



بررسی پایداری اکوسیستم با تلفیق دو رویکرد ردپای اکولوژیکی و ارزیابی خدمات اکوسیستمی (مورد مطالعه: شهرستان نوشهر)

پریمه صمدپور^{۱*}، شهرزاد فریادی^۲، لعبت زبردست^۲

^{۱*} - دانشجوی دکتری برنامه ریزی محیط زیست، دانشکده پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ - گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: سرمایه طبیعی برای بقای انسان و تحقق اهداف توسعه پایدار ضروری است. بنابراین یک چارچوب علمی برای ارزیابی مصرف سرمایه طبیعی منطقه‌ای و ظرفیت آن برای تضمین توسعه پایدار مورد نیاز می‌باشد. سرمایه طبیعی عامل محدود کننده و جایگزین ناپذیر در رفاه و پایداری انسان است. کاهش انباشت و استفاده از جریان‌های سرمایه طبیعی موضوعات اصلی در بحث پایداری محیط زیست است. پژوهش حاضر با هدف بررسی وضعیت پایداری اکوسیستم با استفاده از دو رویکرد ردپای اکولوژیکی و خدمات اکوسیستمی و به عبارتی مقایسه میزان تقاضای منابع در برابر عرضه کالا و خدمات توسط اکوسیستم‌ها انجام گرفته است.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش‌ها: در این تحقیق، شهرستان نوشهر به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. برای بررسی پایداری اکوسیستم شهرستان نوشهر، نخست روند تغییرات کاربری زمین و پدیده‌های مرتبط آن در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها در نرم‌افزار ENVI 5.6 مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی روند تغییرات محدوده مطالعاتی، از تصاویر زمین مرجع ماهواره Landsat، سنجنده‌های TM، ETM ⁺ و OLI طی سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ استفاده شده است. در ادامه ردپای اکولوژیکی کلاسیک منطقه برای شش نوع اراضی تولیدی شامل اراضی زراعی، مرتع، بسترهای صید، اراضی جنگلی، زمین‌های انسان ساخت و تقاضای کربن محاسبه گردید. مناطق این شش نوع زمین با استفاده از فاکتورهای عملکرد و هم‌ارزی به هکتارهای جهانی تبدیل شدند. سپس حداکثر میزان جریان خدمات اکوسیستمی به واحد هکتار جهانی برآورد گردید. در ادامه میزان مصرف انباشت سرمایه طبیعی و اشغال جریان سرمایه در منطقه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت آن‌که پایداری اکوسیستمی محدوده مطالعاتی به کمک شاخص‌هایی نظیر شاخص فشار اکولوژیکی (EPI)، شاخص پایداری اکولوژیکی (ESI)، شاخص نسبت انباشت سرمایه به جریان، شاخص نسبت اشغال جریان و شاخص میزان مازاد جریان سرمایه طبیعی مورد بررسی قرار گرفت.
کلمات کلیدی:	نتایج: طبق نتایج تحقیق در شهرستان نوشهر، طی بازه زمانی ۹۹-۱۳۸۱ میزان ردپای اکولوژیکی، کسری اکولوژیکی و فشار اکولوژیکی به تدریج افزایش یافته که حاصل آن کاهش تعادل و پایداری اکولوژیکی می‌باشد. تنها کاربری‌های مرتع، جنگل و بسترهای صید در حالت پایدار قرار داشته و عرضه منابع اکولوژیکی از تقاضا، بیشتر بوده و فشار وارد شده هنوز در حد ظرفیت تحمل اکوسیستم می‌باشد. در

این دوره زمانی میزان استفاده انباشت به جریان سرمایه طبیعی افزایش یافته و تقریباً به چهار برابر جریان سرمایه طبیعی رسیده است.

بحث: اندازه‌گیری تقاضای انسان از سرمایه طبیعی و عرضه طبیعت برای ردیابی پیشرفت، تعیین اهداف و هدایت سیاست‌های پایداری ضروری است. با تلفیق دو رویکرد ارزیابی خدمات اکوسیستم و ردیابی اکولوژیکی، امکان پیگیری تقاضای انسان و عرضه طبیعت از زیرمجموعه دقیقی از خدمات اکوسیستمی فراهم شده و بنابراین می‌توان تعادل و پایداری اکولوژیکی را در سطح محلی بررسی نمود. بر اساس نتایج بدست آمده تحقیق، در بازه زمانی مورد مطالعه پایداری شهرستان نوشهر کاهش یافته و وضعیت خدمات اکوسیستمی آن، توسط جریان زمین‌های زراعی، انسان ساخت و به طور عمده مصرف انرژی فسیلی تهدید می‌شود. طی این دوره و با در نظر گرفتن عواملی چون سطح کاربری، کسری اکولوژیکی، عمق ردیابی، جریان خدمات اکوسیستمی، شاخص فشار اکولوژیکی و همچنین شاخص پایداری اکولوژیکی کاربری زراعی ناپایدارترین و کاربری بسترهای صید پایدارترین کاربری در شهرستان نوشهر بوده است.

مقدمه

سرمایه طبیعی زیربنای توسعه پایدار است که مزایای ارزشمندی را برای بقا و توسعه انسان فراهم می‌کند (Li, 2021). گسترش جمعیت و رشد سریع اقتصادی، تقاضای انسان برای استخراج و مصرف سرمایه طبیعی را تشدید کرده است. این تقاضا از ظرفیت بازسازی و جذب سرمایه طبیعی پیشی گرفته و منجر به ناپایداری و پیامدهایی چون کاهش منابع، گرمایش جهانی، جنگل زدایی و غیره شده است (Wu, 2021). با ادامه روند کنونی، سرمایه طبیعی پشتیبان زندگی کره زمین با سرعت بیشتری رو به نابودی خواهد رفت.

توانایی سیستم‌های طبیعی در تأمین منابع و جذب زائدات عملکرد مهم سرمایه طبیعی است. "انباشت منابع" باید در طول زمان ثابت نگه داشته شود. کاهش موجودی سرمایه طبیعی به عنوان شواهدی از ناپایداری محیطی مطرح می‌باشد. بنابراین، اندازه‌گیری تقاضای انسان از سرمایه طبیعی و عرضه طبیعت برای ردیابی پیشرفت، تعیین اهداف و هدایت سیاست‌های پایداری ضروری است (Wackernagle et al., 2010).

شاخص ردیابی اکولوژیکی^۱ یک ابزار حسابداری منابع طبیعی است که به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه پایدار، توجه زیادی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است (Galli et al., 2012; Wang, 2018; Wu, 2021). مدل ردیابی اکولوژیکی اولین بار توسط ویلیام ریز در سال ۱۹۹۲ معرفی و سپس با Mathis و Wackernagle

(۱۹۹۶) توسعه یافت. ردیابی اکولوژیکی بازگو کننده مقدار مصرف و تقاضای مردم برای کالاهای طبیعی و خدمات بوده و طبق تعریف، کل مساحت زمین مولد زیستی و مناطق آبی است که به‌طور مداوم برای تولید منابع مصرفی و جذب تمام ضایعات تولید شده توسط یک جمعیت تعریف شده، با توجه به فن آوری‌های رایج و شیوه‌های مدیریت منابع، در هر کجا از کره زمین، مورد نیاز می‌باشد (Wackernagle et al., 2010). اگرچه روش ردیابی اکولوژیکی "کلاسیک" نقش حیاتی سرمایه و درآمد طبیعی را به رسمیت می‌شناسد، اما تمایزی بین ذخایر و جریان‌های بیوفیزیکی قائل نیست (Niccolucci, 2011). Niccolucci و همکاران (۲۰۰۹) مدل ردیابی سه بعدی را با معرفی دو شاخص عمق و اندازه که به ترتیب منعکس کننده تهی شدن انباشت سرمایه و میزان استفاده از جریان سرمایه می‌باشند (Xun, 2019) معرفی کردند. در مقایسه با مدل ردیابی اکولوژیکی کلاسیک، مدل ردیابی سه بعدی می‌تواند استفاده از ذخایر و جریان‌های سرمایه طبیعی را ردیابی و متعاقباً ردیابی اکولوژیکی منطقه را به طور جامع تری از دو بعد زمان و مکان، اندازه‌گیری و پایداری منطقه را به روشی دقیق ارزیابی نماید (Zhu, 2020). معرفی تمایز انباشت و جریان در روش ردیابی اکولوژیکی برای منابع مورد استفاده توسط انسان، این امکان را می‌دهد تا آستانه استفاده انسانی از منابع را شناسایی کرده که فراتر از آن چنین استفاده‌ای ناپایدار بوده و ظرفیت طولانی مدت دارایی‌های محیط زیستی برای تولید چنین منابع را به خطر می‌اندازد (Mancini, 2018).

به تهران، دارا بودن جاذبه‌ها، قابلیت‌ها و توانمندی‌های طبیعی و گردشگری به یک مرکز توریستی تبدیل شده است (Kardavani *et al.*, 2014). افزایش جمعیت به نوبه خود، باعث افزایش تقاضا و مصرف منابع، افزایش فشار وارد بر محیط زیست و در نتیجه تخریب و از بین رفتن سرمایه‌های طبیعی می‌گردد که در آینده تهدیدی جدی برای پایداری منطقه خواهد بود. برای جلوگیری از تخریب و ناپایداری اکوسیستم باید توان و ظرفیت محیط زیست در برآورده کردن نیازها و جذب زائادات در برنامه ریزی‌های توسعه منطقه در نظر گرفته شود. در این تحقیق سعی بر آن است که توان و ظرفیت محیط زیست با استفاده از رویکرد خدمات اکوسیستمی و میزان نیازها و زائادات با استفاده از رویکرد ردپای اکولوژیکی بررسی و در نهایت وضعیت پایداری شهرستان تحلیل گردد. توجه به ظرفیت محیط زیستی و میزان تقاضای انسانی در سطح مکانی می‌تواند یک استراتژی اساسی برای دولت محلی برای افزایش عمل پایداری در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌ها باشد.

مواد و روش‌ها

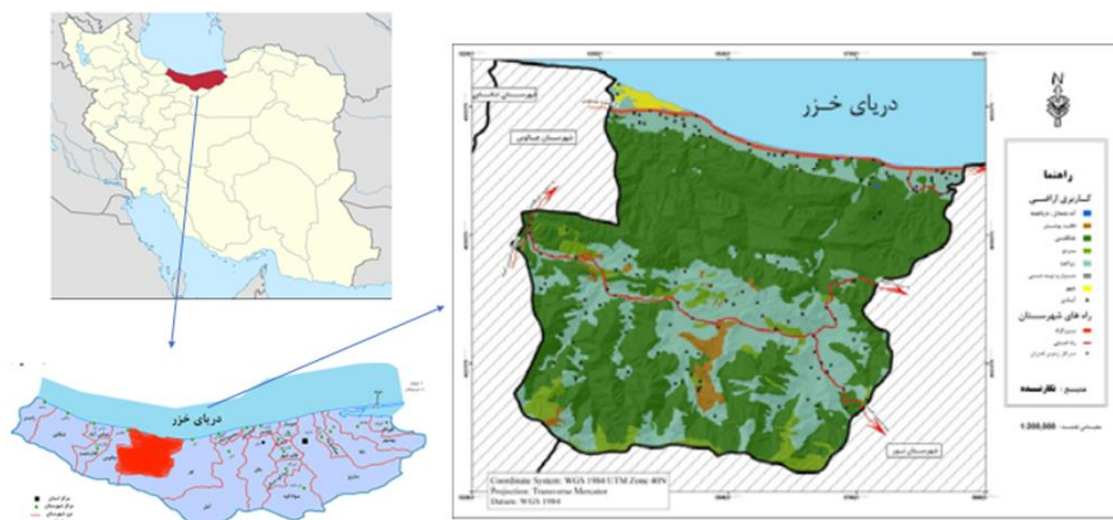
محدوده مورد مطالعه

شهرستان نوشهر در استان مازندران و در طول جغرافیایی ۵۱/۳۰ درجه شمالی و ۳۶/۳۹ درجه شرقی، با وسعتی معادل ۱۷۱۶ کیلومترمربع حدود ۷/۲ درصد از مساحت استان را در بر دارد. این شهرستان از شمال به دریای خزر، از جنوب به رشته کوه‌های البرز، از شرق به شهرستان نور و از غرب به شهرستان چالوس متصل است. ارتفاع آن از سطح دریا ۲/۹- متر است (Kardavani *et al.*, 2014).

Zhun و همکاران در سال ۲۰۱۹ با استفاده از مدل ردپای سه بعدی اصلاح شده، به بررسی وضعیت پایداری محیط زیستی شهرهای استان شاندونگ و تجزیه و تحلیل تغییرات پایداری و شناسایی عوامل مؤثر بر توسعه پایدار پرداختند. Cai و همکاران در سال ۲۰۲۰ تغییرات در ارزش خدمات اکوسیستم و توازن سود و زیان ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی جزیره پینگتان چین را با استفاده از تغییرات کاربری/پوشش زمین ارزیابی کرده و تناسبات اکولوژیکی توسعه را اندازه‌گیری کردند. همچنین Li و همکاران در سال ۲۰۲۱ طی مطالعه‌ای، یک مدل ردپای اکولوژیکی بر اساس ارزش‌های خدمات اکوسیستم را توسعه داده و از آن برای اندازه‌گیری ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی و همچنین تجزیه و تحلیل جامع وضعیت استفاده از سرمایه طبیعی و توسعه پایدار شهر ارومچی چین استفاده نمودند. در نهایت Zhu و همکاران نیز در سال ۲۰۲۲ از ردپای اکولوژیکی و ارزش‌گذاری یکپارچه خدمات اکوسیستمی و مدل‌های مبادله برای تحلیل کمی تغییرات مکانی و زمانی ردپای اکولوژیکی و عملکردهای خدمات اکوسیستم و پایداری منطقه آکسوی سین‌کیانگ استفاده کرده‌اند.

بر اساس مطالعات انجام شده، هدف از این تحقیق بررسی پایداری اکوسیستم‌ها با ادغام دو رویکرد ردپای اکولوژیکی و خدمات اکوسیستمی قرار گرفت. این تحقیق می‌تواند امکان پیگیری تقاضای انسان و عرضه طبیعت از زیرمجموعه دقیقی از خدمات اکوسیستمی را فراهم کرده و بنابراین می‌تواند تعادل و پایداری اکولوژیکی را در سطح محلی بررسی نماید.

برای انجام این تحقیق، شهرستان نوشهر به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. شهرستان نوشهر واقع در غرب استان مازندران، در سال‌های اخیر به دلیل کوتاه بودن فاصله‌اش



شکل ۱- محدود مورد مطالعه

روش کار
 برای بررسی پایداری اکوسیستم شهرستان نوشهر، در مرحله نخست روند تغییرات کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها در نرم افزار ENVI 5.6 مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از تصاویر زمین مرجع ماهواره Landsat، سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI طی سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ استفاده شده است. در مرحله بعد عوامل هم ارزی و عملکرد منطقه با استفاده از آمار و داده‌های تولید کاربری‌های منطقه و متوسط تولید جهانی، محاسبه گردید. میانگین سالانه بازده جهانی برای تولید زیستی از پایگاه داده آماری FAOSTAT استخراج شده است. عوامل هم ارزی نیز بر اساس مدل مناطق زراعی- اکولوژیکی جهانی (GAEZ) (Fisher et al., 2008) و پایگاه داده سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAOSTAT) محاسبه می‌شوند. در ادامه ردپای اکولوژیکی کلاسیک منطقه که میزان استفاده از شش نوع مناطق تولیدی شامل اراضی زراعی، مرتع، بسترهای صید، اراضی جنگلی، زمین‌های انسان ساخت و تقاضای کربن را دنبال می‌کند، محاسبه گردیده است. مناطق این شش نوع زمین با استفاده از فاکتورهای عملکرد و فاکتور هم ارزی به هکتارهای جهانی تبدیل می‌شوند، که این امر بازدهی زیستی هر نوع سرزمین را به متوسط تولید زیستی جهانی تبدیل می‌کند (Wackernagel et al., 1999; Borucke et al., 2013; Galli, 2020). برای محاسبه ردپای اکولوژیکی شهرستان نوشهر مطابق جدول ۱، از مقادیر مصرف منابع زیستی و انرژی استفاده شده است.

منابع زیستی
 Biological resources

منابع انرژی
 Energy resources

جدول ۱- موارد مصرفی انواع کاربری‌ها در محاسبه ردپای اکولوژیکی شهرستان نوشهر

منابع	نوع کاربری	استفاده اصلی	موارد مصرفی
منابع زیستی Biological resources	اراضی زراعی	کشت محصولات زراعی	غلات، حبوبات، روغن، سبزیجات، قند و ...
	اراضی مرتع	ارائه محصولات دامی	گوشت، لبنیات، تخم مرغ، عسل و ...
	اراضی جنگل	ارائه محصولات جنگلی	میوه، الوار
منابع انرژی Energy resources	بسترهای صید	ارائه محصولات آبی	ماهی، میگو و خرچنگ و ...
	زمین انرژی فسیلی	جذب CO2 تولید شده توسط انسان و احتراق سوخت‌های فسیلی	زغال سنگ، سوخت‌های نفتی، بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی و ...
	زمین انسان ساخت	مسکن و جاده برای انسان	برق

منطقه می‌باشد، محاسبه گردید. ظرفیت زیستی به پنج طبقه مختلف استفاده از زمین که دارای توانایی تولید منابع ضروری تجدیدپذیر یا جذب زباله‌های CO₂ (خدمات تنظیمی اکوسیستم) می‌باشند، تقسیم می‌شود: اراضی زراعی، جنگلی، چراگاه، بسترهای صید و اراضی انسان ساخت. تمام تقاضاهای بشر برای منابع تجدیدپذیر و ترسیب CO₂، توسط محصولات یا خدمات اولیه این پنج طبقه زمین برآورده می‌شود (Lazarus, 2015; Lin, 2016; Mancini, 2018).

بر اساس اعلام کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED, 1987)، ۱۲ درصد از مناطق تولیدی زیستی باید برای حفظ تنوع زیستی و یکپارچگی اکوسیستم‌ها ذخیره شود:

$$BC = 0.88 \sum_i A_{N,i} \times YF_{N,i} \times EQF_i$$

$A_{N,i}$ ناحیه تولید زیستی در دسترس برای تولید هر محصول i ، $YF_{N,i}$ عامل عملکرد و EQF_i عامل هم ارزی برای کاربری زمین تولید کننده هر محصول i است (Borucke, 2013; Mancini, 2018; Galli, 2020).

در مرحله بعد ردپای اکولوژیکی سه بعدی منطقه با استفاده از دو شاخص EF_{depth} و EF_{size} ، که به ترتیب مصرف انباشت سرمایه طبیعی و اشغال جریان سرمایه می‌باشند، به شرح زیر محاسبه گردید (Niccolucci *et al.*, 2009; Niccolucci *et al.*, 2011; Long, 2020; Bi, 2021; Wu, 2021):

$$EF_{depth} = 1 + \frac{\sum_i ED_i}{BC} = 1 + \frac{\sum_i \max(EF_i - BC_i, 0)}{BC}$$

$$EF_{size,3D} = \min\{EF, BC\}$$

$$EF_{3D} = EF_{size} \times EF_{depth}$$

برای اراضی جنگل داریم:

$$EF_{size \text{ forest land}} = \min\{EF_{\text{forest land}} + EF_{\text{carbon}}, BC_{\text{forest land}}\}$$

$$EF_{depth \text{ forest land}} = 1 + \frac{\max\{EF_{\text{forest land}} + EF_{\text{carbon}} - BC_{\text{forest land}}, 0\}}{BC_{\text{forest land}}}$$

هرگونه خدمات اکوسیستمی، صرف نظر از این که به صورت محلی تولید، وارد یا صادر شده باشد، به کمک معادله زیر می‌تواند به مساحت زمین مولد زیستی تخصیص داده شود (Yang, 2018; Mancini, 2018; Galli, 2020):

$$EF_c = N \times ef = N \times \sum_i^n \left(\frac{C_i}{Y_{w,i}} \times EQF_i \right)$$

که در آن EF_c کل ردپای اکولوژیکی مصرفی، ef سرانه ردپای اکولوژیکی، N کل جمعیت، i دسته محصول، C_i سرانه مصرف کالای i ، $Y_{w,i}$ میانگین بازده جهانی محصول i و EQF_i عامل هم ارزی طبقه کاربری زمین محصول i است.

ردپای کربن نشان‌دهنده سمت زایدات روش ردپای اکولوژیکی بوده که مقدار تقاضای جداسازی طولانی‌مدت انتشار دی‌اکسید کربن توسط اکوسیستم جنگل را محاسبه می‌نماید (Mancini, 2015).

ردپای اکولوژیکی کربن با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$EF_c = \frac{2}{3} * \frac{P_c}{Y_c} * EQF$$

EF_c مؤلفه کربن ردپای اکولوژیکی یعنی سطح زمین مورد نیاز برای جذب CO₂ ناشی از احتراق انرژی فسیلی، P_c میزان انتشار سالانه دی‌اکسید کربن و Y_c نرخ سالانه جذب کربن به ازای متوسط هکتار جهانی زمین جنگلی، معادل ۳/۶۷ تن در هکتار (GFN, 2017) است. ردپای کربن بزرگترین جزء ردپا را شامل می‌شود (Ewing, 2010; Lin, 2016; Li, 2021).

در ادامه تحقیق ظرفیت زیستی که طرف عرضه طبیعت و نشان‌دهنده حداکثر میزان جریان خدمات اکوسیستمی

میزان مازاد جریان سرمایه طبیعی مورد بررسی قرار گرفت.

شاخص فشار اکولوژیکی (EPI) برای بررسی فشار مصرف منطقه‌ای و وضعیت خدمات اکوسیستمی استفاده می‌شود. مقدار بزرگتر این نسبت نشان دهنده فشار اکولوژیکی بیشتر است (Yang, 2018):

$$EPI = \frac{ef}{bc}$$

در جایی که EF_{depth} عمق ردپای اکولوژیکی، EF_{size} اندازه ردپای اکولوژیکی و ED کسری اکولوژیکی است و عدد ۱، نشان دهنده عمق طبیعی می‌باشد.

در ادامه پایداری اکوسیستمی محدوده مطالعاتی به کمک شاخص‌هایی نظیر شاخص فشار اکولوژیکی (EPI)، شاخص پایداری اکولوژیکی (ESI)، شاخص نسبت انباشت سرمایه به جریان، شاخص نسبت اشغال جریان و شاخص

جدول ۲- طبقه بندی وضعیت اکوسیستم از بعد شاخص فشار اکولوژیکی

سطح	۱	۲	۳	۴	۵	۶
شاخص فشار اکولوژیکی	< 0.5	$0.5 - 0.8$	$0.8 - 1$	$1 - 1.5$	$1.5 - 2$	> 2
وضعیت خدمات اکوسیستم	کاملاً امن	بسیار امن	نسبتاً امن	نسبتاً ناامن	بسیار ناامن	کاملاً ناامن

(Wang, 2018; Liu, 2021)

شاخص نسبت اشغال جریان (OR_{flow}) برای توصیف کارایی واقعی استفاده انسانی از جریان و تحلیل وضعیت استفاده بیش از حد بکار می‌رود (Bi, 2021):

$$OR_{flow} = \frac{EF_{size,i}}{BC_i} \times 100$$

همچنین شاخص میزان مازاد جریان سرمایه طبیعی انواع کاربری‌های زمین به شرح زیر محاسبه می‌گردد (Dong, 2019):

$$EF_{remain,i} = 1 - \{min[EF_i, BC_i] | BC_i\}$$

شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

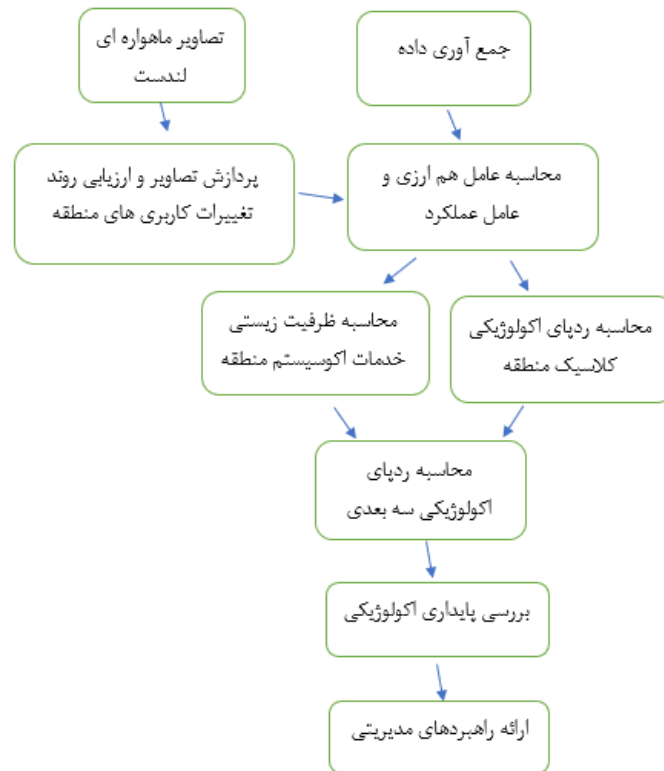
شاخص پایداری اکولوژیکی (ESI) بیان می‌کند چه مقدار از عرضه اکولوژیکی پایدار یک منطقه می‌تواند تقاضای اکولوژیکی مردم محلی را برآورده نماید (Zhu, 2020):

$$ESI = \frac{ec}{ec + ef}$$

مقدار ESI در بازه [۰، ۱] قرار دارد. هر چه مقدار به ۱ نزدیکتر باشد، پایداری بیشتر و هر چه به صفر نزدیکتر باشد، پایداری کمتر است. $ESI=0.5$ آستانه بین توسعه پایدار و ناپایدار است (Zhu, 2020).

شاخص استفاده از انباشت سرمایه به جریان، برای درک بهتر سهم استفاده از جریان و انباشت در استفاده از سرمایه طبیعی بکار می‌رود. هر چه مقدار آن بیشتر باشد، پایداری استفاده از سرمایه طبیعی کمتر است (Zhang, 2020).

$$R_{FLOW}^{STOCK} = \frac{EF - EF_{size\ region}}{EF_{size\ region}} = \frac{ED}{BC} = EF_{depth\ region} - 1 \quad (EF > BC)$$



شکل ۲- مراحل اجرای تحقیق

ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

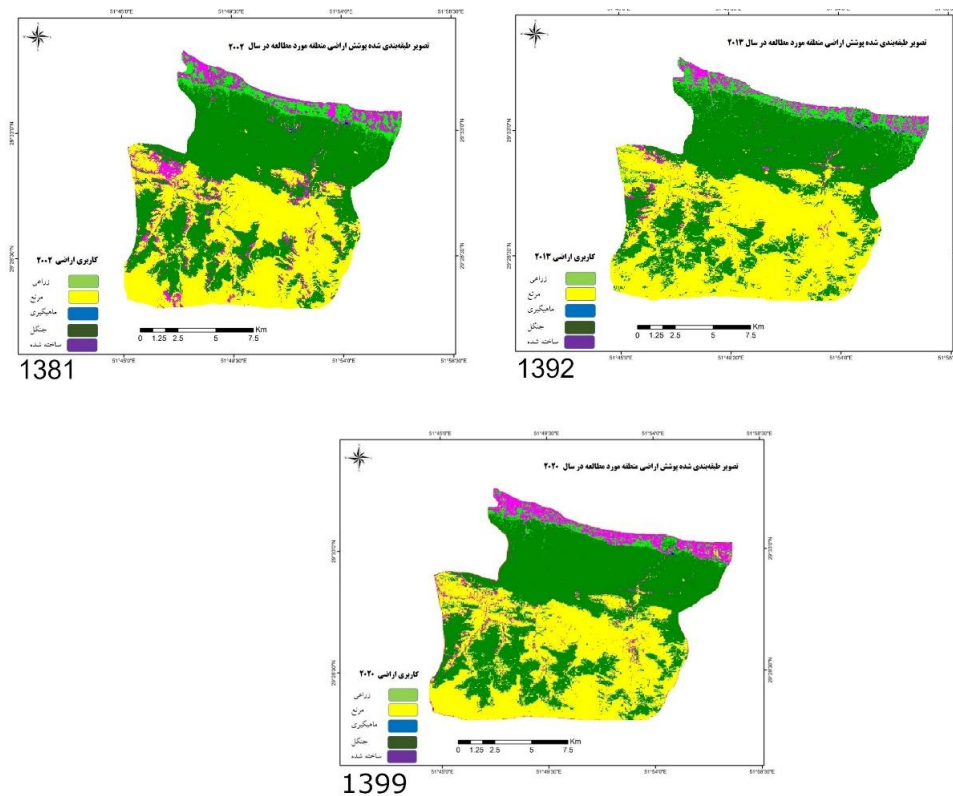
همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اراضی انسان ساخت، جنگل و بسترهای صید طی این دوره، روند صعودی و اراضی زراعی و مرتع روندی نزولی داشته اند.

نتایج

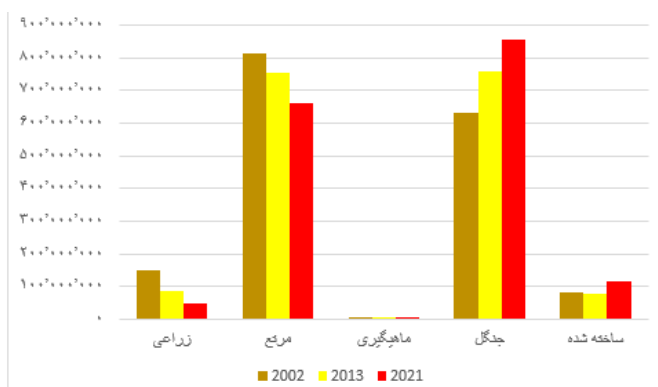
ارزیابی روند تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه: روند تغییرات کاربری زمین در شهرستان نوشهر در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ با استفاده از تصاویر

جدول ۳- درصد کاربری‌های شهرستان نوشهر در سال‌های مورد بررسی

سال	زراعی	مرتع	بسترهای صید	جنگل	انسان ساخت
۱۳۸۱	۸/۹۳	۴۸/۳۵	۰/۱۱	۳۷/۶۴	۴/۹۷
۱۳۹۲	۵/۱۱	۴۴/۴۱	۰/۲۳	۴۵/۱۲	۵/۱۳
۱۳۹۹	۲/۷۳	۳۹/۴۴	۰/۳۳	۵۰/۷۴	۶/۷۶



شکل ۳- تصویر طبقه بندی شده شهرستان نوشهر در سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹



شکل ۴- روند تغییرات پوشش اراضی شهرستان نوشهر در سال های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ بر حسب هکتار

ارزی کاربری های شهرستان نوشهر برای سال های مورد نظر طبق جدول ۴ محاسبه شده است.

تجزیه و تحلیل عوامل هم ارزی و عوامل عملکرد: بر اساس آمار میزان تولید کاربری ها، عامل عملکرد و هم

جدول ۴- عامل عملکرد و هم ارزی کاربری های شهرستان نوشهر

عامل هم ارزی EQF				عامل عملکرد YF			سال	
بسترهای صید	مرتع	جنگلی	زراعی	بسترهای صید	مرتع	جنگلی	زراعی	
۰/۳۷	۰/۴۶	۱/۳۱	۲/۵۳	۱/۷۹	۰/۰۳	۰/۴۳	۰/۴۲	۱۳۸۱
۰/۳۶	۰/۴۵	۱/۲۷	۲/۵۲	۴/۳۰	۰/۰۷	۰/۳۶	۰/۳۶	۱۳۹۲
۰/۳۶	۰/۴۵	۱/۲۸	۲/۵	۵/۱۸	۰/۲۹	۰/۶۸	۰/۶۵	۱۳۹۹

GFN, 2022

با توجه به جدول ۴ می‌توان دریافت که در شهرستان نوشهر طی سال‌های مورد بررسی، عوامل هم ارزی نسبتاً ثابت اما عوامل عملکرد به طور قابل توجهی در نوسان می‌باشند. در بین کاربری‌ها اراضی زراعی بالاترین مقدار ضریب هم ارزی را دارد که طی این دوره بیشترین کاهش سطح را تجربه نموده است. همچنین کاربری بسترهای صید که کمترین سطح در بین کاربری‌ها را به خود

اختصاص داده است بیشترین ضریب عامل عملکرد را دارا می‌باشد.

تجزیه و تحلیل ترکیب ردپای اکولوژیکی کلاسیک منطقه: با توجه به مقادیر ضرایب عملکرد و هم ارزی، ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی و مازاد/کسری اکولوژیکی شهرستان در جدول ۵ ارائه شده است.

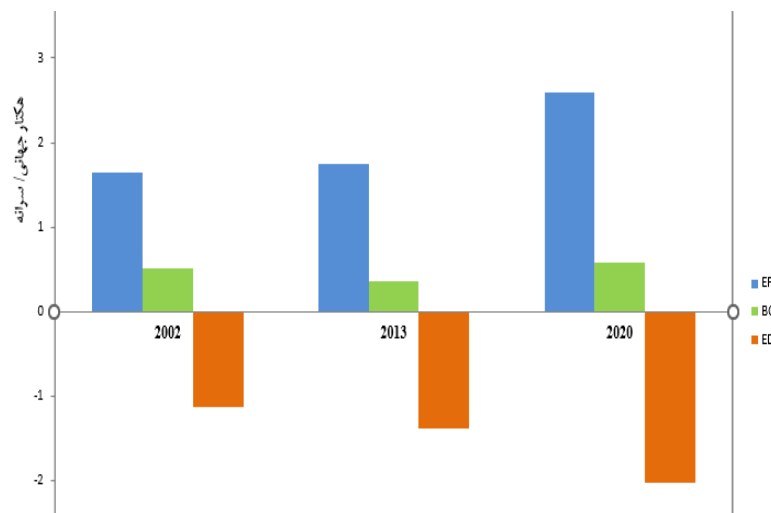
جدول ۵- ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی و مازاد/کسری اکولوژیکی شهرستان نوشهر (واحد: هکتار)

منابع	نوع زمین	۸۱			۹۲			۹۹		
		ردپای اکولوژیکی	ظرفیت زیستی	مازاد/کسری اکولوژیکی	ردپای اکولوژیکی	ظرفیت زیستی	مازاد/کسری اکولوژیکی	ردپای اکولوژیکی	ظرفیت زیستی	مازاد/کسری اکولوژیکی
منابع زیستی	زراعی	۲۲۷۱۱	۱۴۰۴۹	-۸۶۶۲	۲۵۶۸۸	۶۸۵۹	-۱۸۸۲۹	۳۱۹۲۷	۶۵۶۴	-۲۵۳۶۳
	مرتع	۱۰۷۳	۹۸۷	-۸۶	۱۶۱۶	۲۰۷۰	+۴۵۴	۲۱۱۵	۲۶۲۶	+۵۱۱
منابع انرژی	بسترهای صید	۰/۴۳	۱۰۴	+۱۰۳/۵۷	۰/۸	۵۲۷	+۵۲۶/۲	۱/۱	۹۱۱	+۹۰۹/۹
	جنگل	۱۳۸۱۲	۳۱۳۷۸	+۱۷۵۶۶	۲۳۲۵۳	۳۰۵۲۵	+۷۲۷۲	۲۳۵۸۶	۶۵۳۵۱	+۴۱۷۶۵
منابع انرژی	انسان ساخت	۱۹۵۱۵	۸۸۷۵	-۱۰۶۴۰	۳۷۹۱۱	۷۸۲۵	-۳۰۰۸۶	۵۴۲۷۹	۱۸۴۷۱	-۳۵۸۰۸
	جذب کربن	۱۲۲۳۲۸	۰	۰	۱۴۱۶۲۴	۰	۰	۳۱۰۸۸۲	۰	۰
منابع انرژی	کل	۱۷۹۴۳۹/۴	۵۵۳۹۳	-۱۲۴۰۴۶/۴	۲۳۰۰۹۳	۴۷۸۰۶	-۱۸۲۲۸۷	۴۲۲۷۹۰	۹۳۹۲۳	-۳۲۸۸۶۷
	سرانه	۱/۶۴	۰/۵۱	-۱/۱۳	۱/۷۴	۰/۳۶	-۱/۳۸	۲/۶۰	۰/۵۸	-۲/۰۲

- به معنی کسری اکولوژیکی و + به معنی مازاد اکولوژیکی می‌باشد.

در بین منابع زیستی ردپای کاربری زراعی بیشترین سهم و اراضی جنگلی، مرتع و بسترهای صید به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند.

با توجه به جدول ۵ در شهرستان نوشهر، حدود ۸۰ درصد مصرف منابع مربوط به مصرف انرژی بوده و مصرف سوخت‌های فسیلی سهم بسزایی در مصرف منابع دارند.



شکل ۵- وضعیت ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیکی شهرستان نوشهر در سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۹

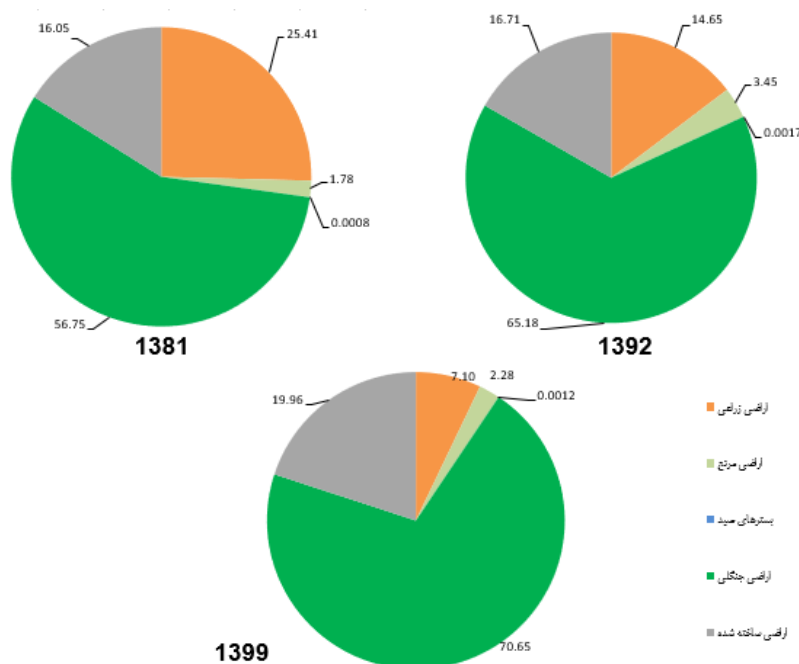
استفاده از منابع می‌باشد، طی سال‌های ۸۱، ۹۲ و ۹۹ کاهش و سپس افزایش یافته است. شاخص عمق ردپا نیز طی بازه زمانی، افزایش و سپس کمی کاهش یافته است. این امر نشان دهنده آنست که طی بازه زمانی موردنظر، شدت مصرف سرمایه طبیعی، با استفاده بیشتر از جریان سرمایه طبیعی و کاهش انباشت سرمایه افزایش یافته است.

شکل ۵ نشان‌دهنده افزایش تدریجی ردپای اکولوژیکی، کاهش و سپس افزایش ظرفیت زیستی و افزایش مداوم کسری اکولوژیکی شهرستان نوشهر طی سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹ می‌باشد.

تجزیه و تحلیل ترکیب ردپای اکولوژیکی سه بعدی منطقه: جدول ۶ ردپای اکولوژیکی سه بعدی شهرستان نوشهر را به تفکیک سال‌ها و کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد. شاخص اندازه ردپا که نشان دهنده شدت

جدول ۶- اندازه و عمق ردپای سه بعدی شهرستان نوشهر در بازه زمانی ۱۳۸۱-۹۹

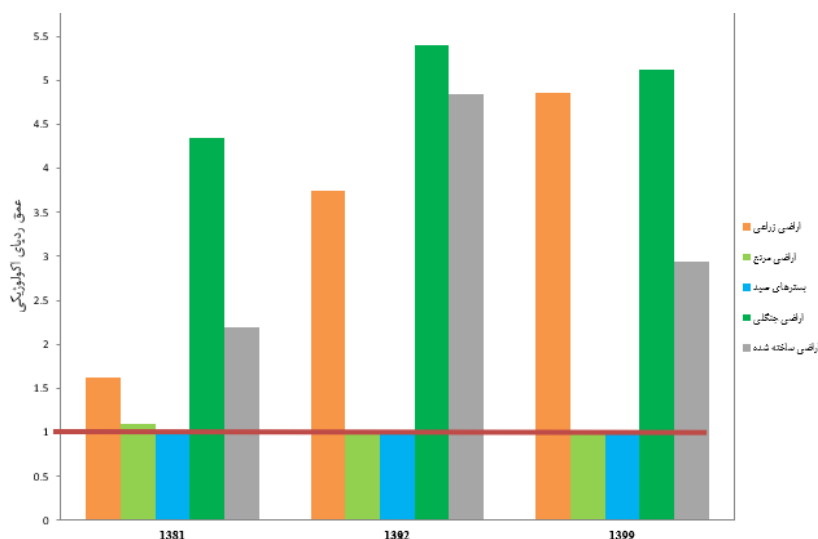
سال	اندازه ردپا EF_{size} (هکتار)					عمق ردپا EF_{depth} (هکتار)				
	کل	سرانه	زراعی	مرتع	جنگلی	انسان ساخت	بسترهای صید	کل	بسترهای صید	انسان ساخت
۱۳۸۱	۵۵۲۸۹/۴	۰/۵۱	۱/۶	۱/۱	۴/۳	۲/۲	۱	۳/۲	۱	۲/۲
۱۳۹۲	۴۶۸۲۵/۸	۰/۳۵	۳/۷	۱	۵/۴	۴/۸	۱	۴/۸	۱	۴/۸
۱۳۹۹	۹۲۵۰۲/۱	۰/۵۷	۴/۹	۱	۵/۱	۲/۹	۱	۴/۵	۱	۲/۹



شکل ۶- درصد اندازه ردپای سه بعدی کاربری‌ها طی سال‌های مورد مطالعه

طی گذشت زمان از جریان اراضی زراعی کاسته شده و به جریان سرمایه اراضی انسان ساخت افزوده شده است که حاکی از رشد شهرنشینی و تبدیل اراضی زراعی به اراضی مسکونی می‌باشد.

اندازه EF منعکس کننده فراوانی و نقدینگی سرمایه طبیعی منطقه‌ای است. طبق شکل ۶، طی سال‌های مورد نظر در منطقه جریان‌های سرمایه طبیعی اراضی جنگلی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است که این امر می‌تواند به دلیل وسعت زیاد این کاربری در منطقه باشد.



شکل ۷- عمق ردپای سه بعدی کاربری‌ها طی سال‌های مورد مطالعه

بررسی پایداری محدوده مطالعاتی: طبق جدول ۷ طی بازه زمانی ۹۹-۱۳۸۱ در منطقه افزایش تدریجی کسری اکولوژیکی صورت گرفته است. شاخص EPI با آن که در انتهای دوره کمی کاهش یافته ولی نسبت به ابتدای بازه زمانی، افزایش یافته و اکولوژی منطقه در شرایط کاملاً نامن قرار دارد که با گذشت زمان شرایط بدتری را تجربه می‌کند. همچنین شاخص ESI طی دوره مورد نظر به تدریج کاهش یافته و از وضعیت ناپایداری متوسط به ناپایداری قوی تنزیل یافته و کاهش تدریجی پایداری منطقه را شاهد خواهیم بود.

خط قرمز عمق طبیعی ۱ و مازاد آن نشان دهنده استفاده بیش از حد از انباشت سرمایه طبیعی است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در شهرستان نوشهر عمق ردپای کاربری‌های زراعی، جنگل و انسان ساخت از میزان عمق طبیعی ۱ فراتر می‌باشد. بیشترین رشد تدریجی عمق را در اراضی زراعی شاهد هستیم بدین معنی که جریان سرمایه طبیعی اراضی برای حمایت از تقاضای غذایی رو به رشد ساکنین بسیار ناکافی است. دلیل اصلی بالا بودن عمق اراضی جنگلی به طور کلی، افزایش انتشار کربن است که همراه با جو جریان دارد. عمق اراضی مرتع و بسترهای صید شهرستان در حد طبیعی قرار دارد.

جدول ۷- پایداری شهرستان نوشهر در سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۹

سال	جمعیت	ردپای اکولوژیکی	ظرفیت زیستی	تعادل اکولوژیکی	شاخص EPI	شاخص ESI
۱۳۸۱	۱۰۹۳۹۶	۱/۶۴	۰/۵۱	-۱/۱۳	۳/۲۱	۰/۲۸
۱۳۹۲	۱۳۱۸۸۷	۱/۷۴	۰/۳۶	-۱/۳۸	۴/۸۳	۰/۱۷
۱۳۹۹	۱۶۲۵۳۱	۲/۶۰	۰/۵۸	-۲/۰۲	۴/۴۸	۰/۱۸

وارد شده هنوز در حد ظرفیت تحمل می‌باشد. از لحاظ شاخص ESI دو کاربری بسترهای صید و جنگل به ترتیب پایدارترین کاربری‌های منطقه می‌باشند.

با توجه به جدول ۸، از لحاظ شاخص EPI، تنها کاربری‌های مرتع، جنگل و بسترهای صید در حالت پایدار قرار داشته، عرضه منابع اکولوژیکی از تقاضا بیشتر و فشار

جدول ۸- پایداری شهرستان نوشهر به تفکیک کاربری‌ها

کاربری	۱۳۸۱			۱۳۹۲			۱۳۹۹		
	شاخص تعادل اکولوژیکی	شاخص EPI	شاخص ESI	شاخص تعادل اکولوژیکی	شاخص EPI	شاخص ESI	شاخص تعادل اکولوژیکی	شاخص EPI	شاخص ESI
زراعی	-۰/۰۷۹	۱/۶۲	۰/۳۸	-۰/۱۴۳	۳/۷۵	۰/۲۱	-۰/۱۵۶	۴/۹	۰/۱۷
مرتع	-۰/۰۰۷۸	۱/۱۱	۰/۴۷	+۰/۰۰۳۴	۰/۷۵	۰/۵۷	+۰/۰۰۳	۰/۸۱	۰/۵۵
بسترهای صید	+۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۰۴۲	۰/۹۹	+۰/۰۰۴	۰/۰۰۱۵	۰/۹۹۸	+۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۱۲	۰/۹۹۹
جنگل	+۰/۱۶	۰/۴۴	۰/۶۹	+۰/۰۵۵	۰/۷۶	۰/۵۷	+۰/۲۵۷	۰/۳۶	۰/۷۳
انسان ساخت	-۰/۰۹۷	۲/۲	۰	-۰/۲۳	۴/۸۶	۰/۱۷	-۰/۲۲	۳	۰/۲۵

- به معنی کسری اکولوژیکی و + به معنی مازاد اکولوژیکی می‌باشد.

علاوه بر مصرف کل جریان سرمایه طبیعی منطقه از جریان‌های سرمایه دیگر نواحی نیز استفاده می‌کنند، به این ترتیب، با واردات ظرفیت زیستی از سایر مناطق، بیش از آن‌چه اکوسیستم‌های محلی بتوانند تجدید کنند، مصرف می‌کنند که این به هزینه ظرفیت زیستی اکوسیستم سایر نواحی می‌باشد.

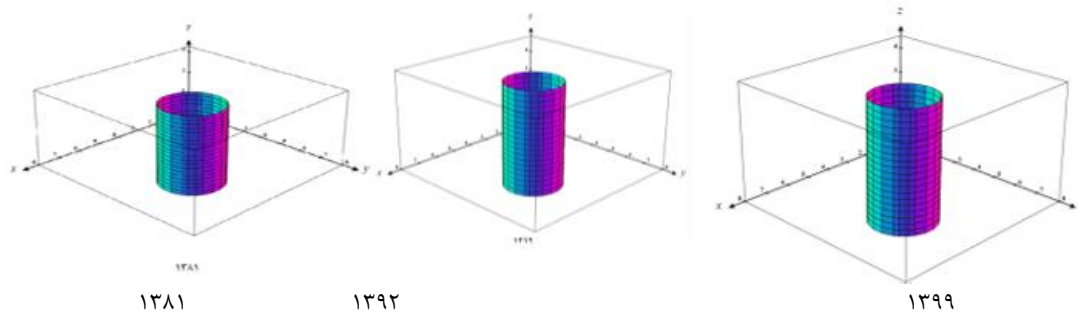
در ادامه با توجه به جدول ۹ در شهرستان نوشهر نسبت استفاده انباشت به جریان سرمایه طبیعی طی بازه زمانی ۹۹-۱۳۸۱ افزایش یافته و تقریباً به ۴ برابر جریان سرمایه رسیده است در طول این بازه زمانی، تنها دو کاربری مرتع و بسترهای صید دارای مازاد ردپا و صادر کننده خدمات اکوسیستم به دیگر نواحی می‌باشند، کاربری‌های دیگر من جمله زراعی، جنگل و انسان ساخت

جدول ۹- شاخص‌های استفاده از انباشت سرمایه به جریان، نسبت اشغال جریان و مازاد جریان سرمایه طبیعی شهرستان نوشهر

کاربری	۱۳۸۱			۱۳۹۲			۱۳۹۹		
	انباشت سرمایه به جریان	نسبت اشغال سرمایه	مازاد سرمایه	انباشت سرمایه به جریان	نسبت اشغال سرمایه	مازاد سرمایه	انباشت سرمایه به جریان	نسبت اشغال سرمایه	مازاد سرمایه
زراعی	۰/۶۲	۱۰۰	۰	۲/۷۴	۱۰۰	۰	۳/۸۶	۱۰۰	۰
مرتع	۰/۰۹	۱۰۰	۰	۰	۷۵	۰/۲۵	۰	۸۱	۰/۱۹
جنگل	۳/۳۴	۱۰۰	۰	۴/۴	۱۰۰	۰	۴/۱۲	۱۰۰	۰
انسان ساخت	۱/۲۰	۱۰۰	۰	۳/۸۴	۱۰۰	۰	۱/۹۴	۱۰۰	۰
بسترهای صید	۰	۰/۴۱	۹۹/۵۹	۰	۰/۱۵	۹۹/۸۵	۰	۰/۱۲	۹۹/۸۸
مجموع	۲/۲۴	۹۹/۰۲	۰/۹۸	۳/۸۱	۹۸/۳۳	۱/۶۷	۳/۵۰	۹۸/۱۰	۱/۹۰

اکوسیستم بدتر و پایداری اکوسیستم کاهش یافته است. در ادامه، طی سال‌های ۹۹-۱۳۹۲ شاهد افزایش سرانه جریان منابع و کاهش کمی در عمق استفاده از انباشت هستیم که گویای کمی بهتر شدن پایداری و ثبات اکوسیستم می‌باشد.

از نگاهی دیگر، با توجه به نمودار استوانه‌ای شهرستان نوشهر (شکل ۸)، طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۱ کاهش جریان سرانه منابع طبیعی را داریم، سطح پایین مدل کوچک‌تر و عمق استفاده از انباشت افزایش یافته است. چنین شرایطی به این معنی است که در این بازه زمانی ثبات



شکل ۸- نمودار استوانه‌ای ردپای سه بعدی شهرستان نوشهر طی سال‌های ۹۹-۱۳۸۱

بحث

در دهه‌های گذشته افزایش سطح مصرفی جوامع بشری، تقاضا برای ارائه خدمات زیست‌کره را به طور بی‌سابقه‌ای افزایش داده و موجب تخریب منابع، از بین رفتن زیستگاه و همچنین کاهش تعداد و غنای گونه‌ها شده است (Lazarus, 2015). تقاضا برای خدمات اکوسیستم از ظرفیت احیا و جذب زیست کره فراتر رفته و توانایی آینده بیوسفر در تأمین رفاه انسان و حفظ سیستم‌های پشتیبان حیات در معرض خطر است (Borucke, 2013). مردم فراتر از امکانات زمین زندگی می‌کنند و سیاره ما نمی‌تواند فشاری را که انسان در درازمدت وارد می‌کند، تحمل نماید (Niccolucci et al., 2012; Feng, 2018). از آنجا که تقاضای انسان برای خدمات اکوسیستم همچنان در حال افزایش است، با ادامه روند کنونی، سرمایه‌های طبیعی پشتیبان زندگی کره زمین با سرعت بیشتری رو به نابودی خواهد رفت (Li, 2021). به همین دلیل این امر حیاتی است که بشریت باید در ظرفیت تحمل طبیعت زندگی کند (Niccolucci et al., 2012). بنابراین، اندازه‌گیری تقاضای انسان از سرمایه طبیعی و عرضه آن توسط طبیعت برای ردیابی پیشرفت، تعیین اهداف و هدایت سیاست‌های پایداری ضروری است (Niccolucci, 2009).

در این مقاله به بررسی پایداری اکوسیستم با کمی‌سازی میزان تقاضای انسان از خدمات اکوسیستمی و توان و ظرفیت عرضه آن توسط طبیعت، با استفاده از مفاهیم ردپای اکولوژیکی، خدمات اکوسیستمی و ظرفیت زیستی پرداخته‌ایم. چگونگی کمی‌سازی تقاضا و عرضه انسان از

سرمایه طبیعی از موضوعات اولویت‌دار در حوزه تحقیقات توسعه پایدار است. ردپای اکولوژیکی یک چارچوب کمی برای اندازه‌گیری منابع طبیعی تجدیدپذیر و خدمات اکولوژیکی مورد نیاز فعالیت‌های مصرفی یک جمعیت (در مقیاس ملی، منطقه‌ای، شهری یا فردی) است. از سوی دیگر، ظرفیت زیستی میزان منابع و خدماتی را که اکوسیستم‌ها می‌توانند هر سال ارائه دهند اندازه‌گیری می‌کند (Borucke et al., 2013; Mancini et al., 2018; Galli, 2020). استفاده تلفیقی از این دو روش، تجزیه و تحلیل پایداری اکولوژیکی را علمی‌تر و منطقی‌تر می‌کند. براساس یافته‌های این مقاله، شهرستان نوشهر واقع در استان مازندران در شمال کشور، طی بازه زمانی ۱۳۸۱-۹۹، رشد "ردپای اکولوژیکی" از مقدار ۱/۶۴ به ۲/۶۰ هکتار جهانی و نوسان میزان "ظرفیت زیستی" را تجربه کرده است. نهایتاً آن‌که طی این دوره زمانی، شهرستان همواره دارای "کسری اکولوژیکی" بوده، مقدار این کسری از ۱/۱۳- به ۲/۰۲- در انتهای دوره رسیده است که این به معنای عدم توازن عرضه و تقاضای کالا و خدمات اکوسیستمی در منطقه است. تغییرات در ردپای اکولوژیکی، ظرفیت زیستی و کسری اکولوژیکی شهرستان را می‌توان با عواملی نظیر افزایش جمعیت، محدودیت منابع، بهبود استانداردهای زندگی، افزایش مصرف و گسترش مساحت زمین‌های ساخته شده توضیح داد. نتایج مشابهی در مورد افزایش کسری اکولوژیکی را می‌توان در مطالعاتی نظیر Igone و همکاران (۲۰۱۵)، Ildoromi و همکاران (۲۰۱۸)، Dong و همکاران (۲۰۱۹)، Galli و همکاران (۲۰۲۰)، Zheng و همکاران (۲۰۲۰) و Franco

منطقه‌ای را برآورده کند و مقدار زیادی از انباشت سرمایه طبیعی مصرف می‌گردد. رشد مداوم ردپای اکولوژیکی شهرستان دلیل اصلی افزایش مصرف انباشت سرمایه طبیعی است. بیشترین سهم از عمق ردپای منطقه مربوط به اراضی جنگلی می‌باشد که دلیل اصلی بالا بودن آن به طور کلی، افزایش انتشار کربن است. در طی این دوره، از جریان اراضی زراعی کاسته شده و به جریان سرمایه اراضی انسان ساخت افزوده شده است. همچنین تنها دو کاربری مرتع و بسترهای صید دارای مازاد جریان سرمایه بوده و خدمات اکوسیستمی خود را به دیگر نواحی ارائه می‌دهند. به‌طور کلی طی زمان مورد بررسی پایداری منطقه کاهش یافته و وضعیت خدمات اکوسیستمی آن، توسط جریان زمین‌های زراعی، انسان ساخت و به طور عمده مصرف انرژی فسیلی تهدید می‌شود.

در مجموع و بر اساس نتایج حاصله، طی دوره مورد بررسی کاربری زراعی علارغم داشتن بالاترین ضریب هم ارزی، به دلیل کاهش سطح، افزایش مداوم کسری اکولوژیکی، بیشترین افزایش عمق در بین کاربری‌ها، کاهش تدریجی جریان سرمایه طبیعی، تحمیل بیشترین فشار اکولوژیکی و همچنین کاهش مداوم شاخص پایداری به عنوان ناپایدارترین کاربری و در مقابل کاربری بسترهای صید به دلیل دارا بودن بیشترین ضریب عملکرد و رشد مداوم آن، رشد مداوم مازاد اکولوژیکی، داشتن سهم بسیار ناچیز در ردپای اکولوژیکی و غیره پایدارترین کاربری شهرستان معرفی می‌گردد.

نتایج حاصله به ما هشدار می‌دهند که توسعه فعلی شهرستان به قیمت مصرف زیاد منابع طبیعی صورت گرفته و اکوسیستم را در وضعیت ناپایدار قرار داده است. پیامد تداوم استفاده بیش از حد از منابع می‌تواند موجب تغییر و آسیب به اکوسیستم‌ها شود که در نهایت تهدیدی بزرگ برای تنوع زیستی منطقه می‌باشد (Lazarus, 2015). فشار منابع بالا و پایداری منطقه‌ای رو به وخامت است. چنین نتیجه‌ای با نتایج تحقیق Saidi و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد که در آن نیز وضعیت پایداری اکولوژیکی شهر نوشهر در کلیه زمینه‌های مورد تحقیق کمتر از حد متوسط و نامطلوب عنوان شده است. در مجموع، فشار انسانی که بر محیط زیست شهرستان نوشهر تحمیل می‌شود از ظرفیت قابل تحمل (زیستی) آن

همکاران (۲۰۲۱) و Liu و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده نمود. بر اساس یافته‌های این پژوهش مهمترین عامل کسری اکولوژیکی شهرستان نوشهر، میزان مصرف منابع انرژی است.

عمده تقاضای مردم شهرستان از کاربری زراعی بوده که با توجه به بیشترین رشد عمق در آن، "جریان سرمایه" این کاربری برای برآورده کردن نیاز مردم کافی نبوده و در نتیجه استفاده از سرمایه طبیعی و تهی شدن و کاهش ذخایر (انباشت) منابع طبیعی را باعث شده است. Xun و همکاران (۲۰۱۹) نیز در پژوهش خود در هفده شهر چین به چنین نتایجی دست یافته‌اند. شاخص "فشار اکولوژیکی" با آن که در انتهای دوره کمی کاهش یافته ولی نسبت به ابتدای بازه زمانی، افزایش یافته و اکولوژی منطقه در شرایط کاملاً ناامن قرار دارد. زمانی که فشار و بار انسانی منطقه از ظرفیت اکولوژیکی آن فراتر می‌رود، این منطقه برای برآوردن نیازهای مصرفی جمعیت خود تحت استانداردهای زندگی فعلی، یا منابعی را از خارج از منطقه وارد می‌کند تا ردپای اکولوژیکی را متعادل سازد، یا سرمایه طبیعی را برای جبران کمبود جریان عرضه مصرف می‌کند. هر دوی این موارد نشان می‌دهد که مدل توسعه منطقه‌ای ناپایدار است (Deng, 2018).

همچنین شاخص "پایداری اکولوژیکی" طی دوره مورد نظر به تدریج کاهش و از مقدار ۰/۲۸ در سال ۱۳۸۱ به ۰/۱۸ در سال ۱۳۹۹ رسیده است. این شاخص در پژوهشی مشابه که توسط Zhang و همکاران (۲۰۲۰) انجام شد نیز طی بازه زمانی مذکور از مقدار ۰/۶ به ۰/۴۳ تنزل یافته است. افزایش کسری اکولوژیکی و شاخص فشار نشان می‌دهد که میزان استفاده از منابع طبیعی و سرعت رهاسازی زائدات از قابلیت بازیافت و خود پالایشی سیستم فراتر رفته است.

از بعد "ردپای سه بعدی"، در شهرستان نوشهر طی بازه زمانی مورد نظر، همواره "عمق ردپا" از طول طبیعی فراتر رفته که نشان دهنده استفاده کمتر پایدار از سرمایه طبیعی منطقه‌ای می‌باشد. متوسط عمق ردپای اکولوژیکی شهرستان طی دوره مورد نظر ۴ می‌باشد به بیانی دیگر تقریباً چهار برابر مساحت موجود برای حمایت از مصرف منابع شهرستان نوشهر مورد نیاز می‌باشد. جریان سرمایه طبیعی در منطقه دیگر نمی‌تواند نیازهای توسعه و

منابع

1. **Bastianoni, S., Niccolucci, V., Neri, E., Cranston, G., Galli, A. and Wackernagel, M., 2013.** Sustainable Development: Ecological Footprint in Accounting. *Environ. Indic.*, 2467–2481.
 2. **Bi, M.L., Yao, C.Y., Xie, G.D., Liu, J.Y. and Qin, K.Y., 2021.** Improvement and application of the three-dimensional ecological footprint model. *Ecol. Indic.* 125, 107480.
 3. **Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M. and Galli, A., 2013.** Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The national footprint accounts' underlying methodology and framework. *Ecol. Indic.*, 24, 518–533.
 4. **Deng, C.X., Liu, Z., Li, R.R. and Li, K., 2018.** Sustainability evaluation based on a three-dimensional ecological footprint model: a case study in Hunan, China. *Sustainability* 10, 1–22.
 5. **Dong, H.W., Li, P., Feng, Z.M., Yang, Y.Z., You, Z. and Li, Q., 2019.** Natural capital utilization on an international tourism island based on a three-dimensional ecological footprint model: a case study of Hainan Province, China. *Ecol. Indic.* 104, 479e488.
 6. **Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J. and Wackernagel, M., 2010.** Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010 Edition. *Ecological Footprint Atlas 2010*. Global Footprint Network.
 7. **Feng, Z. and Cui, Y., 2018.** Assessment of human consumption of ecosystem services in China from 2000 to 2014 based on an ecosystem service footprint model. *Ecological Indicators* 94.
 8. **Franco, S., Pancino, B. and Martella, A., 2021.** Mapping National Environmental Sustainability Distribution by Ecological Footprint: The Case of Italy. *Sustainability* 2021. MDPI.
 9. **Igone, P., Miren, O., Pilar, B. and Iosu, M., 2015.** Provisioning ecosystem services supply and demand: The role of landscape management to reinforce supply and promote synergies with other ecosystem services. *Land use policy*. Volume 47, Pages 145-155
 10. **Galli, A., Iha, K., Pires, S.M., Mancini, M.S., Alves, A.A., Zokai, G., Lin, D., Murthy, A. and Wackernagel, M., 2020.** Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. 96, 102442.
 11. **Global Footprint Network, 2022.** National Footprint Accounts. Available at: www.footprintnetwork.org
 12. **Kardavani, P., Faraji Rad, A. and Kavooosi, B., 2014.** Mazandaran province Geotourism. *Journal*
- فرا تر رفته است. دوره‌های طولانی فشار اکولوژیکی در منطقه ممکن است عملکرد اکوسیستم‌ها را به گونه‌ای تغییر دهد که ظرفیت آینده آن‌ها برای ارائه خدمات تغییر یابد (Villamagna, 2013).
- با ادامه روند فعلی، مصرف انرژی و مواد قطعاً افزایش یافته و چالش‌های محیط زیستی شدیدتر خواهند شد. با افزایش مصرف و نهایتاً افزایش کسری اکولوژیکی در آینده وابستگی منطقه به کالا و خدمات اکولوژیکی خارج از منطقه بیشتر خواهد شد و از آن‌جا که جهان به عنوان یک کل ناپایدار است زیرا ردپای جهانی (۲/۸ هکتار) بالاتر از ظرفیت زیستی جهانی (۱/۶ هکتار) می‌باشد (GFN, 2022) و فاصله بین ردپای اکولوژیکی و ظرفیت زیستی در سطح جهان از اواسط دهه ۱۹۷۰ به طور مداوم در حال افزایش است (Bastianoni, 2013) و همچنین به علت محدودیت‌های بیوفیزیکی زمین و نیز آن‌که منابع طبیعت بینهایت نبوده، همه کشورها یا مناطق نمی‌توانند وارد کننده خالص ظرفیت زیستی باشند (Syrovatka, 2020).
- در نتیجه تعادل مناسب عرضه و تقاضای خدمات محلی اکوسیستم گامی مهم در جهت پایداری می‌باشد.
- بهبود پایداری اکوسیستم منطقه‌ای باید از کاهش عمق و افزایش اندازه ردپای اکولوژیکی ناشی گردد. عمق ردپای منطقه تا حد زیادی تحت تأثیر مصرف انرژی می‌باشد، بنابراین کنترل میزان انرژی مصرفی و بهینه‌سازی ساختار مصرف انرژی ضروری است. منابع انرژی جدید باید توسعه داده شوند و برای کاهش مصرف انرژی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین بهبود بهره‌وری منابع زیستی به‌ویژه برای منابع کشاورزی باید در اولویت بالایی قرار گیرد. دولت باید تلاش زیادی برای ترویج، تحول و ارتقاء صنعت کشاورزی انجام دهد. به علاوه حفظ، احیا و توسعه جنگل‌ها و زراعت چوب نیز باید جهت کاهش ردپای مصرف انرژی اعمال گردد. بهره‌برداری از پتانسیل‌های تولیدی شهر، بهبود آگاهی فرهنگی مردم، کنترل افزایش جمعیت و همچنین ادغام توسعه اقتصادی با آگاهی از مسائل محیط زیستی از جمله اقدامات دیگر برای افزایش و بهبود سطح پایداری شهرستان نوشهر می‌باشند.

- analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecol. Complex*, 15, 114–121.
23. **Wackernagel, M., Onisto, L. and Bello, P., 1999.** National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics* 29.
 24. **Wang, Z.H., Yang, L., Yin, J.H. and Zhang, B., 2018.** Assessment and prediction of environmental sustainability in China based on a modified ecological footprint model. *Resour. Conserv. Recycl.* 132, 301–313.
 25. **Wu, F.F., Yang, X.H., Shen, Z.Y., Bian, D.H. and Babuna, P., 2021.** Exploring sustainability and decoupling effects of natural capital utilization in China: Evidence from a provincial three-dimensional ecological footprint. *Journal of Cleaner Production* 295. *Journal of Cleaner Production* 295.
 26. **Xun, F. and Hu, Y., 2019.** Evaluation of ecological sustainability based on a revised three-dimensional ecological footprint model in Shandong Province, China. *Sci. Total Env.* 649, 582–591.
 27. **Zhang, Z.X., Hu, B.Q., Shi, K.F., Su, K.C. and Yang, Q.Y., 2020.** Exploring the dynamic, forecast and decoupling effect of land natural capital utilization in the hinterland of the Three Gorges Reservoir area. China. *Sci. Total Environ.* 718, 134832.
 28. **Zheng, W., Cai, F., Chen, S. and Zhu, J., 2020.** Ecological Suitability of Island Development Based on Ecosystem Services Value, Biocapacity and Ecological Footprint: A Case Study of Pingtan Island, Fujian, China". *Sustainability*, 12, 2553. www.mdpi.com/journal/sustainability.
 29. **Zhu, L., Zhang, H., Liao, H. and Peng., 2020.** Evaluation of Ecological Sustainability in Chongqing, China Based on 3D Ecological Footprint Model. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. Vol. 15, No. 1, pp.89-96.
 30. **Zhao, S., Zhang, L. and Hong, H. 2009.** Linking the concept of ecological footprint and valuation of ecosystem services – a case study of economic growth and natural carrying capacity. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. Vol. 16, No. 2, April 2009, 137–142
 - of Tourism & Hospitality Research Islamic Azad University, Garmsar Branch Vol. 3, No.1, Summer 2014, Pp. 23-47.
 13. **Lazarus, E., Lin, D., Martindill, J., Hardiman, J., Pitney, L. and Galli, A., 2015.** Biodiversity loss and the ecological footprint of trade. *Diversity* 7, 170–191.
 14. **Li, Y., Wang, Z.C. and Wei, Y.G., 2021.** Pathways to progress sustainability: an accurate ecological footprint analysis and prediction for Shandong in China based on integration of STIRPAT model, PLS, and BPNN. *Environ. Sci. Pollut. Res.*
 15. **Lin, D., Galli, A., Borucke, M. and Lazarus, E., 2016.** Tracking supply and demand of biocapacity through ecological footprint accounting. *Sustainability Assessment of Renewables*.
 16. **Liu, T., Wang, H.Z., Wang, H.Z. and Xu, H., 2021.** The spatiotemporal evolution of ecological security in China based on the ecological footprint model with localization of parameters. *Ecol. Indic.* 126, 107636.
 17. **Long, X.Y., Yu, H.J., Sun, M.X., Wang, X.C., Klemes, J.J., Xie, W., Wang, C.D., Li, W.Q. and Wang, Y.T., 2020.** Sustainability evaluation based on the Three-dimensional Ecological Footprint and Human Development Index: A case study on the four island regions in China. *J. Environ. Manage.* 265.
 18. **Mancini, M., Galli, A., Coscieme, L., Niccolucci, V. and Lin, D., 2018.** Exploring ecosystem services assessment through Ecological Footprint accounting". *Ecosystem Services*. Elsevier journal. 30, 228–235.
 19. **Niccolucci, V., Bastianoni, S., Tiezzi, E.B.P., Wackernagel, M. and Marchettini, N., 2009.** How deep is the footprint? A 3D representation. *Ecol. Model.* 220 (20), 2819–2823.
 20. **Niccolucci, V., Galli, A., Reed, A., Neri, E., Wackernagel, M. and Bastianoni, S., 2011.** Towards a 3D national ecological footprint geography. *Ecological Modelling*. 222 (16), 2939–2944.
 21. **Syrovátka, M., 2020.** Analysis on sustainability interpretations of the Ecological Footprint. *Ecol. Econ.* ,169 ,106543.
 22. **Villamagna, A.M., Angermeier, P.L. and Bennett, E.M., 2013.** Capacity, pressure, demand, and flow: A conceptual framework for





Investigating The Sustainability of The Ecosystem by Combining Two Approaches of Ecological Footprint and Evaluation of Ecosystem Services (Case Study: City of Nowshahr)

Parimah Samadpoor^{*1}, Shahrazad Faryadi², Lobat Zebardast²

1*- Phd Student of Environment Planning, Alborz Campus Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Original Article

Received:
2023.05.24

Accepted:
2023.08.27

Keywords:
Natural Capital,
Ecological
Footprint,
Biological
Capacity,
Ecosystem
Services,
Sustainability.

Abstract

Introduction: Natural capital is essential for human survival and achieving sustainable development goals. Therefore, a scientific framework is required to evaluate regional natural capitals consumption and their capacity to ensure sustainable development. Natural capitals represent the limiting and irreplaceable factors in human well-being and sustainability of every developmental intervention. Degradation of the accumulation and flows of the natural capitals are the fundamental issues in the discussion of environmental sustainability. The current research has been conducted with the aim of investigating the state of ecosystem sustainability by adopting two approaches of ecological footprint and ecosystem services, and in other words, comparing the amount of demand for resources with the supply of goods and services provided by the ecosystem.

Materials and Method: In this research, to investigate the sustainability of Nowshahr's natural and urban ecosystem as the case study, first, the trend of land use changes and its associated phenomena in the region have been investigated using ENVI 5.6 software for processing the satellite images. In order to investigate the change process of the study area, Landsat satellite reference images, TM, ETM+ and OLI sensors were used for the time scale of 2002, 2013 and 2020. Then, the classic ecological footprint of the region was calculated for six types of productive ecosystems, including agricultural lands, pastures, fishing areas, forests, built-up lands, and the carbon demand. The areas of these six land cover types were converted into global hectares using yield and equivalence factors. Subsequently, the maximum amount of ecosystem service flow per global hectare was estimated. And after that, the

amount of consumption of natural capital accumulation and the occupation of capital flow in the region were investigated. Finally, the ecosystem stability of the study area was investigated using indicators such as the ecological pressure index (EPI), ecological sustainability index (ESI), ratio of capital stock to flows index, flow occupation ratio index, and excessive natural capital flow index.

Results: According to the research results in the city of Nowshahr, during the period of 2011-2019, the amount of ecological footprint, ecological deficit and pressure have gradually increased, resulting in a reduction of the ecological balance and stability. Only the pasture, forest and fishing areas are in a stable state meaning that the supply of ecological resources is more than the demand, and the pressure is still within the carrying capacity of the ecosystem. In the period of investigation, the amount of use of stock to natural capital flow has increased and has reached almost four times of natural capital flow.

Discussion: Measuring human demand for natural capital and nature's supply is essential for tracking progress, setting goals, and orientating sustainability policies. By combining the two approaches of evaluating ecosystem services and ecological footprint, it is possible to track human demand and nature's supply from a precise subset of ecosystem services, and therefore ecological balance and sustainability can be examined at the local level. Based on the results of the research, the stability of the region and the status of its ecosystem services are threatened by the cultivated land, and mainly the consumption of fossil energy. Based on the results of the research, in the period of investigation, the stability of the city of Nowshahr has decreased and the status of its ecosystem services is threatened by the cultivated land, and mainly the consumption of fossil energy. During this period and considering factors such as land use level, ecological deficit, footprint depth, ecosystem service flow, ecological pressure index, and ecological sustainability index, agricultural land use was the most unsustainable and fishing was the most sustainable use in city of Nowshahr.