7 Th INTERNATIONAL CONFERENCE on MATERIALS ENGINEERING and METALLURGY
TEHRAN - IRAN OCTOBER 9-10 , 2018
iMat 2018
هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مواد و متالورژی
تهران – ایران ۱۸ و ۱۷ مهرماه ۱۳۹۷
و دوازدهمین کنفرانس مشترک
انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته‌گری ایران

حسابرسی جریان مواد، ابزاری برای شناخت گلوگاه‌ها و جهت‌دهی به سیاست‌ها

جواد مشایخ[۱]، سید حسین نکومنش‌فرد[۲]، مریم بهرامی کهیش نژاد[۳]

چکیده

بحران‌های زیست‌محیطی و تهدید کمبود منابع، پیشران تحقیقات در حوزه حسابرسی جریان مواد و تدوین سیاست‌های توسعه پایدار بوده است. یکی از معیارهای توسعه پایدار، اصلاح الگوی مصرف و جدا کردن رشد اقتصادی از مصرف منابع طبیعی است. میزان مصرف مواد خام با رشدی فزاینده، در سال ۲۰۱۰ به ۷۰ میلیارد تن رسیده و با روند فعلی تا سال ۲۰۵۰ به ۱۸۰ میلیارد تن خواهد رسید. با توجه به وابستگی اقتصاد ایران به صادرات مواد خام و واردات محصولات تمام شده، شناخت دقیق جریان منابع، اهمیتی راهبردی برای برنامه‌ریزی کشور دارد. بر اساس آمار، در عین درآمد نسبتا پایین و اقتصاد استخراجی، سرانه مصرف مواد خام ایران، ۳۵ درصد بالاتر از میانگین بین‌المللی و در حال افزایش است. شاخص‌های مصرف مواد و حسابرسی جریان مواد، ابزارهایی برای تعیین میزان مصرف در هر بخش، صنعت و یا کشور است. آگاهی از نحوه و میزان مصرف مواد در کشور مقدمه‌ای بر اولویت‌بندی واردات، ذخیره‌سازی و یا جایگزینی منابع وارداتی با محصولات بومی و اجتناب از خطرات ناشی از وابستگی زنجیره تامین به منابع خارجی در شرایط متلاطم سیاسی است. در این پژوهش با بکارگیری روش تحلیل جریان مواد و استفاده از اطلاعات منتشره در منابع بین‌المللی، روند و وضعیت فعلی مصرف گروه‌های اصلی منابع طبیعی بین ایران و برخی کشورهای دیگر، ازجمله کشورهای پیشرو و رقبای منطقه‌ای مقایسه، و این ابزار به عنوان روشی برای شناخت گلوگاه‌ها و جهت‌دهی به سیاست‌ها ارائه شده است. همچنین با استفاده از تجربیات خارجی، راهکارهایی برای مقابله با مصرف فزاینده و در نتیجه وابستگی به جریان مواد ورودی به کشور طرح شده است. تغییر در الگوی مصرف منابع، مستلزم اولویت‌دهی و سیاستگذاری در جهت مدیریت چرخه مواد در کشور و جهت‌گیری به سوی بهینه‌سازی و تمرکز بر مصرف مجدد، بازیابی و بازیافت و در نهایت جایگزینی منابع بر اساس مزایای جغرافیایی است.

کلمات کلیدی: حسابرسی جریان مواد، توسعه پایدار، اصلاح الگوی مصرف، مدیریت چرخه مواد، سیاستگذاری حوزه مواد

---

۱. دکتری مدیریت تکنولوژی، پژوهشکده مطالعات فناوری، Mashayekh@tsi.ir
۲. کارشناسی ارشد مهندسی مواد، ستاد توسعه فناوری‌های مواد و ساخت پیشرفته، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری
۳. کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، ستاد توسعه فناوری‌های مواد و ساخت پیشرفته، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

مقدمه

با پیشرفت فناوری و تسهیل دسترسی به منابع و گسترش حمل و نقل برای دسترسی به تولیدات بخش‌های دیگر جهان، استفاده از ذخایر طبیعی شتاب گرفت. به همین دلایل، برداشت از منابع مواد خام جهان در طول قرن بیستم با افزایشی ۷ برابری به ۷۰ میلیارد تن در سال ۲۰۱۰ تن رسیده است. در این بازه، میزان برداشت از کانی‌های غیرفلزی ۳۴ برابر، کانی‌های فلزی ۲۷ برابر، سوخت‌های فسیلی ۱۲ برابر و زیست‌توده‌ها ۳/۶ برابر افزایش یافته است [۱] [۲]. این رشد از دو جهت باعث نگرانی شده است. یکی خطر کمبود منابع در آینده و دیگر آسیب بازگشت‌ناپذیر به محیط زیست. مشکلاتی از قبیل تغییرات آب‌وهوایی به‌دلیل ورود گازهای گلخانه‌ای[1] به اتمسفر، اسیدی شدن خاک[2]، غنی شدن آب از منابع غذایی[3]، از بین رفتن گونه‌های زیستی، فرسایش خاک[4]، افزایش غیرقابل‌کنترل زباله‌های صنعتی و خانگی و ورود انواع سموم به اکوسیستم، در کنار احتمال کمبود دسترسی به منابع طبیعی در آینده به خصوص در کشورهایی با اقتصاد متکی بر منابع خام، خطری جدی برای آینده بشر است [۳] و [۴]. کشورهایی با تمرکز بیشتر بر اقتصاد استخراجی و تولیدی بیشتر از کشورهای متکی بر خدمات، در این بخش آسیب‌پذیرند. از سوی دیگر، اگرچه کشورهایی با اقتصاد بر مبنای خدمات، مشکلات زیست‌محیطی کمتری دارند، اما از آنجاییکه اقتصاد این کشورها وابسته به واردات مواد خام و محصولات است در نتیجه خطر کمبود و یا تغییرات قیمت بر اقتصاد این کشورها نیز تاثیر گذار خواهد بود.

ایران، کشوری با اقتصاد استخراجی[5] و از تولیدکنندگان مهم مواد خام در جهان است. ایران در بین ده کشور اول تولیدکننده‌ی نفت خام، پنج کشور اول تولیدکننده‌ی گاز طبیعی، ده کشور اول تولیدکننده‌ی سیمان، سنگ‌آهن و مولیبدن، بیست کشور اول تولیدکننده‌ی فولاد، سرب، آمونیا، مس، فلدسپار، فروکروم، کائولن، روی و پشم جای دارد. به‌نحوی‌که، بر اساس ارزش ذخایر معدنی (با احتساب نفت و گاز)، ایران، درمجموع در رده‌ی پنجم جهانی کشورهای برخوردار از منابع طبیعی قرار دارد [۵] [۶]. در سال‌های اخیر بحران‌های زیست‌محیطی از قبیل آلودگی شدید هوا در شهرهای صنعتی، خشک شدن دریاچه‌ها، بیابان‌زایی، تولید بیش‌ازحد زباله، گردوغبار شدید، خطر انقراض گونه‌های زیستی و ....، مشکلات عدیده‌ای را در ایران به وجود آورده است [۷]. بسیاری از این بحران‌ها با الگوی تولید و مصرف مواد ارتباط دارند. از سوی دیگر، برداشت بی‌رویه در مواردی همچون آب‌های زیر زمینی، جنگل، گونه‌های گیاهی، مراتع، سنگ‌های زینتی، نفت و برخی کانی‌های فلزی باعث افت کیفیت مواد استخراجی و یا حتی ملموس شدن خطر نبود دسترسی به چنین منابعی در آینده شده است [۸] [۹].

---

[1] Greenhouse Gas (GHG)
[2] Soil Acidification
[3] Eutrophication
[4] Soil Erosion
[5] Extractive Economy

با این‌حال تاکنون بررسی جامعی درخصوص الگوی جریان مواد در سطح ملّی انجام نشده است؛ لذا این پژوهش با اشاره به پیشینه و اهداف توسعه پایدار در حوزه مواد خام و ابزار پایش آن یعنی تحلیل جریان مواد، به معرفی برخی از شاخص‌های این حوزه پرداخته و مواردی را بر اساس تغییرات این شاخص‌ها تبیین خواهد نمود. این پژوهش با ارائه مختصر ابزارها و شاخص‌های سنجش و پایش مصرف مواد خام، تلاش می‌نماید باب مطالعه در خصوص وضعیت مصرف و تولید مواد مختلف در کشور را باز نماید.

۱- پیشینهٔ پژوهش:

۱-۱- مصرف منابع و توسعه‌ی پایدار

مواد اولیه طبیعی[1]، منابع طبیعی[2] و یا مواد در این بحث، منابع طبیعی هستند که عامدانه و به‌منظور استفاده در فعالیت‌های بشر در راستای خلق ارزش اقتصادی، استخراج شده و بر روی آن‌ها کار انجام می‌شود. تقسیم‌بندی مواد خام در علوم مختلف به شکل‌های مختلفی صورت می‌پذیرد که در تحلیل جریان مواد، مواد خام در چهار گروه زیست‌توده‌ها، سوخت‌های فسیلی، مواد معدنی غیرفلزی و مواد معدنی فلزی تقسیم می‌شوند [۱].

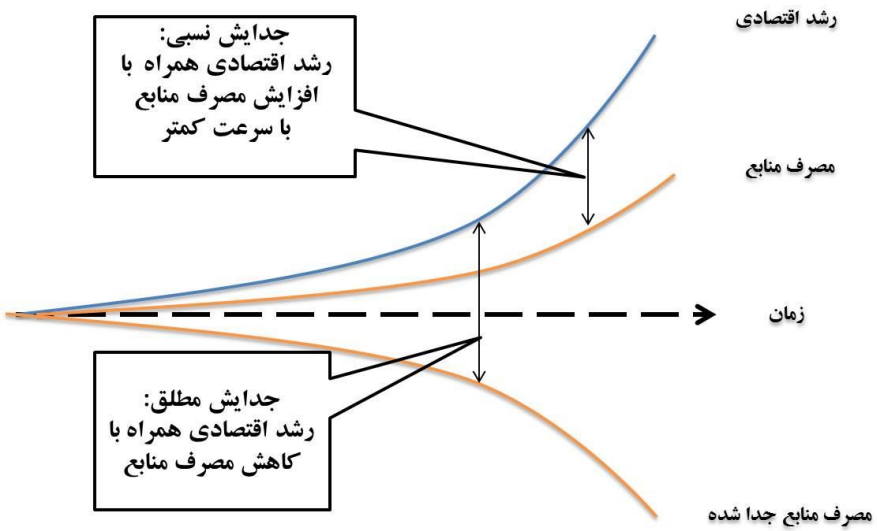
ریشه‌های ایده توسعه پایدار و سیاست‌گذاری این بخش به قرن ۱۷ و نگرانی از کاهش میزان الوار در انگلستان به‌دلیل مصرف بی رویه باز می‌گردد. علی‌رغم مباحث و مطالعات گسترده و نگرانی از روند رو به رشد مصرف منابع طبیعی و رشد نامتقارن و آثار مختلف، هنوز توافقی برای نحوه‌ی مدیریت منابع وجود ندارد. بر اساس پیش‌بینی‌ها، در صورت ادامه روند فعلی تا سال ۲۰۳۰، اضافه شدن بخش بزرگی از جمعیت کشورهای درحال‌توسعه همچون چین، هند و برزیل به طبقه متوسط جهانی، باعث افزایش مصرف مواد خام به ۱۰۰ میلیارد تن، رشد تقاضا برای فولاد و سیمان تا ۸۰ درصد و افزایش هزینه‌ی استخراج نفت و فلزات تا دو برابر خواهد شد [۱۰] [۱۱]. برای مشخص شدن تأثیر افزایش سطح مصرف و انتظارات در این کشورها، محاسبات سال ۲۰۱۰ نشان داده که در صورتی که چین تراکم خودرو و مصرف مواد غذایی ایالات متحده را داشته باشد، میزان کل تولید جهانی نفت نیز پاسخگوی چنین تقاضایی نخواهد بود [۱۲].

نگرانی از بروز بحران‌های فراگیر زیست‌محیطی و نبود دسترسی به منابع در آینده، پیشران مفهوم توسعه‌ی پایدار[3] بوده است [۱۳]. با اینکه تعریف مورد اجماعی برای توسعه پایدار وجود ندارد اما منظور کلی از این مفهوم، توسعه و رشد اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی جمعیت حاضر بدون به خطر انداختن قابلیت رشد نسل‌های آتی است. با تحقق توسعه‌ی پایدار، میزان آسیب به اکوسیستم تا حدی کاهش می‌یابد که قابلیت

[1] Raw Material
[2] Natural Resources
[3] Sustainable Development

بازیابی و بازگشت به وضعیت اولیه وجود داشته باشد (۱۴) (۱۱) (۱۳). در سال ۱۹۹۲، دستور کار ۲۱ سازمان ملل برای تبیین اهداف توسعه پایدار در حوزه‌های مختلف تنظیم شده است. ذیل فصل چهارم این سند غیرالزام‌آور، اصلاح الگوی مصرف منابع به عنوان یکی از اهداف توسعه‌ای ذکر شده است [۱۵].

در دستور کار ۲۱، جدایش[1] (جدا شدن) رشد اقتصادی از مصرف منابع، یا موادزدایی[2] (به‌صورت نسبی و یا مطلق)، یکی از نقاط تمرکز سیاست‌گذاران به شمار می‌رود. افزایش تولید و رشد اقتصادی در راستای تأمین رفاه بیشتر برای جمعیت بیشتر، همراه با مصرف بیشتر منابع طبیعی بوده است. درحالی‌که یکی از اهداف توسعه‌ی پایدار، مصرف کمتر برای تولید بیشتر است [۱۶]. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در حالت جدایش نسبی، میزان منابع مورد نیاز برای هر واحد تولید ناخالص داخلی[3] با گذر زمان کاهش می‌یابد اما در حالت جدایش مطلق، میزان کل مصرف مواد در یک اقتصاد با وجود افزایش تولید ناخالص داخلی، کاهش می‌یابد [۱۷]. در واقع در صورت تحقق جدایش، میزان ماده خام مصرف شده برای تولید هر واحد سرانه تولید ناخالص داخلی (شدت مواد) کاهش می‌یابد [۱۸].



شکل ۱- نمایش شماتیک جدایش رشد مطلق و نسبی رشد اقتصادی از مصرف مواد [۱]

جدایش مستلزم تغییرات عمده در سیاست‌های دولتی، رفتار شرکت‌ها و الگوی مصرف افراد است. موانع عمده‌ای بر سر راه جدایش رشد از مصرف منابع وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تجارت بین‌المللی است. رشد تجارت بین‌المللی از ۵/۴ میلیارد تن در سال ۱۹۷۰ به ۱۹ میلیارد تن در سال ۲۰۰۵، مشکلاتی را در

[1] Decoupling
[2] Dematerialization
[3] Gross Domestic Product (GDP)

تعیین مسئول نهایی مصرف منابع به وجود آورده است. در سال ۲۰۱۰، ۴۰ درصد از منابع مصرف شده برای تولیدات نهایی پیش از رسیدن به مرزهای بین‌المللی مصرف شده‌اند. یعنی محصول صادر شده تنها ۶۰ درصد از وزن مواد مصرف شده برای تولید آن محصول بوده است. ۴۰ درصد دیگر عملا جزء مصرف کشور تولیدکننده حساب می‌شود درحالی‌که بیشتر این مواد بنا به سفارش مصرف‌کننده نهایی، استفاده شده‌اند.

برخی از اقتصاددانان معتقدند، جدا کردن رشد اقتصادی از اثرات زیست‌محیطی با استفاده از نوآوری‌های فناورانه و افزایش بهره‌وری ممکن است [۱۱]. دسته دیگری بر این باورند که مصرف کمتر مواد به معنی تولید کمتر و در نتیجه کوچک شدن اقتصاد و در نهایت، رشد منفی اقتصادی خواهد شد. اقتصاد سرمایه‌داری برای پایدار بودن نیاز به رشد دارد، چرا که پایداری آن در گرو سرمایه‌گذاری مجدد سود در تولید است [۱۹]. پژوهشگران دیگری نشان داده‌اند جدایش نسبی امکان‌پذیر اما تحقق جدایش مطلق غیرممکن است. این شرایط نشان می‌دهد که رشد تولید ناخالص داخلی نمی‌تواند در درازمدت ادامه یابد. با وجود تأکید بر توسعه‌ی پایدار در کشورهای توسعه‌یافته، وابستگی افزایش رشد اقتصادی به مصرف منابع در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ بیشتر شده است (جفت شدن مجدد[1]) [۱۱]. برخی از پژوهشگران معتقدند توسعه‌ی پایدار تنها تا حد مشخصی از رشد اقتصادی (بین ۱/۵ تا ۲ درصد) ممکن است و در مقادیر بالاتر رشد اقتصادی، همواره میزان آسیب به طبیعت، بیشتر از حد قابل ترمیم آن می‌باشد [۱۴].

۱-۲- مصرف منابع و توسعه‌ی پایدار

اقتصاد صنعتی همچون موجودی زنده مواد خام را می بلعد، آن‌ها را فراوری و هضم می‌کند و با استفاده از آن‌ها کالاها و خدمات را تولید می‌کند و در نهایت ضایعات آن‌ها را به محیط خود بازمی‌گرداند [۲۰]. حسابرسی جریان مواد، مطالعه جریان مواد و یا تحلیل جریان مواد[2]، مجموعه فنون ارزیابی کمی مقادیر فیزیکی مواد در حین استخراج و برداشت، تغییر شکل شیمیایی، فراوری، تولید، مصرف و بازیافت است. عملاً هر نوع مبادله‌ای به جز خریدوفروش خدمات و یا کالاهای غیرمادی (همچون انرژی الکتریکی)، باید در حسابرسی جریان مواد پایش شود [۲۱]. تحلیل‌های این حوزه بر اساس موازنه جرمی و با در نظر گرفتن اقتصاد به‌عنوان یک سیستم ترمودینامیکی[3] در محیط بزرگ‌تر اکوسیستم، انجام می‌شود. حسابرسی مواد می‌تواند در خصوص ماده‌ای مشخص (آب، فلزات و ...)، گروهی از مواد (سوخت‌های فسیلی، مواد معدنی، زیست‌توده‌ها) و یا میزان کلی انتقالات مواد و در ابعاد مختلف اقتصادی صورت پذیرد [۲۲] [۱۴] [۲۱].

---

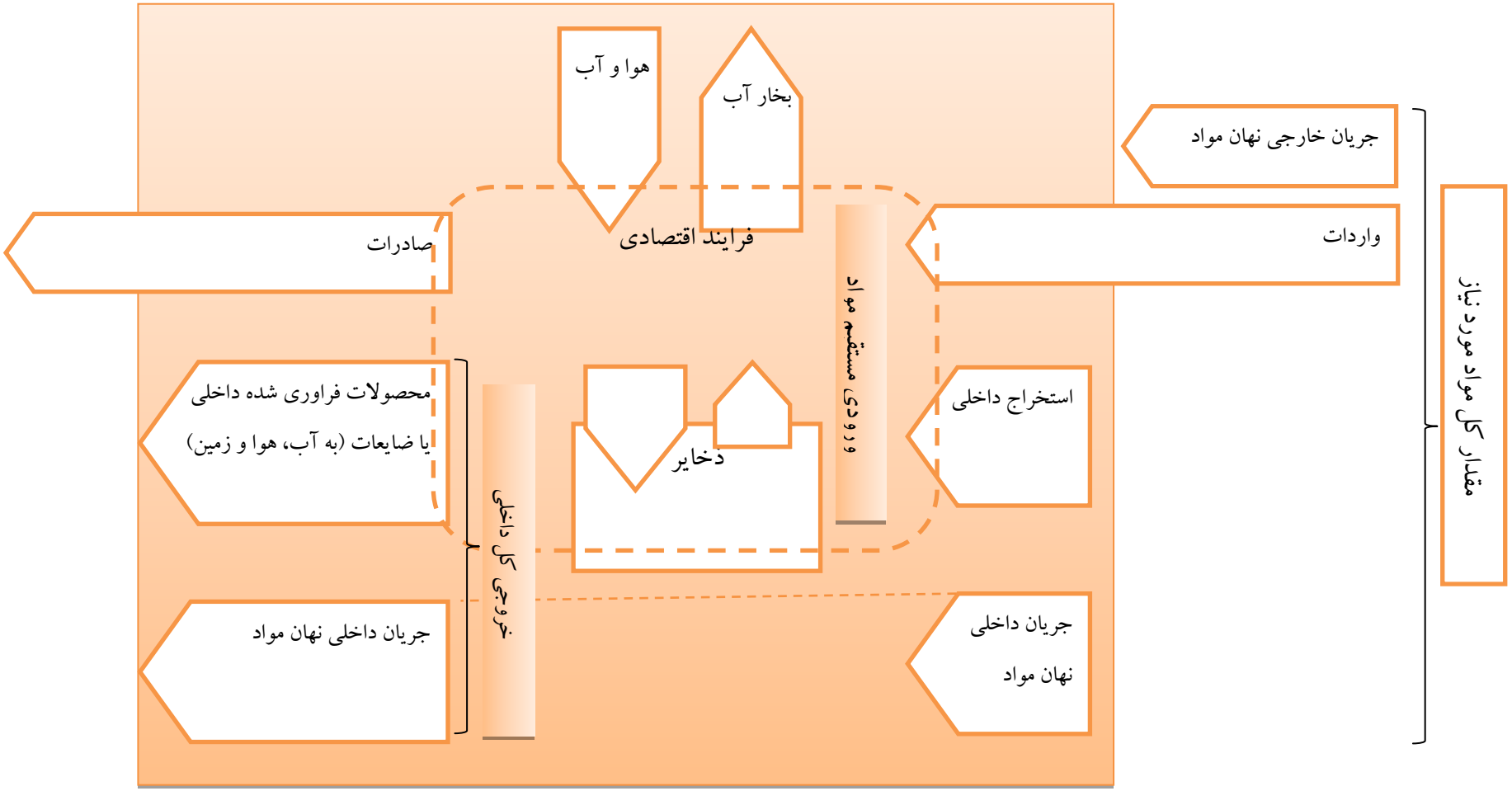
[1] Recoupling
[2] Material Flow Accounting or Material Flow Analysis (MFA)
[3] سیستم ترمودینامیکی به قسمتی از جهان اطلاق می‌شود که مورد بررسی قرار گرفته است. این قسمت به وسیله مرزهایی فیزیکی یا فرضی از محیط اطراف خود جدا می‌شود. بقیه جهان محیط ترمودینامیکی نامیده می‌شود.

برخی از شاخص‌های سنجش مواد ورودی و خروجی به یک اقتصاد را می‌توان در شکل ۲ و جدول ۱ مشاهده نمود. مواد ورودی به یک سیستم اقتصادی، شامل مواد تولیدشده در همان سیستم و مواد واردشده از محیط اطراف (اقتصادهای دیگر) است. جریان نهانی یعنی بخشی از مواد که برای تولید اقلام صادراتی از طبیعت جدا می‌شوند اما به‌صورت کالای صادراتی در نمی‌آیند را نیز جزء مواد وارد شده به محاسبه می‌شود. ارزیابی آب معمولاً مستقل از سایر مواد انجام می‌شود و هوا عملاً در محاسبات وارد نمی‌شود. خروجی‌های هر اقتصاد نیز شامل صادرات، جریان داخلی نهان مواد و محصولات فراوری شده داخلی یا ضایعات (به آب، هوا و زمین) است.

استفاده از شاخص‌های مختلف در بخش‌های مختلف موضوع را روشن می‌سازد. برای مثال شاخص مصرف داخلی مواد که حاصل کسر کردن صادرات از مجموعه تولید داخلی و واردات است، تاکنون مورد توجه زیادی بوده است. اما این شاخص تفاوت بین مصرف ظاهری و واقعی را به وضوح مشخص نمی‌کند و مسئولیت مصرف را بر عهده تولیدکننده می‌گذارد. به دلیل نقش برجسته تجارت در زنجیره تأمین، میزان مصرف واقعی و ظاهری کشورها متفاوت است. تفکیک محل تولید و مصرف باعث شده بخشی از مواد که برای تولید اقلام به کاربرده می‌شوند، اما به صورت ضایعات در کشور محل تولید می‌مانند، جزء مواد مصرفی کشور تولیدکننده حساب شود. با رواج گفتمان توسعه پایدار و افزایش نگرانی‌های زیست محیطی، کشورهای توسعه‌یافته همچون اعضای سازمان همکاری و توسعه اقتصادی [1] با صادر نمودن صنایع پرمصرف و برون‌سپاری تولید بخشی از مایحتاج خود، مصرف انرژی و مواد در کشور خود را کاهش و به‌طور ظاهری بهره‌وری مصرف مواد را افزایش داده‌اند. در نتیجه، ادعای جدایش نسبی رشد اقتصادی از مصرف مواد از سوی این کشورها طرح شده است. اما این جدایش، تنها در صورتی دیده می‌شود که جریان پنهان مواد در نظر گرفته نشود و مسئولیت بیش از ۴۰ درصد ضایعات صادرات بر عهده تولیدکننده قرار گیرد. این در حالی است که عمده تولید در کشورهای درحال‌توسعه با هدف صادرات به کشورهای ثروتمند انجام می‌شود. با استفاده از شاخص ردپای مواد (که جریان نهان مواد را نیز در نظر می‌گیرد و مسئولیت آن را متوجه مصرف‌کننده‌ی نهایی می‌داند)، چنین جدایشی دیده نمی‌شود. شاخص ردپای مواد نشان‌دهنده‌ی تمام منابع استخراج شده و استفاده شده در جهان، برای تأمین تقاضای نهایی یک کشور است. تفاوت بین این شاخص و شاخص‌های مصرف متعارف، می‌تواند تا ۲۰۰ درصد باشد [2] [۲۳] [۲۴] [۱۱] [۲۵] [۲۶].

[1] Organization for Economic Co-operation and Development: OECD

[2] بر اساس شاخص ردپای مواد، بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵، در کل کشورهای OECD، هیچ بهبودی در بهره‌وری منابع قابل مشاهده نیست.



شکل ۲- برخی از شاخص‌های سنجش مواد ورودی و خروجی در یک اقتصاد [۲۷] [۲۸]

جدول ۱- تعریف برخی از شاخص‌های پایش مواد

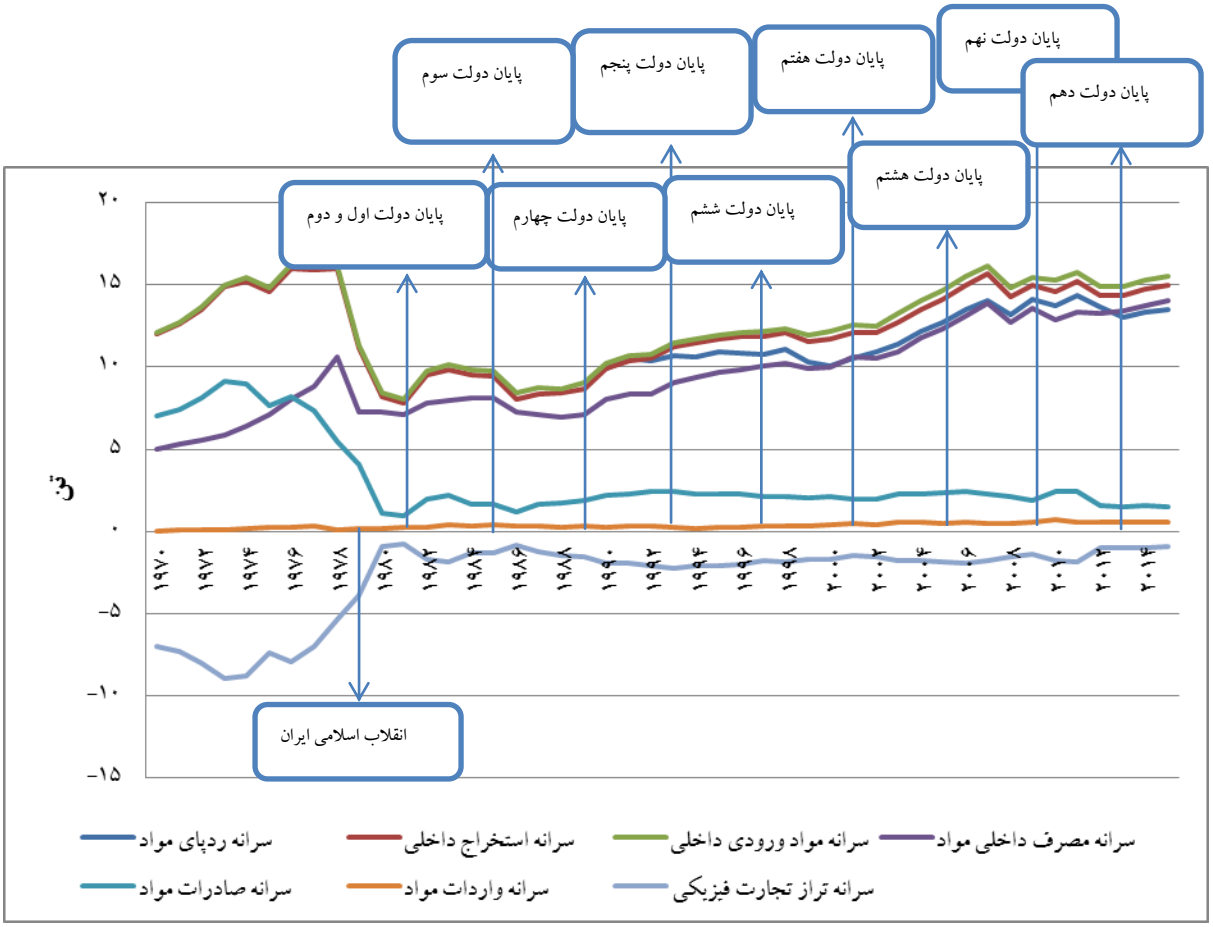
ردیف	شاخص	واحد	تعریف	منبع
۱	تولید داخلی[1]	تن	مجموع سالیانه مواد خام استخراج شده از طبیعت (به جز هوا و آب) برای استفاده در یک اقتصاد	[۲۹]، [۱]، [۳۰]، [۳۱]
۲	ردپای مواد[2]	تن	میزان مواد خام مصرف‌شده در سطح جهان برای تأمین نیازهای یک اقتصاد	[۱]، [۲۵]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]، [۳۲]
۳	مصرف داخلی مواد[3]	تن	مجموع مواد خام مصرف‌شده در یک اقتصاد: حاصل جمع میزان تولید داخلی و واردات منهای صادرات	[۲۹]، [۱]، [۳۰]، [۳۱]
۴	موازنه بازرگانی[4]	تن	صادرات منهای واردات	[۲۹]، [۱]، [۳۰]، [۳۱]
۵	جریان داخلی نهان مواد[5]	تن	مواد مصرف‌شده برای تولید مواد صادراتی که خود صادر نمی‌شوند.	[۳۳]، [۲۹]، [۱]، [۳۰]، [۳۱]
۶	جریان خارجی نهان مواد[6]	تن	مواد مصرف‌شده در سایر کشورها به‌منظور تولید کالاهای وارد شده به یک اقتصاد که خود به آن اقتصاد وارد نمی‌شوند.	[۳۳]، [۲۹]، [۱]، [۳۰]، [۳۱]

حسابرسی جریان مواد پیشینه‌ای بسیار طولانی دارد. [۲۱]، با این‌حال، این روش در بین محققان داخلی مهجور بوده و بر اساس بررسی‌های صورت گرفته صرفاً در پژوهش‌های محدودی در سطح بنگاه از این روش بهره گرفته شده و در سطح ملّی به‌طورکلی از این ابزار ارزشمند در تحقیقات استفاده نشده است. به‌عنوان نمونه، با استفاده از این روش تحقیقاتی در خصوص نحوه مدیریت پسماندها، با هدف کنترل آثار زیست‌محیطی پسماندهای صنعتی در کشور انجام شده است [۳۴].

۲- پیشینهٔ پژوهش:

روند تغییرات شاخص‌های سرانه مورد استفاده برای تحلیل جریان مواد در سطح ملّی، طی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵، برای ایران در شکل ۳ نشان داده شده است.

[1] Domestic Extraction (DE)
[2] Material Footprint: (MF)
[3] Domestic Material Consumption (DMC)
[4] Trade Balance
[5] Domestic Hidden Flow
[6] Foreign Hidden Flow



شکل ۳- روند تغییرات برخی از شاخص‌های تحلیل جریان مواد در ایران در بازه زمانی ۱۹۹۰تا ۲۰۱۵ میلادی

همان‌طور که در شکل فوق دیده می‌شود، روند شاخص‌های تولید داخلی، مصرف داخلی و ردپای مواد به‌دلیل وابستگی قابل‌توجه این شاخص‌ها به یکدیگر و یا عوامل بیرونی همسان، در بازه سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵، تشابه دارد.

همچنین همان‌طور که در نمودار قابل مشاهده است، روند مصرف در ایران بر اساس هر دو شاخص مصرف داخلی و ردپای مواد رو به افزایش بوده است. دلایل این افزایش اگرچه مستلزم مطالعات عمیق‌تر است، اما بر اساس الگوهای جهانی، احتمالاً مصرف گرایی، افزایش شهرنشینی و بالاتر رفتن سطح رفاه، دسترسی راحت‌تر به اقلام مصرفی، بهبود زیرساخت‌های انتقال مواد، افزایش گستره انتخاب‌ها برای تأمین و بالاتر رفتن سطح درآمد طبقه متوسط از جمله عوامل عمده افزایش مصرف باشند. بنا بر اطلاعات بانک جهانی کسر جمعیت شهر نشین در ایران در این بازه زمانی از ۴۱ درصد به بیش از ۷۴ درصد رسیده است. تغییرات شیب با تحولات

اجتماعی داخل کشور همزمانی دارد. در سال‌های اولیه پیروزی انقلاب اسلامی با کاهش صادرات نفت خام و تغییرات سیاست‌ها، افت قابل‌توجهی در سرانه مصرف داخلی مواد به وجود آمد. همچنین در طول سال‌های جنگ، برخلاف رویه افزایش سایر سال‌ها، نوسان جزئی تولید و مصرف و گاهاً کاهش مصرف مشاهده می‌شود. در سال‌های بعدی، تغییرات نمودار با فاصله‌ای ۲ تا ۳ ساله با تغییرات دولت‌ها تطابق نسبی دارد. به نظر می‌رسد که تغییرات سیاست‌های صادرات و واردات در اثر تغییر دولت در این فاصله زمانی بر این شاخص‌ها مؤثر بوده است. فاصله بین شاخص‌های تولید داخلی، ردپای مواد و مصرف داخلی تقریباً ثابت است. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات الگوی مصرف (نسبت واردات مواد خام و محصولات تمام شده به صادرات آنها) در این سال‌ها تغییر فاحشی نداشته است. در حقیقت با وجود رشد اقتصادی و تغییرات میزان مصرف مواد، همچنان کشور به صادرات مواد خام و واردات محصولات ساخته‌شده وابسته است.

در نمودار مشخص است که ردپای مواد در ایران، در بیشتر موارد کمی بالاتر از میزان مصرف داخلی آن است. در تحلیل‌های انجام شده، کشورها را از نظر اختلاف بین این دو شاخص به سه دسته تقسیم می‌کنند: کشورهایی با مصرف داخلی مواد بالاتر از ردپای مواد، کشورهایی با مصرف داخلی مواد پایین‌تر از ردپای مواد و کشورهایی با ردپای مواد و مصرف داخلی مواد نزدیک به هم [۲۵]. در کشورهایی که مصرف داخلی مواد در آنها بالاتر از ردپای مواد است، صادرات مواد خام غالب است. این کشورها (همچون شیلی با مصرف داخلی سرانه ۴۳ تن و ردپای مواد ۱۷ تن در سال ۲۰۱۰) عملاً مقادیر قابل‌توجهی از مواد را (به‌صورت خام) تولید و صادر می‌کنند. از آن‌جایی‌که ضایعات به‌جای مانده از مواد خام صادراتی جزء مصرف داخلی مواد در این کشورها محسوب می‌شوند، این دسته از کشورها عملاً مصرف بالاتری نسبت به واقعیت را نشان می‌دهند اما شاخص ردپای مواد که مسئولیت مصرف را بر عهده مصرف‌کننده‌ی نهایی قرار می‌دهد، برای این کشورها پایین‌تر از مصرف داخلی است. در مقابل کشورهایی با اقتصاد پیشرفته و حساسیت‌های زیست‌محیطی که واردکننده‌ی مواد خام فراوری شده هستند، بخش جریان نهانی را در مصرف داخلی خود در نظر نمی‌گیرند (همچون سوئیس با مصرف داخلی ۱۲/۹ و ردپای مواد ۲۶/۹ تن سرانه، در سال ۲۰۱۰). در دسته سوم کشورهایی هستند با اختلاف کم بین این دو شاخص، که ایران در این گروه قرار دارد [۲۵]. با وجود نزدیک بودن دو شاخص، همین تفاوت کم نشان‌دهنده‌ی تمایل اقتصاد ایران به سمت واردات محصولات نهایی است. برای مقایسه می‌توان چین را با ردپایی کمی بالاتر از ایران (۱۷ تن مصرف داخلی و ۱۴/۵ تن سرانه ردپا، در سال ۲۰۱۰) با کشورمان با مصرف داخلی ۱۰ تن و سرانه ردپای ۱۴ تن مقایسه نمود.

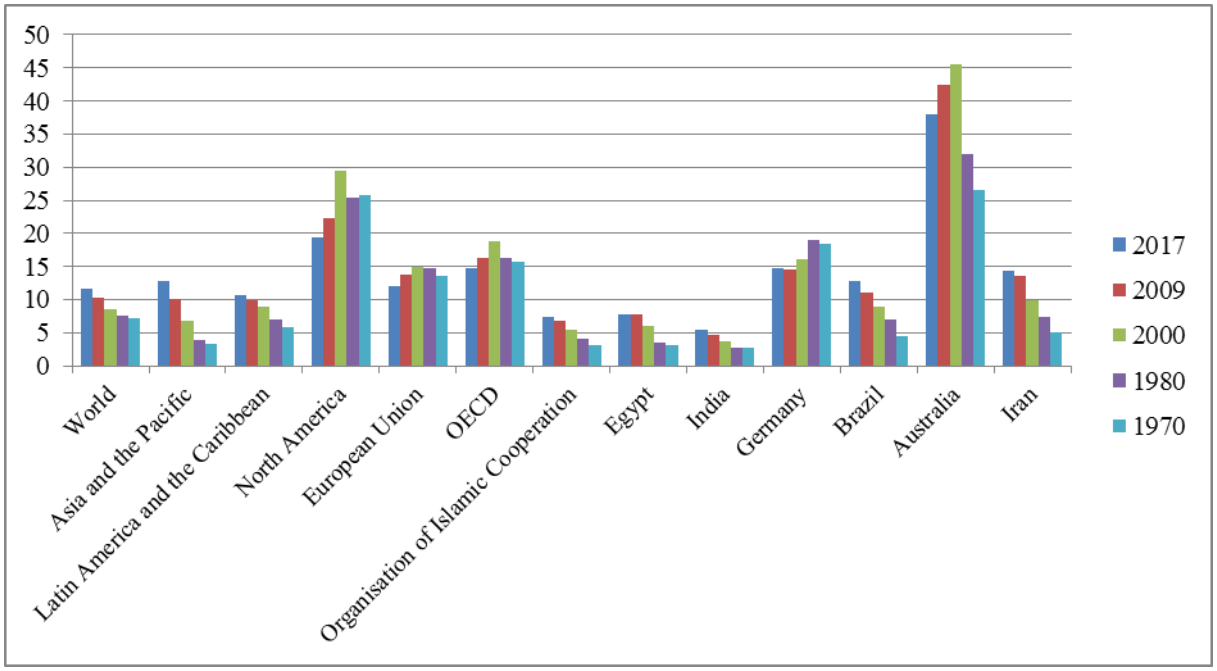
در واقع دو متغیر در تعیین اختلاف ردپای مواد و مصرف داخلی مواد مؤثراند. یکی میزان وابستگی کشور به صادرات مواد خام و دیگری میزان واردات محصولات ساخته‌شده با جریان نهان مواد بالا به کشور. کشورهای توسعه‌یافته با اجتناب از تولید مواد خام و تمرکز بر فراوری مواد و صادرات محصول نهایی، سطح مصرف داخلی

مواد را کاهش داده‌اند. اما این کشورها با وارد کردن بخشی از محصولات مود نیاز خود و در نتیجه وارد کردن جریان نهان این محصولات، ردپای مواد بالایی دارند. همچنین به نظر می‌رسد کشورهایی همچون ایران، با وجود خام‌فروشی و خروج بخش بزرگی از مواد مصرف‌شده به‌صورت جریان نهان، به‌دلیل رواج مصرف‌گرایی و الگوبرداری از روش مصرف کشورهای پیشرفته، جریان نهان ورودی بزرگی نیز دارند. در نتیجه مقدار ردپای مواد در این کشورها به لحاظ ظاهری به الگوی کشورهای پیشرفته میل می‌کند.

تفاوت میزان صادرات و واردات نیز در این نمودار دیده می‌شود. ردپای مواد کالاهای صادراتی به‌صورت عددی منفی در محاسبات لحاظ می‌شود. این بخش میزان ماده‌ی مصرفی برای کالاهای صادراتی است. برابر بودن ردپای صادرات تا سال ۲۰۱۰ با میزان صادرات و بالاتر بودن میزان ردپای واردات تا سال ۲۰۱۰ نسبت به وزن مواد واردشده مؤید این است که ایران واردکننده‌ی محصولات نهایی (محصولاتی با ردپایی بالاتر از وزن خود) و صادرکننده‌ی مواد خام (ردپایی برابر وزن) می‌باشد. بر اساس اطلاعات این نمودار، سبد محصولات صادراتی کشور در سال‌های اخیر، تغییری به سوی فراوری مواد خام داخلی و صادرات مواد نهایی نشان نمی‌دهد.

توزیع میزان مصرف مواد در کشورهای مختلف می‌تواند تا حد زیادی نشان‌دهنده‌ی محدودیت‌های هر کشور از نظر دسترسی به منابع طبیعی یا سیاست تجاری دولت‌ها باشد (شکل ۴). کشورهای تولیدکننده‌ی مواد خام، همچون برزیل، چین، هند، شیلی و استرالیا میزان قابل‌توجهی از مواد را برای مصرف در دیگر نقاط جهان استخراج می‌کنند. میزان زیست‌توده تولیدشده در برزیل و مواد معدنی تولید شده در شیلی و استرالیا بسیار بالاتر از میانگین است.

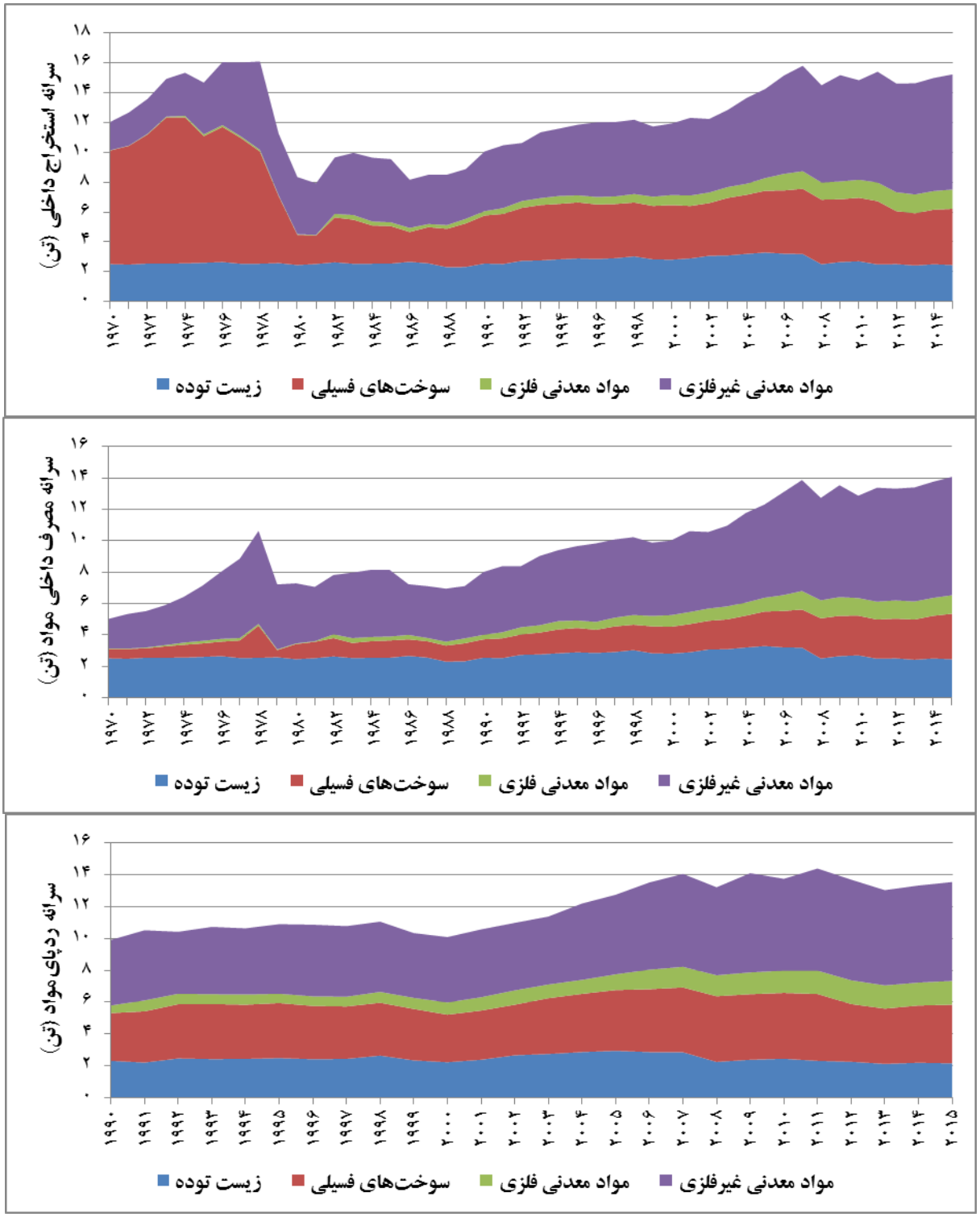
میزان این شاخص‌ها در بسیاری موارد وابسته به سیاست‌های تولیدی و اقتصادی دولت‌ها است. دولت‌ها بر اساس منابع در دسترس سیاست‌گذاری می‌کنند. برای مثال با وجود ذخایر عمده نفت در برزیل [۳۵]، سرانه‌ی مصرف سوخت فسیلی در این کشور به یک سوم ایران است (۰/۹۹ تن سرانه برزیل و ۲/۹۹ ایران). ازجمله دلایل این مسئله می‌توان به استحصال مقادیر قابل‌توجهی برق‌آبی و موفقیت این کشور در کنترل مصرف سوخت برای حمل‌ونقل اشاره نمود. مصرف سوخت‌هایی مشتق از منابع زیست‌توده (اتانول تولید شده از ضایعات نیشکر) به‌عنوان سوخت خودرو در کاهش مصرف سوخت فسیلی در این کشور بسیار مؤثر بوده است [۲۴] [۳۶]. آلمان با تمرکز بر افزایش بازده مصرف انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر، مصرف سوخت سرانه خود را از ۸/۷۶ تن در سال ۱۹۷۹ به ۴/۹ کاهش داده است. در حالی‌که میزان مصرف ایران در بازه مشابه از ۰/۴۵ تن به ۲/۹ تن رسیده است [۳۷].



شکل ۴- میزان شاخص سرانه مصرف داخلی مواد (بر حسب تن) در سال‌های مختلف برای جهان و همچنین برخی مناطق و کشورها

میزان ردپای زیست‌توده ایران کمی پایین‌تر از میزان مصرف داخلی است (۲/۰۷ در مقابل ۲/۳۷ در سال ۲۰۱۷). کمتر بودن ردپای زیست‌توده در ایران با توجه به سبد صادرات ایران و تنوع مواد غذایی و مصنوعاتی همچون فرش و چرم قابل‌انتظار است. اما کمتر بودن تولید نسبت به مصرف نشان‌دهنده وابستگی به واردات بخشی از این خانواده از محصولات است. بر این اساس، به نظر می‌رسد با وجود مصرف بیشتر از تولید، همچنان میزان جریان نهان خروجی از کشور، بالاتر از جریان نهان ورودی است.

میزان مصرف داخلی سوخت های فسیلی ایران به‌مراتب پایین‌تر از تولیدات داخلی است. اما ایران با وجود صادرات بالای نفت و گاز خود، تنها ۲ درصد بیشتر از ردپای خود، تولید دارد. ردپای بالای ایران در بخش سوخت‌های فسیلی احتمالاً به دلیل وابستگی کشور به واردات بنزین و برخی مشتقات فراوری شده نفتی دیگر همچون مصنوعات پلاستیکی و محصولاتی با مصرف انرژی بالا است [۳۸] [۳۹].



شکل۵- روند تغییرات سرانه شاخص استخراج داخلی، مصرف داخلی و ردپای مواد ایران

۳- بحث و جمع‌بندی

توسعه نامتقارن، مشکلات زیادی برای کشور به وجود آورده است. از این رو تغییر سیاست‌های تولید و مصرف مواد، حرکت به سوی مدیریت چرخه عمر و اقتصاد چرخه‌ای و تمرکز بر استفاده مجدد، بازیابی و بازیافت باید از اولویت‌های سیاست‌گذاری عمومی در کشور باشد. بررسی اسناد سیاستی مختلف نشان می‌دهد با استفاده از شاخص‌های تحلیل جریان مواد در بسیاری از مناطق و کشورها هدف‌گذاری کمی برای افزایش بهره‌وری انجام شده است [۴۰] [۴۱] [۴۲]. نبود آمار دقیق، مانع عمده‌ای برای استفاده از حسابرسی جریان مواد در کشور است. برای مدیریت بهتر حوزه مواد، در این حوزه نیز برنامه‌ریزی‌ها و ارزیابی‌هایی مشابه با حوزه نفت ضروری به نظر می‌رسد [۴۳] [۴۴].

جمع‌آوری اطلاعات مرتبط و تدوین گزارش‌های سالیانه، می‌تواند راهگشای بخش‌های ذی‌نفع، اعم از دولتی و یا خصوصی باشد. در گام بعدی، توجه به این شاخص‌ها در اسناد بالادستی و برنامه‌های بلندمدت، می‌تواند منجر به تنظیم سیاست‌های اجرایی و هدف‌گذاری کمی در بخش‌های مختلف شود [۳۵] [۴۵].

حسابرسی جریان مواد ابزاری مناسب برای تشخیص گلوگاه‌های زنجیره تأمین است. اولویت‌بندی در سرمایه‌گذاری در بسیاری از کشورها در راستای تأمین کمبودها صورت می‌گیرد. جمع‌آوری اطلاعات و نیازسنجی و پالایش اطلاعات به‌صورت دوره‌ای در کشورهای مختلف جهان، منجر به تقسیم‌بندی مواد به سه بخش غیرحیاتی، حیاتی و استراتژیک شده است [۴۶].

صنایع تولیدکننده‌ی مواد صادراتی ایران، ازجمله صنایع آلاینده محسوب می‌شوند. علاوه بر این، واردات کشور نیز حاوی محصولات ساخته‌شده با جریان نهان مواد بالا است. سرمایه‌گذاری ناکافی بر فراوری مواد، کشور را در عین صادرات عمده‌ی نفت خام و میعانات گازی، وابسته به واردات گسترده مصنوعات پلاستیکی نموده است. از سوی دیگر ایران هم‌زمان صادرکننده‌ی سنگ‌آهن، فولاد و چدن و واردکننده‌ی فولاد و یا قطعات عمدتاً فلزی خودرو است. صادرات مواد خام، مصرف داخلی مواد را افزایش و واردات محصولات ساخته‌شده افزایش ردپای مواد را نشان می‌دهند. تنها مسیر برای کنترل هر دو شاخص ، تکمیل چرخه‌ی تولید در داخل و استفاده از محصولات بومی است. استفاده از تحلیل جریان مواد شناسایی فعالیت‌هایی با مصرف بالای مواد را ممکن می‌سازد.

در صورت الزام‌آور شدن برنامه‌های زیست‌محیطی جهانی، در آینده زمینه‌ای برای محدودیت‌های تجاری ایجاد می‌گردد. در این حالت شاخص‌های حسابرسی جریان مواد، ابزارهایی برای پایش وضعیت کشورها و تصمیم‌گیری خواهند بود و تسلط بر این شاخص‌ها، می‌تواند از عواقب منفی چنین تحولاتی پیشگیری کند.

ارزیابی مصرف مواد خام با استفاده از شاخص‌های به دست آمده از حسابرسی جریان مواد، می‌تواند راهگشای سیاست‌گذاران در بخش‌های مختلف باشد. نگاه کلان و هم‌زمان به مقوله مصرف مواد و انرژی، با توجه به روندهای جهانی، بدون دسترسی به اطلاعات دقیق و فراوری اطلاعات به‌صورت شاخص‌های کمّی غیرممکن است. مقوله ی مصرف مواد با توجه به تکیه کشور به استخراج منابع، برای جمهوری اسلامی ایران اهمیتی دوچندان دارد. توجه خاص به این مقوله و انجام مطالعاتی هدفمند در این زمینه می‌تواند موجب افزایش عمق و گستره‌ی سیاست‌گذاری در کشور شود. در حال حاضر سرانه مصرف مواد خام در ایران کمی بالاتر از متوسط جهانی است. نگاهی به اطلاعات موجود نشان می دهد که حرکت به سوی استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، اشاعه‌ی فرهنگ بازیابی، بازیافت و جایگزینی محصولات تمام‌شده با مواد خام صادراتی می‌تواند علاوه بر کنترل الگوی مصرف مواد خام، مشکلات زیست‌محیطی و خروج منابع طبیعی، به پیشگیری از مواجه شدن کشور با محدودیت‌های بین‌المللی احتمالی در آینده منتهی شود. با توجه به این مساله به نظر می‌رسد مهم‌ترین پیشنهاد سیاستی در شرایط حاضر راه‌اندازی نظام بررسی و تصمیم‌سازی بر اساس تحلیل جریان مواد در اولویت‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای درکشور می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از پیشنهادها و راهنمایی‌های ارزشمند جناب آقای دکتر محمودمهرداد شکریه، استاد دانشگاه علم و صنعت ایران و دبیر ستاد توسعه‌ی فناوری‌های مواد و ساخت پیشرفته معاونت علمی و فناوری ریاست‌جمهوری در راستای تألیف این مقاله تشکر نمایند.

مراجع

1- Fischer-Kowalski, Marina.”Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth”, 2011.

۲- جواد مشایخ، «علم و فناوری مواد پیشرفته، ره‌نگاشت کشور چین تا سال ۲۰۵۰»، ۱۳۹۵.

3- Michael Lettenmeier, Christa Liedtke and Holger Rohn.” Eight tons of material footprint—suggestion for a resource cap for household consumption in Finland”, 2014.

4- Allwood, Julian. “ Material efficiency: A white paper”, 2011.

5- IndexMundi, www.indexmundi.com,2018.

6- Craig, Anthony. Investopedia. www.investopedia.com,2016.

۷- محمد ذکایی، «گزارش وضعین محیط زیست ایران ۱۳۸۳-۹۲»، سازمان حفاظت محیط زیست, ۱۳۹۴.

۸- محمد خسرو شاهی، فاطمه درگاهیان، سکینه لطفی نسب، «نگاهی به پدیده گرد و غبار مناطق جنوب و جنوب غرب ایران با تاکید بر استان خوزستان»، فصلنامه جنگل و مرتع، ۱۳۹۶.

۹- حبیب الله سعید منجمیان، «ارزیابی وضعیت جنگل‌های جهان. منجمیان»، فصلنامه جنگل و مرتع، ۱۳۹۵.

10- Heinz, Schandl.”How can global human development and environmental sustainability be aligned?”, www.csiro.au, 2011 .

11-. Floyd, Samuel, Jonathan Alexander and Joshua Rutherford. “A critique of the Australian national outlook decoupling strategy: a limits to growth perspective”,Ecological Economics, 2018.

12- Hennicke, Peter.”Decoupling resource consumption and economic growth: Insights into an unsolved global challenge”, 2014.

13- Fardin, Eskafi. “Comparative analysis of European Union and Iranian CO2 reduction policies in transportation sector”, 2016.

14- Andrea Bigano, Aleksander Sniegocki and Jacopo Zotti. “Policies for a More Dematerialized EU Economy.Theoretical Underpinnings, Political Context and Expected Feasibility” Sustainability,2016.

15- United Nation's Sustainable Development (Agenda 21). 1992.

16- James D. Ward, Paul C. Sutton, Adrian D. Werner, Robert Costanza, Steve H. Mohr, and Craig T. Simmons. “Is Decoupling GDP Growth from Environmental Impact Possible?”, 2016.

17-. Haberl, Helmut.” Progress towards sustainability: What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer” Land Use Policy, 2004.

18- Adraanse, Albert.” Resources Flows: The Material Basis of Industrial Economies”, World Resources Institute, 1997.

19- Kallis, Giorgos.”Radical dematerialization and degrowth”,Philosophical Transactions of the Royal Society, 2017.

20- Emily, Mathews.” The Weight of Nations”, World Resources Institute, 2000.

21- Paul Rechberger, Helmut Brunner. “Practical handbook of material flow analysis”, 2005.

22- Stephan Bruckner, Stefan Lutter and Martin Giljum. “A review and comparative assessment of existing approaches to calculate material footprints”, Ecological Economics, 2016.

23- Alexis Owsianiak, Laurent and Mikołaj.”Potentials and limitations of footprints for gauging environmental sustainability”, Current Opinion in Environmental Sustainability, 2017.

24-. Rui Wu, Yong Geng and Wenjing Liu.” Trends of natural resource footprints in the BRIC (Brazil, Russia, India and China) countries”, Journal of Cleaner Production, 2017.

25- Thomas Wiedmanna, Heinz Schandlb, Manfred Lenzenc, Daniel Moranc, Sangwon Suhf, James Westb.” The material footprint of nations”, 2013.

26- Schandl Heinz, James West. “Material flows and resource productivity in China, Australia and Japan”, The Journal of Industrial Ecology, 2012.

27- Mudgal, Shailendra. “Assessment of resource efficiency indicators and targets”, 2012.

28- Newson, Brian. “Economy-wide material flow accounts and derived indicators”, 2001.

29- Robert, Schütz, Aton, Steurer.”Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide”, Eurostat, 2001.

30- Weisz, Helga.”Development of material use in the EU-15: 1970-2001. Material composition, cross-country comparison, and material flow indicators”, Eurostat, 2006.

31- Environment live. environmentlive.unep.org, 2018.

32- United Nations Statistics Division. unstats.un.org, 2018.

33- Donald, Roghich, Amy, Cassara, Iddo Wernick, Marta Miranda.”Material flow in the United States, a physical accounting of the U.S. industrial economy”, World Resources Institute, 2008.

۳۴- فرزانه میرزابیاتی، مظاهر معین الدینی و رضا رفیعی، «کاربرد آنالیز جریان مواد (MFA) در ساماندهی پسماندهای صنعتی»، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، ۱۳۹۶.

۳۵. سید صادق ذاکری، محمد ضرغامی،«مطالعه تطبیقی راهبرد های کلان انرژی در ایران و کشورهای منتخب»، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۱۳۹۶.

36-. Kovarik, William. “Fuel blending and substitution programs in Europe, Asia, Africa and Latin America”, XVI International symposium on alcohol fuels,2006.

37- BP, “Statistical review of world energy”, 2011.

۳۸- حسین آقایان، «آمارنامه مصرف فراورده‌های نفتی انرژی‌زا»، مرکز ملی پخش فراورده‌های نفتی, ۱۳۹۳.

۳۹- «گزارش عملکرد تجارت خارجی کشور»، وزارت صنعت، معدن و تجارت- سازمان توسعه تجارت ایران، ۱۳۹۵.

40- Ramesh, Erkman Suren and Ramaswamy,”Applied Industrial Ecology - A New Platform for Planning Sustainable Societies”, 2003.

41- Roland Clift, Angela Druckman.”Taking Stock of Industrial EcologyL”, 2015.

42- E. Jaurlaritza, G. Vasco. “Environmental Framework Programme of the Basque Country 2020”, Basque Government, 2014.

۴۳-عباس ملکی، «سیاست‌گذاری انرژی»، ۱۳۹۰.

۴۴- محمدصادق کریمی، «آسیب‌شناسی و ارائه راهکارهای توسعه صنعت بالادستی نفت در ایران»، فصلنامه مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی، ۱۳۹۵.

45- Watal, Ratan. “Strategy Paper on Resource Efficiency”, 2017.

46- Latiff et al, Robbert H. “Managing Materials for a Twenty-first Century”, National Research Council, 2008.