



سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا

بخش چهارم: ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری

زیربخش: آسیب‌های اقتصادی ناشی از تغییر اقلیم

گزارش سوم:

ارزیابی آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار و تنوع بخشی اقتصادی

## طرح ملی تغییر آب و هوا



سومین گزارش ملی تغییر آب و هوا جهت ارائه به دبیرخانه کنوانسیون  
(UNFCCC)

### Iran's Third National Communication to UNFCCC

بخش چهارم: ارزیابی آسیب پذیری و سازگاری  
زیربخش: آسیب‌های اقتصادی ناشی از تغییر اقلیم

گزارش سوم:

ارزیابی آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار و تنوع بخشی اقتصادی

تهیه و تنظیم:

محمد رضا نظری

تاریخ: مرداد ۱۳۹۵

- ۱- مقدمه
- ۲- اهداف پژوهش
- ۳- روش شناسی پژوهش
- ۳-۱- ساختار کلی الگوی داده-ستانده استاندارد
- ۳-۲- بسط زیست محیطی جدول داده-ستانده (محاسبه ردپای کربن و ردپای آب)
- ۳-۳- الگوی تلفیقی داده-ستانده و برنامه‌ریزی ریاضی
- ۳-۴- الگوی چند هدفه تلفیقی داده-ستانده و برنامه‌ریزی ریاضی
- ۴- نتایج تجربی پژوهش
- ۴-۱- نتایج محاسبه ضرایب مستقیم و تکاثری انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های اقتصادی
- ۴-۲- نتایج محاسبه ضرایب مستقیم و تکاثری مصرف آب در فعالیت‌های اقتصادی کشور
- ۴-۳- نتایج محاسبه ضرایب تکاثر اولیه و تعدیل شده فعالیت‌های مختلف اقتصادی
- ۴-۴- برآورد آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار
- ۴-۴-۱- سناریوی ۱: کاهش انتشار به میزان ۴٪
- ۴-۴-۲- سناریوی ۲: کاهش انتشار به میزان ۱۲٪
- ۴-۵- تعیین ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی تحت اهداف مختلف (نتایج الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی)

- جدول ۱- ساختار کلی الگوی داده-ستانده
- جدول ۲- ساختار کلی الگوی داده-ستانده بسط داده شده با نهاده آب مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای
- جدول ۳- ضرایب مستقیم و تکاثری انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های مختلف اقتصادی کشور
- جدول ۴- ضرایب مستقیم و تکاثری مصرف آب در فعالیت‌های مختلف اقتصادی کشور
- جدول ۵- ضرایب فزاینده اولیه و تعدیل شده فعالیت‌های اقتصادی با اعمال محدودیت بر ظرفیت تولید آنها
- جدول ۶- خسارت ناشی از کاهش یک واحدی (هزار تن) انتشار  $CO_2$  در هر بخش بر کل اقتصاد
- جدول ۷- کاهش ارزش تولید بخش‌های اقتصادی و کل اقتصاد کشور تحت سناریوی ۴٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب قیمت‌های پایه سال ۱۳۸۳
- جدول ۸- کاهش ارزش تولید بخش‌های اقتصادی و کل اقتصاد کشور تحت سناریوی ۱۲٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب قیمت‌های پایه سال ۱۳۸۳
- جدول ۹- ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی کشور تحت اهداف مختلف (حداکثرسازی ارزش تولید، حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداقل سازی مصرف آب
- جدول ۱۰- جمع بندی نتایج الگوهای برنامه‌ریزی توسعه چند هدف

همواره تلاش همه جوامع و دولت‌ها دستیابی به تولید بیشتر، افزایش درآمد، بالا بردن میزان اشتغال و نهایتاً بهبود سطح رفاه مردم با بکارگیری بهینه منابع معطوف بوده است. در گذشته، نگرش غالب در طراحی برنامه‌های توسعه اولویت دادن به رشد اقتصادی بوده که توسط شاخص‌های تولید ناخالص ملی (GNP) یا تولید ناخالص داخلی (GDP) مورد سنجش قرار می‌گیرد. در این تفکر، هر بخشی از بخش‌های اقتصادی که بتواند به ازای هر ریال سرمایه‌گذاری، ارزش افزوده بیشتری در خود بخش و یا از طریق ارتباطات پسین و پیشین در سایر بخش‌ها ایجاد کند، به عنوان بخش کلیدی برای تحریک رشد اقتصادی شناخته می‌شود. به بیان دیگر، در این تفکر مبانی و مفاهیم مربوط به حساب‌های ملی و رشد اقتصادی تابع تعاریف ارائه شده از درآمد و ثروت است و هیچ جایی برای در نظر گرفتن محدودیت‌های سرمایه‌های طبیعی و زیان‌های ناشی از خسارات زیست محیطی نظیر آلودگی در این حساب‌ها وجود ندارد. نتیجه چنین تفکری دستیابی به رشد اقتصادی قابل توجه در بسیاری از کشورها اما به قیمت تخریب و نابودی محیط زیست (افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، برداشت بیش از ظرفیت تحمل اکوسیستم‌های طبیعی و وارد شدن فشار بیش از حد به منابع محدود طبیعی (مثل آب) بوده است.

امروزه محدودیت شدید منابع طبیعی ناشی از رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای این منابع از یک سو و تخلیه و تقلیل کیفی منابع پایه زیست محیطی از سوی دیگر، جهت‌گیری‌های توسعه را از الگوهای مبتنی بر رشد به الگوهای مبتنی بر توسعه پایدار سوق داده است. توسعه پایدار به معنای "حداکثر کردن منافع خالص توسعه اقتصادی مشروط به حفظ خدمات و کیفیت محیط‌زیست در طول زمان" می‌باشد (آسافو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). در این جهت‌گیری دغدغه اصلی سیاستگذار به توان استفاده دائم از ذخایر منابع طبیعی، قابلیت‌بازیابی آن در منابع تجدیدپذیر و همچنین بالابردن کارایی زیست محیطی نهاده‌های تولیدشده از این منابع در فرایند رشد اقتصادی است. امروزه رسیدن به یک توسعه اقتصادی مبتنی بر رشد سبز<sup>۲</sup>، در حال فائق آمدن بر مناظرات موجود در رابطه با رشد پایدار است. توسعه اقتصادی پایدار، تلفیق شاخص‌های اقتصادی با معیارهای اثر اکولوژیکی را برای ایجاد پایه‌هایی برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری بهتر ضروری می‌سازد. تلفیق معیارهای اکولوژیکی و اقتصادی در برنامه‌های ملی رفاهی و توسعه‌ای، از طریق بهبود کارایی و بهره‌برداری از مزیت‌های نسبی در راه رسیدن به رشد اقتصادی سبز، توسعه اقتصادی پایدار را تقویت می‌کند (اکینز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰). در این رهیافت از توسعه، بازسازی ساختارهای بخشی اقتصادی را بر اساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اجتناب ناپذیر می‌سازد.

در ایران نیز مبنای اساسی جهت‌گیری‌ها توسعه بخش‌های اقتصادی ایران نیز در گذشته معمولاً بر ایده اساسی رشد اقتصادی متکی بوده بدین معنی که بخش‌هایی که از ارتباطات پسین و پیشین بیشتری با سایر بخش‌های اقتصادی برخوردار بوده و به ازای هر یک ریال سرمایه‌گذاری بتوانند اثرات درآمدی بیشتری بر کل اقتصاد بگذارند به عنوان بخش-

<sup>1</sup> Asafo

<sup>2</sup> Green-growth

<sup>3</sup> Ekins

های کلیدی معرفی شده‌اند. به عبارت دیگر این جهت گیری‌ها غالباً بر اساس قدرت تحرک بخشی هر یک از این بخش‌ها به رشد اقتصادی کشور و ایجاد اشتغال صورت گرفته و کمتر به پیامدهای زیست محیطی و اکولوژیکی ناشی از آن توجه شده است. برای مثال بر اساس شاخص توسعه انسانی سال ۲۰۱۱، سرانه انتشار گاز دی‌اکسید کربن در جهان، ۴/۶ متریک تن و میزان رشد انتشار این گاز طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۷، ۳۶ درصد است. این در حالی است که، آمار مربوط به ایران وضع نگران کننده‌تری را نشان می‌دهد. سرانه انتشار دی‌اکسید کربن برای ایران ۷ متریک تن است و رشد انتشار CO<sub>2</sub> در ایران با مقدار ۱۱۸/۳ بیش از دو برابر رشد داشته است (گزارش بانک جهانی، ۲۰۱۱) این موضوع نشان دهنده سطح نامطلوب میزان انتشار و شرایط نامناسب محیط زیست به عنوان یکی از عوامل رسیدن به توسعه پایدار است. این ایده در شرایط کنونی محدودیت منابع طبیعی (بویژه آب) و بحران‌های زیست محیطی (انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی منابع آب و خاک) در کشور و تحت ملاحظات و اصول توسعه پایدار دیگر چندان قابل توجه نیست.

بر این اساس در سال‌های اخیر با اهمیت یافتن ملاحظات زیست محیطی و بحران ناشی از کمبود منابع آب در کشور، اهمیت بازنگری در سیاست‌های کلان اقتصادی کشور مبتنی بر معیارهای اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی نمود بیشتری پیدا کرده است. تصویب لایحه "حرکت به سمت اقتصاد کم کربن" توسط هیئت دولت و جهت‌گیری‌های مورد توجه در برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران که در آن آب و محیط زیست به عنوان دو چالش اصلی کشور شناخته شده‌اند، نمونه‌های از برانگیخته شدن حساسیت مسئولین به ملاحظات زیست محیطی در برنامه‌ریزی‌های توسعه اقتصادی کشور است. در اجلاس COP21 در پاریس نیز ایران متعهد به کاهش ۴ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت اجباری و کاهش ۱۲ درصدی آن به طور اختیاری شده است. پذیرش تعهدات کاهش انتشار به طور طبیعی نیازمند بازنگری در سیاست‌های رشد و توسعه اقتصادی است که می‌تواند به تحمیل هزینه‌هایی بر اقتصاد کشور منجر شود چرا که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا باید بر سطح تولید بخش‌های مختلف اقتصادی محدودیت اعمال شود و یا باید ساختار و تکنولوژی‌های مورد استفاده در صنایع اصلاح و نوسازی شوند. اعمال محدودیت بر تولید به معنی از دست رفتن هزینه فرصت تولید بوده و اصلاح و نوسازی ساختار صنایع نیازمند صرف هزینه‌های سرمایه‌گذاری جدید در فن‌آوری‌های پاک‌تر و یا سیستم‌های تصفیه‌کننده آلودگی است. در این راستا چندین پرسش اساسی برای سیاستگذاران و برنامه‌ریزان کشور وجود دارد: (۱) خسارت اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار کشور چقدر است؟ (۲) کدام بخش‌های اقتصادی کشور پتانسیل بیشتری در کاهش گازهای گلخانه‌ای با حداقل خسارت ممکن را دارا می‌باشند؟ (۳) چه ترکیب بهینه‌ای از فعالیت‌های اقتصادی در سطح کلان می‌تواند به طور همزمان اهداف کارایی اقتصادی (حداکثرسازی ارزش تولید) و پایداری زیست محیطی (حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداقل‌سازی مصرف آب) را تامین نماید، به عبارت دیگر تحت محدودیت‌های ناشی از تعهدات کاهش انتشار و اثرات نامطلوب تغییر اقلیم بر منابع آب کشور چه راهبردها و الگویی از توسعه اقتصادی باید دنبال شود تا بر اساس معیارهای اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی پایدار باشد؟

## ۲- اهداف پژوهش

در راستای پاسخ به پرسش‌های فوق اهداف پژوهش حاضر هدف اصلی و کلی این پژوهش بسط و توسعه یک الگوی داده-ستانده تعمیم یافته و تلفیق آن در یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی خسارات ناشی از تعهدات کاهش انتشار بر اقتصاد کلان کشور و تعیین ترکیب بهینه ساختار فعالیت‌های اقتصادی کشور مبتنی بر اصول کارایی اقتصادی و پایداری زیست محیطی است. برای این منظور اهداف فرعی زیر تعقیب خواهند شد:

- بسط و توسعه الگوی داده-ستانده تعمیم یافته اقتصاد کشور برای نهاده آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای
- محاسبه شاخص ردپای  $CO_2$  (مستقیم و غیرمستقیم) و ردپای آب مجازی (مستقیم و غیرمستقیم) به تفکیک بخش‌های مختلف اقتصادی کشور و رتبه‌بندی آنها
- بررسی آثار ناشی از تعهدات کاهش انتشار بر اقتصاد کلان و بخشی کشور
- تعیین الگوی بهینه فعالیت‌های اقتصادی کشور بر اساس معیارهای اقتصادی (حداکثرسازی ارزش تولید) و زیست محیطی (حداقل‌سازی ردپای  $CO_2$  و آب مجازی)
- رتبه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی بر اساس معیارهای اقتصادی (پیوندهای پسین و پیشین) و معیارهای حداقل‌سازی ردپای  $CO_2$  و آب مجازی
- تعیین وزن هر یک از معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در تدوین راهبردها و برنامه‌های کلان و ملی توسعه بر اساس نظرسنجی از کارشناسان، برنامه‌ریزان و سیاستگذاران کشور

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

برای رسیدن به اهداف این پژوهش از روش ترکیبی داده-ستانده تعمیم‌یافته زیست محیطی<sup>۱</sup> و برنامه‌ریزی ریاضی خطی<sup>۲</sup> استفاده شده است. اقتصاد داده-ستانده را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای گسترده‌ای از داده‌های توصیف سیستم اقتصادی و یا به عنوان روشی تحلیلی برای توضیح و پیش‌بینی رفتار سیستم اقتصادی بیان کرد. عناصر کلیدی جدول داده-ستانده، روابط فنی و تکنولوژیکی در برگیرنده مقادیر ستانده و نهاده در فرایند تولید هستند. در این الگو جریان کالاها و خدمات بین بخش‌های مختلف اقتصادی در طول یک دوره زمانی مشخص بیان می‌شود. به نظر بامول (۲۰۰۰)، این الگو یکی از گسترده‌ترین روش‌های کاربردی در تحلیل مسائل اقتصادی است. از دیدگاه فنی، سیستم تولید از یک سوی نشان‌دهنده رابطه کمی بین مقادیر استفاده شده از یک یا چند عامل تولید و یا مواد واسطه در جریان تولید و از سوی دیگر مقادیر تولید شده از یک یا چند کالا است. این الگو یک الگوی خطی است که نسبت مقادیر تولید شده از کالاهای متفاوت به یکدیگر و نیز نسبت مقادیر عوامل تولید و کالاهای واسطه‌ای استفاده شده در جریان تولید به یکدیگر با ضرایب ثابت و معینی از نشانه‌های بارز آن است (جهانگرد، ۱۳۹۳).

در هر نظریه اقتصادی تلاش می‌شود تا جنبه‌ها و عملیات مادی جامعه بر حسب روابط متقابل بین متغیرهایی مانند عرضه و تقاضا یا دستمزدها و قیمت‌ها بیان شود. در الگوی داده-ستانده بخش‌ها در فرایند تولید از دو جنبه قیمت و مقدار با یکدیگر در ارتباطند. تولید و محصول هر بخش یا هر صنعت به سطوح تقاضا از بخش‌های دیگری که این محصول به آنها فروخته می‌شود، بستگی دارد. همچنین قیمت در هر بخش به قیمت‌های بخش‌های دیگر ارتباط دارد، چرا که از داده‌های بخش‌های دیگر استفاده کرده و بخش‌های دیگر نیز از داده آن بخش استفاده می‌کنند. در مجموع، الگوی داده-ستانده به شدت از ساختار تولیدی بین بخش‌ها همانند تار و پودهای تشکیل دهنده یک فرش متاثر است. این روش اقتباسی از منطق نئوکلاسیک تعادل عمومی است و کاربرد آن بیشتر در زمینه مطالعه تجربی وابستگی متقابل کمی بین فعالیت‌های اقتصادی مرتبط با یکدیگر و تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری مناسبات بین بخش‌های مختلف تولیدی و مصرفی در محدوده یک اقتصاد ملی یا منطقه‌ای می‌باشد. در واقع این الگو در عمل همانند پلی واقعی است که میان نظریه‌ها و واقعیت‌ها در اقتصاد رابطه ایجاد می‌کند (جهانگرد، ۱۳۹۳) و اثر وقوع یک حادثه در هر نقطه مشخص، گام به گام و از راه زنجیره میادلات در اقتصاد که مجموعه نظام اقتصادی را به یکدیگر پیوند می‌دهد، به بقیه اقتصاد منتقل می‌شود.

### ۳-۱- ساختار کلی الگوی داده-ستانده استاندارد

ایده اساسی تحلیل داده-ستانده بر مدل‌سازی روابط متقابل خرید و فروش بین بخش‌های یک اقتصاد متمرکز است. در این الگو فرض می‌شود که کل اقتصاد از تعدادی صنعت یا فعالیت‌های مختلف تشکیل شده است که هر کدام دارای هیچگونه تولید ثانویه نمی‌باشند و فقط محصولات مشخصه خود را تولید می‌کنند. به عبارت دیگر هر تولید کننده فقط

<sup>1</sup> Environmentally Extended Input-Output

<sup>2</sup> Linear Mathematical Programming

یک نوع محصول تولید می‌کند. هر صنعت برای تولید محصول خود از تعدادی نهاده اولیه مثل نیروی کار، سرمایه و از تعدادی از محصولات تولیدشده در صنایع دیگر اقتصاد به عنوان نهاده‌های واسطه‌ای استفاده می‌کنند. تولیدات هر صنعت را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: بخشی که به عنوان یک نهاده واسطه‌ای در خود آن صنعت یا سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد و بخش دیگر که به تقاضای نهایی تخصیص داده می‌شود. در این جدول عناصر مختلف تقاضای نهایی خالص شامل مصرف نهایی خانوار، مصرف نهایی دولت، مصرف نهایی موسسات غیرانتفاعی در خدمت خانوارها، تشکیل سرمایه ناخالص و صادرات منهای واردات است. در جدول ۱ ساختار کلی الگوی داده-ستانده نشان داده شده است.

جدول ۱- ساختار کلی الگوی داده-ستانده

تولید کل $X$	تقاضای نهایی $Y$		بخش‌های تولیدی $j = 1, 2, \dots, N$		جدول داده-ستانده
	صادرات	داخلی	$Z_{11} \dots$	$Z_{1n}$	
	$e$	$d$	$Z_{n1} \dots$	$Z_{nn}$	بخش‌های تولیدی $j = 1, 2, \dots, N$
					ارزش افزوده ( $V$ ) واردات ( $m$ ) نهاده کل ( $X$ )

ردیف‌های این جدول نشان می‌دهند که یک بخش معین چه مقدار کالای تولید شده در بخش را (۱) به عنوان کالای واسطه‌ای به بخش‌های دیگر تحویل داده است و (۲) چه مقدار از کالای تولیدی آن به صورت کالای نهایی مصرف شده است به بیان دیگر چه مقدار از کالا به بخش کالای نهایی ( $Y$ ) تحویل داده شده است. در مقابل ستون‌های آن نشان می‌دهند که یک بخش معین (۱) چه مقدار کالاهای مختلف تولید شده در بخش‌های مختلف را به عنوان کالای واسطه‌ای و (۲) چه مقدار عوامل تولید اولیه در جریان فعالیت تولیدی آن بخش بکار برده شده است یا به عبارت دیگر، چه میزان به عوامل تولید پرداخت شده است. معادلات تعادلی عرضه و تقاضا برای هر بخش از مدل داده-ستانده که مشتمل بر  $N$  صنعت است به شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} z_{11} + z_{12} + \dots + z_{1n} + Y_1 &= X_1 \\ z_{21} + z_{22} + \dots + z_{2n} + Y_2 &= X_2 \\ \dots & \dots \\ z_{n1} + z_{n2} + \dots + z_{nm} + Y_n &= X_n \end{aligned} \quad (1)$$

که  $z_{ij}$  فروش‌های بخش  $i$  به بخش تولیدی  $j$ ؛  $Y_i$  تقاضای نهایی برای کالاهای تولیدی بخش  $i$  ام یا مقدار فروش بخش  $i$  به تقاضای نهایی و  $X_i$  تولید کل بخش  $i$  ام است. ضریب نهاده مستقیم یا ضرایب فنی ( $a_{ij}$ )، حاصل تقسیم هر ستون از  $Z$  بر تولید کل ناخالص بخش متناظر با آن ستون است و به صورت زیر تعریف می‌شود:



$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad \text{یا} \quad z_{ij} = a_{ij} X_j \quad (2)$$

با جایگذاری رابطه ۲ در رابطه یک و بانویسی آن به فرم ماتریسی داریم:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{N1} & a_{N2} & a_{N3} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ x_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ X_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

ضرایب نهاده مستقیم  $a_{ij}$  به این معنی هستند که به ازای هر واحد تقاضای نهایی در بخش  $j$  چه میزان از تولید بخش  $i$  به عنوان نهاده مورد نیاز است. با جایگذاری  $a_{ij} X_j$  بجای  $Z_{ij}$  ها فرم ماتریسی روابط فوق به صورت زیر است:

$$[I - A]X = Y \rightarrow X = [I - A]^{-1} Y \quad (4)$$

که در آن  $I$  یک ماتریس واحد  $N \times N$  و  $[I - A]^{-1}$  معکوس ماتریس لئونتیف در بعد ستونی آن است. اگر فرض شود که  $[I - A]^{-1} = B$  باشد هر عنصر آن ( $b_{ij}$ ) بیانگر تولید کل مستقیم و غیر مستقیم بخش  $i$  ام را به ازای هر واحد افزایش در تقاضای نهایی بخش  $j$  ام نشان می‌دهد. فرم ماتریسی معادله ۴ یک الگوی داده-ستانده مشتق شده از طرف تقاضا<sup>۱</sup> است که ارتباط تولیدی بخش‌های مختلف اقتصادی را وقتی که تقاضای نهایی یا اجزای آن تغییر می‌کند، بیان می‌دارد. در واقع  $X = [I - A]^{-1} Y$  توصیف ساختار وابستگی متقابل بین بخش‌ها بر اساس تولید است و هر یک از عناصر آن بیانگر کل تولید مستقیم و غیرمستقیم بخش  $i$  به ازای هر واحد تقاضای نهایی در بخش  $j$  ام است. این ماتریس رکن اصلی تحلیل‌های داده-ستانده را تشکیل می‌دهد زیرا این ماتریس اثر کامل یک شوک خارجی در تقاضای نهایی خالص را بر تمام رشته فعالیت‌ها نشان می‌دهد. ماتریس جریان (خالص یا متقارن) و ضرایب I/O محاسبه شده از آن همگی بر اساس ارزش‌های پولی هستند از اینرو در جدول داده-ستانده شرایط زیر حاکم است:

- ✓ در هر واحد تولیدکننده کل داده‌ها برابر با کل ستانده‌هاست.
- ✓ هر یک از ضرایب I/O کوچکتر از یک است.
- ✓ با توجه به شرط اول، در هر ستون جدول حاصلجمع ضرایب I/O با ضرایب ارزش افزوده برابر با یک است.
- ✓ در ماتریس معکوس که کل اثرات مستقیم و غیرمستقیم را نشان می‌دهد عناصر قطری ماتریس معکوس لئونتیف حداقل برابر با یک است. این بدین معنی است که برای تولید یک واحد اضافی برای ارضای تقاضای نهایی خالص لازم است ستانده حداقل به اندازه یک واحد افزایش یابد.

<sup>1</sup> Demand driven input-output

با چنین ماتریسی می‌توان وابستگی متقابل تکنولوژیکی نظام تولیدی را تعیین کرده، ستانده مورد نیاز برای ارضای افزایش مصرف نهایی را که بخشی از تقاضای نهایی درخواست شده مورد نیاز است و همچنین چگونگی تغییر سطوح ستانده برای ارضای این تغییرات در تقاضای نهایی را به صورت زیر تعیین کرد.

$$\partial X = [I - A]^{-1} \partial Y \quad (5)$$

از جمله راه‌های تحلیل ساختار تولید و شناسایی بخش‌های کلیدی اقتصاد، استفاده از پیوندهای پیشین و پیشین<sup>۱</sup> است که اولین بار توسط راسموسن<sup>۲</sup> (۱۹۵۶) معرفی شده‌اند. این پیوندها در جداول داده-ستانده که با توجه به ارتباطات زنجیره‌ای بخش‌های اقتصادی با یکدیگر حاصل می‌شوند، امکان ارزیابی بخش‌های کلیدی و تعیین جایگاه بخش‌های مختلف را در اقتصاد به لحاظ نقش در تولید ناخالص به نحو مطلوبی فراهم می‌کنند. از این رو در مطالعات متعددی از این شاخص‌ها برای تعیین جایگاه بخش‌های مختلف در اقتصاد در سطوح ملی و منطقه‌ای استفاده شده است (ریملر و همکاران، ۲۰۰۰؛ آروکا، ۲۰۰۱؛ هان و همکاران، ۲۰۰۴؛ لنزن و همکاران، ۲۰۰۳؛ کواک و همکاران، ۲۰۰۵). در ادبیات الگوی داده-ستانده، پیوند پیشین به شاخص "قدرت انتشار"<sup>۳</sup> و پیوند پسین به "حساسیت انتشار"<sup>۴</sup> معروفند. اگر برای برخی صنایع مقدار هر دوی این شاخص‌ها بزرگتر از یک باشد، بیانگر نقش مهم آن صنایع در توسعه اقتصادی کشور است و در عوض کوچکتر از یک بودن آنها نشان می‌دهد نه تنها این صنایع با رشد صنایع دیگر توسعه نمی‌یابند، بلکه سرمایه‌گذاری در توسعه و تولید آنها نیز اثر کمی بر اقتصاد دارد. فرمول محاسباتی معیارهای قدرت انتشار و حساسیت انتشار و نیز ضریب تغییرات مرتبط با آن برای هر بخش به شرح زیر می‌باشد:

• قدرت انتشار (پیوندهای Backward)

$$U_{\cdot j} = \frac{B_{\cdot j}}{b} \quad (6)$$

که در آن  $B_{\cdot j} = \frac{\sum_{i=1}^N b_{ij}}{N}$  بوده و  $b_{ij}$  همان عناصر ماتریس معکوس لئونتیف ستونی در مدل داده-ستانده مشتق شده از طرف تقاضا است.  $\bar{b}$  نیز برابر است با  $\frac{\sum_{ij} b_{ij}}{N^2}$ . بر این اساس، قدرت انتشار یا همان پیوند پیشین برای یک بخش با دیگر بخش‌ها، میانگین پیوندهای پیشین بخش آب با همه بخش‌های دیگر است.

• حساسیت انتشار (پیوندهای Forward)

$$U_{i \cdot} = \frac{B_{i \cdot}}{b} \quad (7)$$

<sup>1</sup> - Forward and Backward Linkages

<sup>2</sup> - Rasmussen

<sup>3</sup> - Power of dispersion

<sup>4</sup> - Sensitivity of dispersion

که در آن  $B_{i \cdot} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{b}_{ij}}{N}$  و  $\bar{b}_{ij}$  همان عناصر ماتریس معکوس لئونتیف ردیفی در مدل داده-ستانده مشتق شده از طرف عرضه است.

بر اساس شاخص‌های فوق، یک بخش زمانی یک بخش کلیدی در اقتصاد است که هر دو شاخص قدرت انتشار ( $U_{j \cdot}$ ) و حساسیت انتشار ( $U_{i \cdot}$ ) بزرگتر از یک باشد و در عین حال ضریب تغییرات این شاخص‌ها برای آن بخش نیز نسبتاً پایین باشد. در این پژوهش دو شاخص مذکور برای همه بخش‌های اقتصادی در جدول داده-ستانده محاسبه شده است تا ضمن شناسایی ساختار ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم هر بخش با دیگر بخش‌های اقتصادی، مبنایی برای رتبه‌بندی بخش‌های اقتصادی بر اساس یکی از معیارهای مورد نظر توسعه پایدار (حداکثرسازی رشد اقتصادی) بدست دهد.

### ۳-۲- بسط زیست محیطی جدول داده-ستانده (محاسبه ردپای کربن و ردپای آب)

کمی‌سازی روابط متقابل فعالیت‌های اقتصادی و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی به سال ۱۹۷۰ بر می‌گردد که در آن واسیلی لئونتیف ارتباط آلاینده‌های هوا با فعالیت‌های تولیدی را در قالب جدول داده-ستانده ۷۰ بخشی بررسی کرد. از آن زمان تاکنون تحلیل‌های مبتنی بر داده-ستانده در مطالعات مختلف برای بررسی مسائل زیست محیطی با تلفیق اجزای انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آب بکار گرفته شده‌اند (لزن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱؛ ژائو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹؛ یوئو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱؛ جانلی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵؛ فنگ و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱؛ اوکادرا و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۵؛ فرامرزی، ۱۳۸۵؛ نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۱). بکچانوف و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۲) در پژوهشی برای کشور ازبکستان با این اعتقاد که برای بازسازی اقتصادی لازم است معیارهای اقتصادی با معیارهای اکولوژی در راستای دستیابی به اقتصاد سبز تلفیق شوند، به نقش آب مجازی و انتشار کربن در بازسازی اقتصاد پایدار اشاره می‌کنند. برای این منظور، از یک مدل داده-ستانده ملی برای تخمین پیوندهای پسین و پیشین و مقدار آب مجازی در سراسر بخش‌ها استفاده شد. آنان انجام پژوهشی مفصل‌تر بر روی دیگر شاخص‌های تاثیر گذار زیست محیطی، مانند انتشار کربن و تخلیه فاضلاب برای رسیدن به توسعه پایدار در ازبکستان را پیشنهاد نمودند.

ساختار اساسی جدول داده-ستانده تعمیم یافته زیست محیطی دقیقاً مشابه ساختار جدول داده-ستانده استاندارد است با این تفاوت که یک یا چند سطر به صورت حساب‌های فیزیکی از روانه برای آلودگی، انرژی و مواد به جدول داده-ستانده افزوده می‌شود. این حساب‌ها اطلاعاتی را در رابطه با استفاده از انرژی و مواد به عنوان نهاده در فرایند تولید (برای مثال در اینجا آب) و ضایعات جامد و میزان انتشار آلودگی در سطح صنعت فراهم می‌سازد. هر بخش از اقتصاد برای

<sup>1</sup> Lenzen

<sup>2</sup> Zhao et al

<sup>3</sup> Wang et al

<sup>4</sup> You et al

<sup>5</sup> Jaan-Lee

<sup>6</sup> Feng et al

<sup>7</sup> Okadera et al

<sup>8</sup> Bekchanov et al

تولید کالای خود به مقداری آب به عنوان نهاده اولیه نیاز دارد (استفاده مستقیم آب<sup>۱</sup>) و در عوض آلودگی خود را در محیط زیست تخلیه می‌کند. دیگر نهاده‌های هر بخش نیز یا به صورت اولیه است مانند نیروی کار یا از تولید دیگر بخش‌ها (به عنوان کالای واسطه‌ای) تامین می‌گردد. از آنجا که بخش‌های دیگر نیز برای تولید خود نهاده آب را به کار گرفته‌اند، مجموع آب استفاده شده برای کالای واسطه‌ای که به بخش مورد نظر به عنوان نهاده وارد می‌شود آب غیر مستقیم<sup>۲</sup> گفته می‌شود. مجموع دو آب مستقیم و غیر مستقیم در واقع کل آب استفاده شده (یا محتوی برای تولید کالا و خدمات در بخش مورد نظر) است که آب مجازی نامیده می‌شود. همین طور در اثر تولید هر بخش اقتصادی، مقداری آلودگی به طور مستقیم به محیط زیست تخلیه می‌شود (اثر مستقیم) لکن از آنجا که در بخش‌های دیگر اقتصادی نیز که تولیدات آنها به عنوان نهاده در فرایند تولید یک بخش مصرف می‌شوند، خود انتشار آلودگی دارند، مجموع انتشار آلودگی ناشی تولید کالاهای واسطه‌ای که در بخش مورد نظر به عنوان نهاده واسطه‌ای مصرف می‌شود، انتشار غیرمستقیم محسوب می‌شوند. بنابراین ردپای آب<sup>۳</sup> در تولید هر محصول (فعالیت تولیدی)، مجموع آب مستقیم و غیرمستقیم مصرفی و به همین نحو ردپای کربن<sup>۴</sup> در تولید هر محصول (فعالیت تولیدی) مجموع مقدار انتشار  $CO_2$  به صورت مستقیم و غیرمستقیم است. ردپای کربن معادل کل دی اکسید کربن مستقیم و غیرمستقیم منتشر شده توسط یک فعالیت نوعی یا انباشت  $CO_2$  در سیکل زندگی محصول است (گالی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۱؛ لارسن و هر توئیچ<sup>۶</sup>، ۲۰۱۰؛ وایدمن و مینکس<sup>۷</sup>، ۲۰۰۸). لازم به یادآوری است که در این تعریف از ردپای کربن، فقط انتشار دی اکسید کربن (کیلوگرم یا تن) مورد نظر قرار گرفته و سایر گازهای گلخانه‌ای را در بر نمی‌گیرد. در جدول داده-ستانده استاندارد، اطلاعات مربوط به مقدار انتشار  $CO_2$  هر یک از بخش‌های اقتصادی و همچنین اطلاعات مربوط به مقدار آب مصرفی آنها وجود ندارد و لذا باید با بسط جدول داده-ستانده با افزودن دو ردیف مطابق جدول ۲ (بخش هاشور زده) این اطلاعات در آن گنجانده شود.

جدول ۲- ساختار کلی الگوی داده-ستانده بسط داده شده با نهاده آب مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

تولید کل X	تقاضای نهایی Y		بخش‌های تولیدی $j = 1, 2, \dots, N$		جدول داده-ستانده
	صادرات	داخلی	$Z_{11} \dots$	$Z_{1n}$	
	e	d	$Z_{...1} \dots$	$Z_{...n}$	بخش‌های تولیدی $j = 1, 2, \dots, N$
					ارزش افزوده (V) واردات (m) نهاده کل (X)
				$f_j$	مقدار آب مصرفی

<sup>1</sup> Direct water

<sup>2</sup> Indirect water

<sup>3</sup> Water footprint

<sup>4</sup> Carbon footprint

<sup>5</sup> Golli et al

<sup>6</sup> Larsen & Hertwich

<sup>7</sup> Wiedman & Minx

با بسط جدول داده-ستانده مطابق جدول فوق، برای هر بخش از اقتصاد می‌توان میزان انتشار مستقیم را با روش‌های پایه ای و یا آماری محاسبه و برآورد کرد. به این ترتیب که با در دست داشتن میزان کل تولید ( $X_j$ ) و مقدار دی‌اکسید کربن منتشر شده ( $E_j$ ) در آن بخش (انتشار مستقیم) می‌توان شاخصی به نام شدت انتشار ( $e_j$ ) که در واقع ضریب فنی انتشار در جدول داده - ستانده است را تعریف و محاسبه کرد:

$$g_j = \frac{E_j}{X_j} \quad (8)$$

از آن جا که انتشار غیرمستقیم هر بخش در واقع قسمتی (مجموع وزنی) از انتشار مستقیم دیگر بخش‌ها است می‌توان از این ایده استفاده کرد به این شکل که با بدست آوردن بردار انتشار مستقیم دی‌اکسید کربن در بخش‌های مختلف اقتصاد و استفاده از ضریب تکاثری می‌توان مقدار انتشار غیر مستقیم را بدست آورد که برای این منظور از ماتریس لئونتیف استفاده می‌شود. به این ترتیب که ابتدا  $g_j$  (ماتریس ضرایب فنی انتشار مستقیم) محاسبه می‌شود و آنگاه از  $(I - A)^{-1}$  به عنوان ضریب تکاثر کل اقتصاد برای وزن دهی و محاسبه کل انتشار آلودگی برای تولید هر واحد کالا و خدمات در اقتصاد استفاده می‌شود.

$$g_j^t = g_j^d + \sum_{i=1}^n a_{ij} g_j^t \quad (9)$$

$$G_t = G_j + G_t * A \quad (10)$$

$$G_t - G_t * A = G_j \quad (11)$$

$$G_t (I - A) = G_j \quad (12)$$

$$G_t = G_j (I - A)^{-1} \quad (13)$$

که در آن  $j$  فعالیت اقتصادی مورد نظر،  $n$  تعداد بخش‌های اقتصادی،  $d$  میزان میزان انتشار آلودگی مستقیم بوده و  $t$  اشاره به میزان انتشار کل (مجموع انتشار غیر مستقیم و مستقیم) دارد.  $t$  نماینده رشته فعالیت‌های اقتصادی است. بالاتر بودن ضریب تکاثر آلودگی (مستقیم و غیرمستقیم) یا همان  $G_t$  برای یک بخش، بیانگر مقدار انتشار بیشتر آلودگی به ازای تولید یک واحد از تقاضای نهایی آن بخش و در واقع نشان دهنده کارایی کمتر زیست محیطی در آن بخش است. با در دست بودن مقدار  $G_t$  برای بخش‌های مختلف، می‌توان بخش‌های اقتصادی را بر حسب ضرایب تکاثر انتشار آلودگی<sup>۱</sup> رتبه بندی کرد. به همین نحو می‌توان با بسط جدول داده - ستانده برای آب مصرفی هر یک از فعالیت‌های اقتصادی با افزودن اطلاعات مربوطه به آن به جدول داده-ستانده، ردپای آب مجازی یا در واقع همان ضریب تکاثر آب مجازی بخش‌های مختلف اقتصادی را محاسبه و آنها را بر حسب این معیار رتبه‌بندی کرد. مشابه تعریف ارائه شده در

<sup>1</sup> Pollution emission multipliers

فوق برای ردپای کربن، ردپای آب نیز معادل با کل آب مورد نیاز (مستقیم و غیرمستقیم) برای تولید یک کالای نوعی است (هوکسترا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳) در این حالت نیز با در دست داشتن آب مصرفی هر یک از فعالیت‌های اقتصادی ( $W_j$ ) و کل ارزش تولید ( $X_j$ )، می‌توان شاخص شدت مصرف آب ( $f_j$ ) که در واقع ضریب فنی نهاده آب در تولید هر یک از فعالیت‌های اقتصادی در جدول داده - ستانده است را تعریف و محاسبه کرد:

$$f_j = \frac{W_j}{X_j} \quad (14)$$

بر اساس این ضرایب فنی مستقیم نهاده آب در تولید بخش‌های مختلف و عناصر ماتریس معکوس لئونتیف می‌توان ضرایب تکاثری آب مجازی<sup>۲</sup> یا ردپای آب را بدست آورد به این ترتیب که ابتدا  $f_j$  (ماتریس ضرایب فنی مستقیم آب) محاسبه می‌شود و آنگاه از  $(I - A)^{-1}$  به عنوان ضریب تکاثر کل اقتصاد برای وزن دهی و محاسبه کل آب مورد نیاز برای تولید هر واحد کالا و خدمات در اقتصاد استفاده می‌شود.

$$f_j^t = f_j^d + \sum_{i=1}^n a_{ij} f_j^t \quad (15)$$

$$F_t = F_j + F_t * A \quad (16)$$

$$F_t - F_t * A = F_j \quad (17)$$

$$F_t(I - A) = F_j \quad (18)$$

$$F_t = F_j(I - A)^{-1} \quad (19)$$

محاسبه ضرایب فوق افزون بر اینکه امکان رتبه‌بندی بخش‌های مختلف اقتصادی را بر اساس هر یک از ضرایب تکاثر اقتصادی (ضرایب پیسین و پیشین یا قدرت و حساسیت انتشار)، ضرایب تکاثر (ردپای) آب مجازی و ضرایب ردپای انتشار کربن فراهم می‌سازند، به عنوان ضرایب فنی در قیود مربوط به انتشار دی‌اکسید کربن و کل موجودی منابع آب در الگوی تلفیقی داده-ستانده تعمیم یافته و برنامه‌ریزی ریاضی که برای بررسی آثار اقتصادی تعهدات کاهش انتشار و همچنین تعیین الگوی بهینه چند معیاره فعالیت‌های اقتصادی کشور بسط داده شده‌اند، نیز کاربرد دارند.

### ۳-۳- الگوی تلفیقی داده-ستانده و برنامه‌ریزی ریاضی

به منظور برآورد آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار بر اقتصاد کشور و بخش‌های مختلف تولیدی، در اینجا از الگوی تلفیقی داده-ستانده و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است. دلیل استفاده از رهیافت تلفیقی این است که ضرایب تکاثر جدول داده-ستانده از انعطاف‌پذیری لازم برای بررسی آثار ناشی از سیاست‌ها یا محدودیت‌هایی که به طور مستقیم بر روی ظرفیت تولید بخش‌های اقتصادی تحمیل می‌شود (برای مثال، محدود ساختن تولید برق به منظور

<sup>1</sup> Hoekstra

<sup>2</sup> Virtual water multipliers

تامین تعهدات ملی و بین المللی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) برخوردار نیستند (ژو و کیم<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹؛ فدالی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). چرا که انتظار می‌رود در صورت وجود محدودیت‌های تولید، ضرایب تکاثر تغییر کنند. در این پژوهش، بررسی آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت دو سناریوی سیاستی مورد نظر است.

- سناریوی ۱: کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان ۴٪ (تعهد اجباری)
- سناریوی ۲: کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان ۱۲٪ (تعهد اختیاری)

همانطور که بیان شد، دستیابی به اهداف کاهش انتشار می‌تواند از طرق مختلف (از جمله نوسازی و اصلاح تکنولوژی تولید فرسوده و جایگزینی آن با فن‌آوری‌های با آلاینده‌گی کمتر، محدود سازی ظرفیت تولید بخش‌های مختلف اقتصادی، و تصفیه آلودگی) و با هزینه‌های متفاوتی اتفاق بیافتد. در اینجا خسارت اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار تحت هر یک از دو سناریوی فوق بر اساس این فرض برآورد شده است که دستیابی به اهداف از طریق اعمال محدودیت بر روی ظرفیت بخش‌های تولید قابل حصول باشد. بدین منظور الگوی داده-ستانده به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی ریاضی حداکثرسازی ارزش تولید بخش‌های اقتصادی کشور به صورت زیر فرموله شده است (برینک و مک کارل<sup>۳</sup>، ۱۹۷۷):

$$MAX : i'X, \quad s.t : \begin{cases} (I - A)X \leq 0 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (20)$$

یا

$$MAX : i'X, \quad s.t : \begin{cases} (I - A)X + I = Y \\ X, S \geq 0 \end{cases} \quad (21)$$

که در آن،  $S$  ماتریس متغیرهای بی اثر،  $I$  ماتریس واحد  $(n \times n)$ ،  $Y$  بردار تقاضای نهایی  $(n \times 1)$ ،  $X$  بردار ستونی  $(n \times 1)$  ستانده بخش‌های مختلف،  $A$  ماتریس مربع  $(n \times n)$  ضرایب مستقیم و  $n$  تعداد بخش‌های اقتصادی موجود در جدول داده-ستانده است. این الگو در واقع یک مسئله حداکثرسازی ارزش مجموع محصولات همه بخش‌ها با این قید است که تولید هر بخش از مجموع مصرف آن محصول در تقاضای نهایی، همچنین به عنوان داده در بخش‌های دیگر تجاوز نکند. در این فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی خطی ماتریس  $(I - A)$  به عنوان پایه است چرا که به راه حل بهینه باید با سطح تولید از جدول داده-ستانده مساوی باشد. قیمت سایه‌ای در فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی خطی  $(LP)$  به عنوان نرخ تغییر انتظاری در تابع هدف (در اینجا  $i'X$ ) تعریف شده است. زمانی که سمت راست رابطه یعنی  $Y$  تغییر می‌کند، به بیان دیگر،  $\frac{\partial Z}{\partial b} = C_B B^{-1}$  است، جایی که  $Z$  تابع هدف و  $b$  طرف راست معادله و  $C_B$  ضرایب تابع هدف

<sup>1</sup> Zhu & Kim

<sup>2</sup> Fadali et al

<sup>3</sup> Brink & McCarl

برای متغیرهای پایه هستند و  $B$  پایه است. قیمت‌های سایه‌ای در فرمول‌بندی برنامه‌ریزی ریاضی خطی در رابطه بالا از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$C_B B^{-1} = i'(I - A) \quad (22)$$

قیمت‌های سایه‌ای حاصل از الگوی مقید برنامه‌ریزی ریاضی با محدودیت‌های تحمیلی بر روی ظرفیت تولید در واقع همان ضرایب تکاثری تولید تعدیل شده<sup>۱</sup> می‌باشند. این محدودیت‌ها به صورت  $DX \leq Z$  نشان داده می‌شوند که در آن  $D$  یک ماتریس  $m \times n$  است که برای تحمیل قیود بر روی تولید صنایع طراحی شده است.  $m$  بیانگر تعداد بخش‌های اقتصادی است که محدودیت تولید بر روی آنها تحمیل شده و  $n$  تعداد کل بخش‌های اقتصادی است. عناصر ماتریس  $D$  صفر یا یک بوده که عناصر یک نشان دهنده اعمال محدودیت می‌باشد.  $Z$  یک بردار  $m \times 1$  از محدودیت‌های ظرفیت تولید است. با اعمال این محدودیت بر الگوی برنامه‌ریزی ریاضی رابطه ۲۰ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned} & \text{MAX : } i'X, \\ & \text{s.t. : } \begin{cases} (I_n - A)X + I_n S_1 = Y \\ DX + I_m S_2 = Z \\ X, S_1, S_2 \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (23)$$

یا

$$\begin{aligned} & \text{MAX : } i'X, \\ & \text{s.t. : } \begin{bmatrix} (I_n - A) & I_n & 0 \\ D & 0 & I_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y \\ Z \end{bmatrix} \\ & X, S_1, S_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (24)$$

که در آن  $I_m$  و  $I_n$  به ترتیب ماتریس‌های واحد  $n \times n$  و  $m \times m$  بوده و  $S_1$  و  $S_2$  متغیرهای کمبود<sup>۲</sup> هستند. در این فرمول‌بندی به خاطر وجود محدودیت‌های اضافی دیگر ماتریس  $(I_n - A)$  پایه نیست و لذا قیمت‌های سایه‌ای متفاوت از قیمت‌های سایه‌ای حاصل از مدل برنامه‌ریزی خطی اولیه (رابطه ۲۰) است. این بیانگر این واقعیت است که ضرایب تکاثری تولید در شرایطی که قیود اضافی بر مدل تحمیل شده‌اند نمی‌تواند مشابه ضرایب تکاثر استاندارد جدول داده-ستانده باشند. از آنجا که  $0 \leq Z \leq X$  است متغیرهای کمبود برای صنایع مقید شده نباید مقادیر غیر صفر باشند. ضرایب تکاثر تعدیل شده بدست آمده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی شماره ۲۳ همواره کمتر از ضرایب تکاثر اصلی است بدین معنی که چنانچه در برآورد آثار اقتصادی ناشی از اعمال محدودیت بر ظرفیت تولید هر یک از بخش‌های اقتصادی از ضرایب تکاثری اولیه داده-ستانده استفاده شود، این برآوردها دچار بیش برآوردی خواهد بود (ژو و کیم، ۲۰۰۹). ضرایب تکاثری تعدیل شده بدست آمده از این الگو برای هر یک از بخش‌های اقتصادی در واقع نشان دهنده اثرات (خسارات) کلی اقتصادی یک واحد افزایش در محدودیت برونزا بر روی تولید بخش‌های اقتصادی است. برای مثال ضریب تکاثری

<sup>1</sup> Modified output multipliers

<sup>2</sup> Slack variables



تعدیل شده ۱/۹۴۷ برای فعالیت تولید فرآورده‌های نفتی (پالایشگاه‌ها) نشان می‌دهد که چنانچه به هر دلیلی (برای مثال انجام تعهدات کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) فعالیت این بخش یک میلیون ریال محدودتر شود، اقتصاد کشور به طور کلی ۱/۹۴۷ میلیون ریال خسارت می‌بیند. در این پژوهش این ضرایب برای ۵۲ فعالیت اقتصادی کشور مطابق روش-شناسی فوق محاسبه شده است بدین طریق که الگوی ریاضی تصریح شده در رابطه ۲۳ به تعداد ۵۲ مرتبه اجرا شده که در هر مرتبه از اجرای الگو، بر ظرفیت تولید یک فعالیت اقتصادی محدودیت تحمیل شده است (عنصر ماتریس  $D$  مربوط به آن بخش ۱ و سایر عناصر صفر بودند). محاسبه این ضرایب این امکان را برای سیاستگذار فراهم می‌سازد تا خسارت کل اقتصادی ناشی از کاهش یک واحدی (برای مثال یک تن) انتشار گاز گلخانه‌ای در هر یک از فعالیت‌های اقتصادی کشور را تعیین و آنها را بر اساس این معیار رتبه‌بندی نماید.

با بسط الگوی برنامه‌ریزی خطی تصریح شده در رابطه ۲۰ و افزودن یک قید برای تولید گازهای گلخانه‌ای به آن، امکان برآورد آثار اقتصادی سناریوهای کاهش انتشار و همچنین ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی (مقدار کاهش بهینه فعالیت‌های اقتصادی تحت هر سناریو) وجود دارد. برای این منظور الگوی مذکور به صورت زیر تعریف شده است.

$$MAX : i'X, \quad s.t. : \begin{cases} (I - A)X \leq 0 \\ GX \leq TCO_2 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (25)$$

که در آن همه متغیرها و پارامترها همان تعاریف قبلی خود را داشته،  $TCO_2$  سقف مقدار تولید کل گاز گلخانه‌ای (بر حسب هزارتن) بوده و  $G$  برداری از ضرایب فنی انتشار فعالیت‌های اقتصادی جدول داده ستانده می‌باشد. ضرایب فنی انتشار برای هر فعالیت، نشان دهنده مقدار دی اکسید کربن منتشر شده (انتشار مستقیم) به ازای هر واحد تولید آن فعالیت می‌باشند که از حاصل تقسیم کل دی اکسید کربن منتشر شده در هر فعالیت ( $E_j$ ) بر ارزش کل تولید سالانه حاصل از آن ( $X_j$ ) بدست می‌آیند. سمت چپ محدودیت  $GX \leq TCO_2$  بیانگر مجموع گازهای گلخانه‌ای تولیدی توسط همه فعالیت‌های اقتصادی کشور بوده و سمت راست آن بیانگر سقف مجاز تولید این گازها در کشور است. بنابراین ورود این محدودیت به الگوی بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی بدین معنی است که اجازه داده می‌شود، ارزش کل تولید اقتصاد تحت این قید حداکثر شود که مجموع گازهای گلخانه‌ای تولید شده توسط همه فعالیت‌های اقتصادی از حداکثر مقدار تعیین شده برای تولید آنها بیشتر نشود. برای اجرای این الگو در شرایط پایه، مقدار سمت راست این محدودیت معادل با کل مقدار گاز گلخانه‌ای تولید شده در سال پایه توسط ۵۲ فعالیت اقتصادی موجود در جدول داده-ستانده (۲۲۲۵۷۵ هزارتن) در نظر گرفته شده است. مقدار متناظر این عدد تحت سناریوی ۱ (کاهش انتشار به میزان ۰/۴٪) معادل ۲۰۹۲۱۸ هزارتن (۲۲۲۵۷۵\*۰/۹۶) و در سناریوی ۲ (کاهش انتشار به میزان ۰/۱۲٪) معادل ۱۹۵۸۶۳ هزارتن (۲۲۲۵۷۵\*۰/۸۸) می‌باشد. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی تصریح شده در رابطه ۲۵، یک الگوی تحلیل ایستای مقایسه‌ای است. بنابراین فرض می‌شود، به محض تغییر در مقدار یکی از پارامترهای برونزای الگو (در اینجا مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای) (سمت راست محدودیت تولید  $CO_2$ )، همه فعالیت‌های اقتصادی با تعدیلات کامل و به طور آنی به یک نقطه تعادلی جدید منتقل می‌شوند. این الگو در سه حالت کلی به شرح زیر اجرا شده است:

۱- اجرای الگو تحت راه‌حل سال پایه<sup>۱</sup>: در این حالت همه پارامترهای برونزا در الگو همان مقادیر سال پایه می‌باشد، اختیار کرده‌اند. در واقع از داده‌های مربوط به سال پایه ۱۳۸۳ برای ساختار بندی ریاضی الگوی پایه و تصریح روابط و معادلات الگو استفاده شده است. با اجرای الگو تحت این شرایط، مقادیر متغیرهای درون‌زا شامل ارزش تولید هر یک از فعالیت‌های اقتصادی و مجموع ارزش تولید کل اقتصاد برای این سال محاسبه می‌شود.

۲- اجرای الگو تحت سناریوی کاهش ۴٪ تولید گازهای گلخانه‌ای: در این حالت مقدار همه پارامترهای الگو مشابه راه‌حل پایه بوده با این تفاوت که سقف تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به شرایط پایه ۴٪ کمتر شده است. بر این اساس تغییر سمت راست محدودیت تولید گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک شوک برونزا به الگو معرفی شده است. نتیجه اجرای الگو در این سناریو، شبیه‌سازی مقادیر متغیرهای درونزا (تصمیم) یعنی همان ارزش تولید بخش‌های مختلف اقتصادی و کل ارزش تولید اقتصاد است. به طور طبیعی، اختلاف مقادیر بدست آمده برای این متغیرها در اجرای الگو تحت سناریوی ۴ درصد کاهش انتشار با مقادیر شبیه‌سازی شده برای آنها در راه‌حل پایه به عنوان اثر (خسارت) اقتصادی ناشی از این سناریوی سیاستی ارزیابی شده است.

۳- اجرای الگو تحت سناریوی کاهش ۱۲٪ تولید گازهای گلخانه‌ای: در این حالت نیز مقدار همه پارامترهای الگو مشابه راه‌حل پایه و سناریوی ۴ درصد کاهش انتشار بوده با این تفاوت که سقف تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به شرایط پایه ۱۲٪ کمتر شده است. نتیجه اجرای الگو در این سناریو نیز، شبیه‌سازی مقادیر متغیرهای ارزش تولید بخش‌های مختلف اقتصادی و کل ارزش تولید اقتصاد است. به طور طبیعی، اختلاف مقادیر بدست آمده برای این متغیرها در اجرای الگو تحت سناریوی ۱۲ درصد کاهش انتشار با مقادیر شبیه‌سازی شده برای آنها در راه‌حل پایه به عنوان اثر (خسارت) اقتصادی ناشی از این سناریوی سیاستی ارزیابی شده است.

### ۳-۴- الگوی چند هدفه تلفیقی داده-ستانده و برنامه‌ریزی ریاضی

در الگوی معرفی شده فوق تنها یک هدف حداکثرسازی مجموع ارزش ناخالص تولید فعالیت‌های مختلف اقتصادی کشور وجود دارد که تحت محدودیت‌های استاندارد داده-ستانده و محدودیت انتشار دی اکسید کربن حداکثر می‌شود. در اینجا با توجه به ضرورت تلفیق معیارهای اقتصادی با معیارهای اکولوژیکی در برنامه‌های توسعه ملی، سعی شده است یک الگوی برنامه‌ریزی چند هدفه بسط داده شود به طوری که بتواند ترکیبی بهینه از فعالیت‌های تولیدی اقتصادی کشور را ارائه دهد که به طور همزمان اهداف مختلف مورد نظر سیاستگذار را که گاهی "ممکن است در تناقض با یکدیگر باشند، در برنامه‌ریزی اقتصادی لحاظ نماید. بر این اساس در این پژوهش سه آرمان به ترتیب اولویت به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

- آرمان اول ( $S_1$ ): رسیدن به حداکثر ارزش ناخالص تولید فعالیت‌های اقتصادی کشور
- آرمان دوم ( $S_2$ ): حداقل‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط فعالیت‌های اقتصادی کشور

<sup>1</sup> Base solution

• آرمان سوم ( $S_3$ ): حداقل سازی مصرف آب توسط فعالیت‌های اقتصادی کشور

بنابراین پرسشی که در این بخش به آن پاسخ داده می‌شود این است که چه ترکیبی از فعالیت‌های اقتصادی کشور می‌تواند حداکثر ارزش تولید (هدف با اولویت اول) را با حداقل انتشار گازهای گلخانه‌ای (هدف با اولویت دوم) و با حداقل مصرف آب (هدف با اولویت سوم) حاصل نماید. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی بدین صورت است که ابتدا برای هر یک از اهداف مقادیر آرمان مورد نظر باید محاسبه شوند که این امر از اجرای الگوهای تک هدفی مربوط به هر یک از آرمان‌ها حاصل می‌شود. بنابراین سطح آرمانی ارزش تولید کل اقتصاد برابر با مقدار بدست آمده برای تابع هدف در الگوی تک هدفی حداکثرسازی ارزش تولید ( $2503.9$  هزار میلیارد ریال) منظور شده و سطح آرمانی انتشار گازهای گلخانه‌ای معادل با مقداری از انتشار در نظر گرفته شده که تعهدات کاهش انتشار به میزان  $4$  درصد را برآورده سازد ( $213669.3$  هزارتن). همچنین سطح آرمانی مقدار آب مصرفی توسط همه فعالیت‌های اقتصادی کشور برابر با مقدار بدست آمده برای تابع هدف در الگوی تک هدفی حداقل سازی مصرف آب ( $100/03$  میلیارد مترمکعب) در نظر گرفته شده است. با تعیین مقادیر آرمانی هر یک از اهداف، هر یک از توابع هدف به صورت قیود آرمانی درآمده و تابع هدف به صورت حداقل سازی انحرافات مثبت (برای اهداف حداقل سازی) یا منفی (برای اهداف حداکثرسازی) از آرمان تعیین شده تصریح می‌شود. اجرای این الگوها به صورت سلسله مراتبی است بدین ترتیب که ابتدا الگوی یک هدفی برای هدف با اولویت اول نوشته می‌شود که با اجرای آن مقدار انحراف مثبت یا منفی از آرمان مورد نظر در الگو تعیین می‌شود. در مرحله دوم الگو برای دستیابی به هدف با اولویت دوم اجرا می‌شود با این تفاوت که علاوه بر قید آرمانی مربوط به خود آن هدف، قید آرمانی مربوط به هدف قبلی نیز در الگو وجود دارد. به همین نحو در مرحله بعد الگو برای هدف با اولویت سوم تصریح می‌شود به گونه‌ای که افزون بر قید آرمانی مربوط به خود آن هدف، قیود آرمانی مربوط به دو هدف قبلی نیز در الگو وجود دارند. برای مثال الگوی چند هدفی تصریح شده در این پژوهش به صورت زیر می‌باشد:

(۱) مرحله اول (الگوی تک هدفی - حداکثرسازی ارزش کل تولید اقتصاد)

$Min : d_1 Neg$

$$s.t : \begin{cases} (I - A)X \leq 0 \\ i'X + d_1 Neg - d_1 Pos = 2503.9 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (26)$$

(۲) مرحله دوم (الگوی دو هدفی حداکثرسازی ارزش کل تولید اقتصاد + حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای)

$Min : d_2 Pos$

$$s.t : \begin{cases} (I - A)X \leq 0 \\ i'X + d_1 Neg = 2503.9 \\ GX + D_2 Neg - d_2 Pos = 213669.3 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (27)$$

۳) مرحله سوم (الگوی سه هدفی حداکثرسازی ارزش کل تولید اقتصاد+ حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای+ حداقل سازی مصرف آب)

$Min : d_3 Pos$

$$s.t : \begin{cases} (I - A)X \leq 0 \\ i'X + d_1 Neg = 2503.9 \\ GX - d_2 Pos = 213669.3 \\ FX + d_3 Neg - d_3 Pos = 100026.6 \\ X \geq 0 \end{cases} \quad (28)$$

که در آن  $d_1 Neg$  و  $d_1 Pos$  به ترتیب بیانگر انحراف منفی و مثبت از آرمان کل انتشار دی اکسید کربن و به همین نحو  $d_2 Neg$  و  $d_2 Pos$  به ترتیب بیانگر انحراف منفی و مثبت از آرمان کل انتشار گاز گلخانه‌ای و منفی و مثبت از آرمان مصرف آب را نشان می‌دهند.  $G$  و  $F$  نیز به ترتیب بردار ضرایب انتشار مستقیم گاز گلخانه‌ای و محتوی آب مجازی هر یک از فعالیت‌های اقتصادی هستند. با اجرای الگوی تصریح شده طی رابطه ۲۶، ترکیبی بهینه از فعالیت‌های اقتصادی تحت تنها هدف حداکثرسازی ارزش کل تولید اقتصاد تعیین می‌شود. در الگوی ۲۷ با توجه به اینکه هر دو هدف حداکثرسازی ارزش تولید و حداقل سازی کل انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از فعالیت‌های اقتصادی در الگو وجود دارند، ترکیب تعیین شده برای فعالیت‌های اقتصادی در این الگو تامین کننده هر دو هدف مذکور است. به همین نحو نتایج الگوی ۲۸ ترکیبی از فعالیت‌های اقتصادی ارائه می‌دهد که افزون بر حداکثرسازی ارزش کل تولید اقتصاد و حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای، حداقل مصرف آب را نیز به همراه خواهد داشت.

#### ۴- نتایج تجربی پژوهش

##### ۴-۱- نتایج محاسبه ضرایب مستقیم و تکاثری انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های اقتصادی

بر اساس روش‌شناسی گفته شده در بخش فوق، پایه‌های آماری مربوط به جدول داده-ستانده و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در ۱۴ بخش اقتصادی محاسبه و بررسی شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش کشاورزی، حمل و نقل و بخش خدمات بر اساس ترازنامه انرژی (بر حسب معادل بشکه نفت خام و تبدیل آن به معادل CO<sub>2</sub>) و برای سایر فعالیت‌ها که عمدتاً شامل فعالیت‌های صنعتی هستند از آمار و اطلاعات مربوط به نمونه‌گیری مرکز آمار ایران از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ با ده نفر کارکن و بیشتر استخراج شده است. بدین منظور ابتدا برای هر یک از این فعالیت‌ها میزان مصرف سالانه انواع سوخت شامل برق، گاز، نفت سفید، گازوئیل، بنزین، نفت کوره و زغال سنگ محاسبه، سپس ارزش حرارتی هر یک از این سوخت‌ها بر حسب مگاژول بر تن تعیین و در نهایت با ضرب آن در مقدار انتشار معادل CO<sub>2</sub> هر یک از آنها، میزان کل گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط هر یک از فعالیت اقتصادی به طور سالانه برآورد شد. از تقسیم میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط هر یک از فعالیت‌های اقتصادی بر کل ارزش تولید آنها، شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای یا در واقع همان ضریب مستقیم انتشار هر یک از فعالیت‌ها محاسبه شد. در ستون سوم جدول ۳ مقدار

انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای (بر حسب میلیون تن) ناشی از تولید یک هزار میلیارد ریال محصول توسط هر یک از بخش‌های اقتصادی گزارش شده است. برای نمونه در بخش کشاورزی، برای تولید محصولات به ارزش یک هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۸۳ حدود ۰/۰۵۹ میلیون تن معادل دی اکسید کربن گاز گلخانه‌ای منتشر شده است. این مقدار  $CO_2$  برای تولید محصولات به همین میزان ارزش در بخش استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن حدود ۰/۱۳۴ میلیون تن، در تولید محصولات غذایی و آشامیدنی ۰/۰۶۵ میلیون تن و برای محصولات منسوجات و چوب و کاغذ به ترتیب ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۸ میلیون تن برآورد شده است. بیشترین شدت مصرف انرژی در بین فعالیت‌های مختلف اقتصادی مربوط به بخش حمل و نقل بوده به طوری که در این بخش به ازای هر یک هزار میلیارد ریال ارزش تولید حدود ۰/۴۶۶ میلیون تن دی اکسید کربن به طور مستقیم تولید شده است. در مجموع، شدت انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای در کل اقتصاد کشور در این سال معادل ۰/۰۸۹ میلیون تن دی اکسید کربن به ازای هر یک هزار میلیارد ریال ارزش تولید منتشر شده است. ستون چهارم جدول ۳ نیز ردپای دی اکسید کربن (انتشار مستقیم+انتشار غیرمستقیم) هر یک از فعالیت‌های اقتصادی را نشان می‌دهد. برای مثال ضریب تکاثر انتشار ۰/۱۶۶ بدست آمده برای بخش کشاورزی نشان

جدول ۳- ضرایب مستقیم و تکاثری انتشار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های مختلف اقتصادی کشور

ردیف	فعالیت اقتصادی	ضرایب انتشار (میلیون تن به هزار میلیارد ریال)	
		مستقیم	تکاثری
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۰/۰۵۹	۰/۱۶۶
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۰/۱۳۴	۰/۱۳۹
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی/ توتون و تنباکو	۰/۰۶۵	۰/۲۲۳
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۰/۰۳۲	۰/۱۲۴
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۰/۰۲۸	۰/۱۰۳
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۰/۰۰۹	۰/۱۲۶
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۰/۱۶۹	۰/۲۹۱
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۱۰۶	۰/۲۲۷
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۰/۰۰۸	۰/۱۷۲
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۰/۰۱۷	۰/۱۳۴
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۰/۰۴۲	۰/۱۹۶
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵
۱۳	حمل و نقل	۰/۴۶۶	۰/۵۳۱
۱۴	سایر خدمات	۰/۰۴۲	۰/۰۶۹
<b>کل اقتصاد</b>		<b>۰/۰۸۹</b>	<b>۰/۱۶۹</b>

مأخذ: یافته‌های پژوهش

می‌دهد که در این سال به ازای تولید محصولات کشاورزی به ارزش یک هزار میلیارد ریال حدود ۰/۱۶۶ میلیون تن دی‌اکسید کربن به طور مستقیم و غیر مستقیم تولید شده است. رد پای  $CO_2$  در کل اقتصاد کشور در این سال حدود ۰/۱۶۹ برآورد شده که نشان می‌دهد در کل اقتصاد کشور به ازای هر یک هزار میلیارد ارزش تولید حدود ۰/۱۶۹ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن به طور مستقیم و غیرمستقیم انتشار یافته است. بیشترین مقدار رد پای  $CO_2$  با ۰/۵۳۱ میلیون تن به ازای هر یک هزار میلیارد ریال مربوط بخش حمل و نقل و پس از آن مربوط با ۰/۲۹۱ مربوط به فعالیت‌های بخش تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی‌های غیر فلزی است. در مقابل کمترین مقدار رد پای  $CO_2$  با ۰/۰۶۹ مربوط به سایر خدمات می‌باشد. عامل مقیاس<sup>۱</sup> ۲/۸۱ (نسبت تقسیم رد پای  $CO_2$  به ضریب انتشار مستقیم) بدست آمده برای بخش کشاورزی نشان می‌دهد، چنانچه تقاضای نهایی برای محصولات کشاورزی یک درصد افزایش یابد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲/۸۱ درصد افزایش خواهد یافت. عامل مقیاس انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کل فعالیت‌های اقتصادی ۱/۹ می‌باشد که بیانگر افزایش ۱/۹ درصدی انتشار کل گازهای گلخانه‌ای در پاسخ به افزایش تقاضای نهایی برای کل محصولات تولید شده در اقتصاد کشور به میزان ۱ درصد است.

#### ۴-۲- نتایج محاسبه ضرایب مستقیم و تکاثری مصرف آب در فعالیت‌های اقتصادی کشور

مشابه آنچه برای انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شد، محتوی آب مجازی و رد پای مصرف آب فعالیت‌های اقتصادی نیز محاسبه شده است. برای این منظور لازم بود ابتدا مقدار کل مصرف مستقیم آب در هر یک از این فعالیت‌ها تعیین شود. مقدار مصرف فعالیت‌های صنعتی از آمار و اطلاعات مربوط به نمونه‌گیری مرکز آمار ایران از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ با ده نفر کارکن و بیشتر و برای فعالیت‌های زراعی و باغی بر اساس سطوح زیرکشت هر یک از محصولات آبی و نیاز ناخالص تعدیل شده (با کم آبیاری) و برای محصولات دامی بر اساس کل جمعیت دامی (گاو و گوساله، گوسفند و بز، گاو میش و...) و نیاز روزانه هر راس دام به آب برای شرب و شستشو محاسبه شده است. از تقسیم میزان کل مصرف آب توسط هر یک از فعالیت‌های اقتصادی بر کل ارزش تولید آنها، محتوی آب مجازی یا در واقع همان ضریب مستقیم مصرف آب در هر یک از فعالیت‌ها محاسبه شد. در ستون سوم جدول ۴ محتوی آب مجازی (میلیارد مترمکعب) ناشی از تولید یک هزار میلیارد ریال محصول توسط هر یک از بخش‌های اقتصادی گزارش شده است. برای نمونه در بخش کشاورزی، برای تولید محصولات به ارزش یک هزار میلیارد ریال در سال ۱۳۸۳ حدود ۰/۶۳ میلیارد مترمکعب آب به طور مستقیم مصرف شده است. این مقدار مصرف آب برای تولید محصولات به همین ارزش در بخش استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن حدود ۰/۰۳۶ میلیارد مترمکعب، در تولید محصولات غذایی و آشامیدنی ۰/۰۴۹ میلیارد مترمکعب و برای محصولات منسوجات و چوب و کاغذ به ترتیب ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۲۶ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. بیشترین شدت مصرف آب در بین فعالیت‌های مختلف اقتصادی مربوط به بخش کشاورزی بوده به طوری که در این بخش به ازای هر یک هزار میلیارد ریال ارزش تولید حدود ۰/۶۳ میلیارد مترمکعب آب به طور مستقیم مصرف شده

<sup>1</sup> Scaling factor

است. در مجموع، شدت مصرف مستقیم آب (محتوی آب مجازی) در کل اقتصاد کشور در این سال معادل ۰/۰۴۷ میلیارد مترمکعب به ازای هر یک هزار میلیارد ریال ارزش تولید بوده است.

جدول ۴- ضرایب مستقیم و تکاثری مصرف آب در فعالیت‌های مختلف اقتصادی کشور

ردیف	فعالیت اقتصادی	ضرایب مصرف آب (میلیون مترمکعب به هزار میلیارد ریال)	
		مستقیم	تکاثری
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۰/۶۳	۰/۷۷
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۴۳
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی / توتون و تنباکو	۰/۰۰۴۹	۰/۴۴۳
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۰/۰۰۰۳	۰/۱۶۹۵
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۰/۰۰۲۶	۰/۰۶۳۹
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۹۲
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۰/۰۰۱۲	۰/۰۱۹۵
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۱۵
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۲۶
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۰/۰۰۰۳	۰/۰۳۴۰
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۱۲
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۷
۱۳	حمل و نقل	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۸۳
۱۴	سایر خدمات	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۸۶
<b>کل اقتصاد</b>		<b>۰/۰۴۷</b>	<b>۰/۰۸۲۵</b>

مأخذ: یافته‌های پژوهش

ستون چهارم جدول ۴ نیز ردپای مصرف آب (مصرف مستقیم+مصرف غیرمستقیم) هر یک از فعالیت‌های اقتصادی را نشان می‌دهد. برای مثال ضریب تکاثر مصرف ۰/۷۷ بدست آمده برای بخش کشاورزی نشان می‌دهد که در این سال به ازای تولید محصولات کشاورزی به ارزش یک هزار میلیارد ریال حدود ۰/۷۷ میلیارد مترمکعب به طور مستقیم و غیر مستقیم آب مصرف شده است. رد پای مصرف آب در کل اقتصاد کشور در این سال حدود ۰/۰۸۲۵ برآورد شده که نشان می‌دهد در کل اقتصاد کشور به ازای هر یک هزار میلیارد ارزش تولید حدود ۰/۰۸۲۵ میلیارد مترمکعب آب به طور مستقیم و غیرمستقیم مصرف است. بیشترین مقدار ردپای آب با ۰/۷۷ میلیارد مترمکعب به ازای هر یک هزار میلیارد ریال مربوط به فعالیت‌های بخش کشاورزی و پس از آن با ۰/۴۴۳ مربوط به فعالیت‌های بخش تولید محصولات غذایی و آشامیدنی است. در مقابل کمترین مقدار رد پای آب با ۰/۰۰۴ مربوط به بخش استخراج نفت، گاز طبیعی و سایر

معادن می‌باشد. عامل مقیاس ۱/۲۲ (نسبت تقسیم رد پای آب به محتوی آب مجازی) بدست آمده برای بخش کشاورزی نشان می‌دهد، چنانچه تقاضای نهایی برای این بخش یک درصد افزایش یابد، میزان مصرف آب ۱/۲۲ درصد افزایش خواهد یافت. عامل مقیاس مصرف آب برای کل فعالیت‌های اقتصادی ۱/۷۵۵ می‌باشد که بیانگر افزایش ۱/۷۵۵ درصدی مصرف آب در پاسخ به افزایش تقاضای نهایی برای کل محصولات تولید شده در اقتصاد کشور به میزان ۱ درصد است.

#### ۴-۳- نتایج محاسبه ضرایب تکاثر اولیه و تعدیل شده فعالیت‌های مختلف اقتصادی

همانطور که پیش‌تر گفته شد ضرایب تکاثر جدول داده-ستانده از انعطاف‌پذیری لازم برای بررسی آثار ناشی از سیاست‌ها یا محدودیت‌هایی که به طور مستقیم بر روی ظرفیت تولید بخش‌های اقتصادی تحمیل می‌شود (برای مثال برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) برخوردار نیستند و انتظار می‌رود در صورت وجود محدودیت‌های تولید، ضرایب تکاثر نسبت به پایه تغییر کنند. بنابراین در این بخش بر اساس الگوی ریاضی بیان شده طی رابطه ۲۳ به برآورد ضرایب تکاثر تعدیل شده فعالیت‌های اقتصادی اقدام شده است که نتایج آن به همراه ضرایب تکاثر استاندارد (اولیه) جدول داده-ستانده در جدول ۵ گزارش شده است. برای این منظور الگوی مذکور به دفعات اجرا شده است به طوری که در هر مرتبه از اجرای الگو بر ظرفیت تولید یک بخش محدودیت اعمال شده و سایر فعالیت‌ها بدون محدودیت بوده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود، ضرایب تکاثر تعدیل شده برای همه فعالیت‌های اقتصادی از مقادیر متناظر اولیه (استاندارد) آنها کمتر می‌باشد. ضریب تعدیل شده ۱/۷۲۵ بدست آمده برای بخش کشاورزی نشان می‌دهد که چنانچه محدودیت اعمال شده بر ظرفیت تولید این بخش به میزان یک میلیون ریال افزایش یابد، خسارت ناشی از آن در کل اقتصاد ۱/۷۲۵ میلیون ریال خواهد بود.

جدول ۵- ضرایب فزاینده اولیه و تعدیل شده فعالیت‌های اقتصادی با اعمال محدودیت بر ظرفیت تولید آنها

ردیف	فعالیت اقتصادی	ضرایب فزاینده	
		اولیه (استاندارد)	تعدیل شده
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۱/۹۴۶	۱/۷۲۵
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۱/۰۵۲	۱/۰۵۰
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی / توتون و تنباکو	۲/۶۰۹	۲/۲۸۴
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۱/۹۸۱	۱/۸۱۲
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۱/۷۹۰	۱/۴۳۷
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۱/۹۶۴	۱/۰۹۲
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۲/۰۹۱	۱/۶۶۳
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۲/۰۲	۱/۶۶۹
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۲/۳۴۱	۲/۳۰۰
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۲/۳۴۷	۲/۰۷۶



۱/۸۹۸	۱/۹۴۲	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۱۱
۱/۳۵۷	۱/۳۷۴	بازرگانی، هتل و رستوران	۱۲
۱/۶۶۶	۱/۷۰۵	حمل و نقل (جاده‌ای، هوایی، آبی و ریلی)	۱۳
۱/۲۸۴	۱/۳۰۱	سایر خدمات	۱۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با استفاده از ضرایب تکاثر تعدیل شده و ضرایب انتشار مستقیم (جدول ۳)، می‌توان تعیین کرد که کاهش یک واحدی (هزار تن) انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق اعمال محدودیت بر ظرفیت تولید هر یک از فعالیت‌های تولیدی چقدر خسارت بر کل اقتصاد کشور خواهد داشت و لذا شاخصی برای رتبه‌بندی فعالیت‌های اقتصادی

جدول ۶- خسارت ناشی از کاهش یک واحدی (هزار تن) انتشار  $CO_2$  در هر بخش بر کل اقتصاد

ردیف	فعالیت	$g_j$	$\Delta X_j$	$L_{j,modified}$	Damage
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۰/۰۵۹	۱۶/۹۵	۱/۷۲۵	۲۹/۲۳۷
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۰/۱۳۴	۷/۴۶	۱/۰۵۰	۷/۸۳۶
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی/ توتون و تنباکو	۰/۰۶۵	۱۵/۳۸	۲/۲۸۴	۳۵/۱۳۸
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۰/۰۳۲	۳۱/۲۵	۱/۸۱۲	۵۶/۶۲۵
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۰/۰۲۸	۳۵/۷۱	۱/۴۳۷	۵۱/۳۲۱
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۰/۰۰۹	۱۱۱/۱	۱/۰۹۲	۱۲۱/۳۳۳
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۰/۱۶۹	۵/۹۲	۱/۶۶۳	۹/۸۴۰
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۰/۱۰۶	۹/۴۳	۱/۶۶۹	۱۵/۷۴۵
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۰/۰۰۸	۱۲۵	۲/۳۰۰	۱۶۲/۵۰۰
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۰/۰۱۷	۵۸/۸۲	۲/۰۷۶	۱۲۲/۱۱۷
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۰/۰۴۲	۲۳/۸۱	۱/۸۹۸	۴۵/۱۹۰
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۰/۰۴۲	۲۳/۸۱	۱/۳۵۷	۳۲/۳۰۹
۱۳	حمل و نقل	۰/۴۶۶	۲/۱۴	۱/۶۶۶	۳/۵۷۵
۱۴	سایر خدمات	۰/۰۴۲	۲۳/۸	۱/۲۸۴	۳۰/۵۷۱

$g_j$  ضریب انتشار مستقیم (میلیون تن به هزار میلیارد ریال) بخش  $A_j$ ، مقدار کاهش لازم در ارزش تولید (میلیارد ریال) بخش  $A_j$  به ازای کاهش یک واحدی (هزار تن) انتشار مستقیم در آن بخش،  $L_{j,modified}$  ضریب تکاثر تعدیل شده تولید بخش  $A_j$ ، مقدار خسارت ناشی از کاهش یک واحدی انتشار بخش  $A_j$  بر کل اقتصاد

به منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای بدست می‌دهد. نتایج مربوط به این محاسبات در جدول ۶ گزارش شده است.  $\Delta X_j$  در این جدول، مقدار کاهشی که لازم است در ارزش تولید هر بخش (میلیارد ریال) به منظور کاهش یک هزار تن انتشار

گاز گلخانه‌ای در آن بخش اتفاق بیافتد را نشان می‌دهد. برای مثال عدد ۱۶/۹۵ برای بخش کشاورزی نشان می‌دهد که چنانچه قرار باشد مقدار انتشار گاز گلخانه‌ای در بخش کشاورزی هزار تن کاهش یابد، ارزش تولید این بخش باید ۱۶/۹۵ میلیارد ریال کاهش یابد. این میزان کاهش در تولید بخش کشاورزی از طریق ضریب فزاینده تعدیل شده آن (۱/۷۲۵) خسارتی معادل ۲۹/۲۳۷ میلیارد ریال به کل اقتصاد وارد خواهد ساخت. مقدار متناظر این خسارت برای بخش استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن حدود ۷/۸۳۶ میلیارد ریال به ازای هر هزار تن کاهش  $CO_2$ ، برای بخش محصولات غذایی و آشامیدنی ۳۵/۱۳۸ میلیارد ریال، برای تولید پوشاک و منسوجات ۵۶/۶۲۵ میلیارد ریال، برای تولید چوب و کاغذ و محصولات چوبی ۵۱/۳۲۱ میلیارد ریال و در بخش فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت، ۱۲۱/۳۳۳ میلیارد ریال می‌باشد. کمترین میزان خسارت اقتصادی ناشی از کاهش انتشار یک هزار تن  $CO_2$  با ۳/۵۷۵ میلیارد ریال مربوط به بخش حمل و نقل و در مقابل بیشترین آن با ۱۲۲/۱۱۷ میلیارد ریال مربوط به خدمات توزیع و انتقال برق، آب و گاز می‌باشد. در یک مقایسه کلی نتایج این جدول نشان می‌دهد که هزینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش‌هایی که از ضریب شدت انتشار مستقیم بالاتر و در عین حال از ضریب تکاثر تولید پایین‌تر برخوردارند، کمتر می‌باشد بنابراین بخش‌هایی با این ویژگی‌ها از اولویت بالاتری برای اجرای سیاست‌های کاهش انتشار برخوردارند.

#### ۴-۴-۴- برآورد آثار اقتصادی ناشی از تعهدات کاهش انتشار

##### ۴-۴-۴-۱- سناریوی ۱: کاهش انتشار به میزان ۴٪

در جدول ۷ نتایج برآورد الگوی برنامه‌ریزی ریاضی تحت محدودیت کاهش ۴ درصدی انتشار کل گازهای گلخانه‌ای گزارش شده است. با توجه به اینکه نتایج این جدول مبتنی بر یک الگوی بهینه‌یابی است، مقادیر کاهش ارزش تولید هر یک از بخش‌های اقتصادی و کل اقتصاد کشور به عنوان حداقل مقدار خسارت اقتصادی ناشی از پذیرش این تعهدات تلقی می‌شود. همانطور که در این جدول ملاحظه می‌شود، کاهش ۴ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل اقتصاد کشور موجب کاهش ارزش تولید به میزان ۲۸۱۳۵/۸ میلیارد ریال خواهد شد که این میزان چیزی در حدود ۱/۱۲ درصد از کل حجم اقتصاد کشور را شامل می‌شود. با توجه به این که کل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های اقتصادی موجود در جدول داده-ستانده در سال پایه (۱۳۸۳) معادل ۲۲۲/۶ میلیون تن برآورد شده است لذا کاهش ۴ درصدی انتشار به معنی کاهش ۸۹۰۲/۹ هزارتن معادل دی‌اکسید کربن است. بر این اساس هزینه‌ای که کاهش هر تن گاز گلخانه‌ای بر اقتصاد کشور تحمیل می‌کند معادل ۳/۱۶ میلیون ریال (۳۱۶ هزارتومان) می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشترین کاهش حجم تولید (ارزش تولید) متوجه بخش حمل و نقل (با ۱۰/۴۹- درصد) بوده و پس از آن به ترتیب مربوط به بخش‌های تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت (با ۳/۲۶- درصد)، تولید مواد شیمیایی (با ۰/۸۴- درصد)، تولید، انتقال و توزیع برق، گاز و آب (با ۰/۸- درصد) و استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن (با ۰/۶۴- درصد) است.

جدول ۷- کاهش ارزش تولید بخش‌های اقتصادی و کل اقتصاد کشور تحت سناریوی ۴٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب قیمت‌های

پایه سال ۱۳۸۳

ردیف	فعالیت	ارزش تولید پایه (هزار میلیارد ریال)	کاهش ارزش تولید تحت سناریوی ۴٪ کاهش انتشار	
			مقدار (میلیارد ریال)	درصد
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۱۸۲/۴	-۱۰۰/۳	-۰/۰۶
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۳۱۶/۵	-۲۰۳۳/۳	-۰/۶۴
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی/ توتون و تنباکو	۷۷/۶	-۳۵/۵	-۰/۰۵
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۴۲/۶	-۴۶/۸	-۰/۱۱
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۲۵/۵	-۷۳/۷	-۰/۲۹
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۷۸/۲	-۲۵۵۳/۳	-۳/۲۶
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۱۲۵/۶	-۱۰۵۹/۷	-۰/۸۴
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۱۴/۶	-۳۳۹/۳	-۰/۳
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۲۰۳	-۴۶۰/۱	-۰/۲۳
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۷۴	-۵۹۵/۴	-۰/۸
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۲۸۵/۵	-۲۵۹/۹	-۰/۰۹
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۲۶۴/۹	-۹۰۵	-۰/۳۴
۱۳	حمل و نقل	۱۷۱	-۱۷۹۳۲/۵	-۱۰/۴۹
۱۴	سایر خدمات	۵۴۲/۴	-۱۷۴۱	-۰/۳۲
<b>کل فعالیت‌های اقتصادی</b>		<b>۲۵۰۳/۹</b>	<b>-۲۸۱۳۵/۸</b>	<b>-۱/۱۲</b>

مأخذ: یافته‌های تحقیق

#### ۴-۴-۲- سناریوی ۲: کاهش انتشار به میزان ۱۲٪

در جدول ۸ نتایج برآورد الگوی برنامه‌ریزی ریاضی تحت محدودیت کاهش ۱۲ درصدی انتشار کل گازهای گلخانه‌ای گزارش شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، کاهش ۱۲ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل اقتصاد کشور موجب کاهش ارزش تولید به میزان ۱۸۰۰۷۸/۸ میلیارد ریال خواهد شد که این میزان چیزی در حدود ۷/۲ درصد از کل حجم اقتصاد کشور را شامل می‌شود.

جدول ۸- کاهش ارزش تولید بخش‌های اقتصادی و کل اقتصاد کشور تحت سناریوی ۱۲٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب قیمت-های پایه سال ۱۳۸۳

ردیف	فعالیت	ارزش تولید پایه (هزار میلیارد ریال)	کاهش ارزش تولید تحت سناریوی ۴٪ کاهش انتشار	
			مقدار (میلیارد ریال)	درصد
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۱۸۲/۴	-۲۷۳۶۰/۳	-۱۵
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۳۱۶/۵	-۴۲۴۸۰/۳	-۱۵
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی/ توتون و تنباکو	۷۷/۶	-۶۹۹۲/۵	-۹/۰۱
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۴۲/۶	-۱۹۱/۸	-۰/۴۵
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۲۵/۵	-۷۷۰/۷	-۳/۰۳
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۷۸/۲	-۵۵۶۲/۳	-۷/۱۱
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۱۲۵/۶	-۱۷۱۳۸/۷	-۱۳/۶۵
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۱۴/۶	-۱۲۴۶۵/۳	-۱۰/۸۸
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات حمل و نقل و سایر مصنوعات	۲۰۳	-۲۷۷۱/۱	-۱/۳۶
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۷۴	-۴۳۳۵/۴	-۵/۸۴
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۲۸۵/۵	-۱۵۶۳/۹	-۰/۵۵
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۲۶۴/۹	-۲۸۵۴	-۱/۰۸
۱۳	حمل و نقل	۱۷۱	-۲۵۶۵۱/۵	-۱۵
۱۴	سایر خدمات	۵۴۲/۴	-۲۴۹۵۱	-۴/۶۰
<b>کل فعالیت‌های اقتصادی</b>		<b>۲۵۰۳/۹</b>	<b>-۱۸۰۰۷۸/۸</b>	<b>-۷/۱۹</b>

در این شرایط بیشترین کاهش حجم تولید (ارزش تولید) متوجه بخش‌های حمل و نقل؛ استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن و بخش کشاورزی هر کدام با ۱۵ درصد و پس از آن به ترتیب مربوط به بخش‌های تولید مواد شیمیایی (با ۱۳/۶۵- درصد)، تولید فلزات اساسی (با ۱۰/۸۸- درصد)، محصولات غذایی و آشامیدنی‌ها (با ۹/۰۱- درصد) و سپس به فعالیت‌های تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت (با ۷/۱۱- درصد) است.

#### ۴-۵- تعیین ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی تحت اهداف مختلف (نتایج الگوی برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی)

نتایج الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفی به تفکیک برای یک هدفه (حداکثرسازی ارزش تولید)، دو هدفه (حداکثرسازی ارزش تولید و حداقل سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای) و سه هدفه (حداکثرسازی ارزش تولید، حداقل‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و همچنین حداقل‌سازی میزان مصرف آب) در جدول شماره ۹ گزارش شده است. نتایج هر یک از این الگوها در واقع نشان‌دهنده ترکیب و تنوع بهینه فعالیت‌های اقتصادی کشور تحت هدف یا اهداف مورد نظر است. در ستون سوم این جدول، میزان ارزش تولید فعالیت‌های اقتصادی در جداول داده-ستانده بر حسب قیمت‌های سال ۱۳۸۳ نشان داده شده که مبنایی برای مقایسه نتایج هر یک از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی با مقدار متناظر آن در سال است. همانطور که ملاحظه می‌شود، نتایج الگوی تک هدفه حداکثرسازی ارزش تولید مطابق انتظار همان مقادیر سطح ارزش تولید (حساب‌های اقتصادی) در جداول داده-ستانده در سال پایه می‌باشد که ارزش سایه‌ای قیود مربوط به هر هدف آن معادل با ضرایب فزاینده مربوط به هر فعالیت است. در الگوی دو هدفی که در آن افزون بر حداکثرسازی ارزش تولید، حداقل‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز مورد نظر است، ملاحظه می‌شود که ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی تحت این شرایط نسبت به شرایط پایه و الگوی تک هدفی دچار تغییراتی شده است به طوری که با توجه به محدودیت آرمانی انتشار گازهای گلخانه‌ای سطح فعالیت (ارزش تولید) همه حساب‌های اقتصادی کاهش یافته با این حال نسبت کاهش سطح فعالیت در بین فعالیت‌های مختلف یکسان نیست. بیشترین مقدار تغییر در ارزش تولید متوجه بخش حمل و نقل (با ۹/۶ درصد کاهش) بوده و پس از آن مربوط به تولید چوب و کاغذ و محصولات کاغذی با (۷/۰۹ درصد کاهش) و تولید منسوجات، پوشاک و چرم (با ۵/۹۳ درصد کاهش) است.

جدول ۹- ترکیب بهینه فعالیت‌های اقتصادی کشور تحت اهداف مختلف (حداکثرسازی ارزش تولید، حداقل سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و حداقل سازی مصرف آب

ردیف	فعالیت اقتصادی	سطح فعالیت (هزار میلیارد ریال)	الگوی یک هدفه - (حداکثرسازی ارزش تولید)		الگوی دو هدفه - (حداکثرسازی ارزش تولید + حداقل سازی انتشار)		الگوی سه هدفه (حداکثرسازی ارزش تولید + حداقل سازی مصرف انتشار + حداقل سازی مصرف آب)	
			مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش	مقدار	درصد کاهش
۱	کشاورزی، پرورش حیوانات، جنگلداری و ماهیگیری	۱۸۲/۴	۱۸۲/۴	۰	۱۸۱/۱	-۰/۷۱	۱۵۵/۷	-۱۴/۶۴
۲	استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن	۳۱۶/۵	۳۱۶/۵	۰	۳۱۳/۹	-۰/۸۳	۲۸۸/۸	-۸/۷۶
۳	تولید محصولات غذایی، آشامیدنی/ توتون و تنباکو	۷۷/۶	۷۷/۶	۰	۷۷/۴	-۰/۳۵	۶۶/۱۹	-۱۴/۷۴
۴	تولید منسوجات، پوشاک، چرم و محصولات چرمی	۴۲/۶	۴۲/۶	۰	۴۰/۰۸	-۵/۹۳	۴۲/۵	-۰/۲۵
۵	تولید چوب و کاغذ، محصولات چوبی و کاغذی	۲۵/۵	۲۵/۵	۰	۲۳/۶۴	-۷/۰۹	۲۳/۳	-۸/۴۶
۶	تولید فرآورده‌های نفتی و تصفیه نفت	۷۸/۲	۷۸/۲	۰	۷۴/۴۶	-۴/۸۱	۶۷/۲	-۱۴/۱
۷	تولید مواد شیمیایی، پلاستیک و سایر کانی غیرفلزی	۱۲۵/۶	۱۲۵/۶	۰	۱۲۳/۴۶	-۱/۶۷	۱۲۱/۹۹	-۲/۸۴
۸	تولید فلزات اساسی و محصولات فلزی	۱۱۴/۶	۱۱۴/۶	۰	۱۱۳/۹۷	-۰/۵۲	۱۱۳/۱	-۱/۲۸
۹	تولید ماشین‌آلات، وسایل ارتباطی، تجهیزات ..	۲۰۳	۲۰۳	۰	۲۰۱/۲	-۰/۹۱	۲۰۱/۵	-۰/۷۶
۱۰	تولید، انتقال و توزیع برق، آب و گاز	۷۴	۷۴	۰	۷۳/۱۶	-۱/۱۷	۷۱/۹	-۲/۸۷
۱۱	ساختمان (خصوصی و دولتی)	۲۸۵/۵	۲۸۵/۵	۰	۲۸۴/۹۲	-۰/۲۲	۲۸۴/۶	-۰/۳۲
۱۲	بازرگانی، هتل و رستوران	۲۶۴/۹	۲۶۴/۹	۰	۲۶۲/۴	-۰/۹۳	۲۶۳/۶	-۰/۴۸
۱۳	حمل و نقل	۱۷۱	۱۷۱	۰	۱۵۴/۶	-۹/۶۰	۱۶۷/۰۸	-۲/۳۰
۱۴	سایر خدمات	۵۴۲/۴	۵۴۲/۴	۰	۵۳۵/۹۵	-۱/۲۰	۵۳۷/۲	-۰/۹۷

دو ستون آخر جدول ۹ ترکیب بهینه حساب‌های اقتصادی کشور و درصد تغییرات آن را نسبت به شرایط پایه برای شرایطی که اهداف مختلف اقتصادی (حداکثرسازی ارزش تولید حساب‌های اقتصادی) و اکولوژیکی (حداقل‌سازی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف آب) توسط سیاستگذار مورد تعقیب است را نشان می‌دهد. در واقع نتایج این الگو، نشان‌دهنده یک ساختار اقتصادی پایدار است که به طور همزمان اهداف اقتصادی و اکولوژیکی در آن تلفیق شده است و با بده-بستان بین اهداف مختلف، الگوی بهینه‌ای از توسعه فعالیت‌های اقتصادی ارائه کرده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با ورود محدودیت آرمانی مصرف آب ساختار الگوی اقتصادی نسبت به شرایط پایه و حتی نسبت به الگوی دو هدفه (حداکثرسازی ارزش تولید+حداقل‌سازی میزان انتشار) دچار تغییرات گسترده‌تری شده است به طوری که در این الگو عمده تغییرات متوجه بخش‌های با آب‌بری بالاتر مثل فعالیت‌های بخش کشاورزی (با ۱۴/۶۴ درصد کاهش نسبت به پایه)، تولید صنایع غذایی و آشامیدنی‌ها (با ۱۴/۷۴ درصد کاهش) و استخراج نفت خام، گاز طبیعی و سایر معادن (با ۸/۷۶ درصد کاهش) بوده است. در جدول ۱۰ سه ساختار اقتصادی مبتنی بر توابع هدف مختلف بر اساس میزان ارزش کل تولید، مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان کل مصرف آب مقایسه شده‌اند.

جدول ۱۰- جمع بندی نتایج الگوهای برنامه‌ریزی توسعه چند هدف

الگوی	مقدار ارزش کل تولید (هزار میلیارد ریال)	مقدار کل انتشار دی اکسید کربن (هزار تن)	مقدار کل مصرف آب (میلیون مترمکعب)
۱. تک هدفی (حداکثرسازی ارزش تولید)	۲۵۰۳/۹	۲۲۲۵۷۵/۳	۱۱۷۵۷۸/۷
۲. دو هدفی (حداکثرسازی ارزش تولید+حداقل سازی انتشار گاز گلخانه‌ای)	۲۴۶۰/۳	۲۱۳۶۶۹/۳	۱۱۷۰۹۳/۳
۳. سه هدفی (حداکثرسازی ارزش تولید+حداقل سازی انتشار گاز گلخانه‌ای+ حداقل سازی مصرف آب)	۲۴۰۴/۷	۲۱۳۶۶۹/۳	۱۰۰۱۷۱/۷
درصد تغییرات الگوی ۲ به الگوی ۱	-۱/۷۴	-۴	-۰/۴۱
درصد تغییرات الگوی ۳ به الگوی ۱	-۳/۹	-۴	-۱۴/۸
درصد تغییرات الگوی ۳ به الگوی ۲	-۲/۲۴	۰/۰	-۱۴/۵

بر اساس نتایج این جدول، چنانچه انتخاب ترکیب ساختار اقتصادی کشور تنها مبتنی بر حداکثرسازی ارزش تولید باشد (شرایط پایه)، کل اقتصاد با منابع موجود قادر است سالانه به میزان ۲۵۰۳/۹ هزار میلیارد ریال ارزش تولید ایجاد نماید. نتیجه این میزان تولید، مصرف سالانه ۱۱۷۵۷۸/۷ میلیون مترمکعب آب و تخلیه ۲۲۲۵۷۵/۳ هزارتن گاز دی‌اکسید کربن به طور سالانه در جو خواهد بود. چنانچه ساختار اقتصادی دوم مورد تعقیب قرار گیرد، در این صورت اگر چه ۱/۷۴ درصد از ارزش تولید در مقایسه با الگوی اول از دست می‌رود اما میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای آن به میزان ۴ درصد کمتر بوده و در عین حال میزان مصرف آب آن نیز ۰/۴ درصد کمتر می‌باشد. در نهایت نتایج این جدول برای ساختار اقتصادی سوم نشان می‌دهد که با انتخاب ساختار اقتصادی بهینه منتج از نتایج الگو تحت اهداف سه‌گانه

اقتصادی و اکولوژیکی، اگر چه مقدار ارزش تولید اندکی در مقایسه با الگوی دو هدفه به میزان بیشتری (۲/۲۴ درصد) کاهش می‌یابد اما در سطح یکسانی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای قادر است میزان مصرف آب فعالیت‌های اقتصادی را به میزان قابل توجهی (۱۴/۵ درصد) کاهش دهد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد دستیابی به یک هدف خاص به طور طبیعی نیازمند بده-بستان با سایر اهداف است. برای مثال کاهش ممکن است هزینه تعقیب سیاست کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای یا کاهش مصرف آب از دست دادن بخشی از ارزش تولید باشد. بر این اساس سیاستگذار باید ترکیبی از اهداف مختلف و پیامدهای ناشی از آن دست به انتخاب بزند.



1. Bekchanov, M., Bhaduri, Anik., Lenzen, M., and Lamers, J.P.A.(2012) .The role of virtual water for sustainable economic restructuring: evidence from Uzbekistan, Central Asia. ZEF-Discussion Papers on Development Policy No. 167. Bonn.
2. Brink, L., and B.A. McCarl. (1977) "Input-Output Analysis, Linear Programming and the Output Multiplier." Canadian Journal of Agricultural Economics, 25(3):62-67.
3. Ekins P (2000) Economic growth and environmental sustainability: the prospects for green growth. Routledge, Landon/New York.
4. Fadali, E., T.R. Harris and J. Alevy. (2007) "Analysis of Impacts of Public Land Grazing on the Elko County Economy and Mountain City Management Area," UCED 2006/07-09, University Center for Economic Development, Department of Resource Economics, University of Nevada, Reno.
5. Feng, K., Chapagain, A., Suh, S., Pfister, S., Hubacek, K (2011). Comparison of bottom- up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations. Econ. Syst. Res23,371–385.
6. Jaan Lee, Y. (2015). Land, carbon and water footprints in Taiwan. Environmental Impact Assessment Review 54: 1–8.
7. McCarl, B.A., and T.H. Spreen. (2006) Applied Mathematical Programming Using Algebraic System. Department of Agricultural Economics, Texas A&M University, College Station, TX.
8. Okadera, T., Geng, Y., Fujita, T., Dong, H., Liu, Z., Yoshida, N., Kanazawa, T. 2015. Evaluating the water footprint of the energy supply of Liaoning Province, China: A regional input–output analysis approach. Energy Policy 78: 148–157.
9. Zhao, X., Chen, B., Yang, Z.F., 2009. National water footprint in an input-output framework: a case study of China 2002. Ecological Modelling 220 (2), 245e253.
10. Zhu, E., Kim, M. K., Harris, T. R. (2009). Input-Output Analysis, Linear Programming and Modified Multipliers. Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Atlanta, Georgia, January 31-February 3, 2009