Archive of SID

شاخص‌هایی برای سرمایه طبیعی: روند تغییرات و پیش‌بینی

علی‌رضا کشاورز[۱]، زکریا فرج زاده[۲*] و محمد حسن طرازکار[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

چکیده

در سال‌های اخیر در زاستای شناخت تفاوت رشد اقتصادی بین کشورها، سرمایه طبیعی به‌عنوان عامل مهم در مدل‌های رشد اقتصادی وارد شده است، اما ابعاد پیچیده سرمایه طبیعی و ناشناخته بودن نقش آن در رشد اقتصادی موجب شده است تا شاخص‌های متفاوتی به‌عنوان نماینده این سرمایه معرفی شود. در همین راستا این مطالعه با هدف معرفی، تحلیل روند و ارزیابی امکان پیش‌بینی این شاخص‌ها در اقتصاد ایران انجام شد. برای این منظور از داده‌های سری‌زمانی دوره ۹۴-۱۳۵۹ استفاده شد. برای پیش‌بینی از الگوهای ARMA و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شاخص‌های معرفی‌شده برای سرمایه طبیعی شامل ردپای اکولوژیکی، ظرفیت اکولوژیکی، تنش اکولوژیکی، تصرف اکولوژیکی و تناسب اکولوژیکی- اقتصادی می‌باشد. یافته‌ها نشان داد، شاخص ردپای اکولوژیکی به‌عنوان مهم‌ترین شاخص، در دوره منتخب سالانه بیش از ۲ درصد رشد داشته است. در میان اجزای این شاخص نیز بیش‌ترین سهم مربوط به انتشار دی‌اکسیدکربن بود. درحالی که مشخص گردید شاخص ظرفیت اکولوژیکی در دوره مطالعه کاهش داشته و پایین‌تر از ردپای اکولوژیکی قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که کسری اکولوژیکی ایجاد شده است. هم‌چنین شاخص تنش اکولوژیکی نشان داد، در مجموع خدمات دریافتی از طبیعت و محیط‌زیست فراتر از توان آن و بالاتر از میانگین جهانی بوده؛ به نحوی که موجب افزایش ناامنی اکولوژیکی شده است. هم‌چنین نتایج بدست آمده از پیش‌بینی نشان داد، دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی بالاتر از مدل سری‌زمانی ARMA می‌باشد و امکان پیش‌بینی اغلب شاخص‌های منتخب با خطای کم‌تر از ۳ درصد وجود دارد.

طبقه‌بندی JEL: C53, Q57

واژه‌های کلیدی: ردپای اکولوژیکی، ظرفیت اکولوژیکی، تناسب اکولوژیکی- اقتصادی، پیش‌بینی.

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

[۲]- استادیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

*- نویسنده مسئول مقاله: zakariafarajzadeh@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌گفتار

سرمایه طبیعی به منابع طبیعی و آن‌چه در محیط‌زیست برای پشتیبانی از حیات لازم است، گفته می‌شود (Mancini *et al*. 2017). در مورد منابع طبیعی رابطه میان فراوانی یا وفور منابع طبیعی و رشد اقتصادی مورد توجه مطالعات بوده است. از جمله مطالعات انجام شده در همین راستا مطالعه Behboodi *et al*. (2009) است که به تحلیل رابطه میان فراوانی منابع طبیعی با رشد اقتصادی در میان کشورهای صادرکننده نفت خام پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان دادندکه سرمایه طبیعی تأثیر منفی بر رشد اقتصادی داشته است. شاخص استفاده‌شده برای سرمایه طبیعی در این مطالعه سهم صادرات سوخت از کل صادرات کالایی بود، اما نتایج مطالعه Shahabadi and Sadeghi (2013) نشان دادند که اثر وفور منابع طبیعی (صادرات نفت) در هر دو کشور ایران و نروژ مثبت می‌باشد.

مرور مطالعات نشان می‌دهد، نقش محیط‌زیست در رشد اقتصادی در ابتدای دهه ۱۹۷۰ تبیین شده است (Tzouvelekas *et al*. 2007). به گونه‌ای که انتشار آلودگی در جریان تولید، به عنوان یک عامل تولیدی شناخته شده و هزینه تحمیلی به محیط‌زیست در نظر گرفته شده است. بر اساس نظریه کوزنتس رابطه میان انتشار آلودگی و درآمد سرانه به شکل U معکوس می‌باشد. این شکل از رابطه به عنوان نمونه در کانادا (He and Richard, 2010) و گروهی از کشورهای آفریقایی (Orubo and Omotor, 2011) مشاهده می‌شود. در ایران Nasrollahi and Ghaffari Gulak (2010) به بررسی رابطه‌ی شاخص توسعه انسانی و انتشار دی‌اکسیدکربن برای کشورهای آسیای غربی و کشورهای عضو پیمان کیوتو پرداختند که نتایج نشان‌دهنده وجود یک رابطه به شکل N می‌باشد.

ابعاد پیچیده سرمایه طبیعی موجب شده است تا برای یافتن شاخص‌های مناسبت‌تر همواره تلاش شود. برای مثال Costantini and Monni (2008) نقش منابع طبیعی را از راه دو متغیر موجودی منابع کشاورزی و موجودی منابع معدنی و سوخت‌های فسیلی برای گروهی از کشورها مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه مشخص شده است که نقش منابع طبیعی بدون سرمایه-گذاری‌های مکمل بسیار محدود خواهد بود. در مطالعه Farajzadeh *et al*. (2017a) متغیر منابع طبیعی شامل تولیدات کشاورزی و هم‌چنین تولید بخش معدن، نفت و گاز در نظر گرفته شده است؛ یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان می‌دهد که تنها جهت مثبت اثرگذاری متغیر منابع طبیعی در کل اقتصاد تا حدودی قابل دفاع است، اما مقدار ضریب آن قابل‌توجه نیست.

مرور مطالعات بالا نشان می‌دهد، نقش سرمایه زیست‌محیطی و طبیعی قابل ملاحظه نمی‌باشد و این ممکن است ناشی از عدم دست‌یابی به شاخص مناسب باشد؛ به گونه‌ای که بتواند ابعاد پیچیده

www.SID.ir

Archive of SID

عامل زیست‌محیطی در تولید را نمایندگی کند. همین امر موجب شده است تا با استفاده از مفهوم و ماهیت سرمایه زیست‌محیطی و طبیعی تلاش برای یافتن شاخص‌های جایگزین ادامه داشته باشد. نقطه ثقل تلاش‌های اخیر را می‌توان در معرفی مفهوم ردپای اکولوژیکی یافت. سرمایه طبیعی هسته محاسبات ردپای اکولوژیکی[1] می‌باشد.[2] ردپای اکولوژیکی تقاضا برای منابع اصلی تهیه خدمات زیست‌محیطی مورد نیاز انسان برای ادامه حیات را محاسبه می‌کند (Mancini *et al.* 2017). به طور جزئی‌تر ردپای اکولوژیکی مجموع زمین‌های زراعی، مراتع، مناطق ماهی‌گیری، جنگل‌ها و مقدار انتشار CO_2 است که با واحد هکتار اندازه‌گیری می‌شود (Al-Mulali and Ozturk, 2015). هم‌چنین، در سوی دیگر ظرفیت اکولوژیکی نشان‌دهنده توانایی محیط‌زیست برای جبران تقاضای بشر است.

در مطالعه Al-Mulali and Ozturk (2015) از ردپای اکولوژیکی به عنوان شاخص تخریب محیط‌زیست استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان‌می‌دهد که توسعه شهرنشینی، توسعه‌ی صنعتی، عدم ثبات سیاسی و افزایش مصرف انرژی باعث تخریب محیط‌زیست می‌شود. هم‌چنین، Moran *et al.* (2008) به بررسی ارتباط بین توسعه و تقاضای انسان از محیط‌زیست برای طیفی گسترده از کشورها پرداخته‌اند؛ در این مطالعه شاخص توسعه انسانی [3] (HDI) به عنوان شاخص توسعه و ردپای اکولوژیکی به عنوان شاخصی برای تخریب محیط‌زیست در نظر گرفته شده است. نتایج مطالعه حاکی از آن است که کشورهای با درآمد پایین توسعه انسانی را بدون افزایش تقاضا از محیط‌زیست بدست آورده‌اند درحالی که کشورهای با درآمد بالاتر، پیشرفت‌ها را با افزایش تقاضا از محیط‌زیست کسب کرده‌اند. در ایران نیز یافته‌های Molaei and Basharat (2015) حاکی از تأثیر مثبت افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه در بلندمدت بر ردپای اکولوژیکی است. در مطالعه جامع دیگری Aşıcı and Acar (2016) نیز برای ۱۱۶ کشور نشان دادند که کشورهای با تولید ناخالص داخلی پایین‌تر، سرمایه طبیعی کمتری داشته و با افزایش مقدار ردپای اکولوژیکی، تولید ناخالص داخلی کشورها افزایش یافته است. Liu and Lei (2018) نیز ارتباط بین سرمایه طبیعی (ردپای اکولوژیکی) و تولید ناخالص داخلی را برای پکن تأیید کردند.

با وجود آن که شاخص‌های ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی تصویری روشن از موجودی و الگوی استفاده از منابع زیست‌محیطی را نشان می‌دهند، اما امنیت زیست‌محیطی و اکولوژیکی به گونه مستقیم از این شاخص‌ها قابل استنباط نیست (Chu *et al.*, 2017). از همین رو، برای تحلیل

---

[1]-Ecological Footprint

۲ - ردپای اکولوژیکی توسط واکرناگل و ریس در سال ۱۹۹۶ برای اندازه‌گیری پایداری مصرف جامعه معرفی شد (Fiala, 2008).

[3]-Human Development Index

www.SID.ir

Archive of SID

امنیت اکولوژیکی سه مفهوم تنش اکولوژیکی[۱]، تصرف اکولوژیکی[۲] و تناسب اکولوژیکی- اقتصادی[۳] معرفی شده است. این سه مفهوم نیز از ردپا و ظرفیت اکولوژیکی قابل استخراج می‌باشد. شاخص تنش اکولوژیکی به‌صورت نسبت ردپا به ظرفیت اکولوژیکی محاسبه می‌شود. شاخص تصرف مبتنی بر مقایسه ردپای اکولوژیکی هر منطقه با میانگین جهانی است و نسبت شاخص تنش به شاخص تصرف وضعیت کلی محیط‌زیست را از نظر امنیت نشان می‌دهد که تحت عنوان شاخص "تناسب اکولوژیکی– اقتصادی" شناخته می‌شود.

با توجه به ضرورت رصد وضعیت سرمایه طبیعی و زیست‌محیطی، تلاش‌هایی نیز برای دست یافتن به الگوهایی برای پیش‌بینی شاخص‌ها و بویژه ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی صورت گرفته است. برای مثال Wang *et al.* (2018) با استفاده از مدل ARMA به پیش‌بینی این دو شاخص برای سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۵ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که دقت پیش‌بینی مدل برای محاسبه ظرفیت اکولوژیکی بالاتر از ردپای اکولوژیکی می‌باشد. هم‌چنین Liu and Lei (2018) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به پیش‌بینی شاخص ردپای اکولوژیک پرداخته‌اند. خطای نتایج بدست آمده در این مطالعه کم‌تر از ۳ درصد بوده است. هم‌چنین، Jia *et al.* (2010) با استفاده از مدل ARMA به پیش‌بینی شاخص ردپای اکولوژیکی پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۱۵، ردپای اکولوژیکی برای هر فرد به بیش از ۳/۵ gha[۴] (هکتار جهانی) خواهد رسید.

شرایط کنونی منابع طبیعی و محیط‌زیست ایران، ضرورت پرداختن به محیط‌زیست را آشکار می‌کند. یافته‌های مطالعه World Bank (2005) حاکی از تخریب سالانه محیط‌زیست در ایران به ارزش معادل ۸/۸ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران است. میانگین انتشار دی‌اکسیدکربن جهان به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده به ازاء هر واحد درآمد بر حسب دلار برابری قدرت خرید، برابر با ۰/۳ کیلوگرم است در حالی که این رقم برای ایران در سطح ۰/۴کیلوگرم قرار دارد (UNSD, 2014[۵]). انتشار دی‌اکسیدکربن در چهار دهه اخیر سالانه بیش از ۸/۳ درصد رشد داشته است در حالی که میانگین رشد اقتصادی ایران در این دوره کم‌تر از ۳ درصد بوده است (UN data, 2012). اگر انتشار دی‌اکسیدکربن را معادل مشارکت سرمایه طبیعی و محیط‌زیست بدانیم، می‌توان گفت انباشت سرمایه طبیعی نیز فراتر از رشد اقتصادی بوده است (Farajzadeh *et al.*, 2017a). در

[1]- Ecological Tension
[2]- Ecological Occupancy
[3]- Ecological-Economic Coordination
[4]- Global Hectares
[5]-United Nations Statistics Division

www.SID.ir

Archive of SID

همین مورد نتایج مطالعه Rezaei *et al.* (2015) که به بررسی وفور منابع طبیعی بر رشد اقتصادی پرداخته‌اند نشان می‌دهند که وفور این منابع با کاهش رشد اقتصادی همراه بوده است. این یافته می‌تواند به معنی تأیید فرضیه نفرین منابع طبیعی باشد.

بررسی مطالعات اخیر بیان‌گر اجماع بیش‌تری در خصوص معرفی ردپای اکولوژیکی (و تا حدودی ظرفیت اکولوژیکی) به عنوان معیاری از نقش محیط‌زیست و منابع طبیعی است. نظر به اهمیت این مفهوم‌ها و شرایط ایران از نظر زیست‌محیطی، این مطالعه با هدف معرفی، محاسبه و تحلیل روند ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی صورت گرفت. هم‌چنین، به‌منظور تبیین بیش‌تر نقش این مفهوم‌ها، شاخص‌های تنش، تصرف و تناسب اکولوژیکی-اقتصادی نیز به عنوان معیاری از سرمایه طبیعی معرفی و محاسبه شده است. با این حال، باید توجه داشت که ممکن است محدودیت داده‌های مورد نیاز مانعی برای محاسبه ردپای اکولوژیکی یا ظرفیت اکولوژیکی ایجاد نماید. در این شرایط استفاده از مدل‌های پیش‌بینی مطلوب خواهد بود. لذا، افزون بر معرفی و محاسبه شاخص‌های مورد استفاده به‌عنوان معیاری از سرمایه طبیعی، معرفی الگوهای مناسب برای پیش‌بینی آن‌ها نیز به‌عنوان دیگر هدف مهم این مطالعه می‌باشد.

مبانی نظری و روش پژوهش

محاسبات دارای دو بخش می‌باشد. یکی عرضه اکولوژیکی (ظرفیت اکولوژیکی) و دیگری تقاضا از طبیعت (ردپای اکولوژیکی). در ابتدا باید مساحت‌های بدون وزن را به مساحت‌های استاندارد شده تبدیل کرد. این تبدیل با استفاده از فاکتورهای برابری و بازدهی انجام می‌شود. شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که چگونه خالص مصرف به ردپای اکولوژیکی و زمین‌های با تولیدات زیستی به ظرفیت اکولوژیکی تبدیل می‌شود. واحدهای ردپا و ظرفیت اکولوژیکی مساحت کره‌ای موسوم به gha می‌باشد (Monfreda *et al.*, 2004).

فاکتور برابری بیان‌کننده نسبت میانگین توانایی تولید بالقوه در سطح جهانی از یک محصول به میانگین توانایی تولیدی بالقوه در سطح جهانی از تمام شش جزء مورد محاسبه در ردپای اکولوژیکی است. یک واحد از فاکتور برابری که بر حسب مساحت کره‌ای بیان می‌شود شامل مقادیر گوناگونی از مساحت زمین برای کاربردهای گوناگون بیان‌شده در ردپای اکولوژیکی است. به عنوان مثال فاکتور برابری یک هکتار جنگل معادل ۱/۴ مساحت کره‌ای است و فاکتور برابری یک هکتار زمین زراعی معادل ۲/۱ مساحت کره‌ای می‌باشد. هم‌چنین، فاکتور بازدهی نشان‌دهنده نسبت بازدهی تولید در مناطق تولیدی یک کشور به میانگین جهانی بازدهی تولید است (Monfreda *et al.*, 2004).

www.SID.ir

Archive of SID

برای محاسبه ردپای اکولوژیکی، لازم است مصرف خالص از محصولات زراعی، مرتع، آبزیان، چوب جنگل، مصرف زمین برای ساخت مسکن و خدمات شهری و هم‌چنین، مصرف سوخت‌های فسیلی که نشان‌دهنده انتشار آلودگی است، با استفاده از فاکتور برابری و فاکتور بازدهی به مساحت‌های استانداردشده بر حسب شاخص مساحت کره‌ای تبدیل شود. مجموع مساحت کره‌ای بدست آمده از مصرف خالص اجزاء ذکر شده ردپای اکولوژیکی است. برای محاسبه ظرفیت اکولوژیکی مساحت زمین‌های زراعی، مراتع، مناطق صیادی، جنگل‌ها، مناطق مسکونی، مناطق تجمع انرژی طبیعی یا مناطق جذب آلودگی موجود بر حسب هکتار محاسبه شده و سپس با استفاده از فاکتور برابری و فاکتور بازدهی به مساحت‌های استانداردشده بر حسب شاخص مساحت کره‌ای تبدیل می‌شوند.

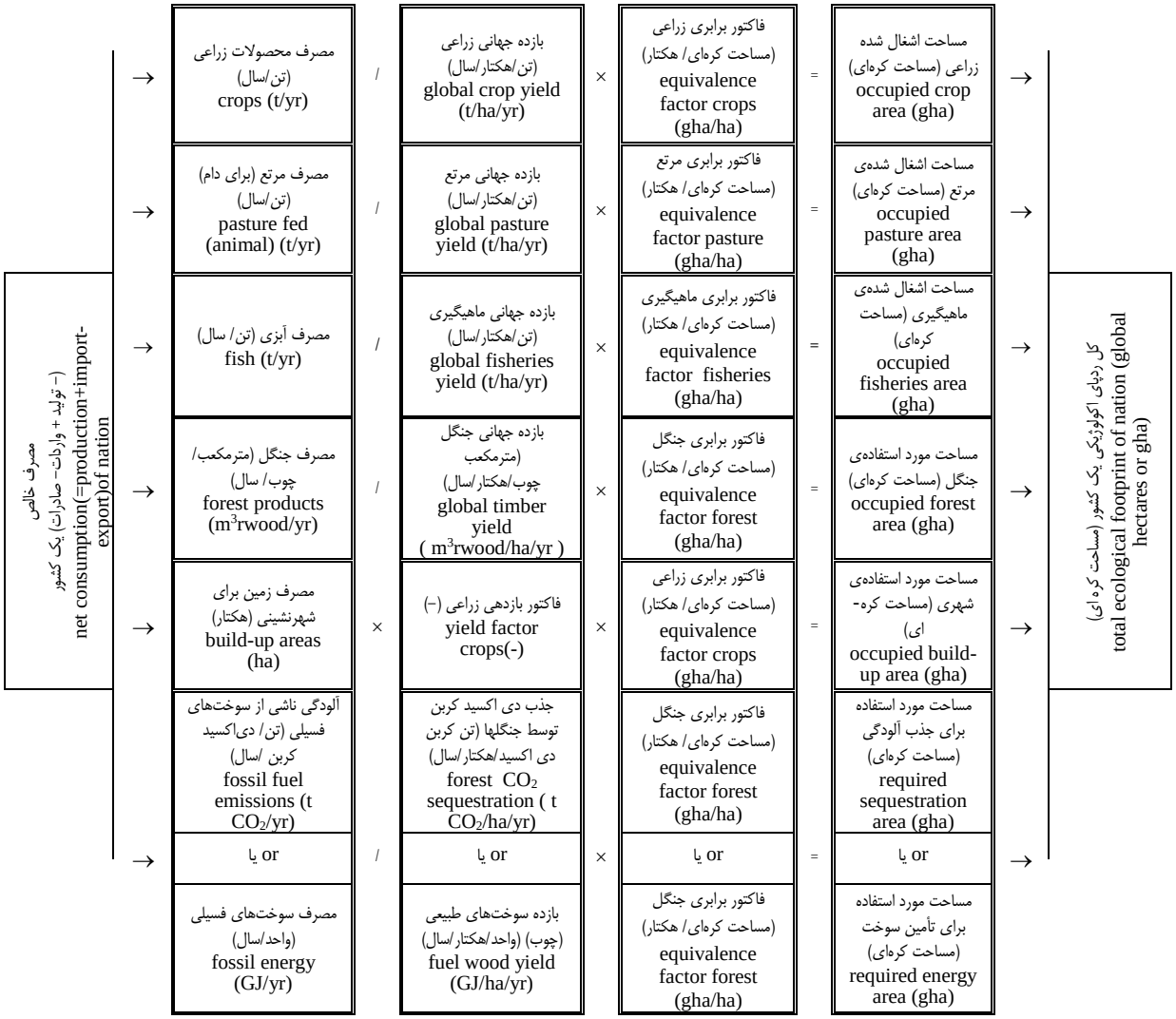
Source: Monfreda *et al.*, (2004)

شکل ۱- اجزای محاسبه ردپای اکولوژیکی

Fig. 1- Ecological footprint components

www.SID.ir

Archive of SID



Source: Monfreda *et al.*, (2004)

شکل ۲- اجزای محاسبه ظرفیت اکولوژیکی

Fig. 2- Biological capacity components

با استفاده از مفاهیم ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی شاخص‌های تنش اکولوژیکی، تصرف اکولوژیکی و تناسب اکولوژیکی- اقتصادی برای سنجش شرایط محیط‌زیست ارایه شده است (Chu *et al.*, 2017). برای محاسبه این شاخص‌ها صرفاً ردپای اکولوژیکی برای منابع تجدیدپذیر قابل

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه است. به بیان دیگر، ردپای منابع تجدیدناپذیر که تنها عامل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را شامل می‌شود در محاسبه این شاخص‌ها لحاظ نمی‌گردد. چراکه تنها یک کشور خاص به تنهایی تحت تأثیر انتشار این گاز نمی‌باشد. تنش اکولوژیکی نسبت ردپای اکولوژیکی به ظرفیت اکولوژیکی است:

$$ETI = \frac{EF}{BC} \qquad (۱)$$

که در آن ETI شاخص تنش اکولوژیکی[1]، EF ردپای اکولوژیکی (بدون محاسبه انتشار دی-اکسیدکربن) و BC ظرفیت اکولوژیکی است. شاخص دیگر تصرف اکولوژیکی نام دارد که نشان-دهنده سهم ردپای اکولوژیکی هر فرد ایرانی از میانگین جهانی ردپای اکولوژیکی است:

$$EOI = \frac{EF}{\overline{EF}} \qquad (۲)$$

در این رابطه EOI شاخص تصرف اکولوژیکی[2] و $\overline{EF}$ میانگین جهانی ردپای اکولوژیکی است. سومین شاخص نیز تناسب اکولوژیکی- اقتصادی[3] ($EECI$) است که حاصل تقسیم شاخص تصرف اکولوژیکی بر تنش اکولوژیکی می‌باشد.

$$EECI = \frac{ETI}{EOI} \qquad (۳)$$

بر اساس مقادیر محاسبه‌شده این شاخص‌ها و مقایسه آن‌ها با مقادیر استاندارد پیشنهادی مطالعه(2017) Chu *et al.* می‌توان در مورد شرایط اکولوژیکی هر منطقه قضاوت نمود. مقادیر استاندارد پیشنهادی به‌صورت جدول زیر است:

جدول ۱- مقادیر استاندارد شاخص‌های امنیت اکولوژیکی

Table 1- Rating standard of ecological security indices

سطح LEVEL	تنش اکولوژیکی ECOLOGICAL TENSION	وضعیت امنیت SECURE STATE	تصرف اکولوژیکی ECOLOGICAL OCCUPANCY	وضعیت امنیت SECURE STATE	تناسب اکولوژیکی ECOLOGICAL COORDINATION	وضعیت امنیت SECURE STATE
۱	> 2.00	بسیار خطرناک	< 0.50	بسیار ضعیف	< 1.00	بسیار ضعیف
۲	1.51-2.00	خطرناک	0.51-1.00	ضعیف	1.01-2.00	ضعیف
۳	1.01-1.50	تقریباً خطرناک	1.01-2.00	تقریباً ضعیف	2.01-3.00	تقریباً ضعیف
۴	0.81-1.00	تقریباً ایمن	2.01-3.00	تقریباً غنی	3.01-4.00	تقریباً خوب
۵	0.51-0.80	ایمن	3.01-4.00	غنی	4.01-8.00	خوب
۶	< 0.50	بسیار ایمن	> 4.00	بسیار غنی	> 8.00	بسیار خوب

Source: Chu *et al*. (2017)

[1]-Ecological Tension Index
[2]-Ecological Occupancy Index
[3]-Ecological Economic Coordination Index

www.SID.ir

Archive of SID

محاسبه ردپای اکولوژیکی مستلزم انجام محاسبات زیاد و دسترسی به داده‌های فراوان است. در صورتی که بتوان الگوی رفتار این متغیر را با ابزاری مانند الگوهای پیش‌بینی برآورد کرد بسیار مطلوب خواهد بود. از همین‌رو، در این مطالعه پس از محاسبه شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی بر اساس اجزای آن‌ها توان پیش‌بینی مدل‌های ARMA و شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی شد.

مدل‌های پیش‌بینی

بمنظور پیش‌بینی سری‌های ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی و هم‌چنین، شاخص‌های معرفی‌شده از مدل اقتصادسنجی ARMA و هم‌چنین مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. به طور کلی یک مدل عمومی ARMA (p,q) برای سری y به صورت زیر قابل ارایه است :

$$y_t = \theta + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + ... + \alpha_p y_{t-p} + \beta_0 u_t - \beta_1 u_{t-1} - \beta_2 u_{t-2} - ... - \beta_q u_{t-q} \quad (۴)$$

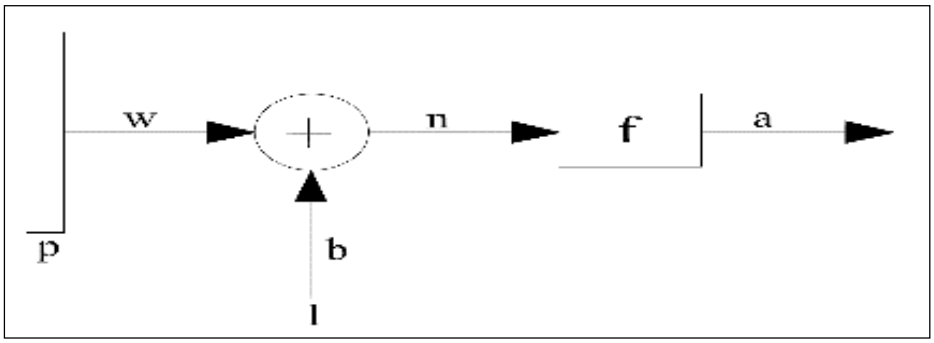
از مهم‌ترین چالش‌ها در الگوی فوق انتخاب مرتبه وقفه‌ها یا انتخاب p و q می‌باشد. Enderse (2004) در مقایسه با سایر مطالعات رهنمون جامع‌تری را ارایه کرده است. روش ارایه شده در این رهیافت مبتنی بر ویژگی‌های تابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزیی (PACF) است. این روش را در حالت کلی می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- در یک فرآیند ARMA (p,q)، تابع خودهمبستگی پس از وقفه q محو می‌شود. پس از این وقفه خودهمبستگی کاهش می‌یابد. این کاهش را می‌توان با نگاه به ضریب خودهمبستگی بررسی کرد.
- در یک فرآیند ARMA (p,q)، تابع خودهمبستگی جزیی پس از وقفه q محو می‌شود.
- بر اساس این روش در مورد برخی از سری‌ها می‌توان به چند فرآیند گوناگون مشکوک بود که در این صورت برای انتخاب از میان آن‌ها می‌توان از آماره‌های تشخیص استفاده کرد.

شبکه عصبی مصنوعی شامل مجموعه‌ای از نرون‌های متصل به‌هم می‌باشد که به مجموعه این نرون‌ها لایه گفته می‌شود. نرون‌ها اساس عملکرد شبکه عصبی مصنوعی می‌باشند (Menhaj, 1998). به‌طور کلی یک شبکه عصبی مصنوعی از لایه ورودی که فقط داده‌ها را دریافت می‌کند، لایه خروجی که همانند متغیر وابسته است و لایه پنهان که صرفاً نشان‌دهنده نتیجه میانی در فرآیند محاسبه ارزش خروجی است، تشکیل شده است. شکل ۳ ساختار نرون تک ورودی را نشان می‌دهد که در آن p ورودی و a، خروجی نرون هستند (Menhaj, 1998).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مدل نرون تک ورودی
Fig. 3- A single-input neuron model

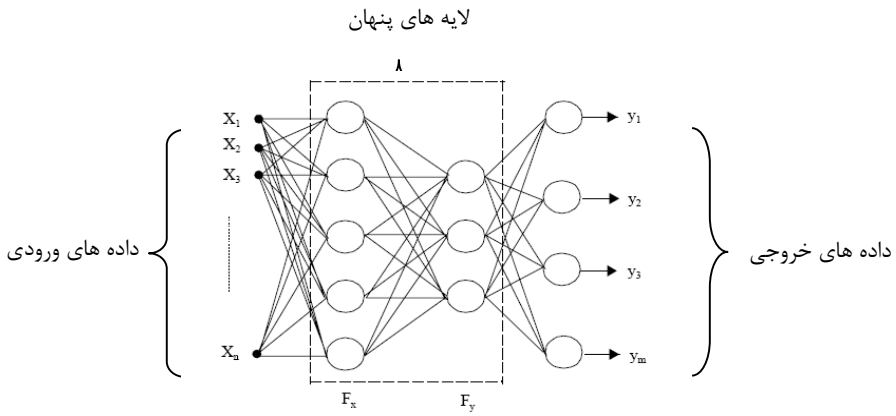
بر اساس شکل ۳، w تعیین‌کننده تأثیر p روی a است. هم‌چنین، ورودی ثابت ۱ در جمله b ضرب شده و سپس با wp جمع می‌شود. در نتیجه جمع ورودی خالص n، برای تابع فعال‌سازی (محرک) f ، است. بدین ترتیب خروجی نرون بصورت معادله (۵) تعریف می‌شود (Menhaj, 1998):

$$a = f(wp + b) \qquad (۵)$$

به‌طور کلی یک نرون نمی‌تواند برای حل مسئله کافی باشد. بنابراین استفاده از چند نرون به‌عنوان لایه لازم است. نرون‌ها از راههای متفاوت می‌توانند به هم متصل شوند و شبکه‌های عصبی با ساختارهای گوناگونی ایجاد کنند؛ بنابراین، انواع گوناگونی از شبکه‌های عصبی بوجود آمده است. شبکه‌های عصبی پیش‌خور کاربردی‌ترین نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی هستند (Tarazkar and Esmaeili, 2011). در مطالعات دیگری از جمله Honar and Tarazkar (2007) و Esfahanian and Amin Naseri (2008) نیز بر استفاده از شبکه پیش‌خور تأکید شده است. در این مطالعه از شبکه پیش‌خور پس‌انتشار استفاده شد. شکل ۴ نشان‌دهنده یک شبکه پیشخور پس‌انتشار است که در آن X بردار داده‌های ورودی، Y بردار داده‌های خروجی و F تابع عملگر است که پردازش بر روی داده‌ها را انجام می‌دهد (Ileana *et al.*, 2004).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- ساختار شبکه پیشخور پس انتشار با دو لایه پنهان

Fig. 4- Feed forward back propagation network with two hidden layers

متغیرها و داده ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل سرانه مصرف محصولات زراعی، سرانه مصرف علوفه برای تولید محصولات دامی، سرانه مصرف آبزیان، سرانه مصرف چوب و هم‌چنین سرانه انتشار دی‌اکسیدکربن جهت محاسبه ردپای اکولوژیکی است. هم‌چنین، جهت محاسبه ظرفیت اکولوژیکی از سرانه مساحت زمین‌های زراعی و مراتع، سرانه مساحت دریاها و دریاچه‌ها، سرانه مساحت جنگل‌ها به‌عنوان تولیدکنندگان چوب و هم‌چنین، به عنوان مناطق جذب‌کننده آلودگی دی‌اکسیدکربن استفاده شده است. دوره مورد مطالعه از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۴ می‌باشد. داده‌ها از پایگاه ردپای اکولوژیکی[1] و هم‌چنین فائو[2] قابل استخراج است.

نتایج و بحث

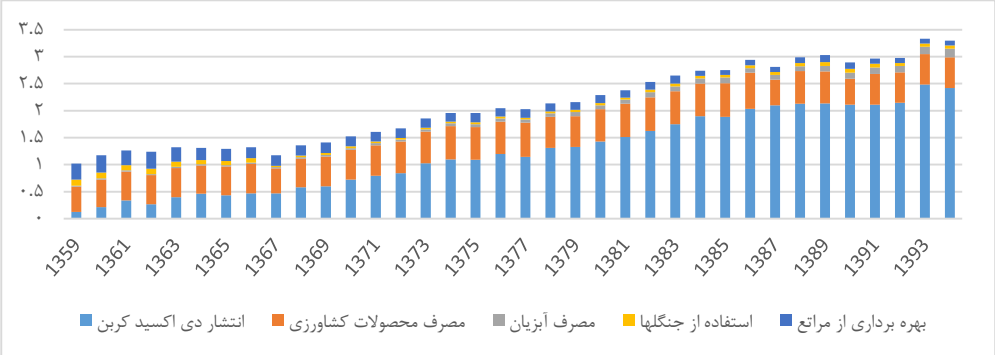
در این بخش ابتدا مقادیر محاسبه‌شده شاخص‌های بیانگر سرمایه طبیعی ارایه و روند آن‌ها تحلیل شده است. سپس توانایی الگوهای پیش‌بینی در برآورد مقادیر خارج از دوره این شاخص‌ها ارزیابی شده است.

[1]-Global Footprint Network (2015)
[2]-FAO (Food and Agriculture Organization) (2015)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۵ سرانه ردپای اکولوژیکی و اجزای آن را در ایران نشان می‌دهد. ردپای اکولوژیکی ایران از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۷ (در سال‌های جنگ تحمیلی) رشد آهسته‌ای داشته؛ به‌طوری که طی این سال‌ها تنها معادل ۰/۱۷ gha افزایش یافته است (Central Bank of Iran, 2015). این افزایش عمدتاً ناشی از افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن بوده است، اما از سال ۱۳۶۷ تا سال ۱۳۷۴ سرانه ردپای اکولوژیکی ایران سالانه ۶ درصد رشد نشان می‌دهد. این افزایش بالا نیز مبتنی بر انتظار است زیرا اتمام جنگ و شروع بازسازی و برگشت ظرفیت‌های تولید به چرخه اقتصاد با افزایش مصرف نهاده‌ها و بویژه انرژی همراه بوده است. در ادامه از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۴ سرانه ردپای اکولوژیکی سالانه ۳ درصد و در طول نه سال بعد (۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲) سالانه ۱ درصد رشد را تجربه کرده است، اما طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ این عدد ۰/۳ gha می‌باشد که حاکی از رشدی معادل سالانه ۴/۵ درصد است. به‌طور کلی ردپای اکولوژیکی ایران طی دوره مورد بررسی بیش از ۲/۵ برابر شده است که عمدتاً مربوط به افزایش انتشار آلودگی است.



شکل ۵- مقادیر ردپای اکولوژیکی و اجزای آن (gha) در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 5- Ecological footprint and its components(gha) in the period of 1980-2015

مهم‌ترین جزء شاخص ردپای اکولوژیکی انتشار دی‌اکسیدکربن است (شکل ۵). در سال ۱۳۵۹ به ازای هر نفر معادل ۰/۱۲ gha دی‌اکسیدکربن انتشار یافته است و این رقم تا سال ۱۳۹۴ به ۲/۴۲ gha افزایش یافته است. یعنی سالانه ۲/۷ درصد رشد داشته است؛ در حالی که رشد اقتصادی ایران در این دوره کم‌تر از ۲ درصد بوده است (Central Bank of Iran, 2015). حامل‌های انرژی مهم‌ترین منشأ انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران بشمار می‌رود (Farajzadeh and Bakhshoodeh, 2015). جزء دیگر ردپای اکولوژیکی توانایی محیط‌زیست برای جذب آلودگی است. به‌طور کلی

www.SID.ir

Archive of SID

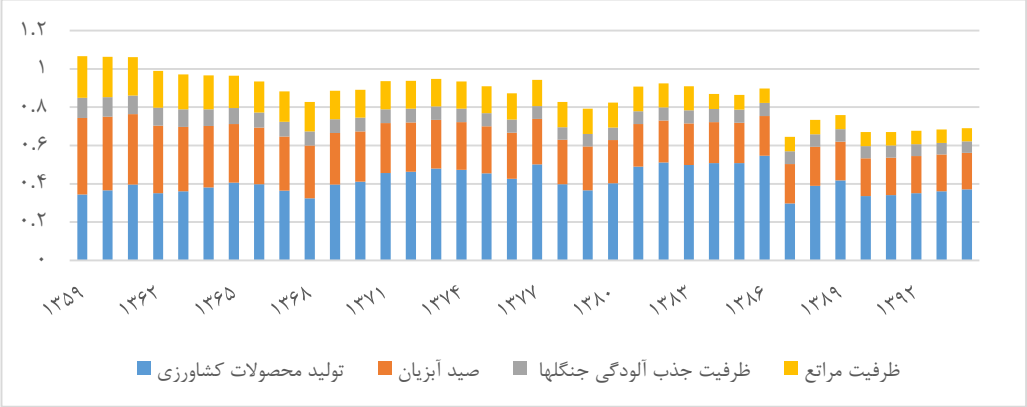
ظرفیت جذب آلودگی در دوره مورد بررسی سالانه ۱ درصد کاهش یافته است. از دلایل این کاهش در توانایی جذب آلودگی که عمدتاً توسط جنگل‌ها انجام می‌شود می‌توان به کاهش مساحت جنگل‌های طبیعی و کاهش تراکم جنگل‌ها اشاره کرد. تخریب جنگل‌ها و مراتع ایران در ۳۰ سال اخیر حدود ۲۲۵ میلیون مترمکعب بوده است (Heydarnejad *et al.*, 2011).

در ادامه به سرانه مصرف محصولات زراعی و توانایی تولید محصولات زراعی بر حسب gha می‌پردازیم. سرانه مصرف در شکل ۵ و سرانه تولید در شکل ۶ آمده است. سهم مصرف محصولات زراعی از کل ردپای اکولوژیکی در ایران از ۴۵ درصد در سال ۱۳۵۹ به ۱۵ درصد در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است؛ در حالی که سهم تولید محصولات زراعی از کل ظرفیت اکولوژیکی در این دوره از حدود ۳۵ درصد به ۶۰ درصد افزایش یافته است. در ابتدای دوره مقدار مصرف معادل ۰/۱۳ gha بیش از مقدار تولید بوده که این رقم تا پایان دوره به ۰/۲۰ gha می‌رسد. تولید محصولات زراعی در ایران در ابتدای دوره به ازای هر نفر معادل ۰/۳۴ gha بوده است در حالی که مقدار مصرف هر فرد از محصولات زراعی در آن سال معادل ۰/۴۷ gha بدست آمده است. در سال ۱۳۹۴ مقدار مصرف هر فرد معادل ۰/۵۷ gha برآورد شده است؛ که نشان‌دهنده ۱۸ درصد افزایش در کل دوره است. هم‌چنین، تولید محصولات زراعی در انتهای دوره به ازای هر فرد معادل ۰/۳۷ gha به دست آمده است. به بیان دیگر سرانه تولید محصولات زراعی در سال‌های مورد بررسی ۲ درصد افزایش یافته است.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشخص است مقدار بهره‌برداری از مراتع در سال ۱۳۵۹ به ازای هر فرد حدود ۰/۲ gha بوده که تا سال ۱۳۹۴ به کم‌تر از ۰/۱ gha کاهش یافته است. مقدار بهره‌برداری از مراتع در سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۴ همواره دارای روند نزولی بوده است. به همین ترتیب ظرفیت مراتع نیز از ۰/۲۱ gha در سال ۱۳۵۹ به ۰/۰۶ gha در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است (شکل ۶). یکی دیگر از اجزای مهم مقدار مصرف آبزیان و هم‌چنین ظرفیت دریاهای ایران برای برداشت است. به‌طور کلی مصرف آبزیان رشد آهسته‌ای نشان می‌دهد و از ۰/۰۲ gha در ابتدای دوره به ۰/۱۵ gha در انتهای دوره افزایش یافته است (شکل ۵). یعنی به‌طور میانگین سالانه ۲/۵ درصد رشد داشته است. در حالی که ظرفیت دریاها همواره کاهشی بوده و از ۰/۴ gha به ۰/۱۹ gha کاهش یافته است (شکل ۶). در سال ۱۳۵۹ توانایی دریاها برای تأمین مصرف، ۰/۳۸ gha بیش‌تر از مصرف بوده است، اما در انتهای دوره، اختلاف این دو شاخص به حدود ۰/۰۴ gha کاهش یافته است. روند کلی شاخص ظرفیت اکولوژیکی در دوره مطالعه کاهشی است و با کاهش سالانه ۱ درصدی از ۱/۰۶ به ۰/۷ رسیده است (شکل ۶).

www.SID.ir

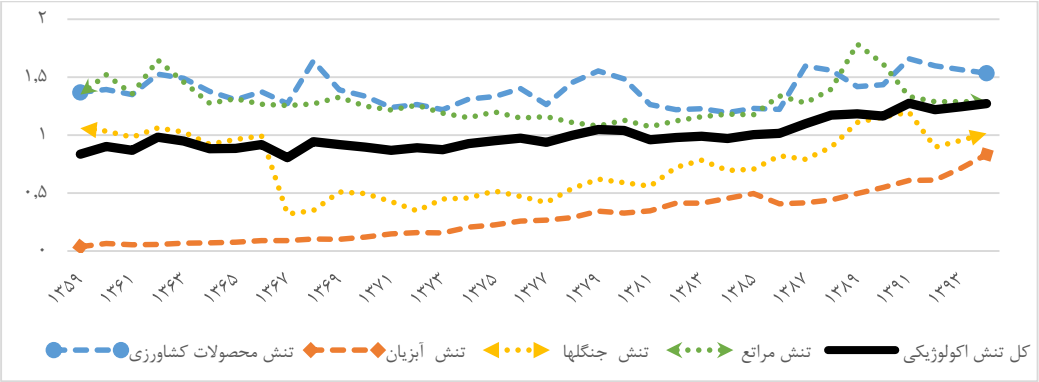
Archive of SID



شکل ۶- مقادیر ظرفیت اکولوژیکی و اجزای آن (gha) در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 6- Biological capacity index and its components (gha) in the period of 1980-2015

در این بخش یافته‌های حاصل از برآورد شاخص‌های تنش و تصرف اکولوژیکی و هم‌چنین، تناسب اکولوژیکی- اقتصادی ارایه شده است. مقادیر شاخص تنش اکولوژیکی به تفکیک اجزا در شکل ۷ آمده است. لازم به ذکر است که این شاخص دی‌اکسیدکربن را در بر نمی‌گیرد.



شکل ۷- مقادیر شاخص تنش اکولوژیکی و اجزای آن در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 7- Ecological tension index and its components in the period of 1980-2015

کل تنش اکولوژیکی ایران با رشد سالانه تقریباً ۱ درصد از ۰/۸۳ در سال ۱۳۵۹ به ۱/۲۷ در سال ۱۳۹۴ افزایش یافته است که نشان می‌دهد وضعیت ایران از نظر منابع طبیعی و محیط‌زیست در سال ۱۳۵۹ تقریباً ایمن بوده است، اما از سال ۱۳۸۵ در شرایط تقریباً خطرناک قرار گرفته

www.SID.ir

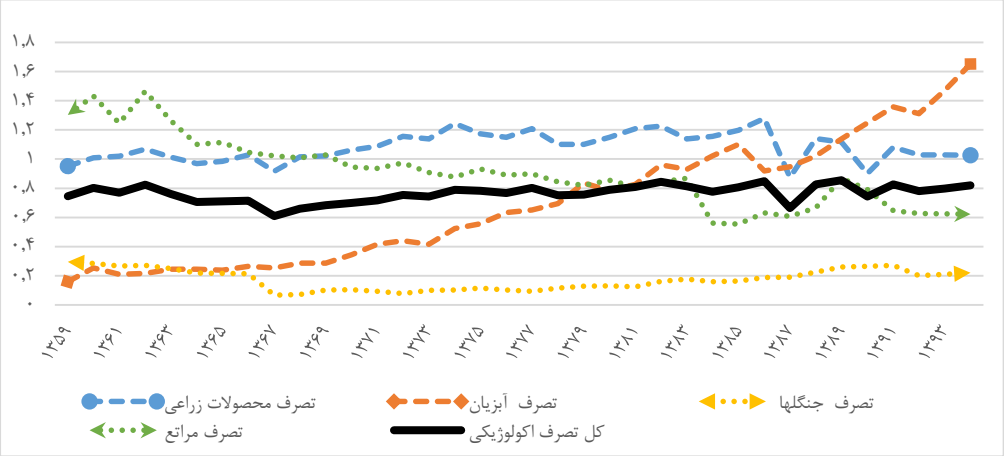
Archive of SID

است. شاخص تنش محصولات کشاورزی و مراتع بالاتر از شاخص کل بوده است، اما تنش جنگل‌ها و آبزیان با وجود افزایش در دوره مطالعه همواره پایین‌تر از مقدار تنش کل قرار گرفته است. تنش آبزیان هرچند که پیوسته درحال افزایش بوده، اما همواره در شرایط تقریباً ایمن قرار داشته است. درباره تنش جنگل‌ها نیز می‌توان به نوسان شدیدی که در سال ۱۳۶۷ رخ داده است اشاره کرد. در ادامه از سال ۱۳۶۷ تنش جنگل‌ها رو به افزایش بوده و در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲ در شرایط تقریباً خطرناک قرار گرفته است، اما دوباره کاهش یافته و در سال ۱۳۹۴ به عدد ۱/۱ رسیده است. برخلاف تنش جنگل‌ها تنش محصولات کشاورزی و مراتع در این سال‌ها همواره بیش‌تر از ۱ بوده که نشان‌دهنده استفاده بیش‌تر از حد ظرفیت طبیعت برای تولید و احیاء است. مقدار شاخص تنش محصولات کشاورزی در سال ۱۳۵۹ معادل ۱/۳ بوده و تا سال ۱۳۹۴ به ۱/۵۳ افزایش یافته است، اما تنش مراتع همواره رو به کاهش بوده و ۱/۳۴ به ۱/۰۴ کاهش یافته است.

در شکل ۸ شاخص تصرف اکولوژیکی و اجزای آن ترسیم شده است. مقدار کل تصرف اکولوژیکی ایران در سال ۱۳۵۹ معادل ۰/۷۴ بوده که در سال ۱۳۹۴ به ۰/۸۲ افزایش یافته است؛ البته این افزایش بسیار آهسته بوده است. مقدار شاخص تصرف اکولوژیکی برای جنگل‌ها در سال‌های مورد بررسی از ۰/۲۹ به ۰/۲۲ رسیده است که می‌تواند نشان‌دهنده سطح پایین مصرف در مقایسه با میانگین جهانی باشد. گفتنی است که بخش عمده‌ای از محصولات حاصل از جنگل از راه واردات تأمین می‌شود (Layani and Esmaeili, 2013) و می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت ضعیف جنگل‌های ایران باشد. اما مقدار تصرف آبزیان که در سال ۱۳۵۹ معادل ۰/۱۶ بوده، همواره افزایش یافته و با رشد سالانه ۲/۶ درصد در انتهای دوره به ۱/۶۵ رسیده است که در بین تمام اجزای این شاخص، دارای بالاترین رقم است. این افزایش می‌تواند نشان‌دهنده بهبود وضعیت این متغیر بر اساس مصرف و در عین حال بیانگر افزایش فشار بر این منابع نیز باشد. شاخص تصرف مراتع نیز نشان‌دهنده وضعیت تقریباً ضعیف برای این شاخص می‌باشد. شاخص تصرف محصولات کشاورزی نیز که در سال ۱۳۵۹ معادل ۰/۹۵ بوده به ۱/۰۲ در سال ۱۳۹۴ رسیده است.

www.SID.ir

Archive of SID



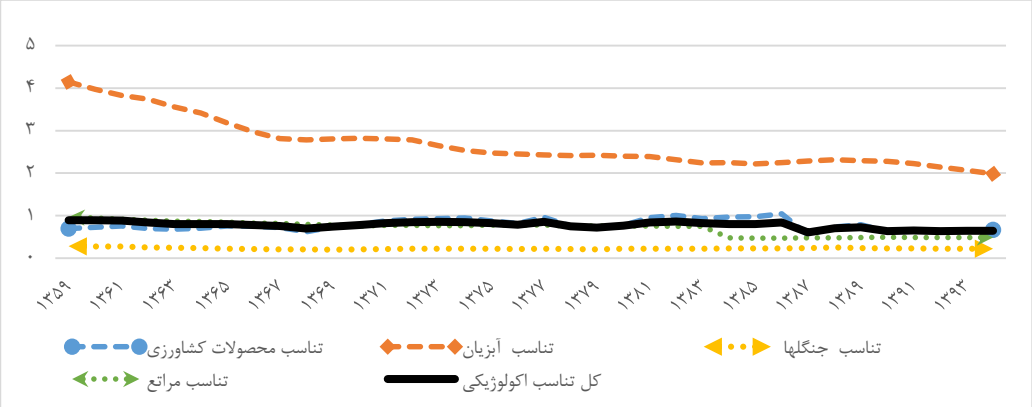
شکل ۸- مقادیر شاخص تصرف اکولوژیکی و اجزای آن در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 8- Ecological occupancy index and its components in the period of 1980-2015

شاخص "تناسب اکولوژیکی- اقتصادی" نیز که مصرف را ضمن در نظرگرفتن تنش وارد شده به محیط‌زیست و هم‌چنین مقدار هماهنگی توسعه اقتصادی- اجتماعی و محیط‌زیست نشان می‌دهد در شکل ۹ آمده است. تناسب اکولوژیکی ایران در سال ۱۳۵۹، ۰/۸۹ بوده و درسال ۱۳۹۴ معادل ۰/۶۵ بدست آمده است که نشان می‌دهد وضعیت اکولوژیکی ایران در شرایط بسیار ضعیف قرار دارد. در تمام دوره نیز مقدار این شاخص نوسان چندانی نشان نمی‌دهد. هرچند شاخص تصرف در سطح بالایی قرار ندارد، اما به نظر می‌رسد در مقایسه با تنش وارد شده به محیط‌زیست مقدار آن پایین نمی‌باشد. به گونه‌ای که موجب پایین آمدن شاخص تناسب شده است. تناسب آبزیان در طول این سال‌ها همواره کاهش یافته؛ به‌گونه‌ای که از وضعیت خوب به شرایط تقریباً ضعیف رسیده است. پیش‌تر مشاهده شد که شاخص تصرف آبزیان رو به افزایش بوده است، اما از سوی دیگر افزایش تنش فراتر از افزایش تصرف موجب کاهش شاخص تناسب شده است. تناسب جنگل‌ها نیز همواره کاهش یافته و از ۰/۲۷ به ۰/۲۲ رسیده است. هم‌چنین، در خصوص مراتع و محصولات کشاورزی این رقم در سال ۱۳۵۹ به ترتیب معادل ۰/۹۷ و ۰/۷۰ بوده که در سال ۱۳۹۴ به ۰/۴۸ و ۰/۶۸ رسیده است. این تغییرات نشان می‌دهد که فشار بر مراتع بیش از فشار بر محصولات کشاورزی بوده است.

www.SID.ir

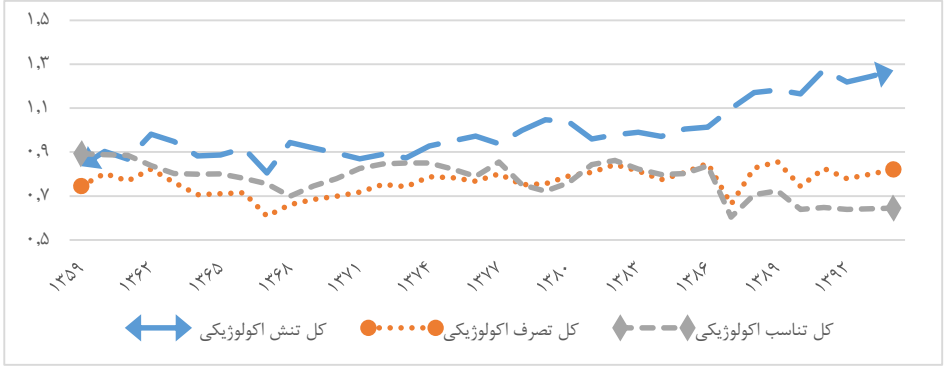
Archive of SID



شکل ۹- مقادیر شاخص تناسب اقتصادی – اکولوژیکی و اجزای آن در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 9- Ecological-Economic coordination index and its components in the period of 1980-2015

در نهایت، با کنار هم قراردادن این سه شاخص، وضعیت امنیت اکولوژیکی ایران مشخص می‌شود (شکل ۱۰). گفتنی است که تنها وضعیت کل امنیت اکولوژیکی ایران ارایه شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ آمده است، کل تنش اکولوژیکی ایران در دوره مورد بررسی همواره درحال افزایش بوده و از ۰/۹۰ به ۱/۲۷ رسیده است، اما در مورد شاخص تصرف اکولوژیکی روند چندان پیوسته‌ای دیده نمی‌شود. به‌گونه‌ای که از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۷ رو به کاهش بوده و از ۰/۷۴ به ۰/۶۰ رسیده است، اما پس از آن تا سال ۱۳۹۴ این رقم به ۰/۸۲ افزایش یافته است. مقدار تناسب اکولوژیکی نیز از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۶۷ همگام با تصرف اکولوژیکی معادل ۲۹ درصد کاهش یافته، اما از سال ۱۳۶۷ تا ۱۳۷۴ مقدار این شاخص با افزایش ۱۸ درصدی روبه‌رو بوده است. مقدار این شاخص در دوره ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴ از ۰/۸۵به ۰/۶۴ کاهش یافته است.



شکل ۱۰- وضعیت امنیت اکولوژیکی ایران در دوره ۹۴-۱۳۵۹

Fig. 10- Ecological security of Iran in the period of 1980-2015

www.SID.ir

Archive of SID

پیش‌بینی شاخص‌ها

در ادامه یافته‌های حاصل از پیش‌بینی شاخص‌های مورد استفاده برای سرمایه طبیعی شامل ردپای اکولوژیکی، ظرفیت اکولوژیکی، تنش اکولوژیکی، تصرف اکولوژیکی و تناسب اکولوژیکی - اقتصادی ارایه شده است. لازم به توضیح است که پیش‌بینی سری‌های یادشده با استفاده از دو مدل ARMA و شبکه عصبی مصنوعی صورت گرفته است. در خصوص الگوی ARMA بر اساس روش پیشنهادی Enderse (2004) مشخص گردید تمام سری‌های یاد شده در سطح ایستا بوده و تنها از الگوی AR(1) تبعیت می‌کنند. هم‌چنین در الگوی شبکه عصبی مصنوعی از شبکه پیش‌خور پس‌انتشار استفاده شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی خارج از دوره برای دوره ۹۴-۱۳۹۲ در جدول ۲ ارایه شده است.

بر اساس تمامی معیارهای سنجش دقت پیش‌بینی، توان پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تمامی شاخص‌های سرمایه طبیعی بالاتر می‌باشد. به گونه‌ای که در مورد دو شاخص ردپای اکولوژیکی و تنش اکولوژیکی خطای پیش‌بینی کم‌تر از ۱ درصد حاصل شده است. در حالی‌که پایین‌ترین خطای پیش‌بینی توسط مدل ARMA برای شاخص تنش اکولوژیکی بدست آمده است که حدود ۲/۵ درصد است. بالاترین تفاوت در توان پیش‌بینی دو مدل نیز در مورد همین دو شاخص مشاهده می‌شود. زیرا در مورد سه شاخص دیگر درصد خطای پیش‌بینی الگوی ARMA کم‌تر از دو برابر مدل شبکه عصبی مصنوعی است. البته، همان‌گونه که آماره آزمون ماریانو-دیوبلد (DM) نشان می‌دهد تفاوت توانایی پیش‌بینی تنها در مورد دو شاخص ظرفیت اکولوژیکی و تناسب اکولوژیکی دارای اهمیت آماری است.

به‌طور جزئی‌تر و بر اساس معیار MAPE، دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای شاخص‌های ردپای اکولوژیکی و تنش اکولوژیکی نسبت به سایر شاخص‌ها بالاتر است. در حالی که دقت پیش‌بینی مدل ARMA برای شاخص‌های تنش اکولوژیکی و تصرف اکولوژیکی نسبت به سایر شاخص‌ها بیش‌تر است، اما با توجه به معیار RMSE، دقت پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای شاخص ظرفیت اکولوژیکی و تنش اکولوژیکی بالاتر است و برای مدل ARMA، شاخص‌های تنش و تصرف اکولوژیکی نسبت به دیگر شاخص‌ها خطای کم‌تری دارند. گفتنی است که دقت پیش‌بینی برای شاخص‌های تنش و تصرف اکولوژیکی نزدیک به مقادیر ظرفیت اکولوژیکی است. الزاماً بر اساس تمام معیارهای پیش‌بینی رتبه‌بندی یکسانی بدست نمی‌آید. برای مثال در حالی که بر اساس معیار RMSE خطای پیش‌بینی ردپای اکولوژیکی بالاترین مقدار است در مورد MAPE خطای پیش‌بینی به‌دست آمده برای این شاخص در حد میانی سایر شاخص‌های منتخب قرار دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه دقیق نتایج نشان می‌دهد، در مورد شاخص RMSE خطای بالای پیش‌بینی برای سال ۱۳۹۳ با توجه به آن‌که در محاسبه این معیار از توان دوم خطا استفاده می‌شود، موجب ایجاد چنین مقدار بالایی برای RMSE شده است. در همین راستا در مورد شاخص تناسب اکولوژیکی با وجود درصد خطای پیش‌بینی (MAPE) بالاتر از سایر شاخص‌ها به دلیل توزیع خطا در هر سه دوره پیش‌بینی، مقدار معیار RMSE پایین‌تر به‌دست آمده است. در یک جمع‌بندی می‌توان چنین عنوان کرد که بر اساس نتایج مدل ARMA اغلب معیارها بالاترین دقت پیش‌بینی را به شاخص تنش اکولوژیکی نسبت می‌دهند و در رتبه دوم شاخص تصرف اکولوژیکی قرار دارد. به همین ترتیب رتبه سوم به شاخص ظرفیت اکولوژیکی تعلق دارد. در انتها نیز دو شاخص ردپای اکولوژیکی و تناسب اکولوژیکی قرار دارد که با رعایت احتیاط می‌توان گفت پیش‌بینی شاخص تناسب اکولوژیکی متضمن خطای بالاتری خواهد بود. این جمع‌بندی برای مدل شبکه عصبی مصنوعی نیز به این ترتیب خواهد بود که معیارها بیش‌ترین دقت پیش‌بینی را به شاخص تنش اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی نسبت می‌دهند. هم‌چنین، دقت پیش‌بینی برای شاخص تصرف اکولوژیکی و ردپای اکولوژیکی نزدیک به دو شاخص پیش می‌باشد. در انتها نیز پیش‌بینی شاخص تناسب اکولوژیکی با خطای بالاتر دیده می‌شود.

در حالی که تنش اکولوژیکی توسط هر دو مدل با دقت بالاتری پیش‌بینی شده است و دقت پیش‌بینی برای شاخص تصرف اکولوژیکی در مقایسه با سایر شاخص‌ها در حد میانی قرار دارد، اما خطای پیش‌بینی برای شاخص تناسب اکولوژیکی در سطح بالاتری قرار دارد. بر این اساس مطلوب آن خواهد بود که به جای پیش‌بینی شاخص تناسب اکولوژیکی به صورت مستقیم و مجزا، از اجزای آن برای این منظور استفاده شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج بدست آمده از پیش‌بینی خارج از دوره (۹۴-۱۳۹۲)

Table. 2- Out of sample forecast results (2013-2015)

متغیرهای اکولوژیکی	مدل Model	مقادیر حقیقی Actual Values			مقادیر پیش‌بینی‌شده Forecasted Values			معیار سنجش خطای پیش‌بینی Forecast Error Evaluation Criterion				آماره DM
		1394	1393	1392	1394	1393	1392	Theil	MAPE	MAE	RMSE	
ردپا Footprint	ARMA	3.298	3.333	2.975	3.137	3.026	2.995	0.030	4.930	0.162	0.186	-1.20 (0.35)
	ANN (4*)	3.298	3.333	2.975	3.264	3.298	2.972	0.004	0.720	0.024	0.028	
ظرفیت Capacity	ARMA	0.691	0.684	0.677	0.758	0.734	0.706	0.027	5.720	0.036	0.038	3.81 (0.6)
	ANN(3)	0.691	0.684	0.677	0.668	0.666	0.665	0.014	2.600	0.018	0.018	
تنش Tension	ARMA	1.271	1.244	1.219	1.220	1.237	1.255	0.015	2.512	0.031	0.036	-0.09 (0.93)
	ANN(5)	1.271	1.244	1.219	1.260	1.245	1.215	0.003	0.460	0.006	0.007	
تصرف Occupancy	ARMA	0.820	0.798	0.779	0.775	0.774	0.804	0.021	3.956	0.032	0.033	0.45 (0.69)
	ANN(2)	0.820	0.798	0.779	0.787	0.776	0.764	0.016	3.000	0.025	0.024	
تناسب Coordination	ARMA	0.645	0.642	0.639	0.746	0.725	0.694	0.060	12.364	0.079	0.082	7.25 (0.02)
	ANN(4)	0.645	0.642	0.639	0.594	0.592	0.592	0.040	7.710	0.050	0.050	

*: نشان‌دهنده تعداد نرون‌ها در لایه مخفی است. مأخذ: یافته‌های پژوهش

* indicates the number of neurons in hidden layer Source: Research finings

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

برخی سرمایه طبیعی را منابع طبیعی و آن چه در محیط‌زیست برای پشتیبانی از حیات لازم است، می‌دانند (Mancini *et al.*, 2017)، اما تعریف واحدی برای سرمایه طبیعی وجود ندارد. هدف این مطالعه معرفی و تدوین شاخصی برای سرمایه طبیعی و تحلیل تغییرات آن بود. بر همین اساس پنج شاخص گوناگون معرفی و محاسبه شد. نخستین شاخص ردپای اکولوژیکی می‌باشد. ردپای اکولوژیکی مصرف یا تقاضا برای خدمات زیست‌محیطی مورد نیاز انسان برای ادامه حیات را محاسبه می‌کند (Mancini *et al.*, 2017). بر اساس این شاخص مقدار تقاضای هر فرد در دوره مطالعه بیش از سه برابر شده است. این در حالی است در مدت یادشده جمعیت ایران نیز تا حدود دو برابر افزایش یافته است (Statistical Center of Iran, 2016). در میان اجزای این شاخص نیز بیش‌ترین سهم مربوط به انتشار دی‌اکسیدکربن بود. در سال ۱۳۵۹ سهم انتشار دی‌اکسیدکربن از کل ردپای اکولوژیکی تنها ۱۲ درصد بوده که در سال ۱۳۹۴ این رقم به بیش از ۷۳ درصد رسیده است. این درحالی است که رقم متناظر در دنیا ۶۰ درصد می‌باشد (Global Footprint Network, 2015). علت اصلی افزایش ردپای اکولوژیکی افزایش مصرف و شدت استفاده از انرژی می‌باشد (Farajzadeh and Nematollahi, 2018). افزایش تقاضا برای خدمات زیست‌محیطی افزون بر درآمد می‌تواند از سیاست‌های دولت نیز متأثر شود. در خصوص ردپای اکولوژیکی مصرف انرژی به طور

www.SID.ir

Archive of SID

خاص مورد توجه است. زیرا توزیع یارانه‌ای آن موجب افزایش مصرف شده است. هر چند در دو برنامه پنج ساله توسعه اقتصادی – اجتماعی تلاش‌هایی برای اصلاح قیمت حامل‌های انرژی صورت گرفت، اما پیشرفت قابل‌ملاحظه‌ای حاصل نشد (Farajzadeh, 2018). در خصوص مصرف انرژی به گونه خاص بهبود کارایی استفاده از انرژی در سطح خانوارها که در مطالعه Farajzadeh and Bakhshoodeh (2015) نیز مورد تأکید قرار گرفته است در این‌جا نیز اکیداً توصیه می‌شود.

بمنظور ارایه تحلیل دقیق‌تر، افزون بر ردپای اکولوژیکی از ظرفیت اکولوژیکی نیز بهره گرفته شد که توانایی محیط‌زیست را برای عرضه خدمات زیست‌محیطی مورد استفاده بشر، نشان می‌دهد. مقادیر این شاخص نشان می‌دهد که توانایی محیط‌زیست برای جبران مصرف بشر از منابع طبیعی در دوره مطالعه کاهش یافته است. این در حالی است که تأکید می‌شود که همواره بخشی از ظرفیت زیست‌محیطی برای حفظ تنوع اکولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد (Hoekstra, 2009). بر این اساس می‌توان گفت همواره بر استفاده بیش‌تر از منابع زیست‌محیطی و طبیعی تمرکز شده است. کاهش ظرفیت اکولوژیکی ایران در مطالعه World Bank (2005) نیز با اشاره به تخریب محیط‌زیست مورد تأیید قرار گرفته است. در این باره نیز پیشنهاد می‌شود افزون بر ارتقاء تکنولوژی استفاده از منابع زیست‌محیطی بخشی از کالاها و خدمات زیست‌محیطی از راه واردات تأمین شود.

بخش عمده‌ای از ظرفیت اکولوژیکی ایران را تولید محصولات زراعی شامل می‌شود. اما کاهش ظرفیت اکولوژیکی ایران عمدتاً به دلیل کاهش ظرفیت صید آبزیان و مراتع به وقوع پیوسته است. ظرفیت اکولوژیکی در مقایسه با ردپای اکولوژیکی در سطح پایین‌تری قرارگرفته است و از سال ۱۳۶۰ استفاده از خدمات سرمایه طبیعی (ردپای اکولوژیکی) از ظرفیت آن پیشی گرفته است. به نظر می‌رسد در سمت عرضه خدمات اکولوژیکی و ایجاد ظرفیت امکان توصیه محدودی وجود دارد و باید بر روی تقاضای این خدمات و کاهش ردپای اکولوژیکی تمرکز صورت گیرد و در این خصوص با توجه به نقش برجسته انتشار دی‌اکسیدکربن کاهش مصرف انرژی قابل توصیه است. در این خصوص نیز همان‌طور که در مطالعه Jensen and Tarr (2003) و Farajzadeh and Bakhshoodeh (2015) مورد تأکید قرار گرفته است کاهش یارانه حامل‌های انرژی می‌تواند مساعدت نماید.

بتازگی شاخص‌هایی ارایه شده است که به کارایی استفاده از سرمایه زیست‌محیطی پرداخته‌اند. به این ترتیب که استفاده از منابع طبیعی ضمن توجه به خدمات دریافتی سنجش می‌شود. در مجموع این شاخص‌ها نشان می‌دهند در دوره مطالعه در مقایسه با میانگین جهانی هم از منابع طبیعی و زیست‌محیطی بیش‌تر استفاده شده است و هم بازده حاصل از این منابع در سطح پایین‌تری قرار داشته است. به گونه‌ای که تناسب میان فشار بر طبیعت و خدمات دریافتی از آن رو به کاهش بوده است. بویژه در مورد محصولات زراعی مشاهده شد بالاترین مقدار تنش و پایین‌ترین

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار تناسب اکولوژیکی-اقتصادی وجود دارد. در این باره سیاست‌هایی که بر تأمین نیاز داخل از راه تولید داخل تأکید دارند می‌تواند زمینه عدم تناسب را فرآهم نماید. یافته‌های مطالعه Jensen and Tarr (2003) و هم‌چنین، Farajzadeh *et al.* (2017b) نشان می‌دهد که بخش کشاورزی از نگاه حمایت و حفاظت در مقابل رقابت خارجی جزو بخش‌های حمایت‌شده می‌باشد. در این باره نیز کاهش حمایت‌ها در مقابل تجارت و تأمین بخش بیش‌تری از نیاز داخل از طریق واردات توصیه می‌شود. پیشنهاد دیگر در این باره افزایش کارایی استفاده از منابع مورد استفاده در بخش کشاورزی است. بهبود تکنولوژی می‌تواند به کاهش استفاده از منابع و کاهش فشار بر محیط‌زیست تأمین‌کننده این منابع منجر شود. در باب ضرورت افزایش کارایی و استفاده از فناوری بهتر به دو مصداق مهم می‌توان اشاره نمود. مصداق اول برای این ضرورت، سطح بالای استفاده از منابع آبی است که با لحاظ خشکسالی‌ها این ضرورت فزونی نیز خواهد یافت؛ چرا که ممکن است خشکسالی شدید حدود نیمی از آب در دسترس کشاورزی را از بین ببرد (Khiz, 2013). مصداق دیگر سطح بالای فقر و سطح پایین امنیت غذایی در ایران است که افزایش تولید و فشار بیشتر بر منابع و از جمله منابع زیست‌محیطی را تداعی می‌کند. دست‌کم ۳ تا ۴ دهک جامعه مشکل تغذیه دارند (Gharib, 2012) و ایران از نظر مجموع شاخص‌های غذایی در میان ۲۰ کشور منطقه، در وضعیت مطلوب به سر نمی‌برد (Bakhshi *et al.*, 2018). این شرایط موجب شده است تا تأمین نیاز معیشتی مردم همواره دغدغه سیاست‌گذاران باشد تا جایی که در برنامه چهارم توسعه اقتصادی-اجتماعی دولت ملکف به تأمین پروتئین مورد نیاز تا رسیدن به سطح مصرف سرانه روزانه ۲۹ گرم شده است (Dehghanpur and Bakhshoodeh, 2018). توزیع یارانه‌ای فراورده‌های پروتئینی گوشتی و حمایت از واردات نهاده‌های دامی را نیز باید از همین منظر ارزیابی نمود. یافته‌های مطالعه Rahmani *et al.* (2018) نشان داد پدیده گذار تغذیه‌ای به صورت افزایش مصرف انواع گوشت در ایران در حال وقوع است، اما توأم با فشار بر منابع طبیعی رخ خواهد داد. این پدیده از جهت تأمین امنیت غذایی و دست‌یابی به مصرف سرانه یادشده مطلوب است، اما حمایت از تولید داخلی توسط دولت می‌تواند زمینه فشار بیش‌تر بر محیط‌زیست و افزایش ردپا را بیش از پیش تشدید کند. افزایش مصرف سرانه در کنار افزایش جمعیت ضرورت افزایش کارایی تولید محصولات کشاورزی را دوباره گوشزد می‌کند.

با توجه به روند غیرمتناسب بهره‌برداری از سرمایه طبیعی و هم‌چنین، نیاز به اطلاعات زیاد برای محاسبه شاخص‌های معرفی‌شده، ضرورت داشت تا الگوی آینده آنها نیز ترسیم شود. در همین راستا در ادامه با استفاده از دو مدل ARMA و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی برای شاخص‌های یادشده انجام گرفت. در پیش‌بینی‌های انجام شده مشخص شد که توان پیش‌بینی مدل شبکه

www.SID.ir

Archive of SID

عصبی مصنوعی برای تمامی شاخص‌ها بالاتر است. بر اساس معیارهای سنجش دقت پیش‌بینی، خطای پیش‌بینی‌ها برای شاخص تناسب اکولوژیکی نسبت به دیگر شاخص‌ها بالاتر بدست آمد. یافته‌ها نشان داد شاخص تنش اکولوژیکی را می‌توان با کم‌ترین خطا (در حدود ۰/۵ درصد) پیش‌بینی کرد و خطای پیش‌بینی شاخص ردپا و ظرفیت اکولوژیکی به ترتیب کم‌تر از ۳ و کم‌تر از ۱ درصد بدست آمد. در مطالعه Wang *et al.* (2018) نیز که به پیش‌بینی دو شاخص ردپای اکولوژیکی و ظرفیت اکولوژیکی برای چین با استفاده از مدل ARMA پرداختند، خطای پیش‌بینی کمتر از ۳/۱ درصد ارزیابی شده است. با توجه به محدودیت‌ها در زمینه محاسبه اندازه سرمایه طبیعی، دقت یادشده در پیش‌بینی را می‌توان دقت مطلوبی ارزیابی نمود و استفاده از این مدل‌های پیش‌بینی برای سایر مطالعات نیز توصیه می‌شود.

Refrences

- Al-Mulali, U. & Ozturk, I. (2015). The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region. *Energy*, *84*: 382-389.
- Aşıcı, A.A. & Acar, S. (2016). Does income growth relocate ecological footprint?. *Ecological Indicators*, *61*: 707-714.
- Bakhshi, M.R., Mollaei, Z., Faraji Sabokbar, H., Badri, A., and Pakdel, F. (2018). Status of food security in CIRDAPs: An integrated approach of AHP and PROMETHEE. *Agricultural Economics and Development*, *19*(73), 21-46. (In Persian)
- Behboodi, D. Asgharpoor, H. & Mamipour, S. (2009). Natural resource abundant, human capital and economic growth in petroleum exporting countries. *Iranian Journal of Economic research*, *13*(40): 125-147. (In Persian)
- Central Bank of Iran, (2015). Available at: http://tsd.cbi.ir/Display/Content.aspx.
- Chu, X. Deng, X. Gui, J. & Li. Z. (2017). Ecological security assessment based on ecological footprint approach in Beijing-Tianjin-Hebei region, China. *Physics and Chemistry of the Earth*. Parts A/B/C, *101*: 43-51.
- Costantini, V. & Monni, S. (2008). Environment human development and economic growth. *Ecological Economics*, *64*(4): 867-880.
- Dehghanpur, H., and Bakhshoodeh, M. (2018). Investigating the welfare effects caused by price changes of protein-consumed food stuffs in urban households. *Agricultural Economics and Development*, *25*(99): 151-167. (In Persian)
- Enderse, W. (2004). *Appliec econometrics time series*, John Wiley and Sons, Inc.

www.SID.ir

Archive of SID

- Esfahanian, M., and Amin Naseri, M.R. (2008). Presenting a neural network model for short-term forecast of crude oil prices. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, *19*(1): 27-35. (In Persian)
- Farajzadeh, Z. (2018), Emissions tax in Iran: Incorporating pollution disutility in a welfare analysis. *Journal of Cleaner Production*, *186*: 618-631.
- Farajzadeh, Z. Amadeh, H. & Omrani, M. (2017a). Determinants of Iranian economic growth. *Journal of Economic Research*, *52*(3): 663-686. (In Persian)
- Farajzadeh, Z. & Bakhshoodeh, M. (2015). Economic and environmental analyses of Iranian energy subsidy reform using Computable General Equilibrium (CGE) model. *Energy for Sustainable Development*, *27*: 147-154.
- Farajzadeh, Z. & Nematollahi, M.A. (2018). Energy intensity and its components in Iran: Determinants and trends. *Energy Economics*, *73*: 161-177.
- Farajzadeh, Z. Zhu, X. & Bakhshoodeh, M. (2017b). Trade reform in Iran for accession to the World Trade Organization: Analysis of welfare and environmental impacts. *Economic Modelling*, *63*: 75-85.
- Fiala, N. (2008). Measuring sustainability: Why the ecological footprint is bad economics and bad environmental science. *Ecological Economics*, 67(4): 519-525.
- FAO (Food and Agriculture Organization), (2015). Avaalable at: http://www.fao.org/faostat/en/#home.
- Gharib, H. (2012). The perspective of food security in the Islamic Republic of Iran. *Strategy*, 65: 345-369. (In Persian)
- Global Footprint Network, (2015). Avaalable at: https://www.footprintnetwork.org/our-work/countries/.
- He, J. & Richard, P. (2010). Environmental Kuznets curve for CO_2 in Canada. *Ecological Economics*, *69*(5): 1083-1093.
- Heydarnejad, M. Heidari, M. & Zare Ernani, M. (2011). An analysis of the process of forest degradation in Iran. Regional Conference on Forests and the Environment Promoting Sustainable Development. Available at: https://www.Civilica.com/paper-RCFESSD01- RCFESSD01_017.html. (In Persian)
- Hoekstra, A.Y. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, *68*(7): 1963-1974.
- Honar, T. & Tarazkar, M.H. (2007). Application of artificial neural network in estimating lateral spill discharge coefficient. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, *14*(6): 195-203. (In Persian)
- Ileana, I. Rotar, C. & Incze, A. (2004). The optimization of feed forward neural networks structure using genetic algorithms. International Conference on Theory and Applications Of Mathematics and Informatics. Thessaloniki, Greece. 223-234

www.SID.ir

Archive of SID

- Jensen, J. & Tarr, D. (2003). Trade, exchange rate, and energy pricing reform in Iran: Potentially large efficiency effects and gains to the poor. *Review of Development Economics*, 7(4): 543-562.
- Jia, J.S. Zhao, J.Z. Deng, H.B. & Duan, J. (2010). Ecological footprint simulation and prediction by ARIMA model—A case study in Henan Province of China. *Ecological Indicators*, 10(2): 538-544.
- Khiz, Z. (2013). The impacts of drought on Iran's economy: A CGE analysis. Master thesis of Agricultural Economics, Shiraz University, Iran. (In Persian)
- Layani, G., and Esmaeili, A.K. (2013). The effects of forest exploitation on wood import regulation in northern Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, 20: 25-45. (In Persian)
- Liu, L. & Lei, Y. (2018). An accurate ecological footprint analysis and prediction for Beijing based on SVM model. *Ecological informatics*, 44: 33-42.
- Mancini, M.S., Galli, A., Niccolucci, V., Lin, D., Hanscom, L., Wackernagel, M., and Marchettini, N. (2017). Stocks and flows of natural capital: Implications for ecological footprint. *Ecological Indicators*, 77: 123-128.
- Menhaj, M.B. (1998). *Fundamentals of Neural Networks (Computational Intelligence)*. Vol. 1. Amirkabir University Press, Tehran. (In Persian)
- Molaei, M. & Basharat, E. (2015). Investigating relationship between gross domestic product and ecological footprint as an environmental degradation index. *Journal of Economic Research*, 50(4): 1017-1033. (In Persian)
- Monfreda, C. Wackernagel, M. & Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy*, *21*(3): 231-246.
- Moran, D.D. Wackernagel, M. Kitzes, J.A. Goldfinger, S.H. & Boutaud, A. (2008). Measuring sustainable development — Nation by nation. *Ecological Economics*, *64*(3): 470-474.
- Nasrollahi, Z. & Ghaffari Gulak, M. (2010). Economic development and environmental pollution in Kyoto protocol members and Southwest Asia (with emphasis on Kuznets Environmental Curve). *Journal of Macroeconomics*, *35*: 105-126. (In Persian)
- Orubo, O.O. & Omotor, D.G. (2011). Environmental quality and economic growth: Searching for environmental Kuznets curve for air and water pollutants in Africa. *Energy Policy*, 39(7): 4178-4188.
- Rahmani, R., Bakhshoodeh, M. & Zibaei, M. (2018). Dietary changes and household consumption pattern in Iran: Integration of input-output tables and household demand system. *Agricultural Economics and Development*, *20*(78), 107-144. (In Persian)
- Rezaei, M. Yavari, K. Ezzati, M. & Etesami, M. (2015). Analysis of the effect of the abundant natural resources (oil & gas) on financial repression and

www.SID.ir

Archive of SID

economic growth through the income distribution channels. *Iranian Energy Economics*, *4*(14): 89-122. (In Persian)
- Shahabadi, A. & Sadeghi, H. (2013). Comparative study of natural resource abundance on economic growth in Iran and Norway. *Economic Modeling*, *7*(22): 21-43. (In Persian)
- Statistical Center of Iran, (2016). Available at: https://www.amar.org.ir.
- Tarazkar, M.H. & Esmaeili, A. (2011). A Neuro-Fuzzy model for prediction of agricultural commodity price: The case of corn price in Iran. World Congress of International Fuzzy Systems Association and Asia Fuzzy Systems Society International Conference, Surabaya-Bali, Indonesia, 21-25 June, ISBN: 978-602-99359-0-5.
- Tzouvelekas, E. Vouvaki, D. & Xepapadeas, A. (2007). Total factor productivity growth and the environment: A case for green growth accounting. University of Crete: Reserch Committee PENED.
- UN data, (2012). Available at: http://data.un.org.
- UNSD (United Nations Statistics Division), (2014). Available at: http://data.un.org/Data.aspx?d=SDGs&f=series%3aEN_ATM_CO2GDP#SDGs
- Wang, Z. Yang, L. Yin, J. & Zhang, B. (2018). Assessment and prediction of environmental sustainability in China based on a modified ecological footprint model. *Resources, Conservation and Recycling*, *132*: 301-313.
- World Bank, (2005). Islamic republic of Iran cost assessment of environmental degradation, Report No. 32043-IR, Washington D.C.

www.SID.ir