اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۳۰، شمارهٔ ۱۱۷، بهار ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/AEAD.2022.353102.1294

مقاله پژوهشی

بهینه‌یابی واردات و تولید گوشت قرمز ایران با تأکید بر پایداری منابع آب

فاطمه فتحی[۱]، آذر شیخ‌زین‌الدین[۲]، زکریا فرج‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۵

چکیده

برای تأمین پروتیئن حیوانی خانوارهای ایران، گوشت قرمز از اهمیت بالایی برخوردار است. اما عرضه این محصول در سال‌های گذشته از چالش‌های عمده‌ای از جمله نوسان‌های ارزی، قاچاق دام به کشورهای همسایه و واردات گوشت منجمد با ارز یارانه‌ای تأثیر پذیرفته است. افزون بر این، همواره در کشورمان، خودکفایی در تولید این محصول مورد تأکید قرار گرفته است، که البته با توجه به قرار گرفتن ایران در مرحله تنش آبی بر اساس شاخص «فالکن مارک»، منجر به تشدید این بحران خواهد شد. از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، با بررسی سناریوهای مختلف تولید داخلی و واردات گوشت قرمز،

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- نویسندهٔ مسئول و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (azeinoddin@shirazu.ac.ir).

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

به‌طور هم‌زمان، به دو هدف صرفه‌جویی در هزینه‌های تأمین و میزان مصرف آب پرداخته شد. بدین منظور، از برنامه‌ریزی چندهدفه با اهداف حداقل‌سازی هزینه تأمین نیاز داخلی و میزان رد پای آب در تولید داخلی و داده‌های بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. سناریوهای منتخب شامل ترکیبی از اهداف یادشده بودند که وزن‌های مختلف به آنها تعلق گرفت. نتایج نشان داد که تأمین سی تا چهل درصد از نیاز داخل از طریق تولید داخلی بر اساس وزن‌های اختصاص‌یافته به اهداف تعیین‌شده توجیه‌پذیر است؛ و باید باقی‌مانده نیاز کشور از سایر کشورها تأمین شود. همچنین، یافته‌ها نشان داد که ترکیب یادشده برای تولید داخل و واردات قادر است هزینه‌های تأمین نیاز داخل و رد پای آب را به‌طور محسوس کاهش دهد، به‌گونه‌ای که افزون بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به‌طور متوسط، از میزان مصرف آب ۶۳ درصد و از هزینه‌های تأمین نیاز داخلی ۴۲ درصد کاسته شود. در پایان، واردات گوشت گوسفند از استرالیا و یا گوشت گاو با استخوان از برزیل پیشنهاد شد.

کلیدواژه‌ها: *واردات، رد پای آب، گوشت قرمز، برنامه‌ریزی چندهدفه، ایران.*

طبقه‌بندی JEL: Q_{56}, Q_{17}, C_{60}

مقدمه

ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. متوسط بارندگی بلندمدت کشور حدود ۲۲۸ میلی‌متر در سال است که تقریباً یک‌سوم متوسط بارندگی جهانی است و افزون بر این، میزان تبخیر در کشور سه برابر متوسط دنیاست. منابع آب تجدیدپذیر کل ایران حدود ۱۳۷ میلیارد متر مکعب و سرانه آب به ازای هر فرد در سال ۱۶۸۸ مترمکعب است. از کل منابع آب تجدیدشونده کشور، حدود ۹۳ درصد به بخش کشاورزی، شش درصد به بخش خانگی و بقیه به بخش صنعت و نیازهای متفرقه دیگر اختصاص داشته است (FAOSTAT, 2017). خشک‌سالی‌های مکرر توأم با برداشت بیش از حد آب‌های سطحی و زیرزمینی وضعیت آب کشور را به سطح بحرانی رسانده و وجود محدودیت شدید برای تأمین آب مورد نیاز تولید محصولات کشاورزی موجب شده است تا همواره بخش مهمی از نیازهای داخل از راه واردات

تأمین شود. برای نمونه، در سال ۲۰۱۹، واردات محصولات کشاورزی بیش از ۱۱/۶ میلیارد دلار بود که در اقتصاد ایران، این محصولات از مهم‌ترین اقلام وارداتی محسوب می‌شوند؛ این در حالی است که صادرات محصولات کشاورزی ایران کمتر از چهار میلیارد دلار بود (Faostat, 2019). انواع غلات و گوشت در میان اقلام عمده وارداتی محصولات کشاورزی قرار دارند (Farajzadeh and Esmaeili, 2017). تأمین بخشی از نیاز داخل، افزون بر اینکه هم‌راستا با تجارت آزاد است که موجب افزایش رفاه می‌شود، از نگاه صرفه‌جویی در مصارف منابع آب محدود نیز برای ایران بسیار حائز اهمیت است. تأمین نیاز داخل از راه واردات که منتهی به کاهش مصرف منابع آب نیز می‌شود، در قالب مفهوم تجارت آب مجازی قابل بیان است. مفهوم «آب مجازی» اولین بار توسط تونی آلن در سال ۱۹۹۱ مطرح شد (Allan, 1998)، بدین گونه که آب مجازی عبارت است از میزان آبی که هم به‌صورت نهان و هم آشکارا در طول مدت تولید یک کالای معین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مفهوم، ادبیات جدیدی را در تجارت محصولات مختلف در جهان به‌وجود آورده است. تجارت جهانی محصولات، جریانی از آب مجازی را در سطح بین‌المللی به وجود می‌آورد که به اصطلاح تجارت آب مجازی نامیده می‌شود (Zimmer and Renault, 2003). هنگامی که تجارت جهانی کالاها انجام می‌شود، در واقع، آب مجازی نهفته در آنها نیز خرید و فروش می‌شود که بر اثر آن، یک جریان مجازی آب بین کشورهای مختلف پدید می‌آید. بنابراین، از آنجا که کشور ایران از نظر آب در وضعیت بحرانی قرار دارد، توجه به جریان مجازی آب از اهمیت ویژه برخوردار است. مفهوم مرتبط دیگر در این خصوص «رد پای آب» است. رد پای آب حجم کل آب سالم مورد نیاز برای تولید کالاها و خدماتی را که توسط بشر مصرف می‌شود، اندازه می‌گیرد (Hoekstra, 2009).

در میان محصولات مختلف کشاورزی، متوسط جهانی رد پای آب گوشت گاو و گوساله، گوسفند، بز و مرغ، به‌ترتیب، برابر با ۱۵۴۰۰، ۱۰۴۰۰، ۵۵۰۰ و ۴۳۰۰ متر مکعب به ازای هر تن محصول است که آب بیشتری نسبت به محصولات گیاهی مصرف می‌کنند (متوسط جهانی رد پای آب گندم، برنج و ذرت، به‌ترتیب، ۱۸۲۷، ۱۶۷۳ و ۱۲۲۲ مترمکعب به

ازای هر تن محصول)؛ و دلیل آن میزان تغذیه، شرب و خدمات آبی مورد نیاز حیوانات است (Mekonnen and Gerbens-Leenes, 2020). بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، به‌جز گوشت گوسفند، در دو مورد دیگر رد پای آب حدود دو برابر متوسط جهانی است. عدم توجه سیاست‌گذاران به میزان آب مصرفی در محصولات آب‌بر مانند محصولات گوشتی و لبنی سبب افزایش تولید این‌گونه محصولات در گذر زمان شده است. این محصولات نه‌تنها در فرآیند تولید بلکه در مصرف نهایی نیز رد پای آب بالایی دارند. مصرف محصولات دامی بیش از یک‌چهارم رد پای آب در زندگی انسان‌ها را شامل می‌شود (Hoekstra and Mekonnen, 2016). اما از سوی دیگر، گوشت یکی از اقلام مهم منابع پروتئین حیوانی در سبد خانوار محسوب می‌شود و بر اساس برنامه تدوین‌شده، میزان کل پروتئین مصرفی در سبد غذایی روزانه طی سال‌های برنامه ششم توسعه (۱۴۰۰-۱۳۹۶) و تا افق ۱۴۰۴، ۹۸ گرم تعیین شده است که ۳۵/۵ درصد آن باید از منابع حیوانی تأمین شود. همچنین، در این برنامه، برای تأمین پروتئین مورد نیاز، تأکید بر تولید داخل بوده است، اما تولید داخلی کفاف میزان نیاز داخلی را نمی‌دهد. در حال حاضر، گوشت قرمز مورد نیاز کشور سالانه حدود ۹۶۰ هزار تن است (MAJ, 2019). در سال‌های گذشته، بین ۱۴۰ تا ۱۶۰ هزار تن گوشت مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین شده است (گمرک ایران، ۱۳۹۸)، که کمتر از هفده درصد کل نیاز داخلی را شامل می‌شود. البته ارقام واردات دارای نوسان بوده است. گوشت وارداتی گوسفندی و گوساله به‌صورت لاشه، منجمد و دام زنده و وکیوم‌شده وارد می‌شد و به علت اختلاف قیمت گوشت قرمز تولید داخل با گوشت وارداتی، اقشار غنی و فقیر جامعه به سمت خرید گوشت وارداتی سوق پیدا کرده‌اند. باتوجه به شرایط ایران از نظر محدودیت منابع آبی و اهمیت گوشت قرمز در سبد خانوارها، واردات گوشت از اقلام عمده در سبد وارداتی ایران محسوب می‌شود، به‌ویژه اینکه رد پای تولید گوشت قرمز در ایران فراتر از مقادیر متناظر جهانی است. بر اساس گزارش مکونن و هوئکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2010)، متوسط جهانی رد پای آب در تولید گوشت گوسفند و گوشت گوساله با استخوان و بدون استخوان، به‌ترتیب، ۸/۳۱، ۱۰/۹۴ و ۱۵/۴۲ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم گوشت است، در حالی که ارقام متناظر برای

ایران، به‌ترتیب، ۷/۸۵، ۲۰/۳۲ و ۲۸/۶۳ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم گزارش شده است. بنابراین، چنان‌که مشاهده می‌شود، به‌جز گوشت گوسفند، در دو مورد دیگر، رد پای آب حدود دو برابر متوسط جهانی است. بدین ترتیب، با احتساب رد پای آب به ازای هر کیلوگرم، کل آب مصرفی برای تولید ۸۳۵/۲ هزار تن گوشت قرمز در ایران (چهل درصد گوشت گوسفند و شصت درصد گوشت گاو و گوساله) معادل ۱۱/۵۹ میلیارد مترمکعب در سال است، که حدود ۸/۵۸ درصد از کل منابع آب تجدیدشونده را به خود اختصاص می‌دهد. از این‌رو، تأمین نیاز داخلی گوشت از طریق تولید داخلی به‌ویژه با لحاظ افزایش درآمد و جمعیت امکان‌پذیر نبوده و نیاز به واردات گوشت است.

تولید گوشت قرمز، افزون بر آنکه به بحران آب دامن می‌زند، پنج برابر بیش از انواع دیگر گوشت، باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. زیربخش دام و طیور همیشه از نظر تولید گازهای آلاینده به‌ویژه گاز متان مورد توجه بوده است. این زیربخش، در بین زیربخش‌های کشاورزی، بیشترین حجم انتشار گاز متان را موجب می‌شود، به‌گونه‌ای که بیش از بیست درصد از کل متان منتشرشده در فرآیند تولید مربوط به همین زیربخش است (Farajzadeh, 2012). حجم انتشار گاز متان به ۵۴۵ هزار تن در سال رسیده و تغییرات الگوی انتشار این گاز مشابه روند تغییرات تعداد دام است. همچنین، بیشترین سهم انتشار گاز اکسیددی‌نیتروژن در فرآیند تولید مربوط به فعالیت دامی ا و با انتشار بیش از ۲۹ درصد از کل تولید این گاز، بخش تولیدات دامی در رتبه اول قرار دارد (Farajzadeh, 2012). میزان انتشار گاز اکسیددی‌نیتروژن از ۱۶/۱ هزار تن در سال ۱۳۴۰ با نرخ رشد ۰/۹ درصد در سال به بیش از ۲۵ هزار تن در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است (FAOSTAT, 2017). البته علی‌رغم این سطح از اهمیت انتشار آلاینده‌ها، این موضوع در مطالعات چندان مورد توجه نبوده و عمده تلاش‌ها محدود به تدوین راهبردهایی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها در سطح مزرعه بوده است.

مطالعات مختلفی به بررسی تجارت آب مجازی پرداخته‌اند؛ از جمله، در مطالعهٔ هوئکسترا (Hoekstra, 2010)، رابطهٔ بین تجارت بین‌المللی و کمبود آب شیرین بررسی شد و

بر اساس نتایج آن، واردات کالاهایی که آب زیادی مصرف می‌کنند، تقاضای آب را کاهش می‌دهد. این موضوع در مناطق کم‌آب نظیر کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا ملموس‌تر است. در مقابل، صادرات کالاهای آب‌بر باعث افزایش تقاضای آب در کشور شده، کمبود آب را افزایش می‌دهد. بنابراین، الگوهای تجاری بر استفاده از آب و کمبود آن تأثیر می‌گذارند. بسیاری از مطالعات به ارزیابی جریان آب مجازی مرتبط با تجارت کشاورزی در سطوح ملی و منطقه‌ای پرداخته‌اند؛ برای نمونه، در منطقه اتحادیه اروپا، می‌توان به مطالعهٔ استن- اُلسن و همکاران (Steen-Olsen et al., 2012) اشاره کرد. مطالعه‌ای مشابه در فرانسه توسط ارسین و همکاران (Ercin et al., 2013) و در هلند توسط ون اوئل و همکاران (Van Oel et al., 2009) انجام شده است. همچنین، در انگلیس، هوئکسترا و مکونن (Hoekstra and Mekonnen, 2016) به ارزیابی الگوی تجارت آب مجازی پرداختند. با این همه، یافته‌های برخی از این مطالعات تنها محدود به گزارش میزان مصرف آب بوده و در آنها تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف آب آبیاری در کشورهای تولیدی ارزیابی نشده است (Lovarelli et al., 2016; Nouri et al., 2019). از معدود مطالعات در این زمینه، پژوهش‌های شرر و همکاران (Scherer et al., 2016) و فریشکنخت و همکاران (Frischknecht et al., 2019) است که تأثیرات ناشی از تجارت آب مجازی را در سطح ملی برای تجارت کشاورزی کشور سوئیس ارزیابی کرده‌اند. شرر و همکاران (Scherer et al., 2016) به بررسی اثرات زیست‌محیطی و انتشار آلاینده‌ها در اثر مصرف غذا در سوئیس پرداختند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، بیشترین استفاده از منابع و نیز میزان انتشار و تأثیرات آن در خارج از مرزهای ملی رخ می‌دهد که نشان‌دهنده میزان برون‌سپاری محیط زیست است که توسط تجارت بین‌المللی تسهیل می‌شود. با این حال، محدودیت‌های سیاسی و اقتصادی و مقاومت توسط مصرف‌کنندگان فردی، ظرفیت بالای تغییرات رژیم‌های غذایی و روابط تجاری را برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مواد غذایی محدود می‌کند.

به‌عنوان پیش‌نیاز چنین تحلیلی، باید توزیع نابرابر منابع آب شیرین در سراسر جهان در نظر گرفته شود (Boulay et al., 2015; Ridoutt and Pfister, 2010; Wichelns, 2017). اما برخی دیگر از مطالعات به ارزیابی پایداری رد پای آب نظام‌های تولید محصولات دامی توجه کرده‌اند. برای نمونه، در سال‌های اخیر، در کشورهایی مانند ایرلند (Murphy et al., 2013)، استرالیا (Ridoutt et al., 2014) و چین (Huang et al., 2014)، این گروه از مطالعات مورد توجه قرار گرفته و البته از میان محصولات دامی نیز به‌ویژه شیر و فراورده‌های لبنی مورد توجه بوده است. بر اساس یافته‌های هوانگ و همکاران (Huang et al., 2014)، می‌توان از طریق واردات محصولات لبنی و یا تأمین آن در مناطقی از کشور با رد پای آب پایین، رد پای آب چرخه زندگی مرتبط با غذاهای فرآوری‌شده بر پایه لبنیات را تا حد زیادی کاهش داد. این نتایج نشان می‌دهد که محصولات لبنی را می‌توان با حداقل توان برای کمک به کمبود آب شیرین تولید کرد. با این حال، نظام‌های تولید لبنیات، هم از نظر الگوی تولید و هم از نظر محیط زیست محلی، متفاوت‌اند. با گسترش گاوداری‌های شیری در چین، باید از توسعه نظام‌های کشاورزی با نیاز به مصرف زیاد آب در مناطق تحت فشار آب جلوگیری شود. برخی مطالعات از این دسته در آلمان (Drastig et al., 2010)، آرژانتین (Manazza and Iglesias, 2012)، نیوزلند (Zonderland-Thomassen et al., 2014)، هند (Amarasinghe et al., 2010) و آفریقای جنوبی (Owusu-Sekyere et al., 2017) مشاهده می‌شود. در مطالعهٔ مکونن و همئکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2012)، رد پای آب محصولات حیوانی نیز بر اساس میانگین جهانی بررسی شده است. بر اساس نتایج این مطالعه، تقریباً یک‌سوم از کل رد پای آب کشاورزی در جهان مربوط به تولید محصولات حیوانی است. رد پای آب هر محصول دامی بزرگ‌تر از رد پای آب محصولات زراعی با ارزش غذایی معادل است. متوسط رد پای آب هر کالری برای گوشت گاو بیست برابر غلات و ریشه‌های نشاسته‌ای است (Mekonnen and Hoekstra, 2012). همچنین، بر پایهٔ محاسبات چاپاگین و هوئکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2003)، صادرات آب مجازی محصولات زراعی طی دوره ۹۹-۱۹۹۵ برابر با ۶۹۵ Bm^3/y و برای

محصولات دامی ۲۴۵ Bm^3/y بوده است. ایالات متحده آمریکا، کانادا، تایلند، آرژانتین و هند صادرکنندگان پیشرو آب مجازی به‌شمار می‌روند، در حالی که ژاپن، هلند، کره جنوبی، چین و اندونزی بزرگ‌ترین واردکنندگان آن هستند.

تهیه پایدار گوشت قرمز از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی نیاز به بهینه‌سازی ساختار و عملکرد زنجیره تأمین (مبدأ مواد اولیه، واردات، نیاز آبی) دارد (Gold and Seuring, 2011). این مسئله در مورد ایران دوچندان اهمیت دارد، زیرا از یک سو، منابع آبی محدودی برای تولید وجود دارد و از سوی دیگر، در الگوی مصرف خانوارهای ایران، گوشت از اهمیت بالایی برخوردار است و انتظار می‌رود به‌موازات افزایش سطح توسعه‌یافتگی و افزایش درآمد، تقاضا برای گوشت فزونی یابد. تأمین بخشی از نیاز داخلی ایران از طریق واردات متضمن ایجاد تعادل میان دو هدف یادشده است. یک هدف، کاهش استفاده از منابع آبی محدود است که به‌موجب آن، افزایش واردات می‌تواند مطلوب تلقی شود؛ اما از سوی دیگر، واردات مستلزم خروج منابع ارزی محدود است که خود مانعی جدی تلقی می‌شود. با توجه به رابطه تبادلی یادشده میان دو هدف رقیب، هدف از مطالعهٔ حاضر بررسی مبادله بین هزینه اقتصادی واردات و رد پای آب گوشت قرمز به‌منظور تعیین سطح بهینه واردات برای تأمین پایدار نیاز داخلی است. بدین منظور، تجزیه‌وتحلیل با استفاده از مقادیر رد پای آب ناشی از تولید گوشت قرمز و ترکیب آن با هزینه‌های واردات این محصول بر اساس شرکای تجاری فعلی صورت می‌گیرد. انتخاب رد پای آب به‌دلیل چندبعدی بودن این شاخص است که انواع گوناگون حجم آب (آب باران تبخیرشده، آب‌های سطحی یا زیرزمینی، آب آلوده) را در محاسبات خود شامل می‌شود و برای ارزیابی فشار بر منابع آب مفید است. همان‌گونه که در مرور ادبیات نیز دیده شد، مطالعه‌ای در داخل با ابعاد و ویژگی‌های مشابه مطالعه حاضر (در نظر گرفتن هم‌زمان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی) مشاهده نمی‌شود؛ تنها در برخی از مطالعات از جمله تهامی‌پور زرندی و همکاران (Tahamipour Zarandi et al., 2017)، به تحلیل وضعیت آب مجازی در تجارت محصولات صنعتی با شرکای مختلف تجاری ایران پرداخته شده است.

مطالعه حاضر در پی پاسخ‌گویی به حد بهینه واردات گوشت به ایران از منظر اقتصادی (هزینه تأمین نیاز داخلی) و زیست‌محیطی (رد پای آب) است. از این‌رو، یافته‌های مطالعهٔ حاضر می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاران در راستای پیگیری توأمان اهداف زیست‌محیطی و امنیت غذایی مساعدت کند. برای دستیابی به هدف مطالعه، از یک الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده، که اهداف مورد نظر شامل کاهش رد پای آب و کاهش هزینه واردات است.

روش تحقیق

همان‌گونه که گفته شد، اهداف مطالعه شامل کاهش رد پای آب و کاهش هزینه واردات است و برای دستیابی به هدف حداقل‌سازی هزینه تأمین گوشت از طریق تولید داخلی و واردات، از برنامه‌ریزی چندهدفه بهره گرفته شد. برنامه‌ریزی چندهدفه، به‌طور هم‌زمانریال چندین هدف رقیب را با توجه به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها، بهینه می‌کند (Barakat et al., 2020). معمولاً در این روش، یک جواب بهینه به‌دست نمی‌آید، بلکه مجموعه‌ای از جواب‌ها به‌دست می‌آید که این دسته جواب‌ها دستیابی به هر کدام از اهداف را با توجه به وزن و اهمیتی که بر هر هدف داده می‌شود، فراهم می‌سازند. برای انتخاب یک جواب از مجموعه جواب‌های به‌دست‌آمده از حل مدل بر اساس وزن هر کدام از اهداف، از تحلیل خوشه‌ای کمک گرفته شد. از مزایای روش خوشه‌بندی این است که در این روش، خوشه‌بندی بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و نه فقط برخی از آنها انجام می‌شود (Caruso et al., 2021). همچنین، در شرایطی که از تعداد گروه‌ها یا خوشه‌ها اطلاع نداریم، این روش قابل استفاده و مطلوب است (Pendharkar, 2021). افزون بر این، نیازی به نرمال کردن یا تغییر مقیاس داده‌ها نیست (Pendharkar, 2021) و این روش حداکثر همگنی درون‌گروهی و حداکثر ناهمگنی بین‌گروهی را ایجاد می‌کند (del Moral et al., 2021).

مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای دستیابی به هدف حداقل‌سازی هزینه تأمین گوشت داخلی و پایداری محیط زیست از طریق حداقل‌سازی رد پای آب را می‌توان به‌صورت رابطه

(۱) بیان کرد. لازم به ذکر است که مدل چندهدفه در زمینه تجارت (رویکرد اقتصادی-زیست‌محیطی) در مطالعات خارجی و داخلی وجود نداشته، اما با ایده گرفتن از مطالعهٔ میگلیئتتا و همکاران (Miglietta et al., 2018) که تک‌هدفه بوده، مدل بومی‌سازی شده است.

$$\min \qquad Z_1(x) = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{56} WF_{ij}\ x_{ij} \tag{۱}$$

$$\min \qquad Z_2(x) = \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{56} TC_{ij}\ x_{ij} \tag{۲}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{56}(x_{ij}) \le POP \times Pr \quad \forall i = 1,2,3 \tag{۳}$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{iIran} \ge POP \times Pr \times \gamma \quad \forall i = 1,2,3 \tag{۴}$$

دو هدف حداقل‌سازی شامل حداقل کردن رد پای آب برای تأمین نیاز داخلی گوشت از کشورهای مختلف و حداقل کردن هزینه تأمین گوشت در نظر گرفته شد. x متغیر تصمیم است که مقدار تأمین انواع گوشت (i) شامل گوشت وارداتی و گوشت تولید داخلی (گوشت گوسفند، گوشت گاو و گوساله) در نظر گرفته شده است. واردات گوشت گاو و گوساله خود شامل واردات دو گوشت گاو و گوساله با استخوان و بدون استخوان است که از کشورهای طرف تجاری ایران یعنی، کشورهای j (شامل ۵۶ کشور) تأمین می‌شود. این کشورها در فهرست کشورهای صادرکننده گوشت به ایران طی مبادلات تجاری سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بودند. رابطه (۱) رد پای آب وارداتی حاصل از گوشت i از کشورهای j و رد پای آب تولید داخلی گوشت i در ایران (مترمکعب بر کیلوگرم) است. رابطه (۲) شامل هر دو هزینه واقعی برای هر کیلوگرم واردات گوشت i از کشورهای j و هزینه تولید داخلی یا تأمین از طریق

داخل است. در رابطه (۳)، میزان نیاز داخلی به‌عنوان محدودیت در نظر گرفته شد. مقدار مورد نیاز برای تأمین گوشت داخلی بر حسب میزان پروتئین حیوانی (Pr) مورد نیاز هر فرد در جمعیت ایران (POP) محاسبه شد. در رابطه (۴)، سناریوهای مختلف بر اساس سهم تولیدی ایران از نیاز داخلی در نظر گرفته شد که از ضریب صد درصد به معنی خودکفایی تا ضریب صفر به معنی واردات کامل در نظر گرفته شده است. پارامتر مهم دیگر در مطالعهٔ حاضر وزن اختصاص‌یافته به هر کدام از اهداف یادشده است. بدین منظور، ترکیب‌های گوناگون وزن‌های متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های هر سناریو شامل ترکیب‌های مختلفی از واردات و تولید داخل است. میزان سناریوها برای تعیین سهم تولید داخلی با پارامتر در این رابطه مشخص شد. در جدول ۱، متغیرها و پارامترهای تحقیق معرفی شده‌اند.

جدول ۱- متغیرها و پارامترهای مدل تحقیق

متغیر	توصیف متغیر	مأخذ	پارامتر	توصیف پارامتر	مأخذ
$Z_1(x)$	مقدار تابع هدف اول: مقدار حداقل رد پای آب برای تأمین نیاز داخلی گوشت	خروجی مدل	WF_{ij}	رد پای آب وارداتی حاصل از گوشت i از کشورهای j بر اساس مترمکعب بر کیلوگرم	Mekonnen and Hoekstra, 2010
$Z_2(x)$	مقدار تابع هدف دوم: مقدار حداقل هزینه تأمین گوشت	خروجی مدل	TC_{ij}	هزینه واقعی برای هر کیلوگرم واردات گوشت i از کشورهای j	FAO, 2020
x_{ij}	متغیر تصمیم مقدار واردات انواع گوشت i از کشورهای j	خروجی مدل	POP	جمعیت ایران	مرکز آمار ایران
x_{iIran}	تأمین انواع گوشت i از طریق تولید در ایران	خروجی مدل	Pr	میزان پروتئین حیوانی مورد نیاز هر فرد	مرکز آمار ایران
i	گوشت گوسفند، گوشت گاو با استخوان، گوشت گاو بدون استخوان	-	γ	پارامتر تعیین سهم تولید داخلی	سناریوسازی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

برای حل مدل، هر دو هدف نرمال‌سازی شد و برای تعیین فاصله از حد بهینه، روابط (۱) و (۲) به‌صورت رابطه (۵) بازنویسی شد. در این رابطه، TC_{min} و TC_{max}، به‌ترتیب، مقدار بیشینه و کمینه تابع هدف هزینه وارداتی و(WF_{min}) کمترین و (WF_{max}) بیشترین مقدار رد پای وارداتی ناشی از واردات گوشت است؛ همچنین، W_1 و W_2، به‌ترتیب، وزن اختصاص‌یافته به هدف حداقل‌سازی هزینه تأمین نیاز داخلی و وزن حداقل‌سازی میزان رد پای آب است.

$$\text{Optimize min Z(x)} = w_1 \left|\frac{TC_{ij}x_{ij} - TC_{min}}{TC_{max} - TC_{min}}\right| + w_2 \left|\frac{WF_{ij} - WF_{min}}{WF_{max} - WF_{min}}\right| \qquad (۵)$$

همچنین، به هدف اقتصادی (حداقل‌سازی هزینه واردات) و هدف زیست‌محیطی (حداقل‌سازی رد پای آب) وزن‌های متفاوت تعلق گرفت. با توجه به استفاده از ترکیب‌های مختلفی از وزن‌ها، جواب‌های بیشماری برای تصمیم‌گیرنده ایجاد می‌شود. استوئر و همکاران (Steuer et al., 1980) روشی را برای کاهش اندازه دسته نقاط بهینه معرفی کردند؛ این روش در رابطه (۶) نشان داده شده است. در این روش، جواب‌های بهینه‌ای که به اندازه کافی متفاوت نیستند، با پارامتر فاصله حذف می‌شوند.

$$\left[\sum_{k=1}^{K} (\Pi_k \left|Z_k^t - Z_k^h\right|)^p\right]^{1/p} < d \qquad (۶)$$

در رابطه(۶)، k تعداد اهداف، جواب بهینه و جواب‌های دیگر مدل و d پارامتر فاصله است. ارزش نسبی این پارامتر بر اساس اندازه مطلوب خوشه تعیین می‌شود و در این روش، با توجه به دشواری مشخص کردن پارامتر فاصله که معیاری برای فیلترسازی است، از تحلیل خوشه‌ای استفاده می‌شود (Francisco and Ali, 2006). تحلیل خوشه‌ای دسته جواب‌های بهینه پارتو را به خوشه‌های تقریباً همگن تقسیم‌بندی می‌کند. استفاده از این روش برای کاهش تعداد جواب‌های بهینه در تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کار گرفته می‌شود. در تحلیل خوشه‌ای، ماتریس توان دوم فاصله هندسی برای هر جفت جواب بهینه برای هر متغیر در نظر گرفته می‌شود. در این الگوریتم، ابتدا هر جواب به‌عنوان خوشه‌ای جدا در نظر گرفته می‌شود. خوشه‌های ایجادشده به

شکل مرحله‌ای ادغام می‌شوند. در هر مرحله، مجموع مربع انحرافات از میانگین گروه برای هر معیار به‌عنوان اساس انتخاب به‌کار گرفته می‌شود. مشاهدات از یک شاخه به شاخه دیگر انتقال داده می‌شوند که در هر خوشه، مربع انحرافات از میانگین خوشه حداقل‌سازی می‌شود (Francisco and Ali, 2006).

از مهم‌ترین داده‌های مورد استفاده در مطالعهٔ حاضر هزینه واردات گوشت قرمز طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ از شرکای تجاری ایران است که از پایگاه اطلاعاتی فائو جمع‌آوری شد. برای تعیین رد پای آب برای گوشت در هر کشور از مقدار رد پای محاسباتی توسط مکونن و هوئکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2010)، که به‌طور جامع به محاسبه رد پای آب محصولات مختلف در بین کشورهای جهان پرداخته، استفاده شده است. مقادیر تولید داخلی نیز از پایگاه اطلاعاتی فائو استخراج شده و همچنین، به‌منظور محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای منتخب، داده‌های ضرایب انتشار از مطالعهٔ فرج‌زاده (Farajzadeh, 2012) اخذ شده است. آمارهای توصیفی متغیرهای تحقیق در جدول ۲ آمده است. طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، بیشترین میزان واردات گوشت گوسفند برابر با ۳۷۱۸۵ تن و مربوط به سال ۲۰۱۸ است؛ همچنین، حداقل و حداکثر میزان واردات گوشت گاو و گوساله، به‌ترتیب، برابر با ۶۴۳۶ و ۱۸۷۹۴۲ تن بوده، که مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ است. میزان واردات گوشت گاو و گوساله در سال ۲۰۱۸ به ۱۸۴۷۵۸ تن رسیده و طی همین دوره، کمترین و بیشترین قیمت واردات گوشت گوسفند، به‌ترتیب، مربوط به کشورهای عمان و پاکستان است. همچنین، در مورد گوشت گاو و گوساله، حداقل قیمت وارداتی ۱/۵۲ دلار به ازای هر کیلوگرم از کشور لهستان و حداکثر قیمت وارداتی ۶/۰۴ دلار به ازای هر کیلوگرم از کشور بلاروس است.

در مورد رد پای آب گوشت گوسفند در بین شرکای تجاری ایران، حداقل رد پای آب برابر با ۳/۴۳ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم و مربوط به کشور آلمان و حداکثر رد پای آب مربوط به کشور مغولستان و برابر با ۲۵/۸۳ مترمکعب به ازای هر کیلوگرم است. رد پای آب تولید گوشت گوسفند در ایران برابر با ۷/۸۵ کیلوگرم به ازای هر تن است. همچنین، حداقل و حداکثر رد پای آب برای گوشت گاو و گوساله در بین شرکای تجاری، به‌ترتیب، برابر با ۵/۷۹

مترمکعب به ازای هر کیلوگرم (آرژانتین) و **۳۵/۶۵** مترمکعب به ازای هر کیلوگرم (لبنان) است. در ایران، رد پای آب برای تولید هر کیلوگرم گوشت گاو و گوساله **۲۸/۶۳** مترمکعب است. با مقایسه مقدار رد پای آب تولید گوشت قرمز در ایران و در بین شرکای تجاری، وجود تفاوت معنی‌دار مشاهده می‌شود که در راستای پایداری، لزوم توجه بدین مسئله آشکار می‌شود.

جدول ۲- آمارهای توصیفی متغیرهای تحقیق و شرکای تجاری

نام محصول	مقدار واردات			قیمت واردات هر واحد			رد پای آب*		
	تن			دلار بر کیلوگرم			مترمکعب بر کیلوگرم		
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
گوشت گوسفند	۰	۳۷۱۸۵	۶۲۴۰/۴۵	۱/۷۸	۸/۵۳	۵/۷۱	۳/۴۳	۲۵/۸۳	۸/۸۶
شرکای تجاری[1] در واردات گوشت گوسفند: افغانستان، ارمنستان، استرالیا، آذربایجان، برزیل، چین، گرجستان، آلمان، هند، قزاقستان، مغولستان، نیوزلند، عمان، پاکستان، پرتغال، روسیه، ترکیه و امارات متحده عربی									
گوشت گوساله با استخوان و بدون استخوان	۶۴۳۶	۱۸۷۹۴۲	۷۸۳۶۰/۶	۱/۵۲	۶/۰۴	۳/۷۳	۵/۷۹	۳۵/۶۵	۱۵/۱۳
شرکای تجاری در واردات گوشت گوساله: آرژانتین، استرالیا، بلاروس، بلژیک، برزیل، کانادا، چین، دانمارک، فرانسه، آلمان، هند، ایرلند، لبنان، هلند، عمان، پاکستان، پاراگوئه، لهستان، پرتغال، مولداوی، روسیه، ساموآ، ترکیه، اوکراین، امارات متحده عربی، بریتانیا و ایرلند شمالی									

* داده‌های رد پای آب برای شرکای تجاری ایران برگرفته از مطالعهٔ مکونن و هوئکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2010) است.

مأخذ: یافته‌های پژوهش

۱- در طراحی مدل، شرکای تجاری بر اساس سهم واردات ایران از کشورهای مختلف تعیین شده‌اند. به دیگر سخن، کشوری که صادرکننده گوشت است، اما در هیچ دوره زمانی با ایران تجارت نداشته، در مدل لحاظ نشده است. از سوی دیگر، در بازار جهانی و در مقابل صادرکنندگان، ایران به‌عنوان واردکننده یک کشور کوچک محسوب می شود و از این‌رو، محدودیت ظرفیت وارداتی از کشورها موجب نگرانی نخواهد بود.

نتایج و بحث

بعد از حل مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، نتایج در سه سطح اهمیت بیشتر (وزن بالاتر) به جنبه اقتصادی، اهمیت بیشتر (وزن بالاتر) به جنبه زیست‌محیطی و اهمیت (وزن) یکسان به هر دو جنبه ارزیابی شد؛ به دیگر سخن، اهمیت بیشتر به هدف اقتصادی به مفهوم اختصاص وزن‌های بالاتر از پنجاه درصد بدین هدف است. در ادامه، برای انتخاب یک جواب از مجموعه جواب‌های به‌دست‌آمده از حل مدل بر اساس وزن هر کدام از اهداف، از تحلیل خوشه‌ای کمک گرفته شد.

تغییر در میزان تولید داخلی گوشت قرمز و واردات از کشورهای مختلف دنیا منجر به تغییر در هزینه‌های تأمین نیاز داخلی و همچنین، تغییر در میزان آب مصرفی (رد پای آب) خواهد شد. نتایج حاصل از اعمال این سناریوها در جدول ۳ آمده است. ستون اول این جدول سهم تولید داخلی در تأمین تقاضای داخلی را نشان می‌دهد که سهم آن از تولید نود درصد تقاضای داخلی تا صفر درصد یعنی، تأمین کامل از طریق واردات (عدم تولید داخلی) متغیر است. سایر سناریوهای اعمال‌شده حذف شد اما نتایج مرتبط با آب وارداتی و هزینه تأمین نیاز داخلی گوشت در نمودارهای ۱ تا ۳ نشان داده شد. با حداقل‌سازی رد پای آب و هزینه‌های تأمین نیاز داخلی، ایران در شرایط تولید نود درصدی تقاضای داخلی، ۸۹۳/۷۲ هزار تن گوشت گاو بدون استخوان تولید و ۹۹/۳ هزار تن گوشت گوسفندی را از پرتغال وارد می‌کند. این در حالی است که در حالت وزن یکسان به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، یقیهٔ نیاز به گوشت قرمز کشور از طریق واردات گوشت گوسفند از ترکیه تأمین می‌شود. همچنین، در حالت اهمیت بیشتر به جنبه اقتصادی، ده درصد بقیهٔ نیاز داخلی از طریق واردات گوشت گاو بدون استخوان از هند تأمین می‌شود.

با کاهش میزان تولید داخلی و استفاده از فرصت واردات[1]، نتایج نشان می‌دهد که لزوماً یک کشور به‌عنوان شریک تجاری در حالت‌های مختلف (اهمیت بیشتر به جنبه اقتصادی، زیست‌محیطی و اهمیت یکسان) وجود نخواهد داشت و شرکای تجاری تغییر خواهد کرد، که این مسئله به دلیل تفاوت در هزینه‌های تمام‌شده تولید و رد پای آب تولید گوشت قرمز است.

افزون برکاهش مصرف آب و رد پای آب (جدول ۳)، از دیگر پیامدهای زیست‌محیطی کاهش تولید داخل در تأمین نیاز داخلی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است که متناظر با کاهش تولید رو به کاهش خواهد بود.

در خصوص ترکیب کشورهای صادرکننده گوشت به ایران نیز می‌توان گفت که در شرایط بالاتر بودن هدف زیست‌محیطی، واردات از کشورهای با فاصله جغرافیایی دورتر همانند پرتغال و برزیل نیز می‌تواند در سبد وارداتی ایران نقش‌آفرینی کند؛ اما با اهمیت یافتن هزینه واردات، این فاصله زیاد که می‌تواند به‌مثابه افزایش هزینه‌های واردات نیز تعبیر شود، موجب اولویت یافتن کشورهای دارای فاصله نزدیک همانند کشورهای آسیای میانه و عمان خواهد شد. همچنین، ترکیب کشورهای طرف تجاری از تنوع محدودی برخودار است و تنها در مورد واردات گوشت گاو بدون استخوان، تنوع بالاتری مشاهده می‌شود.

۱ - محدودیت منابع آبی و خشکسالی‌های پیاپی اخیر می‌تواند کاهش تولید محصولاتی با رد پای آب بالا مانند گوشت قرمز را به اجبار در درون دایره تصمیم‌سازی سیاست‌گذاران قرار دهد. این در حالی است که میزان مصرف سرانه پروتئین حاصل از فرآورده‌های دامی از متوسط جهانی پایین‌تر است و از این‌رو، راه حل دو تعارض کاهش دسترسی به منابع آب و ضرورت افزایش تأمین پروتئین «واردات» خواهد بود.

جدول ۳- میزان واردات، هزینه واردات و خالص رد پای آب ورودی به کشور بر اساس سناریوهای مختلف مشارکت تولید داخلی در تأمین تقاضای داخل و وزن‌های مختلف برای اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی

سهم ایران از تأمین نیاز داخلی (درصد)	میزان واردات و تولید داخلی							انتشار گازهای گلخانه‌ای (تن)		
	گوشت گوسفند (هزار تن)	گوشت گاو بدون استخوان (هزار تن)	گوشت گاو با استخوان (هزار تن)	خالص رد پای آب (میلیون مترمکعب) (وردات- مصرف داخلی)	میزان آب واردشده به ایران (میلیون مترمکعب)	هزینه تأمین گوشت (میلیون دلار)	N_2O	CH_4	CO_2
اهمیت بیشتر به هدف زیست‌محیطی									
۹۰	پرتغال (۹۹/۳۰)	ایران (۸۹۳/۷۲)	-	-۲۴۷۶۰/۴	۸۲۳/۲۱	۷۶۲۳/۵۰	۵۸۳/۸۵	۳۷۷۲۱۵	۶۵۸۷۰۰۷/۹۹
۵۰		ایران (۴۹۶/۵۱)	عمان (۴۹۶/۵۱)	-۶۷۶۶/۹۳	۷۴۴۶/۱۶	۵۳۸۴/۸۳	۳۲۴/۳۶	۲۰۹۵۶۳	۳۶۵۹۴۴۰/۶۹
۰			عمان (۹۹۳/۰۲)	۱۴۸۹۲/۳۲	۱۴۸۹۲/۳۲	۲۸۲۵/۵۰	۰	۰	۰
اهمیت یکسان به هدف‌های زیست‌محیطی و اقتصادی									
۹۰	ترکیه (۹۹/۳۰)	ایران (۸۹۳/۷۲)	-	-۲۴۷۸۱/۵	۸۰۲/۰۶	۷۱۸۷/۵۲	۵۸۳/۸۵	۳۷۷۲۱۵	۶۵۸۷۰۰۷/۹۹
۵۰		هلند (۴۹۶/۵۱) ایران (۴۹۶/۵۱)		-۱۰۹۷۹/۳	۳۲۳۳/۷۷	۴۵۴۹/۵۲	۳۲۴/۳۶	۲۰۹۵۶۳/۴۵	۳۶۵۹۴۴۰/۶۹
۰		برزیل (۹۹۳/۰۲)		۱۹۳۵۱/۹۷	۱۳۷۳۷/۴۴	۱۷۴۱/۶۲	۵۰	۰	۰
اهمیت بیشتر به هدف اقتصادی									
۹۰	-	ایران (۸۹۳/۷۲) عمان (۹۹/۳۰)	-	-۲۳۹۴۰/۴	۱۴۸۹/۲۳	۷۲۳۲/۳۳	۵۸۳/۸۵	۳۷۷۲۱۵	۶۵۸۷۰۰۷/۹۹
۵۰	قرقیزستان (۴۹۶/۵۱)	ایران (۴۹۶/۵۱)		-۱۱۹۱۷/۷	۶۹۹۱/۸۵	۵۷۴۶/۷۴	۳۲۴/۳۶	۲۰۹۵۶۳	۳۶۵۹۴۴۰/۶۹
۰	ارمنستان (۹۹۳/۰۲)			۶۳۱۴/۶۱۴	۶۳۱۴/۶۱	۴۳۴۸/۹۲	۰	۰	۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

میزان هزینه واردات و رد پای آب در سطوح مختلف تولید داخلی در سه سطح اهمیت بیشتر به جنبه زیست‌محیطی، اهمیت یکسان به هر دو جنبه و اهمیت بیشتر به جنبه اقتصادی، به‌ترتیب، در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ رسم شده است. در یک محور، هزینه و در محور دوم، خالص رد پای آب و میزان آب واردشده ناشی از واردات در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در این نمودارها، می‌توان به تغییرات رد پای آب و هزینه‌های تأمین نیاز داخلی با افزایش سهم ایران از کل نیاز داخلی پی برد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که فاصله دستیابی هم‌زمان به دو هدف (اقتصادی و زیست‌محیطی) در چه سطحی از میزان تولید داخلی رخ خواهد داد.

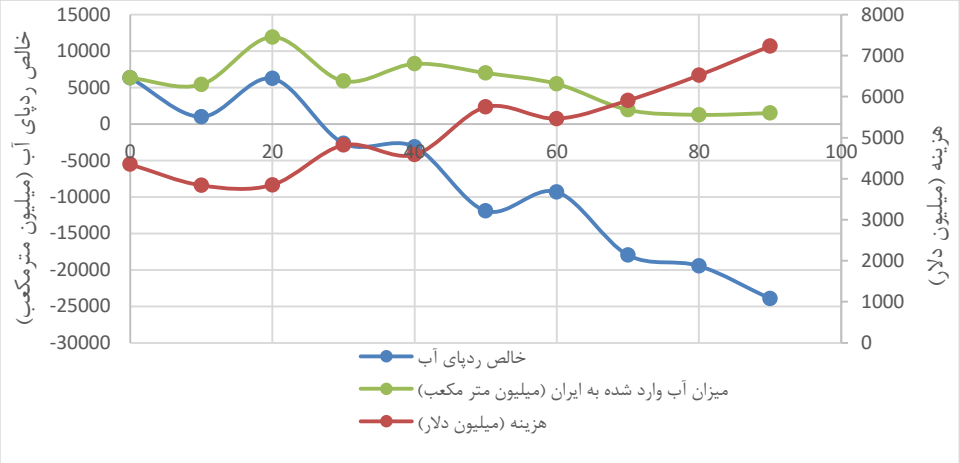
نمودار ۱- هزینه و رد پای آب وارداتی گوشت قرمز در سطوح مختلف تولید داخلی در حالت اهمیت بیشتر هدف زیست‌محیطی

بر اساس نتایج نمودار ۱، مشاهده می‌شود که چنانچه کل نیاز داخلی از طریق واردات تأمین شود، کمترین هزینه را برای تأمین نیاز داخلی (تقریباً ۲۷۰۰ میلیون دلار) خواهیم داشت، که دلیل آن هزینه پائین‌تر تولید گوشت وارداتی نسبت به گوشت تولید داخلی است. در سال

۱۳۹۶، تقریباً ۳۹۰ میلیون دلار گوشت قرمز وارد کشور شده که با توجه به انواع گوشت در نظر گرفته شده در مطالعهٔ حاضر، به واقعیت نزدیک است. با افزایش میزان تولید داخلی، این هزینه افزایش یافته و در سطح تولید نود درصدی ایران از کل نیاز داخلی، بیشترین مقدار را به‌دنبال خواهد داشت. همچنین، خالص رد پای آب که از تفاضل رد پای آب وارداتی و رد پای آب داخلی حاصل می‌شود، با افزایش سهم ایران از کل نیاز داخلی، بر حسب مقدار مطلق، ارقام بالاتری را اختیار خواهد کرد، که به معنی افزایش مصرف آب داخلی است. در سهم نود درصدی ایران، این رقم برابر با ۲۵۰۰۰ میلیون مترمکعب آب است. در مقابل، زمانی که تولید داخلی ایران برابر با صفر باشد، واردات آب معادل ۱۵۰۰۰ میلیون مترمکعب خواهد بود. بنابراین، با توجه به بحران آبی موجود و ادامه این روند، اهمیت واردات گوشت قرمز در مقابل تولید داخلی به‌خوبی آشکار می‌شود. در این نمودار، بر اساس تقابل دو هدف اقتصادی و زیست‌محیطی در سطوح مختلف تولید داخلی، مشخص شد که تأمین حدود سی درصد از نیاز داخلی از طریق تولید داخلی و انجام هفتاد درصد واردات می‌تواند ترکیب مطلوب باشد، که به کاهش رد پای آب به میزان ۶۷ درصد و کاهش هزینه‌های تأمین به میزان ۳۹ درصد می‌انجامد. در این میزان از سطح تولید، دستیابی به هر دو هدف رخ می‌دهد و ۶۹۵/۱۱ هزار تن گوشت گاو با استخوان وارد می‌شود و تنها سی درصد از نیاز داخلی از طریق تولید گوشت گاو تأمین خواهد شد. این در حالی است که در سطح تولید سی درصدی ایران (نسبت به سایر سطوح تولید به‌جز تولید برابر با صفر)، ایران تقریباً بیشترین میزان واردات آب را دارد، که منجر به کاهش رد پای آب در تولید گوشت قرمز به میزان ۶۷ درصد و کاهش هزینه‌های تأمین به میزان ۳۹ درصد می‌شود. با افزایش تولید داخلی در تأمین نیاز داخلی، هزینه تأمین گوشت افزایش می‌یابد، که نشان‌دهنده کارآیی کمتر تولید داخل نسبت به شرکای طرف تجارت (واردات) است. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که نسبت دادن وزن بالاتر به هدف زیست‌محیطی موجب افزایش واردات آب مجازی شده است.

نمودار ۲- هزینه و رد پای آب وارداتی گوشت قرمز در سطوح مختلف تولید داخلی با اهمیت یکسان اهداف زیست‌محیطی و اقتصادی

در نمودار ۲، تقابل دو هدف اقتصادی و زیست‌محیطی و میزان آب وارداتی به ایران در سطوح مختلف تولید داخلی نشان می‌دهد که تأمین ۳۵ درصد از نیاز داخلی در شرایطی که به اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت یکسان داده شود، قابل توجیه است. در این میزان از سطح تولید، دستیابی به هر دو هدف تقریباً یکسان است و واردات از کشور هلند پیشنهاد می‌شود و همچنین، به کاهش رد پای آب در تولید گوشت قرمز به میزان ۶۱ درصد و کاهش هزینه‌های تأمین به میزان ۵۱ درصد خواهد انجامید. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که در مقایسه با سناریوی قبل، میزان مشارکت تولید داخل تنها پنج درصد افزایش یافته است. به‌طور ضمنی، این یافته نشان می‌دهد که سناریوی دارای اولویت بالاتر برای اهداف زیست‌محیطی (نمودار ۱) از نظر اهداف اقتصادی نیز در شرایط مساعدی قرار دارد. در عین حال، تأکید بالا بر واردات در این الگو نشان‌دهنده محدودیت تعیین‌کننده آب در مدل مطالعه است.



نمودار ۳- هزینه و رد پای آب وارداتی گوشت قرمز در سطوح مختلف تولید داخلی با اهمیت بیشتر اقتصادی

در نمودار ۳، در صورت عدم تولید داخلی، هزینه تأمین نیاز داخلی بیش از ۴۵۰۰ میلیون دلار خواهد بود، که این هزینه صرف واردات انواع گوشت قرمز می‌شود. همچنین، در این حالت، تقریباً ۶۰۰۰ میلیون مترمکعب آب وارد کشور می‌شود. با افزایش میزان تولید داخلی، هزینه‌های تأمین تقریباً از یک روند افزایشی برخوردار است. افزون بر این، خالص رد پای آب روند کاهشی داشته، که به معنی افزایش میزان مصرف آبی داخلی به‌منظور تأمین نیاز داخلی است، به‌گونه‌ای که در تولید نود درصدی ایران، خالص رد پای آب معادل ۲۵۰۰۰- میلیون مترمکعب است، که به معنی پیشی گرفتن میزان مصرف آب داخلی نسبت به واردات آب است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در این نمودار، مشاهده می‌شود که تقابل دو هدف اقتصادی و زیست‌محیطی و میزان آب وارداتی به ایران در سطوح مختلف تولید داخلی، در سطح تولید سی تا چهل درصد داخلی از کل نیاز داخلی است که در نتیجهٔ آن، رد پای آب در تولید گوشت قرمز به میزان ۶۱ درصد و هزینه‌های تأمین نیز ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. در این سطح از تولید داخلی، هر دو هدف اقتصادی و زیست‌محیطی تقریباً به یکدیگر نزدیک شده‌اند و بر اساس مدل، واردات گوشت گوسفند از استرالیا و یا گوشت گاو با استخوان از کشور برزیل

توصیه می‌شود. همچنین، در سطح تولید داخلی بیست درصد و تأمین هشتاد درصد واردات، بیشترین میزان واردات آب از کشور عمان به ایران رخ می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مطالعهٔ حاضر با هدف ارزیابی پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی کاهش تولید داخل و افزایش واردات گوشت قرمز مورد نیاز داخل صورت گرفت. بدین منظور، دو هدف شامل حداقل‌سازی هزینه تأمین گوشت داخلی و پایداری محیط زیست از طریق حداقل‌سازی رد پای آب مجازی از محل واردات گوشت قرمز در قالب الگوی چندهدفه لحاظ شد. برای دو هدف یادشده، از وزن‌های مختلف استفاده شد. به‌طور کلی، یافته‌های مطالعه نشان داد که در سطوح وزنی مختلف برای اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی، تأمین سی تا چهل درصد نیاز داخلی از طریق تولید داخلی توجیه‌پذیر است و در کنار کمینه شدن هزینه‌های تأمین واردات، جنبه زیست‌محیطی (میزان آب مصرفی) نیز کاهش خواهد یافت. این یافته مطالعه هم‌راستا با یافته‌های مطالعهٔ فریشکنخت و همکاران (Frischknecht et al., 2019) است. از این‌رو، توصیه می‌شود که حداکثر چهل درصد از نیاز داخلی از طریق تولید داخلی و بقیهٔ نیاز کشور از طریق واردات تأمین شود، زیرا همان‌گونه که نتایج نشان داد، افزایش تولید داخلی نه‌تنها منجر به افزایش مصرف آب شده، بلکه هزینه‌های تأمین نیاز داخلی را نیز افزایش خواهد داد. بدین ترتیب، می‌توان گفت که حرکت در راستای کاهش تولید داخل و تأمین از طریق واردات (که در ادبیات تجارت بین‌الملل، آزادسازی تجاری نیز محسوب می‌شود) می‌تواند مطلوب باشد[۱].

۱- مهم‌ترین متغیر در تحلیل سیاست‌ها تغییرات رفاه است، چراکه هدف از اجرای هر سیاستی افزایش رفاه است. از این‌رو، الگوی بهینه پیشنهادی مطالعه حاضر، بر اساس مهم‌ترین متغیر یعنی، رفاه، قابل توصیه است. در عین حال، باید توجه داشت که الزاماً افزایش واردات گوشت و هم‌زمان کاهش تولید داخلی آن نمی‌تواند به معنی کاهش اشتغال تعبیر شود، زیرا منابع تولیدی آزادشده از بخش تولید گوشت می‌تواند در سایر بخش‌ها استفاده شود. افزایش رفاه مطابق نظریهٔ تجارت آزاد نیز ناشی از تخصیص مجدد منابع و از جمله نیروی کار است. انتظار می‌رود که هم‌زمان با کاهش تولید گوشت در اقتصاد ایران، منابع تولید آزادشده به سایر زیربخش‌های کشاورزی اختصاص یابد. نتایج مطالعه فرج زاده (Farajzadeh, 2012) که با استفاده از تعادل عمومی انجام شده، نشان داده است که حذف تعرفه‌ها در بخش کشاورزی نه‌تنها بر اشتغال اثر منفی ندارد، بلکه موجب افزایش بازده نیروی کار می‌شود.

به‌طور کلی، زیربخش دام جزو بخش‌های محافظت‌شده در مقابل تجارت است و یافته‌ها نشان می‌دهد که با ورود به جریان تجارت آزاد و کاهش موانع تعرفه‌ای و غیرتعرفه‌ای، تولید داخلی این بخش کاهشی خواهد بود (Farajzadeh et al., 2017). اما همان‌گونه که مشاهده شد، این کاهش تولید با پیامدهای مطلوب اقتصادی و زیست‌محیطی قابل ملاحظه همراه است. در این خصوص، به‌منظور حرکت به سوی افزایش واردات، کاهش موانع تجاری توصیه می‌شود.

در حال حاضر، حدود نود درصد مصرف کشور از طریق تولید داخلی تأمین می‌شود (MAJ, 2019) که عمدتاً با هدف خودکفایی در تولید این محصول صورت می‌گیرد. ضرورت استفاده از فرصت تأمین از طریق واردات وقتی بیشتر آشکار می‌شود که به دو عامل افزایش درآمد و افزایش جمعیت نیز اشاره شود. در حال حاضر، متوسط درآمد سرانه در ایران بر حسب دلار برابری قدرت خرید کمتر از نوزده هزار دلار است، در حالی که این رقم برای کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی (OECD) بیش از چهل هزار دلار است (UNDP, 2019). انتظار می‌رود که در فرآیند گذار به توسعه اقتصادی، افزایش درآمد قابل ملاحظه تجربه شود. همچنین، نرخ رشد جمعیت ایران ۱/۲۴ درصد است (SCI, 2015)، در حالی که رقم پیش‌بینی برای دوره ۲۰۳۰–۲۰۱۱ در سطح جهان حدود ۰/۹ درصد است (UN Data, 2020). افزون بر دو عامل یادشده، سطح پایین پروتئین مصرفی گوشت در ایران نیز دورنمای افزایش تقاضا برای گوشت را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که در حال حاضر، سرانه پروتئین مصرفی روزانه حاصل از مصرف گوشت قرمز برای خانوارهای ایران ۱۳/۷۸ گرم است، در حالی که این رقم برای جهان به‌طور متوسط ۱۴/۵ و برای اتحادیه اروپا بیش از ۲۷ گرم در روز است (FAOSTAT, 2018). بدین ترتیب، فشار بر تقاضا از طرف عوامل یادشده مورد انتظار خواهد بود.

نکته دیگری که باید در نظر گرفته شود، این است که آلودگی ناشی از فرآیند تولید گوشت قرمز نیز به نسبت بالاست و به‌طور مشخص، زیربخش دام در انتشار گازهای متان و اکسیددی‌نیتروژن از فرآیند تولید نقش مهمی در کل اقتصاد ایران دارد (Farajzadeh, 2012). اگر میزان زیان یا خسارت زیست‌محیطی گازهای گلخانه‌ای تولیدشده توسط زیربخش دام نیز

منظور شود، در صورت لحاظ کردن حد بالای خسارت برآوردشده توسط بانک جهانی (World Bank, 2004)، منافع حاصل از واردات حتی می‌تواند افزون بر چهل درصد منافع تجاری شود.

از مهم‌ترین تفاوت‌های الگوهای بهینه به‌دست‌آمده نسبت به ترکیب فعلی کشورهای صادرکننده گوشت به ایران تنوع پایین آن است؛ این تفاوت چه‌بسا نشان‌دهندهٔ تمرکز کمتر به‌ویژه روی اهداف زیست‌محیطی باشد. از این‌رو، در این خصوص، به سیاست‌گذاران توصیه می‌شود که در ترکیب کشورهای صادرکننده گوشت به ایران نیز تجدید نظر کنند.

در مطالعهٔ حاضر، گرچه میزان انتشار آلاینده‌ها بیشتر با هدف تبیین پیامدهای زیست‌محیطی تأمین نیاز داخل از طریق واردات صورت گرفت، اما با توجه به ضرورت حرکت در راستای کاهش انتشار آلاینده‌ها در مطالعات آتی، این بعد مطالعه نیز می‌تواند به‌عنوان هدف رقیب دیگر در کنار اهداف تبیین‌شده مورد بررسی قرار گیرد، به‌ویژه آنکه بر اساس توافق پاریس، ایران اعلام کرده که قادر است تا سال ۲۰۳۰، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با سطح انتشار آنها در سال ۲۰۱۰، تا هشت درصد کاهش دهد (UNFCCC, 2015). همچنین، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی، با توجه به سیاست‌های کشورهای مختلف دنیا در زمینه کنترل گازهای گلخانه‌های ناشی از تولید فرآورده‌های دامی (بررسی تولیدکنندگان بزرگ گوشت قرمز در جهان) سناریوهای گوناگون در این زمینه نیز لحاظ شود.

منابع

1. Allan, J.A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground water*, 36(4): 545-547.
2. Amarasinghe, U.A., Malik, R.P.S. and Sharma, B.R. (2010). Overcoming growing water scarcity: Exploring potential improvements in water productivity in India. Natural Resources Forum. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
3. Barakat, S., Ibrahim, H. and Elbaset, A.A. (2020). Multi-objective optimization of grid-connected PV-wind hybrid system considering

reliability, cost, and environmental aspects. *Sustainable Cities and Society, 60*, 102178.
4. Boulay, A.-M., Bare, J., De Camillis, C., Döll, P., Gassert, F., Gerten, D.,.. and Pfister, S. (2015). Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water consumption: outcome of the expert workshops. *The International Journal of Life Cycle Assessment, 20*(5): 577-583.
5. Caruso, G., Gattone, S., Fortuna, F. and Di Battista, T. (2021). Cluster Analysis for mixed data: An application to credit risk evaluation. *Socio-Economic Planning Sciences, 73*, 100850.
6. Chapagain, A. K. and Hoekstra, A. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE.
7. del Moral, L.F.G., Morgado, A. and Esquivel, J.A. (2021). Reflectance spectroscopy in combination with cluster analysis as tools for identifying the provenance of Neolithic flint artefacts. *Journal of Archaeological Science: Report, 37*, 103041.
8. Drastig, K., Prochnow, A., Kraatz, S., Klauss, H. and Plöchl, M. (2010). Water footprint analysis for the assessment of milk production in Brandenburg (Germany). *Advance in Geosciences, 27*: 65-70.
9. Ercin, A.E., Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2013). Sustainability of national consumption from a water resources perspective: the case study for France. *Ecological Economics, 88*: 133-147.
10. FAO, F. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations-Statistic Division (https://www. fao. org/faost at/en/# data)
11. FAO, F. (2017). Retrieved from: http://www.fao.org/faostat/en/#home.
12. FAO, F. (2018). Disponível em: http://www. fao. org/faostat/en/# home.
13. Farajzadeh, Z. and Esmaeili, A. (2017). The welfare effects of rising imported food prices in Iran. *Iraninan journal of economics studies, 5*(2): 189-208.
14. Farajzadeh, Z., Zhu, X. and Bakhshoodeh, M. (2017). Trade reform in Iran for accession to the World Trade Organization: Analysis of welfare and environmental impacts. *Economics Modelling, 63*: 75-85.
15. Farajzadeh, Z. (2012). Environmental and welfare impacts of trade and energy policy reforms in Iran. *Unpublished dissertation. Shiraz University. Shiraz.* (Persian)
16. Francisco, S. R. and Ali, M. (2006). Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming. *Agricultural Systems, 87*(2): 147-168.

17. Frischknecht, R., Pfister, S., Bunsen, J., Haas, A., Känzig, J., Kilga, M.,... Reinhard, J. (2019). Regionalization in LCA: current status in concepts, software and databases—69th LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 13 September, 2018. *The International Journal of:ife Cycle Assessment, 24*(2): 364-369.
18. Gold, S. and Seuring, S. (2011). Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *Journal of Cleaner Production, 19*(1): 32-42.
19. Hoekstra, A. (2010). The relation between international trade and freshwater scarcity.
20. Hoekstra, A. Y. and Mekonnen, M. M. (2016). Imported water risk: the case of the UK. *Environmantal Research Letters, 11*(5): 055002.
21. Hoekstra, A.Y. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics, 68*(7): 1963-1974.
22. Huang, J., Xu, C.C., Ridoutt, B.G., Liu, J.J., Zhang, H.L., Chen, F. and Li, Y. (2014). Water availability footprint of milk and milk products from large-scale dairy production systems in Northeast China. *Journal of Cleaner Production, 79*: 91-97.
23. Lovarelli, D., Bacenetti, J. and Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment, 548*: 236-251.
24. MAJ, (2019). Retrieved from: http://www.maj.ir/Portal/Home/ Default. aspx? CategoryID¼c5c8bb7b-ad9f-43dd-8502-cbb9e37fa2ce. (Persian)
25. Manazza, J. F. and Iglesias, D. H. (2012). Water Footprint in Milk Chains in the Central Subhumid and Semiarid Region of Argentina.
26. Mekonnen, M.M. and Gerbens-Leenes, W. (2020). The water footprint of global food production. *Water, 12*(10): 2696.
27. Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices.
28. Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems, 15*(3): 401-415.
29. Miglietta, P.P., Giove, S. and Toma, P. (2018). An optimization framework for supporting decision making in biodiesel feedstock imports: Water footprint vs. import costs. *Ecological Indicators, 85*: 1231-1238.
30. Murphy, E., Upton, J., Humphries, J., French, P., Holden, N. and Curran, T. (2013). Water footprint methodologies of Irish milk production. *Biosystems Research Review, 18*: 115-119.
31. Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M. and Hoekstra, A.Y. (2019). Water scarcity alleviation through water footprint reduction in

agriculture: the effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of Total Environment, 653*: 241-252.
32. Owusu-Sekyere, E., Jordaan, H. and Chouchane, H. (2017). Evaluation of water footprint and economic water productivities of dairy products of South Africa. *Ecological Indicators, 83*: 32-40.
33. Pendharkar, P.C. (2021). Hybrid radial basis function DEA and its applications to regression, segmentation and cluster analysis problems. *Machine Learning with Applications, 6*: 100092.
34. Ridoutt, B.G., Page, G., Opie, K., Huang, J. and Bellotti, W. (2014). Carbon, water and land use footprints of beef cattle production systems in southern Australia. *Journal of Cleaner Production, 73*, 24-30.
35. Ridoutt, B. G. and Pfister, S. (2010). Reducing humanity's water footprint. In: ACS Publications.
36. Scherer, L. and Pfister, S. (2016). Global biodiversity loss by freshwater consumption and eutrophication from Swiss food consumption. *Environmental Science and Technology, 50*(13): 7019-7028.
37. SCI (2015). Retrieved from: Tehran: Statistical Center of Iran (SCI). Database of publications. Available at http://amar.sci.org.ir.
38. Steen-Olsen, K., Weinzettel, J., Cranston, G., Ercin, A.E. and Hertwich, E.G. (2012). Carbon, land, and water footprint accounts for the European Union: consumption, production, and displacements through international trade. *Environmental Science and Technology, 46*(20): 10883-10891.
39. Steuer, R.E. and Harris, F.W. (1980). Intra-set point generation and filtering in decision and criterion space. *Computers and Operations Research, 7*(1-2), 41-53.
40. Tahamipour Zarandi, M., Dashtban Farooji, S. and Jawaherdehi, S. (2017). Evaluating the trade of Iranian industrial products with different countries from the perspective of virtual water. Economics and Modeling. *Economics and Modeling, 8 (30)*, 143-187. (Persian)
41. UN Data. (2020). Retrieved from: https:// data.un.org/ Data.aspx?q=population+growthandd =SOWCandf=inID%3a78.
42. UNDP, (2019). Human Development Report. (United Nations. New York, NY 10017 USA.
43. UNFCCC, (2015). UNFCCC Country Brief 2014: Iran (Islamic Republic of). http://newsroom.unfccc.int/ unfccc-newsroom/iran-submits-its-climate-action-plan-ahead-of-2015-parisagreement/.
44. Van Oel, P., Mekonnen, M. and Hoekstra, A.Y. (2009). The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics, 69*(1): 82-92.

45. Wichelns, D. (2017). Volumetric water footprints, applied in a global context, do not provide insight regarding water scarcity or water quality degradation. *Cological Indicators, 74*: 420-426.
46. World Bank. (2004). Islamic Republic of Iran energy-environment Review Policy Note. Report No. 29062-IR. Washington D.C.
47. Zimmer, D. and Renault, D. (2003). Virtual water in food production and global trade: review of methodological issues and preliminary results. Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. *Value of Water Research Report Series* (No. 12).
48. Zonderland-Thomassen, M.A., Lieffering, M. and Ledgard, S.F. (2014). Water footprint of beef cattle and sheep produced in New Zealand: water scarcity and eutrophication impacts. *Journal of Cleaner Production, 73*: 253-262.