مدیریت آب و آبیاری
دوره ۱۱ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱٤۰۰
صفحه‌های ۹٤۸-۹۳۷
DOI: 10.22059/jwim.2021.325527.888

مقاله پژوهشی:

چرا مدیریت پایدار منابع انسانی- اکولوژیکی کشور با چالش مواجه شده است؟ (مطالعه موردی: متابولیسم جامعه حوضه آبریز ارس)

علیرضا تقدیسیان[۱]، علی مریدی[۲*]
۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵

چکیده
در پازل توسعه پایدار کشور نقش مهم ساعات فعالیت انسانی به‌ویژه در بخش کشاورزی و اهمیت آن در توسعه پایدار نادیده گرفته شده است. در این مقاله، با استفاده از روش MuSIASEM شرایط اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی حوضه رودخانه ارس طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ موردبررسی قرار گرفته‌است. شاخص‌های شدتی MuSIASEM برای کل حوضه، بخش کار و بخش خانگی به‌ترتیب ۳٤، ۱۰۸ و ۸۳ درصد برای مصرف آب و ۲۱، ٤ و ۸۰ درصد برای مصرف انرژی در طول ۱۰ سال افزایش یافته‌اند. این افزایش فشار مصرف منابع طبیعی در حالی رخ داده است که داده‌های جمعیتی نشان از تنها ۳ درصد رشد برای کل حوضه می‌دهند. با بسط تحلیل متابولیسم جامعه به درجات پایین‌تر، مشخص شد که در سه بخش اصلی اقتصاد یعنی کشاورزی، صنعت و خدمات نه‌تنها ساعات فعالیت انسانی به‌ترتیب ۲۸، ۳٦ و ۲۹ درصد کاهش پیدا کرده‌اند، بلکه شدت مصرف انرژی آن‌ها به‌ترتیب ٦٤، ۸٤ و ۱۲۳ درصد و شدت مصرف آب کشاورزی و صنعت ۷٤ و ۱۰۵ درصد افزایش داشته‌اند. در تحلیل هم‌زمانی سال ۱۳۸۵، شاخص‌های اکولوژیکی- اقتصادی برای محصولات کشاورزی اصلی حوضه تهیه و مشخص شد. محصولی مانند عدس آبیاری چیزی در حدود هفت برابر آب، نُه برابر زمین، ۱۱ برابر گاز گلخانه، شش برابر انرژی بیش‌تر نسبت به میانگین سه نوع میوه نیاز دارد تا یک تن بار دهد. در نتیجه با استفاده از این روش می‌توان شاخص‌های تلفیقی جامع‌تری برای تحلیل کمی مسیر پیشرفت اقتصادی- محیط زیستی جامعه، و تصویری دقیق‌تری از درهم‌تنیدگی توسعه پایدار به‌ویژه در بخش کشاورزی کشور ارائه کرد.

کلیدواژه‌ها: توسعه پایدار، تحلیل بین رشته‌ای، شاخص‌های اقتصادی- اکولوژیکی، متابولیسم شهری، MuSIASEM.

How Iran's socio-ecological management can not sustain? (Case study: Aras river basin)

Alireza Taghdisian[1], Ali Moridi[2*]
1. M. Sc. Graduate, Department of Civil-Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil-Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Received: June, 19, 2021 Accepted: October, 07, 2021

Abstract
In Iran's sustainability puzzle, the role of human time activities, specifically in agriculture, has long been overlooked. For this reason, we applied the MuSIASEM analytical tool on the Aras river basin, as a case study, in order to analyze its socio-ecological development during 2006-2016. Our results show the biophysical pressure both on water and energy pillars. Energy metabolic rate (EMR) and Water metabolic rate (WMR) both were shifted 34%, and 21% during the decade of analysis. The household and paid work sectors both have experienced an increase of 83% and 108% in their EMR and WMR, respectively. For assessing the underlying socio-economic factor, we continued the analysis into the lower level compartments of the societal hierarchy. In the agriculture, industry, and service sectors, while there was a reduction of 28%, 36%, and 29% in human time investments, EMR and WMR were increased by 64%, 84 and 123 for energy, and 74% and 105% for water. We conclude the result by generating composite indicators in agriculture based on the concept of a metabolic processor. This shows that a crop like irrigated legume consumed 7 times more water, 9 times more land, 6 times more energy than fruits in one ton of their output. Also, legumes brought 37% more net added value with 5 times human time investment compared to fruits.

Keywords: Economic-Ecological Indicators, Interdisciplinary Analysis, MuSIASEM, Sustainable Development, Urban Metabolism.

* نویسنده مسئول
Email: a_moridi@sbu.ac.ir

مقدمه

قرن گذشته، شاهد افزایش بیش از حد وابستگی بشر به منابع طبیعی موجود در بیوسفر بوده است و شرایط پیش رو برای بعضی کشورها مانند ایران با اقتصادی بر پایه تولید سوخت‌های فسیلی و اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بسیار نگران‌کننده خواهد بود. طی ۳۰ سال گذشته، به‌عنوان مثال، نسبت سوخت‌های فسیلی همواره بیش از ۸۰ درصد تولید جهانی بوده است و در همین دوران حجم تولید گاز طبیعی، زغال سنگ و نفت به‌ترتیب بیش از ۹۶، ۷۳ و ٤٠ درصد افزایش یافته است (IEA, 2020). این اعداد برای ایران، با بیش از ۹۹ درصد انرژی تولیدی بر پایه سوخت‌های فسیلی، برابر با ۹۲۲، ۸٦ و ٦۳ درصد بوده است. در بخش آب، در طی دو دهه گذشته، مقدار منابع آب شیرین در دسترس برای هر نفر در جهان ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده است، در حالی‌که این مقدار برای منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا (منطقه درگیر با تنش آبی شدید و میانگین سرانه آب زیر ۱۰۰۰ مترمکعب) بیش از ۳۰ درصد بوده است (FAO, 2020). در ایران طی ۳۰ سال گذشته، سرانه منابع آب شیرین تجدیدپذیر از ۲۱۸٦ به ۱۵۹۳ مترمکعب رسیده است، در حالی‌که مقادیر مشابه جهانی به‌ترتیب برابر با ۸۰۱۹ و ۵۷۳۲ مترمکعب بوده است که گواه اختلاف ۷۰ درصد ایران با میانگین جهانی است (World Bank, 2017). این در حالی است که بیش‌ترین مصرف آب در جهان تحت تأثیر بخش کشاورزی با میانگین جهانی مصرف ۷۰ درصد که در ایران چیزی بیش از ۹۰ درصد است (Moridi, 2017). در سال‌های اخیر در زمینه سیاست‌گذاری توسعه پایدار تلاش‌های زیادی در جهان صورت گرفته است. چند مورد مهم از این تلاش‌ها شامل اهداف توسعه پایدار سازمان ملل در سال ۲۰۱۵ (United Nations General Assembly, 2015)، و یا تصویب توافق‌نامه پاریس در همان سال (United Nation, 2015). اگرچه این سیاست‌گذاری بیش‌تر مشخص‌کننده اهداف توسعه پایدار هستند و در خصوص فرایندهای شناسایی و مدیریت اهداف چارچوب مشخصی ارائه نداده‌اند (Dijst *et al*., 2018).

در سال‌های اخیر اهمیت ترکیب علوم طبیعی با علوم انسانی برای تحلیل دقیق‌تر پایداری جوامع انسانی شدت گرفته است (Dijst *et al*., 2018). سابق بر این، جامعه انسانی مستقل از خدمات اکوسیستمی که زمین در اختیارش گذاشته بود در نظر گرفته می‌شده است. رفته‌رفته، اهمیت شمول عوامل بیوفیزیکال در برنامه‌ریزی و مدیریت اقتصادی و اجتماعی بیش‌تر حس شد (Crutzen, 2016). دیدگاه قالب تحلیل توسعه پایدار در بسیاری از مناطق جهان به‌صورت تفکیک جامعه و محیط زیست به بخش‌های جدا از هم است (Hopwood *et al*., 2005) به گونه‌ای که اولویت‌های اقتصادی به مراتب درجات بالاتری را نسبت به اولویت‌های محیط زیستی به‌خود اختصاص می‌دهند (Endo *et al*., 2017). علاوه بر این، در بخش محیط زیست، مدل‌های مدیریت منابع آب و انرژی عملا به‌صورت تک‌بعدی و مستقل به سرمایه‌های اکولوژیکی در دسترس بشر نگاه می‌کنند. به همین جهت در سال‌های اخیر بحث تلفیق دیدگاه‌ها در محیط زیست با نام علمی نکسوس منابع یا هم‌بست آب-انرژی-غذا[1]، مطرح شده و بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Hoff, 2011).

در حال حاضر ابزارهایی تحلیلی ارائه شده‌اند که می‌توان با استفاده از آن‌ها داده‌های کمی مرتبط با عملکرد یک سیستم را براساس ورودی- خروجی آن ارزیابی کرد. نمونه‌هایی از این روش‌ها شامل LCA[2]، MFA[3]، SFA[4]، TMR[5]، MIPS[6] و غیره می‌باشد. هرچند تمام این روش‌های دو نقص بزرگ دارند؛ ۱- به‌دلیل پیچیدگی این مدل‌ها خروجی آن‌ها عموماً مورد توجه تصمیم‌گیران کلان قرار نمی‌گیرد و بیش‌تر در محافل دانشگاهی

مورداستفاده قرار می‌گیرند (Giampietro and Mayumi, 2000; Giampietro *et al*., 2009)، ۲- این روش‌ها اجتماع انسانی را به‌صورت یک جعبه سیاه در نظر می‌گیرند و از تأثیرات عوامل بیوفیزیکال بر پایداری اجتماعی- اقتصادی صرف‌نظر می‌کنند (Endo *et al*., 2017; Endo *et al*., 2020). در نتیجه سؤال اصلی این روش‌ها بیش‌تر به سمت نوع و مقدار نتیجه یک فرایند گرایش دارد تا دلیل و چرایی آن (Pérez-Sánchez *et al*., 2019). به همین جهت در بحث تحلیل توسعه پایدار علاوه بر flows یا جریان‌ها (مانند انرژی و آب) لازم است المان دیگری به نام Funds یا سرمایه‌ها نیز موردتوجه قرار بگیرد. مفهوم جریان و سرمایه اولین بار توسط روگن در سال ۱۹۷۱ در مدل flow-fund برای توضیح عملکرد اقتصاد زیستی و در نظرگرفتن محیط زیست به‌عنوان منبع غیرتضمینی در معادلات اقتصادی مورداستفاده قرار گرفت (Georgescu-Roegen, 1971).

برای مرتفع‌کردن دو معضل ذکرشده برای روش‌های تحلیل پایداری و البته درنظرگرفتن چارچوب هم‌بست منابع طبیعی، لازم است از ابزاری استفاده کنیم تا محدودیت‌ها و فرصت‌های داخل جامعه انسانی و تحت تسلط انسان (تکنوسفر) و خارج از تسلط انسان (بیوسفر) در آن به‌صورت کمی مورد تجزیه و تحلیل قراربگیرند. به همین جهت در این مقاله روش تحلیلی MuSIASEM[۷] برای این کار انتخاب شده است. در نتیجه در چاچوب هم‌بست منابع طبیعی و با درنظرگرفتن المان‌های مختلف مؤثر در شکل‌دهی اجتماع می‌توان تصویر بهتری از توسعه پایدار تهیه کرد.

مواد و روش‌ها

در کشور کم آبی مانند ایران، مدیریت منابع باید در مقیاس حوضه‌های آبریز کشور انجام شود (Moridi, 2017). لذا در این مطالعه حوضه رودخانه ارس، یکی از حوضه‌های آبریز مهم کشور به لحاظ نزدیکی به دریاچه ارومیه و اشتراک رودخانه ارس با چند کشور همسایه، به‌عنوان منطقه موردمطالعه انتخاب شده است. حوضه آبریز رودخانه ارس یکی از حوضه‌های آبریز درجه دو کشور می‌باشد که در محدوده سه استان اردبیل، آذربایجان‌شرقی و آذربایجان‌غربی در قسمت شمال‌غربی ایران واقع شده است. مساحت این حوضه بالغ بر ۳۹۷۷۸ کیلومتر مربع می‌باشد که ۸۳ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۱۷ درصد مناطق کوهپایه‌ای و دشت‌ها تشکیل داده‌اند. در شکل (۱) محدوده منطقه موردمطالعه نشان داده شده است.

روش تحلیلی پایداری MuSIASEM اولین بار توسط دو پژوهش‌گر به نام‌های ماریو جیامپیتریو و کازو مایومی در سال ۲۰۰۰ میلادی معرفی شد (Giampietro and Mayumi, 2000). این مدل با استفاده از اصول اقتصاد زیستی[۸]، تئوری هرمی[۹] و تحلیل وابستگی[۱۰]، به‌منظور بررسی دقیق‌تر محدودیت‌های بیوفیزیکال و نحوه اثر آن‌ها در سیستم‌های اجتماعی- اکولوژیکی[۱۱] در فضای علم پسا- نرمال[۱۲] گسترش پیدا کرد (Giampietro *et al*., 2020). مهم‌ترین اصل در این روش در نظرگرفتن جامعه به‌صورت هرمی است از عناصر متابولیکی که جریان‌ها و سرمایه‌ها در آن درحال گردش هستند (Yi *et al*., 2020). این چرخش ماده و انرژی در جامعه انسانی که برای حیاط و فعالیت مترقیانه آن لازم است را سوخت‌وساز بیوفیزیکال[۱۳] جامعه می‌گویند (Ramos Martín, 2006). نکته مهم این است که این سوخت‌وساز باید از چهار بُعد بررسی شود تا بتوان در مورد پایداری آن قضاوت کرد، ۱- قابلیت انجام سوخت‌وساز[۱۴] که تحت تأثیر عوامل اجتماعی- اقتصادی درون جامعه انسانی (تکنوسفر) است، ۲- عمل‌پذیربودن سوخت‌وساز[۱۵] که خارج از کنترل

انسان است و با توجه به منابع اکولوژیکی محیطی (بیوسفر) تعیین می‌شود، ۳- مقبولیت سوخت‌وساز[۱۶] که به فرهنگ و سبک زندگی مردم در یک جامعه بستگی دارد و ٤- درجه اتکا سوخت‌وساز[۱۷] که تحت تأثیر واردات و صادرات از یک جامعه است. پایداری این چهار مورد تضمین‌کننده مسیر توسعه پایدار برای یک جامعه خواهد بود (Giampietro *et al.*, 2021).

همان‌طورکه پیش‌تر ذکر شد جریان‌ها و سرمایه‌ها در درجات مختلف هرم جامعه توسط المان‌های ساختاری[۱۸] و نتیجه بخش[۱۹] مصرف می‌شوند. المان ساختاری به فعالیتی گفته می‌شود که محصول نهایی آن مورد مصرف مستقیم قرار نمی‌گیرد و خود بخشی از فرایند تولید محصول در المان نتیجه‌بخش است (Parra *et al.*, 2020). به‌عنوان مثال در سیستم تولید میوه در یک مزرعه کشاورزی، تولید محصول نهایی خروجی المان نتیجه‌بخش مزرعه است، در حالی سیستم آبیاری، تأمین انرژی و نیروی انسانی المان‌های ساختاری این مجموعه به‌ویژه هستند.

در روش MuSIASEM، جریان‌ها و سرمایه‌ها خود زیر مجموعه پارامترهای مقداری[۲۰] هستند. این پارامترها مشخص‌کننده اندازه یک فعالیت بوده و با تغییر ابعاد و درجه فعالیت، مقدار آن‌ها هم تغییر می‌کند. نوع دیگر پارامترهای شدتی[۲۱] است که از ترکیب دو پارامتر مقداری تولیدشده، وابسته به اندازه المان نبوده و نشان‌دهنده سرعت و نرخ متابولیسم است. این پارامترها به نوعی نشان‌دهنده هویت متابولیکی سیستم[۲۲] هستند (Renner *et al.*, 2020). به‌طورکلی، سه مرحله MuSIASEM عبارتند از ۱- شناسایی المان‌های ساختاری و نتیجه بخش در هرم متابولیکی جامعه انسانی مورد نظر و مشخص کردن ارتباط بین آن‌ها، ۲- استفاده از مدل تحلیلی جریان-سرمایه برای مشخص‌کردن ورودی و خروجی از المان‌های ساختاری و نتیجه‌بخش و ۳- ارائه شاخص‌هایی متشکل از وجوه سیستمی غیر همسان.

در روش MuSIASEM پیکره‌بندی هرم جامعه برای سیستم موردنظر از درجه n برای کل جامعه شروع می‌شود.

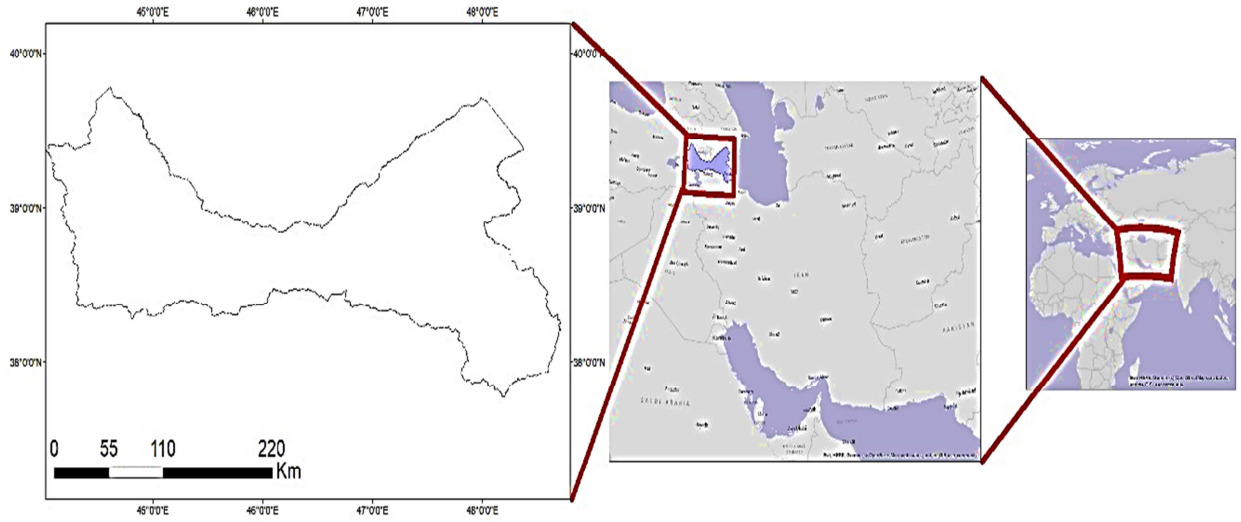

Figure 1. Schematic map of area study

درجه پایین‌تر، n-1، برای بخش‌های فعالیت کاری[۲۳] PW و فعالیت در منازل[۲۴] HH، n-2 برای زیرمجموعه‌های اقتصادی بخش کار مانند کشاورزی[۲۵] AG، خدمات و دولت[۲۶] SG و صنعت[۲۷] IN می‌باشد. این زیرشاخه‌سازی[۲۸] و تفکیک المان‌های درجات بالاتر به پایین‌تر تا رسیدن به درجه موردنظر می‌تواند ادامه پیدا کند. در این مطالعه، حوضه آبریز ارس به‌عنوان سیستم مرجع کلی درجه n و سایر بخش‌ها برای درجات پایین‌تر طبق روش شرح داده‌شده در پاراگراف قبل در نظرگرفته شدند. اطلاعات مربوط به ساختار و ویژگی‌های جمعیتی از سرشماری‌های عمومی سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ اخذ شده‌اند. در بخش انرژی، از کتاب ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۵ منتشرشده توسط وزارت نیرو استفاده شده است. اطلاعات مربوط به بخش آب از مطالعات طرح‌های جامع آب کشور و مطالعات به‌هنگام‌سازی طرح جامع آب کشور منتشرشده توسط وزارت نیرو استفاده شده است.

نتایج و بحث

اولین مرحله در شناسایی و تحلیل متابولیسم جامعه شناخت ساختار جمعیتی- اجتماعی آن شامل رشد جمعیت، سن و جنسیت افراد جامعه، ساختار خانواده، سطح سواد و درامد، فرهنگ و رسوم است (Dijst *et al.*, 2018). طبق اطلاعات برداشت‌شده از سایت آمار ایران اطلاعات به‌دست‌آمده برای حوضه رودخانه ارس طبق نمودار میله‌ای شکل (۲) می‌باشد. ساعت‌های کار انسانی HA_{PW} از رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$HA_{PW} = \text{Annual working hours (ANH)} * \text{numbers of employment (EN)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، HA_{PW} برابر با ساعت‌های فعالیت انسانی بخش کار، ANH برابر با ساعت کاری سالانه به‌ازای هر نفر نیروی کار و EN برابر با تعداد شاغلین است.

همان‌طورکه در شکل (۲) مشاهده می‌شود، ساعت‌های فعالیت کاری زنان شاهد کاهش چشم‌گیر ۶۳ درصد و مردان با ۲۱ درصد (در مجموع ۳۱ درصد) در طول ۱۰ سال بوده است. هم‌چنین جمعیت گروه سنی زیر ۱۵ سال ۱۱ درصد کاهش پیدا کرده است، درحالی‌که جمعیت افراد بالاتر از ۶۵ سال ۱۱ درصد افزایش را تجربه کرده است. این تغییرات در حالی رخ داده است که نرخ جمعیت کل حوضه تنها ۳ درصد کاهش پیدا کرده است. در نتیجه طی این دوران با کاهش آمار شاغلین و متولدین و افزایش جمعیت بالای ۶۵ سال، حوضه به‌شدت تحت فشار اقتصادی- اجتماعی بوده است.

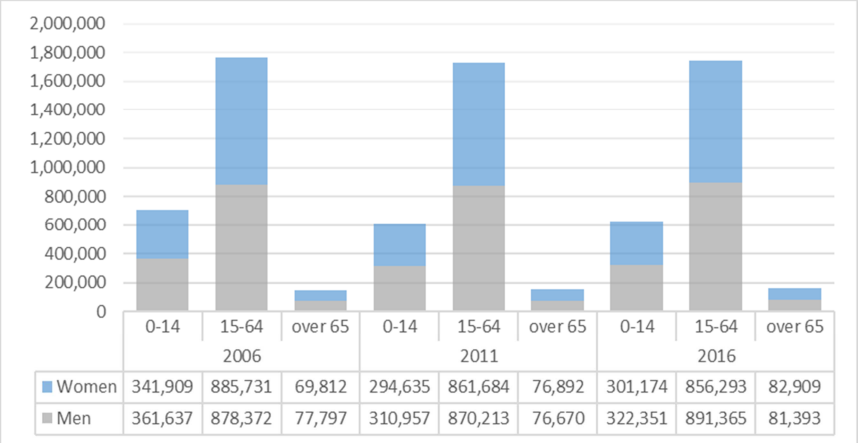

Figure 2. Population Variations of Aras river basin 2006-2016

پیش‌تر ذکر شد که یکی از مهم‌ترین بخش‌های آنالیز MuSIASEM ایجاد داده‌های شدتی با استفاده از ترکیب داده‌های مقداری است. با استفاده از فرمول‌های زیر و به‌کمک اطلاعات به‌دست‌آمده از ساعت‌های فعالیت کاری، ساعت‌های فعالیت انسانی کلی و ساعات فعالیت در خانه به‌دست خواهد آمد (روابط ۲ و ۳).

$$THA=365*24*\text{Total population} \quad (۲)$$

$$HA_{HH}=THA-HA_{PW} \quad (۳)$$

در روابط (۲) و (۳)، THA برابر با مجموع کل ساعت‌های فعالیت انسانی برای کل جامعه است که حاصل‌ضرب تعداد ساعت‌ها در دسترس برای هر نفر در جمعیت کل می‌باشد. HA_{HH} نیز تعداد ساعت‌ها در دسترس بخش خانگی است که از تفریق مجموع ساعت‌ها از بخش کار به‌دست می‌آید.

مجموع کل مصرف حامل‌های انرژی نفت، گاز طبیعی، زغال سنگ، برق و انرژی‌های تجدیدپذیر برای کل کشور در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به‌ترتیب برابر با ۱۳۶/۲۲، ۱۶۳/۷۰ و ۱۸۷/۷۲ mtoe بوده است. با استفاده از رقوم جمعیتی می‌توان سرانه مصرف در هر سال و برای هر بخش را به تفکیک محاسبه کرد. با ترکیب این دو پارامتر می‌توان درجه سوخت‌وساز بخش‌های مختلف منطقه موردمطالعه را به‌دست آورد. در MuSIASEM، شدت مصرف آب و انرژی طبق فرمول‌های محاسبه می‌شود (روابط ٤ و ٥):

$$\text{Water Metabolic Rate (WMR)} = \frac{Water\ consumption\ (m^3)}{Human\ activity\ (hour)} \quad (٤)$$

$$\text{Energy Metabolic Rate (EMR)} = \frac{Energy\ use\ (Joule)}{Human\ activity\ (hour)} \quad (٥)$$

WMR برابر با شدت متابولیک مصرف آب بوده و از تقسیم مصرف کل آب بر تعداد ساعت‌ها کل جامعه به‌دست خواهد آمد. EMR هم به همین ترتیب برابر با شدت متابولیک مصرف انرژی جامعه به‌ازای هر ساعت فعالیت انسانی است. این شاخص‌ها با استفاده از تجزیه جامعه به درجات پایین‌تر برای بخش کار (PW) و بخش خانگی (HH) هم زیرمجموعه آن‌ها نیز حساب خواند شد.

یکی از ابزارهای تحلیلی MuSIASEM ماتریس مصرف نهایی[۲۹] است که در آن هرم EMR و WMR برای درجات و بخش‌های مختلف سیستم مشخص می‌شوند. در جدول (۱) این ماتریس برای شدت مصرف آب نشان داده شده است.

Table 1. Water End-use matrix of Aras river basin.

Hierarchical Level		2006			2011			2016		
		HA (mh)	WMR (l/h)	WC (million m³)	HA (mh)	WMR (l/h)	WC (million m³)	HA (mh)	WMR (l/h)	WC (million m³)
Level n	Whole Society	22,910.00	117	2,688.21	21,822.00	140	3,060.12	22,211.00	157	3,497.70
Level n-1	Household	20,705	7	151.00	20,278.00	11	216.89	20,684.00	15	311.52
	Paid work	2,205	1151	2,537.21	1,544.00	1841	2,843.24	1,527.00	2087	3,186.19
Level n-2	Agriculture	713.69	3532	2,521.00	478.82	5899	2,824.59	514.12	6156	3,164.74
	Industry	633.66	26	16.21	398.22	47	18.65	407.08	53	21.44

mh, l/h and WC stand for million hours, liter per hour and water consumption

در طول ۱۰ سال دوره مطالعه حوضه، شدت مصرف آب برای تمام درجات هرم جامعه حوضه ارس به‌شدت افزایش پیدا کرده است. این افزایش برای کل جامعه (n)، بخش منازل (n-1) و کار (n-1) به‌ترتیب برابر با ۳٤، ۱۰۷ و ۸۱ درصد بوده است. زیرشاخه کشاورزی بخش کار با مصرف ۹٤ و ۹۰ درصد از حجم کل در حدود ۷٤ درصد (٦٤۰ میلیون مترمکعب) افزایش داشته است و شدت مصرف بخش‌های صنعت بیش از دو برابر شده است. این تغییرات در حالی در بخش کار رخ داده است که بیش از ۳۰ درصد کاهش در نیروی کار در طول ۱۰ سال در این حوضه تجربه شده است.

جهت بررسی دقیق‌تر هم‌بست منابع منطقه موردمطالعه لازم است شدت مصرف انرژی در طول ۱۰ سال در این حوضه موردبررسی قرار گیرد. در جدول (۲) ماتریس مصرف نهایی بخش انرژی برای حوضه ارس نشان داده شده است.

در انرژی، زیرمجموعه‌های صنعت و خانگی با میانگین مصرف ٤۸ و ۳۲ درصد از کل، پرچم‌داران مصرف انرژی هستند و بخش خدمات با میانگین ۱۷ درصد و بخش کشاورزی با ٤ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. اگرچه همان‌طورکه در مقدمه ذکر شد شدت مصرف برحسب سرمایه‌های اجتماعی و اکولوژیکی پارامترهایی هستند که در بحث پایداری به تحلیل کمی معنای عمیق‌تری می‌بخشند. با توجه به این نکته می‌توان دید که در طول ۱۰ سال، EMR کل جامعه ۲۲ درصد افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که EMR_{HH} تنها ٤ درصد و EMR_{PW} رشد چشم‌گیر ۸۱ درصد را تجربه کرده‌اند. در درجه n-2 جامعه، EMR کشاورزی، صنعت و خدمات به‌ترتیب ٦٤، ۸٤ و ۱۲۳ درصد رشد کرده‌اند. این اعداد هنگامی‌که با پارامترهای اقتصادی مانند درصد شاغلین منطقه ترکیب شوند مشخص خواهند کرد که این منطقه در هر دو قسمت اقتصاد و محیط زیست به سمت توسعه ناپایدار پیش رفته است.

در شکل (۳) تغییرات HA_{AG}، HA_{IN} و HA_{SG} بین سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۵ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود ساعت‌های کاری بخش کشاورزی، صنعت و خدمات حوضه ارس به‌ترتیب ۲۸، ۳٦ و ۲۹ درصد کاهش پیدا کردند در حالی فشار اکولوژیکی هم‌بست منابع در این دوران به‌طور چشم‌گیری افزایش پیدا کرده است.

در بخش‌های قبل عملکرد متابولیکی حوضه رودخانه ارس به‌صورت زنجیره از تغییرات در طول ۱۰ سال موردبررسی و واکاوی قرار گرفت. در نتیجه مشخص شد سیر تحولات اقتصادی- اکولوژیکی منطقه به سمت توسعه ناپایدار بوده است. در MuSIASEM به این نوع تحلیل کمی در طول یک دوره مشخص اصطلاحاً "درزمانی"[۳۰] گفته می‌شود. اگرچه، برای درک بهتر سوخت‌وساز جامعه لازم است یک مقطع زمانی به‌ویژه برای تحلیل در نظر گرفته شود و عناصر متابولیکی جامعه برای درجات پایین‌تر این زمان موردبررسی قرار بگیرند که به این نوع دیدگاه تحلیلی "هم‌زمانی" گفته می‌شود.

Table 2. Energy End-use matrix of Aras river basin.

Hierarchical Level		2006			2011			2016		
		HA (mh)	EMR (MJ/h)	ET	HA (mh)	EMR (MJ/h)	ET	HA (mh)	EMR (MJ/h)	ET
Level n	Whole Society	22,910	9.22	211.33	21,822	10.42	227.36	22,211	11.23	249.47
Level n-1	Household	20,705	3.47	71.85	20,278	3.36	68.21	20,684	3.62	74.84
	Paid work	2,205	63.26	139.48	1,544	103.07	161.43	1,527	114.36	177.12
Level n-2	Agriculture	713.69	11.84	8.45	478.82	18.99	9.09	514.12	19.41	9.98
	Industry	633.66	156.75	99.32	398.22	285.48	113.68	407.08	288.02	117.25
	Service	857.44	36.97	31.70	667.04	57.94	38.65	605.28	82.43	49.89

mh, MJ/h and ET stand for million hours, Mega Joule per hour and Exosomatic throughput.

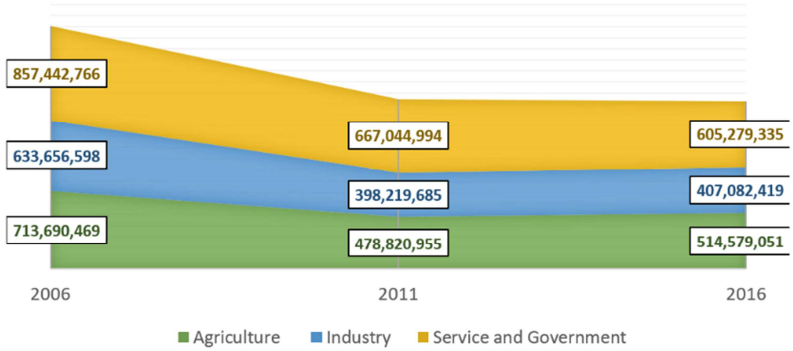

Figure 3. Human activity variations in paid work sub-sectors in Aras river basin during 2006-2016

در این مطالعه سال ۱۳۸۵ با توجه به در دسترس‌بودن اطلاعات به‌عنوان سال مبنا برای تحلیل هم‌زمانی در نظر گرفته شد. با توجه به اهمیت بخش کشاورزی در هم‌بست منابع حوضه ارس، این زیرشاخه اقتصادی بخش کار تا درجه n-4 تحلیل و جریان و سرمایه مورداستفاده برای عناصر متابولیکی از نوع محصولات کشاورزی مشخص شدند. محصولات انتخاب‌شده براساس آب و انرژی مصرفی، مساحت زمین اشغال‌شده، ارزش اقتصادی و پتانسیل اشتغال‌زایی انتخاب شده‌اند. این محصولات در مجموع بیش از ۹۲ درصد اراضی کشاورزی، ۸۵ درصد ارزش خالص اقتصادی[۳۱] و ۸۵ درصد مصرف آب و انرژی بخش کشاورزی را به‌خود اختصاص داده‌اند. در درجه n-3، دو مدل المان ساختاری کشت محصول براساس نوع آبیاری انتخاب شده است.

معیارهای محیط زیستی و اقتصادی مختلفی برای نشان‌دادن عملکرد یک محصول در حوضه انتخاب شده است. اطلاعات مربوط به تولید گاز گلخانه‌ای و مصرف انرژی از مطالعات LCA انجام‌شده در محدوده موردمطالعه برداشت شده‌اند (Fallahpour *et al*., 2012; Khoshnevisan *et al*., 2013; Houshyar, 2017; Asgharipour *et al*., 2016; Ghaderpour *et al*., 2018; Soheili-Fard & Kouchaki-Penchah, 2015; Elhami *et al*., 2017; Taghavifar & Mardani, 2015; Mohseni *et al*., 2019).

در روش MuSIASEM به این نوع تجزیه سرمایه و جریان برای محصول نهایی اصطلاحاً تجزیه عملگر متابولیکی[۳۲] گفته می‌شود (Giampietro *et al*., 2021). با استفاده از مفهوم عملگر متابولیکی می‌توان گراف‌هایی رسم نمود که شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی- محیط زیستی بر روی آن‌ها مشخص شده‌اند. برای این کار لازم است حجم ورودی و خروجی یک عملگر بر حجم معیار هدف[۳۳] انتخابی تقسیم شود تا عملگر تک‌ساخت[۳۴] هر محصول مشخص شود (Parra *et al*., 2020). به‌عنوان مثال با تقسیم احجام سرمایه و جریان بر حجم بار یک محصول کشاورزی مشخص خواهد شد این محصول به‌ازای هر تن چه مقدار جریان و سرمایه نیاز دارد. در نتیجه یک سری ابزار مقایسه به‌دست خواهد آمد که می‌توان محصولات نهایی را در یک منطقه موردبررسی قرار داد. این پروسه همان‌طورکه پیش تر ذکر شد ساختن زمینه مناسب برای تصمیم‌گیری کلان است. زمینه که در آن چرایی تولید یک محصول از مرحله اول مورد بحث قرار می‌گیرد. ایده تصویر کمی[۳۵] جامعه با انبوهی از داده‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی با استفاده از تبدیل داده‌های مقداری به‌شدتی با توجه به نظر پژوهش‌گر و سیاست‌گذار و نوع کانتکس منطقه موردمطالعه می‌تواند در پروسه تصمیم‌گیری بسیار راه‌گشا باشد.

بر این اساس مقدار جریان و سرمایه لازم برای تولید یک تن محصول به‌دست‌آمده و با نرمال‌کردن داده براساس میانگین کلی محصولات انتخابی شکل (٤) رسم شده است. براساس تحلیل صورت‌گرفته مشاهده می‌شود که محصولی مانند عدس آبیاری چیزی در حدود هفت برابر آب بیش‌تر، نُه برابر زمین بیش‌تر، ١١ برابر گاز گلخانه بیش‌تر، ٦ برابر انرژی بیش‌تر نسبت به میانگین سه نوع میوه نیاز دارد تا یک تن بار دهد. این در حالی است که این محصول تنها ٣٧ درصد سود خالص بیش‌تر نسبت به میوه‌ها داشته و بیش از پنج برابر ساعت‌های انسانی بیش‌تری نیاز دارد. مثال دیگر گندم و جو آبیاری است که نسبت به میوه‌ها ٢/٥ برابر آب، چهار برابر زمین، سه برابر گاز گلخانه، پنج برابر انرژی بیش‌تر نیاز دارند تا کمی کم‌تر از یک تن میوه ارزش خالص اقتصادی تولید کنند. این در حالی است که تولید یک تن میوه نیاز به ٣٤ درصد فعالیت انسانی نسبت به گندم و جو داشته است. نکته قابل تأمل این است که تولید محصولات استراتژیک به اندازه موردنیاز اصلی بدیهی است اگرچه کشور ما با سرمایه‌گذاری اقتصادی و انسانی زیاد به یکی از دو تولیدکننده نوظهور گندم و جو در کنار کشور برزیل تبدیل شده است.

در شکل (٤) نمودار میله شاخص‌های نرمال‌شده محصولات کشاورزی اصلی حوضه آبریز ارس نمایش داده شده‌اند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، کلیه پارامترهای شدتی به‌صورت نرمال‌شده در این گراف برای محصولات موردنظر نمایش داده شده است. پارامترهای h/t، No/kt، mIRR/t، GJ/t، kgCo2e/t، m2/t، m3/t به‌ترتیب مشخص‌کننده مقدار ساعات فعالیت انسانی، سود خالص اقتصادی، انرژی مصرفی، گاز گلخانه تولیدشده، کاربری اراضی و مصرف آب به‌ازای هر تن محصول موردنظر است. به‌عنوان مثال در میله اول که مربوط به تعداد ساعت فعالیت انسانی است، محصولی مانند عدس و لوبیا آبیاری (Legume irrigated) بیش از دو برابر میانگین ساعت کاری کل محصولات نیاز به فعالیت انسانی دارند، حال آن‌که مقدارد بازده اقتصادی آن‌ها به مراتب کم‌تر از این مقدار است.

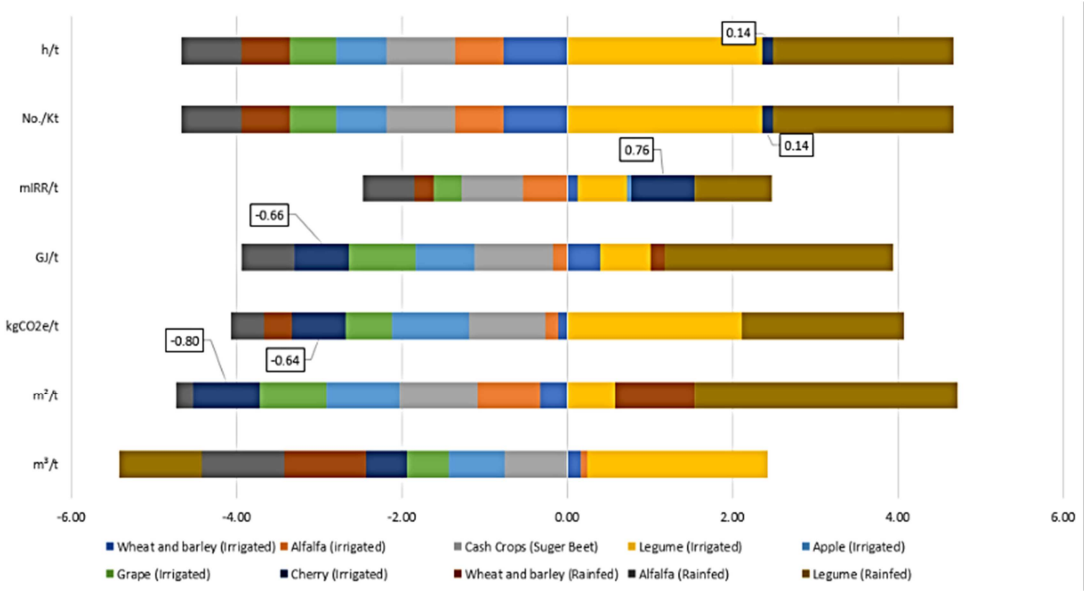

Figure 4. Bar chart normalized indicators of staples in Aras river basin for 2006

نتیجه‌گیری

در بحث سیاست‌گذاری توسعه پایدار، اولین قدم کمی‌سازی الگو متابولیسم جامعه انسانی-اکولوژیکی است. سوخت‌وساز[۳۶] واژه کلی برای نشان‌دادن فعالیت‌هایی است که باعث حفظ ساختار و پیشرفت جامعه می‌شوند و شامل مصرف مواد، کالا، انرژی، آب و سایر منابع انسانی- محیط زیستی، تولید محصول یا تداوم ساختار و دفع پسماند می‌شوند. این فعالیت‌ها تحت تأثیر عواملی هم‌چون شرایط فرهنگی و اقتصادی، سبک زندگی و نوع و میزان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر می‌باشند. لذا، انتخاب روش تحلیل متابولیسم شهری باید با در نظرگرفتن جمیع این عوامل باشد. پایداری متابولیسم جامعه همان‌طورکه نشان داده شده است نیازمند دو مورد است؛ ۱- امکان انجام متابولیسم که در ارتباط با محدودیت‌های ساعات فعالیت انسانی و نحوه تخصیص آن است، ۲- امکان پایداری متابولیسم که به خدمات اکوسیستمی و فراوانی منابع طبیعی برای مهیاکردن ورودی موردنیاز و پذیرش پسماند از جوامع انسانی مرتبط است.

مهم‌ترین ایده مطرح‌شده در این پژوهش نقش پر اهمیت ساعات فعالیت انسانی و نحوه تخصیص آن در المان مختلف اقتصادی و اجتماعی می‌باشد. برنامه‌ریزی غلط برای ایجاد شغل‌های ناپایدار، در کوتاه‌مدت اگرچه ممکن است به وضعیت اجتماعی- اقتصادی ثبات بخشد، اما در آینده نه تنها چالش‌های سنگین اکولوژیکی برای کشور خواهد داشت، بلکه امنیت و ثبات اجتماعی را نیز تهدید خواهد کرد. در کشور ما که تمرکز همیشه بر تأمین ورودی‌های اقتصادی- محیط زیستی کشاورزی بوده است، سیاست‌ها به‌گونه‌ای اتخاذ شده‌اند که استقلال غذایی و کشاورزی کشور در مرز ۹۰ درصد حفظ شود. این دید یک بعدی به مسأله توسعه پایدار و عدم در نظرگرفتن عوامل و محدودیت‌های بیوفیزیکال باعث چالش‌های بسیار سنگین برای کشور شده است. در این پژوهش ما نشان دادیم که مسأله متابولیسم جامعه، به‌ویژه در بخش کشاورزی و منابع آب‌های سطحی، گزینه است برای بالابردن کیفیت تصمیم‌گیری کلان و وسعت‌بخشیدن به فضای سیاست‌گذاری‌های اقتصادی- اجتماعی با در نظرگرفتن محدودیت‌های محیط زیستی.

پی‌نوشت‌ها

1. Water-energy-food nexus
2. Life cycle assessment
3. Material flow analysis
4. Substance Flow Analysis
5. Total material requirement
6. Material input per service unit
7. Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism
8. Bioeconomics
9. Hierarchical theory
10. Relational analysis
11. Socio-ecological system
12. Post-normal science
13. Biophysical metabolism
14. Viability
15. Feasibility
16. Desirability
17. Openness
18. Structural elements
19. Functional elements
20. Extensive variables
21. Intensive variables
22. System Identity
23. Paid work sector
24. Household sector
25. Agriculture
26. Service and government
27. Industry
28. Disaggregation
29. End-use matrix
30. Diachronic
31. Net value added
32. Metabolic processor
33. Target variable
34. Unitary metabolic processor
35. Quantitative representation
36. Metabolism

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Giampietro, M., Mayumi, K., & Ramos-Martin, J. (2009). Multi-scale integrated analysis of societal and ecosystem metabolism (MuSIASEM): Theoretical concepts and basic rationale. *Energy*, 34(3), 313-322., https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.07.020
2. Hopwood, B., Mellor, M., & O'Brien, G. (2005). Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable Development*, 13(1), 38-52., 38-52, https://doi.org/10.1002/sd.244
3. Redclift, M. (2005). Sustainable development (1987–2005): an oxymoron comes of age. *Sustainable Development*, 13(4), 212-227, https://doi.org/10.1002/sd.281
4. IEA. (2020). World energy balance, https://www.iea.org/data-and statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20 supply&indicator=TPESbySource
5. World Bank (2017), Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters), https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC?end=2017&start=1962&type=shaded &view=chart
6. Moridi, A. (2017). State of water resources in Iran. *Int J Hydro*, 1(4), 11-114. DOI: 10.15406/ijh.2017.01.00021
7. Crutzen, P. J. (2016). Geology of mankind. In Paul J. Crutzen: A Pioneer on Atmospheric Chemistry and Climate Change in the Anthropocene (pp. 211-215). Springer, Cham. https://doi.org/10.1038/415023a
8. Dijst, M., Worrell, E., Böcker, L., Brunner, P., Davoudi, S., Geertman, S., ... & Zeyringer, M. (2018). Exploring urban metabolism-Towards an interdisciplinary perspective. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.014
9. Serrano-Tovar, T., Suárez, B. P., Musicki, A., Juan, A., Cabello, V., & Giampietro, M. (2019). Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation. *Science of the Total Environment*, 689, 945-957. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.422
10. Parra, R., Bukkens, S. G., & Giampietro, M. (2020). Exploration of the environmental implications of ageing conventional oil reserves with relational analysis. Science of the Total Environment, 749, 142371. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142371
11. Ramos-Martín, J., Cañellas-Boltà, S., Giampietro, M., & Gamboa, G. (2009). Catalonia's energy metabolism: Using the MuSIASEM approach at different scales. *Energy Policy*, 37(11), 4658-4671. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.028
12. Renner, A., Cadillo-Benalcazar, J. J., Benini, L., & Giampietro, M. (2020). Environmental pressure of the European agricultural system: Anticipating the biophysical consequences of internalization. *Ecosystem Services*, 46, 101195. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101195
13. Cf, O. D. D. S. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.
14. United Nation (2015). Paris agreement. In Paris: Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
15. Pérez-Sánchez, L., Giampietro, M., Velasco-Fernández, R., & Ripa, M. (2019). Characterizing the metabolic pattern of urban systems using MuSIASEM: The case of Barcelona. *Energy Policy*, 124, 13-22. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.028
16. Giampietro M, Cadillo Benalcazar JJ, Di Felice LJ, Manfroni M, Pérez Sánchez L, Renner A, Ripa M, Velasco Fernández R & Bukkens SGF (2021), Report on the Experience of Applications of the Nexus Structuring Space in Quantitative Storytelling, MAGIC (H2020–GA 689669) Project Deliverable 4.4, Revision (version 2.0). First published 30 August 2020, revised 25 January 2021.
17. Fallahpour, F., Aminghafouri, A., Behbahani, A. G., & Bannayan, M. (2012). The environmental impact assessment of wheat and barley production by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Environment, Development and Sustainability*, 14(6), 979-992. https://doi.org/10.1007/s10668-012-9367-3
18. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333-338. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028
19. Houshyar, E. (2017). Environmental impacts of irrigated and rain-fed barley production in Iran using life cycle assessment (LCA). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15(2), 6.
20. Asgharipour, M. R., Mousavinik, S. M., & Enayat, F. F. (2016). Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, 2, 135-140. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.05.007

21. Ghaderpour, O., Rafiee, S., Sharifi, M., & Mousavi-Avval, S. H. (2018). Quantifying the environmental impacts of alfalfa production in different farming systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 109-118. https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.04.002
22. Soheili-Fard, F., & Kouchaki-Penchah, H. (2015). Assessing environmental burdens of sugar beet production in East Azerbaijan province of IR Iran based on farms size levels. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 4(5), 489-495.
23. Elhami, B., Khanali, M., & Akram, A. (2017). Combined application of Artificial Neural Networks and life cycle assessment in lentil farming in Iran. *Information Processing in Agriculture*, 4(1), 18-32. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.004
24. Taghavifar, H., & Mardani, A. (2015). Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using Artificial Neural Network. *Journal of Cleaner Production*, 87, 159-167. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.054
25. Mohseni, P., Borgheei, A. M., & Khanali, M. (2019). Energy Consumption analysis and environmental impact assessment of grape production in Hazavah region of Arak city. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(1), 177-193. https://doi.org/10.22067/JAM.V9I1.67645