

بررسی اثر آشفته‌گی‌های اقتصادی - اجتماعی ناشی از فعالیتهای انسانی بر

عملکرد بوم شناختی سیمای سرزمین با استفاده از شاخص (HANPP)

(منطقه مورد مطالعه: استان قزوین)

آصف درویشی^{۱*}؛ مریم یوسفی^۱ و نغمه مبرقی دینان^۲

۱- دانشجوی دوره دکتری آمایش سرزمین پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشیار گروه برنامه‌ریزی و طراحی محیط پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی

(تاریخ دریافت ۹۹/۰۹/۲۰ - تاریخ پذیرش ۹۹/۰۴/۱۰)

چکیده:

پایداری به عنوان نقطه عطف ارتباط متقابل و موزون جامعه و طبیعت موجب شد تا محیط زیست به عنوان بعد سوم در کنار اقتصاد و اجتماع ایفای نقش کند. در حال حاضر یکی از بزرگترین مشکلات محققین حوزه پایداری، شناسایی شاخص‌های مناسب برای مطالعه‌ی روابط و همکنش‌های بین جامعه و طبیعت است. محاسبه جریان ماده و انرژی (MEFA) براساس رویکرد متابولیسم اقتصادی - اجتماعی، چارچوب تحلیلی مهمی برای هم‌کنشی جامعه و طبیعت ارائه می‌کند. این مطالعه با هدف ارزیابی میزان آشفته‌گی انسان ساز، با استفاده از شاخص تصرف انسانی تولید اولیه خالص (HANPP) و ارائه روش‌شناسی مربوط به آن و سنجش اثر ساختار سیمای سرزمین در جریان ماده و انرژی و نقشی که در عملکرد سیمای سرزمین دارد، انجام شده است. شاخص HANPP به‌عنوان یکی از شاخص‌های MEFA به دلیل کارایی در مقیاس‌های متنوع از جهانی تا ناحیه‌ای، مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داد استان قزوین به طور بالقوه دارای تولید اولیه خالصی برابر با ۹۰/۶۵۸ میلیون گیگاژول است و این در حالی است که تنها ۳۴/۵۵۲ میلیون گیگاژول از این توان را به توان بالفعل تبدیل می‌کند. از مقدار انرژی تولید شده در استان قزوین تنها ۹/۴۴۶ میلیون مگاژول جهت تامین نیاز تنوع زیستی در طبیعت باقی می‌ماند و بقیه توسط انسان برداشت و وارد سیستم اجتماعی می‌شود. در نتیجه تنها ۱۰/۴۲ درصد از توان بالقوه استان قزوین صرف تنوع زیستی شده و بقیه یا توسط انسان نابود و یا مصرف می‌گردد. از نتایج این تحقیق می‌تواند برای کسب بینش سیستمی از سیمای سرزمین و تحلیل سیستم‌های اجتماعی-بوم‌شناختی استفاده نمود. همچنین این نتایج می‌تواند به تصمیم‌گیران استانی به منظور بازچینش فعالیتها در سرزمین در راستای تحقق توسعه پایدار کمک نماید.

کلید واژگان: توسعه پایدار، محاسبه جریان ماده و انرژی (MEFA)، تصرف انسانی تولید اولیه خالص (HANPP)، تنوع زیستی، استان

قزوین.

۱. مقدمه

برخی از پژوهشگران اعتقاد دارند براساس مفهوم پایداری ضعیف^۱ کشورهای توسعه یافته بیشترین و کشورهای توسعه نیافته کمترین پایداری را دارند (Pearce and Atkinson, 1993)، ولی در مقابل براساس مفهوم پایداری قوی^۲، برخی ادعا دارند کشورهای توسعه یافته به دلیل مصرف بالای منابع، بیشترین ناپایداری را ایجاد می‌کنند (Chambers et al., 2014). تعریف پایداری به جنبه‌های مختلف مشکل و بیشتر به رشته، زمینه تخصص و علایق شخصی بستگی دارد (Haberl et al., 2013; Pearce et al., 2004). با این وجود در اواخر قرن بیستم اجماع کلی درباره پایداری به وجود آمده است که به عنوان حل مشکل هم‌کنشی بین طبیعت و اجتماع تعریف می‌گردد (Kates et al., 2001). چنین مفهومی یک چالش بزرگتر را ایجاد می‌کند، زیرا نیاز به همکاری دانشمندان از رشته‌های مختلفی از قبیل زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، بیوزئوشیمی، مدلسازی اقلیم، اقتصاد، تاریخ، جامعه‌شناسی، مردم‌شناسی، و جغرافیا دارد (Kates et al., 2001; Haberl et al., 2004). ولی تعریف پایداری به عنوان حل مشکل هم‌کنشی بین جامعه و طبیعت باعث شد محیط زیست به عنوان بعد سوم در کنار اقتصاد و اجتماع ایفای نقش کند (Robert et al., 2005). حضور محیط زیست در کنار اقتصاد و اجتماع باعث بوجود آمدن مفهوم توسعه پایدار در سال‌های گذشته شده است.

یکی از چالش‌های پیش روی توسعه پایدار، تخریب و تغییرات شدید محیط طبیعی توسط عوامل انسانی است که باعث از بین رفتن زیستگاه‌ها به‌عنوان مهمترین عامل انقراض گونه‌های حیات وحش می‌گردد (Darvishi et al., 2014b; Darvishi et al., 2015). آثار بجا مانده از فعالیت‌های انسانی در همه جای کره زمین قابل مشاهده است، از آب شدن یخ‌های قطبی، نابودی جنگل‌ها تا اعماق اقیانوس‌ها (Darvishi et al., 2016; Seroussi, 2019; Ma et al., 2019). اگرچه بسیاری از دولت‌ها و نهادها بر لزوم اقدامات سریع در جهت رفع فوری مشکلات اتفاق نظر دارند (Hák et al., 2012)، ولی افزایش سطح مصرف‌گرایی (Zhu and Sarkis, 2016) و تحرکات غیرقابل توصیف برای بهبود شرایط زندگی به این معنی است که جوامع در برابر طیف وسیعی از محدودیت‌های محیط زیستی قرار دارند که همان چالش‌های موجود در برابر توسعه پایدار هستند (Welford, 2016).

در گذشته بیشتر مشکلات محیط زیستی و تصمیم‌گیری برای حل آنها بصورت موردی انجام شده است و هر مشکل خاص را بصورت منزوی و جدا از مشکلات دیگر در نظر گرفته‌اند (Agnoletti and Emanuelli, 2016). از اینرو برای حل مشکلات محیط زیستی و غلبه بر چالش‌های پیش رو، به تفکری عمیق‌تر در مورد الگوی تولید و مصرف نیاز است، و اینکه چگونه می‌توان نیازهای جوامع بشری را بدون ایجاد آشفتگی‌های ناخواسته قابل توجه در سیمای سرزمین تامین کرد (Marull et al., 2019) و در کنار تامین نیاز انسان، نیاز سایر موجودات

۱ - Weak Sustainability

۲ - Strong Sustainability

جریان ماده و انرژی با فعالیتهای اقتصادی و یا رفاه اجتماعی می‌تواند در درک ما از فشارهای اقتصادی- اجتماعی و تغییرات ایجاد شده در محیط طبیعی و همچنین توانایی تغییر رفتار ما موثر باشد (Schiller, 2009).

محاسبه جریان ماده و انرژی شامل محاسبه جریان ماده (MFA) ^۲ (Brunner and Rechberger, 2016;)، روش‌های (Ghani et al., 2019; Kayo et al., 2019)، روش‌های محاسبه جریان انرژی (EFA) ^۳ (Tjahjadi et al.,)، و تخصیص انسانی (Browne et al., 2012; 1999)، و تولید اولیه خالص (HANPP) ^۴ که حدود ۳۰ سال پیش پیشنهاد شده (Vitousek et al. 1986) و با توسعه‌هایی که در سالهای گذشته داشته با دو روش MFA و EFA سازگار شده است (Gerber et al., 2004; Haberl et al., 2018). چارچوب MEFA قطعاً یک روش کامل برای تحلیل هم‌کنش‌های بین اجتماع و طبیعت نیست ولی چارچوبی پیشرفته برای تجزیه و تحلیل جریان ماده و انرژی در مقیاس سیمای سرزمین به شمار می‌آید. محاسبه جریان ماده و انرژی در مقیاس- های فضایی مختلف مانند مقیاس منطقه‌ای (Hall and Hesse, 2013)، ملی (Matthews et al., 2000) و فرا ملی (Giljum, 2004) قابل محاسبه است. MFA و EFA می‌توانند در تمام مقیاس‌های گفته شده اندازه- گیری شوند، ولی به دلیل نبود اطلاعات در مقیاس جهانی و ضعف تکنیکی، در مقیاس‌های خیلی کوچک امکان محاسبه ندارند (Weisz et al., 2001; Haberl et al.,)

را نیز در نظر گرفت. برای این هدف مهم، پژوهشگران در جهت مدیریت پایدار، نیاز به شاخص‌های ارزیابی در فرآیند برنامه‌ریزی دارند. یکی از ویژگی‌های مهم شاخص‌ها این است که در فرآیند سیاست‌گذاری و تصمیم‌سازی موثر باشند (Hák et al., 2012). اما در زمینه توسعه پایدار ادغام آن‌ها در عرصه‌های مختلف سیاست بسیار مهم است. شاید بزرگترین مشکل محققین در حال حاضر توانایی در شناسایی شاخص‌های مناسب برای تصمیم‌گیری در زمان مناسب و در جهت مطالعه روابط و هم‌کنش‌های بین جامعه و محیط زیست باشد (Darvishi et al., 2014a). همچنین شاخصی که بتواند در کنار نیاز جامعه، نیاز تنوع زیستی را نیز مطالعه و کمی کند و بتواند در برنامه‌ریزی‌ها جهت تامین آنها موثر واقع گردد. محاسبه جریان ماده و انرژی (MEFA) ^۱ براساس تفکر متابولیسم اقتصادی- اجتماعی، چارچوب تحلیلی مهمی برای هم‌کنشی جامعه و طبیعت ارائه می‌کند (Haberl et al., 2002 and 2004). این رویکرد با ردیابی جریان‌ات ماده و انرژی در سیستم اقتصادی- اجتماعی و ارزیابی تغییرات الگوها و فرآیندهای مرتبط با این جریان‌ات در اکوسیستم، به بیان دیگر استعمار اکوسیستم‌های زمینی (Marull et al., 2016) سعی در مطالعه هم‌کنش‌های جامعه و طبیعت دارد. مفهوم "استعمار" به مداخله سیستم اقتصادی- اجتماعی در سیستم‌های طبیعی گفته می‌شود که به دنبال افزایش منافع این سیستم‌ها برای اهداف اقتصادی- اجتماعی است (Haberl et al., 2004). کسب دانش از ارتباطات

۴ - Human Appropriation of Net Primary Production

۱ - Material and Energy Flow Accounting

۲ - Material Flow Accounting

۳ - Energy Flow Accounting

سرزمین حاکم است، تنوع زیستی بالایی را پشتیبانی می‌کند. به عبارت دیگر آن‌ها فرضیه آشفستگی متوسط^۱ را آزمون کرده‌اند که در یک طرف شاخص HANPP و در طرف دیگر سنجه‌های سیمای سرزمین قرار دارند. در واقع میزان تولید اولیه خالص که توسط انسان از سیستم خارج می‌شود و یا در اثر تغییر کاربری از بین می‌رود، منجر به کاهش توانایی سرزمین و کاهش منابع غذایی در دسترس تنوع زیستی می‌گردد. لذا از این شاخص به عنوان شاخص سلامت تنوع زیستی نیز استفاده شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی میزان آشفستگی انسانی در مقیاس سیمای سرزمین در سطح استان قزوین صورت گرفته است. در این فرآیند، میزان تغییر کاربری و اثر آن در جریان انرژی که توسط پوشش گیاهی طبیعی وارد چرخه حیات می‌شود محاسبه شده است تا بتوان اثر تخریب محیط زیست توسط انسان را از دیدگاه جریان انرژی محاسبه کرد. همچنین این شاخص یک تحلیل کلی از همکنش بین جامعه و طبیعت و ساختار جریان انرژی بین آنها به دست می‌دهد که در درک بهتر سیستم‌های بوم‌شناختی-جامعه شناختی می‌تواند موثر باشد.

۱-۱. شاخص HANPP

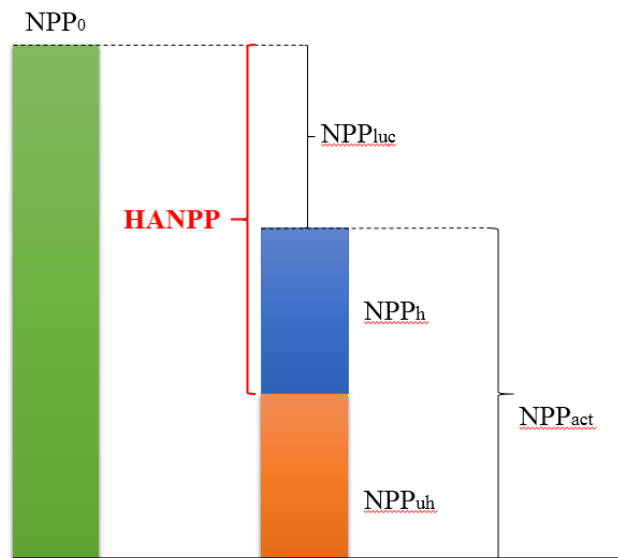
شاخص HANPP بارها به عنوان شاخص آشفستگی انسانی در سیمای سرزمین به کار برده شده است (Marull *et al.*, 2016) و برای محاسبه آن پنج پارامتر ارزیابی می‌گردد (Haberl *et al.*, 2002) که شامل: تولید اولیه خالص برداشت شده (NPP_h)، تولید اولیه خالص برداشت نشده (NPP_{uh})، تولید اولیه خالص واقعی (NPP_{act})،

در مقابل، HANPP با به‌کارگیری تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در مقیاس‌های مختلف از جهانی (Haberl *et al.*, 2007) تا ناحیه‌ای (Sjafrie *et al.*, 2018) قابل محاسبه است. در نتیجه MFA و EFA احتمالاً در مقیاس‌های خیلی کوچک روش مناسبی نیستند و برای محاسبات در مقیاس جهانی و مقیاس‌های خیلی کوچک، می‌توان اذعان کرد HANPP توانایی بالایی نسبت به دو شاخص دیگر دارد.

HANPP یک شاخص تجمعی است که میزان مساحت مورد استفاده توسط انسان و شدت استفاده از سرزمین را نشان می‌دهد (Haberl *et al.*, 2002) و اثر تغییر کاربری اراضی و برداشت زیست توده بر میزان تغییر در دسترسی به انرژی فتوسنتز در اکوسیستم را محاسبه می‌نماید. این شاخص در مطالعات مختلف برای اهداف گوناگونی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال Marull و همکاران (۲۰۱۹ و ۲۰۱۶) از این شاخص به منظور برآورد میزان آشفستگی کشاورزی و انسانی در سیمای سرزمین استفاده کرده‌اند. Plutzer و همکاران (۲۰۱۶) HANPP را مجموعه‌ای از شاخص‌های اجتماعی-بوم‌شناختی معرفی می‌کنند که چگونگی تغییر جریان‌ات انرژی توسط تغییر کاربری اراضی را کمی می‌کند. علاوه بر مطالعات گفته شده، این شاخص در ترکیب با شاخص‌های دیگر نیز تحلیل‌های خوبی ارائه داده است. به عنوان مثال Marull و همکاران (۲۰۱۸) با ترکیب شاخص HANPP با سنجه‌های سیمای سرزمین، ارتباط این شاخص با تنوع زیستی را ارزیابی نموده و اذعان کرده‌اند، زمانی که آشفستگی متوسط در سیمای

که بعد از برداشت توسط انسان، در سرزمین باقی می‌ماند (مانند علف‌های هرز، باقیمانده محصولات کشاورزی و ...). NPP_{act} به مقدار انرژی واقعی گفته می‌شود که در حال حاضر توسط سرزمین تولید می‌گردد (توان بالفعل تولید زیست‌توده) و مجموع زیست‌توده برداشت شده توسط انسان و مقدار زیست‌توده باقیمانده در سرزمین است. براساس پارامترهای گفته شده، شاخص HANPP به مجموع مقدار انرژی که توسط انسان از سیستم خارج می‌گردد (NPP_h) و مقدار انرژی از دست رفته به واسطه تغییر کاربری (NPP_{luc}) اطلاق می‌گردد. شکل ۱ طرح شماتیک محاسبه HANPP برای درک راحت‌تر نمایش داده شده است.

کاهش تولید سرزمین به واسطه تغییر کاربری (NPP_{luc}) و پتانسیل تولید اولیه خالص (NPP_0) است. اطلاعات مربوط به پتانسیل تولید اولیه خالص، منظور تولید اولیه- ای است که بدون حضور انسان، سرزمین توان تولید آن را داشته است (Plutzer *et al.*, 2016). به عبارت دیگر اگر انسان در سرزمین ساکن نمی‌شد و دست به تغییر ساختار سیمای سرزمین نمی‌زد، مقدار انرژی خورشیدی است که می‌توانست توسط گیاهان در فرایند فتوسنتز تبدیل به ذخیره انرژی در گیاهان شود و وارد چرخه حیات گردد (توان بالقوه تولید زیست‌توده). NPP_h به مقدار انرژی گفته می‌شود که توسط انسان از سیستم مورد مطالعه خارج می‌گردد (مانند محصولات کشاورزی، علوفه جهت تغذیه دام و ...) و NPP_{uh} مقدار انرژی است



شکل ۱- شماتیک محاسبه تخصیص انسانی تولید اولیه خالص. برگرفته از Haberl و همکاران (۲۰۰۲)

به عبارت ساده‌تر، مقدار انرژی کاهش یافته در فرایند فتوسنتز گیاهی در اثر تغییر کاربری توسط انسان و مقدار انرژی که انسان از سرزمین برداشت می‌کند، مجموعاً شاخص HANPP را تشکیل می‌دهند.

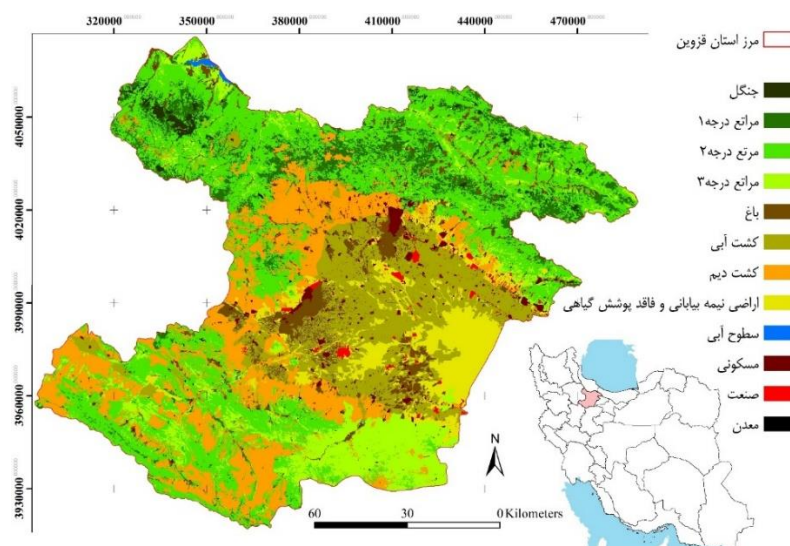
دخالت انسان باعث شده است تولید اولیه خالص در بیشتر نواحی کره زمین کاهش یابد (Marull *et al.*, 2019) و این کاهش که NPP_{luc} نامیده می‌شود، از کسر تولید اولیه خالص بالفعل و یا واقعی از پتانسیل تولید اولیه خالص به دست می‌آید (Haberl *et al.*, 2007).

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه (استان قزوین)

استان قزوین از شمال با استان گیلان، از سمت غرب با استان زنجان، سمت شرق با استان البرز و از سمت جنوب با استانهای همدان و مرکزی دارای مرز مشترک شکل ۲ و از تنوع بالای زیستگاهی و پوشش اراضی برخوردار است بطوری که در ناحیه شرقی دارای اراضی نیمه بیابانی و

در دشت مرکزی شاهد اراضی کشاورزی فشرده و در شمال منطقه مراتع درجه ۱، ۲ و ۳ را شاهد هستیم (Eslami *et al.*, 2019) و همچنین نوار جنوبی استان شامل مراتع درجه ۳ و تپه‌ماهورها است. توسعه روزافزون استان قزوین به دلیل نزدیکی به شهر تهران و نقش استان به عنوان یکی از تامین کننده‌های عمده مواد غذایی مورد نیاز آن، باعث حساسیت بیشتر سیمای سرزمین در این منطقه شده است.



شکل ۲- موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه و واحدهای نمونه مورد مطالعه استان قزوین (منبع: نگارندگان)

۲-۲. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

نقشه کاربری و پوشش اراضی مورد استفاده در این تحقیق توسط نگارندگان در تابستان سال ۱۳۹۶ تهیه شده است (شکل ۱). برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی از تصاویر گوگل ارث استفاده شده و جهت پوشش، نقص بروز نبودن این تصاویر با بازدید میدانی گسترده در سطح استان رفع گردید. اطلاعات مربوط به پتانسیل تولید اولیه خالص (NPP_0) از پروژه ارزیابی HANPP جهانی (Krausmann *et al.*, 2013) که در سایت <http://www.uni-klu.ac.at/socec/inhalt/5605.htm> قابل دسترسی است، تهیه شده است. بقیه شاخص‌ها

(NPP_h , NPP_{uh} , NPP_{act} و NPP_{luc}) که در ادامه توضیح داده شده است براساس تولید سرزمین در استان قزوین که شامل تولیدات کشاورزی، مراتع و باغات است تهیه شده‌اند.

۲-۳. روش تحقیق

سطح زراعت و عملکرد هر محصول کشاورزی و باغی به طور جداگانه بر حسب دیم و آبی و ضایعات کشاورزی به زیر بخش کشاورزی و باغات تعلق دارد. تولید مراتع مورد استفاده برای چرای دام نیز در زمره اراضی مرتعی بوده است. همه شاخص‌های مورد بحث با استفاده از ارزش

$$\text{HANPP} = (\text{HANPP}_{\text{luc}} + \text{HANPP}_{\text{h}})/100 \quad (3)$$

لازم به ذکر است که نواحی جنگلی و نیمه بیابانی موجود در استان قزوین فاقد هرگونه برداشت از زیست توده هستند و در این مطالعه زیست توده برداشت شده از این نواحی صفر در نظر گرفته شده است. محصولات برداشت شده از کشاورزی و باغات براساس آمارنامه سال ۱۳۹۵ برحسب مقدار انرژی در هر هکتار برآورد شده است. همچنین میزان برداشت زیست توده از مراتع براساس آمارنامه و مقدار دام موجود در هر دهستان و همچنین نیاز غذایی آنها استخراج گردیده است.

۳. نتایج

جدول ۱، مقایسه تولید انرژی بالقوه و مقدار انرژی بالفعل تولید شده در سیمای سرزمین قزوین به تفکیک مقدار انرژی برداشت شده توسط انسان و مقدار انرژی مانده در سرزمین را نشان می‌دهد. طبق این جدول تولید بالقوه مراتع درجه ۱ به طور میانگین بیشتر از ۹۲ مگاژول در هکتار بوده است که بیشترین توان تولید بالقوه را داراست. البته خاطر نشان می‌گردد این توان در صورت نبود انسان می‌توانست محقق گردد (Haberl et al., 2006). اراضی نیمه بیابانی شرق قزوین و اراضی فاقد پوشش گیاهی به طور میانگین کمتر از ۴۰ مگاژول توان تولیدی بالقوه دارند. یکی از نتایج مهم این تحقیق از دست رفتن ۳/۷۲ میلیون گیگاژول از توان بالقوه تولید زیست توده قزوین بر اثر توسعه کالبدی نواحی مسکونی و شهرک‌های صنعتی و همچنین زیرساخت‌های ارتباطی همچون جاده و راه آهن است (جدول ۱). کشاورزی آبی و مراتع درجه ۳ به ترتیب با میانگین ۱۰۸ و ۰٫۵ مگاژول انرژی در هکتار در سال، بیشترین و کمترین جذب انرژی خورشیدی را

کالری ناخالص، پیرو تحقیقات Guzmán و همکاران (۲۰۱۴) برای محصولات کشاورزی، باغی و مرتعی بر حسب گیگاژول محاسبه گردید. مقدار انرژی محاسبه شده از برداشت محصولات کشاورزی، باغی و مرتعی NPP_{h} را تشکیل داده است. زیست توده برداشت نشده NPP_{uh} نیز درمزارع شامل علف‌های هرز و قسمتی از زیست توده‌ای است که نسبت به نوع محصول تولیدی، در کشاورزی یا در مراتع، توسط آفات و حیات وحش مصرف شده است و با استناد به مطالعه Oerke و همکاران (۱۹۹۹) محاسبه شده است. جهت محاسبه NPP_{act} ، از رابطه ۱ استفاده شده است. براساس این رابطه، مجموع مقدار انرژی برداشت شده توسط انسان و مقدار انرژی باقی مانده در سرزمین، به عنوان NPP_{act} محاسبه شده است (Marull et al., 2018).

$$\text{NPP}_{\text{act}} = \text{NPP}_{\text{h}} + \text{NPP}_{\text{uh}} \quad (1)$$

یکی از پارامترهای مهم که در این مطالعه برآورد شده است، تولید اولیه از بین رفته شده توسط تغییر کاربری است. این پارامتر براساس مقدار واقعی تولید اولیه خالص و پتانسیل تولید محاسبه می‌شود رابطه ۲ و شدت تاثیر تغییر کاربری در تولید اولیه را بر حسب گیگاژول نمایش می‌دهد.

$$\text{HANPP}_{\text{luc}} = \text{NPP}_0 - \text{NPP}_{\text{act}} \quad (2)$$

بعد از محاسبه مقدار پارامترهای گفته شده، مقدار HANPP از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. مقدار شاخص به صورت درصد بیان می‌گردد و میزان تاثیر عوامل انسانی در سیمای سرزمین را نمایش می‌دهد (Haberl et al., 2002). قطعا هرچقدر مقدار این شاخص بیشتر باشد، تاثیر گذاری بیشتر انسان در منطقه را نشان می‌دهد (Haberl et al., 2007).

نیز در بیشترین حالت ۱۲۵۲۸۵ مگاژول است که مربوط به کشاورزی فشرده و در کمترین حالت مقدار صفر و مربوط به نواحی شهری، صنعتی و بسترهای توسعه یافته کالبدی است. از کل تولید اولیه خالص و یا تولید زیست توده بالفعل استان قزوین، تنها ۹/۴۴۶ میلیون مگاژول در سرزمین باقی می ماند که برای حفظ و تغذیه حیات وحش و همچنین تامین نیاز مواد آلی گیاهان برای سال آینده زیستی، مورد استفاده قرار می گیرد.

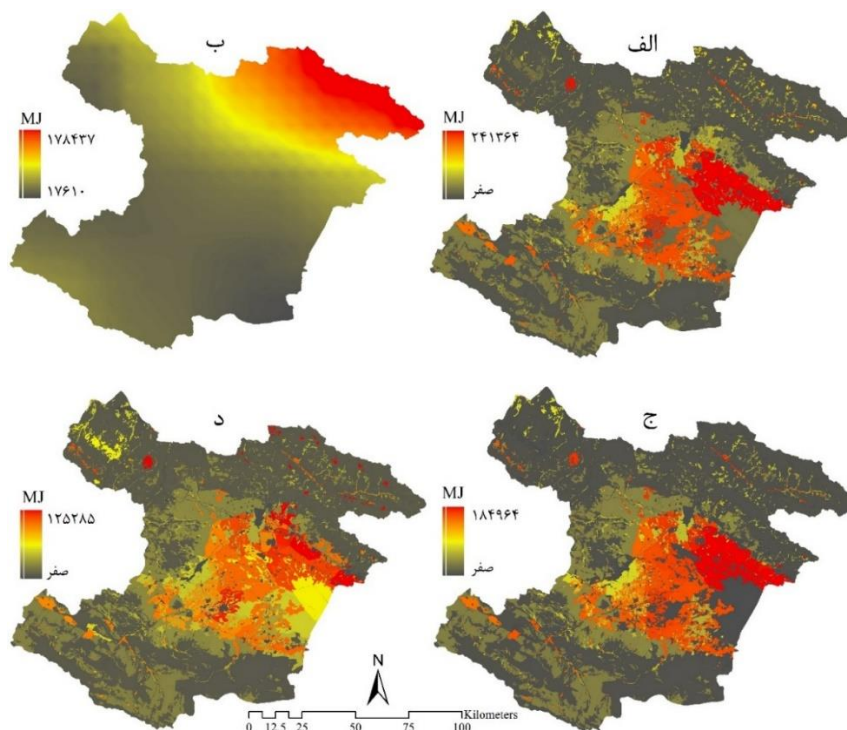
دارا هستند. از مجموع تولیدات زیست توده در استان قزوین، ۲۵/۳۸۹ میلیون مگاژول انرژی توسط انسان برداشت می شود (جدول ۱). بخشی از این مقدار انرژی که از سیستم اقتصادی (کشاورزی) و سیستم بوم شناختی (مراتع) وارد سیستم اجتماعی می گردد، تامین کننده انرژی مورد نیاز جامعه برای بقا و بخشی دیگر صرف تغییر ساختار سیمای سرزمین توسط انسان می گردد. بعد از برداشت انسان، مقدار زیست توده باقی مانده در سرزمین

جدول ۱- مقایسه تولید انرژی بالقوه و مقدار انرژی بالفعل تولید شده در سیمای سرزمین قزوین به تفکیک مقدار انرژی برداشت شده توسط انسان و مقدار انرژی مانده در سرزمین به گیگاژول در هکتار در سال. مقدار انرژی کل برای هر کاربری به هزار گیگاژول در سال است.

کاربری و پوشش اراضی	مشخصات شاخصها (GJ/ha/y)	کشاورزی آبی	باغ	کشاورزی دیم	اراضی نیمه بیابانی	جنگل	مراتع ۱ درجه	مراتع ۲ درجه	مراتع ۳ درجه	اراضی توسعه یافته
مساحت کاربریها (هکتار)	۲۲۳۹۹۵	۸۸۱۶۰	۲۸۳۲۷۵	۱۰۵۲۲۸	۱۲۵۵۴	۱۱۳۴۰۸	۵۰۷۹۵۰	۱۶۲۲۷۸	۶۵۴۸۶	
حداقل	۲۲	۱۸	۱۸	۲۱	۲۷	۲۱	۱۸	۱۷	۱۸	
حداکثر	۱۵۷	۱۶۵	۱۶۵	۱۱۱	۱۷۰	۱۷۵	۱۷۷	۱۷۸	۱۷۰	
میانگین	۴۲	۵۶	۴۳	۴۰	۶۸	۹۲	۷۴	۴۴	۵۷	
مجموع (TJ/y)	۹۳۵۸	۴۹۷۶	۱۲۲۴۹	۴۱۹۶	۵۶۰	۱۰۴۱۹	۳۷۷۴۶	۷۱۳۱	۳۷۲۰	
درصد	۱۰/۳۶	۵/۵۰	۱۳/۵۵	۴/۶۵	۰/۶۳	۱۱/۵۰	۴۱/۷۸	۷/۹۰	۴/۱۳	
حداقل	۱۱	۱۱	۰	۰/۳	۵۰	۱/۹	۱	۰/۵	۰	
حداکثر	۲۴۱	۱۰۵	۴۲	۰/۳	۵۰	۱/۹	۱	۰/۵	۰	
میانگین	۱۰۸	۶۹	۱۲	۰/۳	۵۰	۱/۹	۱	۰/۵	۰	
مجموع (TJ/y)	۲۴۱۳۳	۶۰۸۰	۲۸۷۶	۳۲	۶۲۷	۲۱۵	۵۰۸	۸۱	۰	
درصد	۶۹/۸۵	۱۷/۶۰	۸/۳۲	۰/۰۹	۱/۸۲	۰/۶۲	۱/۴۷	۰/۲۳	۰	
حداقل	۶	۵	۰	۰	۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
حداکثر	۱۸۵	۱۲۸	۳۰	۰	۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
میانگین	۸۱	۵۲	۷/۵	۰	۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
مجموع (TJ/y)	۱۸۲۵۷	۴۵۹۲	۲۱۲۸	۰	۰	۱۰۷/۵	۲۵۴	۴۰/۵	۰	
درصد	۷۱/۹۴	۱۸/۱۰	۸/۳۸	۰	۰	۰/۴۲	۱/۰۰	۰/۱۶	۰	
حداقل	۳/۴	۳	۰	۰/۳	۵۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
حداکثر	۵۹	۲۶	۱۳	۰/۳	۵۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
میانگین	۲۶	۱۷	۳/۵	۰/۳	۵۰	۰/۹۵	۰/۵۰	۰/۲۵	۰	
مجموع (TJ/y)	۵۸۷۶	۱۵۲۰	۹۸۸	۳۲	۶۲۷	۱۰۷/۵	۲۵۴	۴۰/۵	۰	
درصد	۶۲/۲۱	۱۶/۰۹	۱۰/۴۶	۰/۳۴	۶/۶۴	۱/۱۴	۲/۶۹	۰/۴۳	۰	

مطالعه افزایش می‌یابد در حالی که توان تولید بالفعل و دو شاخص دیگر به شدت به ترکیب سیمای سرزمین وابسته است و نشان می‌دهد تغییر کاربری توسط انسان چگونه می‌تواند جریان انرژی در زیست را تحت تاثیر قرار دهد.

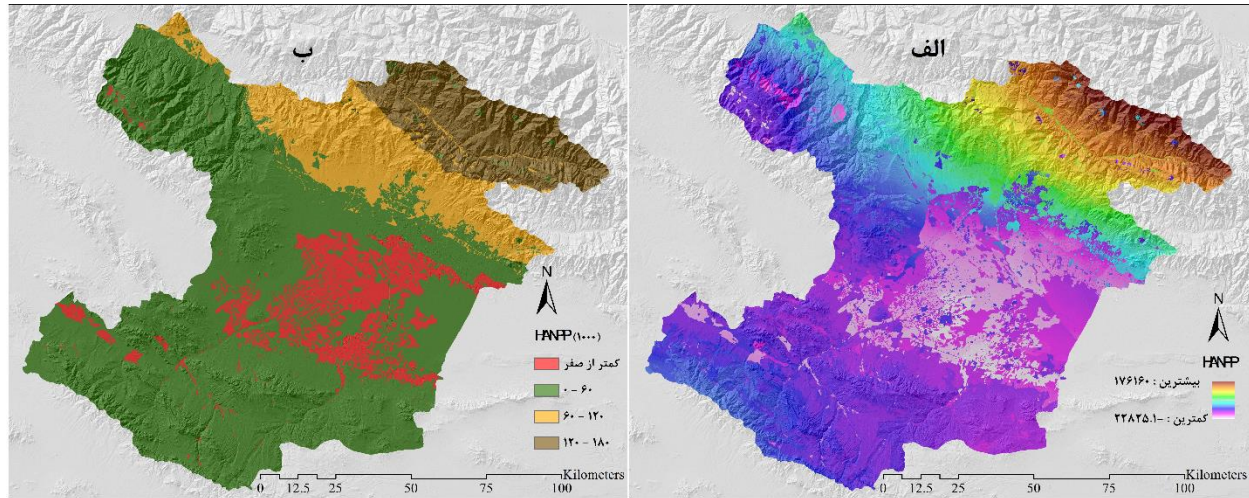
شکل ۳ (الف)، (ب)، (ج)، و (د) به ترتیب نقشه‌های NPP_{act} (توان بالفعل)، NPP_0 (توان بالقوه)، NPP_h و NPP_{th} را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۳ (ب) مشخص است هرچقدر به سمت شمال منطقه نزدیک می‌شویم توان بالقوه تولید زیست‌توده منطقه مورد



شکل ۳- پهنه‌بندی مقدار تولید اولیه خالص واقعی (الف)، مقدار پتانسیل تولید اولیه خالص (ب)، مقدار تولید اولیه برداشت شده (ج) و مقدار زیست توده به‌جا مانده بعد از برداشت انسان (د)

گرفته اند تا بتوان تحلیل بهتری روی نتایج داشت. دشت قزوین که در مرکز خود بیشتر کشاورزی آبی را داراست، اعداد منفی، و کشاورزی دیم و مراتع، اعداد مثبت را به خود اختصاص داده‌اند. علارغم اینکه افزایش شاخص HANPP نشان دهنده اثر بالای آشفتگی‌های اقتصادی- اجتماعی بر عملکرد بوم شناختی سیمای سرزمین است، ولی ارزش‌های منفی در دشت مرکزی قزوین نشان دهنده برداشت بیش از ظرفیت برد از منطقه می‌باشد، زیرا نشان می‌دهد میزان زیست‌توده تولید شده در منطقه از توان بالقوه بیشتر بوده است (Haberl et al., 2002).

با استفاده از نتایج بدست آمده از میزان تولید اولیه‌های خالص، مقدار HANPP محاسبه و در شکل ۴ (الف) نشان داده شده است. نواحی کشاورزی ارزش کم و نواحی طبیعی ارزش بالایی را نشان داده است. ارزش‌های منفی به عبارتی مقدار انرژی هستند که بیشتر از توان بالقوه سرزمین برداشت می‌گردند و باعث ناپایداری سیمای سرزمین در بلندمدت خواهند شد. ارزش‌های خیلی زیاد هم یکی دیگر از نشانه‌های ناپایداری در سیستم است. شکل ۴ (ب) چهار طبقه از تغییرات را نمایش داده است. اعداد منفی در یک طبقه و اعداد مثبت در سه طبقه جای



شکل ۴- پهنه بندی (الف) و طبقه بندی (ب) مقدار HANPP در استان قزوین

۴. بحث و نتیجه گیری

مطالعه حاضر به ارزیابی شاخص آشفستگی انسانی در سیستم سیمای سرزمین استان قزوین با استفاده از رویکرد متابولیسم اقتصادی- اجتماعی، پرداخته است. نتایج شیوه‌ای از ارزیابی کمی همکنش جامعه و طبیعت را نشان می‌دهد که چگونه دخالت انسان در سیستم سیمای سرزمین، جریان انرژی را به سمت اهداف انسانی پیش برده است و سهم ناچیزی از کل تولید ناخالص را برای حفاظت از تنوع زیستی برجای گذاشته است. به بیان ساده‌تر با افزایش این شاخص نسبت تسلط انسان بر طبیعت افزایش می‌یابد (Haberl et al., 2007). البته لازم به ذکر است که در مطالعات جهانی HANPP تا اوایل دهه اول قرن ۲۱، از این شاخص به عنوان محدودیت‌های بوم‌شناختی برای رشد اقتصادی تعبیر شده است (Costanza et al., 1998). این تعبیر در سال‌های اخیر اعتبار خود را از دست داده است، زیرا رشد اقتصادی بدون استفاده از زیست‌توده هم امکان پذیر است (Haberl et al., 2006) و همچنین اگر افزایش تولید زیست‌توده به دلیل صنعتی شدن کشاورزی بجای

افزایش سطح زیر کشت باشد باعث خواهد شد اندازه شاخص HANPP کاهش یابد (Haberl et al., 2007; Krausmann et al., 2013) که در استان قزوین نیز شاهد آن هستیم. زیرا نواحی مرکزی استان قزوین به دلیل صنعتی شدن کشاورزی دارای اندازه شاخص HANPP کمی است که در مطالعه Kohlheb و Krausmann (۲۰۰۹) در کشور مجارستان هم به این موضوع اشاره شده است.

در مجموع استان قزوین معادل ۹۰/۶۵۸ میلیون گیگاژول توان تولیدی انرژی از زیست‌توده گیاهان داشته ولی حضور انسان و تغییر ساختار سیمای سرزمین و همچنین آثار جهانی تغییرات کره زمین مانند تغییرات اقلیمی (Mir Mousavi and Kiani 2017)، موجب کاهش مقدار انرژی خورشیدی به دام افتاده توسط گیاهان شده است. به طوری که کل استان قزوین در مجموع ۳۴/۵۵۲ میلیون گیگاژول انرژی خورشیدی را می‌تواند در گیاهان ذخیره کند که معادل ۳۸/۱۱ درصد از توان بالقوه استان است. براساس مقدار NPP_{uh} در استان قزوین، از کل توان بالقوه تولید زیست‌توده استان تنها ۱۰/۴۲ درصد در

سناریوهای مختلف انرژی قابل پیش بینی است که استان قزوین به دلیل قرار گیری در یکی از قطب‌های تولیدی ایران و به دلیل موقعیت ژئوپلیتیکی، باید آمادگی زیادی داشته باشد. زیرا ممکن است در آینده رقابتی بین انرژی و مواد غذایی در تقاضای زیست توده بوجود آید که خودبخود باعث افزایش هرچه بیشتر شاخص HANPP خواهد شد.

اجرای مدل HANPP در مقیاس استانی محدودیت‌هایی دارد که یکی از آن‌ها در ارتباط با مقیاس داده‌های مورد نیاز است. به عنوان مثال در این مطالعه، داده‌های مربوط به NPP_0 در مقیاس جهانی تولید شده است که دقت پایین آن در مقیاس استانی یکی از محدودیت‌های اساسی این مدل می‌باشد. همچنین مشکلات مربوط به میزان برداشت دقیق از مراتع و جنگل‌ها یکی دیگر از محدودیت‌های مدل می‌باشد. به عنوان مثال در این مطالعه به دلیل نبود اطلاعات مربوط به برداشت از جنگل، میزان برداشت از آن صفر در نظر گرفته شده است. با وجود این محدودیت‌ها، مدل HANPP نتایج قابل قبولی ارائه نموده است که براساس آن، برای رسیدن به توسعه پایدار باید دشت مرکزی استان قزوین براساس ظرفیت برد توسعه کشاورزی برنامه‌ریزی گردد و همچنین جهت برداشت پایدار از مراتع استان مانند چرای دام، برنامه‌ریزی مدون داشته باشد. زیرا یکی از عوامل بالا بودن شاخص HANPP در شمال منطقه می‌تواند چرای بیش از ظرفیت باشد. پایین بودن زیست توده باقی مانده در سرزمین، که منبع غذایی تنوع زیستی را تامین می‌کند، باعث نابودی تنوع زیستی خواهد شد و نیاز هست در برنامه‌ریزی‌ها، بجای برداشت حداکثری از سرزمین برای تامین نیاز جامعه، به نیاز تنوع زیستی نیز توجه کرد.

سرزمین باقی می‌ماند و برای تامین نیاز موجودات زنده دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد درحالی که این مقدار در اروپا براساس مطالعه Plutzer و همکاران (۲۰۱۶) ۵۷ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر ۸۹/۵۸ درصد یا توسط انسان نابود شده و یا توسط انسان از سیمای سرزمین خارج و در سیستم جامعه هزینه می‌شود. دشت مرکزی استان قزوین و یا نواحی که کشاورزی متمرکز در آن مستقر است، با وجود پایین بودن توان بالقوه (NPP_0)، دارای بالاترین مقدار NPP_{act} ، NPP_h و NPP_{uh} می‌باشد که به دلیل استفاده از آب و کود در افزایش تولیدات کشاورزی در این نواحی است (Haberl *et al.*, 2002; 2006 and 2007). زیرا هرچه قدر تولید اولیه زیاد باشد، مقدار برداشت شده و به جا مانده نیز زیاد خواهد بود (Oerke *et al.*, 1999). لذا مقادیر هر سه شاخص NPP_{act} ، NPP_h و NPP_{uh} در دشت قزوین بالاست.

یکی از معانی روشن شاخص HANPP این است که در استفاده از زیست‌توده برای رفع نیاز اقتصادی-اجتماعی باید احتیاط گردد (Haberl *et al.*, 2006). به عنوان مثال در طرح‌ریزی سیاست‌های مدیریتی استان قزوین که هدف آن استفاده از مواد خام و زیست توده به عنوان مواد اولیه است باید دقت بیشتری داشت. براساس مطالعات گوناگون انتظار می‌رود در آینده، افزایش چشمگیری در تقاضای زیست توده بوجود آید (Krausmann *et al.*, 2013) و به دلیل برنامه‌ریزی-های کلان کشوری برای افزایش جمعیت تا ۱۵۰ میلیون نفر (حدود دوبرابر جمعیت کنونی) و همچنین پیشرفت-های احتمالی در رژیم‌های غذایی (Haberl *et al.*, 2002)، نیروهای محرک قوی برای افزایش تقاضای زیست‌توده جهت تامین منابع غذایی و انرژی براساس

شرایط نامطلوبی از نظر توان تولید زیست توده را تجربه می کند که در بلند مدت می تواند باعث تهدید حیات در این ناحیه گردد.

نتایج این تحقیق می تواند در برنامه ریزی های مربوط به مناطق حفاظت شده و مدیریت یکپارچه تنوع زیستی در سطح استان مثمر ثمر باشد. همچنین براساس نتایج این تحقیق مشخص شد دشت مرکزی استان قزوین دارای

References

- Agnoletti, M., Emanuelli, F. (Eds.), 2016. Biocultural diversity in Europe (Vol. 5). New York: Springer.
- Browne, D., O'Regan, B., Moles, R., 2012. Comparison of energy flow accounting, energy flow metabolism ratio analysis and ecological footprinting as tools for measuring urban sustainability: A case-study of an Irish city-region. *Ecological Economics*, 83, 97-107.
- Brunner, P. H., Rechberger, H., 2016. *Practical Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers*. CRC press.
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M., 2014. Sharing nature's interest: ecological footprints as an indicator of sustainability. Routledge.
- Costanza, R., Cumberland, J., Daly, H. E., Goodland, R., Norgaard, R. B., 1998. *An Introduction to Ecological Economics*. Boca Raton, FL/USA, CRC Press.
- Darvishi, A., Ghorban, M., Fakheran, S., Soffianian, A. 2014a. Network Analysis and Key Actors toward Wildlife Management (Case Study: Habitat of Caucasian Black Grouse, Arasbaran Biosphere Reserve). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(9), 29-41. (In Persian)
- Darvishi, A., Fakheran, S., Soffianian, A., Ghorbani, M., 2014b. Quantifying Landscape Spatial Pattern Changes in the Caucasian Black Grouse (*Tetrao mlokosiewiczzi*) Habitat in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 2(5), 27-38. (In Persian)
- Darvishi, A., Fakheran, S., & Soffianian, A., 2015. Monitoring landscape changes in Caucasian black grouse (*Tetrao mlokosiewiczzi*) habitat in Iran during the last two decades. *Environmental monitoring and assessment*, 187(7), 443.
- Darvishi, A., Fakheran, S., Soffianian, A., Ghorbani, M., 2016. Change Detection and Land Use/Cover Dynamics in the Arasbaran Biosphere Reserve. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*. 68(4), 559-572. (In Persian)
- Eslami, M., Shadfar, S., Mohammadi-Torkashvand, A., Pazira, E., 2019. Assessment of density area and LNRF models in landslide hazard zonation (Case study: Alamout watershed, Qazvin Province, Iran). *Acta Ecologica Sinica*, 39(2), 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.08.001>.
- Gerber, J. F., & Scheidel, A., 2018. In search of substantive economics: Comparing today's two major socio-metabolic approaches to the economy—MEFA and MuSIASEM. *Ecological economics*, 144, 186-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.08.012>.
- Ghani, L. A., Mahmood, N. Z., Muhammad, Z., Bahri, S., Saputra, J., 2019. The Energy Flow for Maize Production: An Application of Material Flow Analysis (MFA) and Giddens Structural Theory. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 54(4).
- Giljum, S., 2004. Trade, materials flows, and economic development in the South: the example of Chile. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 241-261.
- Guzmán, G., Aguilera, E., Soto, D., Cid, A., Infante, J., Garcia-Ruiz, R., Herrera, C., Villa, I., González de

- Molina, M., 2014. Methodology and Conversion Factors to Estimate the Net Primary Productivity of Historical and Contemporary Agroecosystems (I). *Sociedad Española de Historia Agraria-Documentos de trabajo* 1407.
- Haberl, H., Krausmann, F., Erb, K. H., & Schulz, N. B., 2002. Human appropriation of net primary production. *Science*, 296(5575), 1968-1969. DOI: 10.1126/science.296.5575.1968.
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Weisz, H., Winiwarter, V., 2004. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. *Land use policy*, 21(3), 199-213. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.013>.
- Haberl, H., Krausmann, F., Gingrich, S., 2006. Ecological embeddedness of the economy: A socioecological perspective on humanity's economic activities 1700-2000. *Economic and Political Weekly*, 4896-4904.
- Haberl, H., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Bondeau, A., Plutzar, C., ... & Fischer-Kowalski, M., 2007. Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(31), 12942-12947.
- Hák, T., Moldan, B., & Dahl, A. L. (Eds.), 2012. *Sustainability indicators: a scientific assessment (Vol. 67)*. Island Press.
- Hall, P. V., & Hesse, M. (Eds.), 2013. *Cities, regions and flows (Vol. 40)*. Routledge.
- Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I., ... & Faucheux, S., 2001. Sustainability science. *Science*, 292(5517), 641-642. DOI: 10.1126/science.1059386.
- Kayo, C., Dente, S. M., Aoki-Suzuki, C., Tanaka, D., Murakami, S., & Hashimoto, S., 2019. Environmental impact assessment of wood use in Japan through 2050 using material flow analysis and life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 635-648.
- Kohlheb, N., & Krausmann, F., 2009. Land use change, biomass production and HANPP: The case of Hungary 1961-2005. *Ecological Economics*, 69(2), 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.07.010>.
- Krausmann, F., Erb, K. H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., ... & Searchinger, T. D., 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the national academy of sciences*, 110(25), 10324-10329. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211349110>.
- Ma, W., Schott, D., van Rhee, C., 2019. Numerical calculations of environmental impacts for deep sea mining activities. *Science of the Total Environment*, 652, 996-1012.
- Marull, J., Font, C., Tello, E., Fullana, N., Domene, E., Pons, M., & Galán, E., 2016. Towards an energy-landscape integrated analysis? Exploring the links between socio-metabolic disturbance and landscape ecology performance (Mallorca, Spain, 1956-2011). *Landscape ecology*, 31(2), 317-336.
- Marull, J., Tello, E., Bagaria, G., Font, X., Cattaneo, C., Pino, J., 2018. Exploring the links between social metabolism and biodiversity distribution across landscape gradients: A regional-scale contribution to the land-sharing versus land-sparing debate. *Science of The Total Environment*, 619, 1272-1285.
- Marull, J., Herrando, S., Brotons, L., Melero, Y., Pino, J., Cattaneo, C., ... & Tello, E., 2019. Building on Margalef: Testing the links between landscape structure, energy and information flows driven by farming and biodiversity. *Science of the Total Environment*, 674, 603-614.
- Matthews, E., Amann, C., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., Hüttler, W., Kleijn, R., ... & Schandl, H., 2000. *The weight of nations. Material Outflows from Industrial Economies*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Mir Mousavi, S. H., and Kiani, H., 2017. Köppen climate classification in Iran in 1975 and comparison with the output of the MIROC model for 2030, 2050, 2080 and 2100 under the scenario A1B and A2 (with emphasis on climate change), *Geography and*

Environmental Hazards, N. 22, pp. 59-72. (In Persian).
10.22067/geo.v6i2.57155.

Oerke, E., Dehne, H., Schönbeck, F., Weber, A., 1999. Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam.

Pearce, D. W., & Atkinson, G. D., 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecological economics*, 8(2), 103-108. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(93\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0921-8009(93)90039-9).

Pearce, D., Markandya, A., & Barbier, E., 2013. *Blueprint 1: for a green economy*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315070223>.

Plutzer, C., Kroisleitner, C., Haberl, H., Fetzl, T., Bulgheroni, C., Beringer, T., ... & Levers, C., 2016. Changes in the spatial patterns of human appropriation of net primary production (HANPP) in Europe 1990–2006. *Regional environmental change*, 16(5), 1225-1238.

Robert, K. W., Parris, T. M., Leiserowitz, A. A., 2005. What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice. *Environment: science and policy for sustainable development*, 47(3), 8-21.

Schiller, F., 2009. Linking material and energy flow analyses and social theory. *Ecological Economics*, 68(6), 1676-1686.

Seroussi, H., 2019. Fate and future climatic role of polar ice sheets. *Nature* 566, 48-49. doi: 10.1038/d41586-019-00330-7.

Sjafrie, N. D. M., Adrianto, L., Damar, A., Boer, M., 2018. Human appropriation of net primary production (HANPP) in seagrass ecosystem: an example from the east coast of Bintan Regency, Kepulauan Riau Province, Indonesia. *Environment, development and sustainability*, 20(2), 865-881.

Tjahjadi, B., Schäfer, D., Radermacher, W., Höh, H., 1999. Material and energy flow accounting in Germany—Data base for applying the national

accounting matrix including environmental accounts concept. *Structural Change and Economic Dynamics*, 10(1), 73-97.

Vitousek, P. M., Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H., Matson, P. A., 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, 36(6), 368-373. <https://www.jstor.org/stable/1310258>.

Weisz, H., Fischer-Kowalski, M., Grünbühel, C. M., Haberl, H., Krausmann, F., Winiwarter, V., 2001. Global environmental change and historical transitions. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 14(2), 117-142.

Welford, R., 2016. *Corporate environmental management 3: Towards sustainable development*. Routledge.

Zhu, Q., Sarkis, J., 2016. Green marketing and consumerism as social change in China: Analyzing the literature. *International Journal of Production Economics*, 181, 289-302.