



سنجش و مقایسه‌ی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

پدیدآورنده (ها) : لطفی، صدیقه؛ علیزاده، توحید

جغرافیا :: نشریه جغرافیا و توسعه :: پاییز ۱۴۰۳- شماره ۷۶ (ISC)

صفحات : از ۷ تا ۳۲

آدرس ثابت : <https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/2169687>

تاریخ دائلود : ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی (نور) جهت ارائه مجلات عرضه شده در پایگاه، مجوز لازم را از صاحبان مجلات، دریافت نموده است، بر این اساس همه حقوق مادی برآمده از ورود اطلاعات مقالات، مجلات و تألیفات موجود در پایگاه، متعلق به "مرکز نور" می باشد. بنابر این، هرگونه نشر و عرضه مقالات در قالب نوشتار و تصویر به صورت کاغذی و مانند آن، یا به صورت دیجیتالی که حاصل و بر گرفته از این پایگاه باشد، نیازمند کسب مجوز لازم، از صاحبان مجلات و مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی (نور) می باشد و تخلف از آن موجب پیگرد قانونی است. به منظور کسب اطلاعات بیشتر به صفحه [قوانین و مقررات](#) استفاده از پایگاه مجلات تخصصی نور مراجعه فرمائید.



- سنجش و تحلیل ردپای بوم شناختی (مطالعه موردی شهرستانهای استان مازندران)
- سنجش کیفیت زندگی و شادی فردی اقشار آموزشی استان مازندران (ورزشکار و غیرورزشکار)
- سنجش و تحلیل برخی مولفه‌های فرهنگی توسعه در شهرستان‌های استان بوشهر با بهره‌گیری از مدل‌های ترکیبی تصمیم‌گیری چند شاخصه
- سنجش وابستگی بخش‌های اقتصادی به واردات از بعد مبدأ، مقصد و سیاستی با استفاده از جدول داده - ستانده تک‌منطقه‌ای؛ مطالعه موردی استان مازندران
- بررسی عامل‌های مؤثر بر پذیرش بیمه‌ی بهره‌برداران محصولات زراعی و باغی بررسی موردی: شهرستان‌های ساری و قائم‌شهر استان مازندران
- سنجش وضع مسئولیت‌پذیری جامعه روستایی نسبت به محیط‌زیست و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: استان مازندران)
- سنجش و سطح‌بندی توسعه یافتگی شهرستان‌های استان همدان از لحاظ شاخص‌های بهداشت و درمانی با استفاده از تاپسیس فازی (FTOPSIS) و Arc GIS
- تحلیل فضایی مخاطرات طبیعی با تأکید خشکسالی و سنجش ظرفیت سازگاری (مطالعه موردی: سکونتگاههای روستایی، شهرستان رزن، استان همدان)
- بررسی رابطه بین آموزش منابع انسانی و بهره‌وری سازمان (مورد مطالعه: نیروی انتظامی شهرستان‌های غرب استان مازندران)
- سنجش رضایت‌مندی مردم از ارائه خدمات امنیتی-سیاحتی و شناسایی زمینه‌های بهبود و توسعه خدمات آن در شهرهای ساحلی استان مازندران



سنجش و مقایسه ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

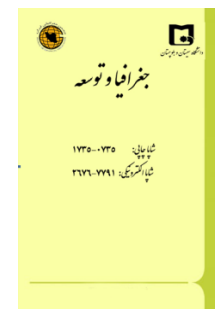
دکتر صدیقه لطفی^{۱*}، توحید علیزاده^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

در دهه‌های اخیر مشکلات محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی، به‌عنوان یک چالش جدی برای توسعه پایدار جهانی مطرح شده‌اند. یکی از مفاهیم کلیدی در این زمینه، ردپای بوم‌شناختی است که به‌میزان مصرف منابع طبیعی توسط جامعه انسانی اشاره دارد و در مقایسه با مفهوم ظرفیت زیستی که نشان‌دهنده توانایی زمین برای تأمین نیازهای انسانی و جذب پسماندها است، کمبود بوم‌شناختی منطقه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. پژوهش حاضر، به تحلیل تولیدات بیولوژیکی به‌منظور محاسبه میزان بار و فشار وارده بر طبیعت در اثر بهره‌برداری انسان و میزان ظرفیت زیست‌کره جهت ارائه زمین مورد نیاز برای جذب کربن، مصارف انرژی، حمل‌ونقل و... پرداخته است. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ردپای اکولوژیک با واحد اندازه‌گیری هکتار جهانی (gha) استفاده شده و کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران برآورد شده است. نتایج نشان می‌دهد سرانه کمبود بوم‌شناختی کل استان در سال ۱۴۰۰، برای هر مازندرانی ۰/۴۹- درصد هکتار جهانی است. این مهم بیانگر عدم تعادل میان فعالیت‌های اقتصادی و حفظ محیط زیست و همچنین مصرف بیش‌ازحد منابع طبیعی است. قائم‌شهر با بیشترین سرانه کمبود بوم‌شناختی (۱/۰۳- هکتار جهانی) ناپایدارترین شهرستان و گلگاه با بیشترین سرانه مازاد بوم‌شناختی (۲/۵۴ هکتار جهانی) پایدارترین شهرستان استان هستند. پژوهش حاضر می‌تواند پایه‌ای برای تصمیم‌گیران و مسئولان جهت اتخاذ تدابیر مناسب و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای حفظ محیط زیست باشد و توسعه پایدار مناطق را ایجاد کند.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۶، پاییز ۱۴۰۳
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰
صفحات: ۱-۳۲



واژه‌های کلیدی:

ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی، کمبود بوم‌شناختی، استان مازندران.

مقدمه

امروزه معضلات محیط‌زیستی ناشی از روند شهرنشینی، به یکی از چالش‌های جدی برای متخصصان این حوزه تبدیل شده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۸). در اواسط دهه ۱۹۸۰، ردپای بوم‌شناختی^۳ انسان بر روی زمین که بیانگر میزان استفاده افراد از منابع مصرفی است، از ظرفیت کره زمین بیشتر شده است. ویلیام ریز^۴ و ماتیاس واکرنگل^۵ مفهوم «ردپای بوم‌شناختی» (Rees, 1992; Rees and Wackernagel, 1994; Wackernagel and Rees, 1996) را نخستین بار در دهه ۱۹۹۰ مطرح کرده و در کتاب «ردپای بوم‌شناختی ما: کاهش تأثیر انسان بر زمین» آن را توسعه داده‌اند (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۰).

این مفهوم، در دهه ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری برای ردیابی نیازهای انسان در ظرفیت احیاکننده زیست‌کره و وابستگی انسان به اکوسیستم تعریف شد (Rashid et al, 2017: 2). مفهوم ردپای بوم‌شناختی با تأکید بر محدودیت بهره‌برداری از منابع و سرمایه، به‌عنوان چهارچوبی برای ارزیابی اثرات و برنامه‌ریزی پایدار بسط پیدا کرده

۱. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران (نویسنده مسئول) s.lotfi@umz.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران tohid.alizadeh70@gmail.com

3. Ecological footprint (EF)

4. William Riss

5. Mathias Wackernagel

است (Ahmad et al, 2021: 14). ردپای بوم‌شناختی مقدار زمین حاصلخیز بیولوژیک و آب مورد نیاز برای تولید انواع منابع مصرفی یک فرد را با جمعیت یا فعالیت و برای جذب زباله‌های تولیدی آن‌را با توجه به فناوری غالب و مدیریت منابع اندازه‌گیری می‌کنند (Kitzes et al, 2007: 1). درواقع، این مفهوم میزان بار و فشار وارده بر طبیعت را در اثر بهره‌برداری انسان می‌سنجد؛ از این‌رو، یکی از ابزارهای مؤثر، مهم و کارآمد در برنامه‌ریزی است (Du et al, 2022: 79). به‌عبارت‌دیگر، ردپای بوم‌شناختی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای توصیف فشارهای انسانی بر محیط‌زیست و منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد (Mir et al, 2022: 1). با محاسبه ردپای بوم‌شناختی، می‌توان نقاط قوت و ضعف فعالیت‌های انسانی در حفظ محیط‌زیست را شناسایی کرده و برنامه‌ها و سیاست‌های بهینه‌تری برای حفظ منابع طبیعی و پیشبرد اهداف پایداری ارائه داد.

البته ارزیابی پایداری یک منطقه یا محدوده مطالعاتی، صرفاً با محاسبه ردپای بوم‌شناختی و بدون مقایسه از طریق شدت «کمبود بوم‌شناختی^۱» یا «مازاد بوم‌شناختی^۲» میسر نمی‌شود. برای شناسایی کمبود یا مازاد بوم‌شناختی علاوه بر ردپای بوم‌شناختی، مفهوم دیگری به نام «ظرفیت زیستی^۳» نیز باید مورد توجه و شناسایی قرار گیرد. ظرفیت زیستی منعکس‌کننده تولید بیولوژیکی منطقه و نشان‌دهنده حداکثر سطح عرضه منابع است و در مقابل ردپای بوم‌شناختی قرار دارد (Li et al, 2021: 20). برآورد ظرفیت زیستی براساس مجموع اراضی مولد زیستی شامل: اراضی زراعی، مراتع، جنگل، ماهیگیری و اراضی ساخته‌شده انجام می‌شود. درواقع، ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی نشان‌دهنده تقاضا و عرضه از اکوسیستم منطقه هستند. یکی از عناصر اساسی توسعه پایدار، این است که انسان‌ها در چهارچوب ظرفیت زیستی طبیعت زندگی کنند (جمعه‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۱). به این معنا که باید فعالیت‌ها و مصارف منابع طبیعی به‌گونه‌ای باشد که قابلیت‌های طبیعی منطقه را حفظ کرده و نسل‌های آینده را از تأثیرات نامطلوب بوم‌شناختی محافظت کند. در این راستا، مفهوم ظرفیت زیستی نقش مهمی در تعیین حدود پایداری منابع طبیعی و اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند. اگر میزان مصرف منابع توسط انسان‌ها بیشتر از ظرفیت زیستی طبیعت باشد، به کمبود بوم‌شناختی دچار می‌شویم که می‌تواند منجر به تخریب و کاهش منابع طبیعی، کاهش تنوع زیستی و مشکلات محیط‌زیستی دیگر شود.

روند شهرنشینی شتابان در سطح کشور، تغییر الگوی مصرف جامعه، هجوم گسترده مهاجران از شهرها و روستاهای اطراف، پیامدهایی همچون: توسعه فیزیکی شهرها، تخریب و از بین رفتن منابع بوم‌شناختی و در نتیجه عدم تعادل و ناسازگاری میان انسان و طبیعت و به هم خوردن روابط اکوسیستم را به‌همراه خواهد داشت (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۴۳). این در حالی است که استان مازندران به‌دلیل شرایط مساعد آب‌وهوایی و همچنین برخورداری از تنوع زیستی و مواهب طبیعی، علاوه بر مهاجرت‌های روستا به شهر و به تبع آن رشد و گسترش بی‌رویه شهرها در سال‌های اخیر، با ورود گسترده گردشگران و مهاجران غیربومی نیز مواجه بوده است که این امر، چالش‌های محیط‌زیستی متنوعی از جمله: بهره‌برداری غیراصولی و بیش‌ازحد از منابع طبیعی و توسعه بی‌رویه سکونت‌گاه‌های انسانی را به‌همراه داشته‌است؛ از این‌رو، به‌منظور ایجاد توازن میان توسعه انسانی و حفظ محیط‌زیست، بررسی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی در استان مازندران اهمیت بالایی دارد و می‌تواند به مسئولین و تصمیم‌گیران منطقه، با ارائه اطلاعات دقیق و کاربردی، در تدوین سیاست‌ها و برنامه‌های محیط‌زیستی و حرکت به‌سوی توسعه پایدار کمک

1. Ecological deficit
2. Ecological deserve
3. Biocapacity

کند. همچنین، با مقایسه ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی بین شهرستان‌ها می‌توان الگوها و تفاوت‌ها را در مصرف منابع و مدیریت محیط‌زیست شناسایی و بهترین روش‌ها و راهکارها را برای ارتقای پایداری منابع معرفی کرد؛ از این رو مقاله حاضر، به منظور ارزیابی و مقایسه ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی بین شهرستان‌های استان مازندران انجام شده است. با توجه به افزایش سطح مصرف در سال‌های اخیر، مسأله اصلی پژوهش حاضر این است که: ۱- ردپای بوم‌شناختی استان مازندران نسبت به ظرفیت زیستی آن در چه سطحی قرار دارد؟ ۲- ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی هر یک از شهرستان‌های استان مازندران چگونه است؟ ۳- کدامیک از شهرستان‌ها به لحاظ کمبود یا مازاد بوم‌شناختی در شرایط بحرانی و کدامیک در شرایط مطلوب قرار دارند؟

در این راستا، محاسبه ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی و کمبود یا مازاد بوم‌شناختی جهت تجزیه و تحلیل وضعیت بوم‌شناختی استان مازندران و مقایسه بین شهرستان‌های استان مازندران، از اهداف اساسی این مقاله به‌شمار می‌روند. محدوده مورد مطالعه در این مقاله شامل شهرستان‌های استان مازندران بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی است.

پیشینه و ادبیات موضوع

مفهوم «ردپای بوم‌شناختی» در ابتدا توسط ریس (۱۹۹۲) معرفی شد. وی استدلال کرد که اقتصاد مدرن روابط خود را با بوم‌شناسی^۱ قطع کرده است و در نتیجه نگرانی‌های محیطی ضروری را نادیده می‌گیرد. به اعتقاد او، تمدن بشری به منابع طبیعی زمین بستگی دارد؛ بنابراین مقدار زمین لازم برای حفظ یک منطقه یا جمعیت خاص را به‌عنوان ردپای بوم‌شناختی تعریف می‌کند. اندکی بعد، واکرناگل (۱۹۹۴) این مفهوم را بیشتر پرورش داده و ابزاری برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی ایجاد می‌کند. به گفته وی، ردپای بوم‌شناختی یک جامعه یا فرد خاص، به دلیل جهانی‌شدن، فراتر از مرزهای محلی گسترش می‌یابد و حتی خارج از مرزهای فیزیکی یا سیاسی را در بر می‌گیرد. این دامنه گسترده برای ارزیابی ردپای بوم‌شناختی، ارزیابی پایداری یک فرد یا جامعه و راهبردهای بالقوه برای کاهش ردپا را ممکن می‌سازد. فرض اساسی روش محاسباتی واکرناگل این است که مصرف عمده و فعالیت‌های انسانی، نیازمند زمین یا آب مولد زیستی است (Braun, 2021: 3).

در سال‌های اخیر مفهوم «ردپای بوم‌شناختی»، در مطالعات محیط‌زیستی به‌عنوان یک معیار مهم برای دستیابی به توسعه پایدار جایگاه ویژه‌ای یافته است. از میان منابع خارجی مرتبط در سال‌های اخیر می‌توان به مواردی همچون وو و بای^۲ (۲۰۲۲)، اشاره کرد که مدل ردپای بوم‌شناختی را برای برآورد پایداری بوم‌شناختی در فرآیند شهرنشینی شهرهای مبتنی بر منابع چین، در مقیاس‌های مختلف مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شهرهای مبتنی بر منابع، در هر دو مقیاس ملی و منطقه‌ای در وضعیت کمیابی منابع محیط‌زیستی قرار دارند. توسعه شهری در این منطقه از ظرفیت بیولوژیکی محلی در طول فرآیند شهرنشینی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ فراتر رفته است. یانگ و کای^۳ (۲۰۲۰)، امنیت محیط‌زیستی تجمع شهری دشت گوانژونگ^۴ را براساس یک مدل ردپای بوم‌شناختی اقتباس‌شده، مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار ردپای بوم‌شناختی به منابع آب اختصاص دارد؛ به‌همین ترتیب، براساس ردپای بوم‌شناختی، این منطقه به ۴/۷۶ برابر مساحت فعلی نیاز دارد تا

1. Ecology
2. Wu & Bai
3. Yang & Cai
4. Guanzhong

مصرف منابع خود را تأمین کند؛ بنابراین راهبردهایی مانند: بهبود سیستم مدیریت منابع آب، کنترل آلودگی هوا و تقویت پهنه‌بندی کاربری اراضی را پیشنهاد می‌دهند (Mir et al, 2022: 2).

رشید و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، ردپای بوم‌شناختی دو ناحیه شهری راولپندی^۲ یعنی شهر بحریه^۳ و کلنی گلریز^۴ را در پاکستان از منظر شهرنشینی مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از پرسش‌نامه نشان می‌دهد، ردپای بوم‌شناختی شهر بحریه ۸/۶ هکتار جهانی و کلنی گلریز ۶/۹ هکتار جهانی است که دارای ردپای بوم‌شناختی بالاتر از مقادیر استاندارد ملی هستند. مک‌دونالد و پترسون^۵ (۲۰۰۴) ردپای بوم‌شناختی و وابستگی‌های متقابل ۱۶ منطقه در نیوزیلند را با استفاده از جدول داده‌ستانده، مورد مقایسه قرار داده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین ردپای بوم‌شناختی مربوط به آکلند^۶ (نخستین شهر نیوزیلند) با ۲/۳۲ میلیون هکتار (۲۰ درصد از ردپای نیوزیلند) است.

در ایران نیز مطالعات متنوعی پیرامون موضوع ردپای بوم‌شناختی ارائه شده است. فرهادی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزیابی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری در چهار منطقه شهری همدان پرداختند. نتایج نشان داده که بخش مصرف شامل: مسکن، حمل‌ونقل، خدمات، کالا و غذا کمتر از ظرفیت زیستی شهر بوده است. کوزه‌گر کالجی و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از روش‌های توصیفی-تحلیلی و کمی به مطالعه ردپای بوم‌شناختی به منظور سنجش پایداری شهرها برای ده منطقه شهر تبریز پرداخته‌اند. ردپای بوم‌شناختی شهر تبریز، براساس داده‌های غذا، میزان دی‌اکسید کربن ناشی از حمل‌ونقل، گرمایش به دست آمده از گازهای طبیعی، آب، برق و مقدار زباله محاسبه شده است و در مجموع سرانه ردپای بوم‌شناختی شهر ۳/۳ هکتار برای هر نفر گزارش شده است. جمعه‌پور و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی به بررسی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی شهرستان رشت پرداخته‌اند. آن‌ها برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی، بخش‌های مصرفی را به چهار بخش اصلی شامل: حمل‌ونقل، مسکن، غذا و کالا، و خدمات تقسیم کردند. نتایج نشان می‌دهد که شهرستان رشت با ناپایداری بوم‌شناختی روبه‌رو است.

از میان مقالات و پژوهش‌هایی که به موضوع ردپای بوم‌شناختی در استان مازندران پرداخته‌اند نیز می‌توان به نظری و کلانتری (۱۴۰۱)، اشاره کرد که برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و سنجش پایداری مناطق شهری، با بهره‌گیری از روش توصیفی-تحلیلی و با استناد به داده‌های کتابخانه‌ای شاخص ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی اکوسیستم شهری، منطقه شهری ساری را مورد بررسی قرار داده‌اند. ردپای بوم‌شناختی در بخش مصرف (شامل: ردپای بوم‌شناختی، مسکن، خدمات و حمل‌ونقل) در چهار منطقه مختلف شهر ساری محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف ردپای بوم‌شناختی در منطقه شهری ساری برابر ۰/۹۴ و ظرفیت زیستی این منطقه برابر ۰/۵۹ هکتار جهانی برای هر فرد است که کمبود بوم‌شناختی را نشان می‌دهد. دلیری و مهرگان (۱۳۹۵)، به منظور سنجش پایداری توسعه در استان‌های ایران، به محاسبه ردپای بوم‌شناختی در بخش‌های مصرفی حمل‌ونقل، مسکن، غذا، کالا و خدمات و زیربخش‌های زمین کشاورزی، مرتع، جنگل و انرژی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از تجمیع

1. Rashid et al
2. Rawalpindi
3. Bahria Town
4. Gulraiz Colony
5. McDonald & Patterson
6. Auckland

تمام بخش‌های ردپای بوم‌شناختی نشان‌می‌دهد که از میان ۳۱ استان کشور، استان مازندران با ردپای ۲/۱۰۶ هکتاری، رتبه ۱۶ را در اختیار داشته‌است. رضی (۱۳۹۴) نیز در مقاله‌ای با موضوع سنجش و تحلیل ردپای بوم‌شناختی به محاسبه ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران در مقایسه با مساحت هر شهرستان پرداخته‌است. نتایج نشان می‌دهد از میان ۱۹ شهرستان براساس مرز تقسیمات سیاسی سال ۱۳۹۰، ردپای بوم‌شناختی همه شهرستان‌های استان بجز دو شهرستان سوادکوه و نور بیش از وسعت آن‌ها است. علی‌رغم تحقیقات فراوان و متنوع خارجی و داخلی پیرامون موضوع ردپای بوم‌شناختی، تاکنون در منابع بررسی‌شده، مقایسه همه شهرستان‌های یک استان در ارتباط با کمبود بوم‌شناختی حاصل از تفاضل ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، انجام نشده است. در پژوهش حاضر، مرز شهرستان‌ها، مطابق با آخرین تقسیمات سیاسی کشور تعیین شده است. همچنین به لحاظ نظری، علاوه بر محاسبه ردپای بوم‌شناختی برای همه شهرستان‌های استان مازندران، ظرفیت زیستی هر شهرستان نیز براساس انواع کاربری‌ها مورد محاسبه قرار گرفته است. بر مبنای کمبود بوم‌شناختی به‌دست‌آمده، همه ۲۲ شهرستان استان مازندران با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

- معرفی محدوده مورد مطالعه

استان مازندران با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومترمربع به تفکیک همه ۲۲ شهرستان واقع در آن براساس آخرین تقسیمات سیاسی، به‌عنوان محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر انتخاب شده است. این استان در نیمه شمالی کشور، بین ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. حد شمالی آن دریای خزر، حد جنوبی آن استان‌های تهران و سمنان، حد غربی آن استان گیلان و حد شرقی آن استان گلستان است. از نظر ناهمواری‌ها، استان مازندران به دو قسمت جلگه‌ای در شمال و کوهستانی در جنوب تقسیم شده و شیب ناهمواری‌های آن از غرب به شرق به‌موازات دریای خزر است (سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰). بیشتر جمعیت استان در قسمت جلگه‌ای ساکن هستند. براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در آبان ۱۳۹۵، جمعیت استان مازندران ۳۲۸۳۵۸۲ نفر با تعداد خانوار ۱۰۸۴۷۹۸ بوده است. همچنین مرکز آمار ایران، جمعیت کشور را برای سال ۱۴۰۰، به تفکیک شهرستان‌ها مورد برآورد قرار داده است که براساس مجموع جمعیت شهرستان‌های استان، جمعیت استان مازندران در سال ۱۴۰۰ به ۳۳۷۵۷۰۰ نفر رسیده است. شهرستان‌های بابل، ساری و آمل به ترتیب پرجمعیت‌ترین شهرستان‌ها به‌شمار می‌روند و شهرستان «سیمرغ» کم‌جمعیت‌ترین شهرستان استان است. قائم‌شهر پرتراکم‌ترین شهرستان با ۸/۲۷ نفر در هکتار و سوادکوه کم‌تراکم‌ترین شهرستان استان با ۰/۲۸ نفر در هکتار است. جدول شماره ۱، برای هر یک از شهرستان‌های استان مازندران، جمعیت سال ۱۳۹۵ و جمعیت برآورد شده سال ۱۴۰۰، مساحت و تراکم جمعیتی براساس آخرین تقسیمات سیاسی (شکل شماره ۱) را نشان می‌دهد.

جدول ۱: جمعیت، مساحت و تراکم جمعیتی به تفکیک شهرستان‌های استان مازندران در سال ۱۴۰۰

عنوان	جمعیت ۱۳۹۵	جمعیت ۱۴۰۰	مساحت هکتار	تراکم جمعیتی نفر در هکتار
واحد اندازه‌گیری <td>نفر <td>نفر <td></td> <td></td> </td></td>	نفر <td>نفر <td></td> <td></td> </td>	نفر <td></td> <td></td>		
استان	۳۲۸۳۵۸۲	۳۳۷۵۷۰۰	۱۱۷۷۱۰	۱،۴۲
آمل	۴۰۱۶۳۹	۴۱۷۲۰۰	۳۲۰۸۹۰	۱،۳۰
بابل	۵۳۱۹۳۰	۵۴۶۸۰۰	۱۵۱۵۵۰	۳،۶۱
بابلسر	۱۳۵۱۹۱	۱۴۱۴۰۰	۲۵۶۴۰	۵،۵۱
بهبهر	۱۶۸۷۶۹	۱۷۰۹۰۰	۱۴۷۲۶۰	۱،۱۶
تنکابن	۱۶۶۱۳۲	۱۷۱۲۰۰	۱۷۸۲۵۰	۰،۹۶
جویبار	۷۷۵۷۶	۷۶۸۰۰	۲۸۹۸۰	۲،۶۵
چالوس	۱۱۶۵۴۲	۱۲۱۰۰۰	۱۱۱۰۴۰	۱،۰۹
رامسر	۷۴۱۷۹	۷۶۹۰۰	۷۴۱۲۰	۱،۰۵
ساری	۵۰۴۲۹۸	۵۲۴۲۰۰	۳۲۳۴۰	۱،۶۳
سوادکوه	۴۲۹۱۲	۴۵۲۰۰	۱۶۱۹۵۰	۰،۲۸
سوادکوه شمالی	۲۴۸۴۴	۲۵۴۰۰	۵۰۴۹۰	۰،۵۰
سیمرغ	۱۹۳۷۶	۱۹۸۰۰	۹۳۶۰	۲،۱۲
عباس‌آباد	۵۲۸۳۲	۵۴۳۰۰	۳۰۲۰۰	۱،۸۰
فریدونکنار	۶۰۰۳۱	۶۱۹۰۰	۱۰۶۵۰	۵،۸۱
قائم‌شهر	۳۰۹۱۹۹	۳۰۸۲۰۰	۳۷۲۶۰	۸،۲۷
کلاردشت	۲۳۶۴۸	۲۵۶۰۰	۴۵۶۷۰	۰،۵۶
گلوگاه	۴۰۰۷۸	۳۹۴۰۰	۳۹۸۲۰	۰،۹۹
محمودآباد	۹۸۴۰۷	۹۸۳۰۰	۲۶۵۳۰	۳،۷۱
میان‌دورود	۵۵۰۵۲	۵۵۹۰۰	۴۴۶۶۰	۱،۲۵
نکا	۱۱۹۵۱۱	۱۲۳۲۰۰	۱۲۸۹۱۰	۰،۹۶
نور	۱۲۱۵۳۱	۱۲۸۲۰۰	۲۶۶۲۹۰	۰،۴۸
نوشهر	۱۳۸۹۱۳	۱۴۳۹۰۰	۱۶۶۲۴۰	۰،۸۷

مأخذ: سالنامه آماری استان، ۱۴۰۰؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲



شکل ۱: موقعیت شهرستان‌های استان مازندران بر اساس تقسیمات سیاسی کشور

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۲

روش تحقیق

پژوهش حاضر، از نظر هدف کاربردی و از نظر شیوه انجام توصیفی - تحلیلی است. گردآوری اطلاعات موردنیاز به صورت اسنادی - کتابخانه‌ای از طریق بهره‌گیری از بانک‌های اطلاعاتی داخلی مانند: سالنامه‌ها، سرشماری‌ها و شاخص‌های آماری مرتبط و خارجی نظیر گزارش‌های شبکه ردپای جهانی^۱ و همچنین به صورت پیمایش میدانی از طریق مراجعه به سازمان‌ها و ادارات مربوطه جهت دریافت اطلاعات به‌روز برای محدوده مورد مطالعه انجام شده

1. Global Footprint Network (GFN)

است. بر این اساس، پژوهش حاضر منابع داده‌ای مانند مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند و ضایعات مصرف، اراضی ساخته‌شده و تولیدات بیولوژیکی را برای محاسبه ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده است. داده‌های مورد نیاز با مراجعه حضوری به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان و همچنین سالنامه آماری سال ۱۴۰۰ استان مازندران تهیه شده است. در بخش حمل‌ونقل نیز به‌روزترین داده‌ها به تفکیک شهرستان‌ها تا سال ۱۳۹۷ منتشر و از سالنامه آماری مربوطه استخراج شده است؛ همچنین مساحت اراضی ساخته‌شده استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها از طریق تلفیق فنون سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به‌دست آمده است. جدول شماره ۲، منابع داده‌های به‌کار گرفته‌شده جهت محاسبه کمبود بوم‌شناختی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: منابع داده‌های به‌کار گرفته‌شده در محدوده مورد مطالعه

تعادل محیط‌زیستی	عرصه‌های داده	داده‌های موردنیاز	سال مورد بررسی	مراجع تهیه داده
مصرف انرژی	مصرف انرژی	مصرف آب	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
		مصرف برق	۱۴۰۰	(سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰)
		مصرف گاز طبیعی	۱۴۰۰	(سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰)
ردپای بوم‌شناختی	حمل‌ونقل	مصرف بنزین	*۱۳۹۷	(سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷)
		مصرف گازوئیل		
پسماند و ضایعات مصرف	ارضای ساخته‌شده	کل اراضی با پوشش ساختمانی و بتنی	**۱۳۹۹	فنون سنجش‌ازدور و GIS
		پسماند شهری	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
ظرفیت زیستی	تولیدات بیولوژیکی	جنگل‌ها و مراتع	۱۴۰۰	(سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲)
		ارضای باغی و زراعی		
		شیلات و ماهیگیری		
		ارضای ساخته شده	**۱۳۹۹	فنون سنجش‌ازدور و GIS

* داده‌های حجم مصرف بنزین و گازوئیل تا سال ۱۳۹۷ موجود است و از آن پس، داده‌های مذکور توسط مراجع ذی‌ربط ارائه نشده است.
 ** کل سطوح ساخته شده استان مازندران با استفاده از تصاویر لایه‌های سکونت‌گاهی انسانی جهانی^۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین^۲ به‌دست آمده است.
 است. با توجه به این‌که این تصاویر با فاصله ۵ سال محاسبه و ارائه شده، از تصویر سال ۲۰۲۰ م. (۱۳۹۹ ه. ش.) استفاده شده است.

شبکه ردپای جهانی که متشکل از یک گروه تخصصی شامل: دانشمندان، اساتید، دولت‌ها، شرکت‌ها و سازمان‌های غیردولتی است توصیه می‌کند که هکتارهای جهانی^۳، برای اندازه‌گیری ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت زیستی، مورد استفاده قرار گیرد. هر هکتار جهانی نسبت یکسانی از کل تولید زیستی جهان را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک هکتار با میانگین جهانی تولید برای همه نوع زمین تعریف می‌شود. تولید بوم‌شناختی هکتارهای جهانی با تقسیم کل تولید بوم‌شناختی جهان بر مساحت کل زیستی موجود محاسبه می‌شود. این کار منجر به تولید میانگین در هر هکتار می‌گردد و با یک هکتار جهانی برابر است. به‌این ترتیب هر هکتار جهانی می‌تواند به‌عنوان یک هکتار میانگین برای انواع مختلف زمین در نظر گرفته‌شود. هکتارهای جهانی به‌ویژه برای رتبه‌بندی محصولات مختلف براساس

1. The Global Human Settlement Layer (GHSL)
2. Google Earth Engine (GEE)
3. Global hectares (gha)

تقاضای بوم‌شناختی کلی و مقایسه تقاضاهای بوم‌شناختی مرتبط با محصولات از انواع مختلف زمین مانند گندم و چوب بسیار مناسب است (Galli et al, 2007:251). برآورد ردپای بوم‌شناختی برای یک جمعیت مشترک، فرآیندی چندمرحله‌ای است. بر اساس روش کلی که توسط واکرناگل و ریز ابداع شده است، محاسبه شاخص ردپای بوم‌شناختی شامل مراحل زیر می‌شود (Wackernagel & Rees, 1996: 65):

- تخمین سرانه مصرف سالانه مواد مصرفی اصلی براساس مجموع داده‌های مناطق و تقسیم میزان مصرف کل به تعداد افراد جمعیت.
- تخمین زمین اختصاص داده‌شده به هر نفر برای تولید هر مورد مصرفی از طریق تقسیم متوسط مصرف سالانه هر مورد بر متوسط سالانه تولید یا بازده زمین.
- محاسبه میانگین ردپای بوم‌شناختی هر نفر از طریق جمع کردن تمام مناطق اختصاص داده‌شده به هر بخش که در یک سال توسط یک فرد مصرف شده است.
- محاسبه ردپای بوم‌شناختی برای جمعیت منطقه موردنظر که با ضرب متوسط ردپای هر نفر در اندازه جمعیت به دست می‌آید.

در این پژوهش، برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش ردپای اکولوژیک که خود مدلی کمی است، استفاده شده است. به این منظور، داده‌های به دست آمده برای همه عرصه‌ها و همه شهرستان‌ها در نرم‌افزار اکسل^۱ وارد شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به منظور محاسبه ردپای بوم‌شناختی براساس میزان مصرف منابع طبیعی توسط انسان‌ها و تأثیرات پسماندهای تولیدشده توسط آن‌ها با واحد اندازه‌گیری هکتار جهانی، منابع داده ذکر شده به تفکیک داده‌های هر شهرستان با استفاده از رابطه شماره ۱، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

$$EF = \frac{P}{Y_N} \times YF \times EQF \quad EF_{Total} = EF_a + EF_b + \dots + EF_n \quad \text{رابطه ۱:}$$

که P: میزان محصول به دست آمده یا پسماند به جامانده؛ Y_N : متوسط بازده ملی برای تولید محصول؛ YF: فاکتور عملکرد^۲ و EQF: فاکتور معادل^۳ هستند. فاکتور عملکرد و فاکتور معادل برای تبدیل هکتارهای واقعی موجود در کشور به هکتار جهانی استفاده می‌شوند (Galli et al, 2007:253). با جمع ردپای همه عرصه‌های مصرف، ردپای بوم‌شناختی کل (EF_{Total}) محاسبه می‌شود.

ظرفیت زیستی نیز نشان‌دهنده توانایی زمین برای تأمین نیازهای انسانی و جذب پسماندها است. به منظور محاسبه ظرفیت زیستی تولیدات بیولوژیکی برای هر یک از منابع داده یادشده به تفکیک شهرستان، از رابطه شماره ۲ استفاده شده است.

$$BC = A \times YF \times EQF \quad \text{رابطه ۲:}$$

1. Microsoft Excel
2. Yield Factor
3. Equivalence Factor

که A: نشان‌دهنده سطح تخمینی تولید زیستی است که برای تولید هر محصول در دسترس است؛ YF: فاکتور عملکرد برای کشور و EQF: فاکتور معادل برای کشور هستند. با جمع ظرفیت زیستی همه عرصه‌های تولید زیستی، ظرفیت زیستی کل هر شهرستان محاسبه می‌شود. کمبود اکولوژیکی یک منطقه، تفاوت بین ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی و نشان‌دهنده فعالیت‌های تولیدی و مصرفی منطقه در سیستم بوم‌شناختی است و بررسی می‌کند که این فعالیت‌ها، در حد ظرفیت زیستی منطقه باشد (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۴۷).

$$ED = BC - EF \quad \text{رابطه ۳:}$$

فاکتور عملکرد و فاکتور معادل نیز براساس آخرین محاسبات شبکه ردپای جهانی برای کشور جمهوری اسلامی ایران در سال ۲۰۲۲ در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: فاکتور عملکرد (YF) و فاکتور معادل (EQF) برای کشور جمهوری اسلامی ایران در سال ۲۰۲۲

YF	نوع کاربری	EQF	نوع کاربری
۰,۶۹	زمین زراعی	۲,۵	زمین زراعی
۰,۴۱	مرتع	۱,۲۶	زمین جنگلی
۲,۶۸	زمین‌های ماهیگیری دریایی	۰,۴۵	مرتع
۱,۰۰	زمین‌های ماهیگیری داخلی	۰,۳۶	زمین‌های ماهیگیری دریایی
۰,۳۵	زمین جنگلی	۲,۵	زمین ساخته شده
۰,۶۹	زمین ساخته شده	۰,۳۶	زمین‌های ماهیگیری داخلی
		۱,۲۶	کربن

مأخذ: Global Footprint Network, 2023.

همچنین لازم به ذکر است، به‌منظور محاسبه مساحت اراضی ساخته شده، از تصویر لایه‌های اسکان بشر جهانی بهره گرفته شده است که با استفاده از داده‌های مختلف، نواحی ساخته شده^۱ را از سال ۱۹۷۵ م. در فواصل ۵ ساله با رزولوشن ۱۰۰ متر در پلتفرم گوگل ارث‌انجین ارائه داده است. در مقاله حاضر، از تصویر سال ۲۰۲۰ م. (۱۳۹۹ ه.ش.) استفاده شده است. تجزیه و تحلیل این داده‌ها به‌منظور محاسبه مساحت اراضی ساخته شده به تفکیک شهرستان‌ها در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 انجام شده است. به‌منظور بهبود نتایج و تدقیق بیشتر، با استفاده از پایگاه داده‌های مکانی (GIS) برنامه آمایش استان مازندران، داده‌های شهرها و روستاها نیز با تصاویر ماهواره‌ای و از طریق همپوشانی تلفیق شده و در نهایت مساحت‌ها به‌منظور محاسبه ردپای اکولوژیک در نرم‌افزار اکسل وارد شدند.

یافته‌های تحلیل

یافته‌های تحلیل را می‌توان در سه بخش: ردپای بوم‌شناختی، ظرفیت زیستی و کمبود بوم‌شناختی دسته‌بندی نمود:

1. Built areas

- ردپای بوم‌شناختی

نتایج و یافته‌های تحلیل ردپای بوم‌شناختی مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند، اراضی ساخته‌شده و درنهایت کل ردپای بوم‌شناختی استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها به ترتیب زیر قابل ارائه است:

- آب

با توجه به میزان مصرف آب در سال ۱۴۰۰ (۲۴۸،۴۷۸/۸۰۸ هزار مترمکعب) و این‌که برای هر ۰/۰۸ هکتار زمین یک میلیون لیتر آب مورد نیاز است (صمدپور و فریادی، ۱۳۸۷: ۶۶؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۱)، مطابق رابطه شماره ۴، ردپای بوم‌شناختی مصرف آب کل استان ۲۵،۰۴۷ هکتار جهانی و به ازای هر نفر در سال ۱۴۰۰ برابر با ۰/۰۰۷۴ هکتار محاسبه شده است. بیشترین سرانه ردپای بوم‌شناختی مصرف آب به شهرستان عباس‌آباد با ۰/۱۰۳ هکتار جهانی و کمترین آن به شهرستان بابل با ۰/۰۰۶۲ هکتار جهانی اختصاص دارد (جدول شماره ۴). ردپای بوم‌شناختی با استفاده از رابطه شماره ۴ محاسبه شده است.

رابطه ۴:

$$A_{\text{water}} (\text{litre}) \times 0.08 (\text{hectare}) \div 1000000 = HA_{\text{water}}$$

$$EF_{\text{water}} = HA_{\text{water}} \times EQF$$

HA_{water} : هکتار سالانه مصرف آب، A_{water} : کل مصرف آب، EQF : فاکتور معادل (برای آب برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است). EF_{water} : ردپای بوم‌شناختی آب هستند.

جدول ۴: ردپای بوم‌شناختی آب

عنوان	مصرف آب	کل EF	سرانه EF
اندازه‌گیر	هزار مترمکعب	gha	gha
استان	۲۴۸۴۷۸٫۸	۲۵۰۴۶٫۷	۰٫۰۰۷۴
آمل	۳۳۳۹۰	۳۳۶۵٫۷	۰٫۰۰۸۱
بابل	۳۳۶۳۳٫۷	۳۳۹۰٫۳	۰٫۰۰۶۲
بابلسر	۱۲۳۲۱٫۲	۱۲۴۲٫۰	۰٫۰۰۸۸
بهنشهر	۱۲۴۵۴	۱۲۵۵٫۴	۰٫۰۰۷۳
تنکابن	۱۲۳۴۴۸	۱۲۴۴۴٫۴	۰٫۰۰۷۳
جویبار	۵۷۳۲٫۳	۵۷۷٫۸	۰٫۰۰۷۵
چالوس	۹۱۴۹	۹۲۲٫۲	۰٫۰۰۷۶
رامسر	۷۷۲۲۶	۷۷۸۰٫۴	۰٫۰۱۰۱
ساری	۳۷۴۱۷٫۲	۳۷۷۱٫۷	۰٫۰۰۷۲
سوادکوه	۳۰۹۱۵	۳۱۱٫۶	۰٫۰۰۶۹
شمال	۱۹۰۸۰٫۴	۱۹۲٫۴	۰٫۰۰۷۶
سوادکوه	۱۴۲۱۰٫۴	۱۴۳٫۲	۰٫۰۰۷۲
سیمرغ	۵۵۴۸۰٫۴	۵۵۹۰٫۳	۰٫۰۱۰۳
عباس‌آباد	۵۱۲۲٫۳	۵۱۶٫۳	۰٫۰۰۸۳
فریدونکنار	۲۱۱۵۵٫۵	۲۱۳۲٫۵	۰٫۰۰۶۹
قائم‌شهر	۲۲۸۳	۲۳۰٫۱	۰٫۰۰۹۰
کلاردشت	۲۷۴۴٫۷	۲۷۶٫۷	۰٫۰۰۷۰
گلوگاه	۹۴۰۶۳	۹۴۸۰٫۲	۰٫۰۰۹۶
محمودآباد	۳۴۷۱٫۷	۳۵۰۰	۰٫۰۰۶۳
میان‌دورود	۸۳۴۰۶	۸۴۰۰٫۷	۰٫۰۰۶۸
نکا	۱۰۷۴۷۰۱	۱۰۸۳۰۳	۰٫۰۰۸۵
نوشهر	۹۰۷۳۰۲	۹۱۴۰۶	۰٫۰۰۶۴

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲

برق -

براساس اطلاعات دریافت شده از سالنامه آماری استان مازندران (۱۴۰۰)، کل مصرف برق استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۹،۳۳۳،۰۵۲،۱۴۸ کیلووات ساعت بوده است. گیاهان، حدود ۳۱،۴ درصد بازدهی تولید زغال سنگ را دارند و زغال سنگ حاوی ۸۵ درصد کربن است (Mir et al, 2022: 3). با توجه به جذب حدود ۱/۸ تن کربن در هر هکتار (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۹) و فاکتور معادل، مطابق رابطه شماره ۵، میزان ردپای بوم‌شناختی مصرف برق کل استان ۳،۱۸۳،۳۴۳ هکتار جهانی و سرانه آن برای هر ساکن حدود ۰/۹۴ هکتار جهانی است. بیشترین و کمترین سرانه ردپای بوم‌شناختی مصرف برق به ترتیب به شهرستان‌های سوادکوه شمالی و ساری اختصاص دارد (جدول شماره ۵).

رابطه ۵:

$$1 \text{ (kwh)} = 1 \times (1000\text{w}) \times (3600\text{s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ (ws)} = 3.6 \times 10^6 \text{ j}$$

$$A_{\text{electricity}} \text{ (kwh)} \times 3.6 \times 10^6 \text{ (j)} = X_1 \text{ (kj)} \quad X_1 \text{ (kj)} \times 1 \text{ (germ)} \div 20 \text{ (kj)} = X_2 \text{ (germ)}$$

$$X_2 \text{ germ} \div 0.314 = X_3 \text{ (germ)} \quad X_3 \text{ germ} \times 0.85 = X_4 \text{ (tone carbon)}$$

$$X_4 \text{ (tone carbon)} \div 1.8 = HA_{\text{electricity}} \text{ (hectare)} \quad HA_{\text{electricity}} \times EQF = EF_{\text{electricity}} \text{ (gha)}$$

$A_{\text{electricity}}$: کل مصرف برق، $HA_{\text{electricity}}$: هکتار سالانه مصرف برق و EQF : فاکتور معادل (برای برق برابر با فاکتور معادل زمین‌های جنگلی است).

جدول ۵: ردپای بوم‌شناختی برق

عنوان	میزان کل مصرف برق	میلیون کیلووات ساعت	کل EF	سرانه EF
استان	۹۳۳۳،۱	gha	۳۱۸۳۳۴۳،۶	۰،۹۴
آمل	۱۳۰۰،۱	gha	۴۴۳۴۲۶،۴	۱،۰۶
بابل	۱۲۸۲،۴	gha	۴۳۷۳۹۷،۸	۰،۸۰
بابلسر	۴۳۳،۰	gha	۱۴۷۶۹۲،۳	۱،۰۴
بهنشهر	۴۳۰،۶	gha	۱۴۶۸۵۹،۳	۰،۸۶
تنکابن	۴۳۲،۱	gha	۱۴۷۳۹۶،۰	۰،۸۶
جویبار	۲۴۷،۵	gha	۸۴۴۱۸،۷	۱،۱۰
چالوس	۳۳۲،۳	gha	۱۱۳۳۴۹،۵	۰،۹۴
رامسر	۲۱۵،۸	gha	۷۳۵۹۱،۳	۰،۹۶
ساری	۱۲۲۷،۰	gha	۴۱۸۴۹۶،۳	۰،۸۰
سوادکوه شمالی	۱۴۹،۹	gha	۵۱۱۳۹،۲	۱،۱۳
سوادکوه شمالی	۱۲۱،۱	gha	۴۱۲۹۴،۶	۱،۶۳
سیمرغ	۶۴،۹	gha	۲۲۱۴۸،۹	۱،۱۲
عباس‌آباد	۲۳۳،۶	gha	۷۹۶۷۷،۱	۱،۴۷
فریدونکنار	۱۵۲،۹	gha	۵۲۱۵۵،۳	۰،۸۴
قائم‌شهر	۷۷۲،۰	gha	۲۶۳۳۰،۷	۰،۸۵
کلاردشت	۶۳،۴	gha	۲۱۶۲۱،۱	۰،۸۴
گلرگاه	۱۰۸،۰	gha	۳۶۸۴۲،۴	۰،۹۴
محمودآباد	۳۹۷،۰	gha	۱۳۵۴۹۷،۵	۱،۳۸
مین‌دور	۲۰۸،۱	gha	۷۰۹۷۹،۳	۱،۲۷
نکا	۳۰۱،۶	gha	۱۰۲۸۷۹،۸	۰،۸۴
نور	۴۲۲،۵	gha	۱۴۱۳۱،۸	۱،۱۲
نوشهر	۴۳۷،۲	gha	۱۴۹۱۳۸،۲	۱،۰۴

مأخذ: تحلیل نگارندگان براساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰

گاز -

کل مصرف گاز استان مازندران در سال ۱۴۰۰ برابر با ۸۰۲۹،۹ میلیون مترمکعب بوده است (سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰) که سرانه آن برای هر نفر ۲۳۷۸،۷ محاسبه شده. از آن‌جا که مقدار متان موجود در هر فوت مکعب ۳۲ درصد است و ۷۵ درصد از متان کربن می‌باشد، مقدار کربن موجود در هر فوت مکعب برابر با ۲۴ درصد است.

نظر به این که هر یک متر مکعب برابر با ۳۵/۳۱۴ فوت مکعب است، با ضرب میزان مصرف گاز (مترمکعب) در ۰/۲۴ و ۳۵/۳۱۴ و تقسیم حاصل آن بر ۱/۸ (براساس قانون یک هکتار زمین به ازای ۱/۸ تن کربن)، مقدار هکتار مصرف سالانه گاز محاسبه شده است. با ضرب ارقام به دست آمده در فاکتور معادل که برای گاز برابر با فاکتور معادل زمین جنگلی است، ردپای بوم‌شناختی گاز محاسبه شده است (اسماعیل زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۲؛ کوزه‌گر کالجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۶؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۲). سرانه ردپای بوم‌شناختی مصرف گاز استان ۰/۰۱۴ هکتار جهانی و کل ردپای بوم‌شناختی مصرف گاز استان ۴۷،۶۳۹ هکتار جهانی است. شهرستان نکا به دلیل وجود نیروگاه بیشترین ردپای مصرف گاز استان را در اختیار دارد (جدول شماره ۶).

جدول ۶: ردپای بوم‌شناختی گاز

عنوان	مصرف گاز	مترمکعب	سرانه مصرف گاز	مترمکعب	سرانه EF	gha	کل EF	gha
واحد اندازه‌گیری	مترمکعب		مترمکعب		gha		gha	
استان	۸۰۶۶۳۰۰۰۰	۳۳۷۸۰۷	۰/۰۱۴	۳۳۷۸۰۷	۰/۰۱۴	۴۷۶۴۹	۴۷۶۴۹	۴۷۶۴۹
آمل	۷۱۲۴۰۰۰۰۰	۱۷۰۷۰۶	۰/۰۱	۱۷۰۷۰۶	۰/۰۱	۴۲۲۶۵	۴۲۲۶۵	۴۲۲۶۵
بابل	۷۹۸۱۰۰۰۰۰	۱۴۵۹۰۶	۰/۰۰۹	۱۴۵۹۰۶	۰/۰۰۹	۴۷۳۴۰	۴۷۳۴۰	۴۷۳۴۰
بالیسر	۲۹۹۶۰۰۰۰۰	۲۱۱۸۰۸	۰/۰۱۳	۲۱۱۸۰۸	۰/۰۱۳	۱۷۷۷۵	۱۷۷۷۵	۱۷۷۷۵
بهبهر	۳۲۴۳۰۰۰۰۰	۱۸۹۷۰۶	۰/۰۱۱	۱۸۹۷۰۶	۰/۰۱۱	۱۹۳۴	۱۹۳۴	۱۹۳۴
تنگابن	۳۸۴۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۴۳	۰/۰۱۳	۲۲۴۳	۰/۰۱۳	۲۲۷۸۰	۲۲۷۸۰	۲۲۷۸۰
چابهار	۱۵۶۵۰۰۰۰۰۰	۲۰۳۷۰۸	۰/۰۱۲	۲۰۳۷۰۸	۰/۰۱۲	۹۲۸۰۵	۹۲۸۰۵	۹۲۸۰۵
رامسر	۱۳۵۸۰۰۰۰۰۰	۱۷۶۵۰۹	۰/۰۱	۱۷۶۵۰۹	۰/۰۱	۸۰۵۰۷	۸۰۵۰۷	۸۰۵۰۷
ساری	۹۲۴۰۰۰۰۰۰۰	۱۷۶۲۰۷	۰/۰۱	۱۷۶۲۰۷	۰/۰۱	۵۴۸۰۹	۵۴۸۰۹	۵۴۸۰۹
سوادکوه	۶۷۳۰۰۰۰۰۰۰	۱۴۸۸۰۹	۰/۰۰۹	۱۴۸۸۰۹	۰/۰۰۹	۳۹۹۰۳	۳۹۹۰۳	۳۹۹۰۳
سوادکوه شمالی	۷۶۲۰۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰	۰/۰۱۸	۳۰۰۰	۰/۰۱۸	۴۵۲۰۱	۴۵۲۰۱	۴۵۲۰۱
سیمرغ	۳۱۷۰۰۰۰۰۰۰	۱۶۰۱	۰/۰۰۹	۱۶۰۱	۰/۰۰۹	۱۸۸۰۱	۱۸۸۰۱	۱۸۸۰۱
عباس‌آباد	۱۸۸۷۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۷۵۰۱	۰/۰۲۱	۳۴۷۵۰۱	۰/۰۲۱	۱۱۱۹۰۵	۱۱۱۹۰۵	۱۱۱۹۰۵
فردینوکنار	۹۷۱۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۶۸۰۷	۰/۰۰۹	۱۵۶۸۰۷	۰/۰۰۹	۵۷۶۰۱	۵۷۶۰۱	۵۷۶۰۱
قائم‌شهر	۴۹۰۷۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۹۲۰۱	۰/۰۰۹	۱۵۹۲۰۱	۰/۰۰۹	۲۹۱۱۰۲	۲۹۱۱۰۲	۲۹۱۱۰۲
کلاردشت	۸۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۱۴۰۸	۰/۰۱۹	۳۲۱۴۰۸	۰/۰۱۹	۴۸۸۰۳	۴۸۸۰۳	۴۸۸۰۳
گلگاه	۱۱۵۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۹۳۳۰۹	۰/۰۱۷	۲۹۳۳۰۹	۰/۰۱۷	۶۸۳۰۵	۶۸۳۰۵	۶۸۳۰۵
محمودآباد	۲۴۲۷۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۶۹	۰/۰۱۵	۲۴۶۹	۰/۰۱۵	۱۴۳۹۰۹	۱۴۳۹۰۹	۱۴۳۹۰۹
میان‌دورود	۱۳۹۶۰۰۰۰۰۰۰۰	۳۴۹۷۰۳	۰/۰۱۵	۳۴۹۷۰۳	۰/۰۱۵	۸۲۸۰۲	۸۲۸۰۲	۸۲۸۰۲
نکا	۱۲۱۱۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۳۱۶۵	۰/۰۷۸	۱۳۱۶۵	۰/۰۷۸	۹۶۳۲۰۳	۹۶۳۲۰۳	۹۶۳۲۰۳
نور	۲۰۳۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۲۶۴۰۳	۰/۰۱۴	۲۲۶۴۰۳	۰/۰۱۴	۱۷۹۸۰۲	۱۷۹۸۰۲	۱۷۹۸۰۲
نوشهر	۶۴۲۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۴۴۶۳۰۵	۰/۰۲۶	۴۴۶۳۰۵	۰/۰۲۶	۳۸۱۰۶	۳۸۱۰۶	۳۸۱۰۶

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۴۰۰

- بنزین و گازوئیل

در محاسبات ردپای بوم‌شناختی حمل‌ونقل، بنزین و گازوئیل سوخت اصلی وسایل نقلیه محسوب می‌شوند. آمار مصرف سالانه سوخت از سوی شرکت ملی پخش و فرآورده‌های نفتی ایران برای استان مازندران تا سال ۱۳۹۷ به تفکیک هر شهرستان ارائه شده و کل مصرف بنزین برای استان مازندران ۱،۱۹۵،۳۲۸ متر مکعب و کل مصرف گازوئیل ۶۱۱،۶۱۱ متر مکعب گزارش شده است (سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷). مطابق رابطه ۷، میزان سرانه ردپای بوم‌شناختی بنزین و گازوئیل استان به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۰۹ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان سوادکوه بیشترین سرانه ردپای بوم‌شناختی مصرف بنزین (۰/۲۷) و گازوئیل (۰/۶۳) را به خود اختصاص داده است. کمترین

سرانهٔ ردپای بوم‌شناختی بنزین به شهرستان تنکابن و گازوئیل به شهرستان عباس‌آباد اختصاص دارد (جدول شماره ۷ و ۸).

رابطهٔ ۷:

$$A_{\text{Gasoline/Diesel}}(\text{litre}) \div 3.7853 = N_{\text{Gallon}}$$

$$N_{\text{Gallon}} \times \text{BTU/Gallon}_{\text{Gasoline/Diesel}} = \text{BTU}_{\text{Gasoline/Diesel}}$$

$$\text{BTU}_{\text{Gasoline/Diesel}} \times \text{Carbon/BTU}_{\text{Gasoline/Diesel}} (\text{tons carbon/billion BTU}) = \text{Carbon} (\text{tons carbon})$$

$$\text{Carbon} \div 1.8 = \text{HA}_{\text{Gasoline/Diesel}} (\text{hectare})$$

$$\text{HA}_{\text{Gasoline/Diesel}} \times \text{EQF} = \text{EF}_{\text{Gasoline/Diesel}} (\text{gha})$$

$A_{\text{Gasoline/Diesel}}$: مصرف کل سوخت، N_{Gallon} : تعداد گالن مصرفی، $\text{BTU/Gallon}_{\text{Gasoline/Diesel}}$: میزان BTU تولید شده به ازای هر گالن، $\text{BTU}_{\text{Gasoline/Diesel}}$: میزان BTU محاسبه شده، $\text{Carbon/BTU}_{\text{Gasoline/Diesel}}$: میزان کربن آزاد شده در هر میلیارد BTU، Carbon : میزان کربن محاسبه شده، $\text{HA}_{\text{Gasoline/Diesel}}$: هکتار سالانهٔ مصرف سوخت (با احتساب یک هکتار زمین به ازای ۱/۸ تن کربن)، EQF : فاکتور معادل (که برای سوخت برابر با فاکتور معادل زمین جنگلی است) و $\text{EF}_{\text{Gasoline/Diesel}}$: ردپای بوم‌شناختی سوخت. مقدار BTU تولیدشده برای بنزین بدون سرب در هر گالن ۱۲۵۰۰۰ BTU است که معادل ۱۹/۳۵ تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU است. به همین ترتیب، سوخت دیزل ۱۳۸۷۰۰ BTU در هر گالن است که برابر با ۱۹/۹۵ تن کربن آزادشده در هر میلیارد BTU است (کوزه‌گر کالجی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۵؛ نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۲؛ ۶: ۲۲). (Mir et al, 2022: 6)

جدول ۷: ردپای بوم‌شناختی بنزین

عنوان	مصرف بنزین	کربن	کربن	کل EF	سرانه EF
واحد اندازه‌گیری	مترمکعب ۱۳۹۷	تن کربن	تن کربن	۵۳۴۶۵۸,۱	۰,۱۶
استان	۱۱۹۵۳۲۸,۹	۷۶۳۷۹۷,۲۶	۱۴۴۷۸۸,۲۵	۱۰۱۳۵۱,۸	۰,۳۴
آمل	۲۲۶۵۹۱	۱۴۴۷۸۸,۲۵	۱۴۴۷۸۸,۲۵	۹۲۹۱۹,۵	۰,۱۷
بابل	۲۰۷۷۳۹	۱۳۲۷۴۲,۱۱	۱۳۲۷۴۲,۱۱	۴۲۱۹۹,۵	۰,۳۰
بابلسر	۹۴۳۴۵	۶۰۲۸۵,۰۴	۶۰۲۸۵,۰۴	۲۶۲۰۶,۷	۰,۱۵
نهبشهر	۵۸۵۹۰	۳۷۴۳۸,۱۳	۳۷۴۳۸,۱۳	۴۳,۷	۰,۰۰۰۳
تنکابن	۹۷۶	۶۲,۳۶	۶۲,۳۶	۱۷۲۲,۰۶	۰,۲۲
جویبار	۳۸۵۰۰	۲۴۶۰۰,۹۲	۲۴۶۰۰,۹۲	۳۷,۰	۰,۰۰۰۳
چالوس	۸۲,۷	۵۲,۸۴	۵۲,۸۴	۳۱,۲	۰,۰۰۰۴
رامسر	۶۹,۸	۴۴,۶۰	۴۴,۶۰	۱۰۵۹۶۵,۶	۰,۲۰
ساری	۲۲۶۰۰,۶	۱۵۱۳۷۹,۳۹	۱۵۱۳۷۹,۳۹	۱۴۱۷۰,۶	۰,۳۱
سوادکوه	۳۱۶۸۱	۲۰۲۴۳,۶۸	۲۰۲۴۳,۶۸	۳۲۲۱,۸	۰,۱۳
سوادکوه شمالی	۷۲,۳	۴۶۰,۲۶۱	۴۶۰,۲۶۱	۵۳۶۷,۵	۰,۲۷
سیمرغ	۱۲۰۰۰	۷۶۶۷,۸۲	۷۶۶۷,۸۲	۲۴,۴	۰,۰۰۰۴
عباس‌آباد	۵۴,۵	۳۴,۸۲	۳۴,۸۲	۷۷۴۷,۵	۰,۱۳
فریدونکنار	۱۷۳۲۱	۱۱۰۶۷,۸۶	۱۱۰۶۷,۸۶	۷۴۷۵۶,۴	۰,۲۴
قائم‌شهر	۱۶۷۱۳۲	۱۰۶۷۹۴,۸۴	۱۰۶۷۹۴,۸۴	۷,۱	۰,۰۰۰۳
کلاردشت	۱۵,۸	۱۰,۱۰	۱۰,۱۰	۹۷۳۳,۹	۰,۲۵
گلوگاه	۲۱۷۶۲	۱۳۹۰۵,۵۹	۱۳۹۰۵,۵۹	۳۸,۹	۰,۰۰۰۴
محمودآباد	۸۷	۵۵,۵۹	۵۵,۵۹	۱۵۵۷۷,۳	۰,۲۸
میان‌رود	۳۴۸۲۶	۲۲۲۵۳,۲۹	۲۲۲۵۳,۲۹	۱۷۹۵۳,۳	۰,۱۵
نکا	۴۰۱۳۸	۲۵۶۴۷,۵۸	۲۵۶۴۷,۵۸	۴۰,۷	۰,۰۰۰۳
نور	۹۰,۹	۵۸,۰۸	۵۸,۰۸	۴۳,۲	۰,۰۰۰۳
نوشهر	۹۶,۶	۶۱,۷۳	۶۱,۷۳	۵۳۴۶۵۸,۱	۰,۱۶

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷ (GIS)

جدول ۸: ردپای بوم‌شناختی گازوئیل

عنوان	مصرف گازوئیل	متر مکعب ۱۳۹۷	کربن	تن کربن	کل EF	سرانه EF
واحد اندازه‌گیری	۱۳۹۷	متر مکعب	کربن	تن	gha	gha
استان	۶۱۱۶۱۱٫۴	۸۸۸۴۱٫۷۰	۴۴۷۰۸۹٫۶۶	۳۱۲۹۶۳٫۸	۰٫۰۹	۰٫۰۹
آمل	۱۲۱۵۳۴	۸۸۸۴۱٫۷۰	۴۴۷۰۸۹٫۶۶	۳۱۲۹۶۳٫۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵
بابل	۷۸۰۶۸	۵۷۰۶۷٫۹۳	۲۸۰۳۳٫۹۳	۳۹۹۴۷٫۶	۰٫۰۷	۰٫۰۷
بابلسر	۲۰۳۲۲	۱۴۸۵۵٫۴۴	۷۳۹۳٫۴۴	۱۰۳۹۸٫۸	۰٫۰۷	۰٫۰۷
نهبشهر	۷۸۰۴۰	۵۷۰۴۷٫۴۶	۲۸۰۲۳٫۷۳	۳۹۹۳۳٫۲	۰٫۲۳	۰٫۲۳
تنگابن	۲۰۰۸	۱۵۰۲۰	۷۵۱۰	۱۰۳۳۴٫۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶
جویبار	۱۴۰۰۰	۱۰۳۳۴٫۴	۵۱۶۷٫۲	۷۱۶۳٫۸	۰٫۰۹	۰٫۰۹
چالوس	۳۸۰۲	۲۷۰۹۲	۱۳۵۴۶	۱۹۵	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۶
رامسر	۱۸۰۵	۱۳۰۵۲	۶۵۲۶	۹۵	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۲
ساری	۷۴۵۸۰	۵۴۵۱۸٫۱۹	۲۷۲۵۹٫۰۹	۳۸۱۶۳٫۷	۰٫۰۷	۰٫۰۷
سوادکوه	۵۵۹۶۲	۴۰۰۸۰٫۳۸	۲۰۰۴۰٫۱۹	۲۸۶۳۵٫۹	۰٫۰۶۳	۰٫۰۶۳
سوادکوه شمالی	۱۱۰۶۱	۸۰۸۵٫۶۲	۴۰۴۲٫۷۱	۵۶۵۹٫۹	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲۲
سیمرغ	۳۵۰۰	۲۵۵۸٫۵۱	۱۲۷۹٫۲۵	۱۷۹۱٫۰	۰٫۰۹	۰٫۰۹
عباس‌آباد	۱۵	۱۰	۵	۰٫۸	۰٫۰۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۰۱
فریدونکنار	۵۵۹۴	۴۰۸۹٫۲۳	۲۰۴۴٫۶۱	۲۸۶۲٫۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵
قائم‌شهر	۵۹۳۱۱	۴۳۳۵۶٫۵۱	۲۱۶۷۸٫۲۵	۳۰۳۴۹٫۶	۰٫۱۰	۰٫۱۰
کلاردشت	۲۵	۱۸۳	۹۱٫۵	۱٫۳	۰٫۰۰۰۰۵	۰٫۰۰۰۰۵
گلوگاه	۱۷۶۲۶	۱۲۸۸۴٫۶۶	۶۴۴۲٫۳۳	۹۰۱۹٫۳	۰٫۲۳	۰٫۲۳
محمودآباد	۳۹٫۳	۲۸۰۷۳	۱۴۰۳۶٫۵	۲۰٫۱	۰٫۰۰۰۲۰	۰٫۰۰۰۲۰
میان‌دورود	۳۱۸۲۹	۲۳۲۶۷٫۰۹	۱۱۶۳۳٫۵۴	۱۶۲۸۷٫۰	۰٫۲۹	۰٫۲۹
نکا	۴۰۰۰۸	۲۹۲۴۵٫۹۶	۱۴۶۲۲٫۹۸	۲۰۴۷۲٫۲	۰٫۱۷	۰٫۱۷
نور	۳۵۰۳	۲۵۰۸۰	۱۲۵۴۰	۱۸٫۱	۰٫۰۰۰۱۴	۰٫۰۰۰۱۴
نوشهر	۲۰۰۳	۱۴۰۸۴	۷۰۴۲	۱۰٫۴	۰٫۰۰۰۰۷	۰٫۰۰۰۰۷

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سالنامه آماری مازندران، ۱۳۹۷

اراضی ساخته‌شده

نتایج نشان می‌دهد کل اراضی ساخته‌شده در استان مازندران ۳۳۴۰۴۱۹ هکتار است. ردپای بوم‌شناختی زمین ساخته‌شده براساس ضرب کل اراضی ساخته‌شده در فاکتور معادل آن محاسبه شده‌است (نظری و کلانتری، ۱۴۰۱: ۲۱) به نقل از (Danish et al, 2020: 34). با توجه به فاکتور معادل ۲/۵ برای اراضی ساخته‌شده، ردپای بوم‌شناختی کل استان ۸۳۶۰۵۰ هکتار جهانی و سرانه آن ۰/۱۴ هکتار جهانی محاسبه شده است. براساس رقم سرانه ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌ها، کلاردشت با ۰/۳۰ هکتار جهانی بیشترین و قائم‌شهر با ۰/۱۰ هکتار جهانی کمترین سرانه ردپای بوم‌شناختی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۹).

جدول ۹: ردپای بوم‌شناختی اراضی ساخته شده

عنوان	اراضی ساخته شده	هکتار	کل EF	سرانه EF
واحد اندازه‌گیری <td>هکتار <td>gha <td>EF <td>gha </td></td></td></td>	هکتار <td>gha <td>EF <td>gha </td></td></td>	gha <td>EF <td>gha </td></td>	EF <td>gha </td>	gha
استان	۱۹۵۰۹۸	۴۸۷۷۴۴	۰٫۱۴	۰٫۱۴
آمل	۱۹۱۰۱۶	۴۷۷۵۴	۰٫۱۱	۰٫۱۱
بابل	۲۵۳۱۸۸	۶۳۲۹۶٫۹	۰٫۱۲	۰٫۱۲
بابلسر	۸۹۱۸۰۲	۲۲۲۹۵٫۵	۰٫۱۶	۰٫۱۶
نهبشهر	۹۵۸۱۰۴	۲۳۹۵۳٫۵	۰٫۱۴	۰٫۱۴
تنگابن	۱۱۴۱۲۵	۲۸۵۳۱٫۳	۰٫۱۷	۰٫۱۷
جویبار	۷۳۶۴۰۴	۱۸۴۱۱۰۱	۰٫۲۴	۰٫۲۴
چالوس	۷۰۹۴۰۱	۱۷۷۳۵٫۳	۰٫۱۵	۰٫۱۵
رامسر	۴۶۰۷۰۱	۱۱۵۱۷٫۸	۰٫۱۵	۰٫۱۵
ساری	۲۳۴۲۱۰۱	۵۶۰۵۲٫۸	۰٫۱۱	۰٫۱۱
سوادکوه	۲۵۱۵۰۴	۶۲۸۸٫۶	۰٫۱۴	۰٫۱۴
سوادکوه شمالی	۲۵۹۳۰۵	۶۴۸۳٫۸	۰٫۲۶	۰٫۲۶
سیمرغ	۲۱۷۶۰۷	۵۴۴۱٫۹	۰٫۲۷	۰٫۲۷
عباس‌آباد	۶۳۷۳۰۱	۱۵۹۳۲٫۷	۰٫۲۹	۰٫۲۹
فریدونکنار	۳۷۳۱۰۲	۶۸۲۸۰۱	۰٫۱۱	۰٫۱۱
قائم‌شهر	۱۲۸۸۸۰۳	۳۲۲۲۰۰۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱
کلاردشت	۳۱۰۶۰۵	۷۷۶۶۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۳
گلوگاه	۳۱۶۳۰۱	۷۹۰۷۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۲
محمودآباد	۷۸۵۶۰۳	۱۹۶۴۰۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۲
میان‌دورود	۴۹۹۱۰۴	۱۳۴۷۸۰۵	۰٫۲۲	۰٫۲۲
نکا	۷۴۴۳۰۴	۱۸۶۰۸۰۴	۰٫۱۵	۰٫۱۵
نور	۱۱۱۴۰۰۵	۲۷۸۵۱۰۳	۰٫۲۲	۰٫۲۲
نوشهر	۱۲۲۹۸۰۷	۳۰۷۴۶۰۹	۰٫۲۱	۰٫۲۱

مأخذ: تحلیل نگارندگان با استفاده از فنون سنجش از دور و GIS

پسماند شهری -

نتایج نشان می‌دهد، کل پسماند شهری تولیدشده استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۱،۱۴۹،۷۵۰ تن است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲). زباله‌های شهری در هنگام دفن به حدود ۲۵ درصد از حجم اولیه خود کاهش می‌یابند و در هر متر مکعب، با ۴۵۰ کیلوگرم به حجم ۰/۲ متر مکعب تبدیل خواهند شد. همچنین برای دفن هر لایه از زباله به عمق حدود ۲ متر نیاز است (کوزه‌گر کالچی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۴)؛ از این رو مطابق رابطه شماره ۸، حجم زباله در هنگام دفن ۶۳۸،۷۵۰ متر مکعب و کل مساحت زمین مورد نیاز برای دفن زباله استان با احتساب فاکتور عملکرد برابر با ۴۰/۲۴ هکتار جهانی است. ساری با ۵/۷۵ هکتار جهانی بیشترین و سیمرغ و گلوگاه با ۰/۵۱ هکتار جهانی کمترین ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۰).

رابطه ۸:

$$A_{\text{waste}} (\text{tons/year}) \times 365 \times 1000 = A_{\text{kgwaste}} (\text{kg/year})$$

$$A_{\text{kgwaste}} \div 450 = Am3_{\text{waste}} (\text{m}^3/\text{year}) \quad Am3_{\text{waste}} \times 0.25 \div 2 = Am2 (\text{m}^2)$$

$$Am2 \div 10000 = HA_{\text{waste}} (\text{hectare}) \quad HA_{\text{waste}} \times EQF = EF_{\text{waste}} (\text{gha})$$

A_{waste} : مقدار کل پسماند شهری، HA_{waste} : هکتار سالانه مورد نیاز دفع پسماند شهری، EQF : فاکتور معادل (که برای سوخت برابر با فاکتور معادل کربن یا زمین جنگلی است) و EF_{waste} ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری است.

جدول ۱۰: ردپای بوم‌شناختی پسماند شهری

عنوان	پسماند شهری	کل EF	سرانه EF
واحد اندازه‌گیری	کیلوگرم سالانه	gha	gha
تن به‌روز	مترمکعب سالانه	۳۱۵۰	۴۰،۲۴
نوشهر	۵۴۷۵۰۰۰۰	۱،۹۲	۰،۰۰۰۰۰۱
نور	۴۰۱۵۰۰۰۰۰	۱،۴۱	۰،۰۰۰۰۰۱
نکا	۳۲۸۵۰۰۰۰۰	۱،۱۵	۰،۰۰۰۰۰۱
میان‌دورود	۲۰۰۷۵۰۰۰۰	۰،۷۰	۰،۰۰۰۰۰۱
محمودآباد	۲۹۲۰۰۰۰۰۰	۱،۰۲	۰،۰۰۰۰۰۱
گلوگاه	۱۴۶۰۰۰۰۰۰	۰،۵۱	۰،۰۰۰۰۰۱
کلاردشت	۲۹۲۰۰۰۰۰۰	۱،۰۲	۰،۰۰۰۰۰۴
قائم‌شهر	۱۰۹۵۰۰۰۰۰۰	۳،۸۳	۰،۰۰۰۰۰۱
فریدونکنار	۲۱۹۰۰۰۰۰۰۰	۰،۷۷	۰،۰۰۰۰۰۱
عباس‌آباد	۳۲۸۵۰۰۰۰۰	۱،۱۵	۰،۰۰۰۰۰۲
سیمرغ	۱۴۶۰۰۰۰۰۰۰	۰،۵۱	۰،۰۰۰۰۰۲
سوادکوه شمالی	۱۸۱۵۰۰۰۰۰۰	۰،۶۴	۰،۰۰۰۰۰۲
سوادکوه	۲۵۵۵۰۰۰۰۰۰	۰،۸۹	۰،۰۰۰۰۰۲
ساری	۱۶۴۵۰۰۰۰۰۰	۰،۷۵	۰،۰۰۰۰۰۱
رامسر	۳۲۸۵۰۰۰۰۰۰	۱،۱۵	۰،۰۰۰۰۰۱
چالوس	۹۱۲۵۰۰۰۰۰۰	۳،۱۹	۰،۰۰۰۰۰۳
جویبار	۲۰۰۷۵۰۰۰۰۰	۰،۷۰	۰،۰۰۰۰۰۱
تنکابن	۴۳۸۰۰۰۰۰۰۰	۱،۵۳	۰،۰۰۰۰۰۱
بهبهر	۴۰۱۵۰۰۰۰۰۰۰	۱،۴۱	۰،۰۰۰۰۰۱
بابلسر	۵۸۴۰۰۰۰۰۰۰۰	۲،۰۴	۰،۰۰۰۰۰۱
بابل	۱۰۹۵۰۰۰۰۰۰۰	۳،۸۳	۰،۰۰۰۰۰۱
آمل	۱۴۶۰۰۰۰۰۰۰۰	۵،۱۱	۰،۰۰۰۰۰۱
استان	۱۱۴۹۷۵۰۰۰۰۰	۴۰،۲۴	۰،۰۰۰۰۰۱

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران (۱۴۰۲)

- کل ردپای بوم‌شناختی

سرانه ردپای بوم‌شناختی کل استان برای هر مازندرانی $1/36$ هکتار جهانی است. سوادکوه شمالی با $2/26$ هکتار جهانی بیشترین و تنکابن با $1/05$ هکتار جهانی کمترین سرانه ردپای بوم‌شناختی را در میان شهرستان‌های استان به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۱).

جدول ۱۱: کل ردپای بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران

نوشهر	نور	نکا	میان‌دورود	محمودآباد	گلوگاه	کلاردشت	قائم‌شهر	فردینکنار	عباس‌آباد	سیمرغ	سوادکوه شمالی	سوادکوه	ساری	رامسر	چالوس	چویبار	تنکابن	بهشهر	بابلسر	بابل	آمل	استان	واحد اندازه‌گیری	عنوان
۱.۲۸	۱.۳۶	۱.۳۸	۲.۰۸	۱.۶	۱.۶۴	۱.۱۸	۱.۳۲	۱.۱۴	۱.۷۹	۱.۷۷	۲.۲۶	۲.۲۳	۱.۲	۱.۱۳	۱.۱	۱.۶۸	۱.۰۵	۱.۴۱	۱.۶	۱.۱۷	۱.۵۹	۱.۳۶	gha	EF
۱۸۴۶۶۵.۸	۱۷۴۹۱۴.۸	۱۷۰۳۷۷.۹	۱۱۶۵۰.۱	۱۵۷۴۸۶.۵	۶۴۴۶۴.۱	۳۰۱۱۵.۱	۴۰۵۶۹۵	۷۰۶۸۶.۵	۹۷۳۱۴.۹	۳۵۰۸۱	۵۷۳۰۵.۲	۱۰۰۹۴۶	۶۲۷۹۲۶.۷	۸۶۷۳۵	۱۳۳۳۲۲.۵	۱۲۸۷۲۱.۳	۱۷۹۵۰۵.۷	۲۴۰۱۳۳.۵	۲۲۵۶۰۷.۶	۶۴۱۶۹۰.۸	۶۶۳۳۱۸.۷	۴۵۹۱۴۳۴.۹	gha	EF

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

- ظرفیت زیستی

نتایج و یافته‌های ظرفیت زیستی استان مازندران به تفکیک شهرستان‌ها، مطابق رابطه شماره ۲ با ضرب مساحت هر کدام از کاربری‌ها در فاکتور عملکرد و فاکتور معادل ارائه شده برای هر کاربری در جدول شماره ۳، به دست آمده. این نتایج و یافته‌ها که جزئیات آن در جدول شماره ۱۲ ارائه شده است، به صورت زیر تشریح می‌گردد:

جنگل

کل مساحت جنگل استان در سال ۱۴۰۰ برابر با ۷۹۴،۰۱۴ هکتار (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲) و ظرفیت زیستی بر اساس فاکتور معادل و فاکتور عملکرد ۳۵۰،۱۶۰ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان ساری با ۸۰،۲۳۱ هکتار جهانی بیشترین ظرفیت زیستی جنگل را در اختیار دارد.

مراتع

در سال ۱۴۰۰، کل مساحت مراتع استان ۳۸۷،۸۷۰ هکتار (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲) و ظرفیت زیستی آن ۷۱،۵۶۲ هکتار جهانی محاسبه شده و شهرستان آمل با ۲۰،۷۹۹ هکتار جهانی بیشترین مراتع را به خود اختصاص داده است.

اراضی کشاورزی

براساس گزارش جهاد کشاورزی در سال ۱۴۰۰، کل مساحت اراضی کشاورزی استان اعم از باغی و زراعی ۵۲۲،۷۵۰ هکتار (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران، ۱۴۰۲) و ظرفیت زیستی ۹۰۱،۷۴۳ هکتار جهانی محاسبه شده است. شهرستان بابل با ۱۳۸،۸۵۶ هکتار جهانی از بیشترین اراضی کشاورزی برخوردار است.

ماهگیری داخلی

نتایج محاسبه منابع آبی داخلی شهرستان‌های استان با استفاده از داده‌های GIS آمایش استان مازندران، اعم از رودخانه‌ها، آب‌بندان‌ها و ... نشان می‌دهد که کل مساحت ماهگیری داخلی استان ۱،۵۷۶،۳۷۵ هکتار و ظرفیت زیستی ۵۶۷،۴۹۷ هکتار جهانی است و شهرستان ساری از بیشترین منابع ماهگیری داخلی برخوردار است.

ماهگیری دریایی

مساحت ماهگیری دریایی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای شهرستان‌های ساحلی استان با در نظر گرفتن مسافت حدود ۱۰ کیلومتر^۱ از ساحل به‌عنوان گستره ماهگیری دریایی (Akrou & Grimes, 2022: 5) محاسبه شده است. کل مساحت ماهگیری دریایی استان ۷۲۷،۴۵۸ هکتار و ظرفیت زیستی ۶۹۶،۶۱۳ هکتار جهانی است. شهرستان گلوگاه، از بیشترین منابع ماهگیری دریایی برخوردار است.

اراضی ساخته‌شده

ظرفیت زیستی اراضی ساخته‌شده براساس ضرب مساحت اراضی مذکور در فاکتور معادل و فاکتور عملکرد، ۳۳۶،۵۴۳ هکتار جهانی محاسبه شده است. شهرستان بابل با ۴۳،۶۷۴ هکتار جهانی، بیشترین ظرفیت زیستی اراضی ساخته‌شده را در اختیار دارد.

۱. آکرور و گریمز (۲۰۲۲)، مسافت ۶ مایل معادل ۹/۶ کیلومتر از ساحل را به عنوان گستره ماهگیری ساحلی ۱۲ مایل را به عنوان گستره ماهگیری دور از ساحل در نظر گرفته‌اند. در پژوهش حاضر، فاصله حدود ۱۰ کیلومتر از ساحل به عنوان حدود ظرفیت زیستی ماهگیری دریایی هر یک از شهرستان ساحلی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۲: ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	جنگل		مراعی		اراضی کشاورزی		ماهگیری داخلی		ماهگیری دریایی		اراضی ساخته شده
	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	مساحت	ظرفیت زیستی	
واحد اندازه‌گیری	هکتار	هق	هکتار	هق	هکتار	هق	هکتار	gha	هکتار	gha	هکتار
استان	۷۹۴۰۱۴	۳۵۰۱۶۰۲	۳۸۷۸۷۰	۷۱۵۶۲	۵۲۲۷۵۰۱	۹۰۱۷۴۳۰۹	۱۵۷۶۳۷۵۰	۵۶۷۴۹۵۰۱	۷۲۲۴۵۷۰۶	۶۶۶۶۱۳۰۴	۱۹۵۰۹۷۰۷
آمل	۱۱۲۰۶۷	۴۹۴۲۱۰۵	۱۱۲۶۲۵	۲۰۷۷۹۰۳	۷۲۳۳۷۷۰۷	۱۲۴۸۱۰۵	۱۴۰۵۲۴۰۱	۵۰۵۸۸۰۷	۰	۰	۱۹۱۰۱۰۶
بابل	۴۷۸۲۱	۲۱۰۸۹۰۱	۳۱۳۱۴	۵۷۷۷۰۴	۸۰۴۹۶	۱۳۸۸۵۵۶	۱۱۷۸۲۶۵	۴۲۴۲۱۰۱	۰	۰	۲۵۳۱۸۸
بابلسر	۸۲۷۰۶	۳۶۴۷۳۰۳	۲۵۹۱۳	۴۷۸۰۰۹	۱۹۱۱۳	۳۲۹۶۹۰۹	۲۷۰۸۴۵	۹۷۵۰۰۴	۴۰۹۶۱۰۳	۳۹۲۲۴۰۵	۸۹۱۸۰۲
بهبهر	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تنکابن	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جویبار	۰	۰	۰	۰	۳۳۰۳۷	۳۹۷۳۸۸	۲۹۴۶۴	۱۰۶۳۶۴	۳۰۷۸۵۰۶	۲۹۴۸۰۰۳	۷۳۶۴۰۴
چالوس	۰	۰	۰	۰	۳۰۰۰۰	۵۱۷۵	۲۱۲۱۲۰۲	۳۰۴۰۰۰۴	۰	۰	۷۰۹۴۰۱
رامسر	۰	۰	۰	۰	۵۴۳۸	۹۳۸۰۰۶	۳۶۹۴۶۶	۱۳۰۶۶۰۱	۳۹۳۶۶۰۲	۳۷۶۹۷۰۱	۴۶۰۷۰۱
ساری	۱۸۱۹۳۱	۸۰۳۳۱۰۶	۵۰۶۹۵	۹۳۵۳۰۳	۷۸۴۰۲	۱۳۵۲۴۴۵	۲۷۸۱۶۰۳	۲۲۴۵۴۰۲	۲۳۴۴۸۰۴	۲۲۴۵۴۰۲	۲۲۴۲۱۰۱
سوادکوه	۱۲۶۵۰۸	۵۵۷۹۰	۴۳۰۵۳	۷۹۴۳۰۳	۴۱۲۹	۷۱۲۲۰۵	۹۵۰۱۹	۳۴۲۰۶۸	۰	۰	۲۵۱۵۰۴
سوادکوه شمالی	۴۷۰۸۲	۲۰۷۶۳۰۲	۳۱۰۰۰	۵۷۲	۴۶۰۳۰۴	۷۹۴۰۰۹	۱۷۸۶۵۰۷	۱۰۰۱۳۷۷	۰	۰	۲۵۹۳۰۵
سیمرغ	۰	۰	۰	۰	۷۴۷۳	۱۲۸۹۰۰۹	۵۱۴۴۰۲	۰	۰	۰	۲۱۷۶۷
عباس‌آباد	۰	۰	۰	۰	۴۵۳۷	۷۸۲۶۰۳	۳۰۷۴۹	۱۱۰۶۹۰۶	۳۵۲۸۴۰۹	۳۵۲۸۴۰۹	۶۳۳۰۱
فریدونکنار	۰	۰	۰	۰	۱۸۸۰	۳۲۴۳	۱۰۶۴۳۰۴	۳۸۳۱۰۶	۲۲۶۴۵۰۲	۲۱۶۸۵	۲۷۳۱۰۲
قلمشهر	۸۶۸۱	۳۸۲۸۰۳	۱۸۰۴	۳۳۲۸	۲۸۹۴۹	۴۹۹۳۷	۳۴۰۴۲۰۵	۱۲۲۵۵۰۳	۰	۰	۱۲۸۸۸۰۳
کلاردشت	۰	۰	۰	۰	۳۹۱	۶۷۴۰۵	۱۳۳۱۳۰۲	۴۷۹۲۸	۰	۰	۳۱۰۶۵
گلوگاه	۷۲۶۱	۳۲۰۲۰۱	۴۰	۷۰۴	۱۶۱۸۸	۲۷۹۳۴۰۳	۳۸۷۹۹۸	۱۳۹۶۷۰۹	۱۱۴۰۴۵۰۳	۰	۳۱۶۳۰۱
محمودآباد	۰	۰	۰	۰	۱۹۱۰۱	۳۲۹۴۹۰۲	۲۷۲۲۸۰۲	۹۸۰۰۲۰۲	۵۲۴۴۰۰۶	۵۱۳۶۶۰۲	۷۸۵۶۰۳
میاندوهرود	۸۷۵۲	۳۸۵۹۰۶	۵۰	۹۰۲	۳۰۷۶۴	۵۳۰۶۷۰۹	۱۸۱۸۶۰۹	۱۷۴۱۵۰۲	۱۸۱۸۶۰۹	۱۷۴۱۵۰۲	۴۹۹۱۰۴
نکا	۸۸۲۶۵	۳۸۹۲۴۰۹	۱۵۷۲۱	۲۹۰۰۰۵	۳۶۳۵۴۰۵	۶۲۷۱۰۵	۱۱۷۲۸۰۶	۴۲۲۲۱	۸۹۰۸۰۵	۸۵۳۰۸	۷۴۴۳۰۴
نور	۸۲۴۰	۳۶۵۷۶۰۵	۱۰۳۵۵۵	۱۹۱۰۵۰۹	۴۹۵۱۰۲	۸۵۴۰۸	۹۷۷۹۵۰۱	۳۵۳۰۶۰۲	۴۴۱۳۳۰۱	۴۳۲۶۱۰۹	۱۱۱۴۰۰۵
نوشهر	۰	۰	۰	۰	۶۳۱۶	۱۰۸۹۵۰۱	۱۰۸۶۱۵۰۱	۳۹۱۰۱۰۴	۸۹۵۲۸۸	۸۵۷۳۳۸	۱۲۲۹۸۰۷

مأخذ: تحلیل نگارندگان بر اساس داده‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران (۱۴۰۲) و فنون سنجش از دور و GIS

کل ظرفیت زیستی

ظرفیت زیستی کل استان ۲،۹۲۴،۱۱۸ هکتار جهانی و سرانه آن برای هر نفر ۰/۸۷ هکتار جهانی است. گلوگاه با سرانه ۴/۱۸ هکتار جهانی بیشترین و قائمشهر با سرانه ۰/۲۹ هکتار جهانی کمترین سرانه ظرفیت زیستی را به خود اختصاص داده‌اند (جدول شماره ۱۳).

جدول ۱۳: کل ظرفیت زیستی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	کل ظرفیت	کل سرانه ظرفیت
واحد اندازه‌گیری	gha	gha
استان	۲۹۲۴۱۱۸	۰.۸۷
آمل	۲۷۸۵۹۱.۳	۰.۶۷
بابل	۲۵۱۸۱۸.۱	۰.۴۶
بابلسر	۹۷۳۲۸.۷	۰.۶۹
بهشهر	۳۱۳۵۲۸.۸	۱.۸۳
تنکابن	۱۵۰۷۴۲.۳	۰.۸۸
جویبار	۹۲۵۵۹.۲	۱.۲۱
چالوس	۶۹۰۲۴.۹	۰.۵۷
رامسر	۶۸۰۹۰.۹	۰.۸۹
ساری	۳۸۶۰۹۶.۶	۰.۷۴
سوادکوه	۱۰۹۴۰۱.۸	۲.۴۲
سوادکوه شمالی	۵۱۶۱۵.۵	۲.۰۳
سیرمغ	۲۱۷۹.۰	۱.۱
عباس‌آباد	۶۵۱۷۴.۴	۱.۲
فریدونکنار	۳۳۴۷۱	۰.۵۴
قائم‌شهر	۸۸۵۸۵.۹	۰.۲۹
کلاردشت	۱۰۸۲۵.۹	۰.۴۲
گلوگاه	۱۶۴۶۰.۳۴	۴.۱۸
محمودآباد	۱۰۷۶۶۹.۸	۱.۱
میان‌دورود	۹۷۸۷۲.۲	۱.۷۵
نکا	۱۶۸۱۲۸.۵	۱.۳۶
نور	۱۶۰۹۰۸.۷	۱.۲۶
نوشهر	۱۵۶۹۴۴.۶	۱.۰۹

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

کمبود یا مازاد بوم‌شناختی

تفاضل ظرفیت زیستی و ردپای بوم‌شناختی، میزان کمبود یا مازاد بوم‌شناختی را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که همه شهرستان‌های استان مازندران بجز گلوگاه، بهشهر و سوادکوه با کمبود بوم‌شناختی روبرو هستند. سرانه کمبود یا مازاد بوم‌شناختی کل استان برای هر مازندرانی ۰/۴۹ هکتار جهانی است که بیانگر کمبود بوم‌شناختی و وضعیت ناپایداری استان مازندران است. قائمشهر با بیشترین سرانه کمبود بوم‌شناختی (۱/۰۳ هکتار جهانی) ناپایدارترین شهرستان و گلوگاه با بیشترین مازاد بوم‌شناختی (۲/۵۴ هکتار جهانی)، (که دلیل اصلی آن نیز بر خورداری از مساحت بیشتر دریایی است)، پایدارترین شهرستان استان هستند (جدول شماره ۱۴ و شکل شماره ۲).

جدول ۱۴: کمبود/مازاد بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران

عنوان	کل کمبود/مازاد	سرانه کمبود/مازاد
واحد اندازه‌گیری	gha	gha
استان	-۱۶۶۷۳۱۷	-۰.۴۹
آمل	-۳۸۳۷۲۷.۴	-۰.۹۲
بابل	-۳۸۹۸۷۳.۷	-۰.۷۱
بابلسر	-۱۲۸۲۷۸.۸	-۰.۹۱
بهشهر	۷۳۳۹۵.۳	۰.۴۳
تنکابن	-۲۸۷۶۳.۵	-۰.۱۷
جویبار	-۳۶۱۶۲.۱	-۰.۴۷
چالوس	-۶۴۲۰۷.۶	-۰.۵۳
رامسر	-۱۸۶۴۴.۱	-۰.۲۴
ساری	-۲۴۱۸۴۰.۱	-۰.۴۶
سوادکوه	۸۴۵۵.۸	۰.۱۹
سوادکوه شمالی	-۵۶۸۹.۷	-۰.۲۲
سیرمغ	-۱۳۲۹۱.۱	-۰.۶۷
عباس‌آباد	-۳۲۱۴۰.۴	-۰.۵۹
فریدونکنار	-۳۷۳۱۵.۵	-۰.۶
قائم‌شهر	-۳۱۷۱۰۹.۲	-۱.۰۳
کلاردشت	-۱۹۳۸۹.۲	-۰.۷۵
گلوگاه	۱۰۰۱۳۹.۴	۲.۵۴
محمودآباد	-۴۹۸۱۶.۶	-۰.۵۱
میان‌دورود	-۱۸۶۲۸.۷	-۰.۳۳
نکا	-۲۲۴۹.۴	-۰.۰۲
نور	-۱۴۰۰.۶	-۰.۱۱
نوشهر	-۳۷۷۳۱.۱	-۰.۱۹

مأخذ: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲



شکل ۲: کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران (واحد: هکتار جهانی)

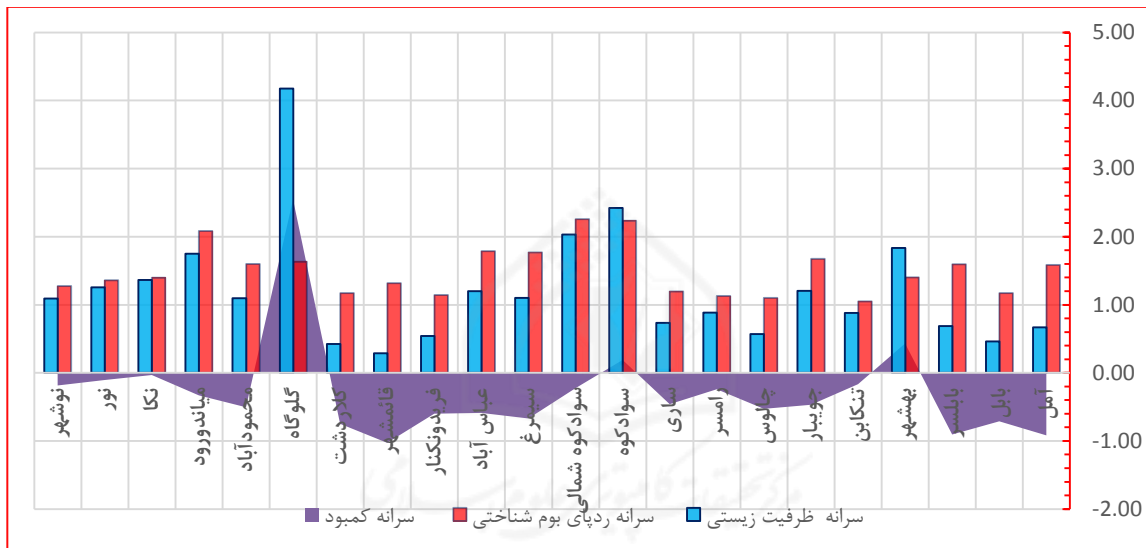
تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

بحث

با احتساب جمعیت ۳,۳۷۵,۷۰۰ نفر، ردپای بوم‌شناختی ۱/۳۶ و ظرفیت زیستی ۰/۸۷ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر، کمبود بوم‌شناختی استان مازندران به‌ازای هر نفر در سال ۱۴۰۰ برابر با ۰/۴۹ هکتار است که فشار وارده به محیط‌زیست و ناپایداری را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک چالش جدی برای توسعه پایدار مطرح می‌شود؛ از این رو در صورتی که این روندهای مصرفی در استان کنترل و اصلاح نگردد، محیط طبیعی توان تأمین نیازهای جمعیت را نداشته و شهرستان‌های استان نیاز به مناطق پشتیبان بزرگ‌تری برای تأمین نیازهای مصرفی خود دارند. این در حالی است که کشور ایران نیز به‌نوبه خود با کمبود بوم‌شناختی به‌مراتب بالاتری مواجه است. سرانه ردپای بوم‌شناختی ایران مطابق آخرین محاسبات انجام‌شده شبکه ردپای جهانی برای سال ۲۰۱۹ با جمعیت ۸۶ میلیون نفر، برابر با ۳/۲ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر بوده که با احتساب ظرفیت زیستی ۰/۸ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر با کمبود ۲/۴ هکتاری مواجه است (Global Footprint Network, 2023).

از میان شهرستان‌های استان، سوادکوه شمالی، سوادکوه و میانرود، بیشترین سرانه ردپای بوم‌شناختی را به خود اختصاص داده‌اند. عباس‌آباد و سیمرغ نیز در رده‌های چهارم و پنجم پرمصرف‌ترین شهرستان‌ها به‌ازای هر نفر قرار دارند. از سویی دیگر، شهرستان‌های گلوگاه، سوادکوه، سوادکوه شمالی، بهشهر و میان‌رود به‌ترتیب از بیشترین سرانه ظرفیت زیستی برخوردار هستند. این امر برای شهرستان‌های سوادکوه و سوادکوه شمالی به‌دلیل تراکم جمعیتی و برای سه شهرستان دیگر، به‌دلیل برخورداری از ظرفیت ماهیگیری دریایی با توجه به جمعیت نسبتاً کم آن‌ها بوده است. شهرستان گلوگاه با برخورداری از بیشترین ظرفیت زیستی، بیشترین مازاد بوم‌شناختی را داراست و پس از آن شهرستان‌های بهشهر و سوادکوه در رده‌های بعدی قرار دارند. شهرستان قائم‌شهر به‌دلیل برخورداری کمتر از ظرفیت زیستی، بیشترین کمبود را به‌ازای هر نفر تجربه کرده است و در وضعیت ناپایدارتری قرار دارد. آمل و بابل‌سر نیز در رده‌های بعدی کمبود بوم‌شناختی قرار دارند (شکل شماره ۳).

البته؛ سهم قابل توجهی از افزایش مصرف در استان مازندران در ارتباط با مصارف انرژی، حمل و نقل، پسماند و حتی اراضی ساخته شده به مسافران و گردشگرانی اختصاص دارد که از نقاط مختلف ایران، استان مازندران را به واسطه شرایط مساعد آب و هوایی و برخورداری از مواهب طبیعی به عنوان مقصد گردشگری خود انتخاب می کنند. بسیاری از زمین های ساخته شده، چه در نواحی جلگه ای و چه در نواحی کوهستانی، به ویلاها و مسکن دومی اختصاص دارد که به صورت فصلی و غیر دائم مورد استفاده قرار می گیرند. جمعیت ساکن غیر بومی نیز مطابق ضوابط سرشماری نفوس و مسکن، در جمعیت استان مازندران محاسبه نشده اند؛ از این رو با توجه به این که این افراد امکانات و خدمات استان را مصرف می کنند اما در جمعیت استان محاسبه نمی شوند، سرانه مصرف استان یا شهرستان را به ازای هر نفر بالا می برند.



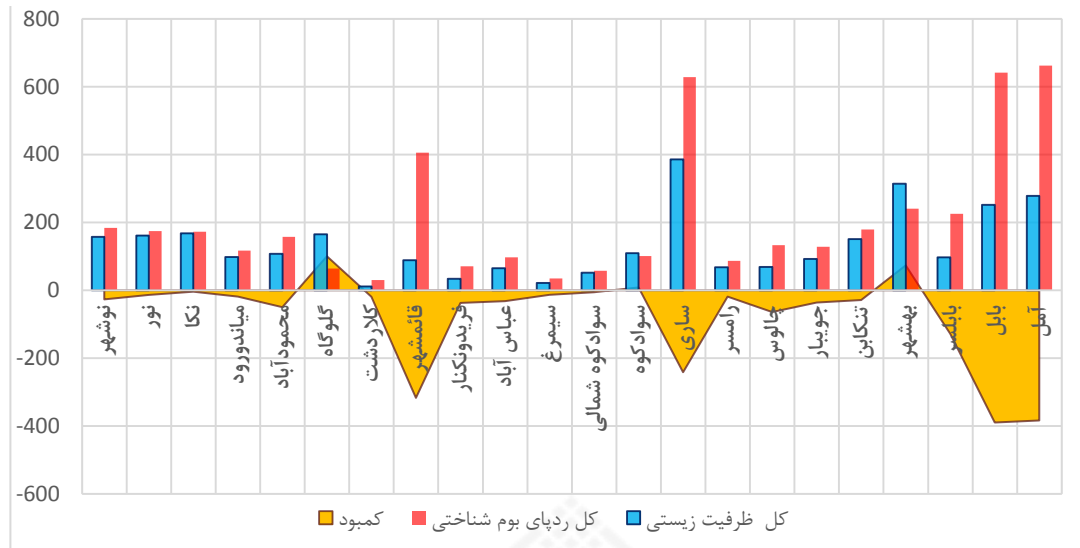
شکل ۳: مقایسه سرانه کمبود بوم شناختی شهرستان های استان مازندران (واحد: هکتار جهانی)

تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

نتایج پژوهش حاضر نشان داده است، کل ردپای بوم شناختی در میان شهرستان ها، تا حد زیادی در ارتباط با جمعیت هر شهرستان قرار دارد. شهرستان های ساری، بابل، آمل و قائم شهر به ترتیب بیشترین ردپای استان و به تبع آن بیشترین کمبود بوم شناختی را با بیش از چهارصد هزار هکتار جهانی در اختیار دارند (شکل شماره ۴). چهار شهر نخست استان به لحاظ جمعیتی نیز در همین شهرستان ها واقع شده اند. یکی از نکات قابل توجه در ارتباط با جمعیت شهرهای استان مازندران، عدم پدیده نخست شهری و شکل گیری منطقه شهری چندمرکزی^۱ آمل-بابل-قائم شهر-ساری است (علی زاده، ۱۳۹۴: ۱۱۶؛ لطفی و شهابی شه میری، ۱۴۰۱: ۳۱). شهرها در منطقه شهری چندمرکزی، گرچه به طور کالبدی از هم جدا هستند، ولی از نظر کارکردی به یکدیگر وابسته اند و در عین حال با نقشی که از نظر کارکردی در منطقه ایفا می کنند، با یکدیگر به رقابت می پردازند. یکی از انگاره های اصلی مفهوم منطقه شهری چندمرکزی این است که در آن تنها یک شهر، فراهم آورنده مجموعه ای کامل از فعالیت های اقتصادی، خدمات شهری و محیط سکونت و کار نیست، بلکه مجموعه شهرهای موجود در آن منطقه نقش های یکدیگر را کامل می کنند (Meijers, 2006: 3) به نقل از علی زاده، ۱۳۹۴؛ از این رو، با تقویت و توسعه مکمل گرایی^۲ شهرهای استان مازندران با توجه به فواصل نسبتاً نزدیک

1. Polycentric urban region
2. Complementarity

این شهرها به یکدیگر، بار و فشار محیط‌زیستی آن‌ها به‌جای متمرکز شدن بر شهر مرکزی، در سطح شهرهایی که نقش مکملی ایفا می‌کنند، توزیع می‌شود.



شکل ۴: مقایسه کل کمبود بوم‌شناختی شهرستان‌های استان مازندران (واحد: هزار هکتار جهانی)

تهیه و ترسیم: تحلیل نگارندگان، ۱۴۰۲

نتیجه

در سال‌های اخیر، ردپای اکولوژیکی به‌عنوان یک شاخص کلیدی در ارزیابی پایداری، تحلیل و اندازه‌گیری تأثیر انسان بر محیط زیست، به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، پژوهش حاضر منابع مصرفی ردپای بوم‌شناختی شامل: مصارف انرژی، حمل‌ونقل، پسماند و اراضی ساخته‌شده را در استان مازندران و شهرستان‌های آن محاسبه کرده است. با توجه به نتایج، کاهش مصرف در میان جوامع می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در جبران کمبودهای بوم‌شناختی داشته باشد. از سویی دیگر، حفظ و ارتقای بهره‌وری منابع بیولوژیکی باید در اولویت قرار گیرد. همچنین، کنترل تراکم جمعیتی و رشد اقتصادی از طریق توزیع متوازن و عادلانه خدمات و منابع در سطح استان، امری حیاتی است.

نتایج نشان می‌دهد، استان مازندران که از منابع طبیعی و تنوع زیستی فراوانی برخوردار است، با چالش‌های بوم‌شناختی ناشی از رشد جمعیتی سریع و توسعه شهری بی‌رویه روبرو شده است. کمبود اکولوژیکی در مرکز استان و بیشتر شهرستان‌ها، نشان‌دهنده عدم تعادل میان فعالیت‌های اقتصادی و تأثیرات زیست‌محیطی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی است که می‌تواند تخریب زیست‌گاه‌ها، کاهش تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی را به‌همراه داشته باشد. با توجه به نتایج مطالعات و تحقیقات انجام‌شده، می‌توان به اهمیت نقش دولت و نهادهای مرتبط در کاهش ردپای اکولوژیکی و مدیریت بهینه منابع اشاره کرد. بازیافت بوم‌شناختی منابع طبیعی و توسعه کشاورزی و صنعت با رعایت اصول حفظ محیط زیست، از وظایف اساسی در جهت کاهش کمبود اکولوژیکی و بهبود شرایط محیط‌زیستی است. همچنین، ارتقای آگاهی اجتماعی و آموزش در زمینه مسائل محیطی می‌تواند نقش مهمی در ایجاد تغییرات

مثبت داشته باشد. پژوهش حاضر می‌تواند پایه‌ای برای تصمیم‌گیران و مسئولان جهت اتخاذ تدابیر مناسب و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه برای حفظ محیط زیست و توسعه پایدار مناطق ایجاد کند.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های تحقیق دلیری و مهرگان (۱۳۹۵) که در ارتباط با استان مازندران فقط ردپای بوم‌شناختی کل استان را محاسبه کرده و حاصل آن ۲/۱۱ هکتار جهانی بوده است، به میزان ۰/۷۵ هکتار جهانی اختلاف دارد (۱/۳۶ هکتار جهانی در پژوهش حاضر) که همسویی نسبی را نشان می‌دهد. در پژوهشی دیگر، نظری و کلانتری (۱۴۰۱)، کمبود بوم‌شناختی شهر ساری را ۰/۳۴ هکتار جهانی محاسبه کرده‌اند و نتایج پژوهش حاضر با محاسبه کمبود ۰/۴۶ هکتار جهانی برای شهرستان ساری، به لحاظ ناپایداری و کمبود بوم‌شناختی با آن همسو بوده است. همچنین، نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش رضی (۱۳۹۴)، به لحاظ محاسبه تعادل بوم‌شناختی همه شهرستان‌های استان مازندران قابل مقایسه است. از لحاظ محاسبه ردپای بوم‌شناختی نیز نتایج با آن همسو بوده اما تفاوت غالب دو پژوهش علاوه بر تغییرات جمعیتی و سطوح کاربری‌ها، در محاسبه ظرفیت زیستی و تعادل بوم‌شناختی است. پژوهش مذکور، تعادل بوم‌شناختی را با تفاضل ردپای بوم‌شناختی از مساحت مکانی (هکتار) محاسبه کرده و تعادل همه شهرستان‌ها بجز دو شهرستان سوادکوه و نور را منفی نتیجه داده است، درحالی‌که در پژوهش حاضر، ظرفیت زیستی انواع کاربری‌های واقع در مرز سیاسی شهرستان به‌همراه سطح ماهیگیری دریایی با واحد هکتار جهانی محاسبه شده، از این‌رو مازاد بوم‌شناختی شهرستان سوادکوه به‌دلیل دخالت سطح دریایی، در هر دو پژوهش همسو بوده است. همچنین پژوهش حاضر نشان داد که شهرستان‌های گلوگاه و بهشهر نیز با برخورداری از ظرفیت زیستی دریایی دارای مازاد بوم‌شناختی هستند.

منابع

- اسماعیل‌زاده، حسن؛ معصومه براری؛ علیرضا رحمتی (۱۳۹۵). شاخص ردپای اکولوژیک در سنجش پایداری توسعه شهری (نمونه مورد مطالعه: شهر ساری)، فصلنامه علمی ترویجی محیط‌زیست. دوره ۱. شماره ۵۷. صفحات ۴۶-۳۳.
https://www.envjournal.ir/article_49801.html
- جمعه پور، محمود؛ حسین حاتمی نژاد؛ سارا شهانواز (۱۳۹۲). بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش جای پای اکولوژیک، پژوهش‌های جغرافیای انسانی. دوره ۴۵. شماره ۳. صفحات ۲۰۸-۱۹۱.
https://jhgr.ut.ac.ir/article_35252.html
- حبیبی، کیومرث؛ آرمان رحیمی کاکه‌جوب؛ محمد حامد عبدی (۱۳۹۲). ارزیابی جای پای بوم‌شناختی وسایل حمل‌ونقل شهری، رویکردی نوین به‌منظور برنامه‌ریزی حمل‌ونقل پایدار، نمونه موردی: شهر ارومیه، فصلنامه علمی- پژوهشی آمایش جغرافیایی فضا. دوره ۲. شماره ۵. صفحات ۹۹-۱۱.
https://gps.gu.ac.ir/article_5340.html
- دلیری، حسن؛ نادر مهرگان (۱۳۹۵). سنجش پایداری توسعه در استان‌های ایران بر اساس شاخص جای پای اکولوژیک. اقتصاد و توسعه منطقه‌ای. دوره ۲۳. شماره ۱۱. صفحات ۴۷-۱.
https://erd.um.ac.ir/article/view/57958/article_25896.html?lang=fa
- رضی، داود (۱۳۹۴). سنجش و تحلیل رد پای بوم‌شناختی (مطالعه موردی: شهرستان‌های استان مازندران)، مطالعات ساختار و کارکرد شهری. دوره ۳. شماره ۱۰. صفحات ۱۲۵-۱۰۳.
https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_1230.html

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران (۱۴۰۲). گزارش عملکرد دستگاه‌های اجرایی سال ۱۴۰۰ بر اساس مراجعه حضوری به سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران.

<https://mazandaran.mporg.ir>

سالنامه آماری مازندران (۱۳۹۷). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.

<https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>

سالنامه آماری مازندران (۱۳۹۸). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.

<https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>

سالنامه آماری مازندران (۱۴۰۰). سالنامه آماری استان مازندران، معاونت آمار و اطلاعات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مازندران. سازمان برنامه و بودجه کشور. ایران.

<https://mazandaran.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx?PageId=fe9be606-e0c1-4d1f-9e9b-6eba993803e8>

صمدپور، پریمه؛ شهرزاد فریادی (۱۳۸۷). تعیین ردپای اکولوژیکی در نواحی شهری پرتراکم و بلندمرتبه (نمونه مورد مطالعه: محله الهیه تهران)، محیط‌شناسی. دوره ۳۴. شماره ۴۵. صفحات ۷۲-۶۳.

https://jes.ut.ac.ir/article_19331.html

ضیایی، محمود؛ اسماعیل قادری؛ ساسان احمدی (۱۳۹۶). تعیین ظرفیت تحمل و ردپای اکولوژیکی در مقصدهای طبیعت‌گردی (مورد شناسی: دریاچه زریوار)، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای. دوره ۷. شماره ۲۵. صفحات ۵۶-۳۹.

https://gaij.usb.ac.ir/article_3476_417944cf40e08a189624fa31d9eef507.pdf

علی‌زاده، توحید (۱۳۹۴). تبیین نقش و کارکرد مکمل‌گرایی در برنامه‌ریزی مناطق شهری چندمرکزی، مورد مطالعاتی: منطقه شهری آمل - بابل - قائم‌شهر - ساری، اساتید راهنما: کاظمیان، غ. و ندایی طوسی، س. پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

<https://centlibrary.sbu.ac.ir/site/catalogue/390145>

علیزاده، هوشمند؛ وریا لطفی؛ صلاح الدین ویسی (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات محیط‌زیستی کاربری‌های آموزشی با استفاده از مدل ردپای اکولوژیکی، مطالعه موردی دانشگاه کردستان، فصلنامه مطالعات شهری. دوره ۸. شماره ۳۲. صفحات ۸۸-۷۷.

https://urbstudies.uok.ac.ir/article_61218.html

فرهادی، پریسا؛ علیرضا ایلدرمی؛ میرمهرداد میرسنجری (۱۳۹۷). ارزیابی ردپای بوم‌شناختی و ظرفیت‌زیستی اکوسیستم شهری (مطالعه موردی: شهر همدان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۲۳. شماره ۱. صفحات ۲۵۱-۲۴۱.

<https://www.sid.ir/paper/387664/fa>

کوزه‌گر کالجه، لطفعلی؛ آرمان مسلمی؛ محمد مرادی؛ حسین رفیعی مهر؛ عباس امینی‌زاده (۱۳۹۷). جای پای اکولوژیک، راهی به‌سوی پایداری شهرها، مورد پژوهی: شهر تبریز، فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۶. شماره ۳. صفحات ۴۴-۲۵.

https://envs.sbu.ac.ir/article_97967.html

لطفی، صدیقه؛ مجتبی‌شهابی‌شهمیری (۱۴۰۱). بررسی تطبیقی پتانسیل روابط مکمل بین منطقه شهری چندمرکزی و تک‌مرکزی، مورد پژوهی: مجموعه شهری رشت و منطقه شهری مازندران مرکزی، مطالعات محیط انسان ساخت. دوره ۱. شماره ۱. صفحات ۵۴-۳۱.

https://hmes.samt.ac.ir/article_251390.html

نظری، مریم؛ محسن کلاتری (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر ردپای اکولوژیکی شهری ساری، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۴، شماره ۲. صفحات ۲۶-۱۷.

References

- Ahmad, M., Ahmed, Z., Yang, X., Hussain, N., & Sinha, A (2021). Financial development and environmental degradation: Do human capital and institutional quality make a difference? Gondwana Research. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.09.012>
- Akrour, S., & Grimes, S (2022). Is the ecological footprint enough science for Algerian fisheries management?, Sustainability, 14(3), 1418. <https://doi.org/10.3390/su14031418>
- Braun, S (2021). Urban Ecological Footprint of the City of Vaasa with Open Access Data. <https://www.theseus.fi/handle/10024/505398>
- Du, Y. W., Wang, Y. C., & Li, W. S., (2022). Emergy ecological footprint method considering uncertainty and its application in evaluating marine ranching resources and environmental carrying capacity. Journal of Cleaner Production, No 130363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130363>
- Galli, A., Kitzes, J., Wermer, P., Wackernagel, M., Niccolucci, V., & Tiezzi, E (2007). An exploration of the mathematics behind the ecological footprint (249-256). Wit Press: Billerica, MA, USA. <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/9781845646547/9781845646547023FU1.pdf>
- Global Footprint Network (2023). Global Footprint Network (Accessed: 5 Aug 2023) <https://www.footprintnetwork.org>
- Kitzes, J., Peller, A., Goldfinger, S., & Wackernagel, M (2007). Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Science for environment & sustainable society, 4(1), 1-9. https://shiga-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=10991&file_id=19&file_no=1
- Li, P., Zhang, R., & Xu, L (2021). Three-dimensional ecological footprint based on ecosystem service value and their drivers: A case study of Urumqi. Ecological Indicators, Vol 131, No 108117. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21007822>
- McDonald, G. W., & Patterson, M. G (2004). Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions. Ecological Economics, 50(1-2), 49-67 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904001545>
- Meijers, E (2006). The notion of complementarity in urban networks: definition, value, measurement and development, Paper presented at the 10th United Nations Economic Commission for Europe Conference on Urban and Regional Research, Bratislava. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/prgm/urbanenvperf/conference/tenth_bratislava/documents/topic2.08.meijers.pdf
- Mir, A., Sobhani, P., & Sayahnia, R (2022). Assessment of the ecological footprint associated with consumption resources and urbanization development in Sistan and Baluchestan province, Iran. Results in Engineering, 16, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100673>

Rashid, A., Irum, A., Malik, I. A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., ... & Yousaf, B (2017). Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. *Journal of Cleaner Production*, 170, 362-368.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732187X>

Rees, W.E (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environ. Urban.*, 4(2), 121-130.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/095624789200400212>

Rees, W.E (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environ. Urban.*, 4(2), 121-130.

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/095624789200400212>

Rees, W.E., Wackernagel, M (1994). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In: A.M Jansso., M. Hammer, C. Folke, R. Costanza, (Eds.), *Investing in Natural Capital: The Ecological Economics Approach to Sustainability*. Island Press, Washington DC, 362-390.

<https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=mEgJKckv-awC&oi=fnd&pg=PA151&ots=x1dtGuWu7I&sig=jj9w1fpqi-HFNQx8PQUokBuDALI#v=onepage&q&f=false>

Wackernagel, M (1994). *Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: a tool for planning toward sustainability*. The University of British Columbia.

<https://open.library.ubc.ca/media/download/pdf/831/1.0088048/1>

Wackernagel, M., Rees, W.E (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.

http://w.tbokane.com/2013/EF_Reading_Assignment_1of2.pdf

Wu, J., & Bai, Z (2022). Spatial and temporal changes of the ecological footprint of China's resource-based cities in the process of urbanization. *Resources Policy*, 75, 102491.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420721004992>

Yang, Y., & Cai, Z (2020). Ecological security assessment of the Guanzhong Plain urban agglomeration based on an adapted ecological footprint model. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120973.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620310209>