های تولید مرتعی، حداقل تولید مرتع یعنی تولید در سال‌های خشک است. حداقل تولید، کمترین ظرفیت مرتع را مشخص می‌سازد و در برنامه‌ریزی دراز مدت استفاده از مرتع باید به آن توجه شود. حداقل تولید مراتع کشور در افق ۲۰۳۰ حدود ۵/۳ درصد (از ۸/۰۵ به ۷/۶۲ میلیون تن) و در افق ۲۰۵۰ حدود ۷/۳ درصد (از ۸/۰۵ به ۷/۴۶ میلیون تن) نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (شکل ۳۱). اما، تغییرات بسته به نوع مرتع متفاوت است: در افق ۲۰۳۰ حداقل تولید مراتع خوب کشور ۲/۷ درصد افزایش می‌یابد و حداقل تولید مراتع متوسط و ضعیف به ترتیب ۳/۶ درصد و ۱۸/۳ درصد کاهش خواهند داشت (شکل ۲۷). در افق ۲۰۵۰، حداقل تولید مراتع خوب کشور ۳/۲ درصد افزایش و حداقل تولید مراتع متوسط و ضعیف به ترتیب ۱/۷ درصد ۳۰/۷ درصد کاهش تولید نشان می‌دهند (شکل ۳۱).

شایان ذکر است اگرچه در مقیاس کشوری تغییرات (کاهش) تولید مراتع اندک بود ولی در مقیاس استانی تغییرات بسیار بیشتر بودند (تا بیش از ۷۰ درصد کاهش و نیز افزایش، بسته به استان و وضعیت مرتع) که به‌معنی به‌هم‌ریختگی توازن استانی فعلی و افزایش نوسانات تولید است و خود مستلزم توجه بیشتر می‌باشد. در مجموع می‌توان اظهار کرد که کاهش تولیدات مرتعی در آینده (۰/۲ تا ۵ درصد در ۲۰۳۰ و ۵ تا ۷ درصد در ۲۰۵۰) قابل تحمل می‌باشد و با اجرای اقدامات احیا و بهبود مراتع قابل پیش‌گیری خواهد بود. اما، نباید انتظار داشت که نسبت به افزایش تقاضا در آینده در اثر افزایش جمعیت یا تغییر رژیم غذایی به سمت مصرف محصولات دامی بیشتر، پاسخگو باشد و لازم است در آینده منابع جایگزین یافت شوند یا تقاضا تعدیل شود. به این موضوع در قسمت‌های بعدی پرداخته می‌شود.



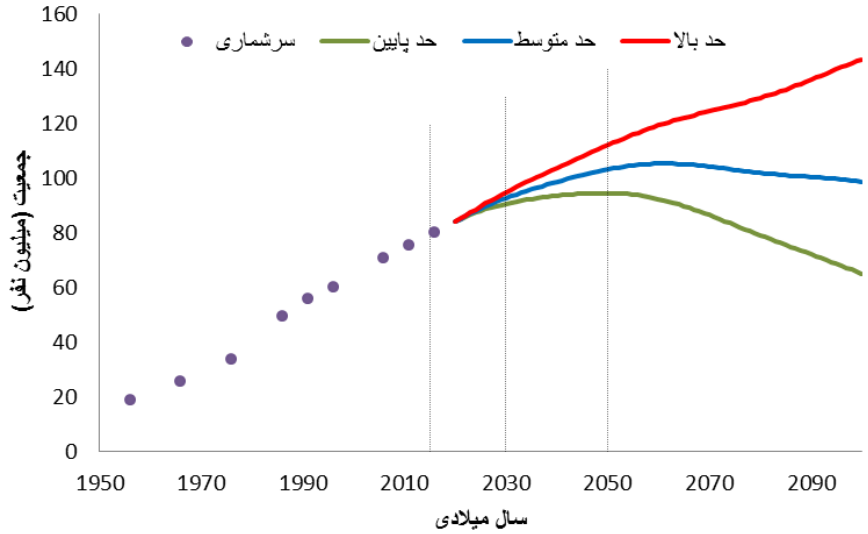
شکل ۳۲ – آب آبی برداشت شده برای تولید ماهی پرورشی در شرایط کنونی (حال حاضر)، در ۲۰۵۰ با فرض توقف صادرات ماهی و با فرض حفظ صاردات در حد کنونی. در ۲۰۵۰ افزایش جمعیت و تقاضا برای گوشت ماهی در حد رژیم غذایی فعلی لحاظ شده‌است.

یکی دیگر از جنبه‌های مرتبط با تغییر اقلیم تاثیر آن بر نیاز به آب آبی برای پرورش ماهی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد در شرایط اقلیمی کنونی کل مصرف یا اختصاص آب آبی برای پرورش ماهی در کشور ۲/۹۹ میلیارد متر مکعب در سال است که شامل مصرف مستقیم در مزارع پرورشی و غیر مستقیم برای تولید خوراک می‌باشد. در مقطع زمانی ۲۰۵۰، چنان‌چه قرار باشد برای رفع نیازهای جمعیت آن زمان پرورش ماهی صورت گیرد (با فرض این که عرضه یا صید ماهی از منابع آبی طبیعی در حد فعلی بماند) با توجه به تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر از مزارع پرورش ماهی به ۳/۷۹ میلیارد متر مکعب منابع آب آبی نیاز خواهد بود که معادل ۲۷ درصد افزایش است (شکل ۳۲). اما، در صورتی که قرار باشد علاوه بر مصرف داخلی، صادرات نیز در سطح فعلی نیز ادامه داشته باشد، مقدار منابع آب لازم برای پرورش ماهی در ۲۰۵۰ به ۴/۴۷ میلیارد متر مکعب در سال خواهد رسید که معادل ۴۹ درصد افزایش است (شکل ۳۲). اگرچه افزایش ۲۷ تا ۴۹ درصدی نیاز به منابع آب آبی زیاد به نظر می‌رسد ولی به لحاظ مقدار، معادل ۰/۸ تا ۱/۵ میلیارد متر مکعب در سال است که در مقایسه با کل آب آبی مورد استفاده در کشاورزی، رقم کوچکی است و احتمالا با تغییر سیستم‌های پرورش و صرفه‌جویی در همین بخش یا سایر بخش‌ها قابل تامین خواهد بود.

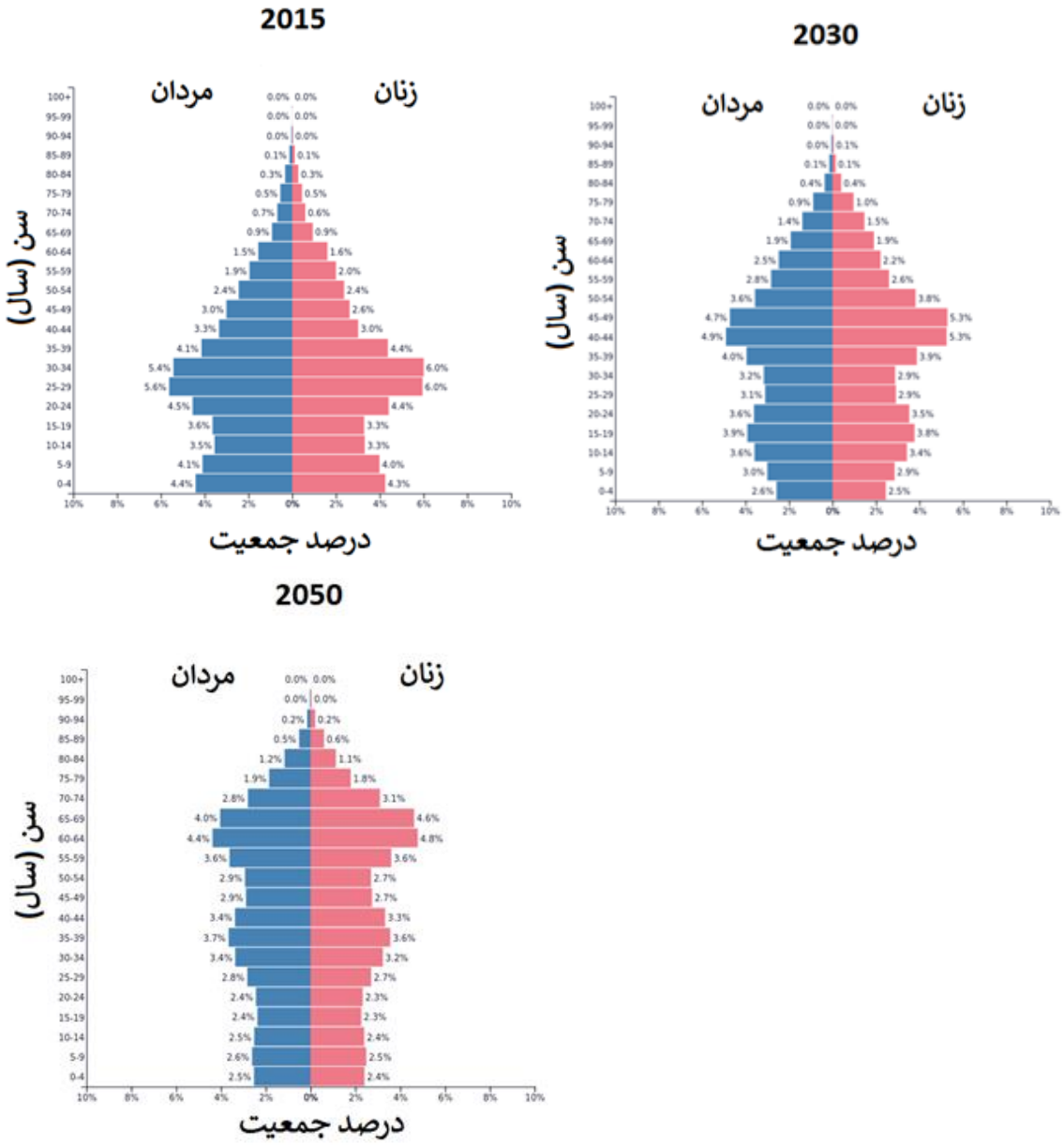
۳-۲-۳- جمعّیت

جمعیت یکی از عوامل اصلی موثر بر تقاضا یا نیاز به محصولات کشاورزی و غذایی می‌باشد. روند تغییرات جمعیت کشور از ۱۹۵۶ (۱۳۳۲ شمسی) تا ۲۰۱۶ (۱۳۹۵) و پیش‌بینی تغییرات آینده آن تا ۲۱۰۰ بر اساس چشم انداز جمعیت جهانی سازمان ملل (WPP، ۲۰۱۹) در شکل ۳۳ نشان داده‌شده‌است. در میانه دوره پایه در مطالعه حاضر (۲۰۱۵)، جمعیت کشور حدود ۸۰ میلیون نفر بوده‌است. پیش‌بینی می‌شود جمعیت کشور در ۲۰۳۰ به‌طور متوسط به ۹۳ میلیون نفر بالغ گردد و در ۲۰۵۰ به ۱۰۳ میلیون نفر برسد. حد پایین و حد بالای پیش بینی شده برای جمعیت کشور در ۲۰۳۰ به‌ترتیب ۹۱ و ۹۵ میلیون نفر است و برای ۲۰۵۰ به ترتیب ۹۵ و ۱۱۲ میلیون نفر

می‌باشد. بنابراین، انتظار می‌رود در مقایسه با دوره پایه در ۲۰۳۰ حدود ۱۳ میلیون نفر و در ۲۰۵۰ حدود ۲۳ میلیون نفر افزایش جمعیت داشته‌باشیم که به‌ترتیب معادل ۱۶ و ۲۹ درصد افزایش جمعیت است.



شکل ۳۳ – پیش بینی سازمان ملل از جمعیت ایران تا ۲۱۰۰ (WPP، ۲۰۱۹). جمعیت سرشماری شده در سال‌های مختلف نیز آورده شده اند. خطوط عمودی مقاطع زمانی مورد نظر این مطالعه یعنی ۲۰۱۵ (سال مبنا)، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ را مشخص می‌کنند.



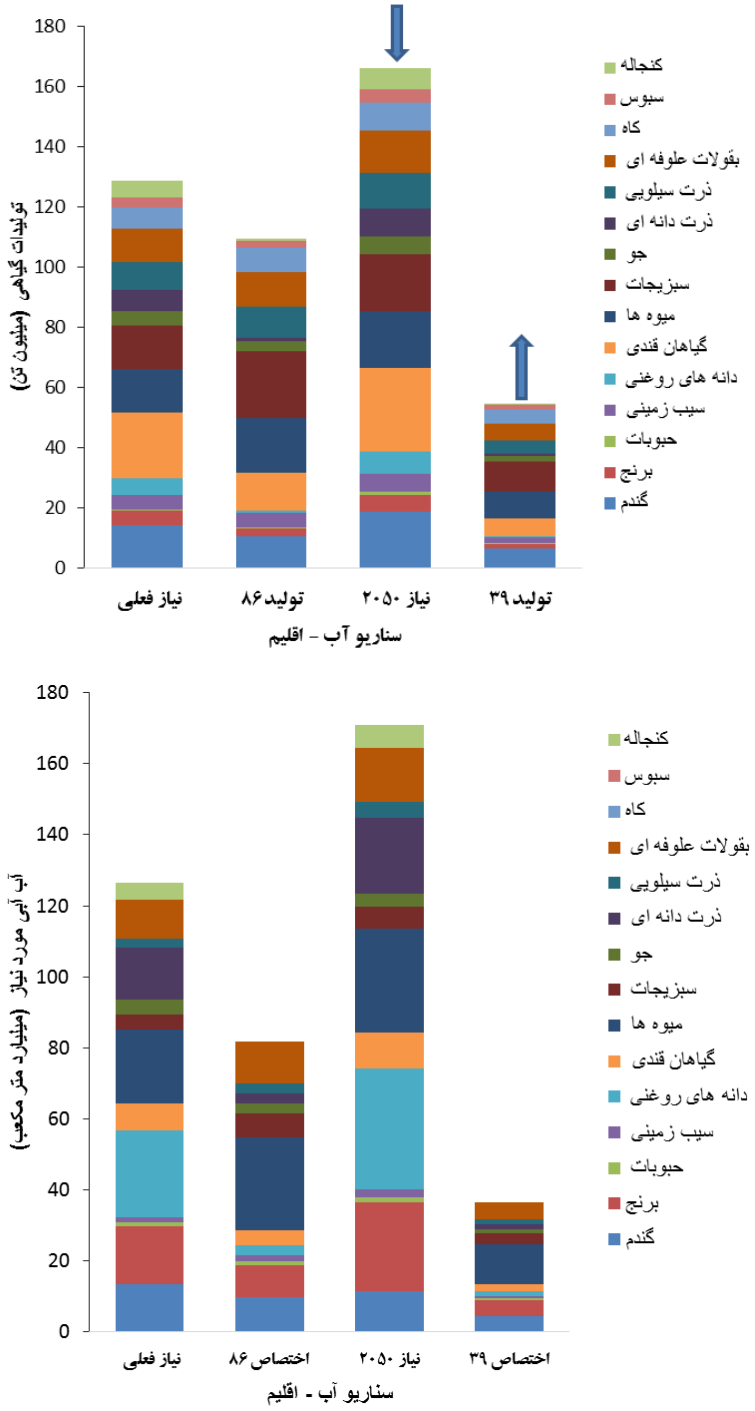
شکل ۳۴ – هرم توزیع سنّی جمعیت کشور در مقاطع زمانی پایه (۲۰۱۵)، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰.

علاوه بر میزان جمعیت، هرم سنّی جمعیت نیز تغییر خواهد کرد (شکل ۳۴). در ۲۰۱۵، بخش قابل‌توجهی (۲۳ درصد) از جمعیت کشور بین ۲۵ تا ۳۵ سال داشته‌اند و جمعیت افراد بالای ۶۰ سال حدود ۸ درصد کل جمعیت است. در ۲۰۳۰ بخش قابل‌توجهی (حدود ۲۰ درصد) از جمعیت کشور در محدوده‌ی سنی ۴۰ تا ۵۰ سال قرار می‌گیرند و قسمت پایین هرم رو به کاهش خواهد بود طوری که جمعیت بین صفر تا چهار سال، حدود ۵ درصد از جمعیت کل کشور را تشکیل خواهند داد. جمعیت افراد بالای ۶۰ سال در سال ۲۰۳۰ حدود ۱۴/۵ درصد از جمعیت کل کشور را تشکیل خواهد داد. در ۲۰۵۰ قسمت پایین هرم و برای افراد کمتر از ۳۰ سال، هرم جمعیت شکلی مستطیلی پیدا کرده است و تقریباً هر گروه سنی حدود ۵ درصد افراد جامعه را تشکیل می‌دهند. اما، افراد بالای ۶۰ سال حدود

۳۱/۲ درصد افراد جامعه را تشکیل خواهند داد. هرم سنّی نیز بر مصرف غذا موثر است چون با افزایش سن مصرف برخی اقلام غذایی کمتر و برای برخی اقلام غذایی بیشتر می‌شود، اما بر اساس این مطالعه، میزان این تغییرات محدود است و بسته به قلم غذایی برای ۲۰۳۰ بین ۰/۳- تا ۳/۸ درصد و برای ۲۰۵۰ بین ۶/۲- تا ۳/۷ درصد می‌باشد که تاثیر معنی‌داری بر نیاز یا تقاضا برای محصولات کشاورزی نخواهد داشت.

رابطه تولید و تقاضا برای محصولات کشاورزی گیاهی که عمده مصرف کننده آب در کشور هستند برای شرایط اقلیمی-آبی-جمعیتی کشور در حال حاضر و آینده با فرض عدم انجام اقدامات برای افزایش تولید و مدیریت تقاضا در شکل ۳۵ آورده شده است. جدول ۱۱ نیز خلاصه‌ای از وضعیت تقاضا و تولید برای محصولات گیاهی در مقاطع فعلی و آینده را نشان می‌دهد. در حال حاضر، با توجه به رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی در کشور، ۱۲۹ میلیون تن تقاضا برای تولیدات گیاهی وجود دارد که ۸۵ درصد آن یعنی ۱۰۹ میلیون تن در سال در داخل تولید می‌گردد و بقیه از طریق واردات تامین می‌شود. از طرفی دیگر، چنان‌چه با شرایط مدیریتی کنونی وارد آینده شویم، یعنی رژیم غذایی و تلفات-ضایعات کنونی، در اثر افزایش جمعیت، تقاضا برای تولیدات گیاهی به ۱۶۶ میلیون تن در سال افزایش پیدا می‌کند که معادل ۲۹ درصد افزایش است. چنان‌چه تا ۲۰۵۰ اختصاص آب به کشاورزی در حدی ایمن برای محیط زیست یا پایدار، تنظیم شده‌باشد ولی با همین سطح از مدیریت (یعنی خلا نسبی و راندمان آبیاری کنونی) تولید گیاهی صورت گیرد و الگوی کشت فعلی پابرجا بماند، تولیدات گیاهی در نتیجه کاهش آب کشاورزی و تغییر اقلیم به ۵۶ میلیون تن کاهش می‌یابد که موجب می‌گردد خودکفایی در تولیدات گیاهی در ۲۰۵۰ به ۳۴ درصد تنزّل پیدا کند. بنابراین، کمبود تولیدات گیاهی یعنی تفاضل تقاضا و تولید، از رقم ۲۰ میلیون تن فعلی به ۱۱۰ میلیون تن افزایش می‌یابد.

آب مهمترین عامل محدود کننده است چنان‌چه محاسبات بر مبنای آب صورت گیرد، شکاف بین تولید و تقاضا در حال حاضر و ۲۰۵۰ ، بیشتر خواهدشد (بخش پایینی شکل ۳۵). در حال حاضر، برای تولید کل محصولات گیاهی مورد نیاز برای تغذیه مردم در داخل کشور، ۱۲۷ میلیارد متر مکعب در سال است که با برداشت فعلی، ۸۲ میلیارد متر مکعب در سال به تولیدات گیاهی اختصاص پیدا می‌کند و بنابراین خودکفایی آبی کشور ۶۵ درصد است. در حالی که کمبود خالص تولیدات داخلی (۲۰ میلیون تن) ۱۷ درصد از تولیدات گیاهی کنونی است، کمبود آب برای تولید همه محصولات گیاهی در داخل کشور ۶۵ میلیارد متر مکعب در سال یعنی ۵۵ درصد آب اختصاصی فعلی به کشاورزی است. در ۲۰۵۰، با توجه به افزایش جمعیت و نیز تغییر اقلیم، با فرض این که رژیم غذایی، تلفات-ضایعات و مدیریت تولید مشابه زمان حاضر باشد، برای تولید همه محصولات گیاهی لازم در داخل کشور به ۱۷۱ میلیارد متر مکعب در سال آب در سال نیاز خواهد بود. حال چنان‌چه بهره‌برداری از آب برای کشاورزی به مرز پایداری (۴۱ میلیارد متر مکعب در سال در افق ۲۰۵۰) کاهش بیابد، ۱۳۵ میلیارد متر مکعب در سال کمبود آب در داخل وجود خواهد داشت. در این شرایط خودکفایی آبی برای تولیدات گیاهی به ۲۱ درصد تنزّل پیدا می‌کند.



شکل ۳۵- تقاضا یا نیاز سالانه برای محصولات گیاهی و میزان تولید آن ها برای سناریوهای مختلف آب-اقلیم (بالا) و نیز برآورد آب آبی مورد نیاز سالانه برای تولید کل این محصولات در داخل کشور با الگوی کشت فعلی برای همین سناریوها (پایین). جهت فلش‌ها نشانگر تلاش‌ها برای کاهش تقاضا یا افزایش تولید را نشان می‌دهد. محاسبات با سیستم SEA انجام شده‌است.

جدول ۱۱ – رابطه تقاضا و تولید در افق‌های زمانی کنونی (۲۰۱۵)، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ با فرض عدم اقدام برای افزایش تولید و مدیریت تقاضا. برای محاسبه تولید در مقاطع آینده تاثیر تغییر اقلیم لحاظ شده است و فرض شده است منابع آب به مرز پایداری کاهش می‌یابد ولی سطح مدیریت تولید و راندمان آبیاری مشابه وضعیت فعلی است. تقاضا بر اساس رژیم غذایی فعلی محاسبه شده است و خودکفایی برای تولیدات گیاهی می‌باشد. محاسبات با سیستم SEA انجام شده‌است. جمعیت بر حسب میلیون نفر و تقاضا برای تولیدات گیاهی، تولید گیاهی و کمبود تولید گیاهی بر حسب میلیون تن محصول تر درب مزرعه هستند. منابع آب آبی بر حسب میلیارد متر مکعب در سال است.

افق زمانی	جمعیت	تقاضا	منابع آب آبی	تولید گیاهی	کمبود تولید گیاهی	درصد خودکفایی
۲۰۱۵	۷۹/۹۳	۱۲۸/۷	۸۶	۱۰۹/۲	۱۹/۵	۸۴/۸
۲۰۳۰	۹۲/۶۶	۱۴۹/۳	۴۴	۵۵/۰	۹۴/۳	۳۶/۸
۲۰۵۰	۱۰۳/۱۰	۱۶۶/۱	۴۱	۵۵/۹	۱۱۰/۲	۳۳/۷

حال یک سئوال مهم این خواهد بود که کشاورزی به لحاظ بیوفیزیکی تا چه اندازه قابلیت پر کردن این شکاف بین تقاضا و تولید را خواهد داشت؟ برای متعادل سازی رابطه تولید-تقاضا برای محصولات کشاورزی و غذایی، اقدامات متعددی قابل برنامه‌ریزی و انجام است که می‌توان همه آن‌ها را در دو دسته قرار داد:

(۱) اقدامات برای مدیریت (کاهش) تقاضا
(۲) اقدامات برای افزایش تولید

در سیستم مورد استفاده برای مطالعه حاضر (SEA)، اقدامات برای مدیریت تقاضا در قالب دو گزینه زیر تعریف شده اند:

(الف) کاهش تلفات-ضایعات
(ب) تغییر رژیم غذایی به سوی مواد غذایی گیاهی (در مقابل دامی)

افزایش تولید در یک کشور از طریق افزایش دسترسی به منابع زمین و آب و نیز افزایش تولید به ازای هر واحد از این منابع میسر است. اما، چنان‌که نشان داده شد استفاده کنونی از منابع زمین و آب در ایران قبلا از مرزهای ایمن برای محیط زیست و بهره‌برداری پایدار عبور کرده است و امکان فرآهم سازی بیشتر این منابع وجود ندارد. بنابراین، کلیه اقدامات برای افزایش تولید باید بر مبنای افزایش بهره‌وری از منابع آب و زمین طراحی و اجرا گردند. در این مطالعه و بر اساس مدل طراحی شده، اقدامات برای افزایش تولید از طریق دو گزینه زیر قابل بررسی هستند:

(ج) کاهش خلا عملکرد نسبی
(د) افزایش راندمان آبیاری

مسگران و آزادی (۲۰۱۸) در پروژه ایران ۲۰۴۰ دانشگاه استنفورد یک برنامه سازگاری با کم‌آبی ارایه دادند[۴۸]که در آن به افزایش تولیدات از طریق افزایش راندمان آبیاری، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای و واردات بیشتر مواد غذایی توجه شده و هزینه‌های مربوطه برآورد گشته‌است. اما، در گزارش مذکور به فشرده‌سازی از طریق رفع خلا عملکرد، مدیریت تقاضا با کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی و نیز تغییر الگوی کشت پرداخته‌نشده‌است. در قسمت‌های پیش‌رو ظرفیت کشور برای متعادل‌سازی ارتباط تولید-تقاضا برای محصولات کشاورزی و سازگاری با شرایط کم آبی و تغییر اقلیم در قالب گزینه‌های چهارگانه فوق به‌صورت انفرادی و ترکیبی مورد بررسی و بحث قرار می‌گیرند. سایر گزینه‌های احتمالی و موثر در قسمت سایر ملاحظات مورد بحث قرار گرفته‌اند.

۳-۲-۴- ظرفیت اقدام از طریق مدیریت تقاضا

در صورتی که رژیم غذایی مردم به سمت محصولات گیاهی حرکت کند، تقاضا برای تولیدات گیاهی کاهش خواهد یافت (شکل ۳۶). به همین ترتیب، کاهش تلفات-ضایعات موجب کاهش تقاضا خواهد شد (شکل ۳۷). رژیم غذایی مورد استفاده مردم تا حد زیادی مرتبط با شرایط اقتصادی و اجتماعی است. اغلب مطالعات در نقاط مختلف دنیا نشان داده اند که به‌طور معمول با افزایش درآمد مصرف فرآورده های حیوانی افزایش پیدا می‌کند (ارکین و هوکسترا، ۲۰۱۴). در چند دهه گذشته، در کنار افزایش جمعیت، افزایش رفاه و تمایل بیشتر به مصرف محصولات دامی منجر به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی شده است (بودیرسکی و همکارن، ۲۰۱۵). محصولات دامی به‌ویژه گوشت قرمز منابع زیادی در مقایسه با محصولات گیاهی مصرف می‌کنند (فالکن‌مارک و لنرستاد، ۲۰۱۰؛ فائو، ۲۰۰۶؛ گونزالز و همکاران، ۲۰۱۱). رژیم‌های غذایی با محصولات حیوانی کمتر جهت کاهش تقاضا برای غذا بسیار سودمند هستند (جاوالا و همکاران، ۲۰۱۴؛ ۲۰۱۶؛ الکساندر و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۷) چرا که محصولات حیوانی به ۲/۵ تا ۱۰۰ برابر منابع بیشتر برای تولید انرژی و پروتئین نسبت به غلات نیاز دارند (کانر و همکاران، ۲۰۱۱) که دلیل این امر تلفات انرژی از یک حلقه به حلقه غذایی بعدی است. تغییر رژیم غذایی به سوی مواد غذایی که هزینه تولید کمتری دارند، یعنی مواد گیاهی به جای مواد حاصل از دام‌ها و نیز استفاده از محصولات دامی با هزینه کمتر (برای مثال استفاده از گوشت مرغ به جای گوشت قرمز)، به کاهش نیاز کمک می‌کند. در بسیاری از نقاط جهان رژیم‌های غذایی جایگزین در حال معرفی هستند طوری که در آن ها از منابع کمتری استفاده شده باشد (پورکا و همکاران، ۲۰۱۳).

در سطح جهان سالیانه در حدود یک سوم از غذای تولید شده (معادل ۱۳/۳ میلیارد تن در سال)، به دلیل تلفات-ضایعات (با احتساب ضایعات در مزرعه در مرحله برداشت) هرگز مصرف نمی‌شود (گوستاوسون وهمکاران، ۲۰۱۱). کاهش تلفات-ضایعات محصولات کشاورزی و مواد غذایی علاوه بر اهمیت آن در تامین غذا برای مردم در یک کشور، می‌تواند نقش مهمی در کاهش فشار بر منابع (آب ، زمین، نهاده‌های کشاورزی) ایفا کند و کاهش اثرات زیست محیطی را نیز در پی داشته باشد (مانیسو و ماسیو، ۲۰۱۹؛ تونینی و همکاران، ۲۰۱۸، رویتر و همکاران، ۲۰۱۷). به عنوان مثال، در کشور استرالیا سهم تلفات/ضایعات محصولات کشاورزی و مواد غذایی (با احتساب ضایعات در مزرعه) از کل آب مصرفی، ۹/۱ درصد تخمین زده‌شده‌است (رویتر و همکاران، ۲۰۱۷). در کشور ژاپن، برای تولید محصولات کشاورزی و مواد غذایی که در سال ۲۰۱۲ به دلیل تلفات-ضایعات (با احتساب ضایعات در مزرعه) از دسترس خارج شدند، به ۱/۲۳ میلیون هکتار زمین زراعی و ۴۱۳ میلیون مترمکعب آب آبیاری نیاز بوده‌است. همچنین تولید این مقدار

[48] این بولتن توسط سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور بخش امور اقتصاد مقاومتی و شورای اقتصاد به فارسی ترجمه شده است

محصولات کشاورزی و مواد غذایی که هرگز مورد استفاده قرار نگرفت، باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای به میزان ۳/۳۱ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن شد (مانیسو و ماسیو، ۲۰۱۹).

میزان مصرف مواد غذایی مختلف بر حسب گرم در روز بر نفر در رژیم غذایی فعلی و یک نمونه رژیم غذایی گیاهی محور

ماده غذایی	رژیم فعلی	Δ	رژیم گیاهی محور
نان، ماکارونی و مشابه	۳۳۷	←	۴۸۱
برنج	۹۱	←	۳۰
حبوبات	۱۸	←	۵۰
سیب‌زمینی	۱۰۹	←	۵۰
روغن	۴۶	←	۳۲
قند و شکر	۶۶	←	۳۱
میوه‌ها	۲۱۲	←	۲۰۰
سبزی‌ها	۲۲۸	←	۳۰۰
گوشت قرمز	۲۸	←	۱۴
مرغ	۶۴	←	۲۹
تخم مرغ	۲۵	←	۱۳
شیر	۱۹۰	←	۱۹۰
ماهی	۱۸	←	۱۸

رژیم غذایی گیاهی محور برای سلامت جامعه مفید است:

- ❑ خطر ابتلا به حمله قلبی، دیابت و برخی سرطان ها را کاهش می دهد
- ❑ فشار خون و کلسترول را کاهش می دهد
- ❑ جذب عناصر معدنی و ویتامین ها بیشتر می شود
- ❑ حفظ وزن مناسب راحتتر می کند

در رژیم غذایی گیاهی محور برای تولید مواد غذایی مورد نیاز، به منابع کمتری نیاز است:

- ○ ۲۴ درصد منابع آب آبی کمتر
- ○ ۷ تا ۱۱ درصد کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتر
- ○ ۱۴ درصد انرژی (سوخت و الکتریسیته) کمتر

رژیم غذایی گیاهی محور برای محیط زیست اثرات منفی کمتری دارد:

رژیم غذایی گیاهی محور باعث ۱۲ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از مزارع، باغات و گلخانه ها می شود

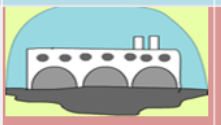
رژیم غذایی گیاهی محور ارزانتر است:

هزینه خرید اقلام غذایی از خرده فروشی ها بر اساس قیمت های سال ۱۳۹۸ با رژیم گیاهی محور ۲۱ درصد کمتر است

موانع و مشکلات:

- ❑ ارتباط رفاه با مصرف بیشتر مواد غذایی حیوانی
- ❑ عادات غذایی جافتاده و رایج
- ❑ عدم آگاهی از فواید
- ❑ عدم اطلاع از غذاهای جایگزین و نحوه پخت آن ها

شکل ۳۶ – اهمیت حرکت به سمت رژیم غذایی گیاهی محور در کشور با توجه به مزایای آن در استفاده کمتر از منابع و نهاده‌ها و سلامت جامعه (برای جزییات به پیوست ۱۴ گزارش مراجعه شود).

مصرف: در منزل یا محل کار شامل رستوران‌ها و مراکز تهیه غذا		عدم خورده شدن فقدان آگاهی	راه‌اندازی چالش‌های آموزش مصرف کنندگان بهبود مهارت‌های پخت و پز توسط مصرف-کنندگان کاهش اندازه قطعات مواد غذایی خوردن مواد غذایی "نازیبا"
توزیع و بازار: در جریان توزیع به بازار شامل کلی فروشی‌ها و خرده فروشی-ها		برچسب های تاریخ مصرف (غیردقیق)	تسهیل اعطای کالاهای فروش نرفته ارایه اطلاعات روش‌های ذخیره و مهیاسازی به مصرف کنندگان تجدید نظر در برچسب‌های تاریخ مصرف تغییر تبلیغات فروشگاهی
فرآوری و بسته‌بندی: در جریان آماده سازی و فرآوری صنعتی و یا بسته‌بندی		استانداردهای غیر ضروری آسیب در فرآوری و بسته بندی	مهندسی مجدد فرآیندهای ساخت بهبود مدیریت زنجیره عرضه بهبود بسته بندی برای نگهداری تازه‌تر و طولانی‌تر
جابه‌جایی و ذخیره سازی: بعد از ترک مزرعه و در جریان جابه‌جایی، ذخیره‌سازی و حمل و نقل		انبارداری نامناسب یا به مدت طولانی آسیب در حمل و نقل و انبارداری	بهبود تکنولوژی انبارداری (مثل سردکن-های تبخیری، کیسه‌های ذخیره سازی، سیلوهای فلزی، جعبه) استفاده از زنجیره سرد با کربن پایین بهبود روش‌های جابه‌جایی بهبود زیر ساخت ها (جاده و حمل و نقل)
برداشت: در حین یا بلافاصله بعد از برداشت		کشت بیش از نیاز بازار عدم برداشت به دلیل اقتصادی ریزی یا آسیب در برداشت	ترویج روش‌های استفاده از محصولات فاقد بازار فروش بهبود خدمات ترویج کشاورزی بهبود دسترسی به زیرساخت ها و بازار بهبود زمان و روش برداشت

سالیانه حدود ۳۰ میلیون تن از محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) تولید شده در داخل کشور به دلیل تلفات/ضایعات از دسترس خارج می‌شود.

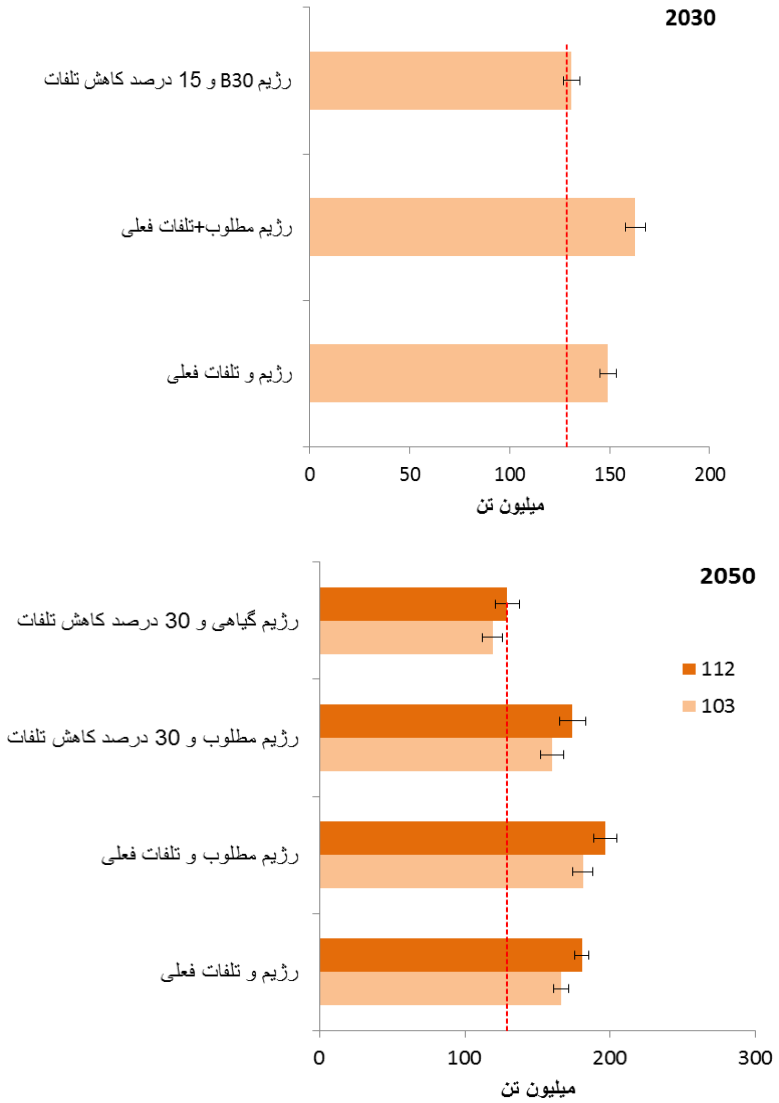
محصول	تلفات/ضایعات (٪)
گندم	۱۵
برنج سفید	۱۰
حبوبات	۱۰
سیب زمینی	۲۰
روغن	۱۲
قند و شکر	۲۴
میوه جات	۴۶
سبزی جات	۳۶
گوشت قرمز	۱۱
گوشت مرغ	۱۲
تخم مرغ	۱۲
شیر	۹
ماهی	۳

معادل های تلفات/ضایعات محصولات کشاورزی:

- ✓ **۲۴ درصد از کل سطح زیرکشت در کشور (۳.۳۹ میلیون هکتار سطح زیرکشت)**
- ✓ **۲۹درصد از کل آب مصرفی در بخش کشاورزی در کشور (۲۵میلیارد متر مکعب آب)**
- ✓ **معادل غذای ۱۸ میلیون نفر**

شکل ۳۷ – مراحل و دلایل وقوع تلفات-ضایعات و برخی راهکارها برای کاهش آن به همراه برآورد درصد تلفات-ضایعات محصولات کشاورزی و معادل‌های آن‌ها در شرایط کنونی کشور (برای جزییات به پیوست ۱۵ گزارش مراجعه شود).

با پیش‌بینی جمعیت ۹۳ میلیون نفری برای کشور در ۲۰۳۰، تقاضا برای محصولات گیاهی (برای تغذیه مستقیم و غیر مستقیم از طریق محصولات دامی) به ۱۴۹ میلیون تن در سال بالغ خواهد شد که ۱۶ درصد بیش از تقاضای فعلی (۱۲۹ میلیون تن در سال) است (شکل ۳۸). در صورتی که رژیم غذایی مردم به رژیم مطلوب مورد توصیه وزارت بهداشت تغییر پیدا کند و این رژیم غذایی جایگزین رژیم فعلی گردد، به ۱۶۳ میلیون تن در سال تولیدات گیاهی نیاز خواهد بود که ۲۶ درصد بیش از تقاضای فعلی است. رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت در مقایسه با رژیم غذایی کنونی به حدود ۱۰ درصد زمین، آب، کودها و انرژی بیشتر برای تولیدات گیاهی نیاز دارد و حدود همین مقدار نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی برای تامین این رژیم بالاتر می‌باشد.



شکل ۳۸ – تاثیر رژیم غذایی و کاهش تلفات–ضایعات بر نیاز به محصولات گیاهی برای تغذیه جمعیت کشور در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰. جمعیت کشور در ۲۰۳۰ معادل ۹۳ میلیون نفر یعنی حد متوسط پیش‌بینی شده لحاظ شده است و برای ۲۰۵۰ معادل ۱۰۳ و ۱۱۲ میلیون نفر لحاظ شده است که حد متوسط و حد بالای پیش بینی شده برای این مقطع زمانی هستند. خطوط عمودی نیاز به محصولات گیاهی در مقطع زمانی پایه (۲۰۱۵) را نشان می-دهند که برابر ۱۲۸/۷ میلیون تن در سال است. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

یک رژیم غذایی که در آن ۳۰ درصد گوشت قرمز مصرفی فعلی با گوشت سفید جایگزین شده باشد، ۳۰ درصد گوشت سفید با حبوبات جایگزین شده باشد و ۳۰ درصد برنج با گندم[۴۹] جایگزین شده باشد و همچنین تلفات–ضایعات به میزان ۱۵ درصد کم شده باشد، به طور موثر تقاضا برای تولیدات گیاهی را کاهش خواهد داد، طوری که تقاضا برای محصولات گیاهی در ۲۰۳۰ با وجود ۱۳ میلیون نفر افزایش جمعیت در حد تقاضای فعلی باقی‌خواهد ماند (شکل ۳۸). شایان ذکر است که رژیم غذایی مذکور که در این

[49] در برخی مناطق کشور مثل طبس در طبخ پلو از گندم به جای برنج استفاده می شود

مطالعه B30 نامگذاری شده‌است، به لحاظ معیارهای سازمان بهداشت جهانی سالم محسوب می‌گردد. همچنین، پیاده سازی این رژیم امکان‌پذیر به‌نظر می‌رسد. رژیم غذایی B30 در مقایسه با رژیم غذایی فعلی به ۱ درصد زمین کمتر، ۹ درصد آب کمتر، ۶ تا ۷ درصد کود و انرژی کمتر نیاز دارد و ردپای کربن آن نیز ۶ درصد کمتر است (پیوست ۱۴). همان‌گونه که قبلا توضیح داده شد، از سال ۲۰۱۰ به این سو مصرف گوشت قرمز و برنج احتمالا به دلیل تحریم‌ها و افزایش قیمت‌ها، به نفع مصرف بیشتر گوشت مرغ و گندم کاهش پیدا کرده است.

برای مقطع زمانی ۲۰۵۰ یک رژیم گیاهی پایدار به جای رژیم B30 لحاظ شد که مشخصات آن در شکل ۳۶ ارایه شده است. در این رژیم غذایی مصرف گوشت قرمز و ماهی به یک وعده در هفته، گوشت مرغ به دو وعده در هفته، تخم مرغ به نصف فعلی و شیر در حد فعلی محدود می‌گردد. این رژیم غذایی انعطاف‌پذیر[50] خوانده می‌شود و توسط گروه بزرگی از دانشمندان در سال ۲۰۱۹ توصیه شده است (اسپرینگمن و همکاران، ۲۰۱۸؛ ویلت و همکاران، ۲۰۱۹). این رژیم غذایی در مقایسه با رژیم غذایی فعلی به ۶ درصد زمین بیشتر، ولی ۲۴ درصد آب کمتر، ۷ تا ۱۴ درصد کودها و انرژی کمتر نیاز دارد و ردپای کربن آن نیز ۱۲ درصد کمتر است (پیوست ۱۴).

تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات در افق ۲۰۵۰ نتایج مشابهی در پی خواهد داشت. استفاده از رژیم غذایی فعلی و وقوع تلفات-ضایعات در حد کنونی باعث می‌شود در ۲۰۵۰ در صورت افزایش جمعیت به ۱۰۳ میلیون نفر، به ۱۶۶ میلیون تن در سال تولیدات گیاهی نیاز باشد که ۲۹ درصد بیش از تقاضای کنونی است. در حالی که در صورت افزایش جمعیت به ۱۱۲ میلیون نفر به تولیدات گیاهی باز هم بیشتری نیاز است، یعنی ۱۸۰ میلیون تن در سال که ۴۰ درصد بیش از تقاضای فعلی است (شکل ۳۸). در صورت پیاده سازی رژیم مطلوب وزرات بهداشت و عدم تغییر تلفات-ضایعات، برای جمعیت ۱۰۳ میلیون نفر به ۴۱ درصد و برای جمعیت ۱۱۲ میلیون نفر به ۵۳ درصد تولیدات بیشتر نیاز خواهد بود. اما، در صورتی که رژیم غذایی انعطاف‌پذیر جایگزین شده باشد و تلفات-ضایعات به میزان ۳۰ درصد کمتر شده باشد، نیاز به تولیدات گیاهی به ۱۲۰ میلیون تن برای ۱۰۳ میلیون نفر و به ۱۲۹ میلیون تن برای ۱۱۲ میلیون نفر محدود می‌گردد که در حد تقاضای فعلی و حتی کمتر از آن است (شکل ۳۸).

بنابراین، همان‌طور که ملاحظه می‌شود این ظرفیت وجود دارد که با مدیریت رژیم غذایی و تلفات-ضایعات، تقاضا برای محصولات گیاهی در مقاطع زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ در حدی مشابه تقاضای فعلی محدود گردد علی‌رغم این که جمعیت ۱۳ تا ۲۶ میلیون نفر افزایش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، به نظر می رسد در توصیه سبد مطلوب برای ایرانیان توسط وزارت بهداشت، موضوع نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی و هزینه آبی آن به عنوان یک متغیر مهم لحاظ نشده است. لازم است این رژیم با رژیم‌های متناسب با محدودیت‌های بیوفیزیکی کشور جایگزین گردد.

یکی دیگر از دلایلی که به مدیریت تقاضا اهمیت می‌دهد، نقش آن بر تقاضا برای علوفه از مراتع کشور است. در حال حاضر، تقاضا برای علوفه مرتعی سالانه ۱۰/۲ میلیون تن است. برآورد می‌شود این تقاضا در افق ۲۰۳۰ با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی ۲۹ درصد و با رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت همراه با تلفات-ضایعات کنونی ۵۷ درصد افزایش یابد و به‌ترتیب به ۱۱/۹ و ۱۶/۱ میلیون تن در سال بالغ گردد (شکل ۳۹). در افق زمانی ۲۰۵۰ و جمعیت ۱۰۳ میلیون نفری کشور در آن مقطع، این افزایش برای رژیم غذایی کنونی و مطلوب با فرض تلفات-ضایعات در سطح کنونی به‌ترتیب ۲۹ و ۷۵ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۳۹). با توضیحاتی که درباره تاثیر تغییر اقلیم بر تولید مراتع ارایه شد، به‌نظر می‌رسد در آینده مراتع قادر به تامین این نیازها نخواهند بود و باید به فکر جایگزین‌های مناسب بود. اما، در صورت پیاده‌سازی رژیم غذایی B30 همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات در افق ۲۰۳۰

[50] Flexitarian

و نیز پیاده‌سازی رژیم غذایی گیاهی محور و ۳۰ درصد کاهش تلفات-ضایعات در افق ۲۰۵۰، تقاضا برای علوفه مرتعی در حدی کمتر از مقدار فعلی باقی‌خواهد ماند (شکل ۳۹).

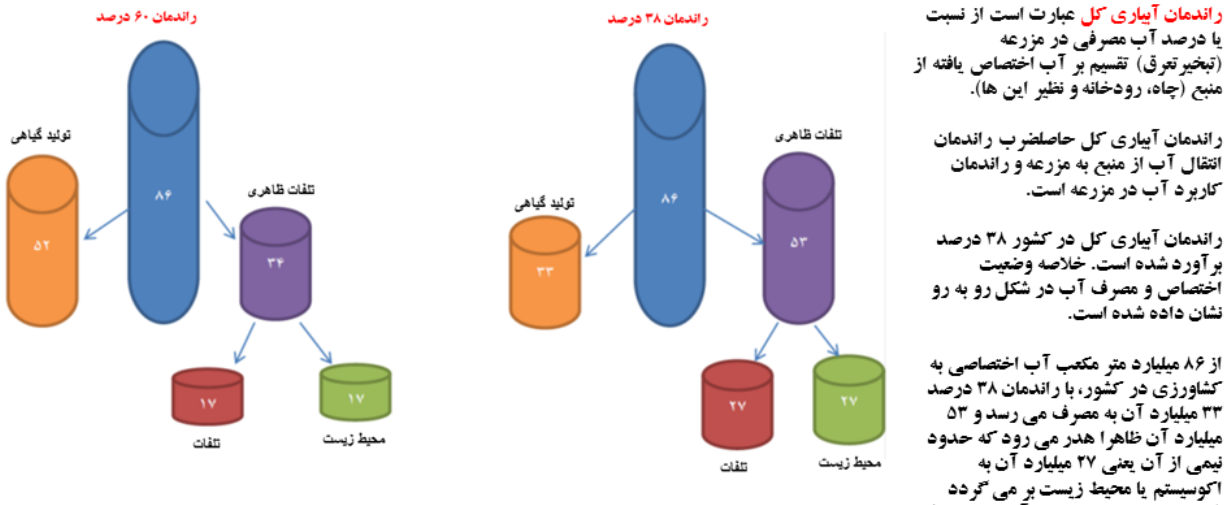
شکل ۳۹ – تاثیر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات بر نیاز به علوفه مرتعی برای تغذیه جمعیت کشور در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰. جمعیت کشور در ۲۰۳۰ معادل ۹۳ میلیون نفر یعنی حد متوسط پیش‌بینی شده لحاظ شده است و برای ۲۰۵۰ معادل ۱۰۳ و ۱۱۲ میلیون نفر لحاظ شده است که حد متوسط و حد بالای پیش بینی شده برای این مقطع زمانی هستند. خط عمودی نیاز فعلی به علوفه مرتعی در مقطع زمانی پایه (۲۰۱۵) مطالعه حاضر را نشان می‌دهند که برابر ۱۰/۲ میلیون تن در سال است. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

۳-۲-۵-ظرفیت اقدام از طریق فشرده سازی کشاورزی

فشرده سازی به معنی تولید بیشتر از هر واحد منابع یا نهاده‌های به‌کاررفته در کشاورزی است. فشرده‌سازی اکولوژیک[51] به این معنی است که فشرده سازی به صورتی انجام شود که کمترین اثرات زیانبار را برای محیط زیست داشته باشد. در سیستم SEA فشرده سازی از طریق تغییر ضریب خلا عملکرد نسبی و راندمان آبیاری قابل شبیه‌سازی و بررسی می‌باشد. شکل ۴۰ مفهوم خلا عملکرد، دلایل و راه‌های مرتفع‌سازی آن را نشان می‌دهد و شکل ۴۱ مفهوم راندمان آبیاری و نکاتی در ارتباط با افزایش آن را به نمایش می‌گذارد. گزارشات متعددی در دست است که نشان می‌دهد فشرده‌سازی دارای ردپای اکولوژیک کمتر می‌باشد و بنابراین برای محیط زیست پاک‌تر خواهد بود (فولی و همکاران، ۲۰۱۱؛ اسمیت ۲۰۱۳؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴).

شکل ۴۰ – مفهوم پتانسیل و خلا عملکرد، دلایل خلا عملکرد و برخی راهکارها برای رفع آن در راستای فشرده سازی تولید.

[51] Ecological Intensification



راندمان آبیاری کل عبارت است از نسبت یا درصد آب مصرفی در مزرعه (تبخیرتعرق) تقسیم بر آب اختصاص یافته از منبع (چاه، رودخانه و نظیر این ها).

راندمان آبیاری کل حاصلضرب راندمان انتقال آب از منبع به مزرعه و راندمان کاربرد آب در مزرعه است.

راندمان آبیاری کل در کشور ۳۸ درصد برآورد شده است. خلاصه وضعیت اختصاص و مصرف آب در شکل رو به رو نشان داده شده است.

از ۸۶ میلیارد متر مکعب آب اختصاصی به کشاورزی در کشور، با راندمان ۳۸ درصد ۳۳ میلیارد آن به مصرف می رسد و ۵۳ میلیارد آن ظاهرا هدر می رود که حدود نیمی از آن یعنی ۲۷ میلیارد آن به اکوسیستم یا محیط زیست بر می گردد اگرچه ممکن است کیفیت آن کاهش یافته باشد.

راندمان آبیاری کل ۲۰ تا ۳۰ درصد ضعیف، ۴۰ درصد قابل قبول و ۵۰ تا ۶۰ درصد خوب محسوب می گردد.

در صورتی که آب اختصاصی به کشاورزی در حد فعلی (۸۶ میلیارد) بماند، افزایش راندمان از ۳۸ به ۶۰، مقدار آب مصرفی در مزرعه را از ۳۳ به ۵۲ میلیارد افزایش می دهد که می تواند باعث افزایش چشمگیر تولیدات گیاهی شود. اما، باید توجه داشت که در این حالت مقدار آب برگشتی از ۲۷ به ۱۷ میلیارد کاهش پیدا می کند و به معنی بدتر شدن وضعیت برای گردش آب در طبیعت و اکوسیستم ها خواهد بود.

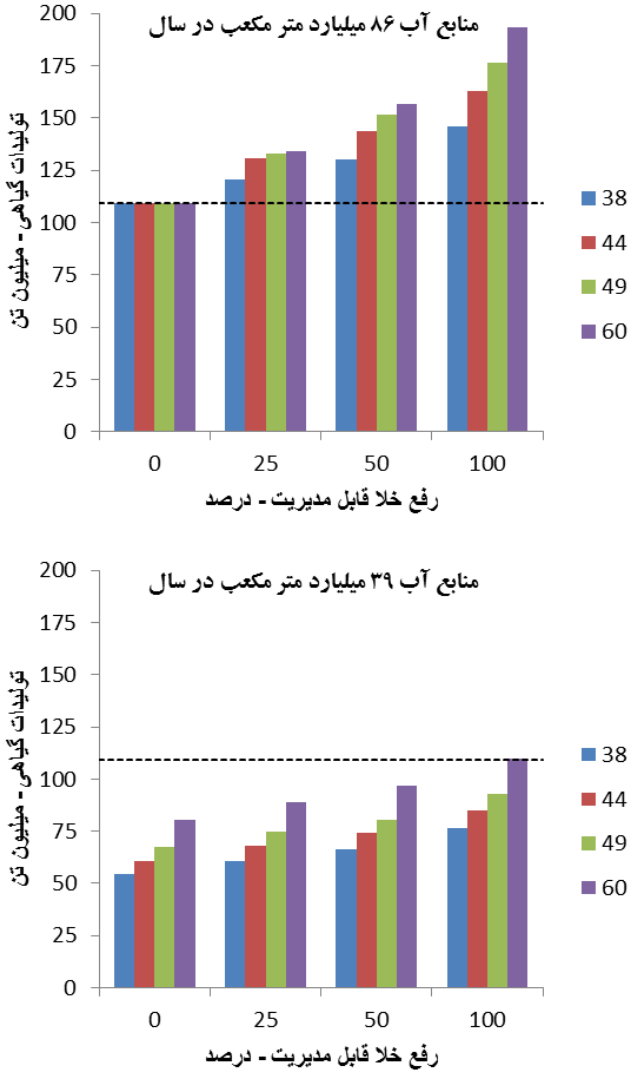
افزایش راندمان آبیاری به معنی صرفه جویی آب نیست و در صورتی که منابع آب کنترل و مدیریت نشوند، باعث خشکی بیشتر محیط خواهد شد. در سال های گذشته، افزایش راندمان آبیاری بدون کنترل و کاهش مقدار منابع آب اختصاصی به کشاورزی در واقع شرایط محیط زیست را خشک تر کرده است. کنترل و مدیریت فیزیکی منابع آب کشور باید بر برنامه های افزایش راندمان آبیاری تقدم داشته باشد. در غیر این صورت پیامدهای بهره برداری بیش از حد از منابع آب تشدید خواهد شد.

در صورتی که امکان مدیریت و کاهش منابع آب اختصاصی به کشاورزی وجود نداشته باشد، بهتر است برنامه های افزایش راندمان آبیاری کنار گذاشته شوند. اما، در شرایطی که منابع آب اختصاصی به کشاورزی کاهش یابد و آب کافی برای چرخه آب و اکوسیستم ها قبلا کنار گذاشته شود، آن گاه افزایش راندمان آبیاری اقدامی مفید برای بهبود تولیدات گیاهی خواهد بود.

شکل ۴۱ – مفهوم راندمان آبیاری کل و ملاحظات مهم در افزایش آن در برنامه‌های فشرده سازی.

در شکل ۴۲ تاثیر فشرده‌سازی بر تولیدات گیاهی کشور برای دو سطح منابع آب کشاورزی برای شرایط اقلیمی و الگوی کشت فعلی شبیه‌سازی شده‌است. در شرایط فعلی که ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال منابع آب در کشاورزی به مصرف می‌رسد، رفع کامل (۱۰۰ درصد) خلا عملکرد قابل مدیریت توام با افزایش راندمان آبیاری می‌تواند تولیدات گیاهی را از مقدار ۱۰۹ میلیون تن فعلی بسته به افزایش راندمان آبیاری به ۱۴۶ تا ۱۹۳ میلیون تن افزایش دهد. به همین ترتیب، رفع ۵۰ درصد خلا عملکرد قابل دستیابی باعث افزایش تولیدات گیاهی به ۱۳۰ تا ۱۵۷ میلیون تن می‌گردد. به‌همین ترتیب، در شرایط فعلی اگر منابع آب اختصاصی به کشاورزی ۳۹ میلیارد متر مکعب باشد، تولیدات گیاهی با مدیریت کنونی (یعنی خلا عملکرد ۶۰ درصد و راندمان آبیاری ۳۸ درصد) ۵۴ میلیون تن خواهد بود. رفع ۵۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت بسته به میزان افزایش راندمان آبیاری، تولیدات گیاهی را به ۶۷ تا ۹۷ میلیون تن افزایش می‌دهد. در صورتی که ۱۰۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت رفع شود، بسته به راندمان آبیاری، تولیدات گیاهی به ۷۷ تا ۱۱۰ میلیون تن افزایش پیدا خواهد کرد. بنابراین، همان طور که ملاحظه می‌شود، در شرایطی که منابع آب آبی کشاورزی به ۴۵ درصد کنونی کاهش یافته باشد (از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال در شرایط اقلیمی فعل)، با فشرده سازی کامل این امکان وجود دارد

که به تولیدات گیاهی در حد کنونی دست پیدا کرد. اما، عملی بودن[52] گزینه‌های کاهش خلا عملکرد و افزایش راندمان آبیاری حایز اهمیت است و در این‌جا مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۴۲ – تاثیر فشرده سازی بر تولید گیاهی در شرایط اقلیمی و الگوی کشت فعلی در صورتی‌که آب اختصاصی به کشاورزی ۸۶ یا ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال باشد. فشرده سازی با رفع خلا عملکرد قابل مدیریت (۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد فعلی به ۴۴، ۴۹ و ۶۰ درصد (اعداد کنار نمودارها) شبیه‌سازی شده‌است. خلا عملکرد فعلی ۶۰ درصد می‌باشد. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

در سال‌های گذشته راندمان آبیاری در کشور سالانه ۰/۶۳ درصد در سال به واسطه برنامه‌های موجود، افزایش یافته است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). چنان‌چه همین نرخ افزایش تداوم داشته باشد، رسیدن به راندمان آبیاری ۶۰ درصد در ۲۰۵۰ مقدور خواهد بود. اما

[52] Feasiability

اگر نرخ افزایش به ۱ درصد افزایش یابد، دستیابی به راندمان آبیاری ۶۰ درصد در ۲۰۳۷ ممکن خواهد شد. با توجه به تحریم‌های کنونی احتمالا نرخ رشد پایین‌تر، منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد. اما، در صورت برداشته‌شدن تحریم‌ها و توجه جدی دولت، نرخ افزایش بیشتر از ۱ درصد هم ممکن خواهد شد. بنابراین، در این مطالعه برای مقطع ۲۰۳۰ افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۴۹ درصد در سناریوی فشرده سازی متوسط و افزایش به ۶۰ درصد در سناریوی فشرده سازی زیاد (حداکثر) لحاظ شده است. برای مقطع زمانی ۲۰۵۰، افزایش به ۴۹ درصد به عنوان فشرده سازی کم و افزایش به ۶۰ درصد در سطوح فشرده سازی متوسط و زیاد لحاظ شده‌اند.

یک نکته مهم مرتبط با راندمان آبیاری این است که افزایش راندمان آبیاری به معنی صرفه جویی آب نیست و در صورتی که منابع آب کنترل و مدیریت نشوند، باعث خشکی بیشتر محیط خواهد شد. افزایش راندمان آبیاری در کشور در دهه گذشته با کاهش بهره‌برداری از آب در کشاورزی، همراه نبوده‌است. برعکس، بهره‌برداری از منابع آب به‌رغم افزایش راندمان آبیاری به صورت یکنواختی افزایش پیدا کرده است (ناصری و همکاران، ۱۳۹۶) و در واقع شرایط محیط زیست کشور را خشک تر کرده است. دلیل این است که کشاورزان آب صرفه‌جویی شده را برای آبیاری سطح بزرگتر یا کشت گیاهانی که به آب بیشتری نیاز دارند، به مصرف رسانده‌اند. افزایش راندمان آبیاری توام با کاهش برداشت آب می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی تقاضا برای آب و در نتیجه فشار بر منابع آب آبی را کاهش دهد. بنابراین، کنترل و مدیریت فیزیکی منابع آب کشور باید بر برنامه‌های افزایش راندمان آبیاری تقدم داشته باشد. در غیر این صورت پیامدهای بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب تشدید خواهد شد. این پارادوکس مرتبط با راندمان آبیاری توسط گرفتون و همکاران (۲۰۱۸) مورد بحث قرار گرفته است. در شکل ۴۱ نیز نشان داده شده است که چگونه افزایش راندمان آبیاری می‌تواند باعث بدتر شدن و خشکی بیشتر اکوسیستم‌ها گردد. افزایش راندمان آبیاری در کشور فقط در شرایطی قابل توجیه است که بهره‌برداری از منابع آب توسط دولت یا سایر نهادها قابل کنترل باشد. در غیر این صورت، مقادیر پایین‌تر راندمان آبیاری ترجیح دارند زیرا بخشی از آب تلف شده مجددا به محیط زیست برمی‌گردد. در یک گزارش جدید FAO (پری و همکاران، ۲۰۱۷) نتیجه گیری شده است که کنترل دسترسی به منابع آب باید بر برنامه‌های آبیاری تحت فشار (که راندمان آبیاری بالاتر دارند) تقدّم داشته‌باشند. بنابراین، در صورتی که امکان مدیریت و کاهش منابع آب اختصاصی به کشاورزی وجود نداشته باشد، بهتر است برنامه های افزایش راندمان آبیاری کنار گذاشته شوند. اما، در شرایطی که منابع آب اختصاصی به کشاورزی کاهش یابد و آب کافی برای چرخه آب و اکوسیستم‌ها قبلا کنار گذاشته‌شود، آن‌گاه افزایش راندمان آبیاری اقدامی مفید برای بهبود تولیدات گیاهی خواهدبود.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی نشان داده شد، خلا عملکرد بزرگی در کشور وجود دارد که متوسط وزنی آن ۶۰ درصد است به این معنی که فقط از ۴۰ درصد پتانسیل عملکردها استفاده می‌شود (شکل ۱۶). خلا عملکرد دلایل متعددی دارد که در سطوح مختلف از مزرعه تا سطوح بالاتر عمل می‌کنند و برای رفع آن نیز باید روش‌های مناسب هر بخش به کار گرفته شود. بخشی از خلا عملکرد در مزارع به طور ساده ناشی از دانش کم و مدیریت نامناسب کشاورز است مثل تاریخ کاشت دیر هنگام، استفاده از مقادیر زیر حد مناسب کودها یا استفاده در زمان نامناسب، مدیریت نامناسب علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و نظیر این‌ها. با ترویج و انتقال دانش از کشاورزان پیشرو به سایر کشاورزان، این بخش از خلا قابل رفع خواهد بود (شکل ۴۰). بخش دیگری از خلا عملکرد به عواملی چون محدودیت های سرمایه، بیمه و بازار بستگی دارد که مانع از این می‌شود که کشاورز بتواند مدیریت مزرعه خود را به سطحی بالاتر ارتقا دهد. بخشی دیگر از خلا عملکرد، ناشی از کمبود زیرساخت‌ها، ماشین‌آلات و نهاده‌ها است که برای رفع این بخش باید سرمایه‌گذاری در جاده‌های روستایی و تولید یا واردات ماشین‌آلات مناسب و نهاده‌های کشاورزی (مثل کود وسم) صورت گیرد. و سرانجام بخش آخر خلا عملکرد همان بخش غیرقابل دستیابی یا غیر قابل مدیریت است که رفع آن مستلزم سطح بسیار بالای مدیریت

فنّی مزرعه، مصرف زیاد نهاده‌ها است که احتمال دارد از نظر زیست‌محیطی هم قابل توجیه نباشد. احتمال دارد این بخش در طول زمان با گسترش تکنولوژی‌ها، سیاست‌ها و روش‌های تحول ساز قابل‌رفع باشد.

جدول ۱۲ – عملکرد واقعی (Y_a؛ تن در هکتار)، عملکرد پتانسیل (Y_p؛ تن در هکتار) و خلا عملکرد نسبی (RYG؛ درصد) تحت شرایط فعلی (سال پایه ۲۰۱۵)، عملکردهای هدف (Y_a؛ تن در هکتار) در شرایط رفع ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد خلا قابل مدیریت و نرخ لازم افزایش عملکرد (درصد در سال) برای رسیدن به عملکردهای هدف در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰.

				عملکرد هدف			نرخ برای ۲۰۳۰			نرخ برای ۲۰۵۰		
گیاه	Y_a	Y_p	RYG	٪ ۲۵	٪ ۵۰	٪۱۰۰	٪ ۲۵	٪ ۵۰	٪۱۰۰	٪ ۲۵	٪ ۵۰	٪۱۰۰
شرایط آبی												
گندم	۳/۲	۸/۵	۶۲	۴/۱	۵/۰	۶/۸	۱/۸	۳/۷	۷/۳	۰/۸	۱/۶	۳/۱
برنج	۴/۴	۷/۹	۴۴	۴/۹	۵/۴	۶/۳	۰/۷	۱/۴	۲/۹	۰/۳	۰/۶	۱/۲
حبوبات	۱/۸	۴/۲	۵۶	۲/۲	۲/۶	۳/۴	۱/۴	۲/۷	۵/۵	۰/۶	۱/۲	۲/۳
سیب‌زمینی	۳۰/۸	۶۹/۴	۵۶	۳۷/۰	۴۳/۲	۵۵/۶	۱/۳	۲/۷	۵/۴	۰/۶	۱/۱	۲/۳
دانه‌های روغنی	۲/۰	۴/۷	۵۸	۲/۴	۲/۹	۳/۷	۱/۵	۳/۰	۶/۱	۰/۶	۱/۳	۲/۶
گیاهان قندی	۶۲/۵	۱۱۹/۴	۴۸	۷۰/۸	۷۹/۰	۹۵/۵	۰/۹	۱/۸	۳/۵	۰/۴	۰/۸	۱/۵
میوه‌ها	۸/۱	۲۶/۷	۶۹	۱۱/۴	۱۴/۷	۲۱/۳	۲/۷	۵/۴	۱۰/۸	۱/۲	۲/۳	۴/۶
سبزی-صیفی	۳۲/۳	۷۳/۱	۵۶	۳۸/۹	۴۵/۴	۵۸/۵	۱/۴	۲/۷	۵/۴	۰/۶	۱/۲	۲/۳
جو	۲/۹	۶/۹	۵۷	۳/۶	۴/۲	۵/۵	۱/۵	۲/۹	۵/۹	۰/۶	۱/۳	۲/۵
ذرت دانه‌ای	۷/۰	۱۶/۰	۵۶	۸/۵	۹/۹	۱۲/۸	۱/۴	۲/۷	۵/۵	۰/۶	۱/۲	۲/۳
ذرت سیلویی	۵۰/۷	۹۲/۶	۴۵	۵۶/۶	۶۲/۴	۷۴/۱	۰/۸	۱/۵	۳/۱	۰/۳	۰/۷	۱/۳
علوفه (بقولات)	۹/۸	۳۰/۲	۶۸	۱۳/۴	۱۷/۰	۲۴/۲	۲/۵	۴/۹	۹/۸	۱/۱	۱/۲	۴/۲
شرایط دیم												
گندم	۰/۹	۲/۳	۶۰	۱/۲	۱/۴	۱/۹	۱/۶	۳/۳	۶/۵	۰/۷	۱/۴	۲/۸
حبوبات	۰/۵	۱/۳	۶۶	۰/۶	۰/۸	۱/۱	۲/۲	۴/۴	۸/۹	۱/۰	۱/۹	۳/۸
دانه‌های روغنی	۱/۰	۲/۴	۶۰	۱/۲	۱/۵	۱/۹	۱/۷	۳/۳	۶/۷	۰/۷	۱/۴	۲/۹
میوه‌ها	۳/۳	۸/۱	۶۰	۱/۴	۴/۹	۶/۵	۱/۶	۳/۳	۶/۶	۰/۷	۱/۴	۲/۸
جو	۱/۰	۲/۷	۶۱	۱/۳	۱/۶	۲/۱	۱/۸	۳/۵	۷/۱	۰/۸	۱/۵	۳/۰
علوفه (بقولات)	۵/۷	۱۱/۳	۴۹	۶/۵	۷/۴	۹/۰	۱/۰	۱/۹	۳/۸	۰/۴	۰/۸	۱/۶

عملکرد هدف (Y_t) و نرخ خطی افزایش عملکرد مورد نیاز (g؛ درصد در سال) با یکدیگر ارتباط دارند: $Y_t=Y_a+(g\times Y_a\times y)/100$ که در آن y تعداد سال از سال پایه تا سال مورد نظر (۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰) است.

رفع خلا عملکرد می‌تواند باعث بهبود قابل‌توجه در تولید محصولات کشاورزی و غذا شود، اما عملی بودن سرعت لازم برای افزایش عملکرد نیز باید در نظر گرفته‌شود. در جدول ۱۲ نشان داده شده است که رفع خلا عملکرد قابل‌مدیریت به چه سطوحی از عملکردها در گیاهان و گروه‌های گیاهی مختلف منجر می‌شود و برای دستیابی به این عملکردها در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ چه نرخ افزایش عملکردی مورد نیاز است. برای مثال در گندم آبی، رفع ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت باعث می‌شود عملکرد این

گیاه از ۳/۲ تن در هکتار در شرایط فعلی به ترتیب به ۴/۱، ۵/۰ و ۶/۸ تن در هکتار برسد و برای این منظور در افق ۲۰۳۰ باید نرخ افزایش عملکرد به ترتیب ۱/۸، ۳/۷ و ۷/۳ درصد در سال باشد (جدول ۱۲). برای سایر گیاهان نیز شرایط مشابهی حاکم است طوری که برای رفع کامل خلا قابل مدیریت به متوسط نرخ افزایش عملکرد ۵/۹ درصد در سال در شرایط آبی و ۶/۶ درصد در سال در شرایط دیم نیاز است. در همین افق برای رفع ۵۰ درصد خلا قابل مدیریت، نرخ افزایش عملکرد در شرایط آبی ۳/۰ درصد در سال و در شرایط دیم ۳/۳ درصد در سال است و برای رفع ۲۵ درصد خلا عملکرد قابل‌مدیریت، این نرخ به ۱/۵ درصد در سال برای شرایط آبی و ۱/۶ درصد در سال در شرایط دیم کاهش پیدا می‌کند. در صورتی که رفع خلا عملکرد در افق ۲۰۵۰ مد نظر باشد به دلیل فاصله زمانی بیشتر به نرخ‌های افزایش عملکرد کوچکتری نیاز خواهد بود (جدول ۱۲). در شرایط آبی برای رفع ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد خلا قابل مدیریت به طور متوسط افزایش عملکرد ۰/۶، ۱/۳ و ۲/۵ درصد در سال نیاز خواهد بود. این نرخ‌ها برای شرایط دیم به ترتیب عبارتند از ۰/۷، ۱/۴ و ۲/۸ درصد در سال (جدول ۱۲).

جدول ۱۳ – سرعت واقعی افزایش عملکرد در گیاهان زراعی اصلی کشور در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بر اساس اطلاعات عملکرد در واحد سطح از FAO.

گیاه یا گروه گیاهی	سرعت تغییرات واقعی عمکلرد (درصد در سال)
گندم	ns ۰/۲۷
شلتوک	ns –۰/۲۵
حبوبات	* ۱/۳۴
سیب زمینی	** ۲/۳۸
محصولات روغنی	ns۱/۲۶
محصولات قندی	۳/۹۹ ** برای چغندر قند و ns –۰/۸۸ برای نیشکر
میوه	ns۰/۴
صیفی و سبزیجات	** ۱/۶
جو	ns ۰/۶۷
ذرت دانه‌ای	ns ۰/۳۵
علوفه بقولات	ns۱/۲۶

ns عدم معنی‌داری سرعت تغییرات عملکرد؛ * و **معنی‌داری تغییرات سرعت عملکرد به ترتیب در سطح احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد

توجه به عملی بودن نرخ‌های لازم برای افزایش عملکرد در برنامه‌های افزایش عملکرد اهمیت زیادی دارد تا این برنامه‌ها منطقی و قابل اجرا باشند. ری و همکاران (۲۰۱۳) افزایش واقعی در عملکرد ذرت، برنج، گندم و سویا در سطح جهان و در کشورهای مختلف را ارزیابی کردند و نشان دادند که در دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸، حداکثر افزایش عملکرد ۳ تا ۴ درصد در سال بوده است. بنابراین، رفع کامل خلا عملکرد قابل مدیریت در کشور تا ۲۰۳۰ که به سرعت حدود ۶ درصد در سال نیاز دارند، ممکن به نظر نمی‌رسد. اما، کاهش خلا عملکرد نسبی به ۴۰ درصد با رفع ۵۰ درصد خلا عملکرد قابل دستیابی که به سرعت افزایش عملکرد ۳ درصد در سال نیاز دارد، ممکن است عملی باشد. با سرعت افزایش عملکرد ۳ درصد در سال، رفع کامل خلا عملکرد قابل مدیریت در ۲۰۴۶ ممکن خواهد شد. نرخ ۳ درصد در سال هنوز برای کشاورزی کشور چالش بزرگی خواهد بود به ویژه این که چنین افزایش

عملکردهایی تاکنون در کشور تجربه نشده است. جدول ۱۳ شیب افزایش عملکردها برای گیاهان زراعی مهم کشور در فاصله زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد: به استثنای حبوبات، سیب‌زمینی، چغندرقند و سبزی-صیفی در هیچ یک دیگر گیاهان افزایش معنی-داری در عملکرد تجربه نشده‌است. باید توجه داشت که مسئله افزایش عملکرد باید به صورت مداوم در دولت‌های مختلف مورد توجه قرار گیرد. کاهش افزایش عملکرد در یک دولت نتایج قبلی افزایش عملکرد را خنثی خواهد کرد.

با توجه به مطالب فوق در این مطالعه برای هر یک از مقاطع زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ سه سطح فشرده سازی تعریف شده و تاثیر آن بر تولید و خودکفایی بررسی گردید.

سطوح فشرده سازی برای ۲۰۳۰ عبارتند از (جدول ۱۴):

- هیچ: نظر به فاصله زمانی محدود تا ۲۰۳۰ فرض گردید خلا عملکرد و راندمان آبیاری تا ۲۰۳۰ تغییر نکرده و در سطوح فعلی باقی بمانند، یعنی متوسط کشوری خلا عملکردنسبی ۶۰ درصد و راندمان آبیاری ۳۸ درصد.
- متوسط: فرض شده است تا آن زمان ۲۵ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت رفع می‌شود یعنی متوسط خلا عملکرد کشور از ۶۰ درصد کنونی به ۵۰ درصد کاهش پیدا می‌کند و راندمان آبیاری از ۳۸ درصد فعلی به ۴۹ درصد افزایش می‌یابد. نرخ افزایش عملکرد مورد نیاز برای این سطح فشرده سازی ۱/۵ درصد در سال و نرخ افزایش راندمان آبیاری ۰/۷۳ درصد در سال خواهد بود.
- زیاد: فرض شده است ۵۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت تا ۲۰۳۰ رفع می‌گردد طوری که متوسط خلا عملکرد کشور از ۶۰ درصد کنونی به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد و راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۶۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. نرخ افزایش عملکرد مورد نیاز برای این سطح فشرده سازی ۳/۰ درصد در سال و نرخ افزایش راندمان آبیاری ۱/۵ درصد در سال خواهد بود.

جدول ۱۴ – خلا عملکرد نسبی هدف و راندمان آبیاری هدف و سرعت مورد نیاز برای افزایش عملکرد و راندمان آبیاری برای سطوح مختلف فشرده‌سازی در افق‌های زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰.

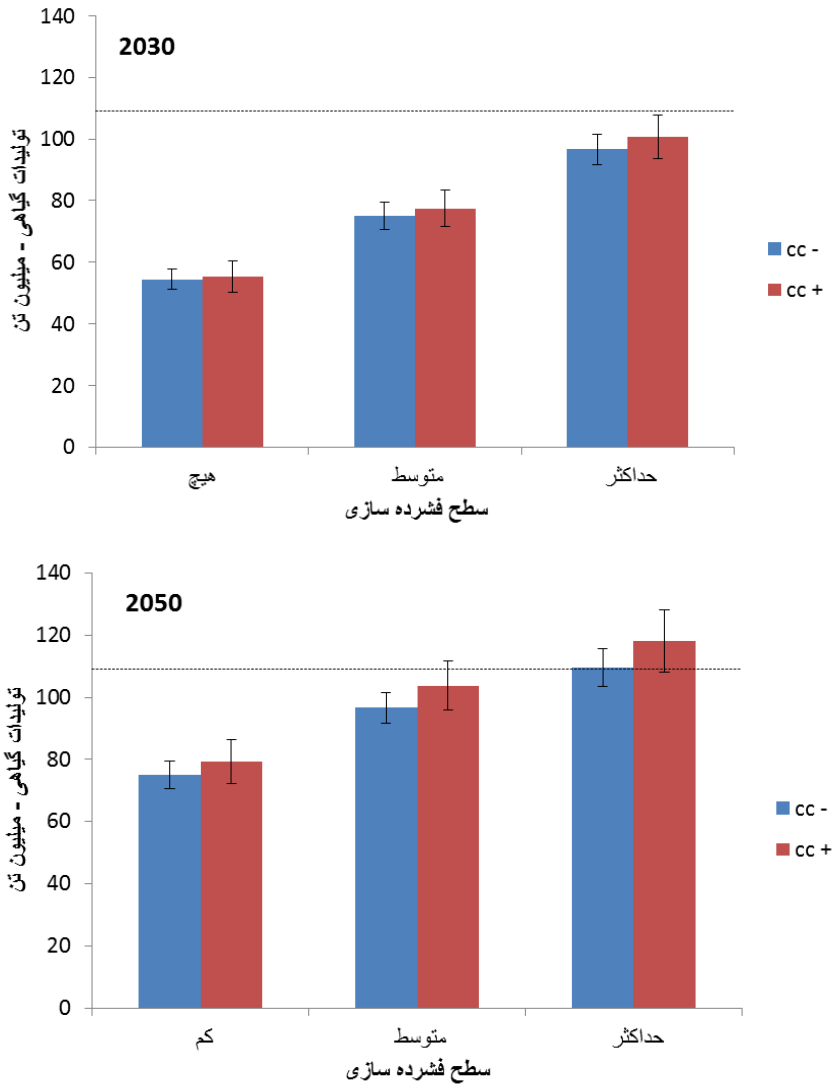
سطح فشرده سازی	خلا عملکرد نسبی هدف (درصد)	سرعت مورد نیاز برای افزاش عملکرد (درصد در سال)	راندمان آبیاری هدف (درصد)	سرعت لازم برای افزایش راندمان آبیاری (درصد در سال)
افق ۲۰۳۰				
هیچ	۶۰	۰/۰	۳۸	۰/۰
متوسط	۵۰	۱/۵	۴۹	۰/۷۳
زیاد	۴۰	۳/۰	۶۰	۱/۵
افق ۲۰۵۰				
کم	۵۰	۰/۶	۴۹	۰/۳
متوسط	۴۰	۱/۳	۶۰	۰/۶
زیاد	۲۰	۲/۵	۶۰	۰/۶

و برای مقطع زمانی ۲۰۵۰ سطوح فشرده سازی عبارتند از (جدول ۱۴):

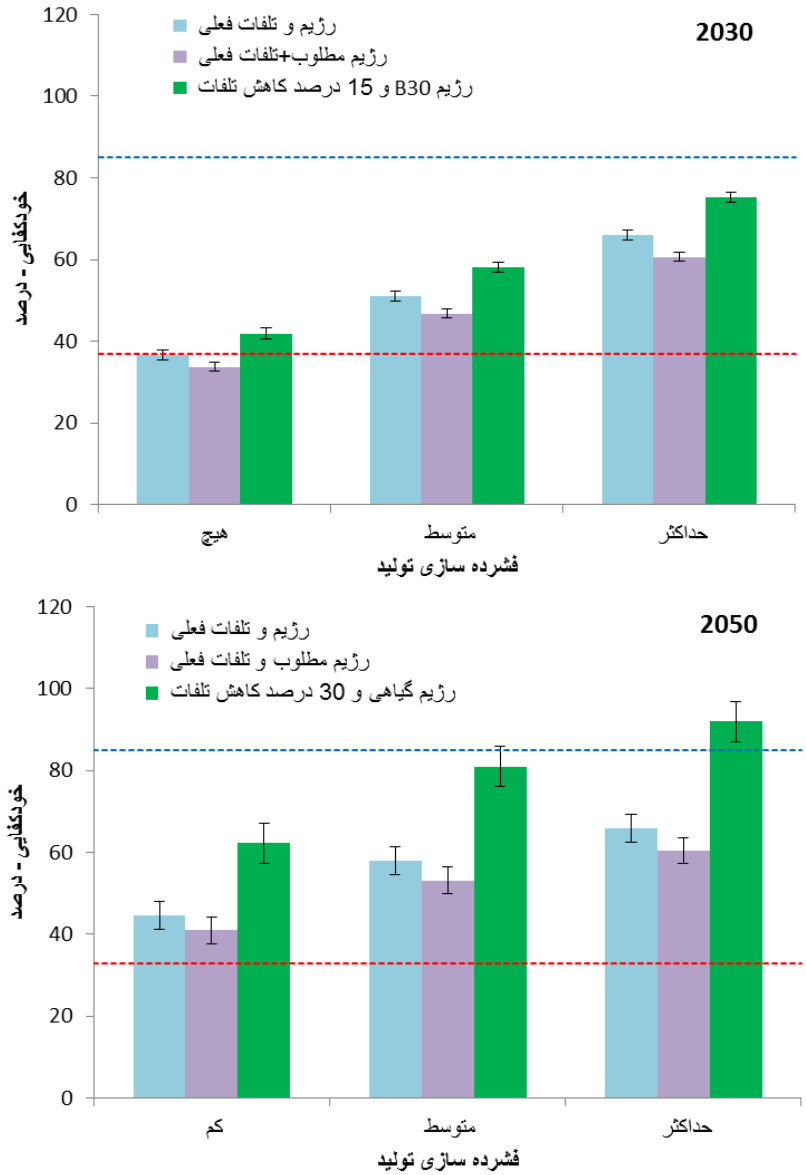
- کم: ۲۵ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت تا ۲۰۵۰ رفع می‌شود و خلا عملکرد نسبی از ۶۰ درصد فعلی به ۵۰ درصد تنزّل پیدا می‌کند و همزمان راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۴۹ درصد ارتقا پیدا می‌کند. نرخ افزایش عملکرد مورد نیاز برای این سطح فشرده سازی ۰/۶ درصد در سال و نرخ افزایش راندمان آبیاری ۰/۳ درصد در سال خواهد بود.
- متوسط: ۵۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت تا ۲۰۵۰ رفع می‌شود و خلا عملکرد نسبی از ۶۰ درصد فعلی به ۴۰ درصد تنزّل پیدا می‌کند و همزمان راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۶۰ درصد ارتقا پیدا می‌کند. نرخ افزایش عملکرد مورد نیاز برای این سطح فشرده سازی ۱/۳ درصد در سال و نرخ افزایش راندمان آبیاری ۰/۶ درصد در سال خواهد بود.
- زیاد: ۱۰۰ درصد خلا عملکرد قابل مدیریت تا ۲۰۵۰ رفع می‌شود و خلا عملکرد نسبی از ۶۰ درصد فعلی به ۲۰ درصد تنزّل پیدا می‌کند و همزمان راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۶۰ درصد ارتقا پیدا می‌کند. نرخ افزایش عملکرد مورد نیاز برای این سطح فشرده سازی ۲/۵ درصد در سال و نرخ افزایش راندمان آبیاری ۰/۶ درصد در سال خواهد بود. شاید فشرده سازی زیاد و کاهش خلا قابل مدیریت به ۲۰ درصد در سناریوی فشرده سازی زیاد خوشبینانه باشد، ولی فرض بر آن است که در افق زمانی ۲۰۵۰ پیشرفت‌های تکنولوژیک مثل به‌نژادی ارقام جدید، این امر را میسر خواهد ساخت.

تاثیر سناریوهای (سطوح) مختلف فشرده‌سازی فوق بر تولیدات گیاهی کشور در شرایط کاهش منابع آب به حد ایمن برای محیط زیست (۳۹ تا ۴۴ میلیارد متر مکعب در سال بسته به افق زمانی) در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ بدون لحاظ اثرات تغییر اقلیم و با لحاظ تاثیر تغییر اقلیم در شکل ۴۳ ارایه شده است. در افق ۲۰۳۰، چنان‌چه فشرده‌سازی صورت نگیرد (سناریو هیچ یا بدون توفیق) تولیدات گیاهی از ۱۰۹ میلیون تن فعلی بسته به لحاظ کردن یا نکردن تاثیر تغییر اقلیم به ۵۴ تا ۵۵ میلیون تن کاهش خواهد یافت. در سطح متوسط فشرده-سازی تولیدات گیاهی به ۷۵ تا ۷۷ میلیون تن افزایش پیدا می‌کند و سطح بالای فشرده‌سازی تولیدات گیاهی را به ۹۷ تا ۱۰۱ میلیون تن خواهد رساند (شکل ۴۳). همان طور که ملاحظه می‌شود حتی در فشرده‌سازی زیاد نیز تولیدات گیاهی به سطح فعلی آن یعنی ۱۰۹ میلیون تن نخواهد رسید اگرچه نزدیک می‌گردد.

در افق زمانی ۲۰۵۰ و با منابع آب در حد پایدار، فشرده‌سازی کم تولیدات گیاهی را به ۷۵ تا ۷۹ میلیون تن می‌رساند (از ۵۴ تا ۵۵ میلیون تن). در صورت توفیق در فشرده‌سازی در حد متوسط، تولیدات گیاهی به ۹۷ تا ۱۰۴ میلیون تن بالغ خواهد شد و در صورت موفقیت در اجرای فشرده‌سازی زیاد، تولیدات گیاهی بسته به اثر تغییر اقلیم به ۱۱۰ تا ۱۱۸ میلیون تن خواهد رسید که از سطح فعلی تولیدات با ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال بالاتر است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که حتی با کاهش منابع آب کشاورزی به کمتر از نصف مقدار فعلی (۸۶ به ۳۹ تا ۴۴ میلیارد متر مکعب در سال)، در صورت اجرای فشرده‌سازی امکان حفظ تولیدات گیاهی در حد فعلی وجود دارد. اما، در مقطع زمانی ۲۰۳۰ حتی در صورت توفیق زیاد در فشرده‌سازی، افتی در تولیدات گیاهی وجود خواهد داشت که باید با واردات بیشتر جبران گردد. برای روشن‌تر شدن بیشتر موضوع باید به تاثیر همزمان مدیریت تقاضا و فشرده سازی بر خودکفایی در افق زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ توجه گردد.



شکل ۴۳ – تاثیر سناریوهای مختلف فشرده سازی بر تولیدات گیاهی کشور با ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال منابع آب آبی در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ برای دو حالت که تاثیر تغییر اقلیم لحاظ نشده (cc-) یا شده (cc+) باشد. خط عمودی تولید گیاهی جاری با ۸۶ میلیارد متر مکعب آب آبی را مشخص می‌کند. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.



شکل ۴۴ – تاثیر ترکیبی سناریوهای تقاضا و تولید بر خودکفایی در ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰. خطوط افقی به ترتیب از بالا به پایین عبارتند از خودکفایی در شرایط کنونی (۲۰۱۵) و خودکفایی در شرایطی که با مدیریت فعلی تولید و تقاضا وارد ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰ بشویم. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

شکل ۴۴ تاثیر همزمان مدیریت تقاضا و فشرده‌سازی بر خودکفایی برای تولیدات گیاهی در مقاطع زمانی ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ را نشان می‌دهد. خودکفایی برای تولیدات گیاهی در حال حاضر ۸۵ درصد است که با برداشت بیش از حد از منابع آب آبی حاصل شده-است. تداوم برداشت بیش از حد نه ممکن خواهد بود و نه به صلاح است چون صدمات زیست محیطی ناشی از آن غیرقابل جبران خواهد بود. در صورت کاهش منابع آب به حد پایدار (یعنی ۳۹ تا ۴۴ میلیارد متر مکعب در سال بسته به افق زمانی) و در صورتی که مدیریت تقاضا و فشرده‌سازی اجرا نشود، خودکفایی در ۲۰۳۰ به ۳۷ درصد و در ۲۰۵۰ به ۳۳ درصد تنزّل پیدا خواهد کرد.

در ۲۰۳۰، فشرده سازی در سطح متوسط بسته به سناریوی مدیریت تقاضا، خودکفایی را به ۴۷ تا ۵۸ درصد افزایش می‌دهد و در صورت اجرای فشرده سازی در حد زیاد، خودکفایی بسته به سناریوی مدیریت تقاضا به ۶۶ تا ۷۵ درصد ارتقا پیدا می‌کند. بنابراین، اجرای بهترین سناریوهای مدیریت تقاضا و فشرده سازی که با تکنولوژی امروز قابل تصوّر است، قادر نخواهد بود خودکفایی را به حد کنونی برساند اگرچه بهبود زیادی در آن ایجاد می‌کند. برای نتایج بهتر در این افق زمانی لازم است رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت با نمونه‌هایی که به تولیدات و منابع کمتری نیاز دارند، جایگزین شوند و تلاش‌هایی در راستای محدود سازی تلفات-ضایعات انجام گیرد.

شکل ۴۵ – تاثیر فشرده سازی و مدیریت تقاضا از طریق جایگزینی رژیم غذایی گیاهی محور و کاهش تلفات-ضایعات بر میزان آب آبی لازم برای تولید کل محصولات گیاهی مورد نیاز برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری در داخل کشور. خط افقی بالا میزان آبی آبی لازم برای شرایط اقلیمی، مدیریتی و الگوی کشت کنونی کشور (۱۲۷ میلیارد متر مکعب در سال) را نشان می‌دهد و خط افقی پایین مقدار آب آبی پایدار برای کشاورزی (۳۹ میلیارد متر مکعب در سال) را مشخص می‌سازد. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته‌است.

در ۲۰۵۰، فشرده سازی در سطح کم بسته به مدیریت تقاضا، خودکفایی را از ۳۳ درصد در شرایط بدون اقدام به ۴۱ (رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات در حد فعلی) تا ۶۲ (رژیم غذایی گیاهی و ۳۰ درصد کاهش تلفات-ضایعات) درصد افزایش می‌دهد. در صورت توفیق متوسط در فشرده‌سازی، خودکفایی به ۵۳ تا ۸۱ درصد قابل افزایش خواهد بود و در صورت توفیق زیاد در فشرده‌سازی به ۶۰ تا ۹۲ درصد افزایش خواهد یافت. همان طور که ملاحظه می‌شود تاثیر مدیریت تقاضا در فشرده‌سازی کم، افزایش خودکفایی به اندازه ۲۱ درصد، در فشرده‌سازی متوسط ۲۸ درصد و در فشرده‌سازی زیاد ۳۲ درصد بوده‌است (شکل ۴۴). به‌همین‌ترتیب، تاثیر سطح فشرده‌سازی در سناریوی رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی، ۲۱ درصد افزایش خودکفایی است که برای رژیم مطلوب وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات فعلی ۱۹ درصد و برای رژیم غذایی گیاهی توام با ۳۰ درصد کاهش تلفات-ضایعات، به ۳۰ درصد می‌رسد (شکل ۴۴). بنابراین، سناریوهای مدیریت تقاضا و فشرده‌سازی کم و بیش تاثیر مشابهی داشته‌اند، حاکی از این که مدیریت تقاضا در حصول امنیت غذایی نباید دست کم گرفته شود. نتیجه‌گیری مهم این است که خودکفایی برای محصولات گیاهی در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ توام با بهره‌برداری پایدار از منابع آب ناممکن است و در صورت اجرای بهترین روش‌های افزایش تولید و

مدیریت تقاضا که تا امروز شناخته‌شده‌است، حفظ خودکفایی در حد کنونی مقدور خواهد بود. اجرای این برنامه‌ها با فرض عدم محدودیت سرمایه‌گذاری و مالی به ۱۰ تا ۲۰ سال زمان نیاز دارد.

توجه به مکانیسم تاثیر مثبت مدیریت تقاضا و فشرده‌سازی حایز اهمیت است. اثرات مثبت ناشی از تاثیر مثبت آن‌ها بر استفاده کارآمدتر از منابع آب است. برای نمونه، شکل ۴۵ تاثیر سناریوهای مختلف فشرده سازی و مدیریت تقاضا بر مقدار آب لازم برای تولید همه محصولات گیاهی لازم در داخل کشور و برای جمعیت ۸۰ میلیون نفر را در شرایطی که فقط ۳۹ میلیارد متر مکعب آب به کشاورزی اختصاص داده شده باشد، نشان می‌دهد. میزان آب لازم برای تولید کل محصولات گیاهی لازم در داخل کشور با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات کنونی و مدیریت تولید و الگوی کشت فعلی، ۱۲۷ میلیارد متر مکعب در سال است. در شرایطی که فشرده-سازی در سطح کم (خلا ۵۰ درصد و راندمان آبیاری ۴۹ درصد) صورت گیرد به ۸۳ میلیار متر مکعب آب برای این منظور نیاز خواهد بود. در این شرایط در واقع به ازای هر واحد آب اختصاصی به کشاوری محصول بیشتری تولید شده است[۵۳]. تغییر رژیم غذایی از فعلی به گیاهی پایدار، این رقم را به ۶۴ میلیارد متر مکعب در سال کاهش می‌دهد و چنان‌چه این رژیم غذایی با کاهش ۲۵ درصد تلفات-ضایعات همراه شود، این رقم باز هم کمتر شده و به ۵۸ میلیارد متر مکعب در سال خواهد رسید (شکل ۳۹). تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات موجب می گردد به تولیدات گیاهی کمتر و در نتیجه آب کمتری برای تولید آن ها نیاز باشد.

با افزایش سطح فشرده‌سازی از کم به متوسط، مقدار آب لازم برای تولید همه محصولات گیاهی مورد نیاز در داخل کشور، بسته به سناریوی مدیریت تقاضا، به ۴۲ تا ۶۱ میلیارد متر مکعب در سال کاهش می‌یابد و در صورتی که فشرده‌سازی زیاد اتفاق بیافتد، به ۳۸ تا ۵۵ میلیارد متر مکعب آب در سال نیاز خواهد بود. چنان‌چه ملاحظه می‌شود در صورت اجرای حداکثر فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا، برای تولید همه محصولات گیاهی لازم برای تغذیه ۸۰ میلیون نفر به ۳۸ میلیار متر مکعب آب در سال نیاز است که اندکی کمتر از ۳۹ میلیارد متر مکعب درسال، یعنی حد پایدار می‌باشد. البته باید توجه داشت که جمعیت رو به افزایش است و حتی اجرای حداکثر فشرده سازی و مدیریت تقاضا موجب خودکفایی آبی در ۲۰۵۰ نخواهد شد. حداکثر خودکفایی آبی کشور، با فرض اجرای بهترین روش‌های فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا، ۸۵ میلیون نفر می‌باشد (پیوست ۲۲).

حال که اثرات مثبت و نجات بخش فشرده سازی و مدیریت تقاضا در تئوری مشخص شده است سئوال این است که اجرای گزینه های فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا تا چه اندازه اقتصادی می‌باشد؟ برآورد هزینه و فایده اجرای این گزینه‌ها به صورت ساده انجام شده که در این جا ارایه می‌گردد. فرض گردید گزینه افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۶۰ درصد مستلزم این است که تمام اراضی قابل آبیاری، با روش‌های نوین آبیاری شوند. هزینه اجرای آبیاری تحت فشار برای هر هکتار زمین در کشور به قیمت سال ۹۴ (میانه بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶) ۱۱۰ میلیون ریال برآورد شد[۵۴]. طول عمر تاسیسات آبیاری تحت فشار به‌طور متوسط ۱۵ سال است ولی در کشور ما احتمالا عدد ۱۰ سال مناسب‌تر باشد چون مزارع کوچک هستند و نگهداری سیستم‌ها به نحوه مطلوب مقدور نیست. با کاهش منابع آب آبی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال، سطح زیر کشت آبی از ۸/۱ میلیون هکتار به ۳/۲ میلیون هکتار کاهش پیدا می‌کند. حدود ۱/۷ میلیون هکتار از اراضی آبی فعلی تحت آبیاری تحت فشار قرار دارند و بنابراین هزینه اجرای آبیاری تحت فشار در بقیه این اراضی محاسبه شد و هزینه اجرا ۲۰۸۶۸ هزار میلیون ریال برآورد گردید.

هزینه اجرای سایر گزینه ها به راحتی قابل محاسبه نیست و مطالعات جداگانه‌ای را می‌طلبد. اما، بر اساس نظرسنجی از خبرگان و متخصصان و در تناسب با هزینه افزایش راندمان آبیاری محاسبه شده است (جدول ۱۵). بر این اساس و در مقایسه با هزینه

[53] More crop per drop

[54] براساس مصاحبه مسئولین محترم معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی

افزایش راندمان آبیاری، هزینه رفع کامل خلا قابل مدیریت ۱/۷، هزینه کاهش ۵۰ درصد تلفات-ضایعات ۱/۱۵ برابر برآورد گردید. هزینه اجرای رژیم غذایی گیاهی و پایدار ۳۰ درصد کمتر از هزینه افزایش راندمان آبیاری برآورد شد (جدول ۱۵). برای محاسبه هزینه ترکیب گزینه ها فرض شد هزینه اجرای توام رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری برابر ۸۰ درصد جمع هزینه انفرادی آن‌ها باشد. دلیل لحاظ کردن ۲۰ درصد کاهش، همپوشانی اقدامات لازم برای اجرای این گزینه‌ها است. به‌همین صورت، هزینه اجرای توام تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات برابر ۹۵ درصد جمع هزینه انفرادی آن‌ها منظور گردید. هزینه اجرای توام افزایش راندمان آبیاری و رفع خلا ۲/۱۶ برابر و هزینه اجرای توام کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی ۱/۷۶ برابر هزینه افزایش راندمان آبیاری (۲۰۸۶۸ هزار میلیون ریال) برآورد شد.

جدول ۱۵- برآورد هزینه-فایده (هزار میلیون ریال) برای گزینه‌های اصلی مدیریت تقاضا و فشرده سازی بر اساس قیمت های سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶. اعداد داخل پرانتز در ستون فایده، درصد نسبت به بازده ناخالص کل تولید گیاهی در کشت آبی کشور را نشان می‌دهند.

گزینه	هزینه	فایده	نسبت فایده به هزینه
رفع کامل خلا عملکرد قابل مدیریت	۳۵۴۷۶	۴۳۷۴۵ (۲۵)	۱/۲۳
افزایش راندمان آبیاری به ۶۰ درصد	۲۰۸۶۸	۴۶۸۳۰ (۲۷)	۲/۲۴
کاهش ۵۰ درصدی تلفات-ضایعات	۲۳۹۹۸	۳۸۲۵۱ (۲۲)	۱/۵۹
تغییر رژیم غذایی فعلی به رژیم گیاهی پایدار	۱۴۶۰۸	۳۶۹۵۱ (۲۱)	۲/۵۳
ترکیب رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری	۴۵۰۷۵	۱۰۳۵۷۴ (۶۰)	۲/۳۰
ترکیب کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی	۳۶۶۷۶	۷۳۸۸۵ (۴۳)	۲/۰۱

برای محاسبه فایده حاصله از اجرای گزینه‌ها، از سیستم SEA به ترتیبی که توضیح داده می‌شود، بهره‌گیری شد. برای محاسبه فایده افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ کنونی به ۶۰ درصد، تولیدات گیاهی با ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال آب آبی یک بار با راندمان ۳۸ درصد و یک‌بار با راندمان ۶۰ درصد محاسبه شدند. فایده حاصله به صورت سود ناخالص حاصل از تولیدات اضافی با راندمان ۶۰ درصد محاسبه گردید. در این محاسبه خلا عملکرد همان سطح فعلی (یعنی۶۰) درصد منظور گردید. به‌همین ترتیب، برای محاسبه فایده ناشی از رفع کامل خلا قابل مدیریت، تولیدات گیاهی یک بار با خلا نسبی کنونی یعنی ۶۰ درصد و یک بار با خلا نسبی ۲۰ درصد محاسبه شدند و سود ناخالص حاصل از اضافه تولیدات به عنوان فایده این اقدام منظور گردید. در این محاسبه راندمان آبیاری کنونی (۳۸ درصد) لحاظ گردید. برای فایده حاصل از ترکیب این دو گزینه، تولیدات گیاهی با خلا نسبی ۲۰ درصد و راندمان آبیاری ۶۰ درصد محاسبه شده و با تولیدات با خلا نسبی و راندمان آبیاری کنونی مقایسه شدند. سود ناشی از تولید اضافی به عنوان فاید این اقدام ترکیبی منظور گردید.

برای محاسبه فایده ناشی از کاهش ۵۰ درصد تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی به گیاهی پایدار، میزان کاهش در تولیدات گیاهی مورد نیاز کشور با هر یک از این گزینه‌ها و نیز ترکیب آن‌ها محاسبه شده و با تقاضای فعلی برای تولیدات گیاهی (رژیم غذایی و تلفات-ضایعات کنونی) مقایسه گردید. سود ناشی از تفاضل تولیدات گیاهی به عنوان فایده این گزینه ها و یا ترکیب آن‌ها لحاظ شد.

اگرچه این روش و محاسبات ساده هستند ولی اطلاعات اولیه در ارتباط با جهت‌گیری ها به‌دست می‌دهند و تا زمان مطالعه بیشتر و فرآهم شدن اطلاعات کمّی بهتر قابل استفاده خواهند بود.

نسبت فایده به هزینه برای گزینه ها در جدول ۱۵ ارایه شده است. برای تغییر رژیم غذایی این نسبت ۲/۵۳، برای افزایش راندمان آبیاری ۲/۲۴، برای کاهش تلفات-ضایعات ۱/۵۹ و برای رفع کامل خلا قابل مدیریت ۱/۲۳ است. در حالت ترکیب اقدامات، این نسبت برای ترکیب رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری ۲/۳۰ و برای ترکیب کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی ۲/۰۱ می-باشد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد حرکت در راستای اجرای گزینه‌ها به لحاظ اقتصادی نیز دارای صرفه و توجیه است، هر چند برای تدقیق برآوردهای نسبت فایده به هزینه مطالعات بیشتری مورد نیاز است.

باید توجه داشت که برای اجرای فشرده‌سازی در کشور هنوز موانع و محدودیت‌های متعددی وجود دارند که باید رفع شوند. برخی عوامل اقتصادی و اجتماعی که باید مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از: افزایش دانش و انگیزه کشاورزان برای بهبود مدیریت مزرعه، ترویج روش‌های مدیریت زراعی و باغبانی از کشاورزان پیشرو و مراکز تحقیقاتی به سایر کشاورزان، تقویت انجمن‌ها و تشکل‌های کشاورزی در جهت حمایت مالی و تامین نهاده‌های لازم کشاورزی بدون واسطه و با قیمت‌های مناسبتر، اهمیت دادن، کنترل و بهبود کیفیت سموم و کودهایی که در بازار ارایه می‌شوند، تسهیل تولید یا واردات ماشین‌آلات مناسب، استفاده هوشمندانه از یارانه، تسهیلات، قیمت‌گذاری، خرید تضمینی، نرخ بهره و بیمه در راستای افزایش فشرده‌سازی. باید توجه داشت که حتی در صورت تامین بودجه لازم برای فشرده‌سازی، اجرای موارد فوق نیازمند وجود نیروی انسانی متخصص و زمان می‌باشد. با وجود همه این تلاش‌ها هنوز نوع مالکیت زمین و آب، اندازه کوچک مزارع و تحریم‌ها موانع بعدی در راه فشرده‌سازی هستند. احتمال دارد تصویب قوانینی برای یکپارچه‌سازی اراضی و اصلاح قوانین وراث زمین مورد نیاز باشد. یکی از مسائل اجتماعی مرتبط با فشرده‌سازی این است که برای فراگیر کردن و افزایش ضریب نفوذ روش‌های آن، تنها توسعه کمّی کفایت نمی‌کند. زمانی که بهره‌برداران از اجرای این روش‌ها رضایت داشته باشند، به بهترین عامل برای توسعه آن‌ها تبدیل می‌شوند. معمولاً کشاورزان در مقابل تغییر و روش‌های نو، ابتدا مقاومت نشان می‌دهند و از یکدیگر تأثیرپذیری زیادی دارند. بنابراین، موفقیت در طرح‌های اجرایی توسط خود بهره برداران به پذیرش عمومی-تر منجر خواهد شد. اما، در صورت اجرای نادرست و کم اثر بودن روش‌ها در افزایش تولید و کاهش محسوس منابع و نهاده‌ها، نتیجه عکس خواهد داد.

شیلز و همکاران (۲۰۱۸) خلا عملکرد گندم و جو دیم و ذرت دیم و آبی را در کشورهای اروپایی بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد رابطه معکوسی بین سرانه درآمد ناخالص یک کشور با مقدار خلا عملکرد وجود دارد طوری‌که با افزایش هر ۱۰۰۰ دلار سرانه درآمد ناخالص، مقدار خلا عملکرد به میزان حدود ۱ درصد رفع شده است. در کشورهای شمال اروپا که سرانه درآمد ناخالص در آنها بیش از ۴۰۰۰۰ دلار در سال برای هر نفر است، مقدار خلا عملکرد قابل مدیریت برای برخی از غلات به صفر رسیده است. در گزارش ایشان، درکشورهای اروپایی با سرانه درآمد ناخالص مشابه با ایران، مقدار خلا عملکرد، غلات در حدود ۶۰ درصد (عملکرد نسبی برابر ۴۰ درصد) بوده‌است که قابل مقایسه با یافته‌های مطالعه حاضر است (جزییات در پیوست ۲۰).

۳-۲-۶- *ظرفیت اقدام از طریق الگوی کشت*

الگوی کشت می‌تواند یکی از راه‌های مهم تطبیق با شرایط پیش‌رو باشد. در این مطالعه دو الگوی کشت جایگزین مورد بررسی قرار گرفت. در الگوی ۱ فرض شده‌است منابع آب آبی کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یافته است ولی این کاهش

همراه با افزایش فشرده سازی نیست، یعنی خلا عملکرد نسبی و راندمان آبیاری در سطوح فعلی (به‌ترتیب ۶۰ و ۳۸ درصد) باقی‌می-مانند. رقم ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال آب برای کشاورزی، همان میزان آب قابل‌برنامه‌ریزی برای کشاورزی است که وزارت نیرو تعیین نموده‌است. این الگو را می‌توان قدم اول برای سازگاری با کم آبی دانست طوری که حجم آب آبی مورد استفاده در کشاورزی کاهش یافته‌است ولی هنوز اقداماتی برای رفع خلا عملکرد و بهبود راندمان آبیاری به‌بار ننشسته‌است.

در الگوی دوم فرض شده‌است منابع آب آبی برای کشاورزی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یافته‌است ولی همچنین برای رفع خلا عملکرد تلاش شده‌است طوری که خلا عملکرد نسبی از ۶۰ درصد کنونی به ۴۰ درصد کاهش یافته و نیز راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد افزایش یافته‌باشد. چنان‌چه قرار باشد این الگو تا ۲۰۳۰ پیاده شود، فشرده سازی زیاد مورد نیاز است و در واقع می‌تواند قدم آخر برای سازگاری با کم آبی تا ۲۰۳۰ باشد.

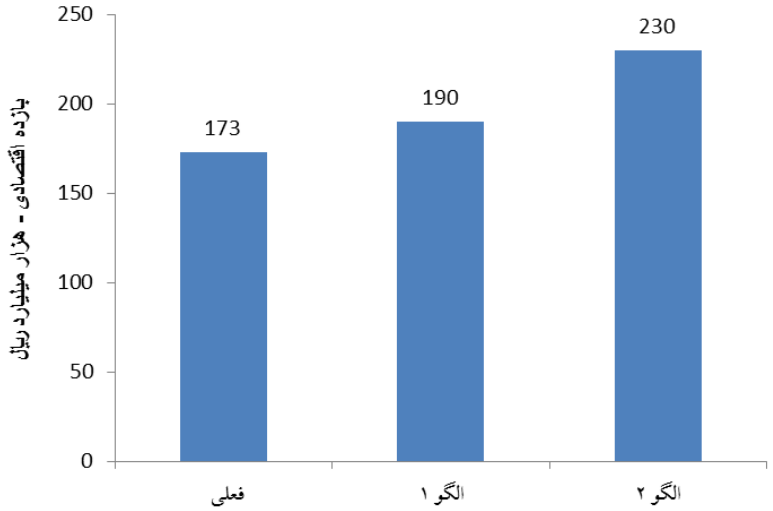
در تهیه این الگوها از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه سازی استفاده شد. هدف از بهینه سازی تغییر سطح زیر کشت گیاهان در استان‌های مختلف به طور جداگانه بوده است طوری که بازده برنامه‌ای ناخالص تولیدات گیاهی با حجم مشخص شده (کاهش یافته) آب، حداکثر شود. در این بهینه سازی شرایط و محدودیت‌های زیر اعمال شده‌است که عبارتند از:

- بهینه سازی فقط برای کشت آبی صورت گرفته‌است و فرض شد الگوی کشت در شرایط دیم مشابه وضعیت فعلی باشد. یادآوری می‌شود که کمتر از ۱۰ درصد تولیدات گیاهی کشور در شرایط کشت دیم صورت می‌گیرد.
- زمین زیر کشت ولی بدون ثمر برای درختان میوه (فاصله زمانی از نهال‌کاری و احداث باغ تا میوه‌دهی) لحاظ شده است که آب و نهاده مصرف می‌کند ولی هنوز تولیدی ندارند.
- قیمت محصولات به صورت استانی در بازه ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است.
- فرض شده‌است محدودیت صادراتی وجود ندارد و اضافه تولید محصولات قابل صادرات است. با توجه به وجود بازار منطقه ای (کشورهای حاشیه خلیج فارس و دیگر همسایگان)، این فرض دور از واقعیت نیست.
- برای همه محصولات حداکثر افزایش مجاز سطح زیر کشت، دو برابر سطح کنونی (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۷) لحاظ شد.
- برای گندم حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت ۳۰ درصد کاهش نسبت به زمین قابل کشت با سناریوی آبی مورد نظر (۶۲ یا ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال) منظور گردید
- برای سایر محصولات حداکثر کاهش مجاز سطح زیر کشت، یک سوم سطح قابل کشت با سناریوی آبی مورد نظر لحاظ شد.
- جمع سطح زیر کشت گیاهان پاییزه، تابستانه و گیاهان دایمی (باغی و علوفه ای) محدود به مقدار فعلی گردید که باعث می‌شود توزیع استفاده از آب در فصول مختلف به صورت غیر واقعی و غیر منطقی اتفاق نیافتد.
- محصولات هر استان محدود به محصولات مورد کشت فعلی شده‌است و محصول جدید وارد نشده‌اند.
- عملکردها مربوط به ارقام فعلی گیاهان هستند که مورد کشت و کار قرار دارند.
- تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبیاری لحاظ نشده است با این فرض که زمان اجرای الگوها کوتاه (مثلا ۵ تا ۱۵ سال) خواهد بود.

نتایج حاصله نشان داد علی‌رغم کاهش منابع آب، بازده برنامه‌ای ناخالص ناشی از تولیدات گیاهی در کشور در هر دو الگو افزایش پیدا می‌کند (شکل ۴۶). این افزایش برای الگوی ۱ برابر ۹ درصد و برای الگوی ۲ برابر ۳۳ درصد است. در الگوی ۱ به-کارگیری سطوح کشت متفاوت از گیاهان مختلف نه تنها موجب جبران زیان‌های کاهش منابع آب شده، بلکه آن را افزایش نیز داده

است. در الگوی ۲ به دلیل فشرده سازی، علی‌رغم کاهش بیشتر منابع آب آبی، افزایش قابل‌توجهی در بازده برنامه‌ای ناخالص مشاهده می‌شود. در شکل ۴۷ درصد تغییرات بازده برنامه‌ای ناخالص کشور در الگوهای بهینه شده ۱ و ۲ نسبت به الگوی کشت فعلی در استان-های مختلف کشور نشان داده‌شده‌است. در مقیاس استانی، در الگوی ۱، استان‌های آذربایجان شرقی، گیلان، همدان، لرستان، خراسان شمالی، قم، سمنان و زنجان سود ناخالص منفی را تجربه خواهند نمود. در الگوی ۲ نیز استان‌های گیلان، همدان، قزوین، قم و زنجان همچنان سود ناخالص منفی خواهند داشت. سود ناخالص در سایر استان‌ها مثبت می‌باشد.

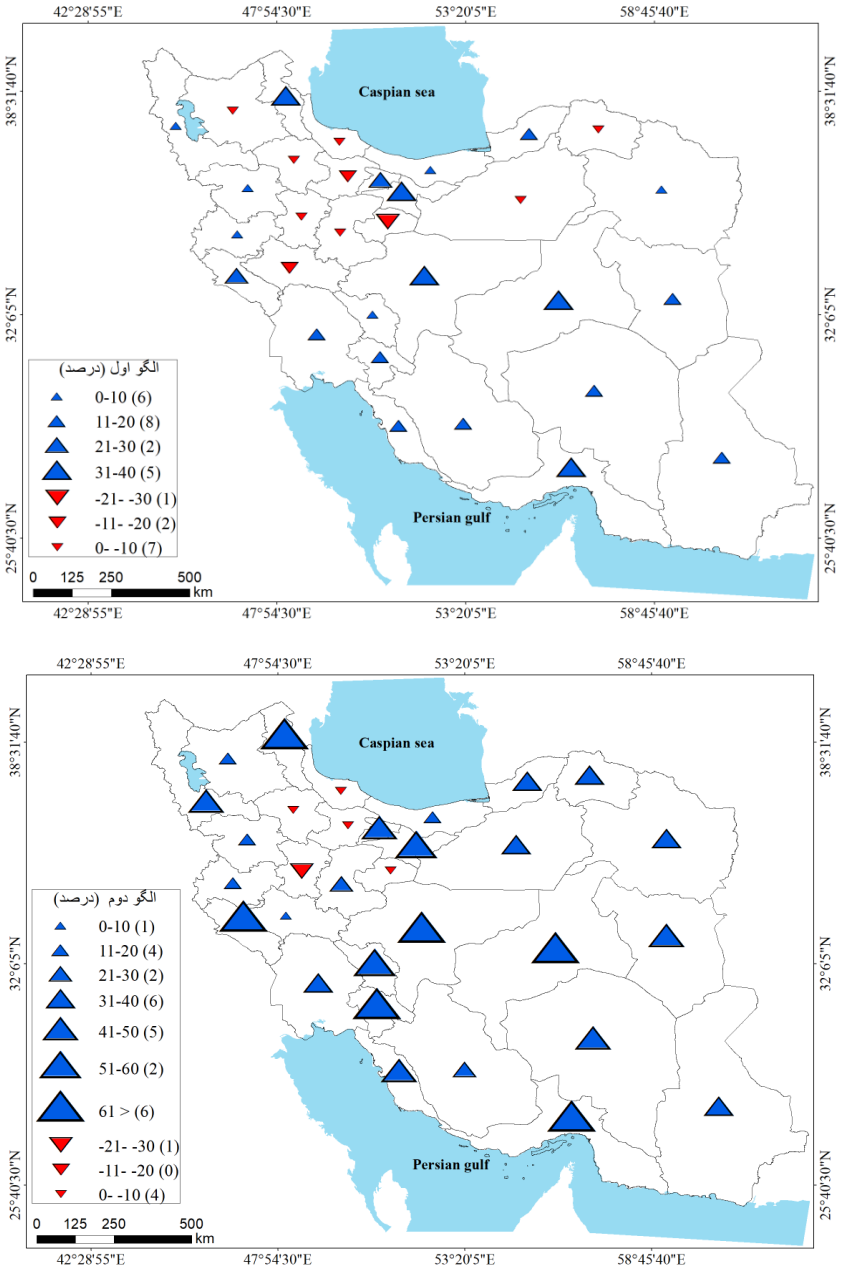
تغییرات در نوع گیاهان در هر یک از الگوها در جدول ۱۶ و ۱۷ برای سطح کشور درج شده‌است. باید توجه داشت که تغییرات نوع گیاهان در استان‌ها بسیار متفاوت و گاهی عکس یکدیگر بوده‌است که ناشی از تنوع زیاد اقلیمی استان‌ها است (برای جزییات به پیوست فنّی ۲۳ مراجعه شود). به‌نظر می‌رسد دقت این مطالعه برای تعیین تغییرات گیاهان در سطح کشور مناسب باشد چون سیستم SEA خروجی‌های کشوری را بر اساس جمع‌بندی نتایج استانی تولید می‌کند. اما، چنان‌چه به برآورد دقیق تغییرات گیاهی در هر استان نیاز باشد، بهتر است سیستم برای زیر واحدهایی در هر استان ست‌آپ (setup) شود و سپس ارزیابی دقیق‌تر صورت گیرد. بنابراین، از نتایج استانی مطالعه حاضر باید با احتیاط و برای تعیین جهت‌گیری‌ها استفاده شود. شکل ۴۸ تغییرات سطح زیر کشت آبی در هر یک از استان‌های کشور با الگوهای ۱ و ۲ را نشان‌می‌دهد.



شکل ۴۶ – سود ناخالص حاصل از تولیدات گیاهی در کشت آبی برای الگوی کشت فعلی و دو الگوی کشت بهینه شده. در الگوی ۱ آب اختصاصی به کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یافته و فشرده سازی مشابه شرایط کنونی است یعنی خلا نسبی عملکرد و راندمان آبیاری به ترتیب ۶۰ و ۳۸ درصد هستند و الگو برای حداکثر سازی سود ناخالص بهینه سازی شده است. در الگوی ۲، آب اختصاصی به کشاورزی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال کاهش یافته ولی فشرده سازی نیز صورت گرفته است طوری که خلا عملکرد نسبی از ۶۰ به ۴۰ درصد کاهش یافته و راندمان آبیاری از ۳۸ به ۵۵ درصد افزایش پیدا کرده است (معادل فشرده سازی زیاد در افق ۲۰۳۰ و فشرده سازی متوسط در افق ۲۰۵۰) و الگو برای حداکثر سازی سود ناخالص بهینه سازی شده است.

توجه به تاثیر الگوی کشت بر تولیدات گیاهی کشور (جمع دیم و آبی) و نیز کمبود تولیدات و مازاد آن در شکل‌های ۴۹ و ۵۰ ارایه شده‌است. از نظر کل تولیدات گیاهی، پیاده سازی الگوی ۱ با کاهش ۱۵ درصدی تولیدات گیاهی همراه خواهد بود (اگرچه

سود ناخالص ۹ درصد افزایش می‌یابد). اما، پیاده‌سازی الگوی ۲ با ۱ درصد افزایش تولیدات گیاهی در کشور همراه است (شکل ۴۹). خاطر نشان می‌سازد در الگوی ۲ به دلیل رفع خلا عملکرد و کاهش خلا عملکرد نسبی از ۶۰ درصد به ۴۰ درصد، در شرایط دیم نیز افزایش تولید رخ خواهد داد که در محاسبه تولید لحاظ شده‌است.



شکل ۴۷ – درصد تغییرات بازده برنامه‌ای ناخالص کشور در الگوهای بهینه شده ۱ و ۲ نسبت به الگوی کشت فعلی در استان‌های مختلف کشور.

جدول ۱۶ - میزان تغییرات ایجاد شده در سطح زیر کشت هر یک از محصولات در الگوهای ۱ و ۲ نسبت به الگوی فعلی در سطح کشور.

کشور	کاهش زیاد (بیش از ۵۰ درصد)	کاهش متوسط (۱۰ تا ۵۰ درصد)	عدم تغییر (۱۰ ± درصد)	افزایش متوسط (۱۰ تا ۵۰ درصد)	افزایش زیاد (بیش از ۵۰ درصد)
الگو ۱	یونجه، سایر باغی، سایر زراعی، نیشکر، جو، زیتون، انگور، چغندرقند، آفتابگردان، پنبه، انار، زعفران، ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای	خرما، بادام، انجیر و برنج	سویا، شبدر، گندم و سیب	گردو، پرتقال، کنجد، کلزا، عدس، زردآلو و لوبیا	هلو، نخود، پسته، هندوانه، خربزه، خیار، گوجه، پیاز، گوجه گلخانه‌ای، سیب‌زمینی و خیار گلخانه‌ای
الگو ۲	یونجه، سایر باغی، پنبه، جو، سایر زراعی، آفتابگردان، زیتون، خرما، انگور، نیشکر، چغندرقند، سویا، انار، زعفران، ذرت علوفه‌ای، انجیر و بادام	برنج، شبدر، ذرت دانه‌ای، گندم، سیب و گردو	عدس، پرتقال، نخود، پسته و هلو	کنجد، لوبیا، هندوانه و زردآلو	کلزا، گوجه، سیب‌زمینی، خربزه، خیار، پیاز، گوجه گلخانه‌ای و خیار گلخانه‌ای

جدول ۱۷ – سطح زیر کشت (هزار هکتار) فعلی گیاهان و گروه‌های گیاهی مهم در شرایط کشت آبی کشور (بدون لحاظ گلخانه‌ها) و تغییرات آن در الگوهای بهینه شده ۱ و ۲.

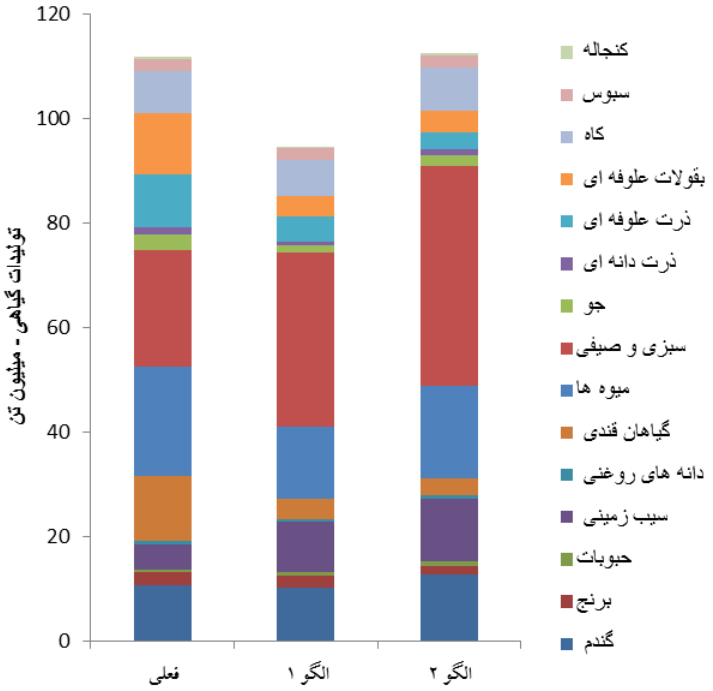
	سطح زیر کشت	درصد تغییر در الگوی ۱	درصد تغییر در الگوی ۲
گندم	۲۲۱۳	-۵	-۳۰
برنج	۵۶۶	-۱۰	-۴۷
حبوبات	۱۳۱	۴۸	۲۵
سیب‌زمینی	۱۵۶	۱۰۰	۸۰
دانه‌های روغنی	۳۴۸	-۲۸	-۴۷
گیاهان قندی	۱۹۹	-۶۷	-۷۸
میوه‌ها	۲۲۱۹	-۱۵	-۴۳
سبزی-صیفی	۶۸۳	۴۶	۳۳
جو	۶۹۵	-۷۴	-۸۲
ذرت دانه‌ای	۲۰۳	-۵۰	-۳۵
ذرت سیلویی	۱۹۹	-۵۲	-۷۳
علوفه (بقولات)	۷۹۲	-۷۳	-۸۲
مجموع کشوری	۸۴۰۴	-۱۸	-۳۹

شکل ۴۸ – نسبت تغییر در سطح زیر کشت آبی در استان‌های مختلف کشور در الگوهای کشت بهینه شده ۱ و ۲.

یک نکته مهم تاثیر الگوی کشت به تنهایی و در تلفیق با فشرده‌سازی بر تخفیف اثرات کاهش منابع آب است. در جدول ۹ نشان‌داده‌شد که کاهش منابع آب کشاورزی از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال موجب می‌شود تولیدات گیاهی و سطح زیر کشت آبی ۲۹ درصد کاهش یابد. تغییر الگوی کشت فعلی به الگوی ۱ باعث تخفیف اثرات کاهش آب شده‌اشت طوری که کاهش تولید کشت آبی به ۱۷ و کاهش سطح زیر کشت آبی به ۱۸ درصد محدود شده‌است. همین طور در جدول ۹ نشان داده‌شد که کاهش منابع آب از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال، تولیدات گیاهی در کشت آبی و سطح زیر کشت آبی را ۵۶ درصد کاهش می‌دهد. تلفیق

فشرده‌سازی و تغییر الگوی کشت (الگوی ۲) موجب می‌شود کاهش تولیدات گیاهی در کشت آبی به ۳ درصد و کاهش سطح زیر کشت آبی به ۳۹ درصد محدود شود. بنابراین، برای کسب نتایج بهتر لازم است از تلفیق هر دو استفاده گردد.

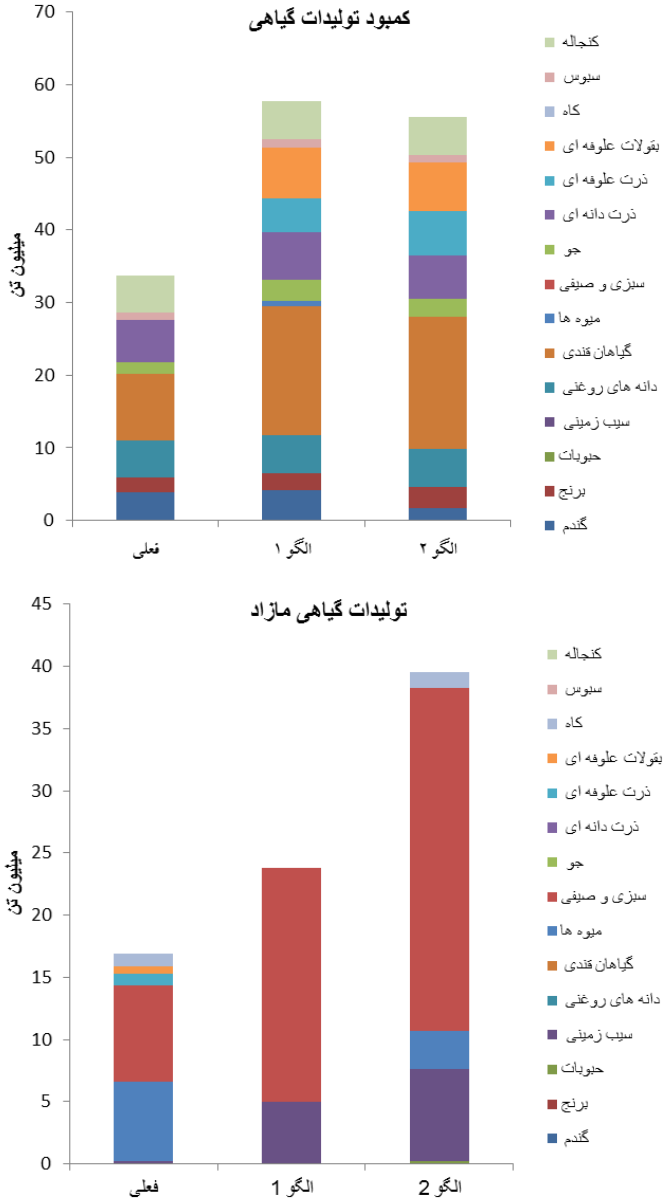
در الگوی ۱، کمبود تولیدات گیاهی که در شرایط فعلی ۳۴ میلیون تن در سال است (وزن تر درب مزرعه) به ۵۸ میلیون تن در سال افزایش پیدا می‌کند و این افزایش کمبود عمدتا مربوط به گیاهان قندی، جو، ذرت سیلویی و بقولات علوفه‌ای می‌باشد (شکل ۵۰). چنان‌چه میزان افزایش کمبود به صورت وابستگی به واردات یعنی درصد واردات به نیاز فعلی کشور (برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی) نشان داده شود، در گیاهان قندی از ۴۳ به ۸۲ درصد، در جو از ۳۳ به ۶۶ درصد، در ذرت سیلویی از صفر به ۴۹ درصد و در بقولات علوفه‌ای از صفر به ۶۴ درصد افزایش پیدا می‌کند (جدول ۱۸). برای گندم، برنج، دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای، سبوس و کنجاله نیز افزایش کمبود رخ می‌دهد ولی کمتر خواهد بود: در گندم وابستگی به واردات از ۲۷ به ۲۹ درصد، در برنج از ۴۴ به ۵۰ درصد، در دانه‌های روغنی از ۸۷ به ۹۲ درصد، در ذرت دانه‌ای از ۸۰ به ۹۰ درصد، در سبوس از ۳۱ به ۳۵ درصد و در کنجاله از ۹۱ به ۹۴ درصد افزایش می‌یابد. واردات شکر و جو به کشور قبلا معمول بوده‌است که در اثر این الگو تا ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. ولی واردات ذرت سیلویی و بقولات علوفه‌ای با توجه به رطوبت بالا معمول نیست و باید چاره‌ای دیگر اندیشیده‌شود.



شکل ۴۹ – تولیدات گیاهی کشور در شرایط کنونی و در شرایطی که الگوهای ۱ و ۲ اجرا شوند.

در الگوی ۲، شرایط کم و بیش مشابه است. در این الگو وابستگی به واردات در برنج از ۴۴ به ۶۴ درصد، در شکر از ۴۳ به ۸۵ درصد، در جو از ۳۳ به ۵۵ درصد، در ذرت سیلویی از صفر به ۶۵ درصد و در بقولات علوفه‌ای از صفر به ۶۲ درصد افزایش پیدا

می‌کند (شکل ۵۰؛ جدول ۱۸). برای سایر محصولات که دارای کمبود هستند (یعنی دانه‌های روغنی، ذرت دانه‌ای، سبوس و کنجاله) تغییر وابستگی نسبت به وضعیت کنونی کم است. در گندم وابستگی به واردات از ۲۷ به ۱۲ درصد کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۵۰ – میزان کمبود تولیدات و تولیدات مازاد بر نیاز کشور در شرایط الگوی کشت فعلی و الگوهای ۱ و ۲.

افزایش وابستگی به محصولات گیاهی که مصرف دامی دارند در الگوهای ۱ و ۲ حاکی از این است که این الگوها تاثیر منفی بر دامپروری خواهد داشت. برخی راهکارها عبارتند از: اختصاص اراضی آبی که غیر قابل آبیاری خواهند بود به تولید دیم گیاهان علوفه‌ای، تمرکز بر افزایش کارایی (تولید بیشتر از هر واحد علوفه) در دامپروری، و جابه‌جایی کشت برخی گیاهان در الگو طوری که نوع محصول مورد نیاز برای واردات عوض شود. برای مثال، جابه‌جایی تولید ذرت دانه‌ای با علوفه‌ای. شبیه‌سازی پتانسیل

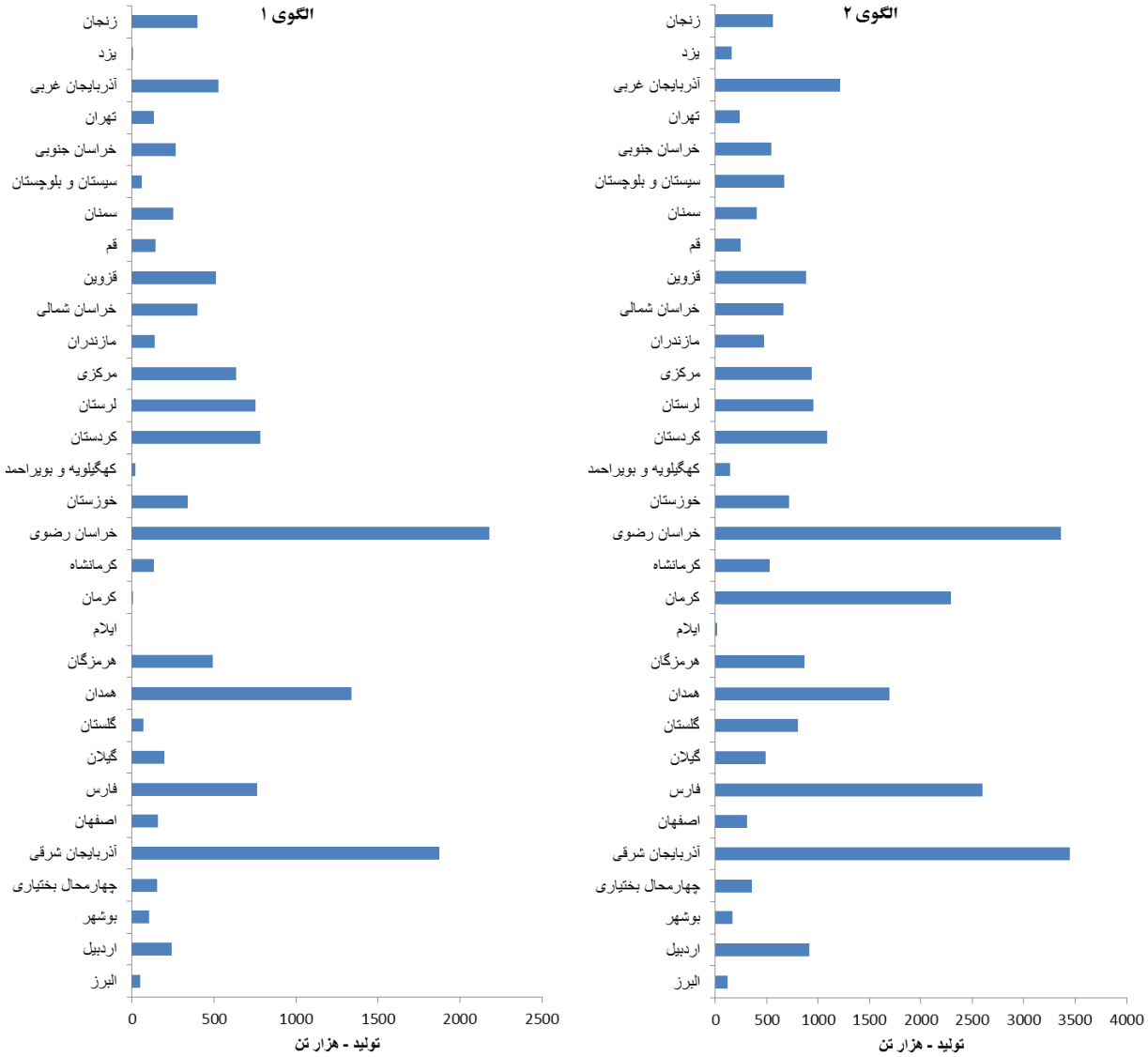
تولید یونجه دیم در اراضی آبی استان‌ها که غیر قابل آبیاری خواهندشد نشان داد که ظرفیت مناسبی از این لحاظ وجود دارد (شکل ۵۱) طوری‌که در الگوی ۱ استفاده از ۵۸ درصد این پتانسیل و در الگوی ۲ استفاده از ۲۷ درصد این پتانسیل جبران کاهش تولید بقولات علوفه‌ای را خواهد نمود. بنابراین، در قدم اول و الگوی ۱ می‌توان بخش زیادی از اراضی آبی غیر قابل آبیاری را به این امر اختصاص داد و با سپس با حرکت به سوی الگوی ۲، این بخش قابل کاهش خواهد بود. نتیجه‌گیری مهم این است که صنعت دامپروری نباید بیش از این گسترش یابد مگر آن که علوفه اضافی مورد نیاز آن از طریق افزایش واردات صورت گیرد (مونتاژ محصولات دامی در داخل کشور). در حال حاضر، ۲۴ درصد از منابع آب کشور به تولید گیاهان با مصرف علوفه اختصاص یافته‌است و این در شرایطی است که مقداری اضافه تولید و صادرات برای محصولات دامی که آب‌بری بالایی دارند، وجود دارد که منطبق بر معیارهای استفاده اقتصادی از آب در یک کشور خشک نیست.

جدول ۱۸ – محاسبه درصد خودکفایی و وابستگی به واردات در محصولات گیاهی مختلف برای الگوهای کشت فعلی، ۱ و ۲. محاسبات برای شرایط کنونی تقاضا برای این محصولات برای جمعیت ۸۰ میلیونی کشور و با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات کنونی صورت گرفته است.

محصول	خودکفایی (درصد)			وابستگی به واردات (درصد)		
	فعلی	الگوی ۱	الگوی ۲	فعلی	الگوی ۱	الگوی ۲
گندم	۷۳	۷۱	۸۸	۲۷	۲۹	۱۲
برنج	۵۶	۵۰	۳۶	۴۴	۵۰	۶۴
حبوبات	۸۱	۹۸	۱۳۸	۱۹	۲	۰
سیب‌زمینی	۱۰۴	۲۰۸	۲۶۰	۰	۰	۰
دانه‌های روغنی	۱۳	۸	۹	۸۷	۹۲	۹۱
گیاهان قندی	۵۷	۱۸	۱۵	۴۳	۸۲	۸۵
میوه‌ها	۱۴۴	۹۵	۱۲۱	۰	۵	۰
سبزی-صیفی	۱۵۴	۲۳۰	۲۹۱	۰	۰	۰
جو	۶۷	۳۴	۴۵	۳۳	۶۶	۵۵
ذرت دانه‌ای	۲۰	۱۰	۱۷	۸۰	۹۰	۸۳
ذرت سیلویی	۱۱۰	۵۱	۳۵	۰	۴۹	۶۵
علوفه (بقولات)	۱۰۶	۳۶	۳۸	۰	۶۴	۶۲
کاه	۱۱۵	۱۰۰	۱۱۷	۰	۰	۰
سبوس	۶۹	۶۵	۶۹	۳۱	۳۵	۳۱
کنجاله	۹	۶	۶	۹۱	۹۴	۹۴

در شرایط کنونی و الگوی کشت فعلی، تولیدات گیاهی مازاد بر نیاز کشور عمدتا شامل سیب‌زمینی، میوه‌ها، سبزی-صیفی هستند. برای ذرت علوفه‌ای، گیاهان علوفه‌ای (عمدتا بقولات) و کاه نیز اضافه تولید وجود دارد که در صادرات محصولات دامی نمایان می‌گردد (شکل ۵۰؛ جدول ۱۸). در الگوی ۱، اضافه تولیدات به سیب زمینی و سبزی-صیفی منحصر می‌گردد. در الگوی ۲، اضافه تولیدات سبزی-صیفی تا ۲۵۰ درصد افزایش می‌یابد و نیز مقداری اضافه تولید حبوبات، سیب‌زمینی و میوه‌جات وجود خواهد داشت.

بنابراین، لازم است زمینه‌های صادراتی این محصولات فرآهم شود و موانع موجود رفع شوند. باید توجه داشت که کمبود و مازاد تولیدات با توجه به تقاضای فعلی و برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری فعلی محاسبه شده‌اند و فقط برای مقایسه تاثیرات هستند. کمبود و مازاد واقعی به زمان وقوع الگوها در واقعیت و جمعیت کشور در آن زمان بستگی خواهد داشت (قسمت بعدی ملاحظه‌شود).



شکل ۵۱- برآورد پتانسیل تولید یونجه دیم (هزار تن در سال علوفه با ۲۵ درصد رطوبت) در اراضی آبی استان‌های مختلف کشور که با الگوی ۱ و ۲ غیر قابل‌آبیاری خواهند شد. پتانسیل تولید از حاصلضرب پتانسیل عملکرد در هر استان و سطح زیر کشت غیر قابل‌آبیاری محاسبه‌شده‌است. پتانسیل عملکرد با مدل SSM-iCrop2 در سیستم SEA شبیه‌سازی شده‌است.

نتیجه‌گیری کلی این است که در صورت تعدیل برداشت آب برای پایداری کشاورزی و محیط‌زیست کشور لازم است کشاورزی به سوی محدود کردن تولیدات گیاهان علوفه‌ای، گیاهان قندی دانه‌های روغنی تابستانه و برنج حرکت نماید و در همین حال

تولید بیشتر از نیاز محصولات با آب‌بری کمتر یعنی سیب‌زمینی، سبزی-صیفی و میوه وجود خواهد داشت. میزان خودکفایی در گندم مشابه شرایط کنونی یا بیشتر خواهد شد.

در این قسمت نگاهی به اثربخشی اقدامات مختلف برای سازگاری به کاهش منابع آب کشاورزی از مقدار کنونی به حد پایدار (یعنی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال) مفید خواهد بود. جدول ۱۹ درصد تغییر در سطح زیر کشت آبی، تولیدات گیاهی در کشت آبی و تولیدات گیاهی در جمع کشت آبی و دیم را شرایطی که اقدامات مختلف به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر اجرا شده‌باشند نشان می‌دهد. این تغییرات برای شرایط اقلیمی کنونی محاسبه‌شده‌اند. لازم به ذکر است که در شرایطی که اقدام شامل کاهش خلا عملکرد بوده‌است، این کاهش برای شرایط دیم نیز لحاظ شده‌است. چنان‌چه ملاحظه می‌شود بهترین نتایج از نظر تولیدات گیاهی در شرایطی حاصل می‌شود که از ترکیب اقدامات یعنی کاهش خلا عملکرد، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت استفاده شده‌است. با کاهش منابع آب به مرز پایداری، تولید گیاهی در کشت آبی بدون اقدامات جبرانی به میزان ۵۶ درصد کاهش می‌یابد. رفع خلا عملکرد قابل مدیریت و کاهش خلا نسبی از ۶۰ درصد فعلی به ۴۰ درصد، این کاهش را به ۴۹ درصد محدود می-سازد، ترکیب رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد، این کاهش را به ۲۶ درصد محدود می‌کند و در صورتی که ترکیب این دو با تغییر الگوی کشت (از کنونی به الگوی ۱) همراه گردد، کاهش به فقط ۱ درصد محدود می‌شود.

جدول ۱۹ - درصد تغییر در سطح زیر کشت آبی، تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی و تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم در صورتی که منابع آب کشاورزی از مقدار کنونی به حد پایدار کاهش یافته باشد (یعنی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال) محاسبات با کمک سیستم SEA تحت شرایط اقلیمی کنونی انجام شده‌است.

اقدام انجام شده	سطح زیر کشت	تولید در کشت آبی	کل تولید
بدون اقدام	-۵۶	-۵۶	-۵۰
کاهش خلا از ۶۰ درصد کنونی به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد	-۶۶	-۴۹	-۳۹
افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد	-۳۷	-۳۶	-۳۲
ترکیب کاهش خلا و افزایش راندمان آبیاری	-۵۰	-۲۶	-۱۸
ترکیب کاهش خلا، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت به الگوی ۲	-۳۹	-۱	+۳

۳-۲-۷- تصویر آینده مطلوب

آینده مطلوب برای کشاورزی و امنیت غذایی کشور آن است که برداشت آب برای کشاورزی در مرز پایداری تنظیم شده‌باشد و در عین حال با به‌کارگیری اقداماتی در جهت تغییر الگوی کشت، فشرده‌سازی و مدیریت تقاضا، افت تولیدات و خودکفایی در حداقل ممکن باشد. در این بخش آینده مطلوب در قالب دو برنامه ارایه می‌گردد که مبتنی بر یافته‌هایی است که در قسمت‌های قبلی توضیح داده‌شدند.

در برنامه اول فرض شده‌است برداشت آب برای کشاورزی در حد رسمی اعلام شده توسط وزارت نیرو (یعنی ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال) تنظیم شده است، اقدامات برای فشرده سازی به‌بار ننشسته و عملکردها (یا خلا عملکردها) و راندمان آبیاری در حد فعلی هستند، ولی الگوی کشت در شرایط کشت آبی برای سازگاری با کاهش آب به الگوی ۱ تغییر یافته است. همان‌طور که ذکر شد،

این برنامه را می‌توان گام نخست برای سازگاری نسبت به چشم‌انداز آینده تلقّی کرد. در برنامه دوم فرض شده‌است برداشت آب برای کشاورزی در حد پایدار (یعنی ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال) تنظیم شده‌است ولی اقدمات موثر برای فشرده‌سازی نیز به‌طور همزمان صورت گرفته‌است طوری که خلا عملکرد نسبی کشور از ۶۰ درصد فعلی به ۴۰ درصد کاهش یافته و راندمان آبیاری کشور از ۳۸ درصد به ۵۵ درصد ارتقا پیدا کرده‌است و همچنین الگوی کشت ۲ پیاده‌شده‌است.

برنامه اول را بسته به زمان وقوع آن می‌توان به‌عنوان موفقیت کم تا متوسط در برنامه‌ها درنظرگرفت. برای مثال، اگر این برنامه طی زمان کوتاهتری (مثلا ۵ سال) اجرا شود، احتمالا بتوان آن را موفقیت متوسط تلقّی نمود. اما، در صورتی‌که مدت زمان اجرای آن طولانی شود (مثلا ۱۰ سال)، به معنی موفقیت کم خواهد بود. برنامه دوم بسته به طول دوره زمانی اجرای آن، بیانگر موفقیت متوسط تا زیاد در برنامه‌ها می‌باشد. چنان‌چه این برنامه طی یک برنامه ۱۰ تا ۱۵ ساله پیاده‌سازی شود، می‌توان آن‌را موفقیتی بزرگ به‌شمارآورد، اما پیاده‌سازی در طی دوره طولانی‌تر را باید موفقیت متوسط در نظر گرفت. جدول ۲۰ تصویری از آینده مطلوب را با مقایسه ویژگی-های این دو برنامه و مقایسه آن با وضعیت کنونی به نمایش می‌گذارد. . شایان ذکر است اعداد ذکر شده در جدول ۲۰ صرفا اعداد نشانگری هستند که جهت‌ها و پیامدها را نشان می‌دهند.

در برنامه اول، علی‌رغم ۲۷ درصد کاهش در منابع آب برای آبیاری، بازده اقتصادی افزایش می‌یابد (۹ درصد) و استفاده از نهاده‌ها و نیز انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش پیدا می‌کند. اما، این حالت موجب ۱۸ درصد کاهش در سطح زیر کشت آبی، ۱۵ درصد کاهش در تولیدات گیاهی در شرایط آبی و ۱۳ درصد کاهش در کل تولیدات گیاهی می‌شود. چنان‌چه فرض کنیم سال وقوع این حالت ۲۰۳۰ باشد بسته سناریوی مدیریت تقاضا (سناریوهای مدیریت تقاضا همان‌هایی هستند که برای افق ۲۰۳۰ در قسمت‌های قبلی بررسی شدند.)، موجب کاهش خودکفایی به میزان ۱۵ تا ۳۱ درصد خواهد شد. با فرض برقراری رژیم غذایی کنونی و تلفات-ضایعات فعلی، خودکفایی از رقم ۸۵ درصد فعلی به ۶۳ درصد افت پیدا می‌کند. افت خودکفایی با تغییر رژیم غذایی به B30 همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، کمتر خواهد بود (از ۸۵ به ۷۲ درصد). این مقدار کاهش خودکفایی در مقایسه با اثرات مثبت کاهش اضافه برداشت آب و نیز بازده مثبت اقتصادی الگوی کشت مربوطه برای کشور قابل تحمل خواهد بود. در این برنامه، مصرف نهاده‌ها شامل کودها و انرژی ۱۱ تا ۲۳ درصد و انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۱ درصد کاهش می‌یابد. پیاده‌سازی این برنامه در مقایسه با برنامه دوم در سطح کشور ساده‌تر است و از طریق مکانیسم‌های اقتصادی-اجتماعی نظیر قیمت‌گذاری، خرید تضمینی، وام، بهره بانکی، بیمه، تعرفه صادرات و واردات و نظیر این‌ها قابل اجرا خواهد بود.

در صورت موفقیت در انجام اقدامات لازم برای پیاده‌سازی برنامه دوم، وضعیت بسیار بهتری در انتظار خواهد بود. در این برنامه، اختصاص آب به کشاورزی ۵۵ درصد کاهش می‌یابد ولی به دلیل اقدامات مرتبط با تغییر الگوی کشت و فشرده‌سازی، تولیدات گیاهی در شرایط آبی فقط ۱ درصد کاهش می‌یابد، ولی کل تولیدات گیاهی در کشت دیم و آبی، ۴ درصد افزایش پیدا می‌کند و بازده اقتصادی ۳۳ درصد بیشتر می‌شود. کاهش خودکفایی در ۲۰۳۰ با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی فقط ۱۱ درصد خواهد بود (از ۸۵ به ۷۵ درصد) و در صورت موفقیت در جایگزینی رژیم غذایی B30 همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، خودکفایی در حد کنونی (۸۶ درصد) حفظ خواهد شد. در این برنامه نیاز به کود نیتروژن به دلیل افزایش تولید ۱۳ درصد افزایش پیدا می‌کند ولی نیاز به کودهای فسفر و پتاسیم در حد فعلی خواهد بود. امّا، نیاز به سوخت حدود ۳۷ کاهش می‌یابد و انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز ۳۵ درصد کمتر می‌شود. بنابراین، این برنامه اثرات مثبتی برای تامین غذا و حفظ محیط زیست دارد ولی باید توجه داشت که اجرای آن ساده نبوده و نیازمند اقدامات اساسی و تحوّل‌ساز است که سرمایه‌گذاری و هماهنگی زیادی را می‌طلبد.

جدول ۲۰ –تصوبری از آینده مطلوب کشاورزی کشور با ارایه دو برنامه و مقایسه آن‌ها با وضعیت فعلی از نظر میزان استفاده از منابع آب و زمین، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی، میزان تولیدات گیاهی، بازده اقتصادی ناخالص و خودکفایی. محاسبه خودکفایی برای وضعیت فعلی برای زمان حاضر (۲۰۱۵ با جمعیت ۸۰ میلیون نفر) صورت گرفته است ولی برای برنامه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۳۰ (جمعیت ۹۳ میلیون نفر) و بر اساس سه سناریوی مدیریت تقاضا محاسبه شده‌است. توجه شود که در برنامه ۲ تولیدات گیاهی در شرایط دیم نیز در اثر فشرده‌سازی افزایش می‌یابد. محاسبات با کمک سیستم SEA صورت گرفته‌است.

	میزان تغییرات			درصد تغییر	
شاخص	فعلی	برنامه ۱	برنامه ۲	برنامه ۱	برنامه ۲
سال مبنا	۲۰۱۵	۲۰۳۰	۲۰۳۰	–	–
الگوی کشت	فعلی	الگوی ۱	الگوی ۲	–	–
سطح فشرده سازی	فعلی	فعلی	زیاد در افق ۲۰۳۰	–	–
آب (میلیارد متر مکعب) *	۸۱/۷۵	۵۹/۴۵	۳۶/۵۷	-۲۷	-۵۵
سطح زیر کشت آبی (هزار هکتار)	۸۴۰۹	۶۹۰۷	۵۱۵۸	-۱۸	-۳۹
کود نیتروژن (هزار تن)	۹۹۹	۸۸۵	۱۱۳۱	- ۱۱	۱۳
کود فسفر (هزار تن)	۱۴۹	۱۲۳	۱۴۹	- ۱۷	۰
کود پتاسیم (هزار تن)	۷۶۰	۶۴۱	۷۷۹	- ۱۶	۲
انرژی (میلیون مگاژول)	۴۴۱۸۶۳	۳۴۱۶۶۶	۲۷۱۷۴۱	- ۲۳	- ۳۹
سوخت (میلیون لیتر)	۳۲۶۸	۲۶۷۹	۲۰۹۵	- ۱۸	- ۳۶
الکتریسیته (میلیون کیلو وات ساعت)	۱۸۳۶۸	۱۳۱۵۸	۸۶۱۴	- ۲۸	- ۵۳
انتشار گازهای گلخانه‌ای میلیون کیلو گرم معادل CO_2	۳۲۴۹۰	۲۵۷۱۶	۲۱۰۴۵	- ۲۱	- ۳۵
تولیدات گیاهی در کشت آبی (میلیون تن)	۹۱	۷۷	۹۰	- ۱۵	- ۱
کل تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم (میلیون تن)	۱۰۹	۹۵	۱۱۳	- ۱۳	۴
بازده برنامه‌ای کشت آبی (هزار میلیارد ریال)	۱۷۳	۱۹۰	۲۳۰	۹	۳۳
واردات (میلیون دلار)	۱۴۴۶۸	۲۵۲۵۴	۲۲۵۴۷	۷۵	۵۶
صادرات (میلیون دلار)	۱۲۲۵۱	۶۶۶۶	۱۷۷۱۱	-۴۶	۴۵
جمعیت کشور	۸۰	۹۳	۹۳	۱۶	۱۶
تقاضا ۱ (رژیم غذایی و تلفات فعلی – میلیون تن) **	۱۲۸/۷	۱۴۹/۳	۱۴۹/۳	۱۶	۱۶
تقاضا ۲ (رژیم غذایی مطلوب و تلفات فعلی – میلیون تن)	–	۱۶۲/۷	۱۶۲/۷	۲۶	۲۶
تقاضا ۳ (رژیم B30 و ۱۵ درصد کاهش تلفات – میلیون تن)	–	۱۳۱/۰	۱۳۱/۰	۲	۲
خودکفایی بر اساس تقاضای ۱ (درصد)	۸۵	۶۳	۷۵	- ۲۵	- ۱۱
خودکفایی بر اساس تقاضای ۲ (درصد)	–	۵۸	۶۹	- ۳۱	- ۱۸
خودکفایی بر اساس تقاضای ۳ (درصد)	–	۷۲	۸۶	- ۱۵	۱

*۹۵ درصد آب اختصاصی به کشاورزی صرف تولید گیاهی می‌شود.

**تقاضا برای محصولات گیاهی بر حسب میلیون تن درب مزرعه برای تغذیه مستقیم یا غیر مستقیم از طریق پرورش دام.

با اجرای برنامه ۱ صادرات تقریبا به نصف کاهش خواهد یافت و نیاز به واردات ۷۵ درصد بیشتر می‌شود که عمدتا مربوط به دانه‌های روغنی، قند و شکر، محصولات دامی یا محصولات با کاربرد علوفه (مثل جو، ذرت و کنجاله) خواهد بود. با تکمیل برنامه ۱ و اجرای برنامه ۲، صادرات نسبت به شرایط فعلی ۴۵ درصد بیشتر خواهد شد که عمدتا مربوط به صادرات سبزی-صیفی و مقداری سیب‌زمینی، حبوبات، و میوه‌جات خواهد بود، اما همچنان نیاز به واردات نیز وجود خواهد داشت. تراز تجاری بخش کشاورزی که در حال حاضر منفی است با اجرای برنامه‌های ۱ و ۲ همچنان منفی باقی‌خواهد ماند. در برنامه ۱ نسبت به شرایط فعلی کسری تجاری به میزان ۷۳۸ درصد افزایش می‌یابد. اما، با اجرای برنامه ۲ شرایط تا حدودی بهبود یافته و میزان کسری تجاری نسبت به شرایط فعلی ۱۱۸ درصد بیشتر خواهد بود. استفاده هوشمند از تعرفه‌گذاری صادرات و واردات برای موفقیت برنامه‌ها ضرورت خواهد داشت.

مهمترین نتیجه‌گیری از این قسمت این است که بر اساس دانش روز از متغیرهای بیوفیزیکی و اقتصادی حاکم بر آب و کشاورزی، می‌توان اختصاص آب برای کشاورزی را کاهش داد و تبعات آن را به حداقل رساند. در بهترین سناریو که اجرای اقدامات آن تاکنون در این سرزمین تجربه نشده‌است، همراه با بهره‌برداری پایدار از آب، حفظ خودکفایی (با وجود افزایش جمعیت) در حد کنونی مقدور است و نه بیشتر. بنابراین، انتظارات از کشاورزی برای خودکفایی ۱۰۰ درصدی و حمایت از جمعیت‌های بزرگ باید تعدیل و منطقی شود. در شرایط مطلوب، کشاورزی آبی به لحاظ اشتغال و سطح زیر کشت کوچکتر شده ولی فشرده‌تر بوده، برای محیط زیست پاک‌تر است و درآمد بالاتری نیز ایجاد می‌کند. این کشاورزی با مدیریت تقاضا همراه شده‌است. لازم است خسارات وارده به کشاورزان از نظر کاهش اشتغال و از دست رفتن اراضی آبی که دیگر قابل آبیاری نیستند، در طی دوره اجرای این برنامه جبران گردد.

حمایت از کسب و کار خانگی و صنایع دستی، سرمایه‌گذاری در سایر اشتغالات روستایی، برگزاری کلاس‌های فنّی و حرفه‌ای مرتبط با اشتغالات جایگزین، و تکمیل زنجیره ارزش فرآورده‌های کشاورزی که از خام فروشی جلوگیری کرده و سود و اشتغال بیشتری را ایجاد می‌کند، مهم‌ترین راه‌های جبران کاهش اشتغال در بخش کشاورزی هستند. چنان‌چه کاهش سطح کشت آبی با افزایش فشرده‌سازی همراه گردد، می‌تواند بخشی از کاهش اشتغال را جبران کند. فشرده‌سازی خود مستلزم به‌کارگیری روش‌ها و ماشین‌آلات نوین است که طبیعتا مشاغل مربوط به خود را نیاز دارد. شایان ذکر است که در سال‌های گذشته یک روند کاهشی در اشتغال بخش کشاورزی وجود داشته‌است به‌طوری که از ۲۴ درصد در سال ۱۳۸۴ به ۱۸ درصد در سال ۱۳۹۷ رسیده‌است (پیوست ۲۳). تصوّر می‌رود در شرایط رفع تحریم‌ها و رونق سایر کسب و کارها، کاهش اشتغال در بخش کشاورزی از طریق جذب در سایر اشتغالات با سرعت بیشتری رخ دهد.

برای سازگاری با کاهش سطح زیر کشت آبی نیز گزینه‌های مختلفی وجود دارد. کاهش تعداد محصول کشت شده در سال از سه به دو یا از دو به یک محصول، افزایش آیش گذاری و پیاده سازی برنامه‌های تناوب زراعی، کشت دیم گیاهان سازگار (به‌ویژه گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی) در اراضی آبی غیر قابل آبیاری یا اختصاص بخشی از این اراضی به ایجاد گلخانه (همراه با تسهیلات بانکی بدون بهره) از جمله این راه‌ها هستند. اختصاص بخشی از اراضی غیر قابل آبیاری برای ایجاد کارخانه‌های تولید انرژی از انرژی خورشیدی نیز می‌تواند گزینه قابل بررسی باشد. اولویت رهاسازی اراضی آبی که آبیاری آن‌ها میسر نیست باید با اراضی غیر مستعد و کمتر مستعد، اراضی حاشیه رودخانه‌ها (برای حفاظت از اثرات مخرّب سیل)، اراضی دارای سایر محدودیت‌ها مثل شوری، اراضی با محدودیت‌ها در دسترسی فیزیکی و نیز قطعات کوچک و غیر اقتصادی باشد. در این راستا لازم است اراضی آبی مستعد و حاصلخیز شناسایی و به صورت جدی‌تری محافظت شوند. در هر حال لازم است دولت از طریق سیاست‌های حمایتی مانند پرداخت مستقیم،

کاهش درآمد مالکین این زمین‌ها را جبران نماید و نیز از سایر مکانیسم‌های مالی-اقتصادی مثل خرید تضمینی، وام، بهره بانکی، بیمه و نظیر این‌ها استفاده نماید.

در صورت انجام اقدامات لازم در راستای برنامه‌های جدول ۲۰ همراه با توجه به اسطاعت مالی خانوار و حمایت از آن، با برنامه‌های رونق اقتصادی و پوشش‌های حمایتی، می‌توان انتظار داشت که چشم‌انداز امنیت غذایی در آینده بدتر از شرایط فعلی نباشد. در راستای بهبود امنیت غذایی نه فقط به روش‌های افزایش تولید که باید به روش‌های مدیریت تقاضا نیز توجه گردد. بهترین نتایج برای امنیت غذایی از ترکیب گزینه‌ها حاصل خواهد شد.

در صورت عدم کاهش اضافه برداشت آب و انجام اقدامات توصیه شده این گزارش، تغییرات زیانبار زیست محیطی حاصله از مرزهای برگشت پذیر عبور می‌کنند و احتمالا در آینده باید هزینه بیشتری برای مهار تبعات آن‌ها صرف نمود (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش‌های غیر متعارف (مثل انتقال آب دریای خزر) روی آورد. همچنین وقوع منازعات منطقه‌ای برای آب و مشکلات اجتماعی-سیاسی قابل انتظار خواهد بود. اگرچه در شرایط فعلی و وجود تحریم‌ها امیدی به اجرای چنین طرح‌هایی نیست ولی لازم است مطالعات تکمیلی صورت گیرد تا بعد مساعد شدن شرایط به اجرا گذاشته‌شوند.

۳-۲-۹- سایر ملاحظات

این مطالعه بر اساس شبیه‌سازی رشد و عملکرد گونه‌های گیاهی کشاورزی مهم کشور در سطح گسترده با مدل SSM-iCrop2 که برای کشور ست‌آپ (setup) شده‌است و به‌کارگیری اطلاعات و آمار جاری کشور از منابع آب و زمین (سطح زیر کشت) و نیز رژیم غذایی و تلفات-ضایعات در سیستم SEA می‌باشد. این سیستم "همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست" را به صورت کمّی توصیف می‌کند و امکان ارزیابی کمّی سناریوهای مختلف تولید و تقاضا را میسر می‌سازد. آزمون گسترده مدل گیاهی مذکور و سیستم مذکور نشان داد که برآوردها و پیش‌بینی‌های آن‌ها در حد رضایت‌بخش تا قابل‌قبول هستند (جزییات در پیوست‌های ۵ و ۱۷). اگرچه نتایج حاصله تا حد زیادی محتمل و پذیرفتنی هستند ولی محدودیت‌هایی نیز در مطالعه حاضر وجود داشته‌است. نخست این‌که، این مطالعه به فرصت‌ها و محدودیت‌های بیوفیزیکی مهم که تا امروز شناخته‌شده هستند، و تاثیر آن‌ها بر تولید و تقاضا پرداخته‌است. ویژگی‌های بیوفیزیکی با اهمیت کمتر و عوامل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در حد سطحی مورد توجه قرار گرفته‌اند. دوم این‌که، باید توجه داشت عدم قطعیت در تخمین حجم منابع آب تجدیدپذیر و کسری از آن که قابل بهره‌برداری است، و نیز تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب زیاد می‌باشد. سوم این که، افزایش در منابع آب برای آبیاری از طریق آب‌های نامتعارف مثل آب ژرف، بارورسازی ابرها، انتقال آب، شیرین‌سازی آب دریا و تصفیه فاضلاب‌ها لحاظ نشده‌است که می‌توانند دارای تاثیر مثبت بر تولید باشند. اما، ظرفیت اضافی آب ناشی این آب‌ها محدود است، برای مثال، منابع آب حاصل از تصفیه پساب‌ها کمتر از ۲ میلیارد متر مکعب در سال برآورد شده است (مسگران و آزادی، ۲۰۱۸). از طرف دیگر، تاثیر منفی تغییر اقلیم بر منابع آب از طریق کاهش ریزش برف و سایر مکانیسم‌ها غیر از بارندگی نیز لحاظ نشده‌است که دارای تاثیر منفی بر تولید خواهند بود. چهارم این‌که، تاثیر روش‌های افزایش دسترسی به آب مثل به-کارگیری مالچ یا جمع آوری رواناب لحاظ نشده‌است، اگر چه اهمیت این دو مورد در پیوست ۱۹ مورد توجه قرار گرفته‌است. همچنین بدون کنترل برداشت از منابع آب، روش‌هایی مثل جمع‌آوری رواناب احتمالا موجب خشکی بیشتر اکوسیستم‌های طبیعی خواهد شد. پنجم این‌که، تاثیر اکستریم‌های[55] اقلیمی مثل دما خیلی بالا یا پایین یا بارندگی شدید یا عدم بارندگی در دوره طولانی، در

[55] Extremes

مدل شبیه‌سازی گیاهی بر رشد و عملکرد گیاهان دیده شده است، ولی این دیده شدن به دلیل محدودیت دانش روز و سطح پیچیدگی مدل مورد استفاده، احتمالا کامل نیست. مدل گیاهی برای تعداد زیادی گونه و در سطح گسترده به‌کاررفته در حالی که هنوز اطلاعات و توابع مناسب مرتبط با تاثیر اکستریم‌های آب و هوایی برای طیف وسیعی از گیاهان در دسترس نیست. در مقابل، تاثیر مثبت ناشی از افزایش پتانسیل عملکرد ارقام جدید از طریق به‌نژادی در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ نیز لحاظ نشده‌است که این دو می‌توانند یکدیگر را خنثی کنند.

یکی از نکات بسیار مهم در نتایج این گزارش توجه به عدم قطعیت[56] در ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم SEA است، اگرچه عدم قطعیت را نمی‌توان با یک عدد مشخص ساخت. در این مطالعه از اطلاعات و آمار متنوعی استفاده شده است مثل اطلاعات منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی، سطح زیر کشت و نظیر این‌ها. هر یک از این اطلاعات و آمار ممکن است دارای خطا باشند که نتایج را تحت تاثیر قرار خواهد داد. در این مطالعه برای کاهش عدم قطعیت هر اطلاعات و آماری از مرجع رسمی مربوطه در کشور تهیه و در سیستم وارد شده‌است. با این حال، سیستم موجود است و هر زمانی می‌توان اطلاعات و آمار به‌روز و صحیح‌تر را در آن وارد نموده و نتایج اصلاح شده را دست آورد. چنان‌چه اظهار شد احتمالا عدم قطعیت در داده‌های منابع آب نسبتا بالا باشد، به‌ویژه این‌که مستندات محاسبه منابع آب قابل‌برنامه‌ریزی یافت نشد.

بخشی دیگر از عدم قطعیت در مطالعه حاضر می‌تواند مربوط به آمار هواشناسی، اطلاعات خاک، اطلاعات پراکنش فضایی گیاهان، اطلاعات سیستم زراعی و مدل گیاهی باشد. در این مطالعه آمار هواشناسی ثبت شده واقعی ۱۵ ساله برای برآورد عملکرد پتانسیل و نیاز آبیاری استفاده شد و سهم خلاهای آماری کمتر از ۵ درصد بوده است. بنابراین می‌توان گفت عدم قطعیت از ناحیه آمار هواشناسی کم بوده است. در مطالعاتی که خلاهای آماری زیاد باشند یا از آمار تولیدی و درون یا برون‌یابی شده استفاده می‌کنند، عدم قطعیت از این ناحیه بیش‌تر خواهد بود. برای اطلاعات خاک از یک بانک اطلاعات خاک که برای استفاده در مدل‌های شبیه سازی گیاهی برای مطالعات در سطح گسترده تهیه شده است، استفاده گردید، ولی کیفیت اطلاعات در ابتدا بررسی شده و خوشبختانه استفاده از اطلاعات این بانک در مقایسه با اطلاعات واقعی که در برخی نقاط در دسترس بود تفاوتی در نتایج شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبیاری در گیاهان اصلی کشور و در اقلیم‌های متفاوت، ایجاد نکرد (پیوست ۳). بنابراین، می‌توان گفت عدم قطعیت از ناحیه اطلاعات خاک نیز در حد کم بوده است. نقشه پراکنش سطح زیرکشت گیاهان مهم کشور با استفاده از آمار سطح زیرکشت گیاهان در بیش از ۴۰۰ شهرستان کشور تهیه شد که برای استفاده در سطح استانی و ملی مناسب است ولی برای استفاده در مقیاس کوچکتر قابل استفاده نیست. بنابراین، می‌توان گفت عدم قطعیت در این مورد در حد کم تا متوسط است. برای این مطالعه اطلاعات مرتبط با سیستم زراعی مثل تعداد کشت در سال، تاریخ کاشت و تراکم کاشت برای هر گیاه از استان‌های مهم تولیدکننده جمع‌آوری گردید است و تصور می‌شود عدم قطعیت از این ناحیه نیز کم باشد. به همین ترتیب، چون مدل مورد استفاده برای هرگیاه با استفاده از داده‌ها از استان‌های مهم تولید کننده پارامتریابی و ارزیابی شده است، عدم قطعیت در خروجی مدل شبیه‌سازی گیاهی کم است. در مجموع چنان‌چه بخواهیم با روش مورد استفاده در پروتکل GYGA به عدم قطعیت نمره بدهیم، نمره عدم قطعیت این مطالعه براساس عوامل شرح داده شده برابر با ۱/۱۸ می‌باشد که نمره خوبی به شمار می‌رود. در پروتکل مذکور به عدم قطعیت کم نمره ۱، عدم قطعیت متوسط نمره ۲ و عدم قطعیت بالا نمره ۳ داده‌می‌شود (پیوست ۶؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۷).

[56] Uncertainty

بخشی از نتایج این گزارش مربوط به اقلیم آینده است که برای این منظور از شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی آینده استفاده شده‌است. متاسفانه عدم قطعیت در شبیه‌سازی اقلیم آینده بالا است که در منابع متعدد به آن اشاره شده‌است. برای کاهش این عدم قطعیت از نتایج دو مدل عمومی گردش و برای دو سناریوی انتشار استفاده شد تا عدم قطعیت در پیش‌بینی اقلیم آینده به حداقل برسد.

در این مطالعه استفاده از تکنولوژی‌های نوین لحاظ شده‌است. برای مثال، رفع خلا عملکرد تا رسیدن به ۸۰ درصد پتانسیل عملکرد مستلزم به‌کارگیری سطح بالایی از تکنولوژی‌ها می‌باشد. اما، تکنولوژی‌های جدید که بعدا ظهور خواهند کرد و ممکن است منشا تحوّلاتی در کشاورزی و امنیت غذایی باشند منظور نشده‌است که می‌تواند نقطه ضعفی برای مطالعه حاضر تلقّی شود ولی باید توجه داشت که در مقابل وقوع مخاطرات غیر قابل پیش‌بینی (مثل همگیری کوید ۱۹) در آینده نیز لحاظ نشده‌است که می‌توان فرض نمود این دو یکدیگر را خنثی کنند.

۴- سیاست‌ها و راهبردهای لازم

بررسی اسناد بالادستی مرتبط با کشاورزی و امنیت غذایی نشان می‌دهد در این اسناد همه موارد مثبته با دقت و مهارت در فهرست سیاست‌ها و راهبردها لحاظ شده‌اند بدون توجه به این که آیا جمع آن‌ها میسر هست یا خیر؟ در واقع این اسناد را می‌توان کلکسیونی از سیاست‌ها و راهبردهای مثبت و خوشبینانه دانست که راه روشنی پیش پای مسئولین و مدیران نمی‌گذارند. در تهیه این سیاست‌ها و راهبردها به محدودیت های بیوفیزیکی کشور توجه کافی نشده‌است. برای نمونه، در این اسناد مکرر به خودکفایی غذایی و نیز خودکفایی در محصولات اساسی اشاره شده‌است ، درحالی که محدودیت آب در کشور و افزایش جمعیت اجازه چنین اتفاقی را نمی-دهد مگر آن که در مقابل منابع طبیعی و محیط زیست کشور به نابودی کشانده شود. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد کشاورزی کشور در تقاطع مهمی برای تصمیم‌گیری قرار دارد که به امنیت غذایی نیز پیوسته است. بنابراین، در این بخش به مهمترین سیاست‌ها و راهبردهای لازم برای کشاورزی کشور در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ پرداخته می‌شود که در یافته‌های قسمت‌های پیشین ریشه دارند. اهمّ سیاست‌ها و راهبردهای لازم عبارتند از:

اثرات مخرّب برداشت بیش از حد آب برای جامعه تبیین و برداشت در حد پایدار به باور و خواست عمومی تبدیل شود:

برداشت بیش از حد آب برای کشاورزی قطعی و مشخص است. همچنین نقش کشاورزی در تخریب گسترده محیط‌زیست کشور از این طریق با توجه به نشانه‌ها (مثل خشک شدن زاینده رود و دریاچه ارومیه) غیر قابل انکار است. اما، ظاهرا این که دلیل اصلی برخی پدیده‌های مخرّب، مصرف بیش از حد آب در کشاورزی است برای مردم، مسئولین و حتی برای جامعه علمی روشن و قطعی نیست. اگرچه در رابطه با اثرات مخرب برداشت بیش از حد آب برای کشاورزی، مصاحبه‌ها و برنامه‌های مستند رادیو-تلویزیونی متعددی وجود دارد، ولی بسیاری از آن‌ها فاقد شرایط مطالعات علمی با معیارهای پذیرفته شده دانشگاهی هستند. در این ارتباط ابراز مطالب پراکنده وکلّی گویی کافی نیست، بلکه شواهد و مستندات علمی باید جمع آوری شود و در ابتدا توسط جامعه علمی مورد پذیرش قرار گیرد. مطالعات با معیارهای پذیرفته شده که به صورت کمّی این موضوع را نشان دهند، اندک است و در کمال تعجب بررسی‌های کمّی و مستند برای محدودیت شماره ۱ کشور، انگشت‌شمار می‌باشد. تفکیک اثرات برداشت بیش از حد آب و تغییر اقلیم به‌صورت کمّی نیز ضرورت دارد. بنابراین، در مرحله اول لازم است رابطه آب-کشاورزی-محیط‌زیست که موجب نابودی برخی از مهمترین آثار طبیعی کشور شده است توسط متخصصّان به صورت کمّی مطالعه شده و در دسترس جامعه قرار گیرد. در مرحله دوم، باید اثرات و پیامدهای تداوم برداشت بیش از حد آب برای محیط زیست و آینده آثار طبیعی کشور برای جامعه تبیین گردد تا انجام اقدامات در این راستا به خواست عمومی تبدیل شود. منابع طبیعی که در اثر این امر از بین رفته یا در معرض نابودی قرار دارند شاید در مقایسه با کشاورزی پتانسیل‌های درآمدزایی بیشتری داشته باشند. به‌علاوه، احتمالا در آینده مجبور باشیم با هزینه‌های بیشتر، حداقل از بخشی از تخریب‌ها جلوگیری کنیم (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش‌های غیر متعارف (مثل انتقال آب دریای خزر) روی بیاوریم. تبیین این مسئله برای روستاییان و کشاورزان نیز اهمیت حیاتی دارد. بدیهی است در شرایط تنگنای شدید اقتصادی، بیکاری و فقدان مشاغل و منابع درآمد جایگزین، پذیرش روستاییان و کشاورزان اندک خواهد بود و حتی در صورت پذیرش کاری از دست آن‌ها ساخته نخواهد بود چون برای بقا چاره‌ای جز ادامه این نوع کشاورزی و برداشت بیش از حد آب

ندارند. در شرایط تحریم، برنامه‌های روشنگری اثربخشی زیادی نخواهند داشت چون گوش شنوایی پیدا نمی‌کنند. در مرحله سوم لازم است آگاهی از این موضوع به باور عمومی و در نتیجه خواست جامعه تبدیل شود.

انتظارات از کشاورزی معقول و محدود گردد:

انتظارات از کشاورزی از ناحیه مسئولین (و در نتیجه جامعه) معقول و منطقی نیست، بلکه آمیخته به شعارزدگی و سیاسی‌کاری است. مسئولین، مدیران و محققان کشاورزی باید این انتظارات را دامن نزده بلکه منطقی سازند. ارایه برنامه‌های توسعه کشاورزی بدون توجه به ظرفیت‌های امن استفاده از منابع آب و زمین نمونه‌هایی هستند که نشان می‌دهند مسئولین تسلیم این شرایط شده‌اند یا در حالت خوشبینانه به محدودیت‌ها باور ندارند. باید برنامه‌ها با دوری از سیاست‌زدگی و شعارزدگی و توجه به واقعیات تهیه شوند. محدودیت-های بخش کشاورزی باید توسط مسئولین و محققان برای سایر بخش‌ها تبیین شود و انتظارات از این بخش پایین آورده شود.

تولیدات گیاهی کشور (مصرف کننده اصلی منابع مثل آب) در سال‌های اخیر به طور متوسط ۱۰۹ میلیون تن در سال بوده است در صورتی که در شرایط استفاده از آب برای کشاورزی در مرزهای پایدار، باید حدود ۵۵ میلیون تن در سال باشد (یعنی نصف). در این صورت با کارگیری بهترین مدیریت و تکنولوژی شناخته شده امروزی می‌توان تولیدات گیاهی کشور را به سطح فعلی آن افزایش داد که در صورت همراهی با مدیریت تقاضا، برای تغذیه ۸۵ میلیون نفر کافی خواهد بود. این در حالی است پیاده‌سازی این مدیریت و تکنولوژی در بهترین شرایط سرمایه‌گذاری و مدیریت، حدود ۲۰ تا ۳۰ سال زمان نیاز دارد . عبور از مرزهای تولید ذکر شده (۵۵ و ۱۰۹)، میسر نخواهد بود مگر با بهره‌کشی از طبیعت که هزینه‌های گذاف آن باید در آینده پرداخت گردد. بنابراین، خودکفایی کامل و حتی خودکفایی برای محصولات اساسی در حال حاضر و آینده امکان‌پذیر نیست. باید مسئله اصلی مدیران کشاورزی از این که "چگونه می‌توان تولید را افزایش داد و به خودکفایی دست یافت" به این تغییر پیدا کند که "چگونه می‌توان خسارات ناشی از سازگاری به کم‌آبی بر تولید، خودکفایی و امنیت غذایی را به حداقل رساند". تفکرات آمیخته به خرافه از ظرفیت کشور برای تولید غذا و تغذیه جمعیت باید دست‌کم از مدیریت کشور کنار گذاشته شود. در سیاست‌های افزایش جمعیت باید به آمادگی و زمینه‌چینی برای واردات بیشتر غذا توجه شود.

بدنه علمی، مدیریتی و اجرایی بخش کشاورزی-آب توانمند شود:

ضعف مفرط سوادی و فقدان درک کل‌نگر[۵۷] در بدنه علمی، مدیریتی و اجرایی بخش کشاورزی (از اساتید دانشگاه تا کارشناسان پهنه) مشهود است. استخدام مشاوران و مدیران باسواد و شناخته شده از خارج از کشور یک گزینه مهم در این ارتباط می‌باشد. تقویت ارتباطات علمی و دانشگاهی با خارج (محدود شده در اثر تحریم) نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

منابع آب کشور و بهره‌برداری از آن تحت کنترل قرار گیرد:

پیش‌شرط موفقیت همه برنامه‌ها این است که منابع آب و نیز زمین و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها تحت کنترل حاکمیت باشد. بهتر آن است که با یافتن سازوکارهایی این کنترل به دست خود مردم و سازمان‌های مردم نهاد صورت گیرد. در غیر این صورت برنامه‌های مدیریت و محدودسازی برداشت آب برای کشاورزی بی‌نتیجه خواهند ماند و شاید به نتیجه برعکس منتهی شوند. نمونه بارز، افزایش راندمان آبیاری است. با افزایش راندمان آبیاری، از طریق توسعه روش‌های نوین انتقال و کاربرد آب و مورد توصیه سیاست‌های فعلی،

[57] Holistic

کشاورزان از آب صرفه‌جویی شده برای آبیاری سطح کشت بزرگتر یا برای کشت گیاهان آب‌برتر استفاده نمودند و افزایش راندمان آبیاری در دهه گذشته نه تنها برداشت آب برای کشاورزی را کاهش نداد بلکه خشکی محیط زیست را تشدید نمود (چون بخشی از تلفات آب در راه مزرعه و در مزرعه به محیط زیست برمی‌گردد و با افزایش راندمان آبیاری، این بخش کوچکتر می‌شود).

واضح است که حکمرانی و مدیریت آب در کشور توسط وزارت نیرو دانا و کارآمد نبوده است. در گذشته در این وزارت-خانه دیدگاه مهندسی حاکمیت داشته و دیدگاه اکوسیستمی و زیست محیطی جایگاه مهمی نداشته است. وجود هزاران هزار سد و بند و چاه[58] مجاز و غیر مجاز نشانه‌ای از این امر است، که منابع آب را برای کشاورزی تخلیه نموده و محیط زیست کشور را تخریب می-کنند. مشکل مهم دیگر در ارتباط با ساختار کنونی حکمرانی و مدیریت آب، تناقض مسئولیت‌ها در وزارت نیرو است. وظیفه صیانت از منابع آب و نیز وظیف فرآهم‌سازی و تامین آب برای بخش‌های مختلف در یک‌جا قرار دارد. دور از انتظار نیست که در شرایط فشار این وزارت برای اجرای وظیفه تامینی خود، وظیفه پاسداری را نادیده بگیرد. لازم است ساختار دیگری جایگزین شود که فقط مسئولیت حفاظت و تخصیص منابع آب (نه تامین) را داشته باشد. واحد سازمانی برای مدیریت آب نیز مناسب نیست. مدیریت منابع آب به صورت استانی انجام می‌شود در حالی که واحد طبیعی آن آبخیر است. یک نمونه جایگزین برای مدیریت آب در مقیاس آبخیز و نه استانی کشور اسپانیا است طوری که در آن ممکن است چند استان در محدوده یک آبخیز قرار گیرند. در این کشور حفاظت و تخصیص آب به شکل کنفدراسیونی اداره می‌شود و رییس کنفدارسیون توسط هیات دولت تعیین می‌گردد و زیر مجموعه یک وزارت‌خانه که مسئولیت تامین آب را بر عهده دارد، نیست.

برای لغو یا شکستن تحریم‌ها تلاش شود:

محیط زیست و منابع طبیعی کشور یکی از قربانیان اصلی تحریم‌ها هستند. در این شرایط امکان صادرات محصولات کشاورزی به کشورهای همسایه که کمتر تحت تاثیر تحریم‌ها قرار دارد، فشار بر کشاورزی را مضاعف می‌سازد. اما، سرمایه‌گذاری در کشاورزی، فرآهمی و دسترسی به نهاده‌های کشاورزی محدود گشته و کیفیت نهاده‌ها نیز کاهش یافته‌است. تداوم تحریم‌ها خروج از دور فساد "برداشت بیش‌ازحد آب برای کشاورزی-تخریب محیط زیست" را مشکل‌تر یا ناممکن خواهد ساخت. با وجود تحریم‌ها امکان سخت‌گیری در اجرای قوانین مرتبط، به‌دلیل جلوگیری از فشار مضاعف بر مردم، کم‌رنگ می‌شود و تصویب قوانین لازم برای حرکت در جهت صحیح دشوارتر خواهد بود. تلاش برای برداشته‌شدن هر چه سریعتر تحریم‌ها و حرکت در جهت کاهش منازعات منطقه‌ای باید در اولویت قرار گیرد. تداوم تحریم‌ها و پیامدهای آن از طریق کاهش استطاعت مالی خانوار تاثیر منفی بر امنیت غذایی داشته و خواهد داشت.

برنامه‌های متداول پاسخگو نیست، برنامه‌های تحوّل‌ساز لازم است:

گذر از وضعیت کنونی کشاورزی-محیط زیست در جهت پایداری امنیت غذایی با برنامه‌های متداول قبلی که در کشور سابقه داشته، میسر نیست. تحوّل[59] لازم است. لازم است توسعه و گسترش کشاورزی در قدم اول متوقف شود و سپس برنامه‌هایی برای کوچک-سازی ولی فشرده‌سازی کشاورزی تهیه و به اجرا درآیند. لازم است در نگرش و واژگان متداول در برنامه‌ریزی، تجدید نظر شود. در صورت موفقیت در برنامه‌های تحول‌ساز، در آینده با کشاورزی سر و کار خواهیم داشت که نصف مقدار کنونی از منابع آب استفاده

[58] هوتک‌ها و چاه ها برای ذخیره آب در سیستان و مناطق جنوبی کشور در شمول این مورد نیستند

[59] Transformation

می‌کند، سطح زیر کشت آن حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش یافته‌است ولی کل تولیدات گیاهی در حد کنونی خواهد بود در حالی که توجه به تنوع زیستی و حفاظت از خاک بیشتر شده است. در این کشاورزی الگوی کشت محصولات کشاورزی متفاوت است طوری که تولید و خودکفایی در محصولات با آب مجازی بالا (مثل محصولات علوفه‌ای، گیاهان قندی، دانه‌های روغنی تابستانه و برنج) کاهش می‌یابد که در نتیجه واردات آن‌ها باید بیشتر شود و در مقابل تولید و صادرات محصولاتی با آب مجازی پایین مثل سیب‌زمینی، صیفی–سبزی، میوه‌جات و حبوبات افزایش پیدا می‌کند. در صورت توفیق برنامه‌های تحوّل‌ساز و علی‌رغم تغییرات ذکر شده، بازده اقتصادی و سود ناخالص کشاورزان در کل کشور به‌طور قابل‌توجهی (تا ۳۰ درصد) بیشتر خواهد بود. در بخش کشاورزی، باید تاکید برنامه‌های تحوّل‌ساز بر فشرده‌سازی از طریق افزایش کارایی‌ها و تغییرات الگوی کشت باشد. نباید برنامه‌های تحوّل‌ساز محدود به تولیدات کشاورزی گردد، بلکه باید مدیریت تقاضا برای محصولات کشاورزی نیز از طریق برنامه‌های کاهش تلفات–ضایعات و تغییر رژیم غذایی مردم کشور به سوی یک رژیم غذایی گیاهی محور، سالم و پایدار همراهی شود. کلیه برنامه های مرتبط با کشاورزی باید با رعایت مرزهای ایمن و پایدار استفاده از منابع زیر بنایی شامل آب، زمین و تنوع زیستی اجرا شوند.

برنامه‌های اجرایی لازم:

فشرده‌سازی اکولوژیک: هدف این برنامه تولید بیشتر به ازای هر واحد منابع یا نهاده‌های مورد استفاده است. این برنامه را می‌توان در قالب برنامه‌هایی برای افزایش راندمان آبیاری و کاهش خلا عملکرد نسبی خلاصه کرد که موجب می‌شوند عملکردها در واحد سطح افزایش یابند. در حال حاضر، در برنامه‌های کشاورزی به افزایش راندمان آبیاری توجه شده است ولی نیاز است برنامه‌های متنوع و مشخصی برای رفع خلا عملکرد تدوین و مورد اجرا قرار گیرد. خلا عملکرد نسبی یا عملکرد نسبی که شاخصی از کارایی تولید است باید مانند راندمان آبیاری در واژگان برنامه‌ها وارد شود. عدم استفاده از ظرفیت عملکرد در واحد سطح ناشی از محدودیت‌ها و موانعی است که در سطوح مختلفی عمل می‌کنند: از مدیریت نامطلوب در مزرعه توسط کشاورزان که باید با انتقال یافته‌ها از مراکز تحقیقاتی و کشاورزان پیشرو به سایر کشاورزان رفع شوند تا محدودیت‌ها و موانع مرتبط با سرمایه، وام، بهره بانکی، بیمه، ریسک و نظیر این‌ها که رفع آن‌ها به برنامه‌هایی در سطوح بالاتر نیاز دارد. فشرده سازی نیازمند دسترسی به نهاده‌ها و ماشین‌آلات مناسب، زیر ساخت‌های حمل و نقل و ذخیره‌سازی است. شرایط تحریم، رفع این محدودیت‌ها را سخت‌تر می‌کند. حتی در صورت رفع تحریم‌ها، کوچک بودن اندازه مزارع مانع مهمّی خواهد بود و کار در مزارع کوچک نیازمند تکنولوژی خاص خود است. احتمالا تصویب قوانینی برای یکپارچه‌سازی اراضی و نیز تجدید نظر در قوانین وراثت زمین و اصلاح آن مورد نیاز باشد. فشرده‌سازی باعث کاهش ردپای آب در تولید محصولات کشاورزی می‌گردد. توجه بیشتر به به‌زراعی یکی از شروط موفقیت برنامه‌های فشرده‌سازی است. برای این منظور باید تحقیقات به‌زراعی با ترویج آمیخته شده و به مزارع کشاورزان منتقل شوند.

تغییر الگوی کشت (تولید): دیدگاه فعلی به خودکفایی مبنی بر لزوم دستیابی به خودکفایی باید تغییر یابد. الگوهای کشتی لازم هستند که به ازای منابع آب مورد استفاده، سود اقتصادی بالاتری ایجاد نمایند. در این شرایط الگوی فعلی صادرات و واردات دستخوش تغییرات خواهد شد و باید شرایط برای پذیرش این تغییرات و مشوّق‌ها برای حرکت به سمت الگوهای مناسب‌تر فرآهم گردد. باید تولید گیاهان علوفه‌ای، گیاهان قندی، دانه‌های روغنی تابستانه و برنج محدودتر شود و در همین حال برای صادرات تولید مازاد محصولات با آب‌بری کمتر یعنی سیب‌زمینی، سبزی–صیفی و میوه‌جات برنامه‌ریزی شود. توسعه گلخانه‌ها بر اساس اقتصاد آب دارای

توجیه است. برای موفقیت الگوهای تولید جایگزین باید از ابزارهای اجتماعی-اقتصادی مرتبط مثل قیمت گذاری، وام، بهره‌بانکی، یارانه، تعرفه‌های واردات و صادرات و نظایر این‌ها هوشمندانه استفاده شود.

چاره‌جویی برای اراضی آبی غیر قابل آبیاری: با محدودسازی اختصاص آب به کشاورزی در حد پایدار، بخش قابل‌توجهی از سطح زیر کشت آبی فعلی (حداقل ۴۰) غیر قابل آبیاری خواهد بود. با پیاده‌سازی برنامه‌هایی مثل کاهش تعداد محصول از ۲ به ۱، افزایش آیش‌گذاری و اختصاص به تولید علوفه به صورت دیم، بخشی از این اراضی همچنان مورد استفاده قرار خواهند گرفت. اما، رهاسازی بخشی از این اراضی غیرقابل‌اجتناب خواهد بود. رها سازی این اراضی باید با اولویت بندی صورت گیرد. رهاسازی اراضی آبی که کمتر مستعد یا نامستعد هستند باید در اولویت باشد. همچنین اراضی با قطعات کوچک، هزینه تولید بالا، واقع در حاشیه رودخانه‌ها و جنگل یا مرتع، دچار مشکلات مثل فرسایش و شوری باید در اولویت رها سازی قرار گیرند. از طرف دیگر، باید اراضی مستعد آبی شناسایی و بیش از پیش تحت حفاظت قرار گیرند و از تبدیل آن‌ها جلوگیری شود. بخشی از اراضی آبی رها شده را می‌توان به ایجاد لکّه‌ها و رگه‌های زمین برای حفظ تنوع زیستی اختصاص داد. رها سازی اراضی حاشیه رودخانه‌های دایمی و فصلی برای جلوگیری از خسارات سیلاب‌ها واجد اولویت است. با لحاظ همه گزینه‌ها، حداقل بخشی از اراضی آبی فعلی که غیر قابل آبیاری هستند باید خریداری و آزادسازی شوند.

جبران آسیب‌های کوچک‌سازی سطح زیر کشت: اگرچه کاهش بازده اقتصادی کشاورزان در اثر کنار گذاشتن و کوچک‌سازی سطح زیر کشت آبی با تغییر الگوی کشت قابل جبران بلکه قابل افزایش است ولی احتمالا کاهش تعداد مشاغل کشاورزی به‌طور کامل با فشرده‌سازی قابل جبران نیست. باید برنامه‌هایی برای ایجاد مشاغل جایگزین روستایی، تکمیل زنجیره ارزش و نظیر این‌ها تهیه و اجرا گردند. این برنامه‌ها را باید با برنامه‌های کنونی حمایت از روستاییان مثل طرح شهید رجایی ترکیب نمود. این برنامه‌ها باید با برنامه‌هایی برای افزایش سواد فرهنگی و زیست محیطی روستاییان و کشاورزان همراه باشد. این هزینه‌ها با تکمیل سایر برنامه‌ها مرتفع خواهند شد.

کشاورزی حفاظتی، افزایش ماده آلی و ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی: به دلیل بهره‌کشی دراز مدت از خاک‌ها بدون جبران کامل عناصر غذایی تخلیه شده، ماده آلی خاک‌های کشور به سطحی خطرناک تنزّل یافته‌است و فرسایش‌پذیری این اراضی افزایش یافته‌است. اجرای برنامه‌هایی برای به‌کارگیری وسیع خاک‌ورزی حفاظتی و کشاورزی حفاظتی به افزایش ماده آلی خاک و ترسیب کربن کمک خواهد نمود. علاوه بر این، به‌کارگیری مالچ در این سیستم‌ها باعث افزایش دسترسی گیاه به آب شده و نیاز به آبیاری کمتر خواهد شد.

افزایش کارایی سیستم‌های دامی و سیستم‌های دامی جایگزین: بخش بزرگی از منابع آبی کشاورزی کشور (یک چهارم) در تولید علوفه به مصرف می‌شود و با تنظیم اختصاص آب به کشاورزی در حد پایدار، ادامه وضعیت تولید محصولات علوفه‌ای و در نتیجه دامی قابل تداوم نخواهد بود. همچنین به لحاظ اقتصادی و با توجه به قیمت‌های فعلی محصولات کشاورزی، اختصاص آب به تولید گیاهان علوفه‌ای و دامی در مقایسه با گیاهانی مثل سبزی-صیفی اولویت کمتری دارد. احتمال دارد بخش قابل‌توجهی از افت تولیدات علوفه با بهبود کارایی‌ها در سیستم‌های دامی و یا استفاده از سیستم‌های جایگزین قابل جبران باشد. مجوزهای جدید برای احداث واحدهای دامی باید متوقف شود و مشوّق‌ها و حمایت‌ها فقط به افزایش کارایی یا جایگزینی اختصاص داده شود. ممکن است تغییر در

نوع علوفه، فضای نگهداری (سنتی، نیمه صنعتی و صنعتی) و نوع دام‌ها مورد نیاز باشد. با توجه به این‌که در الگوهای کشت جایگزین، تولید ذرت سیلویی و بقولات علوفه‌ای (یونجه) در مقدار فعلی قابل تداوم نیست، بررسی و جایگزنی انواع علوفه دیگر و نیز تولید دیم علوفه (مثل خارشتر در شرایط خشک) در اراضی آبی که قابل آبیاری نخواهند بود، اولویت پیدا می‌کند.

تحوّل در تولید محصولات باغبانی: حدود ۳۸ درصد از برداشت کنونی آب در کشاورزی به گیاهان باغبانی، یعنی میوه‌های درختی (بیش از ۳۰ درصد) و سبزی-صیفی (بیش از ۷ درصد)، اختصاص می‌یابد. در مقابل خلا عملکرد بزرگی برای این گیاهان (۶۹ درصد گونه‌های درختی و ۵۶ درصد برای سبزی-صیفی) در کشور وجود دارد. تلفات-ضایعات این گیاهان نیز بالا است. گونه‌های درختی کمتر اصلاح شده‌هستند و دارای مشکلاتی مثل سال‌آوری و طولانی بودن دوره تا باردهی می‌باشند. در یک برنامه جامع باید چنین مشکلاتی مرتفع گردد. در این برنامه باید توسعه کشت‌های گلخانه‌ای و نیز فرآهم کردن زمینه صادرات (از درجه‌بندی، بسته‌بندی تا تعرف‌گذاری) محصولات مازاد بر نیاز منظور گردد.

کاهش تلفات-ضایعات: حدود ۳۰ درصد از محصولات کشاورزی (گیاهی و دامی) تولید شده در داخل به دلیل تلفات-ضایعات از دسترس خارج می‌شوند. این میزان تلفات-ضایعات معادل غذای ۱۸ میلیون نفر با رژیم غذایی فعلی کشور است و ۳۲ درصد از کل آب اختصاصی به کشاورزی (حدود ۲۵ میلیارد متر مکعب) در تولید آن‌ها صرف شده‌است. باید دلایل این تلفات-ضایعات شناسایی شده و با اتخاذ تدابیر مناسب برطرف شوند. برخی دلایل عبارتند از: کشت بیش از نیاز بازار، عدم برداشت به دلایل اقتصادی، ریزش یا آسیب به محصول در زمان برداشت، انبارداری نامناسب یا طولانی مدت، آسیب دیدگی در حمل و نقل و انبارداری، لزوم رعایت استانداردهای غیر ضروری در فرآوری و بسته‌بندی، برچسب‌های غیر دقیق تاریخ مصرف و عدم خورده‌شدن. برخی راه‌های کاهش و محدودسازی تلفات-ضایعات عبارتند از: بهبود زمان و روش برداشت، بهبود دسترسی به زیرساخت‌ها و بازار، ترویج روش‌های استفاده از محصولات فاقد بازار فروش، بهبود روش‌های حمل و نقل و انبارداری، فرآوری و بسته‌بندی، تغییر تبلیغات فروشگاهی، تجدید نظر و به‌سازی برچسب‌های تاریخ مصرف، بهبود زنجیره عرضه، ارایه اطلاعات روش‌های ذخیره‌سازی به مصرف‌کنندگان، کاهش اندازه قطعات مواد غذایی، بهبود مهارت‌های پخت‌وپز و راه‌اندازی چالش‌های آموزش مصرف‌کنندگان. برای کسب نتایج مطلوب کاربرد هدفمند ابزارهای مالی مثل تسهیلات، وام، بهره و فرهنگی-تبلیغاتی ضروری خواهد بود.

تغییر رژیم غذایی: رژیم‌های غذایی گیاهی محور از نقطه‌نظر سلامتی و زیست محیطی مورد توجه و تایید بسیاری دانشمندان قرار گرفته‌اند. در مقایسه با رژیم غذایی فعلی کشور، این رژیم‌ها به آب و منابع کمتری نیاز دارند. باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی می‌شوند. هزینه خرید اقلام غذایی برای آن‌ها کمتر است و مهمتر این‌که برای سلامت جامعه مفیدتر هستند: خطر ابتلا به حمله قلبی، فشار خون، کلسترول، دیابت و برخی سرطان‌ها را کاهش می‌دهند. برعکس، رژیم غذایی مطلوب مورد توصیه وزرات بهداشت منطبق با شرایط اکولوژیک و محدودیت‌های منابع آب کشور نیست. بنابراین، یکی از اولویت‌ها باید بازنگری در رژیم غذایی مطلوب مورد توصیه وزارت بهداشت باشد و این رژیم با رژیم‌های مناسب جایگزین شود. عادات غذایی جاافتاده و رایج، عدم آگاهی از فواید رژیم‌های جایگزین و عدم آگاهی از غذاهای جایگزین و نحوه پخت آن‌ها از موانع تغییر رژیم غذایی هستند. برای تغییر رژیم غذایی استفاده از مکانیسم‌های قیمت‌گذاری، یارانه و نیز اقدامات فرهنگی گسترده (به‌ویژه از طریق رادیو-تلویزیون) ضروری خواهد بود.

جهت دهی به امکانات مالی-اقتصادی مثل وام، بهره، یارانه و نظیر این‌ها: در راستای اهداف برنامه‌ها ذکر شده لازم است به جهت دهی و استفاده هوشمند از ابزارهای مالی-اقتصادی توجه گردد.

تکنولوژی‌های جدید: پیشرفت‌های تکنولوژیک ممکن است به تامین غذای کافی و امنیت غذایی در سطح جهان و کشور کمک کنند. برخی نمونه‌ها عبارتند از: استفاده از حشرات به عنوان علوفه دام‌ها (به‌ویژه این که برای تغذیه حشرات می‌توان از تلفات-ضایعات غذایی و میوه‌ها استفاده کرد)، گوشت و شیر گیاهی یا مصنوعی، ایجاد واریته‌های جدید گیاهی به ویژه درختان میوه با دوره کوتاه‌تر کاشت تا میوه‌دهی و فقدان سال‌آوری و توسعه ماشین‌آلات مناسب برای کاربرد در مزارع کوچکتر. سرمایه‌گذاری در تحقیقات این گونه تکنولوژی‌ها می‌تواند یکی از برنامه‌ها باشد.

موارد فوق، فهرست مهمترین برنامه‌ها و نه خود برنامه‌ها هستند. بدیهی است نگارش سیاست‌ها و برنامه‌ها و فواید آن‌ها روی کاغذ ساده ولی در پیاده‌سازی آن‌ها موانع و محدودیت های بی شمار وجود دارد که باید رفع شوند. هدف اصلی این مطالعه کمک به جهت-گیری‌های صحیح در فعالیت‌های کشاورزی و امنیت‌غذایی با ارزیابی کمّی همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست بوده‌است.

فهرست کوتاه سیاست‌ها (بایدها و نبایدها)

- اسناد بالادستی مرتبط با کشاورزی و امنیت غذایی نباید فقط کلکسیونی از سیاست‌ها و راهبردهای مثبت باشند که راه روشنی پیش پای مسئولین و مدیران نمی‌گذارند.
- در اسناد بالادستی مرتبط با کشاورزی و امنیت غذایی باید به محدودیت های بیوفیزیکی کشور در تهیه سیاست‌ها و راهبردها توجه شود. نمونه بارز، هدف‌گذاری برای دستیابی به خودکفایی است، که منطبق بر این محدودیت‌ها نیست. خودکفایی کامل و حتی خودکفایی برای محصولات اساسی در حال حاضر و آینده امکان‌پذیر نیست مگر با برداشت بیش از حد آب و به خطر افتادن آینده کشاورزی و تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست.
- کلیه برنامه های مرتبط با کشاورزی باید با رعایت مرزهای ایمن و پایدار استفاده از منابع زیر بنایی شامل آب، زمین و تنوع زیستی تهیه و اجرا شوند. نقش کشاورزی در تخریب گسترده محیط‌زیست کشور از طریق برداشت اضافی آب، با توجه به نشانه‌ها (مثل خشک شدن زاینده رود و دریاچه ارومیه)، غیر قابل انکار است که پایداری تولید در آینده را با ابهام مواجه می-سازد. منابع طبیعی که در اثر این امر از بین رفته یا در معرض نابودی قرار دارند شاید در مقایسه با کشاورزی پتانسیل‌های درآمدزایی بیشتری داشته باشند. به‌علاوه، احتمالا در آینده مجبور باشیم با هزینه‌های بیشتر، حداقل از بخشی از تخریب‌ها جلوگیری کنیم (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش‌های غیر متعارف (مثل انتقال آب دریای خزر) روی بیاوریم.
- مسئله اصلی مدیران کشاورزی باید از این که "چگونه می‌توان تولید را افزایش داد و به خودکفایی دست یافت" به این تغییر پیدا کند که "چگونه می‌توان خسارات ناشی از سازگاری به کم‌آبی بر تولید، خودکفایی و امنیت غذایی را به حداقل رساند".

- مدیران و محققان کشاورزی و منابع طبیعی باید انتظارات از کشاورزی و ظرفیت‌های آن را تعدیل کنند.
- در سیاست‌های افزایش جمعیت باید به آمادگی و زمینه‌چینی برای افزایش واردات غذا توجه شود. با به‌کارگیری بهترین مدیریت و تکنولوژی شناخته شده امروزی برای افزایش تولید و مدیریت تقاضا، ظرفیت کشور برای جمعیت به صورت خودکفا، ۸۵ میلیون نفر است. پیاده‌سازی این مدیریت و تکنولوژی نیز در بهترین شرایط سرمایه‌گذاری و مدیریت، حدود ۲۰ تا ۳۰ سال زمان نیاز دارد.
- استخدام مشاوران و مدیران باسواد و شناخته شده از خارج از کشور برای مدیریت آب، کشاورزی، غذا و محیط‌زیست باید مدنظر قرار گیرد.
- منابع آب و نیز زمین و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها باید تحت کنترل حاکمیت قرار گیرند چون پیش‌شرط موفقیت همه برنامه-های مرتبط با آب-کشاورزی-غذا است. نمونه بارز، افزایش راندمان آبیاری در دهه گذشته است که نه تنها برداشت آب برای کشاورزی را کاهش نداد بلکه خشکی محیط زیست را تشدید نمود (بخشی از تلفات آب در راه مزرعه و در مزرعه به محیط زیست برمی‌گردد و با افزایش راندمان آبیاری، این بخش کوچکتر می‌شود).
- وظیفه صیانت از منابع آب و نیز وظیفه فرآهم‌سازی و تامین آب برای بخش‌های مختلف باید جدا شوند. دور از انتظار نیست که در شرایط جمع‌شدن این دو مسئولیت در یک‌جا (وزارت نیرو)، در اثر فشار برای وظیفه تامینی، وظیفه پاسداری نادیده گرفته‌شود. لازم است ساختار دیگری جایگزین شود که در آن واحد مدیریت آب آبخیز و نه استان باشد.
- برای لغو یا خروج از تحریم‌ها باید اقدام شود. تداوم تحریم‌ها خروج از دور فساد "برداشت بیش‌ازحد آب برای کشاورزی-تخریب محیط زیست" را مشکل‌تر یا ناممکن خواهد ساخت و باعث تشدید ناپایداری تولید در آینده می‌شود. همچنین تداوم تحریم‌ها و پیامدهای آن از طریق کاهش استطاعت مالی خانوار تاثیر منفی بر امنیت غذایی داشته و خواهد داشت.
- برای اطمینان از امنیت غذایی توام با حفظ محیط‌زیست، باید برنامه‌های تحوّل‌ساز تهیه گردد. برنامه‌های متداول قبلی که در کشور سابقه داشته، کافی نیست. در برنامه‌های تحوّل‌ساز تاکید بر فشرده‌سازی از طریق افزایش کارایی‌ها و تغییرات الگوی کشت می‌باشد. در صورت توفیق برنامه‌های تحوّل‌ساز، علی‌رغم کوچک شدن کشاورزی بازده اقتصادی و سود ناخالص کشاورزان در کل کشور به‌طور قابل‌توجهی (تا ۳۰ درصد) بیشتر خواهد شد.
- توسعه و گسترش کشاورزی مبتنی بر کشت آبی باید متوقف شود و برنامه‌هایی برای کوچک‌سازی ولی فشرده‌سازی کشاورزی تهیه و به اجرا درآیند. حمایت‌ها فقط شامل پروژه‌های مبتنی بر افزایش کارآمدی باشد. توسعه کشاورزی مبتنی بر "مونتاژ" داخلی مثل تولید مرغ مبتنی بر واردات ذرت از این امر مستثنی است.
- برای تغییر الگوی واردات و صادرات باید اقدام گردد. واردات قند و شکر، روغن و محصولات با کاربرد علوفه یا محصولات دامی باید افزایش یابد و از طرف دیگر باید برای صادرات بیشتر سبزی-صیفی آمادگی ایجاد شود.
- مدیریت تقاضا (تغییر رژیم غذایی به سمت مصرف بیشتر مواد گیاهی و کاهش تلفات-ضایعات) در حصول امنیت غذایی نباید دست کم گرفته شود. تاثیر برنامه‌های مدیریت تقاضا در حد برنامه‌های افزایش تولید می‌باشد.

فهرست منابع

اعتدالی، ه.ر.، شکوهی، ع.، مجتبوی، س.ا. ۱۳۹۶. بهره‌گیری از مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات اصلی برای عبور از بحران آب منطقه قزوین. نشریه آب و خاک. ۳۱: ۴۲۲-۴۳۳.

باغستانی، ع.ا.، مهرابی بشرآبادی، ح.، زارع مهرجردی، م.ح.، شرافتمند، ح. ۱۳۸۹. کاربرد مفهوم آب مجازی در مدیریت منابع آب ایران. تحقیقات منابع آب ایران. ۶: ۲۸-۳۸.

بدیعی، ف.، ل. بهبهانی، ف. بیات، م. خان احمدی، ک. رشمه کریم، ش. زمردی، م. شاه امیریان، ف. شواخی، ز. شیخ الاسلامی، ا. عزیزی، ح. فاطمیان، ر. فامیل مؤمن، ع. قدس ولی، م. قیافه داوودی، م. کریمی، ف. گودرزی، ا. محمدپور، ن. مفتون آزاد، ع. میرمجیدی. ۱۳۹۴. کاهش ضایعات محصولات کشاورزی با بهینه سازی فرآیندهای تبدیلی و فناوری‌های پس از برداشت. موسسه تحقیقات فنّی مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

روحانی، ن.، یانگ، ه.، سیچانی، س.ا.، افیونی، م.، موسوی، س.ف.، کامگار حقیقی، ع.ا. ۱۳۸۷. ارزیابی مبادله محصولات غذایی و آب مجازی با توجه به منابع آب موجود در ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۶: ۴۱۷-۴۳۲.

سلطانی، ا. ۱۳۸۸. مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۵، ص.

سلطانی، ا. و فرجی، ا. ۱۳۸۶. رابطه آب خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد (شابک: ۹۶۴۳۲۴۱۳۵-۱)

سلطانی، ا.، رجبی، م.ح.، زینلی، ا.، سلطانی، ۱. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گیاهان زراعی با روش LCA: گندم در گرگان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد سوم، شماره سوم. ۲۱۸-۲۰۱.

سلطانی، ا.، ا.ب. بذرگر، ع.ر. کوچکی، ا. زینلی، ع. قائمی، ا. حجارپور. ۱۳۹۴. ارزیابی چرخه حیاتی تولید چغندر قند در سیستم های مختلف در خراسان. نشریه تولید گیاهان زراعی، جلد ۸، شماره ۱، ص. ۴۳ تا ۶۲.

صالحی، ف.، عبداللهی، ز.، عبداللهی، م. ۱۳۹۲. سبد غذایی مطلوب. انتشارات اندیشه ماندگار. ۶۰ صفحه.

عباسی، ف.، ف. سهراب، ن. عباسی. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، جلد ۱۷، شماره ۶۷، ص ۱۱۳ تا ۱۲۸.

عربی یزدی، ا.، علیزاده، ا.، محمدیان، ف. ۱۳۸۸. بررسی ردپای اکولوژیک آب در بخش کشاورزی ایران. نشریه آب و خاک. ۲۳: ۱-۱۵.

کهراریان، م.، وفایی شوشتری، ر.، سلیمان نژادیان، ا. ۱۳۹۶. بررسی تنوع زیستی پادمان در سه اکوسیستم مختلف در استان کرمانشاه. گیاه پزشکی، دوره ۴۰، شماره ۳، صفحه ۳۹ تا ۵۲.

ملکوتی، م.ج. ۱۳۹۷. نقش مصرف بهینه کود در افزایش عملکرد وتولید محصولات کشاورزی سالم. انتشارات مبلغان، تهران، ص. ۴۵۸.

مومنی، ع. ۱۳۸۹. پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). دوره ۲۴، شماره ۳، صفحه ۲۰۳ تا ۲۱۵.

ناصری، ا.، عباسی، ف.، و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۸ (۶۸): ۱۷-۳۲.

Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Finnigan, J., Moran, D., Rounsevell, M.D.A., 2017. Losses, inefficiencies and waste in the global food system. Agric. Syst. 153, 190–200.

Alexander, P., Brown, C., Arneth, A., Finnigan, J., Rounsevell, M.D.A., 2016. Human appropriation of land for food: The role of diet. Glob. Environ. Chang. 41, 88–98.

Anderson, W., You, L., Wood, S., Wood-Sichra, U. and Wu, W., 2014. A comparative analysis of global cropping systems models and maps. IFPRI Discussion Paper 01327, International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Anwar, M. R., Liu, D. L., Farquharson, R., Macadam, I., Abadi, A., Finlayson, J., Wang, B., Ramilan, T., 2015. Climate change impacts on phenology and yields of five broadacre crops at four climatologically distinct locations in Australia. Agric. Syst. 132, 133-144.

Bodirsky, B.L., Rolinski, S., Biewald, A., Weindl, I., Popp, A. and Lotze-Campen, H., 2015. Global food demand scenarios for the 21st century. PloS One, 10(11): e0139201. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139201.

Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B. and Rashidi, Y., 2017. Identification of dust storm origin in South–West of Iran. J. Env. Health Sci. Engineer. 15:16. doi: 10.1186/s40201-017-0280-4.

Brouwer, C., Prins, K., Heibloem, M., 1989. Irrigation water management: irrigation scheduling. FAO Land and Water Development Division. Training Manual no. 4, Rome, Italy.

Cassidy, E.S., West, P.C., Gerber, J.S. and Foley, J.A., 2013. Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. Env. Res. Let. 8: 034015.

Cassman, K.G., 2012. What do we need to know about global food security? Glob. Food Sec. 2, 81–82.

Collins, W.J., N. Bellouin, M. Doutriaux-Boucher, N. Gedney, T. Hinton, C. D. Jones, S. Liddicoat, G. Martin, F. O'Connor, J. Rae, C. Senior, I. Totterdell, S. Woodward, T. Reichler, J. Kim, 2008. Evaluation of the HadGEM2 model. Met Office Hadley Centre Technical Note no. HCTN 74, available from Met Office, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/index.html.

Connor, D. J., Loomis, R. S., and Cassman, K. G. 2011. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press. 556 p.

Dehghani, M., Zoej, M.J.V., Entezam, I., Saatchi, S.S. and Shemshaki, A., 2010. Interferometric measurements of ground surface subsidence induced by overexploitation of groundwater. J. App. Remote Sensing, 4(1): 041864.

Dufresne, J.L., Foujols, M., Denvil, S. et al. 2013. Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth System Model: from CMIP3 to CMIP5. Clim. Dyn. 40, 2123-2165.

Ercin, A.E. and Hoekstra, A.Y., 2014. Water footprint scenarios for 2050: A global analysis. Env. Int., 64, 71-82.

Fader, M., Gerten, D., Krause, M., Lucht, W., Cramer, W., 2013. Spatial decoupling of agricultural production and consumption: quantifying dependences of countries on food imports due to domestic land and water constraints. Environ. Res. Lett. 8, 14046.

Falkenmark, M., Lannerstad, M., 2010. Food security in water-short countries—coping with carrying capacity overshoot. In Re-thinking water and food security (Vol. 3, No. 22, pp. 3-22). Routledge in association with GSE Research.

FAO, 2002. Report of the World Food Summit: Five Years Later. FAO, Rome.

FAO, 2006. Livestock's long shadow - environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. doi:10.1007/s10666-008-9149-3

FAO. 2019. FAOSTAT: http://faostat.fao.org/. (Accessed 21 November 2019).

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2018. The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition. Rome, FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2017. The State of Food Security and Nutrition in the World 2017. Building resilience for peace and food security. Rome, FAO.

Ferrise, R., Triossi, A., Stratonovitch, P., Bindi, M. and Martre, P., 2010. Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. Field Crop Res., 117(2-3), 245-257.

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C. and Balzer, C., 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature, 478: 337-342.

Gerivani, H., Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. and Jalali, N., 2011. The source of dust storm in Iran: a case study based on geological information and rainfall data. Carpathian J. Earth Env. Sci., 6 (1): 297-308.

Ghanem, M.E., Marrou, H., Biradar, C. and Sinclair, T.R., 2015. Production potential of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in East Africa. Agric. Syst., 137: 24-38.

González, A.D., Frostell, B. and Carlsson-Kanyama, A., 2011. Protein efficiency per unit energy and per unit greenhouse gas emissions: potential contribution of diet choices to climate change mitigation. Food policy, 36(5): 562-570.
Grafton, R.Q., Williams, J., Perry, C.J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S.A., Wang, Y., Garrick, D., Allen, R. G., 2018. The paradox of irrigation efficiency. Sci. 361: 748–750.
Grassini, P., L.G.J. Van Bussel, J. van Wart, J. Wolf, L. Claessens, H. Yang, H. Boogaard, H. de Groot, M.K. van Ittersum and K.G. Cassman. 2015. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. Field Crops Res., 177: 49-63
Guiguitant, J., Marrou, H., Vadez, V., Gupta, P., Kumar, S., Soltani, A., Sinclair, T.R. and Ghanem, M.E., 2017. Relevance of limited-transpiration trait for lentil (*Lens culinaris* Medik.) in South Asia. Field Crop Res., 209: 96-107.
Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., 2011. Global Food Losses and Food Waste; Extent, Causes and Prevention. Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK), Gothenburg (Sweden), and FAO, Rome (Italy).
Hernandez-Ochoa, I.M., Asseng, S., Kassie, B.T., Xiong, W., Robertson, R., Pequeno, D.N.L., Sonder, K., Reynolds, M., Babar, M.A., Milan, A.M. and Hoogenboom, G., 2018. Climate change impact on Mexico wheat production. Agric. For. Meteo., 263: 373-387.
Hojjati, M.H. and Boustani, F., 2010. An assessment of groundwater crisis in Iran, case study: Fars province. World Acad. Sci. Engineer. Techn., 70: 476-480.
Ingram, J. 2011. A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. Food Security 3(4): 417-431.
IPCC. 2013. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (Eds.). The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–1535.
Jägermeyr, J., Gerten, D., Heinke, J., Schaphoff, S., Kummu, M., Lucht, W., 2015. Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages. Hydrol. Earth Syst. Sci. 19, 3073–3091.
Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., Rockström, J., 2016. Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. Environ. Res. Lett. 11, 25002.
Jalava, M., Guillaume, J.H.A., Kummu, M., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., 2016. Diet change and food loss reduction: What is their combined impact on global water use and scarcity? Earth's Futur. 4, 62–78.
Jalava, M., Kummu, M., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., 2014. Diet change: a solution to reduce water use? Environ. Res. Lett. 9, 74016.
Keating, B.A., Herrero, M., Carberry, P.S., Gardner, J., Cole, M.B., 2014. Food wedges: framing the global food demand and supply challenge towards 2050. Glob. Food Sec. 3, 125–132.
Kontgis, C., Schneider, A., Ozdogan, M., Kucharik, C., Tri, V.P.T., Duc, N. H., Schatz, J. 2019. Climate change impacts on rice productivity in the Mekong River Delta. App. Geo. 102, 71-83.
Koo, J., and Dimes, J. 2013. "HC27 Generic Soil Profile Database", http://hdl.handle.net/1902.1/20299, Harvard Dataverse, V2
Kropp, I., Nejadhashemi, A.P., Deb, K., Abouali, M., Roy, P.C., Adhikari, U. and Hoogenboom, G., 2019. A multi-objective approach to water and nutrient efficiency for sustainable agricultural intensification. Agric. Syst., 173, 289-302.
Lashkaripour, G.R. and Ghafoori, M., 2011. The effects of water table decline on the groundwater quality in aquifer of Torbat Jam Plain, Northeast Iran. Int. J. Emerg. Sci., 1(2), 153-163.
MacCarthy, D.S., Sommer, R. and Vlek, P.L., 2009. Modeling the impacts of contrasting nutrient and residue management practices on grain yield of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in a semi-arid region of Ghana using APSIM. Field Crop Res., 113(2), 105-115.
Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? J. Environ. Stud. Sci. 4, 315–328.

Madani, K., AghaKouchak, A., Mirchi, A., 2016. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iran. Stud. 49, 997–1016.
Martre, P., Wallach, D., Asseng, S., Ewert, F., Jones, J.W., Rötter, R.P., Boote, K.J., Ruane, A.C., Thorburn, P.J., Cammarano, D. and Hatfield, J.L., 2015. Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. Glob. Change Biol., 21(2), 911-925.
Mesgaran, B., Azadi, P., 2018. A national adaptation plan for water scarcity in Iran. working paper 6, Stanford Iran 2040 project, Stanford University, August 2018.
Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., Azadi, P. 2016. Evaluation of Land and Precipitation for Agriculture in Iran, Working Paper 2, Stanford Iran 2040 Project, Stanford University, December 2016.
Messina, C.D., Sinclair, T.R., Hammer, G.L., Curan, D., Thompson, J., Oler, Z., Gho, C. and Cooper, M., 2015. Limited-transpiration trait may increase maize drought tolerance in the US Corn Belt. Agron. J., 107(6), 1978-1986.
Munesue, Y. and Masui, T., 2019. The impacts of Japanese food losses and food waste on global natural resources and greenhouse gas emissions. J. Industr. Ecol. 23(5), 1196-1210.
Moridi, A., 2017. State of water resources in Iran. Int. J. Hydro. 1, 111-114.
Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J. and Arabi, S., 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran: results from InSAR, levelling and GPS. Geo. J. Int., 168(2), 518-526.
Perry, C., Steduto, P., Karajeh, F., 2017. Does improved irrigation technology save water? a review of the evidence. Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management for the Near East and North Africa. FAO. Cairo.
Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PLoS One 8, e66428.
Porkka, M., Kummu, M., Siebert, S. and Varis, O., 2013. From food insufficiency towards trade dependency: a historical analysis of global food availability. PloS One, 8(12), e82714.
Robinson, S., Mason-D'Croz, D., Sulser, T., Islam, S., Robertson, R., Zhu, T., Gueneau, A., Pitois, G., and Rosegrant, M. W. 2015. The international model for policy analysis of agricultural commodities and trade (IMPACT): Model description for version 3. IFPRI Discussion Paper 1483.
Reutter, B., Lant, P., Reynolds, C. and Lane, J., 2017. Food waste consequences: environmentally extended input-output as a framework for analysis. J. Clean. Prod., 153, 506-514.
Ruane, A.C., Hudson, N.I., Asseng, S., Camarrano, D., Ewert, F., Martre, P., Boote, K.J., Thorburn, P.J., Aggarwal, P.K., Angulo, C. and Basso, B., 2016. Multi-wheat-model ensemble responses to interannual climate variability. Env. Model Soft., 81, 86-101.
Schils, R. L.M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., et al., 2018. Cereal yield gaps across Europe. Eur. J. Agron., 101, 109-120.
Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T.R. and Sadok, W., 2017. Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. Agric. Syst., 153, 101-108.
Sciarresi, C., Patrignani, A., Soltani, A., Sinclair, T., Lollato, R.P., 2019. Plant traits to increase winter wheat yield in semiarid and subhumid environments. Agron. J. 111, 1–13.
Sinclair, T.R., 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development. Field Crop Res., 15(2), 125-141.
Sinclair, T.R., 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. Trend. Plant Sci., 16(6), 289-293.
Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A. and Samples, M., 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agron. J., 102(2), 475-482.
Sinclair, T.R., Marrou, H., Soltani, A., Vadez, V. and Chandolu, K.C., 2014. Soybean production potential in Africa. Glob. Food Sec., 3(1), 31-40.
Smakhtin, V., Revenga, C., Döll, P., 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. Water Int. 29, 307–317.
Smith, P., 2013. Delivering food security without increasing pressure on land. Glob. Food Sec. 2, 18–23.
Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., et al., 2018. Options for keeping the food system within

environmental limits. Nature 562, 519.
Soltani A, and Sinclair TR. 2012. Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield. CABI, Wallingford, UK.
Soltani, A., Maddah, V. and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. Int. J. Plant Prod., 7(4), 711-740.
Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., van Loon, M.P., van Ittersum, M.K., 2020. Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. Glob. Food Security, 24, 100351.
Soltani, A., Maleki, M. H. M., and Zeinali, E. 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. Int. J. Plant Prod. 8, 587-604.
Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy. 50, 54-61.
Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. 108, 20260–20264.
Timsina, J., Wolf, J., Guilpart, N., Van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Hossain, A., Rashid, H., Islam, S., Van Ittersum, M.K., 2018. Can Bangladesh produce enough cereals to meet future demand? Agric. Syst. 163, 36–44.
Tonini, D., Albizzati, P.F. and Astrup, T.F., 2018. Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. Waste Management, 76, 744-766.
Torkamanitombeki, H., Rahnamarad, J. and Saadatkhah, N., 2018. Groundwater chemical indices changed due to water-level decline, Minab Plain, Iran. Env. Earth Sci., 77(7), 269.
Trnka, M., Kersebaum, K.C. and Olesen, J.E., 2015. Description of the compiled experimental data available in the MACSUR CropM database. FACCE MACSUR Reports, 6, pp.2-1.
ur Rahman, M.H., Ahmad, A., Wang, X., Wajid, A., Nasim, W., Hussain, M., Ahmad, B., Ahmad, I., Ali, Z., Ishaque, W. and Awais, M., 2018. Multi-model projections of future climate and climate change impacts uncertainty assessment for cotton production in Pakistan. Agric. For. Meteo., 253, 94-113.
Vadez, V., Halilou, O., Hissene, H.M., Sibiry-Traore, P., Sinclair, T.R. and Soltani, A., 2017. Mapping water stress incidence and intensity, optimal plant populations, and cultivar duration for African groundnut productivity enhancement. Front. Plant Sci., 8, 432.
Vali-Khodjeini, A., 1995. Human impacts on groundwater resources in Iran. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences, 230, pp.141-146.
Van Bussel, L.G.J., P. Grassini, J. van Wart, J. Wolf, L. Claessens, H. Yang, H. Boogaard, H. de Groot, K. Saito, K.G. Cassman and M.K. van Ittersum. 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. Field Crop Res., 177, 98-108.
Van Ittersum, M., Cassman K.G., Grassini, P., Wolf, J. Tittonell, P., Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A Review. Field Crop Res., 143, 4-17.
Van Ittersum, M.K., Van Bussel, L.G.J., Wolf, J., Grassini, P., Van Wart, J., Guilpart, N., Claessens, L., de Groot, H., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Yang, H., 2016. Can sub-Saharan Africa feed itself? Proc. Natl. Acad. Sci. 113, 14964–14969.
van Loon, M.P., Deng, N., Grassini, P., Edreira, J.I.R., Wolde-Meskel, E., Baijukya, F., Marrou, H., van Ittersum, M.K., 2018. Prospect for increasing grain legume crop production in East Africa. Eur. J. Agron. 101, 140–148.
Van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M. and Cassman, K.G., 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crop Res., 143, 34-43.
Wang, X., Gassman, P.W., Williams, J.R., Potter, S. and Kemanian, A.R., 2008. Modeling the impacts of soil management practices on runoff, sediment yield, maize productivity, and soil organic carbon using APEX. Soil Till. Res., 101(1-2), 78-88.
Wayne, G.P. 2013. The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Skeptical Science.
Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B. et al. 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. Int J Life Cycle Assess 21, 1218–1230.

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., et al., 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet 393, 447–492.
WPP, 2019. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects, Online Edition.