



راهبشنری علوم مهندسی مدیریت سیستمی پایدار

سال دوم | شماره ۲ | تابستان ۱۴۰۵

عناوین مقالات

- بررسی موانع پیش روی توسعه صنایع دستی و گردشگری پایدار روستایی از دیدگاه زنان کارآفرین روستایی (مورد مطالعه: روستاهای شهرستان های تربت جام و تایباد)
- تدوین شاخص های طراحی محیط های یادگیری موقت در اراضی قهوه ای با تمرکز بر ویژگی های شناختی نسل آلفا
- برنامه ریزی محیط زیستی اکوتوریسم در زیست بوم های حساس و مناطق حفاظت شده ایران: الگویی برای دستیابی به حفاظت پایدار
- شناسایی و اولویت بندی فاکتور های موثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و مسیر های تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی
- مگس سرباز سیاه: راهکاری نوین برای بازیافت پسماندهای آلی، تولید پروتئین جایگزین و امنیت غذایی
- معماری فراروش شناختی برای ارزیابی تصمیم محور آسیب پذیری مناطق کوهستانی
- همزیستی صنعتی در پارک های اکولوژیکی کشورهای در حال توسعه: مرور چالش ها، موانع و عوامل موفقیت
- تصفیه زیستی خاک های آلوده به نفت توسط کمپوست تولید شده از پسماند مواد غذایی



اسلام‌الرحمن

فصلنامه راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار

(نشریه علمی)

سال دوم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۵

شناسنامه نشریه

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مدیر مسئول: دکتر محمدجواد امیری

سر دبیر: دکتر عبدالرضا کرباسی

مدیر داخلی: دکتر مهناز جدیدی

دبیران تخصصی: دکتر جهانبخش بالیست و دکتر امیرعلی برومند

مشاور: دکتر مسعود نصوری

اعضای هیئت تحریریه:

دکتر ناصر مهرداد - استاد دانشگاه تهران / دکتر غلامرضا نبی بیدهندی - استاد دانشگاه تهران / دکتر عبدالرضا کرباسی - استاد دانشگاه تهران / دکتر محمدجواد امیری - دانشیار دانشگاه تهران / دکتر شهناز دانش - استاد دانشگاه فردوسی مشهد / دکتر سید محسن حسینی - استاد دانشگاه تربیت مدرس / دکتر کامران داوری - استاد، دانشگاه فردوسی مشهد / دکتر افشین تکدستان - استاد دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی جندی شاپور اهواز / دکتر محمودرضا همایی - استاد دانشگاه صنعتی اصفهان / دکتر علی اسدی - استاد، دانشگاه تهران / دکتر مسعود صدری نسب - دانشیار دانشگاه تهران / دکتر محمدحسین نیک سخن - استاد، دانشگاه تهران / دکتر بهروز بهنام - دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر / دکتر محمد کابلی - استاد، دانشگاه تهران / دکتر علیرضا زراسوندی - استاد دانشگاه شهید چمران / دکتر کمال الدین ناصری - دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد / دکتر مسعود رضایی - استاد، دانشگاه تربیت مدرس / دکتر عباس بانج شفیعی - استاد، دانشگاه ارومیه / دکتر حسن دازابی - دانشیار دانشگاه تهران / دکتر لعبت زبردست - دانشیار، دانشگاه تهران / دکتر مرجان محمدزاده - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان / دکتر مهدی جلیلی قاضی زاده - دانشیار دانشگاه شهید بهشتی / دکتر حمیدرضا پورخباز - دانشیار دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان / دکتر کیومرث سفیدی - استاد دانشگاه محقق اردبیلی / دکتر محمدرضا اختصاصی - استاد دانشگاه یزد / دکتر نقی شعبانیان - دانشیار دانشگاه گیلان / دکتر مرتضی قبادی - دانشیار دانشگاه لرستان / دکتر حسین رحمانی - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری / دکتر بهمن جباریان امیری - دانشیار دانشگاه لودز، لهستان / دکتر بابک نعیمی - محقق ارشد دانشگاه اوترخت هلند / دکتر ادوین صفری - استادیار دانشگاه تورنتو، کانادا / دکتر محسن سعیدی - استاد، دانشگاه بریتیش کلمبیا، کانادا / دکتر مهرداد نظری ها - استادیار دانشگاه HDR اتاوا، کانادا

ویراستار انگلیسی: دکتر محمد علوی – استاد دانشگاه تهران

ویراستار علمی: دکتر رودابه سمیعی زفرقندی ویراستار ادبی: دکتر فاطمه زارع شیخکلائی

گرافیکست: مهندس حامد احمدی کارشناس اجرایی: مهندس سحر بیدختی صفحه آرا: مهندس پیمان حیدری

مقالات نمودار آرای نویسندگان است و به ترتیب وصول و تصویب درج می‌شود.

این فصلنامه با حمایت انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران منتشر می‌شود.

به موجب ماده ۱۳ قانون مطبوعات مصوب ۱۳۶۸/۱۲/۲۸ مجلس شورای اسلامی پروانه انتشار راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار به زبان‌های فارسی و انگلیسی به صورت فصلنامه به شماره ثبت ۹۹۸۶۲ صادر گردید.

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس، نبش کوچه دکتر عبدالحسین زرین‌کوب، پلاک ۱۵، اتاق ۳۰۳

آدرس سامانه نشریه: www.jsesm.ir

تلفن: ۰۲۱۶۱۱۱۳۱۷۷ / کد پستی: ۱۴۱۷۸۵۳۱۱۱ / پست الکترونیکی: jsesssm@gmail.com

این مجله در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)

Google Scholar

اهداف و چشم انداز

نشریه راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار با هدف توسعه مرزهای دانش، ترویج پژوهش‌های نوآورانه و فراهم‌سازی بستری علمی برای تبادل اندیشه‌ها و دستاوردهای پژوهشی در حوزه‌های مهندسی، مدیریت و پایداری تأسیس شده است. این نشریه می‌کوشد از طریق انتشار مقالات علمی اصیل، کاربردی و میان‌رشته‌ای، به شناسایی و ارائه راهکارهای مؤثر برای مواجهه با چالش‌های پیچیده توسعه پایدار در سطوح محلی، ملی و جهانی کمک نماید. همچنین ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و مدیریت در سازمان‌ها، صنایع و جوامع از طریق بهره‌گیری از یافته‌های علمی معتبر از مهم‌ترین اهداف این نشریه به شمار می‌آید.

این نشریه با رویکردی نظام‌مند و آینده‌نگر، بر توسعه دانش در حوزه‌هایی نظیر مهندسی سیستم‌های پایدار، مدیریت منابع، فناوری‌های نوین، تحول دیجیتال، انرژی‌های تجدیدپذیر، مدیریت ریسک و تاب‌آوری، حکمرانی پایدار، اقتصاد چرخشی و نوآوری‌های فناورانه تمرکز دارد. از این رو، تلاش می‌کند زمینه تعامل مؤثر میان پژوهشگران، متخصصان، مدیران، سیاست‌گذاران و فعالان صنعتی را فراهم ساخته و با حمایت از پژوهش‌های میان‌رشته‌ای، شکاف میان دانش نظری و کاربردهای عملی را کاهش دهد. نشریه همچنین انتشار پژوهش‌هایی را در اولویت قرار می‌دهد که به حل مسائل واقعی جامعه و تحقق اهداف توسعه پایدار کمک می‌کنند.

چشم‌انداز نشریه آن است که در افق پیش‌رو به یکی از مراجع علمی معتبر و اثرگذار در حوزه علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار در سطح ملی و منطقه‌ای تبدیل شود و با نمایه‌سازی در پایگاه‌های معتبر بین‌المللی، نقش مؤثری در جریان‌سازی علمی و تولید دانش مرجع ایفا نماید. این نشریه درصدد است با حفظ استانداردهای بالای علمی، اخلاق پژوهش و کیفیت داوری، به مرکزی برای انتشار پژوهش‌های پیشرو و تأثیرگذار تبدیل شده و در شکل‌دهی به رویکردهای نوین مهندسی، مدیریتی و سیاستی برای دستیابی به آینده‌ای پایدار، هوشمند و تاب‌آور سهمی مؤثر داشته باشد.

محورهای موضوعی

این نشریه از مقالات پژوهشی، مروری، مطالعه موردی و کاربردی در حوزه‌های موضوعی زیر استقبال می‌کند:

۱. تفکر سیستمی، تاب‌آوری و مهندسی پایداری
۲. ارزیابی محیط‌زیستی (اثرات توسعه، توان سرزمین، ارزیابی راهبردی و چرخه حیات)
۳. پایش، مدیریت و مهندسی محیط‌زیست
۴. تغییر اقلیم، مدیریت مخاطرات و راهکارهای مبتنی بر طبیعت
۵. منابع آب، اکوسیستم‌ها، تنوع زیستی و محیط‌زیست دریایی
۶. انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و سامانه‌های کم‌کربن
۷. اقتصاد محیط‌زیست، اقتصاد چرخشی، مدیریت پسماند و تولید و مصرف پایدار
۸. فناوری‌های نوین (هوش مصنوعی، علوم داده، IoT، GIS و سنجش از دور)
۹. برنامه‌ریزی شهری، زیرساخت‌های سبز، معماری و عمران پایدار
۱۰. صنایع پایدار (نفت، گاز، معدن، پتروشیمی، HSE و زنجیره تأمین)
۱۱. حکمرانی، سیاست‌گذاری، نوآوری و کسب‌وکارهای پایدار
۱۲. ابعاد اجتماعی پایداری (آموزش، اخلاق، عدالت محیط‌زیستی، سلامت و مشارکت ذی‌نفعان)

راهنمای تدوین و نحوه ارسال مقاله

دامنه و اهداف نشریه

فصلنامه راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار به انتشار مقالات پژوهشی اصیل، نوآورانه و مبتنی بر روش‌های علمی معتبر در حوزه علوم مهندسی، مدیریت سیستم‌های پایدار، محیط‌زیست، توسعه پایدار، حکمرانی، برنامه‌ریزی، فناوری‌های نوین و سایر موضوعات میان‌رشته‌ای مرتبط می‌پردازد. این نشریه از مقالاتی استقبال می‌کند که ضمن برخورداری از کیفیت علمی مناسب، دارای نوآوری نظری یا کاربردی بوده و بتوانند به توسعه دانش، ارائه راهکارهای مدیریتی و حل مسائل واقعی در حوزه‌های تخصصی نشریه کمک کنند.

شرایط ارسال مقاله

تمامی مقالات باید حاصل پژوهش اصیل نویسندگان بوده و پیش از این در هیچ نشریه، کتاب یا مجموعه مقالات منتشر نشده باشند و هم‌زمان نیز در فرآیند بررسی نشریه دیگری قرار نداشته باشند. مسئولیت اصالت علمی، صحت داده‌ها، رعایت اصول اخلاق پژوهش و پاسخگویی در برابر هرگونه تخلف علمی بر عهده نویسندگان است. ارسال مقاله صرفاً از طریق سامانه الکترونیکی نشریه انجام می‌شود و مقاله پس از بررسی اولیه از نظر انطباق با حوزه موضوعی، ساختار علمی و رعایت اصول نگارشی وارد فرآیند داوری خواهد شد.

فرآیند داوری

نشریه از نظام داوری دوسو ناشناس (Double-Blind Peer Review) استفاده می‌کند. بر این اساس، هویت نویسندگان و داوران در تمام مراحل داوری محرمانه باقی می‌ماند. به همین دلیل فایل اصلی مقاله نباید شامل نام نویسندگان، وابستگی سازمانی، قدرانی، اطلاعات مالی یا هرگونه مشخصه‌ای باشد که امکان شناسایی نویسندگان را فراهم کند. تصمیم نهایی درباره پذیرش، اصلاح یا رد مقاله بر اساس نظر هیئت تحریریه و داوران متخصص اتخاذ خواهد شد.

ساختار مقاله

مقاله باید از ساختاری منظم و استاندارد برخوردار باشد و شامل عنوان مقاله، چکیده، کلیدواژه‌ها، مقدمه، روش‌شناسی پژوهش، یافته‌ها و بحث، نتیجه‌گیری و منابع باشد. در بخش مقدمه، مسئله پژوهش، ضرورت انجام مطالعه، پیشینه پژوهش و اهداف یا پرسش‌های تحقیق باید به‌صورت منسجم تشریح شوند. بخش روش‌شناسی باید اطلاعات کافی درباره طرح پژوهش، جامعه آماری، نمونه، ابزار گردآوری داده‌ها، روش تحلیل و ملاحظات اخلاقی ارائه کند. یافته‌ها باید به‌صورت دقیق و مستند گزارش شوند و در بخش بحث، نتایج با مطالعات پیشین مقایسه و تفسیر شوند. نتیجه‌گیری نیز باید شامل جمع‌بندی یافته‌ها، پیامدهای نظری و کاربردی، محدودیت‌های پژوهش و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده باشد.

چکیده و کلیدواژه‌ها

چکیده فارسی باید به‌صورت ساختاریافته و در قالب یک پاراگراف منسجم، بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ واژه تنظیم شود و شامل هدف، روش پژوهش، یافته‌های اصلی و نتیجه‌گیری باشد. از بیان مطالب کلی، ارجاع به منابع، استفاده از اختصارات و ذکر اطلاعات غیرضروری در چکیده خودداری شود. همچنین ارائه چکیده مبسوط انگلیسی بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ واژه الزامی است. این چکیده باید شامل بخش‌های Method, Introduction, Results و Conclusions بوده و ترجمه‌ای دقیق و تخصصی از محتوای مقاله ارائه دهد. برای هر مقاله سه تا پنج کلیدواژه فارسی به همراه معادل دقیق انگلیسی آنها انتخاب شود.

قالب‌بندی مقاله

حداکثر حجم مقاله، شامل تمامی بخش‌ها از جمله چکیده‌ها، جداول، شکل‌ها و منابع، نباید از ۱۵ صفحه تجاوز کند. متن فارسی مقاله باید با قلم B Nazanin اندازه ۱۳ و متن انگلیسی با قلم Times New Roman اندازه ۱۱، با فاصله خطوط Single

و به صورت Justify تنظیم شود. عنوان بخش‌های اصلی با قلم B Titr اندازه ۱۲ و زیرعنوان‌ها با همان قلم در اندازه ۱۱ نوشته شوند. در متن مقاله از شماره‌گذاری عناوین اجتناب شود و نگارش مطابق دستور خط فارسی و با استفاده صحیح از نیم‌فاصله انجام گیرد.

جداول، شکل‌ها و روابط ریاضی

تمامی جدول‌ها، نمودارها، نقشه‌ها، تصاویر و سایر اشکال باید دارای شماره و عنوان بوده و به‌ترتیب ظهور در متن شماره‌گذاری شوند. عنوان جدول‌ها در بالای جدول و عنوان شکل‌ها در پایین آنها درج شود و در متن مقاله نیز به تمامی آنها ارجاع داده شود. کیفیت تصاویر باید برای چاپ مناسب بوده و در صورت اقتباس از منابع دیگر، منبع مربوطه مطابق شیوه‌نامه استنادی ذکر شود. روابط ریاضی نیز باید با استفاده از ابزار Microsoft Equation تهیه شده و به‌ترتیب شماره‌گذاری شوند.

شیوه استناد و منابع

استنادهای درون‌متنی و فهرست منابع باید مطابق آخرین ویرایش شیوه‌نامه انجمن روان‌شناسی آمریکا (APA, 7th Edition) تنظیم شوند. تمامی منابع مورد استفاده باید در متن مقاله مورد استناد قرار گرفته باشند و هیچ منبعی بدون ارجاع در متن در فهرست منابع درج نشود. منابع فارسی علاوه بر درج در بخش منابع فارسی، باید در قسمت References نیز به زبان انگلیسی ترجمه شده و در پایان آنها عبارت [In Persian] ذکر شود. نویسندگان مسئول صحت و کامل بودن اطلاعات کتاب‌شناختی تمامی منابع هستند.

مدارک مورد نیاز برای ارسال

در زمان ارسال مقاله، چهار فایل مستقل باید در سامانه بارگذاری شود. این فایل‌ها شامل نسخه اصلی مقاله بدون مشخصات نویسندگان، فایل مشخصات نویسندگان، فرم تعهد نویسندگان و فرم تعارض منافع هستند. عدم ارسال هر یک از این مدارک موجب ناقص تلقی شدن فرآیند ارسال مقاله خواهد شد.

ملاحظات اخلاقی و حقوق نشر

تمامی مقالات باید مطابق اصول اخلاق در انتشار آثار علمی تهیه شوند. هرگونه سرقت علمی، جعل یا دستکاری داده‌ها، انتشار هم‌زمان، انتساب نادرست نویسندگی و سایر مصادیق تخلف پژوهشی موجب رد مقاله خواهد شد. مسئولیت محتوای علمی مقاله، رعایت حقوق مالکیت فکری و اخذ مجوزهای لازم برای استفاده از داده‌ها، تصاویر و سایر آثار دارای حق نشر بر عهده نویسندگان است.

فهرست داوران این شماره به ترتیب حروف الفبا

ردیف	نام و نام خانوادگی	وابستگی سازمانی
۱.	احمدنیا مطلق حمیدرضا	استادیار دانشگاه فردوسی مشهد
۲.	امیری محمدجواد	دانشیار دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۳.	برومند امیرعلی	دکتری دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۴.	بهبهانی ایرانی هما	استاد دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۵.	پازوکی مریم	استادیار دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۶.	حاجی پور خلیل	دانشیار دانشگاه شیراز
۷.	جدیدی مهناز	دکتری دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۸.	جوکار مجتبی	استادیار دانشگاه فردوسی مشهد
۹.	دارابی حسن	دانشیار دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۰.	سمیعی زفرقندی رودابه	استادیار دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۱.	علوی نائینی علی	استادیار دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۲.	کرباسی عبدالرضا	استاد دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۳.	کریمی سپیده	دکتری دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۴.	لیاقتی هومان	استاد پژوهشکده علوم محیطی - دانشگاه شهید بهشتی
۱۵.	مبرقعی دینان نغمه	دانشیار پژوهشکده علوم محیطی - دانشگاه شهید بهشتی
۱۶.	معرب یاسر	استادیار دانشگاه امام حسین (ع)
۱۷.	مهردادی ناصر	استاد دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران
۱۸.	نبی بیدهندی غلامرضا	استاد دانشکده محیط زیست - دانشگاه تهران

فهرست مطالب

صفحات	فهرست مندرجات
۱-۲۵	<u>بررسی موانع پیش روی توسعه صنایع دستی و گردشگری پایدار روستایی از دیدگاه زنان کارآفرین روستایی (مورد مطالعه: روستاهای شهرستان های تربت جام و تایباد)</u> <u>حسن گیاهی، خدیجه بوزرجمهری، مهدی کرمانی / 10.22034/jsesm.2026.602045.1046</u>
۲۶-۴۴	<u>تدوین شاخص های طراحی محیط های یادگیری موقت در اراضی قهوه ای با تمرکز بر ویژگی های شناختی نسل آلفا</u> <u>فائزه بیانی، فرزانه مدنی، وجیهه ملانی شمس / 10.22034/jsesm.2026.596331.1024</u>
۴۵-۶۲	<u>برنامه ریزی محیط زیستی اکوتوریسم در زیست بوم های حساس و مناطق حفاظت شده ایران: الگویی برای دستیابی به حفاظت پایدار</u> <u>لعبت زبردست / 10.22034/jsesm.2026.597280.1025</u>
۶۳-۷۹	<u>شناسایی و اولویت بندی فاکتورهای موثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی</u> <u>زهرا برخورداریان، مسعود نصوری / 10.22034/jsesm.2026.597539.1026</u>
۸۰-۹۰	<u>مگس سرباز سیاه: راهکاری نوین برای بازیافت پسماندهای آلی، تولید پروتئین جایگزین و امنیت غذایی</u> <u>عماد چنگیزی / 10.22034/jsesm.2026.595701.1020</u>
۹۱-۱۱۵	<u>معماری فراروش شناختی برای ارزیابی تصمیم محور آسیب پذیری مناطق کوهستانی</u> <u>فریبا امینی، حسن دارابی / 10.22034/jsesm.2026.598056.1035</u>
۱۱۶-۱۲۸	<u>همزیستی صنعتی در پارک های اکولوژیکی کشورهای در حال توسعه: مرور چالش ها، موانع و عوامل موفقیت</u> <u>عاطفه دهقانی، مهدی سهیلی، مهدی همایونی، سجاد مظفری / 10.22034/jsesm.2026.598868.1040</u>
۱۲۹-۱۴۳	<u>تصفیه زیستی خاک های آلوده به نفت توسط کمپوست تولید شده از پسماند مواد غذایی</u> <u>سعید صالحی، علیرضا عسگری، شهرزاد صادقی علویجه، زهرا السادات رضوی دینانی / 10.22034/jsesm.2026.598259.1034</u>



این تفاهم‌نامه به منظور گسترش همکاری‌های علمی، پژوهشی و تخصصی و در راستای ارتقای کیفیت فعالیت‌های نشر علمی، فی‌مابین: **نشریه علمی «راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار»** به صاحب‌امتیازی و مدیرمسئولی جناب آقای **دکتر محمدجواد امیری** به نشانی: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس، نبش کوچه زرین‌کوب که از این پس در این تفاهم‌نامه **نشریه** نامیده می‌شود، و **انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران** به نمایندگی جناب آقای **دکتر عبدالرضا کرباسی** رئیس انجمن به نشانی: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس، نبش کوچه زرین‌کوب که از این پس **انجمن علمی** نامیده می‌شود بر اساس شرایط و مفاد زیر منعقد می‌گردد:

ماده ۱ - موضوع تفاهم‌نامه

موضوع این تفاهم‌نامه ایجاد چهارچوب همکاری‌های علمی و پژوهشی بین طرفین در زمینه‌های زیر است:

۱. همکاری در برگزاری همایش‌ها، سمینارها، نشست‌ها و رویدادهای علمی و تخصصی
۲. همکاری علمی در داوری، ارزیابی و ارتقای کیفی مقالات نشریه
۳. مشارکت در انتشار آثار و تولیدات علمی مشترک در چهارچوب قوانین نشر علمی
۴. بهره‌گیری از ظرفیت‌های علمی طرفین در توسعه فعالیت‌های پژوهشی مرتبط

ماده ۲ - تعهدات نشریه

نشریه در چهارچوب مقررات نشریات علمی کشور متعهد می‌گردد:

۱. انتشار منظم نشریه حداقل در چهار شماره در سال به زبان فارسی یا انگلیسی
۲. رعایت ضوابط و آیین‌نامه‌های مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در امور علمی نشریه
۳. بهره‌گیری از ظرفیت‌های علمی معرفی شده از سوی انجمن علمی در فرآیند داوری مقالات
۴. درج نام و آرم انجمن علمی در وبسایت و سربرگ‌های رسمی نشریه (در چهارچوب ضوابط)
۵. درج عبارت زیر در صفحه معرفی نشریه:

«این نشریه حاصل فعالیت مشترک نشریه راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار و انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران است.»

تبصره ۱: انجمن علمی می‌تواند حداکثر دو نفر از اعضای هیات علمی واجد شرایط خود را جهت عضویت در هیئت تحریریه به سردبیر نشریه پیشنهاد دهد. تصمیم نهایی مطابق آیین‌نامه نشریات علمی خواهد بود.

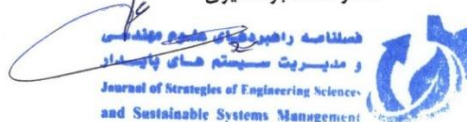
تبصره ۲: امور علمی نشریه توسط هیئت تحریریه طبق مقررات مربوطه اداره می‌شود و این تفاهم‌نامه ناقض اختیارات قانونی نشریه نخواهد بود.

رئیس انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران
دکتر عبدالرضا کرباسی



انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران
(شماره ثبت: ۲۸۵۱۶)

صاحب‌امتیاز و مدیرمسئول نشریه علمی راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار
دکتر محمدجواد امیری



فصلنامه راهبردهای علوم مهندسی
و مدیریت سیستم‌های پایدار
Journal of Strategies of Engineering Sciences
and Sustainable Systems Management



ماده ۸ - حل اختلاف

در صورت بروز اختلاف، موضوع ابتدا از طریق مذاکره مستقیم حل و فصل خواهد شد و در صورت عدم حصول توافق، مرجع رسیدگی، مراجع صالح قضایی جمهوری اسلامی ایران خواهد بود.

ماده ۹ - مدت تفاهم‌نامه

مدت این تفاهم‌نامه از تاریخ امضا به مدت پنج سال معتبر است و در صورت توافق طرفین قابل تمدید خواهد بود.

تبصره: هر یک از طرفین می‌توانند با اعلام کتبی حداقل سه ماه پیش از پایان مدت، عدم تمایل به تمدید را اعلام نمایند.

ماده ۱۰ - سایر مقررات

۱. این تفاهم‌نامه موجب ایجاد رابطه استخدای یا نمایندگی حقوقی بین طرفین نمی‌شود.
۲. تغییر در مسئولان یا مدیران طرفین، خللی در اعتبار این تفاهم‌نامه وارد نمی‌کند.
۳. این تفاهم‌نامه در دو نسخه با اعتبار واحد تنظیم و امضا گردید.

ماده ۱۱ - تعداد نسخ

این تفاهم‌نامه، مشتمل بر ۱۱ ماده و ۳ تبصره، در دو نسخه تنظیم گردیده که هر دو نسخه از اعتبار واحد برخوردارند. این تفاهم‌نامه در تاریخ دوازدهم بهمن‌ماه ۱۴۰۴ هجری شمسی، به امضای طرفین رسید.

رئیس انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

دکتر عبدالرضا کرباسی

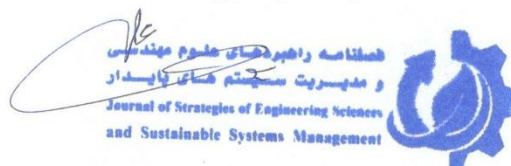


انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران
(شماره ثبت: ۲۸۵۲۶)

صاحب امتیاز و مدیرمسئول نشریه علمی راهبردهای علوم

مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار

دکتر محمدجواد امیری



مجله راهبردهای علوم مهندسی
و مدیریت سیستم‌های پایدار
Journal of Strategies of Engineering Sciences
and Sustainable Systems Management





ماده ۳ - تعهدات انجمن علمی

انجمن علمی متعهد می‌گردد:

۱. معرفی داوران متخصص برای همکاری در ارزیابی علمی مقالات
۲. اطلاع‌رسانی و معرفی نشریه در میان اعضا و شبکه‌های علمی مرتبط
۳. همکاری علمی در برگزاری برنامه‌ها و رویدادهای مشترک
۴. معرفی مقالات برتر رویدادهای علمی مرتبط جهت بررسی برای چاپ در نشریه (طبق ضوابط)

ماده ۴ - روش اجرا

۱. هر یک از طرفین نماینده‌ای جهت هماهنگی امور معرفی خواهند کرد.
۲. برنامه‌های مشترک بر اساس صورتجلسات و توافق‌های مکتوب اجرا خواهد شد.
۳. برای هر فعالیت اجرایی یا مالی مستقل، قرارداد جداگانه تنظیم می‌گردد.

ماده ۵ - تعهدات مالی

۱. این تفاهم‌نامه به خودی خود تعهد مالی برای طرفین ایجاد نمی‌کند.
۲. هرگونه هزینه یا تعهد مالی صرفاً در قالب قراردادهای جداگانه و مصوب طرفین معتبر خواهد بود.

ماده ۶ - مالکیت معنوی و استفاده از نام و نشان

۱. حقوق مالکیت معنوی آثار منتشرشده تابع مقررات نشر علمی کشور است.
۲. استفاده از نام، نشان و لوگوی هر یک از طرفین صرفاً در چهارچوب این تفاهم‌نامه و با رعایت ضوابط مربوطه مجاز است.

ماده ۷ - محرمانگی

طرفین متعهد می‌شوند اطلاعات علمی، اجرایی و مکاتبات داخلی مرتبط با همکاری‌ها را محرمانه تلقی نموده و بدون رضایت طرف مقابل منتشر نکنند.

رئیس انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

دکتر عبدالرضا کرباسی



انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران
(تأسیس ۱۳۸۵)

صاحب‌امتیاز و مدیرمسئول نشریه علمی راهبردهای علوم

مهندسی و مدیریت سیستم‌های پایدار

دکتر محمدجواد امیری



فصلنامه راهبردهای علوم مهندسی
و مدیریت سیستم‌های پایدار
Journal of Strategies of Engineering Sciences
and Sustainable Systems Management





Investigating Barriers to the Development of Handicrafts and Sustainable Rural Tourism from the Perspective of Rural Women Entrepreneurs (A Case Study of the Villages of Torbat-e Jam and Taybad Counties)

Hasan Giahi^a, Khadije bouzarjomehri^{a*}, Mahdi Kermani^b

^aDepartment of Geography, Faculty of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran.

^bDepartment of Social Sciences, Faculty of Social Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran.

*Corresponding author: Azar@um.ac.ir, <https://orcid.org/0000-0001-6027-1898>

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Handicrafts, as one of the most prominent manifestations of local culture and the rural creative economy, play a fundamental role in strengthening livelihoods, promoting entrepreneurship, and enhancing the social sustainability of local communities. This study aimed to identify the capacities and challenges of rural women's handicrafts and to elucidate their linkage with rural tourism in Torbat-e Jam and Taybad Counties. The study was applied in terms of purpose and qualitative and exploratory in terms of methodology, employing the Strauss and Corbin grounded theory approach. Data were collected through 20 semi-structured interviews with women handicraft producers, experts, and managers in the field of cultural heritage. The data were analyzed using MAXQDA software through three stages of open, axial, and selective coding. The findings resulted in the identification of 329 initial concepts, 24 axial categories, and one core category entitled "Empowering Rural Women through Handicrafts and Rural Tourism." The findings indicated that the major challenges included inadequate marketing and advertising infrastructure, limited financial capital, the absence of adequate support and insurance systems, unequal competition with industrial products, economic instability, cultural constraints, and ineffective legislative policies. In contrast, capacities such as intergenerational indigenous skills, a favorable geographical location, proximity to the Dogharoun border, and location along tourism routes in Razavi Khorasan provide opportunities for developing local entrepreneurial clusters and establishing effective linkages between handicrafts and rural tourism. Based on the findings, developing women's handicraft clusters, establishing cooperative workshops, providing digital marketing training, strengthening local branding, leveraging the potential of religious tourism in Mashhad, and ensuring sustained institutional support can serve as key strategies for the economic and social empowerment of rural women and the achievement of sustainable regional development. Furthermore, strengthening collaboration among local institutions, rural communities, and tourism stakeholders can enhance the effectiveness of these strategies.
Article history: Received: 2026/08/03 Received in revised form: 2026/08/23 Accepted 2026/08/10 Available online: 2026/09/22	
Keywords: Torbat-e Jam and Taybad, Rural development, Rural women entrepreneurs, Handicrafts, Sustainable rural tourism.	

Cite this article: Giahi, H., Bouzarjomehri, K., & Kermani, M. (2026). Investigating barriers to the development of handicrafts and sustainable rural tourism from the perspective of rural women entrepreneurs (A case study of the villages of Torbat-e Jam and Taybad Counties). *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 1-26. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.602045.1046>



© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.602045.1046>

Introduction

Rural handicrafts contribute to cultural heritage preservation, livelihood diversification, women's economic participation, and rural tourism. Their flexible, household-based nature makes handicraft production particularly relevant to rural women. However, Iranian rural handicraft enterprises face several challenges, including weak marketing, limited financial resources, inadequate infrastructure and institutional support, ineffective branding, competition from industrial and imported products, and limited adaptation to changing consumer preferences. Women producers may also encounter additional constraints related to household responsibilities, restricted mobility, weak networks, and limited entrepreneurial and digital skills.

Torbat-e Jam and Taybad counties in Razavi Khorasan Province have rich traditions of weaving and embroidery, with skills transmitted across generations. Their proximity to the Dogharoun border, tourism routes, and Mashhad provides opportunities for connecting handicrafts with tourism. Nevertheless, these cultural and geographical assets do not automatically lead to sustainable economic development. Therefore, this study identifies the major barriers facing rural women handicraft entrepreneurs and examines the causal, contextual, and intervening conditions affecting sustainable handicraft and rural tourism development in the study area.

Method

The study employed a qualitative, exploratory design to understand the experiences, perceptions, constraints, opportunities, and adaptive responses of rural women engaged in handicraft production. Grounded theory, based on the Strauss and Corbin framework, was used to identify relationships among categories and develop an explanatory model of barriers and potential development pathways. The study covered 15 villages across six rural districts in Torbat-e Jam and Taybad counties. The villages contained concentrated household-based handicraft activities, with approximately 6,658 households and more than 24,000 residents. Major activities included fert and textile weaving, carpet weaving, kilim weaving, needlework, crochet, hand embroidery, and coin embroidery. Twenty participants were recruited through purposive and snowball sampling. Most were rural women handicraft producers, complemented by cultural heritage and tourism specialists. In-depth interviews continued until theoretical saturation.

Interview transcripts were analyzed in MAXQDA using open, axial, and selective coding. Open coding generated 329 concepts, which were continuously compared and consolidated into 24 axial categories. Selective coding identified the central category and relationships among causal, contextual, and intervening conditions, strategies, and consequences. Trustworthiness was strengthened through member checking, researcher triangulation, and systematic documentation, consistent with Lincoln and Guba's criteria. The theoretical structure explains how barriers constrain handicraft capabilities and sustainable entrepreneurship.

Results

The analysis generated 329 concepts, 24 axial categories, and the central category "rural artisans as potential entrepreneurs surrounded by actual challenges." This category expresses the core paradox: rural women possess cultural, productive, and entrepreneurial capacities, but these remain partly unrealized within restrictive institutional, economic, social, and infrastructural conditions. Causal conditions included macro-level political, economic, and planning challenges; inadequate branding and information systems; unequal competition between handmade and industrial products; unstable markets associated with declining tourism demand; limited financial resources; insufficient legislative and planning support; and weak institutional implementation. Rising production costs and imported or machine-made products reduced competitiveness and constrained producers' ability to sustain production.

A finding concerned weak marketing, branding, and information systems. Producers often lacked professional packaging, product information, digital promotion, and market-research knowledge. Dependence on traditional sales channels and intermediaries consequently reduced market reach and bargaining power. Contextual conditions included limited awareness of tourism opportunities, inadequate institutional support, underused tourism capacities, and insufficient policy recognition of handicrafts as cultural and economic assets. Intervening conditions included difficulties obtaining raw materials, cultural restrictions on women's economic participation, inadequate production spaces, negative perceptions of household-based work, insufficient professional support, and weak rural physical and cultural infrastructure.

Participants described several strategies for overcoming these constraints: expanding multidimensional institutional support; creating cooperative mechanisms for raw-material procurement and distribution; strengthening producer networks; improving product quality and design; developing digital marketing skills; enhancing branding; and increasing social capital. Cooperative workshops were considered valuable because they could integrate production, training, marketing, networking, and tourism functions. Another priority was distinguishing authentic handmade products from industrial and imported imitations. Emphasizing authenticity, craftsmanship, cultural meaning, provenance, and place-based identity could shift competition from price toward differentiated value.

The consequences of existing conditions included declining interest among younger generations, unstable occupational outcomes, low financial returns, and uncertainty about the future of handicraft occupations. Weak profitability discouraged intergenerational transmission of traditional skills, while intermediary dependence limited producers' share of final market value. Overall, the central problem is not insufficient production capacity but weak connections among capabilities, markets, institutions, infrastructure, tourism, finance, and knowledge networks. Handicraft development is therefore a systemic rather than merely technical challenge.

Conclusions

Rural women in Torbat-e Jam and Taybad have substantial cultural, social, and entrepreneurial potential, but interconnected micro-, meso-, and macro-level barriers limit its conversion into sustainable livelihoods. The findings highlight the need for an integrated, place-based approach. At the micro level, strengthening entrepreneurial, digital, marketing, design, and financial skills is essential, while at the meso and macro levels, stronger cooperatives and producer networks, improved branding and tourism infrastructure, better access to finance and insurance, market regulation, and institutional coordination are required.

The study also highlights the potential of integrating handicrafts with rural tourism. Production workshops can serve as cultural and experiential tourism spaces, while the Dogharoun border, local cultural assets, tourism connections, and proximity to Mashhad provide opportunities for developing handicraft-tourism networks. Overall, sustainable development requires coordinated, gender-responsive, and market-oriented support across the handicraft value chain, enabling handicrafts to contribute to women's entrepreneurship, heritage preservation, and sustainable rural development.



بررسی موانع پیش روی توسعه صنایع دستی و گردشگری پایدار روستایی از دیدگاه زنان کارآفرین روستایی (مورد مطالعه: روستاهای شهرستان های تربت جام و تایباد)

حسن گیاهی^a، خدیجه بوزرجمهری^{a*}، مهدی کرمانی^b

^aگروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، خراسان رضوی، ایران.

^bگروه علوم اجتماعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

*نویسنده مسئول: Azar@um.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	صنایع دستی به عنوان یکی از شاخص ترین نمادهای فرهنگ بومی و اقتصاد خلاق روستایی، نقشی اساسی در تقویت معیشت، توسعه کارآفرینی و پایداری اجتماعی جوامع محلی دارد. این پژوهش با هدف شناسایی ظرفیت ها و چالش های صنایع دستی زنان روستایی و تبیین پیوند آن با گردشگری روستایی در شهرستان های تربت جام و تایباد انجام شده است. پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، کیفی و اکتشافی است که با بهره گیری از رویکرد نظریه زمینه ای استراوس و کربین انجام شد. داده ها از طریق ۲۰ مصاحبه نیمه ساختاریافته با زنان روستایی تولیدکننده، کارشناسان و مدیران حوزه میراث فرهنگی منطقه گردآوری و با نرم افزار MAXQDA و طی سه مرحله کدگذاری باز، محوری و انتخابی تحلیل شد. نتایج پژوهش به استخراج ۳۲۹ مفهوم اولیه، ۲۴ مقوله محوری و یک مقوله مرکزی با عنوان «توانمندسازی زنان روستایی از مسیر صنایع دستی و گردشگری روستایی» انجامید. یافته ها نشان داد مهم ترین چالش های آنان شامل ضعف زیرساخت های بازاریابی و تبلیغات، کمبود سرمایه مالی، نبود نظام حمایتی و بیمه ای، رقابت نابرابر با محصولات صنعتی، بی ثباتی اقتصادی، محدودیت های فرهنگی و ناکارآمدی سیاست های تقنینی است. بر اساس نتایج پژوهش، توسعه خوشه های صنایع دستی زنان، ایجاد کارگاه های تعاونی، آموزش بازاریابی دیجیتال، تقویت برندینگ محلی و حمایت نهادی پایدار می تواند به عنوان راهبردهای کلیدی در توسعه صنایع دستی زنان روستایی جهت تحقق توسعه گردشگری پایدار روستایی منطقه بعنوان کاتالیزور به کار گرفته شود.

استناد به این مقاله: گیاهی، حسن؛ بوزرجمهری، خدیجه و کرمانی، مهدی (۱۴۰۵). بررسی موانع پیش روی توسعه صنایع دستی و گردشگری پایدار روستایی از دیدگاه زنان کارآفرین روستایی (مورد مطالعه: روستاهای شهرستان های تربت جام و تایباد). *راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار*، ۲(۲)، ۱-۲۶.

<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.602045.1046>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.602045.1046>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

روستاهای ایران همواره کانون تولید محصولات متنوع معیشتی و فرهنگی بوده‌اند. در این میان، صنایع دستی به‌عنوان جلوه‌ای از هنر کاربردی و مردمی، نه تنها بازتاب‌دهنده فرهنگ و تاریخ اقوام مختلف ایرانی است، بلکه ظرفیتی مهم برای توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع روستایی محسوب می‌شود. هر محصول دستی، روایت‌گر هویت بومی و فرهنگی محل تولید خود بوده و همین ویژگی آن را به یکی از عناصر کلیدی در توسعه گردشگری فرهنگی بدل کرده است (Yaqubi et al., 2023; Levy & Hawkins, 2010).

با وجود اهمیت بالای صنایع دستی، این بخش در ایران به دلایل مختلف همچون ضعف زیرساخت‌ها، مشکلات بازاریابی، نفوذ کالاهای خارجی و کم‌توجهی سیاست‌گذاران با چالش‌های جدی روبه‌روست (Ashuri, 2004). این وضعیت در حالی است که صنایع دستی در جهان سالانه گردش مالی بالغ بر هزار میلیارد دلار دارد و می‌تواند به‌عنوان یکی از ارکان توسعه پایدار و اشتغال‌زایی در مناطق روستایی مطرح باشد (Rogerson, 2007). در این راستا یکی از ابعاد بسیار مهم صنایع دستی در ایران، نقش‌آفرینی زنان روستایی است. آنان اغلب این مهارت‌ها را به صورت سینه‌به‌سینه فراگرفته‌اند و به دلیل ماهیت انعطاف‌پذیر این فعالیت‌ها، امکان کار در کنار مسئولیت‌های خانوادگی برای زنان فراهم شده است. از این رو، صنایع دستی نه تنها منبع درآمدی مکمل برای خانواده‌ها محسوب می‌شود، بلکه بستری برای کارآفرینی زنان، افزایش اعتمادبه‌نفس، ارتقای جایگاه اجتماعی و کاهش فقر و مهاجرت به شمار می‌رود (Boroumand & Bouzarjomehry, 2026).

بر اساس مطالعات میدانی در روستاهای شهرستان‌های تربت‌جام و تایباد، زنان هنرمند فعال در رشته‌هایی مانند فرت‌بافی (حوله‌بافی / پارچه‌بافی)، قالی‌بافی، رودوزی‌های الحاقی و گلیم‌بافی، ضمن حفظ میراث فرهنگی منطقه، ظرفیت بالایی برای ایجاد خوشه‌های کارآفرینی محلی دارند. موقعیت جغرافیایی ویژه این منطقه، همجواری با مرز دوغارون (بازار بین‌المللی)، قرارگیری در مسیر گردشگری خراسان رضوی و نزدیکی به مشهد به‌عنوان قطب زائرپذیر کشور، فرصت مناسبی برای پیوند صنایع دستی زنان روستایی با گردشگری فرهنگی و بازارهای ملی و فراملی فراهم کرده است. با وجود این ظرفیت‌ها، مشکلات متعددی همچون ناشناخته ماندن صنایع دستی بومی نزد گردشگران، نبود حمایت‌های نهادی مؤثر، فقدان برنامه‌های بازاریابی نوین، ورود کالاهای قاچاق و کم‌توجهی به آموزش‌های کارآفرینانه، مانع از شکوفایی کامل صنایع دستی در منطقه شده است. این شرایط باعث شده که پیوند میان صنایع دستی زنان روستایی و توسعه گردشگری به‌خوبی برقرار نشود و فرصت‌های اشتغال و توانمندسازی از دست برود.

در چنین بستری، توجه به توانمندسازی زنان روستایی از طریق صنایع دستی و گردشگری ضرورتی دوجانبه می‌شود. صنایع دستی می‌تواند با تکیه بر سرمایه‌های فرهنگی، مهارت‌های بومی و نیروی کار زنان، زمینه‌ساز ایجاد کسب‌وکارهای کوچک و خانگی پایدار، تنوع‌بخشی به معیشت، کاهش مهاجرت، ارتقای کیفیت زندگی و در نهایت توسعه پایدار روستایی شود. بنابراین، بررسی علمی ظرفیت‌ها و چالش‌های صنایع دستی زنان در تربت‌جام و تایباد و ارائه راهکارهایی برای تقویت پیوند آن با گردشگری روستایی پایدار، می‌تواند نقشی کلیدی در تحقق اهداف کارآفرینی زنان و توانمندسازی آنان ایفا نماید.

مبانی نظری

۱. صنایع دستی و توسعه روستایی

صنایع دستی را می‌توان یکی از قدیمی‌ترین اشکال تولید فرهنگی و اقتصادی در تاریخ جوامع انسانی دانست؛ فعالیتی که در آن مهارت‌های دستی، خلاقیت، تجربه زیسته و دانش بومی تولیدکننده در فرایند آفرینش یک محصول مادی با یکدیگر تلفیق می‌شوند (Pop et al., 2003). صنایع دستی مهارتی است که به واسطه توانایی‌های هنرمند و صنعتگر

شکل می‌گیرد و از رهگذر فرایند آفرینش دستی، صورت و هویتی تازه می‌یابد. از این منظر، صنایع دستی صرفاً نوعی فعالیت تولیدی یا اقتصادی نیست، بلکه عرصه‌ای برای بازتولید و انتقال دانش، مهارت، ارزش‌ها و نمادهای فرهنگی در بسترهای اجتماعی و مکانی است.

در ادبیات برنامه‌ریزی توسعه، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مفهوم صنایع روستایی، به‌ویژه صنایع دستی طی چند دهه اخیر جایگاه قابل‌توجهی یافته است. کشورهایی همچون چین، هند، مالزی و مصر، صنایع کوچک و صنایع دستی را به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم برای مقابله با بیکاری، کاهش فقر، ایجاد فرصت‌های اشتغال و افزایش درآمد خانوارهای روستایی مورد توجه قرار داده‌اند بویژه از دهه ۱۹۵۰ به بعد، افزایش بیکاری و گسترش فقر موجب شد بسیاری از کشورهای در حال توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های گسترده‌ای را برای تقویت این بخش در پیش گیرند (Divsalar, 2016).

در ایران به‌ویژه پس از انقلاب اسلامی، صنایع دستی روستایی به‌تدریج در سیاست‌های توسعه روستایی مورد توجه بیشتری قرار گرفت. وزارت جهاد سازندگی، در چارچوب سیاست‌های توسعه روستایی، توسعه صنایع دستی را با اهدافی از جمله کمک به توسعه پایدار روستاها، ارتقای شرایط اقتصادی و اجتماعی روستائینان، تولید بخشی از کالاهای مورد نیاز کشور و تقویت صادرات غیرنفتی دنبال کرده است (Golmohammadi, 2010). به این دلیل که صنایع دستی را پیوندی دوسویه با توسعه روستایی در نظر گرفت؛ از یک سو، ظرفیت ایجاد اشتغال، درآمدزایی و تنوع بخشی به اقتصاد محلی را دارند و از سوی دیگر، می‌توانند به حفظ و بازتولید میراث فرهنگی و دانش بومی جوامع روستایی کمک کنند؛ زیرا هنرهای بومی و صنایع دستی، حامل بخشی از نگرش‌های معنوی، باورها، ارزش‌ها، تجربه‌های تاریخی و ویژگی‌های قومی و جغرافیایی گروه‌های مختلف اجتماعی هستند و از این رهگذر می‌توانند به‌مثابه گونه‌ای از کالای فرهنگی، معرف هویت و فرهنگ سرزمین باشند (Majidi, 2017).

با وجود ظرفیت‌های فرهنگی و اقتصادی صنایع دستی، توسعه بازار این محصولات در ایران همچنان با مجموعه‌ای از محدودیت‌های ساختاری و مدیریتی مواجه است. افزایش درآمد سرانه، رشد جمعیت، توسعه مسکن و افزایش سطح زیربنای آن، گسترش تبلیغات و ترویج صنایع دستی به‌عنوان کالای ملی و فرهنگی و توسعه صادرات (Esmaceli & Habibi, 2017)، معرفی و ترویج محصولات با روش‌های نوین تبلیغاتی، بهره‌گیری از فناوری‌های جدید در فرایند تولید بدون تضعیف اصالت فرهنگی، حمایت از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، ایجاد بازارچه‌های تخصصی، تدوین سیاست‌های مؤثر فروش و صادرات و حضور هدفمند در نمایشگاه‌های داخلی و بین‌المللی است از جمله عوامل مؤثر بر گسترش بازار داخلی و خارجی صنایع دستی ایران به شمار می‌روند (Boroumand & Bouzarjomehry, 2026).

۲. صنایع دستی زنان و گردشگری پایدار روستایی

توسعه پایدار روستایی به عنوان فرایند تغییرات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در محیط روستا، شامل بهبود بازدهی و افزایش اشتغال و درآمد روستائیان، تامین حداقل قابل قبول سطح تغذیه، مسکن، آموزش و پرورش و بهداشت می‌باشد و گرچه روستا و زندگی روستایی با فعالیت‌های کشاورزی عجین شده و نقش اصلی را در فعالیت‌های توسعه روستایی دارد، اما در دهه‌های اخیر نقش فعالیت‌های اشتغال‌زا موسوم به فعالیت‌های خارج از مزرعه از جمله صنایع دستی به عنوان فرصت‌های تکمیلی اشتغال تولید و افزایش درآمد خانوارهای روستایی مورد توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان توسعه قرار گرفته است (Fallah-Tabar, 2018).

در اکثر نواحی روستایی کشور، زنان به کارهای دستی چون گلیم بافی، حصیربافی، سوزن‌دوزی یا دیگر صنایع دستی بومی هر منطقه می‌پردازند که فروش آنها درآمدی را برای خانوار و جامعه روستایی به ارمغان می‌آورد. نقش زنان روستایی در بسیاری از مشاغل به‌ویژه صنایع دستی ظریف و زنانبر، کاملاً آشکار شده است که با تولید و ایجاد درآمد

و اشتغالزایی، نقش مهمی در توسعه روستایی پایدار ایفا می‌کنند. به گفته مایکل تودار، راه حل نهایی مساله بیکاری و مشکلات شهری در بهبود محیط روستایی نهفته است و ریشه عقب ماندگی و نابرابری‌های کشورها ناشی از بیکاری فزاینده مناطق روستایی است (Todaro, 1987).

گردشگری پایدار حاصل تلاش در دستیابی به توسعه پایدار در تمام زمینه‌هاست. اجلاس زمین در سال ۱۹۹۲ در ریو دوژانیرو، دولت‌ها را به سمت توسعه‌ای سوق داد که حداقل زیان و لطمه را به محیط زیست وارد سازد. گردشگری پایدار نیز جزو توافقات حاصل در دستور کار اجلاس ۲۱ قرار گرفت و هدف اصلی در بسط معنایی گردشگری پایدار، ارائه رو‌های منطقی در بهره‌گیری از منابع طبیعی و انسانی و ممانعت از به کارگیری غیرعلمی این منابع است (Divsalar, 2016). زیرا بر اساس تعریف، گردشگری پایدار عبارت است از کلیه فرم‌های توسعه گردشگری شامل مدیریت و فعالیت‌های حفظ و احیای منابع طبیعی، تمامیت اجتماعی، اقتصادی و رفاه جامعه، حفظ و تداوم ساختمان‌ها و منابع فرهنگی جامعه (Darban & astaneh, 2016).

بنابراین توسعه گردشگری پایدار روستایی دارای چهار بعد اساسی اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و اکولوژیکی است و از بعد پایداری، هیچ گونه رقابتی با یکدیگر نداشته و تمام این ابعاد به یک اندازه دارای اهمیت هستند. امروزه گردشگری روستایی یکی از مردمی‌ترین اشکال گردشگری محسوب می‌شود و عبارت است از فعالیت‌ها و گونه‌های مختلف گردشگری در محیط‌های روستایی و پیرامون آنها که در بردارنده آثاری (مثبت / منفی) برای محیط زیست روستا (انسان / طبیعی) می‌باشد، بدیهی است این چنین برداشتی از گردشگری روستایی می‌تواند زمینه‌های مختلف فعالیت‌های گردشگری چون سکونتگاه‌ها، رویدادها، جشنواره‌ها، ورزش‌ها و تفریحات گوناگون را در برگیرد که در محیط روستا شکل می‌گیرند (Darban & astaneh, 2016). همچنین گردشگری روستایی می‌تواند به عنوان یک ابزار برای تولید اشتغال و توسعه اقتصادی در مناطق روستایی امیدهایی را برای کاهش فقر فراهم آورد (Mir Katouli, 2011). کارآفرینی گردشگری روستایی از طریق نفوذ و تأثیر بر کلیه جوانب زندگی روستایی، آنها را چه از نظر اقتصادی و چه از نظر فرهنگی - اجتماعی به رشد می‌رساند. گردشگری روستایی در واقع شکلی از مشارکت همه اقشار جامعه روستایی در فرایند توسعه است چرا که با ورود گردشگر به یک منطقه تمامی افراد ناخودآگاه در مسیر توسعه قرار می‌گیرند؛ از جمله زنان روستایی با عرضه صنایع دستی به گردشگران می‌توانند نقش مهمی در معرفی تولیدات بومی، کسب درآمد و رونق اقتصادی خانوارها و جامعه روستایی ایفا نمایند. در واقع به گفته شارپلی، توسعه گردشگری پایدار به عنوان کاتالیزوری مؤثر در توسعه اجتماعی - اقتصادی و زیست محیطی روستاها و احیاء آنها تلقی شود (Moradi, 2024; Soltani, 2013).

پیشینه پژوهش

در زمینه پیشینه صنایع دستی زنان و توسعه پایدار گردشگری روستایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: Zarandian (2024) در پژوهشی کیفی با رویکرد تحلیل مضمون، شبکه مضامین اشتغال زنان در صنایع دستی روستایی را شناسایی کرد. نتایج این مطالعه شامل ۷۱ کد باز، ۳۱ مضمون پایه، ۱۲ مضمون سازمان‌دهنده و سه مضمون فراگیر بود: ظرفیت‌های اشتغال در صنایع دستی زنان، موانع اشتغال زنان (از جمله موانع اجتماعی، خانوادگی، دولتی، بازار و مهارتی) و پیشنهادهایی جهت ارتقای اشتغال زنان در صنایع دستی (در سطوح کلان، کسب‌وکار و فردی) ارائه کرده است. این یافته‌ها می‌تواند به عنوان مبنایی برای سیاست‌گذاری کارآمدتر در زمینه اشتغال زنان روستایی به کار رود. Arabghani et al. (2020) در پژوهشی با عنوان «تحلیل توانمندسازی زنان روستایی در تولید مصنوعات صنایع دستی؛ مطالعه موردی دهستان عشق‌آباد نیشابور» تأکید می‌کند که مشارکت فعال زنان روستایی در تولید صنایع دستی نه تنها یک فعالیت اقتصادی، بلکه عاملی کلیدی برای توسعه محلی و دستیابی به توسعه همه‌جانبه است.

یافته‌های وی نشان داد که توانمندسازی زنان در این بخش نیازمند شناسایی دقیق مشکلات، عوامل مؤثر و ارائه راهبردهای محلی است.

Fallah-Tabar (2018) در مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی نقش زنان روستایی در صنایع دستی و ارتقای توسعه پایدار روستایی؛ مطالعه موردی جوادآباد ورامین» نشان داد که صنایع دستی نه تنها در اقتصاد محلی نقش بسزایی دارد، بلکه در ارتقای پایدار روستایی نیز اثرگذار است. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از آزمون تی استیودنت و نمونه‌گیری ۱۳۰ زن روستایی، بیانگر آن بود که زنان شاغل در صنایع دستی سهم بیشتری در بهبود شاخص‌های توسعه پایدار داشته‌اند. Bouzarjomehri & Eslamfard (2017) در مطالعه‌ای درباره قالی و گبه زرین‌دشت دریافتند که کاهش درآمد، بی‌برنامگی نهادی و ضعف هماهنگی سازمانی موجب افول جایگاه این صنایع شده و زنان قالیباف برای امرار معاش به مشاغل دیگر روی آورده‌اند.

Ramezanzadeh lasboyee & Zaal (2016) در پژوهش خود درباره استان مازندران نشان دادند که کیفیت عرضه، جذابیت فرهنگی و بازاریابی ضعیف صنایع دستی مهم‌ترین چالش‌ها در پیوند صنایع دستی و گردشگری هستند. در سطح بین‌المللی، Parnwell (2018) در مقاله‌ای با عنوان «گردشگری و صنایع دستی روستایی در تایلند» نشان داد که بخش قابل توجهی از هزینه گردشگران صرف خرید صنایع دستی می‌شود و این امر بیانگر ظرفیت بالای صنایع دستی در توسعه روستایی است.

Hassan et al (2017) در مقاله‌ای با عنوان «حفاظت از صنایع دستی مالزی برای حمایت از توسعه گردشگری» نشان داد که، صنعت صنایع دستی در مالزی تحت تأثیر زنان است که در مناطق روستایی زندگی می‌کنند. این تحقیق به سهم کارآفرینان صنعت صنایع دستی برای توسعه جاذبه‌های گردشگری در مالزی می‌پردازد و توضیح می‌دهد که به جای اتکای صرف به ابتکار دولت‌ها، توسعه صنعت صنایع دستی می‌تواند توسط کارآفرینان هدایت شود.

Gough & Rigg (2012) در مقاله‌ای با عنوان «صنایع دستی روستایی در تایلند و ویتنام» به بررسی نقش و جایگزینی صنایع دستی در روند توسعه روستایی معاصر می‌پردازند و به این نتیجه رسیدند که صنایع دستی روستایی تحت فشار فرآیندهای جهانی‌شدن تغییر کرده اما همچنان به عنوان منبع مهمی برای معیشت پایدار، حفظ هویت محلی و جلوگیری از مهاجرت ایفای نقش می‌کند.

Shariati & shafiei (2018) بر لزوم ایجاد پایگاه داده جامع صنایع دستی برای ارتقای عملکرد این بخش تأکید کرده و آن را لازمه مشارکت بهتر صنایع دستی در گردشگری دانسته است.

لذا با مطالعاتی که تاکنون انجام گرفته مشخص شد که در منطقه مورد مطالعه پژوهشی در حوزه صنایع دستی زنان و نقش آن در توسعه گردشگری پایدار روستایی، به شیوه کیفی انجام نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی گردید صنایع دستی بومی که توسط زنان روستایی تولید می‌شود به تفکیک روستاهای مورد مطالعه، به شیوه اکتشافی و با روش تحلیل بنیانی مورد شناسایی قرار گیرد و ظرفیت‌ها و چالش‌های آن‌ها جهت توسعه گردشگری پایدار توصیف و تحلیل شود و برای ارتقاء ظرفیت‌ها و کاهش چالش‌های موجود راهکارهایی ارائه گردد.

روش‌شناسی پژوهش

با توجه به هدف پژوهش حاضر که بررسی علمی ظرفیت‌ها و چالش‌های صنایع دستی زنان در شهرستان‌های تربت‌جام و تایباد و ارائه راهکارهایی برای تقویت پیوند آن با گردشگری فرهنگی است، لذا مطالعه حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر ماهیت و روش، کیفی و اکتشافی به شمار می‌آید. جامعه آماری تحقیق شامل زنان فعال حوزه صنایع دستی، روستاهای شهرستان‌های مورد مطالعه بوده است. به منظور انتخاب مشارکت‌کنندگان، از نمونه‌گیری هدفمند و روش

گلوله‌برفی استفاده شد تا افرادی که بیشترین آگاهی و تجربه را در زمینه صنایع دستی و گردشگری دارند، وارد پژوهش شوند. و با مصاحبه نیمه ساختار یافته با ۲۰ نفر از زنان فعال در صنایع دستی روستایی به اشباع نظری دست یافتیم. با توجه به نوع تحقیق (کیفی) از رویکرد استراوس و کربین به جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها از طریق تحلیل محتوایی مورد واکاوی قرار گرفتند. به این صورت که مصاحبه‌ها به متن تبدیل شد و با ورود به نرم‌افزار MAXQDA و با استفاده از روش نظریه زمینه‌ای کدگذاری (باز، محوری و انتخابی) بر روی داده‌های خام صورت پذیرفته و متن مصاحبه‌ها تحلیل و بررسی شد. در نهایت در فرایند تجزیه و تحلیل داده‌ها ۳۲۹ مفهوم اولیه، ۲۴ مقوله محوری و یک مفهوم مرکزی حاصل شد. در نهایت یک نظریه از روابط بین مقوله‌های حاصل از مراحل قبلی، استخراج و یک روایت نظری برای پدیده ارائه گردید. در پایان این مرحله تلاش گردید مدل چالش‌ها و ظرفیت‌های صنایع دستی مرتبط با گردشگری روستایی استخراج شود.

لازم به ذکر است برای اطمینان از اعتبار و روایی کیفی پژوهش، از معیارهای لینکلن و گوبا شامل اعتبار درونی^۱، قابلیت انتقال^۲، اطمینان‌پذیری^۳ و تأییدپذیری^۴ استفاده شد. به همین منظور:

- یافته‌ها با مشارکت کنندگان (بازبینی اعضا) بازنگری شد،
 - تحلیل داده‌ها توسط پژوهشگران همکار تطبیق داده شد (کنترل هم‌پژوهشگر)،
 - و مستندسازی دقیق مراحل تحقیق صورت گرفت.
- در نهایت یک نظریه از روابط بین مقوله‌های حاصل از مراحل قبلی، استخراج و یک روایت نظری برای پدیده ارائه گردید و در پایان مدل چالش‌ها و ظرفیت‌های صنایع دستی مرتبط با گردشگری روستایی استخراج شد.

محدوده مورد مطالعه

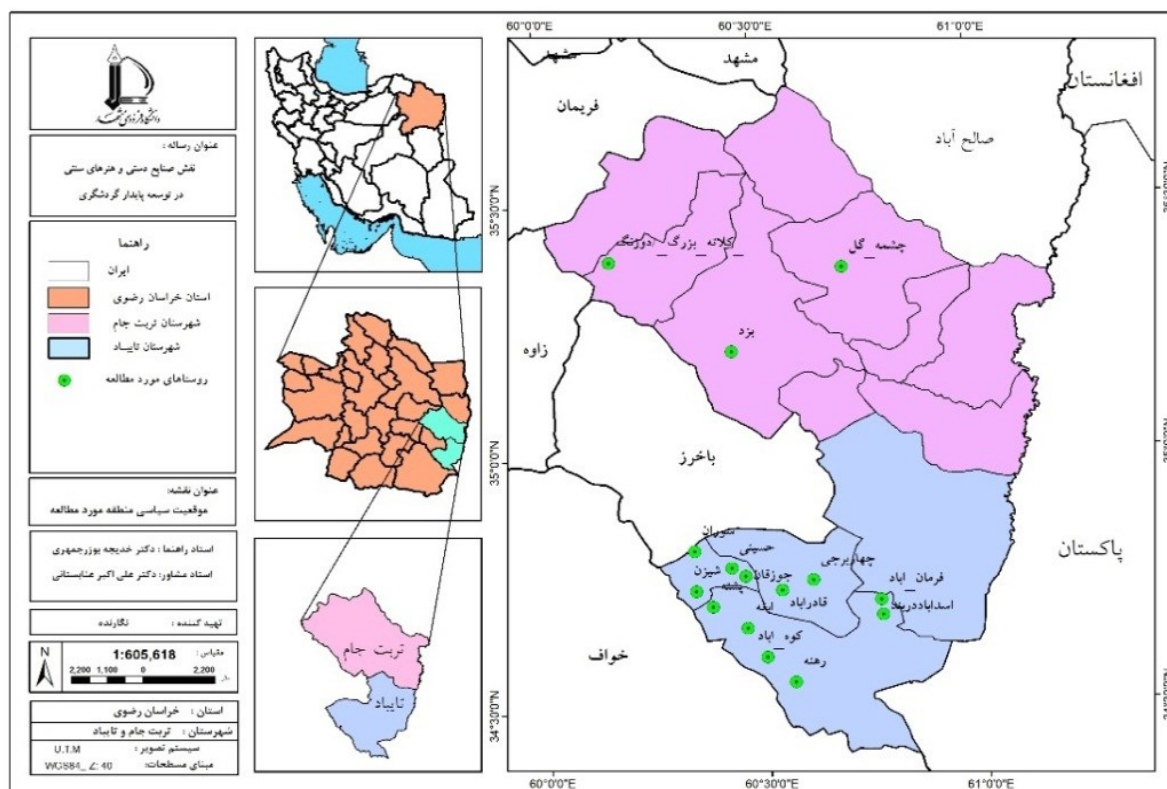
محدوده مورد مطالعه تحقیق شامل پانزده روستا از دو شهرستان تایباد و تربت جام در استان خراسان رضوی است، که دارای بیش‌ترین کارگاه صنایع دستی است. که در این مطالعه توان صنایع دستی آن‌ها را در جذب گردشگر روستایی مورد ارزیابی و تحلیل قراردهیم. این پانزده روستا (شکل ۱) در پنج دهستان با مجموع جمعیتی بالغ بر ۲۴ هزار نفر را تشکیل می‌دهند. برخی از این روستاها به عنوان روستاهای هدف گردشگری از سوی سازمان میراث فرهنگی انتخاب شدند. روستاهای مورد مطالعه طیف متنوعی از صنایع دستی عمدتاً شامل رشته‌های فرت‌بافی (انواع و اقسام پارچه فرت) قالی‌بافی، رودوزی‌های الحاقی (سوزن‌دوزی، قلاب‌بافی، گلدوزی دستی و سکه‌دوزی) گلیم‌بافی و به صورت خیلی محدود نمد مالی، تنور مالی و... را شامل می‌شوند که به صورت کارگاهی و یا خانگی مشغول به فعالیت هستند.

¹ Credibility

² Transferability

³ Dependability

⁴ Confirmability



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

Figure 1. Study area

یافته‌ها و بحث

در ابتدا مشخصات مصاحبه شوندگان در جدول ۱ آمده است. طبق جدول اکثر مصاحبه شوندگان دارای سطح تحصیلی دیپلم بودند و رشته فعالیت هنری آن‌ها پارچه بافی می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات مصاحبه شوندگان (تولیدکنندگان صنایع دستی)

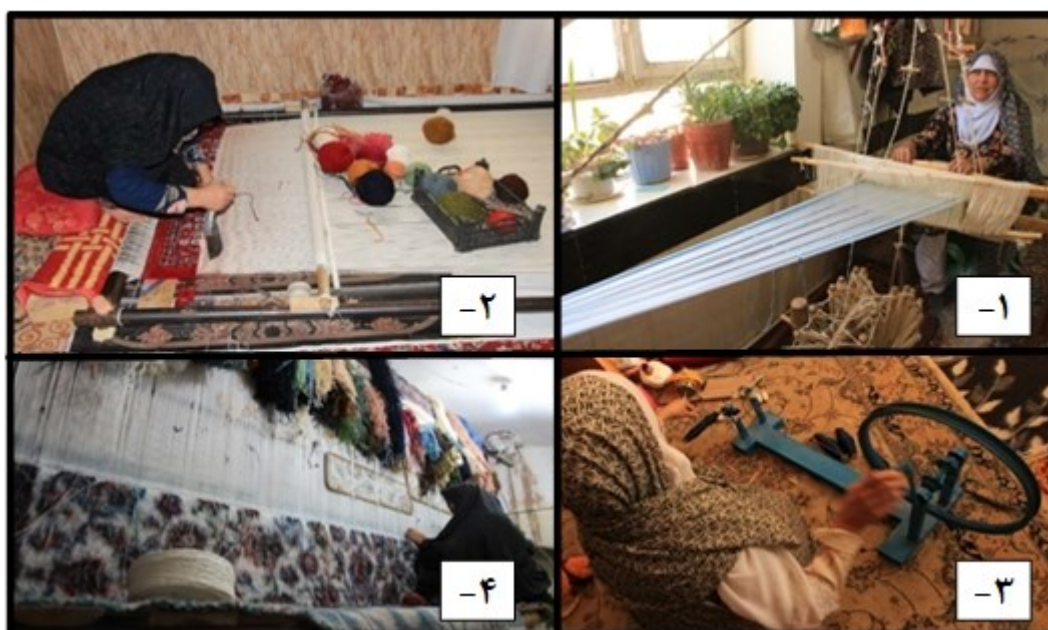
Table 1. Characteristics of interviewees (handicraft producers)

شماره	مدرک تحصیلی	روستای محل زندگی	رشته فعالیت هنری
۱	دیپلم	بزد	پارچه بافی
۲	سیکل	شیزن	پارچه بافی
۳	لیسانس	بزد	پارچه بافی
۴	دیپلم	قادرآباد	پارچه بافی
۵	سیکل	چشمه گل	قالی بافی
۶	دیپلم	سوران	پارچه بافی
۷	دیپلم	حسینی	گلیم بافی
۸	بیسواد	کوه آباد	پارچه بافی
۹	فوق دیپلم	چهاربرجی	پارچه بافی
۱۰	سیکل	بزد	رو دوزی‌های الحاقی
۱۱	بیسواد	رهنه	پارچه بافی
۱۲	ابتدایی	رهنه	قالی بافی
۱۳	سیکل	کلاته بزرگ	گلیم بافی

۱۴	دیپلم	پشته	پارچه بافی
۱۵	لیسانس	آبقه	پارچه بافی
۱۶	ابتدایی	چشمه گل	قالی بافی
۱۷	فوق دیپلم	کلاته بزرگ	رو دوزی های الحاقی
۱۸	خواندن و نوشتن	پشته	پارچه بافی
۱۹	خواندن و نوشتن	فرمان آباد	پارچه بافی
۲۰	بیسواد	بزد	پارچه بافی

مأخذ: یافته‌های میدانی، ۱۴۰۴

تولیدکنندگان روستایی علی‌رغم برخورداری از مهارت‌ها و ظرفیت‌های ارزشمند، در شرایطی نابرابر نسبت به تولیدکنندگان شهری فعالیت می‌کنند. ضعف زیرساخت‌ها، محدود بودن امکانات رفاهی، نداشتن ارتباطات اجتماعی گسترده و دشواری دسترسی به بازار از جمله موانع ساختاری هستند که این تولیدکنندگان با آن مواجه‌اند. بخش عمده توانمندی‌های آنان ریشه در انتقال نسلی مهارت‌های سنتی دارد، اما موانع موجود مانع از شکوفایی کامل این قابلیت‌ها شده و در بسیاری موارد قدرت چالش‌ها بر توانمندی‌ها غلبه یافته است. در شکل ۲ تصاویر مهم‌ترین صنایع دستی فعال منطقه که توسط زنان روستایی تولید می‌شود، آمده است.



شکل ۲. تصویر ۱: کارگاه فرت بافی / روستای پشته؛ تصویر ۲: کارگاه قالی بافی / روستای چشمه گل؛ تصویر ۳: کارگاه

فرت بافی (نخ ریزی) / روستای فرمان آباد؛ تصویر ۴: کارگاه قالی بافی / روستای بزد

Figure 2. Image 1: Fart-weaving workshop / Poshteh Village; Image 2: Carpet-weaving workshop / Cheshmeh Gol Village; Image 3: Fart-weaving (yarn spinning) workshop / Farman-Abad Village; Image 4: Carpet-weaving workshop / Bozd Village.

جهت دستیابی عمیق به مشکلات و معضلات پیش روی توسعه صنایع دستی و گردشگری روستایی اقدام به انجام مصاحبه با زنان تولیدکننده صنایع دستی تا حد اشباع نظری و تحلیل یافته‌ها به کمک نرم‌افزار مکس کیودا شد. خروجی نرم‌افزار در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. مدل مفهومی نتایج کیفی با نرم افزار مکس کیودا (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴)

Figure 3. Conceptual model of qualitative results using MAXQDA software (Research findings, 2025)

هم‌چنین مهم‌ترین نتایج حاصل تحقیقات کیفی بدست آمده پژوهش در خصوص چالش‌های زنان روستایی کارآفرین و فعال در حوزه صنایع دستی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده‌است.

جدول ۲. خلاصه نتایج کدگذاری مقوله مرکزی، مقولات عمده محوری و گزیده‌ای از مقولات فرعی

Table 2. Summary of coding results: central category, major axial categories, and selected subcategories

مقوله مرکزی	مقولات عمده (محوری)	گزیده‌ای از مقولات فرعی
صنعتگران روستایی کارآفرینان بالقوه در محاصره چالش‌های بالفعل	چالش‌های سیاسی، اقتصادی و برنامه‌ریزی کلان	کم توجهی به پتانسیل‌های منطقه طبیعی و جغرافیایی اقتصاد تک بعدی تحریم‌های بین‌المللی
	فقدان برندینگ و نظام اطلاع‌رسانی جهت مبادله یا عرضه تولیدات	نازل بودن عرصه‌های نمایش و فروش تولیدات عدم برنامه‌ریزی پیرامون ایجاد بازارچه‌های محلی
	رقابت نابرابر تولیدات دستی با صنعتی	فقدان مرکز اطلاع‌رسانی گردشگری عدم معرفی صنایع دستی روستاهای منطقه در نقشه‌ها و بروشورها
	نابسامانی بازار فروش ناشی از تقلیل حضور گردشگران	عدم توانایی رقابت تولیدات داخل با نمونه‌های وارداتی قیاس نادرست صنایع دستی با تولید صنعتی ضعف توان اقتصادی و کاهش قدرت خرید عموم مردم کاهش بازدیدهای گردشگران از مناطق گردشگری
	عدم تقویت بنیان‌های مالی مؤثر بر رونق تولید	سرمایه مالی بن‌مایه اصلی در فرایند تولید پایین بودن توان اقتصادی تولیدکنندگان دشواری دسترسی به اعتبارات مالی

فقدان نظام برنامه ریزی و تقنینی پشتیبان صنایع روستایی	عدم برنامه ریزی جامع و همه جانبه	لزوم بازنگری در سیاست های اجرایی
اهمال کاری در سیاست های اجرایی و مدیریتی	تاثیرپذیری نامطلوب از چالش های سیاسی	عدم نگاه سیستمی و یکپارچه میان مدیران و فعالان این حوزه
فقدان درونی سازی قواعد حوزه گردشگری	ناآشنایی با موازین گردشگری	عدم وجود دانش نظری کافی (عدم پیوند تجربه و دانش هنری و نظری)
عدم حمایت سازمان های متولی از تولید کنندگان	حمایت مقطعی و ناپایدار متولیان از تولید کنندگان	عدم ثبت هنرمندان پیشکسوت در فهرست حاملان میراث ناملموس
ظرفیت های متعدد حوزه گردشگری در سایه فراموشی	ناکافی بودن کنش های فراملی در زمینه صنایع دستی	توجه/عدم توجه به جنبه های کارکردی آثار تاریخی
فعالیت های هنری عنصری اثربخش ولی مغفول مانده در سطح کلان	اثربخشی هنرهای دستی بر اشاعه فرهنگی	مغفول ماندن عمده ظرفیت ها و جاذبه های گردشگری
دشواری دسترسی به مواد اولیه تولید	عدم وجود تشکلهای تعاونی برای تهیه و توزیع مواد اولیه	آثار هنری نمودی ملموس از فرهنگ و سنت جوامع
محدودیت های فرهنگی برای فعالیت های زنان روستایی	ملاحظات فرهنگی متعصبانه	اثربخشی صنایع دستی بر اقتصاد محلی
فقدان بسترهای فیزیکی مطلوب در تولید کارگاهی	غیراستاندارد بودن فضاهای کارگاهی	فرسودگی کارگاه های سنتی
سوگیری و ارزش نگاری نامطلوب نسبت به اهمیت تولیدات خانگی	عدم تعریف جایگاه حقوقی برای صنایع خانگی	عدم ارزش گذاری برای کار هنری
عدم دریافت حمایت های فکری در پشتیبانی فرایند تولید	نازل بودن دانش شناختی تولید کنندگان	غلبه نگاه ارزشی نامطلوب به صنایع دستی
فقدان زیرساخت های فیزیکی و فرهنگی در مناطق روستایی	نوگرایی و از بین رفتن تدریجی جاذبه های فرهنگی	اختلالات زیرساختی و فیزیکی در مناطق روستایی
لزوم گستردگی حمایت های چندجانبه از تولید کنندگان	دریافت های حمایتی بستری انگیزه بخش برای تولید کننده	ورود سهل الوصول کالاهای قاچاق از درگاه های مرزی
تلاش مضاعف تولید کنندگان برای رقابت با کالاهای وارداتی	فقدان روزآمدی و کارآمدی در دانش و مهارت	درجه کیفیت تولیدات بومی دستخوش تنزل
تقویت سرمایه اجتماعی تولید کنندگان تسهیلگر فرایند فروش	ناآگاهی نسبت به ذائقه گردشگران خارجی	فقدان برگزاری دوره های آموزشی
کم رغبتی نسل جوان به فعالیت های خانگی و هنری	عدم تمایل نسل جدید به فعالیت کارگاهی	محدود بودن دایره ارتباطاتی قاطبه تولید کنندگان
حصول دستاوردهای فردی و شغلی ناپایدار	صنایع خانگی مؤثر بر رشد و ارتقای فردی	فرسایش جسمی حاصل از اشتغال
ملموس نبودن عایدی مالی برای تولید کنندگان بومی	تاثیرپذیری شدید مواد اولیه صنایع دستی از تحولات بازار	اختلالات نقشی در زندگی حرفه ای شاغلان صنایع خانگی
عدم اطمینان تولید کننده از آینده شغلی	فقدان چشم اندازهای شغلی	

مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴.

در ادامه به تمام مقوله‌های ارائه شده در جدول ۲ به تفصیل پرداخته می‌شود.

شرایط علی

مهم‌ترین شرایط مؤثر بر تضعیف کارآفرینی روستایی به ضعف نظام اطلاع‌رسانی و تبلیغات، رقابت شدید تولیدات صنعتی مشابه، کاهش قدرت خرید مشتریان، و سوءمدیریت دستگاه‌های متولی بازمی‌گردد. این عوامل به شکل مستقیم بر پایداری فعالیت اقتصادی زنان روستایی اثر گذاشته‌اند.

چالش‌های سیاسی، اقتصادی و برنامه‌ریزی کلان

بی‌ثباتی سیاسی و اقتصادی، تحریم‌های بین‌المللی و وابستگی ساختار اقتصادی به نفت، موجب کاهش سطح تولید و فروش صنایع دستی و تهدید فرصت‌های شغلی خرد شده است. سیاست‌گذاری‌های کلان اغلب بدون توجه به ظرفیت‌های محلی و اصول شایسته‌گزینی در مدیریت صورت گرفته و همین امر مانع توسعه پایدار کسب‌وکارهای روستایی گردیده است. روایت‌های مصاحبه‌شوندگان نشانگر شدت این چالش‌هاست. یکی از تولیدکنندگان (شماره ۳) بیان می‌کند: «به دلیل افزایش قیمت ارز، فروشندگان دیگر مواد اولیه را نسبه نمی‌دهند و ما مجبوریم همه چیز را نقد بخریم». یک زن تولیدکننده دیگر (شماره ۱) توضیح می‌دهد: «در سال ۹۶ حدود ۸۰۰ حوله تولید کردم اما دو سال بعد این عدد به ۴۰۰ رسید. هم گرانی مواد اولیه، هم کاهش قدرت خرید مردم و هم ندادن نسبه باعث شده که چهار برابر ضرر کنم». تولیدکننده دیگری (شماره ۵) به تعطیلی کارگاه‌های قالی‌بافی روستا اشاره کرده و می‌گوید: «قبلاً برای خودمان تولید و فروش داشتیم، اما حالا مجبوریم دستمزدی و با حقوق بسیار پایین کار کنیم». یکی دیگر (شماره ۱۹) از محدودیت فضای مسکونی برای تولید گلایه کرده و افزود: «اگر یک اتاق جدا داشتیم می‌توانستیم هر زمان که بخواهم ببافم، اما الان همیشه در تنگنا هستیم».

نمونه‌های دیگر نشان‌دهنده موانع بازاریابی و نوآوری هستند. مصاحبه‌شونده شماره ۱۵ می‌گوید: «در نمایشگاه‌ها برخی تولیدکنندگان نمی‌توانند درباره کارشان با مشتری صحبت کنند و همین مانع فروش می‌شود». به گفته مصاحبه‌شونده شماره ۱، «امروزه نرم‌افزارها می‌توانند در طراحی و خلاقیت کمک کنند اما تولیدکنندگان منطقه با طراحی صنعتی آشنا نیستند و تکرار طرح‌های قدیمی پاسخگوی بازار نیست». مصاحبه‌شونده شماره ۶ نیز بر لزوم تنوع و به‌روزرسانی طرح‌ها متناسب با سلیق جامعه امروز تأکید می‌کند. همچنین، مصاحبه‌شونده شماره ۴ از ناسازگاری طرح‌های هادی روستایی با اهداف گردشگری و بی‌توجهی نهادهای مسئول گلایه داشته و آن را عامل تخریب بافت‌های تاریخی و کاهش بسترهای تولید صنایع دستی می‌داند.

فقدان برندینگ و نظام اطلاع‌رسانی

یکی از چالش‌های کلیدی تولیدکنندگان روستایی، به‌ویژه زنان فعال در صنایع دستی، نبود سازوکارهای کارآمد تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی است. یافته‌ها نشان می‌دهد که برندسازی و بسته‌بندی مناسب، تولید محتوای تبلیغاتی چندزبانه، و استفاده از رسانه‌های محلی و ملی تقریباً در این حوزه مغفول مانده است. به گفته یک مصاحبه‌شونده (شماره ۲): «تولیدات آن‌ها اکثراً فاقد بسته‌بندی و درج مشخصات است... شایسته است تولیدکنندگان به‌ویژه جوانان، این ضرورت را درک کنند تا زمینه فروش بیش‌تر محصولات فراهم شود». همچنین مصاحبه‌شونده شماره ۱ تأکید می‌کند: «لازم است علاوه بر تولید محتوا به زبان فارسی برای بازار داخل، محتوای غنی به زبان انگلیسی نیز عرضه شود تا دنیا با ارزش‌های فرهنگی ما بیشتر آشنا گردد». در همین راستا، مصاحبه‌شوندگان دیگر بر نقش نمایشگاه‌های ادواری، فضاهای عمومی برای عرضه تولیدات، رسانه‌های محلی و آموزش بازاریابی تأکید کرده‌اند. با این حال، چالش‌هایی نظیر «عادت به شیوه‌های سنتی فروش»، «نبود بسته‌بندی استاندارد» و «ضعف در تولید محتوای رسانه‌ای» همچنان به‌عنوان موانعی جدی باقی مانده‌اند.

رقابت نابرابر تولیدات دستی با محصولات صنعتی

یکی دیگر از موانع جدی، هجوم تولیدات شبه صنایع دستی وارداتی (خصوصاً از چین) است که با قیمت پایین و ظاهر مشابه، بازار صنایع دستی اصیل را تهدید می کنند. به گفته مصاحبه شونده شماره ۱: «ورود کالاهای شبه صنایع دستی و ماشینی به ویژه از کشور چین آسیب زیادی به کسب و کارهای اصیل و خانگی زده است». این شرایط باعث تضعیف انگیزه تولیدکنندگان بومی، افت کیفیت و کاهش تقاضا برای محصولات دستی شده و رقابتی نابرابر میان تولیدات ماشینی و هنری شکل داده است.

نابسامانی بازار فروش ناشی از کاهش گردشگران

یافته ها نشان می دهد که کاهش حضور گردشگران - به ویژه به دلیل تحریم ها، همه گیری کرونا و افت توان اقتصادی عمومی - بازار صنایع دستی را به شدت محدود کرده است. به گفته یکی از تولیدکنندگان (شماره ۱۲): «قالی و گلیم به دلیل قیمت بالا در توان خرید همه کس نیست... معمولاً گردشگران مرفه به مناطق مجهزتر می روند و اینجا انتخاب نمی شود». تولیدکننده دیگری (شماره ۳) می گوید: «ناچار شدم محصولات خود را با ۲۵ درصد تخفیف یکجا به دلان بفروشم... می دانم سود اصلی نصیب من نمی شود اما چاره ای ندارم» این شرایط نه تنها درآمد زنان تولیدکننده را کاهش داده بلکه قدرت چانه زنی آن ها در بازار را نیز تضعیف کرده است.

ضعف در بنیان های مالی و اعتباری

یکی از موانع بنیادین، فقدان سرمایه مالی کافی برای توسعه فعالیت ها و دسترسی دشوار به تسهیلات بانکی است. شرایط دشوار ضامن گیری، عدم آگاهی از ضوابط و نبود حمایت کافی، عملاً امکان رشد و نوآوری را از بسیاری از زنان تولیدکننده گرفته است. به گفته یک تولیدکننده (شماره ۱۰): «فعالین زیادی با توان مالی اندک مشغول صنایع دستی هستند و اقتصاد مقاومتی را عملی کرده اند؛ دولت باید مستقیماً مواد اولیه را به ما برساند». دیگری (شماره ۷) بیان می کند: «ما از شهر و بانک فاصله داریم و گاهی اصلاً از شرایط وام باخبر نمی شویم» همچنین مصاحبه شونده شماره ۴ تأکید می کند که «مشوق ها و تسهیلات فعلی ناکارآمد است و تحول چشمگیر نیازمند بازنگری اساسی است».

فقدان نظام برنامه ریزی و حمایت تقنینی

بررسی ها نشان داد که قوانین و سیاست های موجود در حوزه صنایع دستی نه تنها ناکارآمد، بلکه بعضاً ناسازگار با شرایط امروز هستند. فقدان یک طرح جامع ملی برای حمایت از صنایع دستی و نگاه جزیره ای دستگاه ها از موانع اصلی توسعه این حوزه است. مصاحبه شونده شماره ۱۲ اظهار می کند: «نبود طرح جامع را گم شده صنایع دستی می دانم. ما تا ندانیم از صنایع دستی چه انتظاری داریم، گامی بر نمی داریم». همچنین مصاحبه شونده شماره ۱ تأکید دارد: «لازمه موفقیت نگاه سیستمی و یکپارچه است. اقدامات پراکنده نتیجه ای در پی ندارد»

اهمال کاری در سیاست های اجرایی و مدیریت

مدیریت ناکارآمد و عدم هماهنگی میان نهادهای متولی، ضعف نظارت بر اجرای برنامه ها، و ورود نگاه های سیاسی به حوزه صنایع دستی، از دیگر چالش های مطرح شده است. مصاحبه شونده شماره ۳ تصریح می کند: «صنایع دستی به دلیل ابعاد گوناگون خود، به تنهایی از سوی یک ارگان به اهداف نمی رسد» همچنین به گفته مصاحبه شونده شماره ۲: «سطح ورود گردشگران خارجی طی سال های اخیر به واسطه چالش های سیاسی به شدت افت کرده است» این شواهد نشان می دهد که بدون اصلاح سیاست های اجرایی و ایجاد هماهنگی بین بخشی، فرصت توانمندسازی زنان تولیدکننده همچنان محدود خواهد ماند.

شرایط زمینه ای

شرایط زمینه ای به مقولاتی اشاره دارد که ابعاد گسترده تر و جایگاه زیربنایی تری در مسئله تحقیق دارند. در این حوزه، افزایش سطح آگاهی و ارتباطات تولیدکنندگان به عنوان یکی از متغیرهای کلیدی، نقشی اساسی در بهبود فعالیت های

شغلی ایفا می‌کند. در مقابل، کاهش حمایت‌های ساختاری و کم‌توجهی به ظرفیت‌های بالقوه صنایع دستی، آثار نامطلوبی هم بر تولیدکنندگان و هم بر کلیت نظام فرهنگی و اقتصادی کشور برجای می‌گذارد. این امر اهمیت دوچندان دارد، زیرا صنایع دستی نه تنها بخشی از هویت فرهنگی و میراث جوامع روستایی را بازتولید می‌کند، بلکه ظرفیت اقتصادی چشمگیری نیز دارد.

فقدان درونی‌سازی قواعد حوزه گردشگری

سطح آگاهی تولیدکنندگان از سازوکارهای حوزه گردشگری و بازار صنایع دستی، عاملی تعیین‌کننده در میزان موفقیت آنان است. در مناطق روستایی، تولیدکنندگان عموماً دانش محدودی نسبت به قوانین، حقوق، و ظرفیت‌های حرفه‌ای خود دارند و همین امر، توانایی آنان را در بهره‌گیری از فرصت‌های اقتصادی کاهش داده است. علاوه بر این، نبود برنامه‌های آگاهی بخشی برای گردشگران نیز سبب شده است تا تقاضای بازار محلی کمتر از ظرفیت واقعی باشد. یکی از کارشناسان (مصاحبه‌شونده شماره ۹) می‌گوید: «در مذاکراتی که با صاحبان کارگاه‌های خانگی داشتیم، میزان آگاهی آنان از منافع گردشگری بسیار پایین بود» همچنین تولیدکننده‌ای (شماره ۳) تأکید می‌کند: «محصولاتی که به گردشگران عرضه می‌شود، اغلب بدون بسته‌بندی است. دلیل اصلی این موضوع ناآگاهی تولیدکنندگان از اصول بازاریابی و فروش حرفه‌ای است»

عدم حمایت سازمان‌های متولی

حمایت‌های نهادی و سازمانی می‌توانند نقشی مکمل در کنار تلاش‌های فردی ایفا کرده و انگیزه، رشد و پایداری فعالیت تولیدکنندگان را تضمین کنند. با این حال، یافته‌ها نشان می‌دهد که تولیدکنندگان روستایی کمتر از حمایت‌های سازمان‌های متولی بهره‌مند شده‌اند. فقدان بیمه، ناکارآمدی تسهیلات، و حمایت‌های مقطعی و نمایشی از مهم‌ترین چالش‌ها در این بخش است. به گفته یکی از تولیدکنندگان (شماره ۱۲): «بیمه نداریم و کسی از ما حمایت نمی‌کند» دیگری (شماره ۱۶) می‌افزاید: «حتماً قالی‌بافی شغل محسوب نمی‌شود که ما بیمه نیستیم. دولت فقط مشاغل پشت‌میزنشینی را شغل می‌داند» یکی دیگر (شماره ۱۸) تجربه‌ای از فروش نسبه خود بیان می‌کند: «۱۰۰ حوله را در سال ۹۶ به قیمت ۴۰۰ هزار تومان نسبه فروختم. خریدار پس از ۹ ماه و با فروش محصول کشاورزی پول را پرداخت. این تأخیر علاوه بر زیان مالی، سرمایه در گردش مرا هم تحت تأثیر قرار داد»

ظرفیت‌های مغفول گردشگری

یکی از مهم‌ترین بسترهای توسعه صنایع دستی است، اما در بسیاری مناطق روستایی این ظرفیت‌ها به خوبی شناسایی و بالفعل نشده‌اند. آثار تاریخی و جاذبه‌های طبیعی می‌توانند موجب افزایش چشمگیر حضور گردشگران شوند و از این طریق به رونق صنایع دستی و بهبود معیشت خانوارها کمک کنند. با این حال، نبود برنامه‌های جامع و نهادهای فعال موجب شده بخشی از این ظرفیت‌ها در «سایه فراموشی» باقی بمانند. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۹): «گردشگران مهم‌ترین مشتریان صنایع دستی هستند. اگر تولیدکنندگان توجه شوند، می‌توانند از این فرصت استفاده زیادی ببرند». یک کارشناس (شماره ۲) نیز تأکید می‌کند: «رایزنان فرهنگی باید ظرفیت‌های گردشگری ایران را معرفی کنند تا زمینه حضور گردشگران خارجی بیشتر شود». نمونه‌های دیگر نشانگر بی‌توجهی به زیرساخت‌هاست. مصاحبه‌شونده شماره ۱۷ می‌گوید: «حمام تاریخی فرمان‌آباد که می‌توانست محل عرضه محصولات دستی باشد، به حال خود رها شده و رو به ویرانی است». همچنین مصاحبه‌شونده شماره ۸ به محرومیت شرق خراسان رضوی از مسیرهای اصلی گردشگری اشاره کرده و آن را عاملی برای محدودیت بازار صنایع دستی دانسته است.

فعالیت‌های هنری؛ عنصر اثربخش اما مغفول در سطح کلان

صنایع دستی علاوه بر جنبه اقتصادی، کارکردهای فرهنگی، اجتماعی و هویتی مهمی دارند. این فعالیت‌ها بخشی از «دانش بومی» جوامع را منتقل کرده و به بازتولید سنت‌ها و هویت فرهنگی کمک می‌کنند. با وجود این، نگاه کلان به صنایع دستی اغلب صرفاً اقتصادی بوده و سایر ابعاد ارزشمند آن مغفول مانده است. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۱۶): «صنایع دستی قدرت زیادی در جذب گردشگر دارد. شهرها و روستاهای خلاق صنایع دستی، به مثابه موزه‌های زنده بشری هستند» دیگری (شماره ۱۳) می‌افزاید: «رونق صنایع دستی موجب حفظ دانش بومی می‌شود که نتیجه قرن‌ها تجربه مفید و سازنده گذشتگان ماست». این شواهد نشان می‌دهد که توجه همزمان به کارکردهای اقتصادی و فرهنگی صنایع دستی، نقشی کلیدی در توانمندسازی زنان روستایی و توسعه پایدار گردشگری دارد.

شرایط مداخله‌گر

شرایط مداخله‌گر به عواملی اشاره دارد که اگرچه به‌طور مستقیم در فرایند تولید و توانمندسازی زنان روستایی دخیل نیستند، اما در سطحی عمومی‌تر، زمینه‌های استمرار یا تضعیف فعالیت‌های آنان را شکل می‌دهند. در این حوزه، موانع تأمین مواد اولیه، محدودیت‌های فرهنگی برای زنان، فقدان زیرساخت‌های کارگاهی، نگرش‌های منفی نسبت به تولیدات خانگی، کمبود حمایت‌های فکری، و ضعف زیرساخت‌های فیزیکی و فرهنگی از جمله چالش‌های کلیدی به شمار می‌روند. این عوامل هم بر کیفیت تولید و هم بر امکان حضور فعال زنان در عرصه‌های اقتصادی و گردشگری اثرگذار هستند.

دشواری دسترسی به مواد اولیه تولید

تولید صنایع دستی در گرو دسترسی به مواد اولیه مناسب و مقرون به صرفه است. با این حال، افزایش بی‌رویه قیمت مواد اولیه و نبود بسترهای حمایتی، تولیدکنندگان خرد روستایی را با چالش جدی مواجه کرده است. در شرایطی که آنان قادر به افزایش متناسب قیمت محصولات خود نیستند، فشار هزینه‌ها به کاهش تولید و حتی خروج از چرخه فعالیت منجر می‌شود. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۳): «تولیدکنندگان به صورت منفرد از شهرهای مختلف اقدام به خرید می‌کنند که این اقدام قیمت تمام شده محصول را افزایش می‌دهد» تولیدکننده دیگری (شماره ۶) نیز اظهار داشت: «با این شدت گرانی و وضع نامناسب اقتصادی، به سختی قادرم اندکی از نخ مورد نیازم را بخرم و مجبور شدم تولید خود را به یک‌سوم کاهش دهم» این شرایط بیانگر نیاز فوری به ایجاد تعاونی‌های تولیدی و سازوکارهای حمایتی نهادی است تا تولیدکنندگان بتوانند مواد اولیه را به‌صورت عادلانه و منصفانه تأمین کنند.

محدودیت‌های فرهنگی برای فعالیت‌های زنان روستایی

یکی از مهم‌ترین موانع توانمندسازی زنان روستایی، هنجارهای فرهنگی سخت‌گیرانه است که امکان مشارکت آنان در بازار کار را محدود می‌سازد. اگرچه در سال‌های اخیر مطالبه‌گری زنان برای دستیابی به حقوق فردی و اجتماعی پررنگ‌تر شده است، اما بسیاری از زنان همچنان با مقاومت همسران و خانواده‌ها برای اشتغال و حضور در بازار مواجه‌اند. به گفته یکی از تولیدکنندگان (شماره ۴): «متأسفانه همسر به بهانه‌های مختلف مرا از این کار منع می‌کند و اجازه نمی‌دهد بخشی اندکی از وقتم را در این راه صرف کنم» نمونه‌ای دیگر (شماره ۹) بیان می‌کند: «من تنهایی نمی‌توانم و اجازه ندارم برای فروش در شهر حضور پیدا کنم و همسر هم به علت مشغله کشاورزی و دامپروری فرصتی برای آمدن با من پیدا نمی‌کند. لذا محصولاتم را یا به اهالی می‌فروشم یا یک‌جا به دلال تحویل می‌دهم».

این وضعیت نشان می‌دهد که موانع فرهنگی نه تنها فرصت‌های درآمدزایی زنان را محدود می‌کند، بلکه آنان را وابسته به واسطه‌ها می‌سازد.

فقدان بسترهای فیزیکی مطلوب در تولید کارگاهی

زنان تولیدکننده اغلب در منازل شخصی خود و بدون دسترسی به کارگاه‌های مناسب فعالیت می‌کنند. نبود کارگاه‌های تخصصی، نه تنها سرعت و کیفیت تولید را کاهش می‌دهد، بلکه فرصتی برای نمایش و بازاریابی محصولات نیز از بین می‌برد. یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۱۶) می‌گوید: «کارگاه‌های صنایع دستی منطقه از جذاب‌ترین بخش‌های گردشگری روستایی است». تولیدکننده‌ای (شماره ۳) نیز تجربه خود را چنین بیان می‌کند: «گردشگران زیادی به روستای ما برای خرید می‌آیند، اما چون اتاق ویژه‌ای برای تولید نداریم، خریدار و فروشنده همیشه معذب هستند و مشتری باید وارد حریم خصوصی ما شود»

چند نمونه دیگر نیز از دشواری‌های مشابه حکایت دارد:

«اگر یک اتاق جدا داشتیم، هر وقت تمایل داشتیم مشغول بافت می‌شدم. کارگاه بافندگی به فضای زیادی نیاز دارد» (شماره ۱۵)

«دو بچه کوچک دارم که دائم در روند تولید مشکل ایجاد می‌کنند. برایم بسیار سخت است.» (شماره ۱۱)

«دوست دارم اگر وامی بدهند داخل حیاط یک خانه ویژه تولید ایجاد کنم» (شماره ۸)

این شواهد نشان می‌دهد که فقدان فضای کارگاهی مناسب نه تنها بهره‌وری تولید را کاهش داده بلکه مانع جذب گردشگران نیز شده است.

سوگیری و ارزش‌نگاری نامطلوب نسبت به اهمیت تولیدات خانگی

یکی دیگر از موانع مهم، نگرش‌های منفی نسبت به صنایع دستی است. بسیاری فعالیت‌های هنری و تولیدات خانگی در نظام ارزشی جامعه جایگاهی پایین‌تر از مشاغل رسمی دارند و همین امر موجب تضعیف انگیزه تولیدکنندگان می‌شود. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۷): «متأسفانه به صورت جدی به صنایع دستی نگاه نشده و کاملاً در حاشیه قرار گرفته است» یک تولیدکننده (شماره ۱۱) نیز می‌گوید: «برخی افراد آن‌را بسیار ساده و پیش پا افتاده می‌دانند و برای پرداخت هزینه چانه‌زنی می‌کنند» این نگاه تحقیرآمیز، همان‌گونه که مصاحبه‌شونده شماره ۶ اشاره می‌کند: «جفا به زحمات و ارزش‌های هنری و هویتی آثار دستی است» بنابراین، ارتقای جایگاه اجتماعی صنایع دستی نیازمند سیاست‌های فرهنگی و آموزشی برای تغییر نگرش عمومی است.

عدم دریافت حمایت‌های فکری در پشتیبانی فرایند تولید

ناآگاهی تولیدکنندگان از حقوق قانونی، بازار گردشگری، و سازوکارهای حمایتی یکی از موانع جدی توسعه صنایع دستی است. بسیاری از زنان تولیدکننده تحصیلات محدودی دارند و با نظام‌های فروش، بیمه و حمایت نهادی آشنا نیستند. مصاحبه‌شونده شماره ۹ می‌گوید: «میزان اطلاعات تولیدکنندگان درباره گردشگری و منافع آن بسیار پایین است. در حالی که گردشگران مهم‌ترین مشتریان صنایع دستی هستند» یکی دیگر (شماره ۱۱) تأکید می‌کند: «با توجه به سواد نظری پایین اکثر تولیدکنندگان، برپایی کارگاه‌های آموزشی و انگیزشی می‌تواند بسیار مؤثر باشد» این یافته‌ها نشان می‌دهد که ایجاد کانون‌های صنفی و اتاق‌های فکر می‌تواند بستری برای ارتقای دانش، انتقال تجربه و شکل‌گیری خرد جمعی در میان تولیدکنندگان فراهم سازد.

فقدان زیرساخت‌های فیزیکی و فرهنگی در مناطق روستایی

کمبود زیرساخت‌های فیزیکی و فرهنگی، از دیگر عوامل محدودکننده توسعه صنایع دستی و گردشگری روستایی است. نبود امکانات اقامتی، کارگاه‌های مجهز و خدمات فرهنگی، فرصت‌های گردشگری و اشتغال را کاهش داده و به مهاجرت روستاییان دامن می‌زند. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۱۳): «با وجود ظرفیت‌های فراوان صنایع دستی و گردشگری در روستاهای آبه و جوزقان، اما این روستاها فاقد زیرساخت اقامتی هستند» دیگری (شماره ۶) می‌افزاید:

«به علت ناشناخته بودن منطقه و نبود زیرساخت‌های اقامتی، گردشگران مرفه این منطقه را انتخاب نمی‌کنند» این امر نشان می‌دهد که کمبود زیرساخت‌ها، حلقه مفقوده پیوند میان صنایع دستی و گردشگری روستایی است و بدون رفع این مانع، توانمندسازی زنان و توسعه پایدار محقق نخواهد شد.

راهبردها

راهبردها به مجموعه‌ای از کنش‌های کلان و خرد اشاره دارند که هم از سوی نهادهای حاکمیتی و سازمان‌های پشتیبان، و هم از جانب تولیدکنندگان و فعالان صنایع دستی می‌تواند برای کاهش موانع و ارتقای شرایط تولید و فروش به کار گرفته شود. در این میان، دو بعد کلیدی اهمیت دارند: نخست، کنش‌های حمایتی ساختاری که به وسیله نهادهای مرتبط باید در سطوح گوناگون دنبال شوند؛ و دوم، تلاش فعالانه تولیدکنندگان در تقویت مهارت‌ها، سرمایه اجتماعی و خلاقیت‌های فردی. افزایش کیفیت تولیدات بومی به نحوی که وجه تمایز آن‌ها با نمونه‌های صنعتی آشکار باشد، و همچنین ارتقای توانایی‌های اجتماعی و مهارتی تولیدکنندگان، از جمله مهم‌ترین اقدامات راهبردی است که می‌تواند آینده شغلی زنان روستایی را تضمین کند.

لزوم گستردگی حمایت‌های چندجانبه از تولیدکنندگان

یکی از پایه‌های اصلی توسعه صنایع دستی، حمایت‌های چندوجهی و پایدار از تولیدکنندگان است. تجربه نشان می‌دهد که تولیدکنندگان منفرد قادر به مدیریت همه مراحل تولید، بازاریابی و فروش نیستند. در چنین شرایطی، نقش نهادهای پشتیبان کلیدی می‌شود؛ از تسهیل در دسترسی به مواد اولیه و ابزار کار گرفته تا ایجاد بسترهای بازاریابی و نمایشگاه‌های دائمی.

این حمایت‌ها علاوه بر افزایش انگیزه تولیدکنندگان، می‌تواند موجب کشف استعدادها و خلاقیت‌های جدید شود و افراد بیشتری را به سمت فعالیت‌های هنری سوق دهد. فراهم‌سازی فضاهای استاندارد برای عرضه محصولات نیز می‌تواند گامی اساسی در تبدیل صنایع دستی به منبع پایدار درآمد باشد. به گفته یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۴): «تقویت و حمایت و تشویق هنرمندان صنایع دستی و آموزش نسل‌های جدید، مهم‌ترین شکل حمایت از هنرمندان است» مصاحبه‌شونده دیگری (شماره ۱۱) نیز اشاره می‌کند: «برخی بانوان مسن سال‌ها در فضای سنتی و بافت‌های خشت و گلی تولید می‌کنند و آثارشان از معرفت هنری بالایی برخوردار است. حیف است این آثار از چشم جامعه دور بماند؛ معرفی آن‌ها دلگرمی و انگیزه سایرین خواهد بود».

تلاش مضاعف تولیدکنندگان برای رقابت با کالاهای وارداتی

یکی از مهم‌ترین چالش‌های تولیدکنندگان صنایع دستی، رقابت نابرابر با کالاهای صنعتی و شبه‌صنایع دستی وارداتی است. ورود گسترده محصولات ارزان‌قیمت، به‌ویژه به‌صورت قاچاق، نه‌تنها بازار تولیدکنندگان محلی را تهدید می‌کند بلکه تشخیص محصول اصیل از تقلبی را برای مشتری دشوار می‌سازد.

در چنین شرایطی، تولیدکنندگان ناگزیر باید کیفیت محصولات خود را به سطحی برسانند که تمایز آشکار با تولیدات ماشینی داشته باشد. با این حال، این امر بدون حمایت نظارتی و مبارزه جدی با ورود غیرقانونی کالاها امکان‌پذیر نیست. یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۱) تأکید می‌کند: «ورود کالاهای شبه‌صنایع دستی و ماشینی، به‌ویژه از کشور چین، آسیب زیادی به کسب‌وکارهای اصیل خانگی زده است». مصاحبه‌شونده دیگری (شماره ۱۱) می‌افزاید: «کالاهای ماشینی زیادی به اسم صنایع دستی وارد می‌شود، چه قاچاق و چه غیرقاچاق» همچنین تولیدکننده‌ای (شماره ۱۹) تجربه خود را چنین بیان کرده است: «از آن‌جا که مرز دوغارون نزدیک ماست، ورود کالاهای مشابه لطمه زیادی به کارمان وارد می‌کند».

روزآمدی پایه‌های مهارتی مؤثر بر فرایند تولید و فروش

یکی دیگر از راهبردهای اساسی، به‌روزرسانی مستمر مهارت‌ها و توانمندی‌های تولیدکنندگان است. صنایع دستی نیز همانند سایر حوزه‌ها نیازمند نوآوری و انطباق با ذائقه نسل جدید و شرایط بازار است. برگزاری دوره‌های آموزشی، طراحی صنعتی و بازاریابی، و آموزش مهارت‌های دیجیتال می‌تواند به ارتقای کیفیت و افزایش فروش کمک کند. با وجود این، اغلب تولیدکنندگان روستایی به دلیل محدودیت‌های آموزشی و کم‌سوادی، آشنایی کافی با فنون نوین بازاریابی و ابزارهای فناوری ندارند. مصاحبه‌شونده شماره ۱۶ اشاره می‌کند: «ارائه صنایع دستی در مراکز گردشگری ایده خوبی است، اما به علت کم‌سوادی تولیدکنندگان و نبود امکانات، آنان قادر به بازاریابی حرفه‌ای نیستند». یکی از تولیدکنندگان (شماره ۱۹) نیز بیان می‌کند: «من سواد زیادی ندارم تا بتوانم از کارتخوان استفاده کنم. در نوروز باید دستگاه کارتخوان امانت بگیریم و همین باعث مشکلات زیادی می‌شود».

برخی دیگر نیز به ضرورت تغییر در طراحی‌ها اشاره کرده‌اند:

(شماره ۱): «تولید یک یا چند طرح و تکرار آن با سلیق امروزی همخوانی ندارد».

(شماره ۸): «تولیدکنندگان منطقه باید با طراحی صنعتی و طراحی پارچه آشنا شوند».

(شماره ۴): «برندینگ و بازاریابی صنایع دستی دچار ضعف مفرط است و باید ارتقا یابد».

در مجموع، برگزاری دوره‌های تخصصی، ایجاد رشته‌های دانشگاهی مرتبط، و حمایت مالی از آموزش‌های مهارتی از الزامات توانمندسازی تولیدکنندگان است.

تقویت سرمایه اجتماعی تولیدکنندگان تسهیلگر فرایند فروش

موفقیت در فروش، علاوه بر کیفیت محصول، نیازمند سرمایه اجتماعی و شبکه‌های ارتباطی گسترده است. ارتباط مؤثر با مشتریان و آشنایی با ذائقه گردشگران می‌تواند جایگاه تولیدکنندگان را در بازار تقویت کند. اما زنان روستایی اغلب به دلیل محدودیت‌های فرهنگی و اجتماعی، دایره ارتباطی محدودی دارند. برخی از تولیدکنندگان توانایی معرفی و بازاریابی محصولات خود را ندارند و همین امر موجب وابستگی آنان به واسطه‌ها می‌شود. در این راستا، رسانه‌های محلی و ملی می‌توانند نقش مهمی در معرفی صنایع دستی و تقویت اعتمادبه‌نفس تولیدکنندگان ایفا کنند. به گفته مصاحبه‌شونده شماره ۱۸: «رسانه‌ها در تعیین ذائقه مردم نقش بسیار مهمی دارند و می‌توانند برای کالا یا خدمتی مشتری جذب کنند». در مقابل، مصاحبه‌شونده شماره ۱۰ به نقش واسطه‌ها اشاره می‌کند: «برخی افراد که از قدرت بازاریابی و چانه‌زنی بیشتری برخوردارند، کالاهای دستی را به‌صورت کلی می‌خرند و با سود بیشتری می‌فروشند» این موضوع نشان می‌دهد که تقویت مهارت‌های ارتباطی، ایجاد شبکه‌های صنفی، و بهره‌گیری از رسانه‌ها و بسترهای آنلاین می‌تواند به فروش مستقیم و حذف واسطه‌ها کمک کند.

پیامدهای مقوله مرکزی: صنعتگران روستایی؛ کارآفرینان بالقوه در محاصره چالش‌های بالفعل

صنعتگران روستایی با وجود برخورداری از مهارت‌ها و ظرفیت‌های ارزشمند، در بستر محیطی و اجتماعی دشواری قرار گرفته‌اند که امکان بالفعل‌سازی توانمندی‌های آنان را محدود می‌سازد. پیامدهای این شرایط را می‌توان در چهار محور اصلی تبیین کرد:

کم‌رغبتی نسل جوان به فعالیت‌های خانگی و هنری

گرایش شغلی نسل جوان در سال‌های اخیر تحت تأثیر افزایش سطح تحصیلات، گسترش ارتباطات اجتماعی و تأثیر رسانه‌های جمعی دستخوش تغییرات جدی شده است. در حالی که در گذشته انتقال مشاغل خانگی و هنری به‌صورت موروثی به نسل بعدی صورت می‌گرفت، امروزه بسیاری از جوانان این فعالیت‌ها را فاقد جایگاه اجتماعی یا منزلت شغلی دانسته و تمایل چندانی به ادامه آن ندارند. به گفته یکی از تولیدکنندگان (شماره ۲۰): «فرزندم همگی به شهر

مهاجرت کرده‌اند و هیچ تمایلی به نشستن پشت دستگاه ندارند؛ این کار را در شأن خود نمی‌دانند». همچنین مصاحبه‌شونده شماره ۱۷ اشاره می‌کند: «نسل‌های جدید تحت تأثیر تلویزیون و گوشی‌های همراه هستند و این حرفه‌ها را از مدافتاده می‌دانند» این وضعیت منجر به کاهش انتقال دانش بومی و تهدید استمرار صنایع دستی در بلندمدت می‌شود.

دستاوردهای فردی و شغلی ناپایدار

زندگی فردی و حرفه‌ای در ارتباط متقابل با یکدیگر قرار دارند. فعالیت در صنایع دستی می‌تواند زمینه‌ای برای تقویت اعتماد به نفس، خلاقیت و شکوفایی استعدادها فراهم آورد. با این حال، فشار مسئولیت‌های خانوادگی، تعدد نقش‌ها و نبود فرصت کافی، به‌ویژه برای زنان سرپرست خانوار، مانعی جدی در مسیر پایداری شغلی آنان ایجاد کرده است. یکی از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۳) بیان می‌کند: «مدرنیته و کالاهای ماشینی، اعتمادبه‌نفس را از تولیدات بومی گرفته‌اند، در حالی که ارزش آن‌ها کمتر از صنایع دستی نیست» دیگری (شماره ۶) تأکید می‌کند: «تولید صنایع دستی اگر بار معنوی آن بیشتر از مادی نباشد، به یقین کمتر نیست، چرا که حاصل خلاقیت انسانی است» برخی تولیدکنندگان نیز صنایع دستی را بیشتر به‌عنوان سرگرمی و پرکردن اوقات فراغت تلقی کرده‌اند. به گفته تولیدکننده شماره ۱۶: «یک دستگاه دار دارم و در ایام بیکاری مشغول بافت می‌شوم؛ برایم بیشتر جنبه شخصی دارد تا تجاری» این رویکرد نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از فعالیت‌ها به جای تبدیل شدن به یک شغل پایدار، در سطح فردی و غیررسمی باقی مانده است.

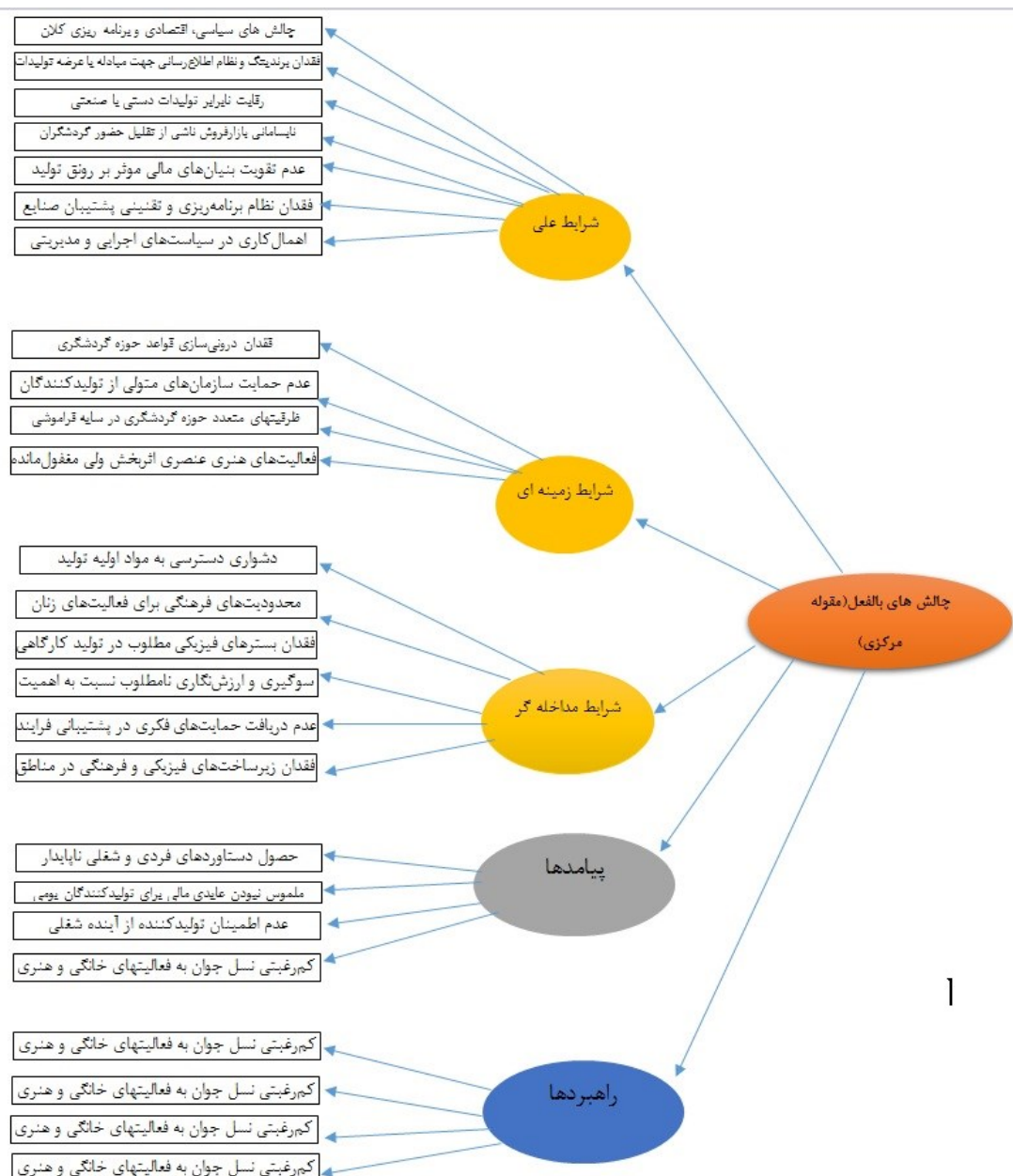
ملموس نبودن عایدی مالی برای تولیدکنندگان بومی

یکی از جدی‌ترین چالش‌ها در صنایع دستی روستایی، ضعف بازاریابی و حضور پررنگ واسطه‌ها است که موجب می‌شود سهم اصلی سود به جای تولیدکنندگان، نصیب دلالان شود. از سوی دیگر، افزایش مداوم هزینه‌های مواد اولیه و محدودیت قدرت خرید مشتریان محلی، فشار مضاعفی بر صنعتگران وارد کرده است. به گفته یکی از تولیدکنندگان: «هرچند تقاضا کم شده باشد، ناچارم محصولات را با حداقل ۲۵ درصد تخفیف به دلالان یا خریداران عمده بفروشم تا بتوانم چرخه زندگی را بچرخانم» دیگری (شماره ۲) اظهار می‌کند: «به دلیل مشغله فراوان، نمی‌توانم کالا را مستقیم بفروشم و مجبورم با دستمزد اندک به واسطه‌ها بسپارم» همچنین تولیدکننده شماره ۱۰ اشاره می‌کند: «دستمزد کارگر هیچ‌گاه متناسب با تورم افزایش نیافته است» این شرایط باعث شده که بسیاری از تولیدکنندگان ارزش واقعی هنر خود را در بازار دریافت نکنند و انگیزه‌شان برای ادامه فعالیت کاهش یابد.

عدم اطمینان از آینده شغلی

یکی دیگر از پیامدهای اساسی، نبود امنیت شغلی و بیمه برای صنعتگران است. فعالیت‌های صنایع دستی غالباً به‌صورت خویش‌فرما انجام می‌شود و حمایت نهادی کافی در دسترس نیست. این مسئله نه‌تنها موجب نگرانی نسبت به آینده شغلی می‌شود، بلکه هزینه‌های درمانی و معیشتی را نیز برای تولیدکنندگان افزایش می‌دهد. به گفته تولیدکننده شماره ۱۰: «بیمه نداریم و کسی از ما حمایت نمی‌کند» تولیدکننده شماره ۱۶ نیز بیان می‌کند: «قالی‌بافی انگار اصلاً شغل محسوب نمی‌شود؛ دولت فقط مشاغل پشت‌میزنشینی را شغل می‌داند» یکی دیگر از مصاحبه‌شوندگان (شماره ۱۳) اضافه می‌کند: «بیمه نیستیم و هر بار به پزشک مراجعه می‌کنم مجبورم آزاد پرداخت کنم؛ بخش زیادی از درآمد صرف درمان می‌شود» در نتیجه، بسیاری از صنعتگران روستایی با ابهام جدی در تداوم فعالیت خود مواجه‌اند و همین مسئله مانع از توسعه پایدار صنایع دستی و تبدیل آن به یک فرصت اقتصادی پایدار می‌شود.

برای جمع‌بندی یافته‌ها، نمودار ارائه شده در شکل ۴ چالش‌های بالفعل، پیامدها و راهبردها را به طور خلاصه ارائه شده است.



شکل ۴. چالش‌های بالفعل، پیامدها و راهبردها بخش کیفی

Figure 4. Actual challenges, consequences, and strategies of the qualitative sector

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که صنایع دستی روستایی و به‌ویژه فعالیت زنان تولیدکننده، با وجود برخورداری از ظرفیت‌های فرهنگی، اقتصادی و هویتی، در محاصره مجموعه‌ای از موانع ساختاری، نهادی و فرهنگی قرار دارد که تداوم و پایداری آن را تهدید می‌کند. داده‌های حاصل از مصاحبه‌های کیفی به‌خوبی نشان دادند که این فعالیت‌ها، اگرچه ریشه در مهارت‌های سنتی و انتقال نسلی دارند، اما در شرایط کنونی قادر به پاسخ‌گویی کامل به نیازهای بازار و رقابت نابرابر با تولیدات صنعتی و وارداتی نیستند.

چالش‌های شناسایی‌شده را می‌توان در سه سطح اصلی تحلیل نمود:

۱. سطح خرد (فردی و خانوادگی): محدودیت فضای کارگاهی، ضعف دانش بازاریابی، ناآگاهی از حقوق قانونی و حرفه‌ای، و فشارهای فرهنگی و خانوادگی بر زنان، نقش مهمی در محدودسازی فرصت‌های آنان ایفا کرده است. به‌ویژه، فقدان مهارت‌های نوین طراحی و تبلیغات و عدم توانایی در بهره‌گیری از ابزارهای دیجیتال، مانع مهمی در مسیر ارتقای تولید و فروش محسوب می‌شود.

۲. سطح میانی (اجتماعی و محلی): ضعف در سرمایه اجتماعی، فقدان تعاونی‌های قدرتمند برای تأمین مواد اولیه و بازاریابی و نبود نهادهای پشتیبان محلی، ظرفیت بالفعل صنایع دستی را تضعیف کرده است. روایت‌های تولیدکنندگان نشان داد که نگاه منفی جامعه به مشاغل خانگی و صنایع دستی، علاوه بر تضعیف انگیزه فردی، جایگاه اجتماعی این فعالیت‌ها را نیز در حاشیه قرار داده است.

۳. سطح کلان (ساختاری و نهادی): ناکارآمدی سیاست‌گذاری‌ها، نبود طرح جامع ملی برای صنایع دستی، ضعف حمایت‌های مالی و اعتباری، و ورود کالاهای ارزان‌قیمت شبه‌صنایع دستی از مهم‌ترین موانع توسعه پایدار بوده‌اند. بی‌ثباتی اقتصادی و سیاسی و تأثیر مستقیم آن بر بازار گردشگری، در کنار تحریم‌ها و همه‌گیری کرونا، نیز به‌عنوان متغیرهای مداخله‌گر نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تقاضا و محدودیت بازار داشته‌اند.

از منظر نظری، یافته‌ها نشان می‌دهد که صنایع دستی روستایی صرفاً یک فعالیت اقتصادی نیست، بلکه پیوندی عمیق با میراث فرهنگی، هویت اجتماعی و دانش بومی دارد. در نتیجه، نادیده گرفتن این ابعاد و تمرکز صرف بر جنبه‌های اقتصادی، به تضعیف همزمان ابعاد فرهنگی و اجتماعی منجر می‌شود. این نتیجه با ادبیات موجود در حوزه توسعه روستایی همسو است که بر ضرورت رویکردهای یکپارچه و چندبعدی تأکید دارند.

از نظر کاربردی، نتایج حاکی از آن است که توانمندسازی زنان روستایی در حوزه صنایع دستی مستلزم دو دسته اقدام کلیدی است:

نخست، «اقدامات ساختاری» از سوی دولت و نهادهای پشتیبان در زمینه حمایت مالی، «ایجاد زیرساخت‌های کارگاهی و گردشگری، تقویت نظام اطلاع‌رسانی و برندینگ، و مبارزه با قاچاق و واردات محصولات تقلبی؛ دوم، تلاش فعالانه تولیدکنندگان» برای ارتقای مهارت‌های فردی، خلاقیت در طراحی، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین بازاریابی و تشکیل شبکه‌های هم‌افزا. تنها در صورت تحقق همزمان این دو دسته اقدامات می‌توان به پایداری و رقابت‌پذیری صنایع دستی در سطح ملی و بین‌المللی امیدوار بود.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که صنایع دستی روستایی ظرفیت آن را دارد که به‌عنوان موتور محرک توسعه پایدار روستایی عمل کند، به شرط آنکه موانع ساختاری، نهادی و فرهنگی موجود برطرف شوند. تحقیق Zarandian (2024) نیز نشان داد که موانع اشتغال زنان در حوزه صنایع دستی شامل موانع اجتماعی، خانوادگی، دولتی، بازار و مهارتی هستند. در مورد نتایج «اهمال کاری در سیاست‌های اجرایی و مدیریت» و تأثیرات منفی آن در توسعه صنایع دستی، با نتایج تحقیق Bouzarjomehri & Eslamfard (2017) که کاهش درآمد صنایع دستی را در بی‌برنامگی نهادی و ضعف هماهنگی سازمانی است، همسویی دارد. سیاست‌گذاری‌ها بر مبنای رویکردی جامع، سیستمی و بومی‌محور بازتعریف گردند. در غیر این صورت، روند فعلی می‌تواند به تضعیف مستمر انگیزه‌ها، خروج زنان از چرخه تولید، و در نهایت افول یکی از مهم‌ترین میراث‌های فرهنگی کشور منجر شود. بنابراین با کاهش چالش‌های موجود در حوزه صنایع دستی زنان با راهبردهای عنوان شده، می‌توان به توسعه روستایی و توسعه گردشگری پایدار نائل گردید و با ایجاد اشتغال و درآمدزای پایدار و ارائه محصولات باکیفیت، نقش صنایع دستی بعنوان کاتالیزوری در توسعه گردشگری پایدار روستایی آشکار شود.

References

- Arabghani, A., Sayyedmirzaee, S. & Kaldi, A. (2020). Empowerment Analysis of Rural Women in Handicrafts (Studied Case of Eshgh Abad Neyshabur District). *Islamic Art*, 15(36), 369-393. <https://doi.org/10.22034/ias.2020.106461>.
- Ashuri, F. (2004). Study of Handicrafts of Gilan Province and its Role in Economic Conditions of People. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 13(50), 25-31. https://www.sepehr.org/article_28141.html?lang=en.
- Boroumand, A., & Bouzarjomehry, K. (2026). Empowering rural women through handicraft development: a pathway toward local sustainability in Razavi Khorasan Province, Iran. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, 16(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s40497-026-00517-z>.
- Bouzarjomehri, K. & Eslamfard, F. (2017). Reviewing the Barriers and Problems of Rural Indigenous Industries Development; The Study of Carpet and Gabbeh in Zarrin Dasht County. *Journal of Rural Research*, 8(2), 194-207. <https://doi.org/10.22059/jrur.2017.62672>.
- Divsalar, A. (2016). The Role of Handicrafts in Rural Tourism Economy Case: Foothill Villages of Behshahr County. *Space Economy and Rural Development*, 5(16), 161-174. <https://doi.org/10.18869/acadpub.ser.5.16.161>.
- Darban Astaneh, Alireza (2006), Sustainable Rural Tourism and its Evaluation Indicators, Special Issue of the First Conference on Rural and Nomadic Tourism Development, Organizations and Municipalities of Iran, pp. 51-61 (in Persian).
- Esmaceli, M. R. & Habibi, M. (2017). Strategic Marketing Model for the Iranian Handicraft Based on Grounded Theory. *New Marketing Research Journal*, 7(2), 93-114. <https://doi.org/10.22108/nmrj.2017.21800>.
- Fallah-Tabar, N. (2018). Assessing the role of rural women in handicrafts and promoting sustainable rural development: A case study of Javadabad, Varamin. *New Attitudes in Human Geography (Human Geography)*, 10(2), 129-146. <https://sanad.iau.ir/fa/Article/859769?FullText=FullText>.
- Golmohammadi, F. (2010). Deployment of Handcraft Industries and Average Technology in Rural Areas of Iran for expansion of Tourism and Sustainable Rural Employment. *JHRE*. 29(131), 73-94. <http://jhre.ir/article-1-34-fa.html>.
- Gough, K. V., & Rigg, J. (2012). Reterritorialising rural handicrafts in Thailand and Vietnam: a view from the margins of the miracle. *Environment and Planning A*, 44(1), 169-186. DOI: 10.1068/a44175.
- Hassan, H., Tan, S. K., Rahman, M. S., & Sade, A. B. (2017). Preservation of Malaysian handicraft to support tourism development. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, 32 (3). 402-417.
- Levy, S.E., Hawkins, D.E. (2009). Peace Through Tourism: Commerce Based Principles and Practices. *J Bus Ethics* 89 (Suppl 4), 569-585. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0408-2>.
- Majidi, F. (2017). Survey on the historical relation of handicrafts and industrial design in Iran. *Journal of Fine Arts: Visual Arts*, 22(3), 121-129. <https://doi.org/10.22059/jfava.2017.217483.665520>.
- Mir Katouli, J., Mir Katouli, J. & Mossadegh, R. (2011). A Study on the Rural Tourism Status and Its Role on Handicraft Business Development. Case study: Southern Estarabad, Gorgan. *Journal of Urban - Regional Studies and Research*, 2(7), 137-154. https://urs.ui.ac.ir/article_19977.html?lang=en.
- Moradi, M. (2013). Handicrafts in rural development: A case study of the villages surrounding Lalejin, Hamadan Province [Master's thesis]. Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Faculty of Literature and Humanities, Department of Geography.
- Parnwell (2018). Tourism and rural handicrafts in Thailand: Published in *Tourism in South-East Asia* 26 October 2018. Geography, Sociology. *Tourism in South-East Asia*.
- Pop, C., Cosma, S. & Panait, L. (2003). Ecotourism and rural tourism in Maramures, Romania". *Proceedings of International Ecotourism Conference, Sustainability of Ecotourism Development in a Competitive Global Environment*, 15-17 aprilie, Universiti Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaezia, pag.
- Ramezanzadeh lasboyee, M. & Zaal, M. H. (2016). Crafts features Analysis to develop heritage tourism an (O.P.C.T.L) model (Case study: Mazandaran province). *Spatial Planning*, 5(4), 87-102.

- Rogerson, C. M. (2007). Tourism routes as vehicles for local economic development in South Africa: The example of the Magaliesberg Meander. In *Urban forum* (Vol. 18, No. 2, pp. 49-68). Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s12132-007-9006-5>.
- Shariati, S & shafiei, Z. (2018). "Rebirth": Qualitative study of the emerging phenomenon of modern handicrafts in networks era. *Journal of Sociology of Art and Literature*, 10(1), 189-229. <https://doi.org/10.22059/jsal.2019.257568.665619>.
- Soltani, Z., Goodarzi, M. & Fayazi, M. R. (2024). Investigating and Analyzing the Factors Affecting The Development of Creative Tourism in Rural Areas (Case Study: Southern Mian Ab Village in Shushtar Township). *Space Economy and Rural Development*, 13(48), 39-64. <https://doi.org/10.61186/serd.13.2.4>.
- Todaro, Michael. 1987. *Economic Development in the Third World*, Translation of Ghomali Farjadi, PBO.
- Yaqubi, M, Sardar Shahraki, A.& Karbasi, A. (2023). Analysis of obstacles to the development of rural handicraft cooperatives market in Sistan and Baluchestan province. *Rural Development Strategies*, 10(4), 513-540. <https://doi.org/10.22048/rdsj.2023.359418.2046>.
- Zarandian, N. (2024). Identifying the Network of Subjects Related to Women's Employment in Rural Handicraft Industries. *Journal of Rural Research*, 15(4), 139-153. <https://doi.org/10.22059/jrur.2025.378363.1959>.



Formulating Design Indicators for Temporary Learning Environments on Brownfield Sites, Focusing on the Cognitive Characteristics of Generation Alpha

Faezeh Bayani^a, Farzaneh Madani^{b*}, Vajiheh Molaei Shams^c

^aDepartment of Urban Planning, Faculty of Art, Architecture, and Urban Planning, Iqbal Lahori Institute of Higher Education, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran.

^bDepartment of Urban Planning, Arman Razavi Higher Education Institute, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran.

^cDepartment of Architecture, Asrar Institute of Higher Education, Mashhad, Razavi Khorasan, Iran.

*Corresponding Author: fmdnurbanism@mshdiau.ac.ir, <https://orcid.org/0000-0003-3295-678X>

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2026/08/10
Received in revised form:
2026/08/22
Accepted 2026/08/10
Available online: 2026/09/22

Keywords:
Brownfields,
Urban regeneration,
Design indicators,
Temporary learning
environment,
Generation Alpha.

Rapid urbanization has led to an increase in brownfields and abandoned urban spaces; simultaneously, Generation Alpha—as the first fully digital generation—exhibits distinct cognitive and behavioral characteristics, including a preference for interactive learning and multisensory experiences, mental flexibility, a need for rapid feedback, and extensive engagement with modern technologies. In terms of purpose, this study is classified as applied research; regarding its nature and methodology, it is a qualitative study employing a descriptive-analytical approach based on a systematic literature review. The research questions are as follows: What spatial and design requirements do the cognitive and behavioral characteristics of Generation Alpha impose on learning environments? How can the cognitive requirements of Generation Alpha be aligned with the physical, environmental, social, and identity-related potentials of brownfield sites? How can the design indicators for temporary learning environments on brownfield sites be categorized and operationalized? Literature pertaining to the three pillars—learning environment design, the cognitive characteristics of Generation Alpha, and brownfield regeneration—was reviewed based on specific inclusion and exclusion criteria; subsequently, the concepts were analyzed through the stages of open, axial, and selective coding. The findings resulted in a seven-dimensional framework comprising environmental safety and quality, physical flexibility, experiential quality, social interactivity, technological integration, place identity, and personalization. The study's contribution lies in elucidating the relationships between cognitive attributes, spatial requirements, and the capacities or constraints of brownfield sites. This framework is not a substitute for safety, environmental, economic, or legal assessments of the site, nor was its empirical validation conducted in the present study.

Cite this article: Bayani, F., Madani, F. & Molaei Shams, V. (2026). Formulating Design Indicators for Temporary Learning Environments on Brownfield Sites, Focusing on the Cognitive Characteristics of Generation Alpha. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 27-46. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.596331.1024>



© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.596331.1024>

Introduction

Rapid urbanization, industrial restructuring, and changes in land-use patterns have contributed to the emergence of brownfields and other underutilized urban areas. Although brownfields may be associated with environmental contamination, structural deterioration, functional obsolescence, and economic constraints, they can also provide opportunities for adaptive and temporary forms of urban reuse. Temporary learning environments represent one potential approach to activating such underutilized sites while responding to changing educational needs. However, their implementation requires more than the availability of physical space and must consider environmental safety, structural conditions, accessibility, and site-specific constraints. At the same time, changes in learner characteristics have challenged conventional approaches to learning-environment design. Generation Alpha, generally referring to those born from around 2010 onward, has grown up in highly digital and interactive environments. The reviewed literature associates this generation with interactive and experiential learning, multisensory engagement, rapid feedback, familiarity with digital technologies, flexibility in learning processes, and a tendency toward personalization and choice. These characteristics indicate a need for learning environments that are flexible, interactive, experiential, and capable of integrating physical and digital learning experiences. Previous studies have generally addressed brownfield regeneration, learning-environment design, and the cognitive characteristics of Generation Alpha separately. The relationship among these three domains, particularly the translation of Generation Alpha's cognitive characteristics into spatial requirements within brownfield sites, remains insufficiently integrated. Therefore, the present study aims to develop a conceptual and functional framework for identifying design indicators for temporary learning environments in brownfields, with emphasis on the cognitive characteristics of Generation Alpha. The study addresses four questions: What spatial and design requirements arise from the cognitive and behavioral characteristics of Generation Alpha? What capacities and constraints do brownfield sites present for temporary learning environments? How can the cognitive requirements of Generation Alpha be related to the physical, environmental, social, and identity-related capacities of brownfields? And how can the relevant design indicators be categorized and operationalized? The contribution of the study is to clarify the relationship between cognitive characteristics, spatial requirements, and brownfield capacities and constraints. The proposed framework is not intended to replace environmental, structural, economic, or legal site assessments, nor does the present study provide empirical validation of the framework.

Methods

This study is applied in terms of purpose and adopts a qualitative, descriptive–analytical approach based on a systematic literature review. The review focused on three interconnected domains: brownfield characteristics and regeneration, the cognitive and behavioral characteristics of Generation Alpha, and learning-environment design. The literature search was conducted over a five-month period using Google Scholar and relevant reference books. The main search keywords were “brownfields,” “Generation Alpha,” “learning environment,” and “regeneration.” The initial search identified 30 sources. After removing duplicate sources, 20 sources remained. Of these, 17 sources were examined during the screening process, and 9 sources were ultimately selected for the final analysis. The inclusion criteria comprised sources addressing the characteristics of brownfields, the characteristics of Generation Alpha, and the characteristics of learning environments. The screening process considered the relevance of the sources from physical, functional, interactive, and related perspectives. Sources that did not contribute to identifying the indicators and components of learning environments for Generation Alpha in brownfield sites were excluded from the final analysis. The selected

sources were analyzed using qualitative content analysis in three stages. In the open-coding stage, concepts related to the cognitive and behavioral characteristics of Generation Alpha, learning-environment requirements, brownfield capacities and constraints, and relevant design principles were extracted. In the axial-coding stage, similar and related codes were grouped into broader components and design indicators. In the selective-coding stage, the relationships among Generation Alpha characteristics, learning requirements, and the physical, environmental, social, and identity-related capacities of brownfields were examined and integrated into the final conceptual framework. The analysis resulted in seven dimensions: (1) spatial flexibility and adaptability; (2) experiential and multisensory learning; (3) social interaction and collaborative learning; (4) technological readiness and environmental intelligence; (5) environmental quality and livability; (6) place identity, sense of belonging, and continuity of memory; and (7) personalization and environmental choice. These dimensions were considered complementary indicators rather than a fixed weighted hierarchy.

Results

The findings indicate that temporary learning environments for Generation Alpha require an integrated approach combining cognitive characteristics, educational needs, spatial qualities, and brownfield capacities. Seven interrelated design dimensions were identified: (1) spatial flexibility and adaptability, through movable furniture, multifunctional spaces, and flexible layouts; (2) experiential and multisensory learning, supported by exploration, direct experience, and appropriate reuse of existing site features; (3) social interaction and collaborative learning, through shared spaces and indoor–outdoor connections; (4) technological readiness and environmental intelligence, including digital connectivity and interactive technologies; (5) environmental quality and livability, emphasizing safety, accessibility, and control of contamination and structural risks; (6) place identity, sense of belonging, and continuity of memory, through appropriate reuse of historical and industrial features; and (7) personalization and environmental choice, allowing learners to select spaces according to different learning preferences. These dimensions are complementary rather than independent. Brownfields represent a conditional opportunity for temporary learning environments, as existing structures may offer flexibility and place identity, while contamination, structural limitations, accessibility problems, and adaptation costs may restrict their reuse. Therefore, site safety and eligibility should be assessed before applying the proposed framework, and the seven dimensions should be treated as a portfolio rather than a fixed ranking.

Conclusions

The study developed a conceptual framework linking Generation Alpha's cognitive and behavioral characteristics with the spatial requirements and opportunities of brownfield sites. The seven dimensions emphasize flexibility, experiential learning, collaboration, technology, environmental quality, place identity, and user choice. However, brownfield reuse should be considered a conditional possibility rather than an inherent suitability of all sites. Environmental, structural, safety, accessibility, economic, and legal assessments should therefore precede design application. Since the framework was developed through qualitative literature review and content analysis, it requires empirical validation. Future studies can use Delphi, AHP, case studies, and post-occupancy evaluations to validate and contextualize the indicators. Overall, the framework provides a structured basis for integrating Generation Alpha's learning needs with the regenerative potential of brownfields while recognizing site-specific constraints.



تدوین شاخص های طراحی محیط های یادگیری موقت در اراضی قهوه ای با تمرکز بر ویژگی های شناختی نسل آلفا

فائزه بیانی^a، فرزانه مدنی^{b*}، وجیهه ملائی شمس^c

^aگروه شهرسازی، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی، موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

^bگروه شهرسازی، موسسه آموزش عالی آرمان رضوی، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

^cگروه معماری، مؤسسه آموزش عالی اسرار، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

*نویسنده مسئول: fmdnurbanism@mshdiau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	رشد شتابان شهرنشینی موجب افزایش اراضی قهوه ای و فضاهای متروک شهری شده است؛ همزمان، نسل آلفا به عنوان نخستین نسل کاملاً دیجیتال، دارای ویژگی های شناختی و رفتاری متمایزی از جمله گرایش به یادگیری تعاملی، تجربه های چندحسی، انعطاف پذیری ذهنی، نیاز به بازخورد سریع و تعامل گسترده با فناوری های نوین است. پژوهش حاضر از نظر هدف، در زمره پژوهش های کاربردی و از نظر ماهیت و روش، کیفی با رویکرد توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مرور نظام مند متون است. پرسش های پژوهش عبارتند از: ویژگی های شناختی و رفتاری نسل آلفا چه الزامات فضایی و طراحی در محیط های یادگیری ایجاد می کند؟ چگونه می توان الزامات شناختی نسل آلفا را با ظرفیت های کالبدی، محیطی، اجتماعی و هویتی اراضی قهوه ای تطبیق داد؟ شاخص های طراحی محیط های یادگیری موقت در اراضی قهوه ای چگونه قابل دسته بندی و عملیاتی سازی هستند؟ منابع مرتبط با سه محور طراحی محیط یادگیری ویژگی های شناختی نسل آلفا و بازآفرینی اراضی قهوه ای بر اساس معیارهای ورود و خروج مشخص بررسی شدند سپس مفاهیم در مراحل کدگذاری باز، محوری و انتخاب تحلیل گردیدند. یافته ها به چارچوبی هفت بعدی شامل ایمنی و کیفیت محیط، انعطاف پذیری کالبدی تجربه محوری، تعامل پذیری اجتماعی، فناوری پذیری، هویت مکان و شخصی سازی منتهی شد. مشارکت پژوهش، تبیین رابطه میان ویژگی شناختی، الزام فضایی و ظرفیت یا محدودیت سایت قهوه ای است. این چارچوب جایگزین ارزیابی های ایمنی، زیست محیطی، اقتصادی و حقوقی سایت نیست و اعتبارسنجی تجربی آن در پژوهش حاضر انجام نشده است.
کلیدواژه ها:	
اراضی قهوه ای، بازآفرینی شهری، شاخص های طراحی، محیط یادگیری موقت، نسل آلفا.	

استناد به این مقاله: بیانی، فائزه؛ مدنی، فرزانه و ملائی شمس، وجیهه (۱۴۰۵). تدوین شاخص های طراحی محیط های یادگیری موقت در اراضی قهوه ای با تمرکز

بر ویژگی های شناختی نسل آلفا. راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۴۶-۲۷.

<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.596331.1024>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.596331.1024>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

طی سه دهه گذشته کانون توجه طراحان آموزشی برای مداخله‌ی آموزشی از محیط بیرونی و فیزیکی یادگیرنده به مطالعه‌ی فرآیندهای درونی و شناختی آنها معطوف گردیده که این باعث شکل‌گیری دیدگاه‌هایی شده که امروزه از آن به‌عنوان محیط‌های یادگیری یاد می‌کنند (Jonassen & Land, 2016). روان‌شناسان بر این باورند که پدیده‌های روانی و تغییرات آنها نتیجه تعامل بین ارگانیسم انسان و محیط است. محیط‌های فیزیکی اطراف انسان نقش مهمی در معنادگی و سازمان بخشی به زندگی او بازی می‌کنند. تحقیقات نشان داده‌اند بسیاری از ناهنجاری‌های رفتاری در جوامع شهری مانند خشونت، پرخاشگری، تجاوز به حقوق دیگران و رعایت نکردن قانون، ضمن داشتن ریشه‌های تاریخی، فرهنگی و اقتصادی در کیفیت فضاهای سکونت، آموزشی و کاری افراد نیز نهفته است؛ که این مطلب دلیلی بر اهمیت کیفیت فضایی می‌باشد. محیط کالبدی با عناصر تشکیل دهنده خود مانند رنگ، بافت، سایه روشن، نور، صدا و فرم بر جسم و روان انسان تأثیرگذار است (Zarghami et al., 2015).

در دهه‌های اخیر، گسترش افقی شهرها و توسعه ناموزون که معمولاً در اراضی آماده سازی نشده و خارج از چارچوب های برنامه ریزی شهری اتفاق می‌افتد، موجب افزایش زمین‌های خالی و بایر در مناطق مختلف می‌شود. این اراضی که غالباً از کاربری‌های صنعتی سابق برخوردارند، به دلیل عدم استفاده صحیح و رهاشدن، به کانون‌های آلودگی و تهدیدات زیست محیطی تبدیل می‌شوند. در این راستا، بازسازی و استفاده مجدد اراضی قهوه‌ای می‌تواند فرصتی برای بهبود محیط زیست شهری، کاهش پراکندگی و توسعه غیرقانونی و افزایش کارایی زیرساخت‌های شهری باشد (Bahador et al., 2023).

هم‌زمان با تحول در نگرش به بازآفرینی شهری، مفهوم محیط‌های یادگیری موقت نیز به‌عنوان یکی از راهبردهای انعطاف‌پذیر در طراحی شهری مورد توجه قرار گرفته است. این محیط‌ها با بهره‌گیری از سازه‌های سبک، قابلیت جابه‌جایی، تغییرپذیری فضایی و هزینه اجرای پایین، امکان پاسخگویی سریع به نیازهای آموزشی و اجتماعی را فراهم می‌کنند. برخلاف فضاهای آموزشی سنتی، محیط‌های یادگیری موقت بر تجربه، تعامل، مشارکت، یادگیری فعال و انطباق‌پذیری با شرایط متغیر تأکید دارند و می‌توانند در فضاهای شهری بلااستفاده، به‌ویژه اراضی قهوه‌ای، نقش مهمی در ارتقای کیفیت زندگی شهری ایفا کنند (Bishop & Williams, 2023). از سوی دیگر، ظهور نسل آلفا به‌عنوان نخستین نسلی که از بدو تولد در محیطی کاملاً دیجیتال رشد یافته است، ضرورت بازنگری در معیارهای طراحی محیط‌های آموزشی را دوچندان کرده است. نسل آلفا که متولدین حدود سال‌های ۲۰۱۰ به بعد را در بر می‌گیرد، دارای ویژگی‌های شناختی متفاوتی از نسل‌های پیشین است؛ از جمله پردازش هم‌زمان اطلاعات، یادگیری مبتنی بر تجربه، علاقه به فناوری‌های تعاملی، دریافت بازخورد فوری، تمایل به آموزش شخصی‌سازی شده و توجه بیشتر به محرک‌های چندحسی. این ویژگی‌ها سبب شده است که محیط‌های یادگیری آینده، علاوه بر کیفیت کالبدی، نیازمند پاسخگویی به ابعاد شناختی، روان‌شناختی و فناورانه کاربران باشند (McCrindle, 2023). سوالات پژوهش عبارتند از:

ویژگی‌های شناختی و رفتاری نسل آلفا چه الزامات فضایی و طراحی در محیط‌های یادگیری ایجاد می‌کند؟ چه ظرفیت‌ها و محدودیت‌هایی در اراضی قهوه‌ای برای استقرار محیط‌های یادگیری موقت وجود دارد؟ چگونه می‌توان الزامات شناختی نسل آلفا را با ظرفیت‌های کالبدی، محیطی، اجتماعی و هویتی اراضی قهوه‌ای تطبیق داد؟ شاخص‌های طراحی محیط‌های یادگیری موقت در اراضی قهوه‌ای چگونه قابل دسته‌بندی و عملیاتی‌سازی هستند؟ با وجود افزایش مطالعات پیرامون بازآفرینی اراضی قهوه‌ای، طراحی محیط‌های یادگیری و شناخت نسل آلفا، بررسی هم‌زمان این سه حوزه در قالب یک چارچوب طراحی منسجم، همچنان با خلأ پژوهشی روبه‌رو است. اغلب پژوهش‌های پیشین به ارزیابی کالبدی اراضی قهوه‌ای، یا طراحی فضاهای آموزشی، یا ویژگی‌های شناختی نسل آلفا به‌صورت مستقل پرداخته‌اند و ارتباط میان آن‌ها کمتر مورد بررسی

قرار گرفته است. هدف پژوهش، تدوین یک چارچوب مفهومی و عملکردی برای این پیوند است؛ نه اثبات تجربی برتری یک شاخص یا ارائه الگوی اجرایی واحد برای همه سایت‌ها. این شکاف پژوهشی، ضرورت ارائه چارچوبی جامع برای تدوین شاخص‌های طراحی محیط‌های یادگیری موقت در اراضی قهوه‌ای با تأکید بر نیازهای شناختی نسل آلفا را آشکار می‌سازد.

مبانی نظری

۱. اراضی قهوه‌ای

اراضی قهوه‌ای به اراضی اطلاق می‌شود که برای اهداف صنعتی یا خدماتی استفاده شده و ممکن است دارای آلودگی و زباله‌های قابل توجهی باشند. این اراضی پتانسیل بازسازی و احیا دارند و می‌توان از آنها مجدداً بهره‌برداری کرد. توسعه اراضی قهوه‌ای عمدتاً تحت تأثیر عوامل اقتصادی- اجتماعی قرار دارد که موجب تغییرات در فعالیت‌های اقتصادی می‌شود. با این حال این اراضی بیشتر به دلیل تأثیرات منفی خود در جامعه شناخته شده‌اند که به ویژه در پراکندگی شهری و حومه‌نشینی مشاهده می‌شود. اما در سال‌های اخیر، توسعه مجدد اراضی قهوه‌ای به عنوان راهی برای کاهش پیامدهای منفی زیست محیطی و کمک به پایداری شهری شناخته شده است. این اراضی معمولاً شامل خاک‌های تخریب شده و آلاینده‌هایی هستند که موجب آلودگی محیط زیست می‌شوند (Bangian Tabrizi et al., 2026).

۱-۱. انواع اراضی قهوه‌ای و ویژگی‌های آن‌ها

یک نمونه از زمین‌های رهاشده شهری، اراضی و یا زمین‌های قهوه‌ای هستند. این اراضی قطعاً با قابلیت توسعه مجدد هستند که به دلیل کاربری‌های سابق خود همچون کاربری صنعتی یا معدنی متروکه مانده‌اند و در مواردی به آلودگی‌های مختلف آب و خاک دچارند و از نظر زیست محیطی تنزل پیدا کرده‌اند. زمین قهوه‌ای در واقع محوطه‌ای رهاشده بدون استفاده یا تحت استفاده‌ی کاربری‌های نامناسب در محدوده مانند استفاده تجاری یا صنعتی است که در آن توسعه‌ی مجدد به دلایلی از جمله گسترش آلودگی محیطی دشوار گردیده است (Rafieian et al., 2010).

دسته دوم، اراضی تجاری و خدماتی رهاشده هستند که شامل مراکز خرید قدیمی، بازارهای متروکه، انبارهای لجستیکی، پایانه‌های حمل‌ونقل و ساختمان‌های اداری بلااستفاده می‌شوند. این اراضی معمولاً آلودگی زیست‌محیطی کمتری نسبت به سایت‌های صنعتی دارند و به دلیل قرارگیری در بافت شهری، ظرفیت بالایی برای تغییر کاربری به فضاهای آموزشی، کارآفرینی و یادگیری موقت دارند (European Commission, 2023).

نوع دیگری از اراضی قهوه‌ای، اراضی نظامی و دفاعی سابق هستند. این اراضی شامل پادگان‌ها، پایگاه‌های نظامی، انبارهای مهمات و مراکز آموزشی نظامی قدیمی است که پس از تغییر سیاست‌های دفاعی یا جابه‌جایی نیروهای نظامی بلااستفاده شده‌اند. این سایت‌ها معمولاً از نظر وسعت، استحکام سازه‌ها و دسترسی، شرایط مطلوبی دارند، اما ممکن است نیازمند پاک‌سازی‌های تخصصی باشند. در بسیاری از کشورها این اراضی به پارک‌های شهری، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و پردیس‌های نوآوری تبدیل شده‌اند (UN-Habitat, 2024).

از دیدگاه ظرفیت بازآفرینی، برخی پژوهشگران اراضی قهوه‌ای را به اراضی با قابلیت توسعه سریع، توسعه میان‌مدت و توسعه بلندمدت تقسیم می‌کنند. این طبقه‌بندی بر اساس عواملی مانند موقعیت مکانی، هزینه پاک‌سازی، کیفیت زیرساخت‌ها، میزان مشارکت ذی‌نفعان و امکان جذب سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. هرچه این شاخص‌ها وضعیت مطلوب‌تری داشته باشند، امکان تبدیل سایت به کاربری‌های آموزشی، فرهنگی و اجتماعی نیز افزایش می‌یابد (Frantzeskaki, 2023).

اراضی قهوه‌ای در شهرهای ایران را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

- اراضی قهوه‌ای موجود در بافت قدیم شهری که در گذشته معمولاً کاربری صنعتی و تجاری داشته‌اند و به علت وجود آلاینده‌های مختلف، به مکان‌های تجمع زباله و پاتوق معتادین تبدیل شده‌اند.
- اراضی قهوه‌ای ناشی از صنایع و کارخانه‌هایی که به دلیل گسترش شهرها به محدوده قانونی شهر وارد شده‌اند، برخی از این کارخانه‌ها همچنان فعال هستند، در حالی که برخی دیگر پس از تعطیلی باعث ایجاد جدایی میان بخش‌های مختلف شهر شده‌اند.
- اراضی قهوه‌ای حاشیه نشین که با گسترش شهرها وارد محدوده شهری شده‌اند. این اراضی معمولاً نزدیک به اراضی صنعتی قرار دارند و در برخی مواقع ممکن است هنوز از نظر شهرداری به عنوان مناطق شهری در طرح‌های توسعه شهری در نظر گرفته نشده باشند. این مناطق غالباً به وسیله گروه‌های اقتصادی ضعیف‌تر و یا افرادی که شرایط اقتصادی نامطلوب دارند سکونت گزیده شده و از نظر شاخص‌های کیفی زندگی نیز وضعیت مناسبی ندارند (Bangian Tabrizi et al., 2026).

۲. محیط‌های یادگیری موقت

۲-۱. سیر تحول فضاهای یادگیری

منظور از محیط‌های یادگیری مکان یا فضایی است که در آن یادگیرندگان با استفاده از ابزارها و منابع مختلف تعبیه شده در آن در راستای دستیابی به اهداف یادگیری و فعالیت‌های حل مسئله می‌کوشند (Jonassen & Land, 2016). سیر تحول رویکردهای محیط‌های یادگیری را می‌توان در چند مرحله کلی بررسی کرد: محیط‌های یادگیری مبتنی بر مساله (Hamilo-Silver, 2004)، آموزش پیونددهی (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1992)، استاد شاگردی شناختی (Collins, 2006)، یادگیری مشارکتی با کمک یارانه، یادگیری از طریق طراحی (Kolodner, 2006)، یادگیری مبتنی بر پروژه (Kraj-Keck and Blumenfeld, 2006)، بازی و شبیه سازی (Clarke et al., 2009)، محیط‌های یادگیری آزاد (Hannafin et al., 1999).

۲-۲. فضاهای یادگیری سنتی و الگوی معلم‌محور: در نخستین الگوهای طراحی فضاهای آموزشی، سازمان فضایی بر اساس نظام آموزشی سلسله‌مراتبی شکل می‌گرفت. در این الگو، معلم به عنوان منبع اصلی دانش در مرکز فرآیند آموزش قرار داشت و دانش‌آموزان نقش دریافت‌کننده اطلاعات را ایفا می‌کردند. بنابراین، کلاس‌های درس معمولاً به صورت فضاهای بسته، ثابت و دارای چیدمان خطی طراحی می‌شدند؛ به گونه‌ای که تمرکز اصلی بر دید مستقیم دانش‌آموزان به سمت معلم و تخته آموزشی بود (Lippman, 2022). در این دوره، ویژگی‌هایی مانند کنترل، نظم، سکون و تکرارپذیری در طراحی فضاهای آموزشی اهمیت زیادی داشت. کلاس‌های یکسان، راهروهای طولانی، تفکیک شدید فضاهای آموزشی و غیرآموزشی و محدودیت در تغییر چیدمان، از ویژگی‌های اصلی این الگو محسوب می‌شدند.

۲-۳. مفهوم محیط‌های یادگیری موقت

در ادبیات نوین طراحی آموزشی و مدیریت بحران، مفهوم «محیط‌های یادگیری موقت» به عنوان ابزاری انعطاف‌پذیر و کارآمد برای پاسخگویی به نیازهای آموزشی اضطراری، تجربی و مشارکتی مطرح شده است. این فضاها که اغلب در قالب سازه‌های موقت، چادرها، کانکس‌ها یا بازطراحی کوتاه‌مدت فضاهای موجود شکل می‌گیرند، وظیفه تداوم‌بخشی به فرآیند آموزش را در شرایط خاص بر عهده دارند. Salha et al (2024) در پژوهش خود نشان می‌دهند که در زمان وقوع بحران‌ها و جنگ‌ها که زیرساخت‌های آموزشی رسمی تخریب می‌شوند، ایجاد فضاهای موقت نه تنها تضمین‌کننده حق آموزش برای کودکان و نوجوانان در معرض خطر است، بلکه به عنوان یک پناهگاه امن روانی-اجتماعی عمل کرده و حس ثبات و امیدواری را به جامعه باز می‌گرداند (Salha, 2024). این رویکرد در اسناد سیاستی سازمان‌های بین‌المللی نیز به عنوان رکن اصلی پاسخ اضطراری آموزشی در بحران‌های پیچیده شناخته می‌شود (UNESCO, 2023).

از منظر معماری و طراحی محیط، موقت بودن به معنای کم‌اهمیت بودن یا بی‌کیفیت بودن فضا نیست، بلکه به قابلیت تغییر و سازگاری آن اشاره دارد. یک محیط یادگیری موقت می‌تواند از نظر کیفیت فضایی، تجربه کاربر و عملکرد آموزشی، حتی از یک فضای دائمی نیز کارآمدتر باشد؛ زیرا از ابتدا با هدف انعطاف‌پذیری و پاسخگویی به نیازهای متغیر طراحی می‌شود (Kronenburg, 2007).

۲-۴. ویژگی‌های محیط‌های یادگیری موقت

محیط‌های یادگیری موقت به عنوان یکی از رویکردهای نوین در طراحی فضاهای آموزشی، پاسخی به تغییرات سریع اجتماعی، فناوری و نیازهای متحول‌شونده نظام‌های آموزشی هستند. این محیط‌ها برخلاف فضاهای آموزشی سنتی که بر ثبات کالبدی و عملکرد ثابت تأکید دارند، بر انعطاف‌پذیری، سازگاری، تعامل، تجربه‌محوری و قابلیت تغییر تمرکز می‌کنند. ویژگی اصلی این فضاها، توانایی پاسخگویی سریع به شرایط جدید و ایجاد فرصت‌های متنوع برای یادگیری رسمی و غیررسمی است (Bishop et al., 2023).

در طراحی محیط‌های یادگیری موقت، فضا به عنوان یک عنصر فعال در فرآیند یادگیری در نظر گرفته می‌شود؛ به این معنا که معماری تنها ظرفی برای آموزش نیست، بلکه خود می‌تواند محرک یادگیری، خلاقیت، تعامل اجتماعی و شکل‌گیری تجربه‌های جدید باشد. بر این اساس، ویژگی‌های این محیط‌ها را می‌توان در ابعاد کالبدی، عملکردی، فناورانه، اجتماعی و محیطی بررسی کرد (OECD, 2023).

۲-۴-۱. انعطاف‌پذیری و قابلیت تغییر فضایی: یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های محیط‌های یادگیری موقت، انعطاف‌پذیری فضایی است. از آنجا که فعالیت‌های آموزشی در این محیط‌ها ممکن است در طول زمان تغییر کند، طراحی باید امکان تغییر سریع سازمان فضایی، چیدمان و عملکرد فضا را فراهم سازد. فضاهای انعطاف‌پذیر می‌توانند برای فعالیت‌های مختلف مانند آموزش گروهی، کارگاه عملی، نمایشگاه، فعالیت پژوهشی یا تعامل اجتماعی مورد استفاده قرار گیرند (Lippman, 2022).

۲-۴-۲. قابلیت انطباق با شرایط متغیر: محیط‌های یادگیری موقت باید توانایی سازگاری با شرایط مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی را داشته باشند. این قابلیت انطباق به معنای طراحی فضاهایی است که بتوانند بدون نیاز به بازسازی گسترده، تغییرات مورد نیاز را بپذیرند (Kronenburg, 2007).

۲-۴-۳. یادگیری مشارکتی و تعامل اجتماعی: محیط‌های یادگیری موقت برخلاف مدل‌های سنتی آموزش که بر ارتباط یک‌طرفه میان معلم و دانش‌آموز تأکید داشتند، بر تعامل، همکاری و یادگیری جمعی تمرکز می‌کنند. طراحی فضاهایی برای گفت‌وگو، کار گروهی و فعالیت‌های مشترک، موجب افزایش مشارکت کاربران و شکل‌گیری تجربه‌های اجتماعی می‌شود (Barrett, 2023).

۲-۵. گونه‌شناسی سطوح قابلیت‌ها در محیط یادگیری

شاخص قابلیت‌ها در چهار سطح دسته‌بندی می‌شوند که مبنای ارزیابی محیط یادگیری قرار می‌گیرد (Kytä, 2002): **قابلیت‌های بالقوه:** (Potential Affordances) کلیه امکانات فیزیکی موجود در محیط، صرف‌نظر از اینکه کودک آن‌ها را ببیند یا خیر.

قابلیت‌های ادراک‌شده: (Perceived Affordances) آن دسته از امکاناتی که یادگیرنده با حواس خود متوجه وجود آن‌ها می‌شود.

قابلیت‌های بهره‌برداری‌شده: (Utilized Affordances) فعالیت‌ها و بازی‌هایی که کودک عملاً در فضا انجام می‌دهد.

قابلیت‌های شکل‌گرفته / بازتعریف‌شده (Shaped Affordances) تغییراتی که کودک خودش در محیط ایجاد می‌کند تا آن را با بازی یا یادگیری خود منطبق سازد.

این چهار سطح، زنجیره‌ای از «وجود در محیط» تا «فعال‌سازی توسط یادگیرنده» را ترسیم می‌کنند.

۳. نسل آلفا

نسل آلفا به‌طور کلی شامل متولدین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ هستند و این نسل را نخستین نسلی است که به‌طور کامل در قرن بیست‌ویکم متولد شده و از آغاز زندگی در محیطی دیجیتال رشد کرده است. فناوری نه فقط یک ابزار، بلکه بخشی از بستر طبیعی رشد این نسل است؛ به همین دلیل، نسل آلفا در مقایسه با نسل‌های پیشین، سواد دیجیتال بالاتری دارد و یادگیری، ارتباطات و سرگرمی‌هایش به‌شدت با صفحه‌نمایش‌ها، اینترنت و ابزارهای هوشمند پیوند خورده است. این نسل از نظر فرهنگی و اجتماعی، جهانی‌تر، بصری‌تر و متصل‌تر از نسل‌های قبل است و از همان سال‌های نخست زندگی، در معرض جریان مداوم اطلاعات، رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی قرار دارد (McCrindle & Fell, 2020).

مک‌کریندل^۱ صرفاً نگاه خوش‌بینانه به فناوری ندارد و هشدار می‌دهد که رشد در عصر صفحه‌نمایش ممکن است با پیامدهایی مانند کاهش دامنه توجه، ضعف در تاب‌آوری، و دشواری در تقویت برخی مهارت‌های اجتماعی و ارتباطی همراه باشد. به همین سبب، او تأکید می‌کند که در آینده، در کنار توانمندی‌های فنی، مهارت‌های انسانی مانند همدلی، همکاری، رهبری، حل تعارض و هوش هیجانی برای این نسل اهمیت بیشتری خواهد یافت، به‌ویژه در شرایطی که هوش مصنوعی و خودکارسازی، بسیاری از مهارت‌های فنی را دگرگون می‌کنند (McCrindle, 2023).

۳-۱. ویژگی‌های شناختی نسل آلفا

ویژگی‌های شناختی هر نسل تحت تأثیر شرایط محیطی، فرهنگی، اجتماعی و فناوری دوران رشد آن شکل می‌گیرد. نسل آلفا به دلیل تولد و رشد در عصر دیجیتال، دارای الگوهای متفاوتی در دریافت، پردازش و تولید اطلاعات نسبت به نسل‌های پیشین است. این نسل در محیطی رشد کرده است که تعامل هم‌زمان با فناوری، تصاویر دیجیتال، شبکه‌های ارتباطی و منابع اطلاعاتی گسترده، بخشی از تجربه روزمره آن‌ها محسوب می‌شود. از این رو، شیوه یادگیری، توجه، حل مسئله و ارتباط آن‌ها با محیط، ویژگی‌های خاصی پیدا کرده است (McCrindle, 2023).

در حوزه طراحی معماری، شناخت این ویژگی‌ها اهمیت زیادی دارد؛ زیرا محیط یادگیری تنها یک فضای فیزیکی نیست، بلکه عاملی مؤثر بر فرآیندهای شناختی، ادراک، انگیزش و عملکرد یادگیرنده محسوب می‌شود. بنابراین، فضاهای آموزشی متناسب با نسل آلفا باید بتوانند محرک‌های مناسب شناختی و تجربی را فراهم کرده و با شیوه ادراک این نسل هماهنگ شوند (Barrett, 2023).

۳-۱-۱. یادگیری تعاملی و مشارکت‌محوری: یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شناختی نسل آلفا، تمایل به یادگیری تعاملی است. این نسل برخلاف الگوهای سنتی آموزش که بر دریافت منفعل اطلاعات تأکید دارند، بیشتر از طریق تعامل، تجربه، آزمایش و مشارکت اجتماعی یاد می‌گیرد. فناوری‌های دیجیتال، بازی‌های تعاملی و محیط‌های چندرسانه‌ای، ذهنیت این نسل را به سمت یادگیری فعال سوق داده‌اند (Jha et al, 2024).

از دیدگاه نظریه سازنده‌گرایی، یادگیری زمانی اثربخش‌تر است که فرد در فرآیند ساخت دانش مشارکت داشته باشد. بنابراین، محیط یادگیری باید فرصت گفت‌وگو، همکاری، تجربه و کشف را فراهم کند (Vygotsky, 1978).

1. McCrindle

در طراحی محیط‌های یادگیری موقت، این ویژگی شناختی می‌تواند به شاخص‌های فضایی زیر تبدیل شود: ایجاد فضاهای گروهی و مشارکتی؛ طراحی فضاهای کارگاهی و تجربه‌محور؛ ایجاد نقاط تعامل اجتماعی؛ امکان تغییر چیدمان برای فعالیت‌های گروهی.

۳-۱-۲. وابستگی به فناوری و سواد دیجیتال بالا: نسل آلفا نخستین نسلی است که از ابتدای زندگی در معرض فناوری‌های هوشمند قرار گرفته است. استفاده روزمره از تلفن‌های هوشمند، ابزارهای دیجیتال، هوش مصنوعی و محیط‌های مجازی باعث شده است که این نسل توانایی بالایی در تعامل با فناوری داشته باشد (McCrindle, 2023). این ویژگی باعث تغییر انتظارات آن‌ها از محیط آموزشی شده است. فضای آموزشی برای این نسل باید تنها یک مکان فیزیکی نباشد، بلکه باید امکان ارتباط با جهان دیجیتال را فراهم کند. به همین دلیل، فناوری به عنوان بخشی از ساختار فضایی محیط یادگیری مطرح می‌شود (UNESCO, 2024).

۳-۱-۳. پردازش سریع اطلاعات و گرایش به محتوای بصری: یکی از ویژگی‌های مهم نسل آلفا، توانایی تعامل سریع با حجم زیادی از اطلاعات است. رشد در محیط‌های دیجیتال باعث شده است این نسل تمایل بیشتری به دریافت اطلاعات از طریق تصویر، ویدئو، انیمیشن و رسانه‌های چندرسانه‌ای داشته باشد (Jha et al, 2024).

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت طراحی محیط‌های یادگیری برای نسل آلفا و استفاده از پتانسیل‌های اراضی قهوه‌ای و شناسایی شاخص‌های طراحی مرور و بررسی دقیق پژوهش‌های گذشته در این زمینه حائز اهمیت است. Nikjooy et al (2025)، در پژوهش شکل‌دهی به شهرهای آینده: تأثیر تغییرات نسلی بر برنامه‌ریزی شهری و اولویت‌های کلیدی برای راهبردهای انطباق‌پذیر، نشان می‌دهد که رویدادهای تاریخی و فرهنگی (از جمله آسیب‌های روانی یا تروماها) و گسترش فناوری در زندگی روزمره انسان‌ها، موجب تغییرات چشمگیری در لایه‌های اجتماعی شده است؛ به گونه‌ای که شهروندانی از گروه‌های سنی گوناگون و با نیازهای بسیار متفاوت، در محیط‌های شهری در کنار یکدیگر زندگی می‌کنند. شکاف میان نسل‌ها کاهش یافته و این مسئله، طراحی فضاهای شهری مطلوب و دارای قابلیت دسترسی همگانی را با چالش مواجه کرده است. اینترنت، به عنوان یک الگوی مشترک جهانی، تأثیر عمیقی بر شکل‌گیری نسل‌های جدید و اشتراکات فرهنگی، به‌ویژه در میان نسل‌های جوان‌تر، داشته است. امروزه ویژگی‌هایی نظیر تمایل به سرعت، تنوع و ارتباطات آنی، به عنوان خصوصیات مشترک نسل‌های دیجیتال شناخته می‌شوند. ظهور پدیده‌هایی همچون جهانی‌شدن فرهنگی، همگرایی رسانه‌ای و هویت دیجیتال را نیز می‌توان ناشی از تأثیر اینترنت دانست (Barrett, 2023).

Alaei et al (2021)، در پژوهش آینده‌نگاری بازتوسعه اراضی قهوه‌ای کارخانه قند آبکوه مشهد، نتایج نشان می‌دهد، سه سناریو برای بازتوسعه اراضی کارخانه قند آبکوه مشهد قابل تصور است: سناریوی طلایی، این سناریو دربردارند دو پیشران اصلی، فراهم‌سازی منابع درآمدی جدید برای انتقال دائم کارخانه و ایجاد پروژه‌های جدید با رویکرد ترکیبی در اطراف کارخانه بنا به ظرفیت‌ها و موقعیت آنهاست؛ سناریوی پایه، تداوم گرایش‌ها در انطباق با شرایط حاکم با ادامه روند موجود است؛ سناریوی رکود: براساس این سناریو، تمایلات منفی ذینفعان می‌تواند موجب توقف در روند اجرای پروژه شود. این توقعات به افزایش هزینه‌ها و تمام نشدن پروژه در زمان مقرر منجر خواهد شد (European Environment Agency, 2022).

آندری ام. درگولو^۱ در سال ۲۰۲۴، در پژوهش ذخایر درونی شهرها: رویکردی نوین به ارزیابی دگرگونی فضای شهری تحت تأثیر اراضی قهوه‌ای، نتیجه گرفت نقطه ضعف رویکرد سنتی به برنامه‌ریزی فضایی در سال‌های گذشته، ناشی از دست‌کم گرفتن ماهیت و ابعاد گوناگون «براون‌فیلد»های (brownfields) اجتماعی و اهمیت آن‌ها در توسعه پایدار مناطق شهری در جامعه پسا صنعتی است. چشم‌انداز توسعه فضاهای درونی شهر و کیفیت زندگی ساکنان، تا حد زیادی به وضعیت این اراضی (که اغلب کاربری‌های صنعتی یا نظامی متروکه یا بلااستفاده بوده‌اند) وابسته است، زیرا بخش عمده‌ای از آن‌ها می‌توانند تأثیرات زیست‌محیطی منفی داشته باشند (Dregulo, 2024)؛ موضوعی که به‌ویژه در کلان‌شهرها و مناطق کلان‌شهری (آگلومراسیون‌ها) مشهود است. فرآیند حذف یا بازآفرینی شهری اراضی قهوه‌ای باید مبتنی بر تحلیل اولویت‌های محلی در دگرگونی فضاهای شهری باشد معیارهایی متفاوت از ضوابط فعلی ثبت در فهرست دولتی و عواملی همچون ویژگی‌های سازمان‌دهی فضایی عرصه‌های عمومی، شرایط زیست‌محیطی و جغرافیایی، و افکار عمومی را نیز در بر گیرد (Barrett, 2023).

گیرالدی و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۷، در پژوهش طراحی برای نسل بعدی طراحی شهری کودکان به عنوان روشی استراتژیک برای بهبود آینده در شهرها، نتیجه گرفت فضاها و مسیرهای شهری باید با عناصر مختلف طراحی مشخص شوند تا بتواند حرکت و روابط را تسهیل کنند، تخیل را تحریک و کودکان را به اجتماعی شدن تشویق کنند. تعامل حسی و انعطاف‌پذیری و تجربه از عناصر مهم در طراحی شهری برای نسل بعد هستند (Krippendorff, 2022).

سبک‌های یادگیری نسل آلفا و ارتباط آن با طراحی محیط‌های آموزشی

سبک یادگیری به مجموعه‌ای از ترجیحات، روش‌ها و راهبردهایی گفته می‌شود که افراد برای دریافت، پردازش و به‌کارگیری اطلاعات مورد استفاده قرار می‌دهند. اگرچه سبک‌های یادگیری تحت تأثیر عوامل مختلف فردی، فرهنگی و آموزشی قرار دارند، اما شرایط رشد هر نسل می‌تواند الگوهای غالبی در شیوه تعامل با دانش ایجاد کند. نسل آلفا به دلیل رشد در محیط دیجیتال، تجربه متفاوتی از یادگیری دارد و انتظار دارد محیط آموزشی نیز با ویژگی‌های شناختی و رفتاری آن هماهنگ باشد (McCrindle, 2023).

۱. یادگیری مشارکتی و اجتماعی:

از دیدگاه نظریه اجتماعی- فرهنگی ویگوتسکی، تعامل با دیگران نقش مهمی در شکل‌گیری دانش و رشد شناختی دارد (Vygotsky, 1978).

۲. یادگیری خودراهبر و شخصی‌سازی شده: نسل آلفا به دلیل دسترسی گسترده به منابع اطلاعاتی، توانایی بیشتری در جست‌وجو و انتخاب محتوا دارد. این ویژگی موجب افزایش اهمیت یادگیری خودراهبر شده است؛ یعنی فرد بتواند مسیر، سرعت و روش یادگیری خود را تا حدی انتخاب کند (OECD, 2023).

شاخص‌های طراحی محیط‌های یادگیری موقت متناسب با ویژگی‌های شناختی نسل آلفا

تحولات سریع اجتماعی، فناوری و آموزشی موجب شده است که الگوهای سنتی طراحی فضاهای یادگیری پاسخگوی کامل نیازهای نسل جدید نباشند. نسل آلفا به عنوان نخستین نسل کاملاً دیجیتال، دارای ویژگی‌های شناختی متفاوتی همچون یادگیری تعاملی، تجربه‌محوری، گرایش به فناوری، نیاز به تنوع فضایی و تمایل به شخصی‌سازی فرآیند یادگیری است. از این‌رو، محیط‌های یادگیری متناسب با این نسل باید فراتر از فضاهای آموزشی ثابت عمل کرده و بستری انعطاف‌پذیر، پویا و چندلایه برای تعامل میان انسان، محیط و فناوری فراهم کنند (McCrindle, 2023).

۱. شاخص انعطاف‌پذیری و تغییرپذیری فضایی: نسل آلفا به دلیل تجربه مداوم با محیط‌های دیجیتال و تعاملی، به فضاهایی نیاز دارد که قابلیت تغییر، انتخاب و سازگاری با فعالیت‌های مختلف را داشته باشند. فضاهای آموزشی ثابت که تنها برای یک نوع فعالیت طراحی شده‌اند، نمی‌توانند پاسخگوی شیوه‌های متنوع یادگیری این نسل باشند. انعطاف‌پذیری فضایی شامل امکان تغییر سازمان فضایی، جابه‌جایی تجهیزات، تغییر مقیاس فضا و تبدیل محیط‌های فردی به گروهی است. استفاده از مبلمان متحرک، دیوارهای قابل تغییر، فضاهای چندمنظوره و سازه‌های سبک می‌تواند این ویژگی را در محیط‌های یادگیری موقت تقویت کند. در اراضی قهوه‌ای، این شاخص اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا فضاهای موجود معمولاً دارای ساختارهای قبلی هستند و نیازمند طراحی‌هایی هستند که بتوانند بدون تخریب گسترده، عملکرد آموزشی جدید پیدا کنند (Kronenburg, 2007).

۲. شاخص تجربه‌محوری و یادگیری چندحسی: نسل آلفا بیشتر از طریق تجربه مستقیم، مشاهده، تعامل و فعالیت عملی یاد می‌گیرد. بنابراین، محیط یادگیری باید به گونه‌ای طراحی شود که امکان درگیر شدن حواس مختلف و تجربه مستقیم موضوعات آموزشی را فراهم کند. بر اساس نظریه یادگیری تجربی کلب، یادگیری زمانی عمیق‌تر می‌شود که فرد در چرخه تجربه، تحلیل و بازآفرینی دانش قرار گیرد.

۳. شاخص تعامل اجتماعی و یادگیری مشارکتی: یادگیری نسل آلفا تنها فرآیندی فردی نیست، بلکه تعامل با دیگران نقش مهمی در شکل‌گیری دانش آن‌ها دارد. نظریه اجتماعی - فرهنگی ویگوتسکی نیز بر نقش ارتباطات اجتماعی در رشد شناختی تأکید دارد. بنابراین، محیط‌های یادگیری موقت باید فضاهایی برای ارتباط، گفت‌وگو و همکاری ایجاد کنند. طراحی فضاهای اشتراکی، نشیمن‌های گروهی، فضاهای نیمه‌باز و مکان‌های تجمع می‌تواند تعامل اجتماعی را افزایش دهد. این شاخص در اراضی قهوه‌ای می‌تواند از طریق تبدیل فضاهای صنعتی متروکه به مکان‌های آموزشی - اجتماعی تحقق یابد؛ به گونه‌ای که محیط آموزشی علاوه بر یادگیری، زمینه ارتباط میان گروه‌های مختلف جامعه را فراهم کند (Vygotsky, 1978).

۴. شاخص فناوری‌پذیری و هوشمندی محیط: فناوری بخش جدایی‌ناپذیر زندگی نسل آلفا است و بر شیوه دریافت، پردازش و تولید اطلاعات آن‌ها تأثیر مستقیم دارد. بنابراین، محیط‌های یادگیری آینده باید قابلیت هماهنگی با فناوری‌های دیجیتال را داشته باشند. شاخص فناوری‌پذیری شامل موارد زیر است: زیرساخت اینترنت و ارتباطات دیجیتال؛ تجهیزات آموزشی هوشمند؛ نمایشگرهای تعاملی؛ قابلیت استفاده از واقعیت مجازی و افزوده؛ ارتباط میان فضای فیزیکی و مجازی در محیط‌های یادگیری موقت، فناوری می‌تواند محدودیت‌های کالبدی فضاهای بازآفرینی شده را کاهش داده و امکان ایجاد تجربه‌های آموزشی جدید را فراهم کند (UNESCO, 2024).

۵. شاخص شخصی‌سازی و انتخاب‌پذیری محیط: یکی از ویژگی‌های شناختی نسل آلفا، تمایل به انتخاب و کنترل بیشتر بر فرآیند یادگیری است. این نسل در محیط‌های دیجیتال به تجربه‌های شخصی‌سازی شده عادت کرده و انتظار دارد محیط آموزشی نیز امکان انتخاب مسیر و شیوه یادگیری را فراهم کند. در طراحی محیط، این شاخص می‌تواند از طریق ایجاد فضاهای فردی و گروهی متنوع؛ امکان انتخاب محل فعالیت؛ فضاهای آرام برای تمرکز؛ فضاهای فعال برای تعامل؛ تحقق یابد (McCordle, 2023).

۶. شاخص هویت مکانی و حس تعلق: استفاده از ویژگی‌های تاریخی، فرهنگی و کالبدی مکان می‌تواند ارتباط عاطفی کاربران با محیط را افزایش دهد (Relph, 2022). در اراضی قهوه‌ای، حفظ نشانه‌های گذشته مانند سازه‌ها، مصالح یا عناصر تاریخی می‌تواند به ایجاد محیطی منحصربه‌فرد کمک کند و خود به عنوان یک ابزار آموزشی مورد استفاده قرار گیرد.

بازآفرینی اراضی قهوه‌ای برای ایجاد محیط‌های یادگیری

۱. اصول طراحی محیط‌های یادگیری در اراضی قهوه‌ای

ایجاد محیط‌های یادگیری در اراضی قهوه‌ای نیازمند توجه هم‌زمان به ابعاد کالبدی، عملکردی، اجتماعی و شناختی است. این فضاها باید علاوه بر حفظ ارزش‌های موجود، پاسخگوی نیازهای کاربران جدید، به‌ویژه نسل آلفا، باشند.

الف) حفظ هویت و خاطره مکان: یکی از مهم‌ترین اصول بازآفرینی اراضی قهوه‌ای، حفظ ویژگی‌های هویتی و تاریخی مکان است. حذف کامل آثار گذشته می‌تواند موجب از بین رفتن ارتباط میان کاربران و محیط شود. بنابراین، استفاده از عناصر موجود مانند سازه‌ها، مصالح، نشانه‌های صنعتی و سازمان فضایی گذشته می‌تواند به ایجاد حس تعلق و هویت کمک کند. در محیط‌های یادگیری، این ویژگی اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا مکان می‌تواند خود به یک ابزار آموزشی تبدیل شود و فرآیند یادگیری را از طریق تجربه مستقیم تقویت کند (Douglas, 2022).

ب) انعطاف‌پذیری فضایی: محیط‌های یادگیری نسل جدید باید قابلیت تغییر و سازگاری با فعالیت‌های مختلف را داشته باشند. اراضی قهوه‌ای به دلیل وسعت و ساختارهای موجود، امکان ایجاد فضاهای چندمنظوره و انعطاف‌پذیر را فراهم می‌کنند. فضاهای آموزشی موقت در این بستر باید بتوانند برای فعالیت‌هایی مانند: آموزش گروهی؛ کارگاه‌های عملی؛ فعالیت‌های پژوهشی؛ نمایشگاه‌های آموزشی؛ فعالیت‌های اجتماعی؛ تغییر یابند (Kronenburg, 2007).

ج) ایجاد ارتباط میان فضای داخلی و محیط بیرونی: بسیاری از اراضی قهوه‌ای دارای محوطه‌های باز، فضاهای نیمه‌ساخته و ظرفیت‌های طبیعی هستند. استفاده از این فضاها می‌تواند محیط یادگیری را از محدوده کلاس‌های بسته خارج کرده و امکان یادگیری در فضای باز را فراهم کند. مطالعات طراحی محیطی نشان می‌دهد ارتباط با طبیعت، نور طبیعی و تنوع محیطی می‌تواند بر افزایش تمرکز، کاهش استرس و بهبود عملکرد شناختی کاربران تأثیر مثبت داشته باشد (Kellert et al., 2008; Zhong et al., 2022).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر رویکرد، کیفی و با روش توصیفی - تحلیلی انجام شده است. روش گردآوری و بررسی اطلاعات، مرور نظام‌مند منابع بوده و مطالعات مرتبط در سه حوزه اصلی شامل ویژگی‌ها و ظرفیت‌های اراضی قهوه‌ای و بازآفرینی آن‌ها، ویژگی‌های شناختی و رفتاری نسل آلفا، و اصول و ویژگی‌های طراحی محیط‌های یادگیری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جست‌وجوی منابع طی یک دوره پنج‌ماهه و با استفاده از Google Scholar و کتاب‌های مرجع مرتبط انجام شد. کلیدواژه‌های اصلی جست‌وجو شامل «اراضی قهوه‌ای»، «نسل آلفا»، «محیط یادگیری» و «بازآفرینی» بود و ترکیب‌های مرتبط این کلیدواژه‌ها نیز در فرایند جست‌وجو مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله نخست، ۳۰ منبع شناسایی شد. پس از حذف منابع تکراری، ۲۰ منبع باقی ماند. در ادامه، ۱۷ منبع از نظر ارتباط با موضوع پژوهش مورد بررسی و غربالگری قرار گرفت و در نهایت ۹ منبع برای تحلیل نهایی انتخاب شد. معیارهای ورود منابع شامل پرداختن به ویژگی‌ها و ظرفیت‌های اراضی قهوه‌ای، ویژگی‌های شناختی و رفتاری نسل آلفا، و ویژگی‌ها و الزامات محیط‌های یادگیری بود. فرایند غربالگری منابع با توجه به میزان ارتباط آن‌ها با ابعاد کالبدی، عملکردی، تعاملی و سایر ابعاد مرتبط با طراحی محیط یادگیری و بازآفرینی اراضی قهوه‌ای انجام گرفت. منابعی که ارتباط کافی با شناسایی و تبیین شاخص‌ها و مؤلفه‌های محیط‌های یادگیری متناسب با نسل آلفا در اراضی قهوه‌ای نداشتند، از فرایند تحلیل نهایی کنار گذاشته شدند.

روش گردآوری داده‌ها

داده‌های مورد نیاز پژوهش به روش کتابخانه‌ای و اسنادی جمع‌آوری شده است. منابع مورد بررسی شامل: مقالات علمی منتشرشده در حوزه طراحی محیط‌های یادگیری؛ کتاب‌ها و پژوهش‌های مرتبط با روان‌شناسی محیطی؛ مطالعات مرتبط با ویژگی‌های شناختی نسل آلفا؛ منابع مربوط به بازآفرینی اراضی قهوه‌ای؛ پژوهش‌های مرتبط با فضاهای آموزشی انعطاف‌پذیر و موقت. در این مرحله، مفاهیم اصلی پژوهش شامل «محیط یادگیری»، «نسل آلفا»، «بازآفرینی اراضی قهوه‌ای» و «شاخص‌های طراحی معماری» بررسی شده و ارتباط میان آن‌ها مشخص می‌شود.

روش تحلیل داده‌ها

تحلیل داده‌ها با روش تحلیل محتوای کیفی و در سه مرحله انجام شد:

کدگذاری باز: مفاهیم اولیه مرتبط با ویژگی‌های شناختی نسل آلفا، الزامات فضایی، ظرفیت‌های اراضی قهوه‌ای و اصول طراحی محیط‌های یادگیری از متن منابع منتخب استخراج شد (جدول ۱).

کدگذاری محوری: کدهای مشابه و هم‌معنا در قالب مؤلفه‌های اصلی و شاخص‌های طراحی سازمان‌دهی شدند؛ خروجی این مرحله، ابعاد هفت‌گانه چارچوب (کالبدی، شناختی، اجتماعی، فناورانه، محیطی، هویتی و فردی) بود (جدول ۲).

کدگذاری انتخابی: روابط میان ویژگی‌های نسل آلفا، الزامات طراحی و ظرفیت‌های اراضی قهوه‌ای بررسی و چارچوب نهایی هفت‌بعدی شاخص‌ها تدوین شد.

برای رفع ابهام در تعریف شاخص‌ها، مؤلفه‌های عملیاتی هر شاخص نیز مشخص شد (جدول ۲). برای نمونه، «انعطاف‌پذیری فضایی» با مؤلفه‌هایی چون قابلیت تغییر چیدمان، استفاده از مبلمان متحرک، چندمنظوره‌بودن، امکان تغییر مقیاس و قابلیت تبدیل فضای فردی به گروهی تعریف عملیاتی شد؛ «تعامل‌پذیری» نیز بر اساس و ارتباط میانگو، همکاری، یادگیری گروهی، وجود فضاهای جمعی و ارتباط میان فضای داخلی و بیرونی عملیاتی گردید (Lincoln & Guba, 2023).

جدول ۱. خلاصه منابع کلیدی و شاخص‌های استخراج‌شده

Table 1. Summary of key sources and extracted indicators

نویسنده / سازمان	سال	حوزه	روش گزارش شده	شاخص‌ها یا مفاهیم استخراج‌شده
Kronenburg	۲۰۰۷	معماری موقت	مطالعه مفهومی	انعطاف‌پذیری، سازگاری، مونتاژپذیری
Lippman	۲۰۲۲	طراحی محیط یادگیری	مرور طراحی آموزشی	تنوع فضایی، یادگیری فعال، مقیاس انسانی
OECD	۲۰۲۳	سیاست و فضای یادگیری	گزارش تحلیلی	انعطاف‌پذیری، همکاری، فناوری‌پذیری
UNESCO	۲۰۲۴	آموزش و پایداری	راهنمای سیاستی	دسترس‌پذیری، شمول، تاب‌آوری محیطی
McCrindle	۲۰۲۳	نسل آلفا	تحلیل روند	محتوای بصری، تعامل دیجیتال، انتخاب‌پذیری
Frantzeskaki	۲۰۲۳	بازآفرینی شهری	مرور مفهومی	بازاستفاده، هویت مکان، مشارکت ذی‌نفعان
EPA	۲۰۲۴	بازآفرینی اراضی قهوه‌ای	راهنمای اجرایی	ارزیابی آلودگی، پاک‌سازی، ایمنی و استفاده مجدد
شاکری و منصفی	۱۳۹۹	ارضای قهوه‌ای در ایران	مطالعه تحلیلی	ظرفیت بازآفرینی، ملاحظات بستر و هویت
نیکجویی و همکاران	۱۴۰۴	محیط یادگیری	مطالعه طراحی	انعطاف‌پذیری، تعامل، کیفیت محیط

جدول حاضر منابعی را نشان می‌دهد که مستقیماً در کدگذاری نقش داشته‌اند.

یافته‌ها و بحث

مایکل جیا پرای^۱ در فصل ۴ کتاب طراحی ذهن‌های فردا: رویکرد تفکر طراحی برای مغز مجهز به هوش مصنوعی، به ویژگی‌های شناختی نسل آلفا اشاره می‌کند و بیان می‌کند برای جذب این نسل برای یادگیری، باید تجربیات یادگیری تعاملی و هیجان‌انگیز و دانش مربوط به جدیدترین فناوری‌ها و روش‌های مختلف یادگیری باهم ادغام شوند. Barua & Lockee (2024)، در پژوهش برنامه‌ریزی آموزشی انعطاف‌پذیر: از تئوری تا اجرا در محیط‌های یادگیری مدرن، نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، که شامل ماژولار دوره‌ها، ارائه گزینه‌های دوره‌های متنوع (مانند آنلاین، ترکیبی و حضوری)، امکان انتخاب محتوا و ارزیابی‌های متعدد و استفاده از فناوری‌های نوین است، می‌تواند به افزایش مشارکت دانش‌آموزان و بهبود نتایج یادگیری و توسعه مهارت‌های خودنظیمی و تفکر انتقادی کمک کند. با توجه به ماهیت کیفی پژوهش حاضر و استفاده از مطالعات اسنادی و تحلیل نظری منابع، یافته‌های پژوهش بر اساس بررسی و تلفیق سه حوزه اصلی شامل ویژگی‌های شناختی نسل آلفا، اصول طراحی محیط‌های یادگیری نوین و ظرفیت‌های بازآفرینی اراضی قهوه‌ای استخراج شده است. نتایج نشان می‌دهد که طراحی محیط‌های یادگیری موقت برای نسل آلفا نیازمند رویکردی چندبعدی است که علاوه بر پاسخگویی به نیازهای آموزشی، ویژگی‌های ادراکی، شناختی، اجتماعی و فناوری این نسل را نیز مورد توجه قرار دهد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که رابطه میان نسل آلفا، طراحی محیط یادگیری و بازآفرینی اراضی قهوه‌ای نباید به صورت هم‌نشینی سه مفهوم مستقل فهم شود. مدل استنتاجی پژوهش سه حلقه دارد:

ویژگی شناختی/ رفتاری □ نیاز آموزشی- فضایی □ پاسخ طراحی قابل تحقق در سایت بازآفرینی‌شونده. برای مثال، گرایش به یادگیری بصری و بازخورد سریع، به نیاز برای نمایش، ساختن و تعامل کوتاه‌چرخه منتهی می‌شود؛ پاسخ فضایی آن، سطوح تعاملی، ایستگاه‌های تجربه و زیرساخت شبکه و برق قابل ارتقا است؛ و در سایت قهوه‌ای، این پاسخ می‌تواند با بازاستفاده از سوله‌های دهانه‌بلند، پس از تأیید ایمنی و پاک‌سازی، محقق شود. بر این مبنا، فناوری بُعدی مستقل و خودبسنده نیست، بلکه در خدمت تجربه‌محوری و تعامل‌پذیری قرار می‌گیرد و کارکرد آن تقویتی است، نه جایگزین معلم یا هم‌سالان. بر این اساس، هفت بُعد جدول (۲) به عنوان «سبد شاخص‌ها» معرفی می‌شوند، نه فهرستی با وزن‌های قطعی. در محیط‌های موقت، انعطاف‌پذیری کالبدی و ایمنی/ کیفیت محیط پیش‌نیازهای اجرایی‌اند؛ تجربه‌محوری، تعامل‌پذیری و انتخاب‌پذیری کیفیت یادگیری را تقویت می‌کنند؛ و هویت و فناوری در صورت هم‌راستایی با هدف آموزشی و ظرفیت سایت ارزش افزوده ایجاد می‌کنند. این دسته‌بندی به معنای برتری ذاتی یک شاخص بر دیگری نیست؛ اولویت هر شاخص باید با توجه به گروه کاربر، مدت استقرار، نوع آلودگی، بودجه و الگوی بهره‌برداری تعیین شود. اولویت‌بندی رسمی نیازمند روش‌هایی نظیر دلفی یا AHP در پژوهش آتی است.

جدول ۲. تعریف عملیاتی شاخص‌های هفت‌گانه

Table 2. Operational definitions of the seven indicators

بُعد	شاخص	تعریف عملیاتی	مؤلفه‌های عینی قابل ارزیابی
کالبدی	انعطاف‌پذیری فضایی	توان فضا برای پشتیبانی از سناریوهای آموزشی متفاوت بدون مداخله‌ی سازه‌ای عمده	پلان آزاد، پارکین متحرک، مبلمان چرخ‌دار، انبارش در دسترس، نقاط اتصال چندمنظوره
شناختی	تجربه‌محوری چندحسی	فراهم‌سازی امکان مشاهده، آزمون، ساختن و بازخوردگیری در فرایند یادگیری	سطوح نوشتاری/نمایشی، ایستگاه‌های تجربه، تنوع کنترل‌شده‌ی نور و بافت، فضای ارائه

اجتماعی	تعامل‌پذیری	تسهیل همکاری، گفت‌وگو و یادگیری همتا به همتا در کنار امکان خلوت	فضاهای گروهی با ظرفیت متغیر، چیدمان حلقه‌ای، دیدپذیری، فضای گفتگو غیررسمی
فناورانه	فناوری‌پذیری هوشمند	آمدگی فضا برای استفاده‌ی ایمن، پایدار و هدفمند از ابزارهای دیجیتال	اینترنت پایدار، برق و شارژ ایمن، نمایشگر تعاملی، کنترل حریم خصوصی، قابلیت به‌روزرسانی
محیطی	کیفیت محیط و زیست‌پذیری	تأمین آسایش و کاهش مصرف منابع در دوره‌ی بهره‌برداری	نور روز کنترل‌شده، تهویه، آسایش حرارتی، فضای سبز، مصالح کم‌انتشار، ارتباط درون- بیرون
هویتی	تداوم هویت و خاطره‌ی مکان	خوانا نگه‌داشتن لایه‌های تاریخی سایت در کاربری جدید	حفظ سازه/ مصالح ارزشمند، روایت‌گری صنعتی، نشانه‌گذاری، بازکاربری سازگار، مشارکت محلی
فردی	شخصی‌سازی و انتخاب‌پذیری	امکان انتخاب محل، شیوه و میزان تمرکز در یادگیری	فضاهای فردی، تنوع نشیمن، کنترل نسبی نور/صدا، دسترس‌پذیری فراگیر، مسیرهای انتخابی

هم‌پوشانی میان شاخص‌ها نیز آشکار است: انعطاف‌پذیری با شخصی‌سازی هم‌پوشان است (هر دو تنوع انتخاب را ممکن می‌کنند)، تعامل اجتماعی با تجربه‌محوری تلاقی دارد (بخش مهمی از تجربه از همکاری حاصل می‌شود) و کیفیت محیط با بُعد هویتی پیوند دارد (حفظ عناصر موجود هم مصرف منابع را کاهش می‌دهد و هم خاطره مکان را تقویت می‌کند). برای جلوگیری از دوباره شماری در ارزیابی‌های آتی، هر مؤلفه باید فقط زیر شاخصی ثبت شود که نقش غالب را توضیح می‌دهد.

تعارض‌های محتمل نیز باید صریحاً مدیریت شوند. حفظ پوسته یا سازه صنعتی ممکن است با الزامات عایق‌کاری، دسترس‌پذیری یا نصب تجهیزات دیجیتال در تضاد باشد؛ راه حل، حذف یکی از دو هدف نیست، بلکه مداخله برگشت‌پذیر، استقرار تجهیزات در عناصر مستقل از سازه تاریخی و اولویت‌دادن به ایمنی و حفاظت از ارزش‌های ثبت شده است. فراوانی محرک دیجیتال نیز نباید به افت تمرکز یا محرومیت کاربران با دسترسی دیجیتال کمتر بینجامد؛ از این‌رو معادل غیررقومی فعالیت‌ها و فضاهای کم‌تحریک همواره باید پیش‌بینی شود.

در سطح کاربرد، تجربه‌های شناخته‌شده بازکاربری صنعتی نشان می‌دهند که حفظ سازه موجود می‌تواند با کاربری‌های فرهنگی و آموزشی ترکیب شود؛ با این حال، مقاله از تعمیم بی‌قید و شرط این تجربه‌ها پرهیز می‌کند: امکان انتقال مدل به هر سایت مشروط به ارزیابی آلاینده‌ها، ظرفیت سازه‌ای، دسترسی حمل‌ونقل، مسئولیت حقوقی و امکان بهره‌برداری موقت است.

نتایج حاصل از بررسی مبانی نظری و تحلیل مطالعات مرتبط نشان داد که طراحی این محیط‌ها نیازمند توجه هم‌زمان به ابعاد کالبدی، شناختی، اجتماعی، فناوری، محیطی و هویتی است. بر اساس یافته‌های پژوهش، یکی از شاخص مؤثر در طراحی محیط‌های یادگیری موقت، انعطاف‌پذیری فضایی است؛ این یافته با نتایج پژوهش [Barua & Lockee \(2024\)](#) همسو است. زیرا نسل آلفا به محیط‌هایی نیاز دارد که بتواند متناسب با نوع فعالیت، شیوه یادگیری و نیازهای کاربران تغییر کند. با بررسی و تحلیل مطالعات ویژگی‌های کالبدی اراضی قهوه‌ای این نتیجه به دست آمد که اراضی قهوه‌ای دارای پتانسیل‌های زیادی برای طراحی محیط‌های یادگیری موقت را هستند و این یافته با نتایج پژوهش [Shakeri & Monsefi \(2020\)](#) همسو است.

اراضی قهوه‌ای فقط هنگامی می‌توانند میزبان محیط یادگیری موقت باشند که «ظرفیت مکانی» و «قابلیت بهره‌برداری ایمن» هم‌زمان احراز شوند. ظرفیت فضایی سوله‌ها و ساختمان‌های صنعتی متروکه می‌تواند به انعطاف‌پذیری، مقیاس‌پذیری و تداوم هویت مکان کمک کند؛ اما آلودگی خاک یا آب زیرزمینی، مصالح خطرناک، ضعف

سازه، دسترسی نامناسب و هزینه‌های تجهیز، این ظرفیت را محدود می‌کند. از این رو گزاره پژوهش نه «مناسب بودن همه‌ی اراضی قهوه‌ای» بلکه «قابلیت مشروط برخی سایت‌های واجد صلاحیت برای استقرار محیط یادگیری موقت» است.

پیش از تصمیم طراحی، چهار کنترل ضروری پیشنهاد می‌شود: ۱- ارزیابی زیست‌محیطی و تعیین محدوده مجاز بهره‌برداری؛ ۲- ارزیابی سازه، ایمنی حریق و مسیرهای خروج؛ ۳- تحلیل دسترسی ایمن پیاپی، دوچرخه و حمل‌ونقل عمومی برای کودکان و همراهان؛ و ۴- تحلیل هزینه در چرخه عمر، شامل پاک‌سازی، تجهیز موقت، بهره‌برداری و بازگردانی سایت. تنها پس از گذر از این دروازه‌هاست که چارچوب هفت‌بعدی باید برای طراحی به کار رود. فقدان هر یک از این سه مقیاس؛ ایمنی سایت، کیفیت فضا، کیفیت تجربه کاربر، ادعای پایداری یا یادگیری محوری طرح را تضعیف می‌کند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با پیوند سه حوزه جدا از هم، بازآفرینی شهری، طراحی محیط یادگیری و ویژگی‌های شناختی نسل آلفا، چارچوبی هفت‌بعدی از شاخص‌های طراحی محیط‌های یادگیری موقت در اراضی قهوه‌ای تدوین کرد. دستاوردها و پیامدهای آن را می‌توان در چهار محور خلاصه کرد:

دستاوردهای نظری: مشارکت اصلی پژوهش، ترسیم زنجیره‌ی استدلال «ویژگی شناختی نسل آلفا ← نیاز آموزشی- فضایی ← پاسخ طراحی قابل تحقق در سایت بازآفرینی‌شونده» است. این زنجیره نشان می‌دهد که شاخص‌های پیشنهادی نه فهرستی عرفی، بلکه برآیند منطقی سه حوزه‌اند و در قالب تعاریف عملیاتی (جدول ۲) قابل ارزیابی‌اند.

دستورالعمل طراحی برای طراحان و برنامه‌ریزان: ۱) پیش از طراحی، چهار دروازه سایت را احراز کنید: ارزیابی آلودگی، ایمنی سازه و حریق، دسترسی ایمن، و هزینه‌ی چرخه عمر. ۲) پوسته را برگشت‌پذیر مداخله دهید و تجهیزات دیجیتال را از عناصر تاریخی مستقل کنید تا تعارض حفاظت- فناوری مدیریت شود. ۳) هر سوله یا سالن را برای دست‌کم دو سناریوی آموزشی متفاوت قابل بازآرایی طراحی کنید (پلان آزاد، مبلمان متحرک، پارتیشن سبک). ۴) تنوع فضایی از فضای فردی تا جمعی را در یک بستر واحد تأمین کنید تا تعامل و تمرکز هم‌زمان ممکن شود. ۵) لایه‌های تاریخی سایت را خوانا نگه دارید (حفظ مصالح، نشانه‌گذاری، روایت‌گری صنعتی) و مشارکت محلی در بازتاب هویت را الزامی بدانید. ۶) به هر فعالیت دیجیتال، معادل غیررقومی بیفزایید و فضاهای کم‌تحریک را پیش‌بینی نمایید.

پیشنهاد برای سیاست‌گذاران: در سامانه شناسایی و واگذاری اراضی بایر، سناریوی «کاربری آموزشی موقت» را به‌عنوان گزینه‌ای کم‌هزینه میان رهاسازی و توسعه نهایی در نظر بگیرید؛ چارچوب صلاحیت سایت (آلودگی، سازه، دسترسی) را به‌صورت چک‌لیست استاندارد تدوین کنید و مالکیت مسئولیت حقوقی در دوره بهره‌برداری موقت را روشن سازید.

محدودیت‌های پژوهش: چارچوب حاضر با مرور اسناد و تحلیل محتوای کیفی ساخته شده و اعتبارسنجی تجربی نشده است؛ بدون مطالعه موردی یا رأی خبرگان، اولویت‌بندی قطعی میان شاخص‌ها ممکن نیست. وابستگی به منابع نظری خاص (به‌ویژه در حوزه نسل آلفا که ادبیات تجربی آن جوان است) و نبود داده میدانی درباره رفتار واقعی کاربران، از محدودیت‌های دیگر است؛ یافته‌ها باید با احتیاط و به‌عنوان چارچوب پیشنهادی تفسیر شوند.

پیشنهاد‌های پژوهش‌های آینده: ۱- اعتبارسنجی چارچوب با روش دلفی در دو سه دور با پانل متخصصان طراحی، آموزش و محیط‌زیست؛ ۲- وزن‌دهی شاخص‌ها با AHP برای بسترهای متفاوت (سایت صنعتی، معدنی، نظامی سابق)؛ ۳- مطالعه موردی تک‌سایتی با مطالعه پس‌محیطی رفتار کاربران و سنجش کیفیت محیط؛ ۴- مطالعه طولی اثر استقرار موقت بر ارزش زمین و پذیرش اجتماعی محل؛ و ۵- تدوین چک‌لیست اجرایی صلاحیت سایت برای نهاد‌های شهری.

بر این اساس، بازآفرینی اراضی قهوه‌ای به عنوان رویکردی پایدار و نوآورانه، می‌تواند زمینه ایجاد نسل جدیدی از محیط‌های یادگیری را فراهم کند؛ محیط‌هایی که نه تنها نیازهای آموزشی نسل آلفا را پاسخ می‌دهند، بلکه به احیای فضاهای فراموش‌شده شهری و ارتقای کیفیت زندگی اجتماعی نیز کمک می‌کنند.

References

- Alaei, R., Rahnama, M. R., & Kharazmi, O. (2021). Ayandehnegarī-e baztose'e-ye arāzī-ye qahve'i-ye kārkhāne-ye qand-e Abkouh-e Mashhad [Foresight of brownfield redevelopment of Abkouh Sugar Factory in Mashhad]. *Journal of Geography and Regional Development*, 19(2), 1–24. <https://doi.org/10.22067/jgrd.2022.45539.0> [In Persian].
- Bahador, N., Ghazanfarpour, H., Abdollahi, A. Asghar, & Afsharmanesh, H (2023). A Comparative Study of the Regeneration of Brownfields, Greyfields, and Inefficient Urban Fabrics: A Case Study of Districts 3 and 4 of Kerman City. *Journal of Urban Management and Environmental Engineering*, 1(2), 79-96. [In Persian].
- Bangian Tabrizi, A., Hanaei, T., Sarvari, H., Saeidi Mofrad, S (2026). Explaining the utilization of brownfields within the framework of the ecological sustainability approach. *Journal of Space and Place Studies*, 3(4), 63-76.. [In Persian].
- Barrett, P. (2023). The Impact of Classroom Design on Learning.
- Barua, L., & Lockee, B. B. (2024). A review of strategies to incorporate flexibility in higher education course designs. *Discover Education*, 3, 127. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00213-8>
- Bishop, P. & Williams, L. (2023). The Temporary City: Architecture and Urbanism Beyond Permanence.
- Clark, D. B., Nelson, B. C., Sengupta, P., & D'Angelo, C. M. (2009). Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence. National Academies Board on Science Education.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1992). The Jasper series as an example of anchored instruction: Theory, program description, and assessment data. *Educational Psychologist*, 27(3), 291–315.
- Collins, A. (2006). Cognitive apprenticeship. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 47–60). Cambridge University Press.
- Douglas, J. (2022). Building Adaptation.
- Dregulo, A. M. (2024). Internal reserves of cities: A new approach to assessing the transformation of urban space under the influence of brownfields. *Geography, Environment, Sustainability*, 17(4), 159–170. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2024-3263>
- European Commission. (2023). Brownfield Regeneration and Sustainable Urban Development.
- European Environment Agency (EEA). (2022). Brownfield Redevelopment in Europe.
- Frantzeskaki, N& et al. (2023). Urban Regeneration and Sustainable Cities.
- Hannafin, M. J., Land, S. M., & Oliver, K. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory* (Vol. 2, pp. 115–140). Lawrence Erlbaum Associates.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Jha, S., Sethi, R., Kumar, M., & Khorwal, G. (2024). Comparative Study of the Flipped Classroom and Traditional Lecture Methods in Anatomy Teaching. *Cureus*, 16(7), e64378.

- Jonassen, D. H., & Land, S. M. (Eds.). (2012). *Theoretical foundations of learning environments* (2nd ed.). Routledge.
- Jonassen, D., Land, S (2016). *Theoretical Foundations of Learning Environments* (Mina Azarnoush & Hossein Zanganeh, Trans.). Tehran: Avaye Noor (Original work published 2012). [In Persian].
- Kellert, S. R., Heerwagen, J., & Mador, M. (2008). *Biophilic Design: The Theory, Science and Practice of Bringing Buildings to Life*. John Wiley & Sons.
- Kolodner, J. L. (2006). Case-based reasoning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 225–242). Cambridge University Press.
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317–334). Cambridge University Press.
- Krippendorff, K. (2022). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*.
- Kronenburg, R. (2007). *Flexible: Architecture that Responds to Change*.
- Kyttä, M. (2002). Affordances of Children's Environments in the Context of Cities, Small Towns, Suburbs and Rural Villages in Finland and Belarus. *Journal of Environmental Psychology*, 22(1–2), 109–123.
- Kyttä, M. (2004). The extent of children's independent mobility and the number of actualized affordances as criteria for child-friendly environments. *Journal of Environmental Psychology*, 24(2), 179–198.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (2023). *Naturalistic Inquiry*.
- Lippman, P. (2022). *Evidence-Based Design of Elementary and Secondary Schools*.
- McCrindle, M. (2023). *Generation Alpha*.
- Nikjooy, M., Masoumi, N., & Ghasemzadeh, P. (2025). Shaping future cities: The impact of generational changes on urban planning and key priorities for adaptive strategies. *Journal of Sustainable Development*, 18(4), 125–125. <https://doi.org/10.5539/jsd.v18n4p125>.
- OECD. (2023). *Innovative Learning Environments*.
- Rafieian, M., Barati, N., and Aram, M (2010). Assessing the development potential of underutilized spaces in Qazvin city center with an emphasis on the infill development approach. *Nameh-ye Memari va Shahrsazi (Journal of Architecture and Urban Planning)*, University of Art, (5), 46-61. [In Persian].
- Relph, E. (2022). *Place and Placelessness* (Reprint ed.). SAGE Publications Ltd. ISBN-13: 978-0850861761
- Salha, S., Tlili, A., Shehata, B., Zhang, X., Endris, A., Arar, K., Mishra, S., & Jemni, M. (2024). How to Maintain Education During Wars? An Integrative Approach to Ensure the Right to Education. *Open Praxis*, 16(2), pp. 160–179.
- Shakeri, M., Monsefi, D (2020). Investigating Principles and Strategies for Urban Neighborhood Redevelopment Based on a Brownfield Land-Use Conversion Approach. *Journal of Architectural Studies*, 3(16). [In Persian].
- UNESCO. (2024). *Reimagining Education for the Future*.
- UN-Habitat. (2024). *World Cities Report*.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Brownfields Program*.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- World Economic Forum. (2024). *Future of Learning Report*.
- Zarghami, E., Nasiri, N., Azhdehfar, Sh., Azhdehfar, Leila (2013). The Impact of Environmental Quality Factors on Reducing Problematic Behavior in Children Aged 5–7. *Payesh Journal*, 12(4), 403–414. [In Persian].
- Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114–141. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006>.



Environmental Planning for Ecotourism in Sensitive Ecosystems and Protected Areas of Iran: A Framework for Achieving Sustainable Conservation

Lobat Zebardast^{a*}

^aDepartment of Environmental Planning, Management and HSE, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: : Lzebardast@ut.ac.ir, <https://orcid.org/0000-0001-5660-9665>

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received: 2026/08/15
Received in revised form:
2026/09/11
Accepted 2026/09/10
Available online: 2026/09/22

Keywords:
Ecotourism,
Environmental planning,
Protected areas,
Sustainable conservation.

ABSTRACT

Drawing on a literature review on ecotourism and sustainable tourism in protected areas, the study aims to propose an environmental planning framework for Iran that reflects the country's climatic, geographic, cultural, and institutional contexts and can serve as a model for the sustainable conservation of sensitive ecosystems and the sustainable management of tourism. This study seeks to answer the following questions: What are the key opportunities, challenges, and research gaps in managing ecotourism in protected areas? How can an indigenous, sustainability-oriented framework for Iran be adapted to the country's specific climatic, institutional, and environmental conditions? This study conducted a systematic review of the literature on ecotourism, sustainable tourism, environmental planning, and protected areas. Persian and English keywords were searched across ScienceDirect and Google Scholar for 2020–2026. After screening and the removal of duplicates, 21 articles were selected for final analysis. Findings reveal that nature-based tourism in protected areas can strengthen local economies, yet significant challenges persist, including land-use changes, pollution, socio-cultural disruptions, climate change impacts, human–wildlife conflicts, and inadequate infrastructure. The literature emphasizes carrying capacity, stakeholder education, participatory planning, collaborative governance, and robust legal frameworks as key management strategies. The review also reveals a clear research gap: most Iranian studies are confined to local or regional scales, focusing on individual sites without offering a coherent, transferable framework, while international findings require substantial adaptation to Iran's specific conditions. This study proposes a locally adapted framework based on environmental protection, economic development, community participation, ecosystem vulnerability, carrying capacity, and sound policy-making. It accounts for Iran's arid and semi-arid climate, institutional misalignment, and competition over scarce water resources. The result is a framework in which carrying capacity is climate-sensitive, zoning is institutionally aligned, participation is livelihood-oriented and grounded in equitable benefit-sharing, and monitoring is adaptive and data-driven. This model provides an operational basis for strategic ecotourism planning, facilitating the transition from mere exploitation to sustainable conservation in Iran's sensitive ecosystems and protected areas.

Cite this article: Zebardast, L. (2026). Environmental Planning for Ecotourism in Sensitive Ecosystems and Protected Areas of Iran: A Framework for Achieving Sustainable Conservation. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 47-66.
<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597280.1025>



© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597280.1025>

Introduction

Tourism is an important driver of economic development, employment, income diversification, and poverty reduction, particularly in developing countries. Natural areas, protected landscapes, and biodiversity-rich ecosystems are major destinations for nature-based tourism while also providing essential ecosystem services. However, increasing tourism pressure, uncontrolled recreational activities, land-use changes, pollution, climate change, and biodiversity loss can threaten sensitive ecosystems. Without appropriate environmental planning and management, tourism development may intensify resource degradation and create conflicts between conservation objectives and local economic interests. Ecotourism provides an approach for linking biodiversity conservation with responsible tourism, local economic development, environmental education, and community participation. Effective ecotourism planning therefore requires attention to ecological capacity, visitor management, local livelihoods, stakeholder participation, and institutional arrangements, supported by tools such as carrying-capacity assessment, zoning, participatory planning, monitoring, and collaborative governance. Iran has considerable ecotourism potential due to its diverse climates, ecosystems, landscapes, protected areas, and cultural heritage. Nevertheless, ecotourism development faces environmental, socio-economic, and institutional challenges, including water scarcity, ecosystem vulnerability, inadequate infrastructure, livelihood dependence on natural resources, and institutional fragmentation. Existing Iranian studies have largely focused on specific destinations or individual management issues and have rarely provided an integrated and transferable planning framework. Therefore, international experiences require adaptation to Iran's climatic, geographical, socio-economic, cultural, and institutional conditions. Accordingly, this study systematically reviews recent literature on ecotourism and sustainable tourism in protected areas to identify major opportunities, challenges, management strategies, and planning requirements and to provide the conceptual basis for an integrated framework for sustainable ecotourism planning in Iran.

Method

This study employed a systematic literature review to identify and synthesize recent evidence on ecotourism, sustainable tourism, environmental planning, and protected areas, with emphasis on environmental, socio-economic, institutional, and planning dimensions relevant to the Iranian context. Persian and English studies published between 2020 and 2026 were searched in ScienceDirect and Google Scholar using keywords such as "ecotourism," "protected areas," "environmental planning," "environmental impacts of ecotourism," and "sustainable conservation." In ScienceDirect, an advanced search restricted "Ecotourism" and "Protected areas" to article titles and research articles, yielding 110 records.

Titles and abstracts were screened based on predefined inclusion and exclusion criteria, and duplicate or irrelevant studies were removed. Finally, 21 articles (15 English and 6 Persian) were selected for analysis. The selected studies were comparatively reviewed to identify major opportunities, challenges, management strategies, and planning requirements. Findings were thematically organized around ecological conservation, carrying capacity, community participation, economic benefits, governance, policy, environmental education, and monitoring, providing the basis for developing a context-sensitive framework for sustainable ecotourism planning in Iran.

Results

The systematic review identified key opportunities, challenges, and strategic solutions for ecotourism management in protected areas. Findings indicate that developing nature-based tourism, particularly in regions near international borders, can attract support and strengthen local economies. However, significant challenges persist, including land-use changes,

pollution, socio-cultural disruptions, and the intensification of climate change impacts. Resource scarcity and human-wildlife conflicts, alongside poverty and inadequate infrastructure, remain primary barriers to sustainable development. To mitigate these conflicts, the literature emphasizes several management interventions: calculating carrying capacity, diversifying recreational activities, and enhancing local welfare through participatory planning. Stakeholder education and international branding of protected statuses are crucial for balancing conservation and utilization, with tour guides playing a pivotal role in promoting environmental awareness. Furthermore, tourists' attitudes and their awareness of conservation needs are decisive factors for the success of ecotourism destinations.

Results also highlight the importance of "Collaborative Governance" and benefit-sharing mechanisms. Sustainable success depends on structured interactions among stakeholders, transparency, and conflict management to link biodiversity conservation with local livelihoods. Strategic educational planning along tourist routes can foster pro-environmental public opinion while improving socio-economic indices. Finally, researchers stress the necessity of integrated policy-making and robust legal frameworks that simultaneously prioritize ecological capacity and economic.

Conclusions

This study identifies the dimensions and components governing ecotourism environmental planning in sensitive ecosystems and protected areas to develop the groundwork for a comprehensive indigenous framework that aligns tourism development, local community participation, and the sustainable conservation of natural resources. The review shows that most Iranian studies have been limited to local or regional scales, focusing on capacity assessment or the challenges of specific sites without offering a coherent, transferable framework. Conversely, international findings stem from geographic, institutional, and environmental contexts that differ markedly from those of Iran and therefore require substantial adaptation to its climatic variability, biodiversity, and local governance structures.

The literature reveals a clear gap in studies that conceptualize ecotourism planning as an integrated model aligned with sustainable conservation in the Iranian context, particularly regarding the systematic linkage of ecological, socio-economic, and institutional dimensions; the institutionalization of local community participation as a core pillar rather than a peripheral variable; and a concrete policy framework capable of balancing development-oriented exploitation with conservation requirements.

Accordingly, any proposed framework must rest on core pillars environmental protection alongside economic development, community participation, sensitivity to Iran's specific conditions and ecosystem vulnerability, carrying capacity, and sound policy-making—while accounting for the country's arid and semi-arid climate, institutional misalignment, competition over scarce water resources, the livelihood dependence of local communities on natural assets, and security and accessibility constraints. The result is a locally adapted framework in which carrying capacity is climate-sensitive, zoning is responsible and institutionally aligned, participation is livelihood-oriented and grounded in equitable benefit-sharing, and monitoring is adaptive and data-driven. Such a framework can serve as an operational model for strategic ecotourism planning, facilitating the transition from mere exploitation to sustainable conservation in Iran's sensitive ecosystems and protected areas.



برنامه ریزی محیط زیستی اکوتوریسم در زیست بوم های حساس و مناطق حفاظت شده ایران: الگویی برای دستیابی به حفاظت پایدار

لعبت زبردست^{a*}

^aگروه برنامه ریزی، مدیریت محیط زیست و HSE، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: lzebardast@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله مروری	این پژوهش، با استناد به مرور ادبیات در حوزه های اکوتوریسم و گردشگری پایدار در مناطق حفاظت شده، چارچوبی برای برنامه ریزی محیط زیست در ایران پیشنهاد می دهد که منعکس کننده شرایط اقلیمی، جغرافیایی، فرهنگی و نهادی کشور بوده و می تواند برای حفاظت پایدار از اکوسیستم های حساس و مدیریت پایدار گردشگری استفاده شود. این تحقیق بدنبال پاسخ به این پرسش هاست: فرصت ها، چالش ها و خلأ های پژوهشی در مدیریت اکوتوریسم مناطق حفاظت شده کدامند؟ یک چارچوب بومی و پایدار برای ایران، چگونه با شرایط خاص اقلیمی، نهادی و محیطی کشور سازگار می شود؟ روش پژوهش، مرور نظام مند ادبیات موضوع در حوزه های اکوتوریسم، گردشگری پایدار، برنامه ریزی محیط زیست و مناطق حفاظت شده است. کلیدواژه های مرتبط به صورت انفرادی و ترکیبی در پایگاه های ScienceDirect و Google Scholar برای بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ جستجو شدند. پس از غربالگری و حذف موارد تکراری، ۲۱ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب گردیدند. یافته ها نشان می دهد که گردشگری طبیعت محور در مناطق حفاظت شده می تواند اقتصاد محلی را تقویت کند، اما چالش هایی از جمله تغییر کاربری، آلودگی، اثرات اجتماعی- فرهنگی، تغییر اقلیم، تعارضات انسان و حیات وحش و زیرساخت های ناکافی وجود دارد. ادبیات پیشین بر ظرفیت برد، آموزش ذینفعان، برنامه ریزی مشارکتی، حکمرانی همکارانه و چارچوب های قانونی مستحکم به عنوان راهبردهای کلیدی در این زمینه تاکید دارند. این مرور همچنین شکافی پژوهشی را نمایان می سازد: اکثر مطالعات داخلی به مقیاس های محلی یا منطقه ای محدود شده و بر سایت های منفرد تمرکز دارند و چارچوبی منسجم و قابل تعمیم ارائه نمی دهند. یافته های بین المللی نیز نیازمند انطباق اساسی با شرایط خاص ایران هستند. این مطالعه چارچوبی بومی را پیشنهاد می دهد که بر مبنای حفاظت محیط زیست، توسعه اقتصادی، مشارکت جوامع محلی، آسیب پذیری اکوسیستم، ظرفیت برد و سیاست گذاری صحیح استوار است. در عین حال، اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، عدم هم راستایی نهادی، رقابت بر سر منابع آب و محدودیت های امنیتی را لحاظ می کند. در این چارچوب، ظرفیت برد نسبت به اقلیم حساس است، پهنه بندی از نظر نهادی هم راستا شده، مشارکت معیشت محور و مبتنی بر تسهیم عادلانه منافع است و پایش به صورت تطبیقی و داده محور انجام می شود. چنین مدلی، مبنایی عملیاتی برای برنامه ریزی راهبردی اکوتوریسم فراهم کرده و گذار از بهره کشی صرف به حفاظت پایدار در اکوسیستم های حساس و مناطق حفاظت شده ایران را تسهیل می نماید.

استناد به این مقاله: زبردست، لعبت (۱۴۰۵). برنامه ریزی محیط زیستی اکوتوریسم در زیست بوم های حساس و مناطق حفاظت شده ایران: الگویی برای دستیابی به حفاظت پایدار. راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۶۶-۴۷. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597280.1025>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597280.1025>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

در سال‌های اخیر، گردشگری به یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی جهان تبدیل شده است. عواملی مانند ایجاد اشتغال، افزایش درآمدهای ارزی، جذب سرمایه‌گذاری، تقویت رشد اقتصادی و کمک به کاهش فقر، باعث شده این فعالیت نقش اقتصادی قابل توجهی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه ایفا نماید. گردشگری به‌عنوان عاملی مؤثر در توسعه شناخته می‌شود، زیرا با بهره‌گیری از منابع موجود در مقصد، از جمله محیط طبیعی، اقلیم، میراث فرهنگی و سرمایه انسانی، زمینه پویایی اقتصاد محلی را فراهم می‌سازد (Mohanty et al., 2024). عرصه‌های طبیعی و مناطق حفاظت شده، به علت زیبایی و ویژگی‌های طبیعی خاص، یکی از جاذبه‌های مهم گردشگری در جهان محسوب می‌شوند. با آنکه در اصل، این مناطق به‌عنوان یک راهکار و چارچوب مهم برای تحقق پایداری، حفاظت از محیط زیست و ارزش‌های فرهنگی و اکوسیستمی شناخته می‌شوند (Cellitti & Angrilli, 2025). علاوه بر کارکرد بنیادین حفظ تنوع زیستی، همزمان منجر به تقویت خدمات اکوسیستمی، به معنی مواهب و منافع دریافتی انسان از عرصه‌های طبیعی نیز می‌شوند (Buschke & Capitani, 2025) که یکی از مهمترین آنها گردشگری است.

با اینحال، بسیاری از عرصه‌های طبیعی و زیست‌بوم‌های حساس در اثر چالش‌هایی مانند تغییر اقلیم، کاهش تنوع زیستی و فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی با تهدیدهای جدی مواجه‌اند. افزایش تمایل به بازدید از مناطق حفاظت‌شده سبب شده است این مناطق به مقاصد مهم و پرطرفدار در گردشگری طبیعت‌محور تبدیل شوند (Pegler et al., 2025) که این مسئله می‌تواند به صورت بالقوه و در شرایط رعایت نشدن الزامات محیط زیستی، باعث افزایش فشار و تخریب این مناطق شود. موفقیت در تحقق گردشگری پایدار در مناطق حفاظت‌شده مستلزم مجموعه‌ای از راهکارهایی از جمله ارتقای ارزش‌های طبیعی، کاهش پیامدهای مخرب گردشگری، تقویت نقش جوامع محلی در فرایند برنامه‌ریزی و تدوین چارچوب‌های قانونی است. در واقع، توسعه گردشگری مبتنی بر طبیعت زمانی پایدار خواهد بود که ضمن بهره‌گیری از پتانسیل‌های موجود، منافع اقتصادی آن به‌طور متوازن میان مدیران اجرایی و ساکنان بومی توزیع گردد (Trišić et al., 2023).

در سال‌های اخیر، پارادایم پایداری همانند بسیاری از حوزه‌های دیگر، به یکی از چارچوب‌های مهم در گردشگری تبدیل شده است. اکوتوریسم به عنوان یکی از ارکان اصلی در دستیابی به پایداری در گردشگری شناخته می‌شود. این رویکرد ضمن حفاظت و تقویت ارزش‌های طبیعی و فرهنگی، زمینه مشارکت و توسعه جوامع محلی را نیز فراهم می‌سازد (Zorlu, & Yilmaz, 2020). اکوتوریسم همواره به عنوان یک فعالیت پایدار و ابزاری کارآمد در مناطق حفاظت‌شده و حاشیه آن‌ها معرفی شده که می‌تواند میان حفاظت از تنوع زیستی و تامین معیشت جوامع محلی تعادل و همسویی ایجاد کند (Forje et al., 2021). چرا که از یک سو بر حفاظت از مقاصد طبیعی تأکید دارد و از سوی دیگر، رفتار مسئولانه گردشگران را در تعامل با محیط زیست تقویت می‌کند. اکوتوریسم به‌طور کلی به سفر مسئولانه به مناطق طبیعی اشاره دارد که همراه با توجه به حفاظت از محیط، ارتقای رفاه جوامع محلی و نیز آموزش و آگاهی‌بخشی است. در این نوع گردشگری، افراد ضمن لذت بردن از سفر و گذران اوقات فراغت، با ویژگی‌های طبیعی و فرهنگی مقصد نیز آشنا می‌شوند و تلاشی آگاهانه انجام می‌دهند تا کمترین آسیب را به محیط وارد کنند (Lim et al., 2023).

مفهوم اکوتوریسم از زمان ورود به ادبیات علمی این حوزه توسط سبایوس- لاسکورین^۱ (۱۹۸۷)، تکاملی تدریجی را به‌ویژه در ابعاد نظری داشته به‌طوری‌که رویکرد اولیه آن از تحسین صرف طبیعت به سمت حفاظت از این عرصه‌ها و حمایت از جوامع محلی سوق یافته است. این تغییر نگرش، اکوتوریسم را در کانون گردشگری پایدار قرار داده و توازن و توسعه هم‌زمان را در هر سه رکن محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی تضمین می‌کند (Machnik, 2021). این نوع گردشگری، بر رفتار مسئولانه گردشگران و توجه به ارزش‌های طبیعی و فرهنگی استوار بوده و به‌دلیل گرایش روزافزون گردشگران به تجربه‌های نو، مقاصد

جدید و آشنایی با شیوه زندگی جوامع محلی، رشد قابل توجهی داشته است. همچنین، اکوتوریسم محصولی جامع در نظر گرفته می‌شود که تجربه و رضایت گردشگر در شکل‌گیری تصویر ذهنی از مقصد نقش اساسی دارد. در این میان، اتکای آن به منابع طبیعی و محصولات بومی موجب می‌شود منافع اقتصادی حاصل، بیش از سایر اشکال گردشگری، در ناحیه مقصد باقی بماند (Cvetković et al., 2023). اکوتوریسم به‌عنوان یکی از انواع گردشگری جایگزین^۱، مبتنی بر بازدید مسئولانه از عرصه‌های طبیعی با هدف آموزش، مطالعه و انجام فعالیت‌های سازگار با محیط‌زیست است. این نوع از گردشگری که بر محوریت تجربه‌گرایی در طبیعت استوار است، فراتر از یک فعالیت صرفاً تفریحی، با تکیه بر شناخت اکوسیستم‌ها، تنوع زیستی، مناظر و میراث فرهنگی محلی، نقش مؤثری در توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی جوامع میزبان ایفا می‌کند (Kiper, 2013).

اساس اکوتوریسم بر پایه بهره‌برداری حداقلی از منابع طبیعی و در عین حال، ایجاد بیشترین سطح رضایتمندی برای گردشگران است. این نوع گردشگری پاسخگوی نیاز انسان به تجربه محیط‌های طبیعی، هوا و آب پاک است. افزون بر این، اشتیاق به تعامل با جوامع محلی و بومی و بهره‌گیری از خدمات و محصولات سنتی آن‌ها، از انگیزه‌های محوری و متمایزکننده این نوع گردشگری به شمار می‌رود (Hasana et al., 2022). گردشگران و بازدیدکنندگان از جاذبه‌های گردشگری، از جمله مهمترین ارکان در موفقیت اکوتوریسم و دستیابی به پایداری محسوب می‌شوند. مطالعات صورت گرفته مبین این مسئله است که تمایل گردشگران به بازدید از یک مقصد محلی و آگاهی آنان از ضرورت حفاظت، از عوامل کلیدی دستیابی به پایداری به شمار می‌رود. مشارکت گردشگران در اکوتوریسم این امکان را فراهم می‌کند که آنان ضمن گذراندن زمان فراغت و تعطیلات خود، بتوانند حس مسئولیت‌پذیری خود را در قبال توسعه و حفاظت از محیط زیست مقصد نشان دهند (Lim et al., 2023). خدمات اکوسیستمی عرصه‌های طبیعی و مناق حفاظت شده برای توسعه اکوتوریسم اهمیت زیادی دارد. از این منظر، اکوتوریسم افزون بر آنکه خود در شمار خدمات اکوسیستمی فرهنگی قرار می‌گیرد، بستری برای شناسایی و تقویت دیگر ارزش‌های فرهنگی مناطق حفاظت‌شده، مانند میراث تاریخی، ارزش‌های هویتی و نمادین، و همچنین آموزش و آگاهی‌بخشی زیست‌محیطی فراهم می‌کند (Cellitti & Angrilli, 2025).

به منظور مدیریت و کاهش اثرات احتمالی منفی ناشی از فعالیت‌های تفرجی در مناطق حفاظت‌شده و اکوسیستم‌های حساس طبیعی، چارچوب‌ها و ابزارهای متنوعی توسعه یافته‌اند که در پژوهش‌های مختلف به آنها اشاره شده و در اکوسیستم‌ها و محیط‌های مختلف طبیعی آزمون شده‌اند. تحقیق حاضر به دنبال پاسخگویی به این پرسش‌هاست که مهمترین فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای مدیریت و برنامه ریزی محیط زیستی اکوتوریسم در مناطق تحت حفاظت و اکوسیستم‌های حساس کدامند؟ کدامیک از این موارد در ادبیات علمی مرتبط با پژوهش کمتر مورد توجه قرار گرفته است؟ چارچوب بومی قابل ارائه برای کشور ایران در زمینه گردشگری پایدار در مناطق تحت حفاظت شامل چه مولفه‌هایی است؟ مدل پیشنهادی چگونه با شرایط خاص ایران (اقلیم، نهادها، منابع آب، امنیت) سازگار می‌شود؟

بر این اساس، هدف این مقاله، بررسی ادبیات تحقیق مرتبط با مقوله اکوتوریسم و گردشگری پایدار در مناطق طبیعی و حفاظت شده به منظور برنامه ریزی محیط زیستی در جهت ارائه یک چارچوب بومی برای کشور ایران است که شرایط خاص اقلیمی، جغرافیایی، فرهنگی و نهادی کشور را در نظر بگیرد تا بتوان به عنوان یک مدل الهام بخش برای توسعه پایدار گردشگری در مناطق طبیعی و آسیب پذیر کشور به کار گرفته شود.

روش‌شناسی پژوهش

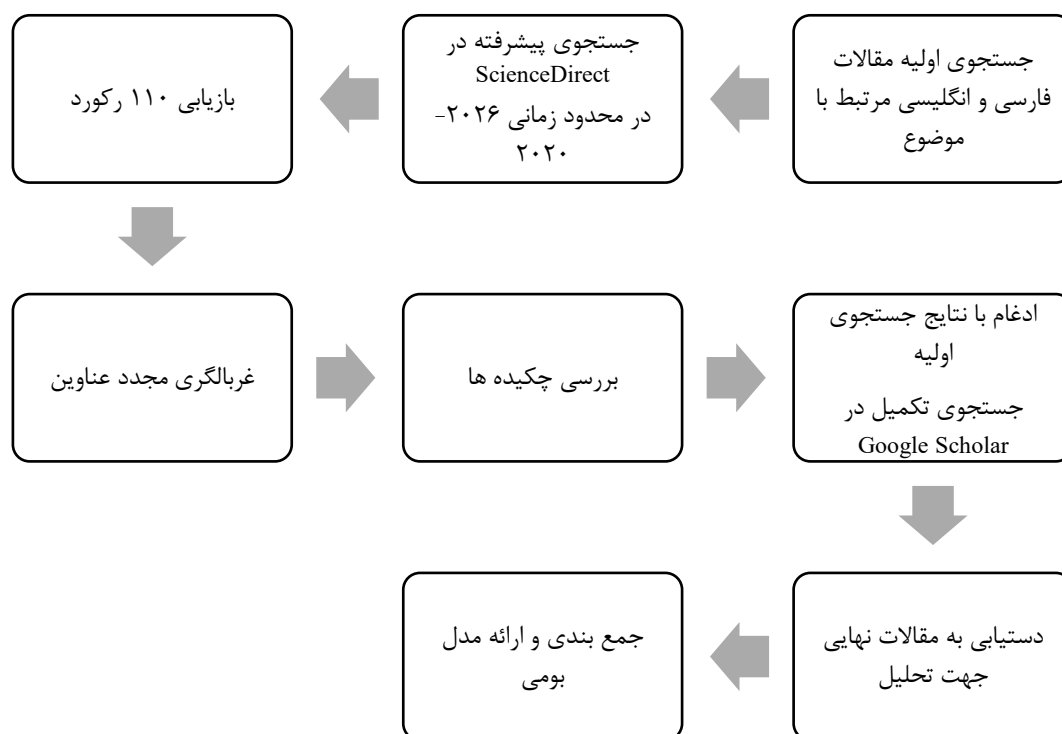
روش مورد استفاده در این مطالعه، مرور ادبیات پژوهش مرتبط با اکوتوریسم، گردشگری پایدار، برنامه‌ریزی محیط‌زیستی و مناطق حفاظت‌شده است. برای این منظور، از کلیدواژه‌های فارسی «اکوتوریسم»، «مناطق حفاظت‌شده»، «برنامه‌ریزی

محیط‌زیستی»، «اثرات محیط‌زیستی اکوتوریسم» و «حفاظت پایدار» و معادل‌های انگلیسی آن‌ها، به‌صورت منفرد و ترکیبی، برای جست‌وجو و غربالگری مقالات استفاده شد. مقالات منتشرشده در فاصله سال‌های ۲۰۲۰ تا زمان انجام جست‌وجو در سال ۲۰۲۶ میلادی از طریق ScienceDirect و Google Scholar شناسایی و بررسی شدند.

در مرحله نخست، تعدادی از مقالات فارسی و انگلیسی مرتبط با موضوع پژوهش از طریق جست‌وجوی اولیه گردآوری شد. سپس، به‌منظور تکمیل فرایند شناسایی منابع انگلیسی، از قابلیت جست‌وجوی پیشرفته پایگاه ScienceDirect استفاده شد. محدودیت‌های جست‌وجو به‌گونه‌ای تنظیم گردید که عبارات کلیدی "Ecotourism" و "Protected areas" در عنوان مقاله جست‌وجو شوند. پس از اعمال محدودیت بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۶ و نوع مدرک مقالات پژوهشی، تعداد ۱۱۰ رکورد بازیابی شد.

در مرحله غربالگری، ابتدا عنوان رکوردهای بازیابی‌شده بررسی و موارد نامرتب حذف شدند. سپس، چکیده مقالات باقی‌مانده بر اساس میزان انطباق با اهداف پژوهش ارزیابی شد. مقالاتی که ارتباط مستقیمی با برنامه‌ریزی محیط‌زیستی اکوتوریسم، حفاظت از زیست‌بوم‌های حساس یا مدیریت مناطق حفاظت‌شده نداشتند، یا فاقد یافته‌های تجربی و اطلاعات قابل‌استفاده برای استخراج مؤلفه‌های مدل پیشنهادی بودند، از بررسی کنار گذاشته شدند. مقالات واجد شرایط حاصل از این جست‌وجوی تکمیلی با منابع انگلیسی شناسایی‌شده در جست‌وجوی اولیه ادغام و موارد تکراری حذف شدند. همچنین، از Google Scholar برای تکمیل جست‌وجوی منابع انگلیسی و شناسایی مقالات فارسی مرتبط استفاده شد. پس از ادغام نتایج جست‌وجوها، حذف موارد تکراری و ارزیابی عنوان، چکیده و متن کامل مقالات بر اساس معیارهای ورود و خروج، در نهایت ۲۱ مقاله، شامل ۱۵ مقاله انگلیسی و ۶ مقاله فارسی، برای تحلیل نهایی انتخاب شد.

در نهایت، با تلفیق مؤلفه‌های استخراج‌شده و انطباق آن‌ها با ویژگی‌های زیست‌بوم‌های حساس و مناطق حفاظت‌شده ایران، مدل بومی مورد نظر پژوهش تبیین گردید. در شکل ۱، نمودار فرایند پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱. نمودار فرایند پژوهش

Figure 1. Research process diagram

یافته‌ها

در این بخش از پژوهش، مقالات پژوهشی بررسی شده با محوریت گردشگری در مناطق تحت حفاظت و با استفاده از کلمات کلیدی مد نظر تحقیق ارائه می‌شود.

از جمله مطالعات صورت گرفته در کشور ایران می‌توان به مقاله کمانداری و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرد که با رویکردی کیفی و روش توصیفی-تحلیلی، به بررسی ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و چالش‌های پیش‌روی طبیعت‌گردی در استان کرمان پرداختند. یافته‌ها نشان داد که با وجود تنوع بالای جاذبه‌های طبیعی در استان، توسعه اکوتوریسم با موانعی مانند ضعف اطلاع‌رسانی، کم‌رنگ بودن مشارکت جامعه محلی در برنامه‌های توسعه، مسائل امنیتی و نیز کمبود امکانات و زیرساخت‌های اقامتی و پذیرایی مواجه است.

Hajehforoosh (2022) در پژوهشی به بررسی نقش سه گونه گردشگری اکوتوریسم، اگرواکوتوریسم و ژئوتوریسم در توسعه صنعت گردشگری و ارتقای وضعیت اقتصادی شهرستان سمیرم پرداخت. برای ترسیم نقشه‌های اکوتوریسم و اگرواکوتوریسم از پیمایش میدانی، تحلیل پرسشنامه‌های گردشگران، نظرات کارشناسان و مسئولان ادارات و مصاحبه با ساکنان محلی استفاده شد و داده‌ها با آزمون‌های آماری و مدل SWOT تحلیل گردید. تهیه نقشه‌های ژئوتوریسم بر پایه مدل آنتروپی شانون صورت گرفت. همچنین با بهره‌گیری از مدل چرخه حیات باتلر مشخص شد که مقصد گردشگری سمیرم از دو مرحله نخست عبور کرده و اکنون در مرحله سوم یعنی مرحله توسعه قرار دارد و سرمایه‌گذاری‌های صورت گرفته، آغاز رشد و رونق گردشگری به‌ویژه در بخش اگرواکوتوریسم و ژئوتوریسم را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با ارائه امکانات و خدمات بیشتر، توسعه گردشگری این ناحیه می‌تواند به سمت مرحله چهارم یعنی تثبیت حرکت کند.

Hejazi et al (2024) با هدف شناسایی و ارزیابی ژئوسایت‌های منطقه حفاظت‌شده میرآباد استان آذربایجان غربی، دو روش کامنسکو و سرانو-گونزالز-تروبا را مورد مقایسه قرار دادند. روش کامنسکو بر پایه پنج معیار شامل ارزش‌های علمی، زیباشناختی، فرهنگی، اقتصادی و مدیریتی و روش سرانو-گونزالز-تروبا نیز بر مبنای سه عیار ذاتی-علمی، فرهنگی و ارزش کاربری-مدیریتی، امتیازدهی شدند. نتایج نشان داد در روش کامنسکو، ژئوسایت آبشار خریاپ با مجموع ۹ امتیاز از ۲۰، بالاترین رتبه و سطوح مثلثی بیلوکه با ۶،۶ امتیاز، پایین‌ترین جایگاه را کسب کردند؛ در روش سرانو نیز تفرجگاه پردانان با ۱۳،۶ امتیاز از ۳۰ در رتبه نخست و سطوح مثلثی بیلوکه با ۱۰ امتیاز در رتبه پنجم قرار گرفتند.

Zarei et al (2024) با هدف ارزیابی پایداری اکوتوریسم در سواحل جزیره شیدور، سه منطقه با سطوح متفاوت فشار گردشگری شامل فشار شدید، فشار متوسط و نبود یا فشار اندک گردشگر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین پوشش گیاهی در منطقه فاقد فشار گردشگری مشاهده شد و با افزایش فشار گردشگران، میزان پوشش گیاهی به‌طور محسوسی کاهش یافت. تخریب ناشی از سوزاندن گیاهان و آسیب‌رساندن به شاخ‌وبرگ‌ها نیز با کاهش مواد آلی لایه سطحی خاک همراه بود. در مقابل، سواحل بالآمده و صخره‌ای تالاب بین‌المللی شیدور، به دلیل نبود اسکان گردشگران و محدودیت دسترسی، کمترین آسیب را متحمل شده و از بالاترین سطح پایداری اکوتوریستی برخوردار بودند.

Esfandiyari Darabad & Nezafat takle (2025) به توان‌سنجی ژئوتوریستی و ژئومورفولوژیکی مناطق حفاظت‌شده شهرستان مشکین‌شهر پرداختند و ژئوسایت‌ها را بر اساس معیارهای اصلی مرتبط با ارزش‌های علمی و مدیریتی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد منطقه حفاظت‌شده شیروان‌دره‌سی به دلیل تنوع بالای اشکال ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی، دسترسی مناسب و چشم‌اندازهای متنوع، در رتبه نخست قرار دارد و از ظرفیت بالایی برای مطالعات میدانی و جذب

گردشگر برخوردار است. پس از آن، منطقه گندمین نیز با امتیاز قابل توجه، به‌عنوان پهنه‌ای مناسب برای تحقیقات و توسعه گردشگری معرفی شد.

Seyed Mousavi et al (2025) با به‌کارگیری رویکردی آمیخته، به بررسی نقش امنیت محیط‌زیست و مشارکت محلی در حفاظت از منابع طبیعی پرداختند. بدین منظور، در فاز کیفی از مصاحبه با ۱۷ تن از خبرگان و تحلیل داده‌بنیاد استفاده شده و در فاز کمی، تحلیل داده‌های حاصل از ۱۹۲ پرسش‌نامه انجام گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد امنیت محیط‌زیست و مشارکت فعال جامعه محلی دو رکن محوری در توسعه پایدار گردشگری به شمار می‌روند و تلفیق راهبردهای آموزشی، توسعه اکوتوریسم و جذب گردشگران مسئولیت‌پذیر، نقش شایانی در کاهش تهدیدهای زیست‌محیطی و ارتقای معیشت بومیان دارد.

از جمله پژوهش‌های خارجی می‌توان به مطالعه‌ای با هدف تدوین راهبردهای بهینه اکوتوریسم در دره ایهلارا در آکسارای ترکیه اشاره کرد. براساس نتایج این تحقیق، دستیابی به پایداری در همه ابعاد (محیط‌زیستی، اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی) در این مناطق نیازمند یک برنامه‌ریزی جامع است. از مهم‌ترین راهبردهای شناسایی شده در این تحقیق می‌توان به تعیین ظرفیت برد^۱، اصلاح زیرساخت‌های گردشگری، تنوع‌بخشی به فعالیت‌های تفریحی و ارتقای رفاه اقتصادی از طریق مشارکت جوامع محلی اشاره کرد. این مطالعه تأکید می‌کند که آموزش ذینفعان و استفاده از وضعیت حفاظتی منطقه برای برندسازی بین‌المللی، نقش مؤثری در ایجاد تعادل میان حفاظت و بهره‌برداری دارد (Zorlu, & Yilmaz, 2020).

در مقاله ای دیگر، رویکرد جدیدی برای پیش‌بینی پیامدهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت اکوتوریسم در مناطق حفاظت‌شده ارائه شده است. در این مطالعه، با بهره‌گیری از دیدگاه‌های جوامع محلی و به‌کارگیری روش «علت-معلول» در پنل‌های تخصصی، چالش‌های کلیدی شناسایی و راهکارهایی برای توسعه پایدار اکوتوریسم پیشنهاد گردیده است. پژوهشگران با اولویت‌بندی ۴۴ شاخص شامل متغیرهای قانونی، طبیعی و نظرات خبرگان، ضمن ارائه مبنایی برای ارزیابی عملکرد فعالیت‌های اکوتوریستی، نشان دادند که این رویکرد می‌تواند علاوه بر رفع چالش‌های جوامع محلی، به تولید دانش علمی و ارتقای مدیریت منابع طبیعی و تنوع زیستی کمک مؤثری نماید (Sánchez-Prieto et al., 2021).

در پژوهشی دیگر، تأثیر اقدامات حفاظتی و توسعه اکوتوریسم بر جوامع محلی ساکن در داخل یا مجاورت دو منطقه حفاظت‌شده در کامرون با استفاده از روش تحقیق ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌ها نشان داد که اگرچه اقدامات حفاظتی به ارتقای صیانت از مناطق تحت حفاظت منجر شده است، اما میزان و شدت اثرات این اقدامات بر معیشت و زندگی بومیان، بسته به موقعیت جغرافیایی، راهبردهای معیشتی و میزان مشارکت جوامع محلی در فعالیت‌های اکوتوریستی، در این مناطق متفاوت است (Harilal et al., 2021).

پژوهشی که در یک منطقه حفاظت‌شده دریایی در برزیل انجام شد، با ترکیب روش‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مصاحبه، به بررسی ترجیحات کاربران این منطقه (گردشگران و ساکنان محلی) نسبت به خدمات فرهنگی اکوسیستم^۲ (CES) پرداخت. یافته‌ها نشان داد که تمام خدمات فرهنگی اکوسیستم مورد بررسی توسط پاسخ‌دهندگان در منطقه شناسایی شده است؛ «ارزش‌های زیبایی‌شناختی» و «روابط اجتماعی» رایج‌ترین خدمات فرهنگی شناسایی شده بودند، در حالی که «ترس‌آور بودن» و «ناخوشایندی» مهم‌ترین عوامل تنش‌زای انسانی شناخته شدند. این مطالعه نشان داد که اتکا به خود کاربران برای شناسایی نقاط داغ^۳ منطقه، همراه با ارزیابی پتانسیل اکوتوریسم

^۱ . Carrying Capacity

^۲ . Cultural Ecosystem Services

^۳ . hotspots

فعالیت‌های تفریحی ساحلی، می‌تواند به تدوین راهبردهای نوآورانه عمومی کمک کند که نه تنها گردشگران، بلکه جوامع محلی را نیز هدف قرار می‌دهد (Pinheiro et al., 2021).

نتایج پژوهشی که با هدف ارزیابی حکمرانی اکوتوریسم در داخل و پیرامون پارک ملی کامپو مآن کشور کامرون انجام شد نشان داد که در این حوزه، سیاست ملی مشخص و منسجمی برای توسعه اکوتوریسم وجود ندارد. نتایج همچنین بیانگر آن بود که مشارکت ذی‌نفعان و سازوکارهای تقسیم منافع، مهم‌ترین مؤلفه‌های اثرگذار بر مدیریت پایدار منابع محسوب می‌شوند. اما وضعیت بیشتر شاخص‌های حکمرانی در سطح ضعیف ارزیابی شد. نویسندگان بر ضرورت تدوین سیاست‌های حمایتی، تقویت مشارکت، شفافیت، پاسخگویی و مدیریت تعارض میان ذی‌نفعان برای پیوند دادن اکوتوریسم با حفاظت تنوع زیستی و بهبود معیشت جوامع محلی تأکید کرده‌اند (Forje et al., 2022).

در پژوهشی که با هدف ارزیابی فشار زیست‌محیطی بسته‌های اکوتوریسم در مناطق حفاظت‌شده مدیترانه انجام شد، محققان با استفاده از نسخه اختصاصی حسابداری ردپای اکولوژیک و رویکردی مشارکتی، ۱۳ مقصد گردشگری را مورد تحلیل قرار دادند. یافته‌ها نشان داد که بخش عمده‌ای از اثرات مخرب محیط‌زیستی، فراتر از مدت اقامت، ناشی از انتشار کربن در سفرهای بین‌المللی به این مقاصد است. همچنین، نتایج به محرک‌های کمتر دیده‌شده‌ای مانند خدمات غذا و نوشیدنی به عنوان عوامل مؤثر بر افزایش ردپای اکولوژیک اشاره داشت (Mancini et al., 2022).

در پژوهشی دیگر، با بررسی ارتباط میان توسعه گردشگری و تناسب‌های محیط‌زیستی، چارچوبی برای اکوتوریسم پایدار ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده، بسیاری از افراد، توسعه گردشگری را از نظر ایجاد اشتغال، گسترش کسب‌وکار، بهبود زیرساخت‌ها و رشد اقتصادی مفید قلمداد کردند. با این حال، سرمایه طبیعی و محیط‌زیستی منطقه به تدریج در حال تخریب است و هم‌زمان، بر اثر بهره‌برداری بیش‌ازحد از زمین، نفوذ فرهنگ‌های بیرونی، آلودگی هوا و آب ناشی از ترافیک، انباشت زباله، فاضلاب و انتشار کربن، آسیب‌پذیری اجتماعی و زیست‌محیطی نیز در منطقه افزایش یافته است (Baloch et al., 2023).

مطالعه قابل ذکر دیگر، با هدف ارزیابی جاذبه‌های گردشگری در دو منطقه حفاظت‌شده منتخب در صربستان، به بررسی ظرفیت توسعه اکوتوریسم پرداخته است. نتایج نشان داد که این مناطق از منابع طبیعی فراوان و تا حدی منابع انسان‌ساخت برخوردارند که می‌توانند پایه توسعه فعالیت‌های اکوتوریستی باشند. ضعف‌هایی مانند فقر، زیرساخت‌های ناکافی و کاهش جمعیت نیز به عنوان موانع اصلی شناسایی شدند. همچنین، عرضه محصولات محلی در بازار منطقه‌ای و بهره‌گیری از موقعیت جغرافیایی این مناطق در نزدیکی مرزهای بین‌المللی، از مهم‌ترین عوامل تقویت‌کننده توسعه اکوتوریسم معرفی شد. این پژوهش، بر ضرورت تدوین سیاست‌های مناسب، تقویت چارچوب‌های قانونی و نهادی و استفاده از پتانسیل تنوع زیستی برای مدیریت و توسعه پایدار اکوتوریسم تأکید دارد (Cvetković et al., 2023).

مطالعه دیگری با استفاده از مدل رفتار هدف‌محور و با داده‌های حاصل از ۲۰۰ پرسشنامه، عوامل مؤثر بر نگرش و قصد رفتاری گردشگران در مقاصد اکوتوریستی را بررسی کرده است. بر این اساس، انگیزه‌هایی مانند رهایی از روزمرگی، لذت‌جویی و تعامل اجتماعی بر نگرش گردشگران نسبت به اکوتوریسم تأثیر معنادار دارند. حس مسئولیت‌پذیری نیز در رابطه میان قصد بازدید و تمایل به حفاظت از این مقاصد نقش تعدیل‌گر ایفا می‌کند. همچنین یافته‌ها بیانگر آن است که نگرش گردشگران، بیش از قصد بازدید بر تمایل آنان به حفاظت از مقاصد اکوتوریستی اثرگذار است (Lim et al., 2023).

در پژوهشی دیگر، با بررسی نظرات ۱۰۹ راهنمای گردشگری در دو منطقه حفاظت‌شده متفاوت در کشور ایتالیا (آلپ معتدل و آپنین مدیترانه‌ای)، بر اهمیت نقش کلیدی این راهنمایان در ترویج گردشگری پایدار و حفاظت از محیط‌زیست تأکید شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که با وجود اتفاق نظر راهنمایان نسبت به ضرورت اکوتوریسم، اولویت‌های

انگیزشی گردشگران در این دو منطقه متفاوت بود. به‌طوری‌که در منطقه معتدل، تمرکز اصلی بر تفریحات فضای باز و در منطقه مدیترانه‌ای، بر جاذبه‌های فرهنگی و محصولات غذایی بومی است. این پژوهش ضمن شناسایی راهنمایان به‌عنوان عوامل کلیدی در افزایش آگاهی گردشگران و کاهش اثرات محیط زیستی، بر ضرورت آموزش‌های به‌روز در حوزه محیط زیست و حفاظت برای تحقق اهداف پایداری تاکید می‌کند (Palli et al., 2023).

مطالعه انجام‌شده در مناطق تحت مدیریت شهرداری موسینا در استان لیمپوپو (آفریقای جنوبی) نشان می‌دهد که میان پیامدهای محیط‌زیستی ناشی از گردشگری روستایی غیراصولی و تشدید پدیده‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی، رابطه‌ای دوسویه و مخرب وجود دارد. با این حال، یافته‌های حاصل از مشاهدات میدانی و گروه‌های متمرکز تایید می‌کند که در صورت پایبندی به اصول گردشگری مسئولانه و پایدار، مدیریت اکوتوریسم می‌تواند به اهداف حفاظتی دست یابد. این مطالعه تاکید می‌کند که تدوین و اجرای راهبردهای پایداری محیط‌زیستی نه تنها مانعی برای معیشت جوامع محلی نیست، بلکه می‌تواند ضامن بقای بلندمدت آن باشد (Ramaano, 2024).

پژوهشی دیگر به مطالعه و نقشه‌برداری از مسیرهای اکوتوریسم در مناطق حفاظت‌شده ترکیه پرداخت و نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳، تعداد بازدیدکنندگان، هزینه‌کرد گردشگران و درآمدهای حاصل از این مناطق با رشد چشمگیری همراه بوده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که مدیریت هوشمندانه و برنامه‌ریزی منظم آموزشی در این مسیرها می‌تواند علاوه بر آشنایی شهرنشینان با ارزش‌های طبیعی، زمینه‌ساز شکل‌گیری افکار عمومی حامی محیط زیست، معرفی ظرفیت‌های منطقه‌ای و بهبود شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی جوامع محلی گردد (Uyar et al., 2025).

مطالعه‌ای دیگر با هدف بررسی میزان مشارکت جوامع محلی در توسعه پروژه‌های اکوتوریسم در یک منطقه حفاظتی در اتیوپی، با استفاده از رویکرد روش‌شناسی آمیخته و مدل مشارکت آرنشتاین انجام شد. نتایج نشان‌دهنده سطح بالایی از نفوذ و کنترل جامعه محلی در تمامی مراحل پروژه، از مرحله ایده‌پردازی تا ارزیابی نهایی است. براین اساس، موفقیت پایدار پروژه‌های اکوتوریسم در گرو تعاملات میان تمامی ذی‌نفعان و بهره‌گیری حداکثری از ظرفیت‌های محلی می‌باشد (Dubale, & Melese, 2026).

در پژوهشی دیگر، با معرفی مفهوم سرمایه اجتماعی (درونی و بیرونی)، نقش این مفهوم را در ارتقای اکوتوریسم پایدار در مناطق حفاظت‌شده بررسی شده است. این مطالعه به شناسایی چالش‌های کلیدی نظیر محدودیت منابع و تعارضات میان انسان و حیات‌وحش پرداخت. در نهایت با استفاده از تحلیل شبکه‌های اجتماعی نشان داد که سرمایه اجتماعی در مناطق حفاظت‌شده، به‌ویژه در بعد درونی از ضعف برخوردار است. این پژوهش پیشنهاد می‌کند که مدیران مناطق حفاظت‌شده باید با تقویت سرمایه اجتماعی، ظرفیت انطباقی خود را برای پیشبرد اهداف توسعه پایدار و حفاظت از محیط‌زیست ارتقا دهند (KC & Kusi, 2026).

مطالعه دیگری با به‌کارگیری روش هزینه سفر برای ارزیابی ارزش اقتصادی و مدل «مقیاس‌گذاری چندبعدی» (MDS/RAPFISH) برای سنجش پایداری انجام شد. نتایج نشان داد که اکوتوریسم دریایی در منطقه، درآمد سالانه قابل توجه و پتانسیل اقتصادی بالایی دارد. اما نتایج تحلیل پایداری نشان‌دهنده شکاف عملکردی است. به‌طوری‌که ابعاد نهادی، زیرساختی و اقتصادی در وضعیت پایداری متوسط قرار دارند، اما ابعاد محیط زیستی و اجتماعی در سطح پایین‌تری ارزیابی می‌شوند. یافته‌های این تحقیق بر ضرورت تدوین سیاست‌های یکپارچه‌ای تأکید دارند که ضمن حفظ بهره‌وری اقتصادی، بر تقویت هم‌زمان ظرفیت‌های اکولوژیک و اجتماعی تمرکز کنند (Widianto et al., 2026).

جدول ۱. خلاصه پیشینه پژوهش‌های داخلی در حوزه اکوتوریسم و مناطق حفاظت‌شده

Table 1. Overview of previous national studies on ecotourism and protected areas

ردیف	نویسندگان	منطقه مورد مطالعه	روش‌شناسی	مهم‌ترین نتایج و دستاوردها
۱	Kamandari et al (2020)	استان کرمان	کیفی، توصیفی-تحلیلی	شناسایی موانع کلیدی توسعه اکوتوریسم شامل ضعف اطلاع‌رسانی، کم‌رنگ بودن مشارکت جوامع محلی، مسائل امنیتی و کمبود زیرساخت‌های اقامتی.
۲	Hejazi et al (2024)	منطقه حفاظت‌شده میرآباد (آذربایجان غربی)	مقایسه‌ای (روش‌های کامنسکو و سرانو-گونزالز-تروبا)	اولویت‌بندی ژئوسایت‌ها بر پایه ارزش‌های علمی، زیبایی‌شناختی و مدیریتی
۳	Hajehforoosh (2022)	شهرستان سمیرم	پیمایش میدانی، SWOT، آنالیز شانون و چرخه حیات باتلر	قرارگیری مقصد در مرحله «توسعه» و حرکت به سوی «تثبیت» با توسعه زیرساخت‌ها؛ تأکید بر ظرفیت‌های اکوتوریسم و ژئوتوریسم در رشد اقتصادی منطقه.
۴	Zarei et al (2025)	سواحل جزیره شیدور	تحلیل اثرات فشارهای مختلف گردشگری بر پوشش گیاهی و خاک	اثبات رابطه مستقیم فشار گردشگری با افت پوشش گیاهی و تخریب لایه آلی خاک؛ پایداری بالاتر اکوسیستم در سواحل صخره‌ای و غیرقابل‌دسترس.
۵	Esfandiyari Darabad & Nezafat takle (2025)	شهرستان مشکین‌شهر	توان‌سنجی ژئومورفولوژیکی و معیارهای علمی-مدیریتی	شناسایی دره شیروان‌دره‌سی و منطقه گندمین به عنوان اولویت‌های نخست توان‌سنجی ژئوتوریستی به دلیل غنای زمین‌ساختی و تنوع چشم‌اندازها.
۶	Seyed Mousavi et al (2025)	مناطق تحت مدیریت طبیعی	روش آمیخته (داده‌بنیاد با ۱۷ خبره + پیمایش کمی با ۱۹۲ پرسشنامه)	تبیین امنیت زیست‌محیطی و مشارکت محلی به عنوان ارکان تاب‌آوری مقصد؛ اثبات نقش آموزش در کاهش رفتارهای مخرب و ارتقای معیشت بومیان

جدول ۲. خلاصه پیشینه پژوهش‌های بین‌المللی در حوزه اکوتوریسم و مناطق حفاظت‌شده

Table 1. Overview of previous international studies on ecotourism and protected areas

ردیف	نویسندگان	منطقه	روش‌شناسی	مهم‌ترین نتایج و دستاوردها
۱	Zorlu & Yılmaz (2020)	دره ایهلارا، ترکیه	برنامه‌ریزی جامع راهبردی	لزوم تعیین دقیق ظرفیت برد، تنوع‌بخشی به فعالیت‌ها، آموزش ذی‌نفعان و بهره‌گیری از برند حفاظتی منطقه جهت تعادل میان بهره‌برداری و حفاظت.
۲	Sánchez-Prieto et al. (2021)	مناطق حفاظت‌شده	تحلیل علت-معلول و پنل خبرگان (۴۴ شاخص)	ارائه مدل پیش‌بینی پیامدهای اکوتوریسم، پیوند چالش‌های محلی به تصمیم‌گیری‌های علمی و حکمرانی تنوع زیستی.
۳	Harilal et al. (2021)	کامرون (دو منطقه حفاظت‌شده)	روش تحقیق ترکیبی (Mixed Methods)	تفاوت شدت تأثیرات حفاظتی بر معیشت بومیان وابسته به موقعیت مکانی، راهبردهای معیشتی و میزان سهم‌شدن محلی‌ها در زنجیره ارزش گردشگری.
۴	Pinheiro et al. (2021)	منطقه حفاظت‌شده دریایی، برزیل	تلفیق GIS و مصاحبه با کاربران	ارزیابی خدمات فرهنگی اکوسیستم (CES)، شناسایی ارزش‌های زیباشناختی به عنوان جذابیت اصلی و رفتارهای تنش‌زای انسانی به عنوان دافعه‌ها.

۵	Forje et al. (2022)	پارک ملی کامپو مآن، کامرون	سنجش شاخص‌های حکمرانی	شناسایی ضعف در سیاست‌گذاری ملی، تأکید بر لزوم حاکمیت شفاف، پاسخگویی نهادی و سازوکار تقسیم عادلانه منافع با ساکنان بومی.
۶	Mancini et al. (2023)	مدیرانه (۱۳) مقصد تحت حفاظت)	حسابداری مشارکتی ردپای اکولوژیک	انتشار کربن در حمل‌ونقل و زنجیره خدمات غذا/-نوشیدنی در ردپای اکولوژیک سفر حائز اهمیت است
۷	Baloch et al. (2023)	مناطق حساس زیست‌محیطی	ارزیابی اثرات توسعه گردشگری	دوگانگی منافع اقتصادی ناشی از اشتغال در برابر تخریب سرمایه طبیعی.
۸	Cvetković et al. (2023)	صربستان (دو منطقه منتخب)	ارزیابی پتانسیل‌های اکوتوریستی	لزوم اصلاح چارچوب‌های قانونی و ساختارهای نهادی جهت تبدیل تنوع زیستی و بازارهای مرزی به محرک کاهش فقر و تثبیت جمعیت محلی.
۹	Lim et al. (2023)	مقاصد اکوتوریستی	مدل رفتار هدف‌محور (پرسشنامه ۲۰۰ نفره)	نقش تعدیل‌گر حس مسئولیت‌پذیری در رابطه با قصد بازدید و تمایل به حفاظت؛ تأثیر بالاتر «نگرش» گردشگر نسبت به «قصد صرف» در حفاظت از مقصد.
۱۰	Palli et al. (2023)	ایتالیا (آلپ و آپنین)	پیمایش مبتنی بر نظرات راهنمایان تور (۱۰۹ نفر)	اثبات تفاوت انگیزه‌های بازدید بر حسب ویژگی‌های بوم‌شناختی، نقش محوری راهنمایان در ارتقای آگاهی محیط‌زیستی.
۱۱	Ramaano (2024)	لیمپوپو، آفریقای جنوبی	مشاهدات میدانی و گروه‌های متمرکز	تحلیل اثر متقابل گردشگری غیراصولی و تغییر اقلیم، گردشگری مسئولانه نه تنها مانع معیشت نیست بلکه ضامن تداوم اکوسیستم و بقای جامعه محلی است.
۱۲	Uyar et al. (2025)	مناطق حفاظت‌شده ترکیه	نقشه‌برداری مسیرهای اکوتوریسم (۲۰۱۸-۲۰۲۳)	بازدهی بالای اقتصادی مسیرهای تعریف‌شده و تأثیر مدیریت آموزشی بر تبدیل گردشگران به کنشگران حامی حفاظت محیط‌زیست.
۱۳	Dubale & Melese (2026)	منطقه حفاظتی، اتیوپی	روش‌شناسی آمیخته، مدل مشارکت آرنشتاین	لزوم واگذاری سطوح بالای تصمیم‌گیری به بومیان جهت تضمین پایداری بلندمدت پروژه‌های اکوتوریسم.
۱۴	Kusi & KC (2026)	مناطق حفاظت‌شده	تحلیل شبکه‌های اجتماعی و پل خبرگان	شناسایی ضعف در سرمایه اجتماعی درونی مناطق، ضرورت ارتقای ظرفیت انطباقی و تعاملی مدیریت در مواجهه با تعارضات انسان و حیات‌وحش.
۱۵	Widianto et al. (2026)	اکوسیستم‌های دریایی	روش هزینه سفر و مدل پایداری MDS/RAPFISH	عدم تعادل بین پایداری اقتصادی-زیرساختی (متوسط) و پایداری اکولوژیک-اجتماعی (پایین)، ضرورت اعمال سیاست‌های حفاظتی متوازن.

در این پژوهش، از طریق مرور ادبیات و پیشینه تحقیقاتی در خصوص اجرای اکوتوریسم در مناطق تحت حفاظت تلاش شده است که مهمترین فرصت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیستی این حیطه مشخص شود. نتایج بررسی منابع نشان داد که توسعه گردشگری طبیعت محور و بخصوص اکوتوریسم در مناطق دارای بازارهای منطقه ای نزدیک مرزهای بین‌المللی می‌تواند با جذب منابع حمایتی به تقویت اکوتوریسم و منطقه کمک کند (Cvetković et al., 2023).

در کنار فرصت‌های توسعه گردشگری، باید اذعان کرد که این فعالیت اقتصادی چالش‌هایی را برای محیط‌های طبیعی و مناطق تحت حفاظت و همچنین جامعه محلی ایجاد می‌کند. در منابع اشاره شده است که با وجود منافع اقتصادی، محیط زیستی در مقاصد گردشگری تحت تاثیر پیامدهای منفی حاصل از این فعالیت‌ها نظیر تغییر کاربری آلودگی و آسیب‌های اجتماعی و فرهنگی قرار می‌گیرند (Baloch et al., 2023). به عنوان مثال پیامدهای محیط‌زیستی گردشگری روستایی غیراصولی و تشدید تغییرات اقلیمی، با هم مرتبط هستند (Ramaano, 2024). همچنین محدودیت منابع و تعارضات میان انسان و حیات‌وحش در سایت‌های حفاظت شده قابل ذکر است (KC & Kusi, 2026). مسائل اجتماعی مانند فقر، زیرساخت‌های ناکافی و کاهش جمعیت به‌عنوان برخی از موانع اصلی شناسایی توسعه گردشگری در مناطق تحت حفاظت شناسایی شدند (Cvetković et al., 2023).

در مقابل برای رفع چالش‌ها و تعارضات توسعه گردشگری، حفاظت و معیشت جامعه محلی به راهکارهایی از جمله محاسبه ظرفیت برد، بهسازی زیرساخت‌های گردشگری، تنوع‌بخشی به فعالیت‌های تفریحی و بهبود رفاه از طریق بالا بردن سطح مشارکت جوامع محلی (Zorlu, & Yilmaz, 2020). در منابع اشاره شده است.

ارائه آموزش‌های مناسب به گروه‌های دست‌اندرکار یکی از راهبردهای موثر در توسعه پایدار گردشگری در مناطق تحت حفاظت معرفی شده است. آموزش ذینفعان و به کارگیری وضعیت حفاظتی منطقه برای برندسازی بین‌المللی، می‌تواند نقشی مؤثر در برقراری تعادل میان حفاظت و بهره‌برداری ایجاد کند (Zorlu, & Yilmaz, 2020). در این میان، راهنمایان گردشگری، بعنوان یکی از بازیگران مهم در ارتقای آگاهی گردشگران و کاهش اثرات بر محیط زیست منطقه، معرفی شده‌اند (Palli et al., 2023). یافته‌ها بیانگر آن است که نگرش گردشگران عامل موثری بر تمایل آنان به حفاظت از مقاصد اکوتوریستی است (Lim et al., 2023). لزوم طراحی سیاست‌های جامع مدیریت مشارکتی، تدوین چارچوب‌های قانونی حمایتی، ارائه مشوق‌های اقتصادی، توسعه زیرساخت‌های پایدار و ایجاد سیستم‌های نظارتی و آموزشی برای برقراری توازن میان حفاظت از منابع طبیعی و منافع گردشگری در مطالعات مشخص شده است (Seyed Mousavi et al., 2025).

در منابع بررسی شده، مشارکت ذینفعان و سازوکارهای تقسیم منافع، به عنوان مؤلفه‌های اثرگذار بر مدیریت پایدار منابع در حکمرانی اکوتوریسم معرفی شده‌اند (Forje et al., 2022). تحقیقات بر اهمیت تدوین سیاست‌های حمایتی، تقویت مشارکت، شفافیت، پاسخگویی و مدیریت تعارض میان ذینفعان برای پیوند اکوتوریسم با حفاظت تنوع زیستی و بهبود معیشت جوامع محلی تاکید دارند (Forje et al., 2022). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که موفقیت طرح‌های اکوتوریسم به تعاملات ساختارمند میان تمامی ذینفعان و بهره‌گیری حداکثری از ظرفیت‌های محلی وابسته است (Dubale, & Melese, 2026). مدیریت هوشمندانه و برنامه‌ریزی منظم آموزشی در مقاصد گردشگری می‌تواند علاوه بر آشنایی با ارزش‌های طبیعی، زمینه‌ساز شکل‌گیری افکار عمومی حامی محیط زیست، معرفی ظرفیت‌های منطقه‌ای و بهبود شاخص‌های اقتصادی- اجتماعی جوامع محلی گردد (Uyar et al., 2025).

تحقیقات نشان داده که مدیریت دقیق توسعه گردشگری در مقصد و ارتقای دانش ذینفعان محلی درباره اصول پایداری، نه تنها منجر به کاهش اثرات اکوتوریسم بر اکوسیستم‌ها می‌شود، بلکه به تاب‌آوری و بازسازی صنعت گردشگری در دوران پس از کرونا نیز کمک شایانی می‌کند (Mancini et al., 2022).

همچنین مرور منابع نشان داد که سیاستگذاری مناسب یکی از مهمترین پیش نیازهای توسعه پایدار گردشگری در مناطق تحت حفاظت به شمار می‌رود. محققان بر ضرورت تدوین سیاست‌های مناسب، تقویت چارچوب‌های قانونی و نهادی و استفاده حداکثری از تنوع زیستی برای مدیریت و توسعه پایدار اکوتوریسم تأکید کرده‌اند (Cvetković et al., 2023).

2023). این به معنای تدوین سیاست‌های یکپارچه‌ای است که ضمن حفظ بهره‌وری اقتصادی، بر تقویت هم‌زمان ظرفیت‌های اکولوژیک و اجتماعی تمرکز کنند (Widiyanto et al., 2026).

نتیجه‌گیری

مناطق حفاظت شده از ظرفیت بالایی برای توسعه فعالیت‌های طبیعت گردی برخوردارند. ترویج اکوتوریسم در این مناطق نه تنها به عنوان سازوکاری برای خودگردانی و استقلال مالی، بلکه پشتوانه مؤثری برای حفاظت از منابع و تسهیل مدیریت و بهره‌برداری پایدار از آنها به شمار می‌رود. بر همین اساس، شناسایی دقیق و علمی مناطق مستعد گسترش اکوتوریسم در عرصه‌های حفاظت شده، گامی ضروری در حفظ چشم‌اندازهای اکولوژیکی و دستیابی به توسعه پایدار منابع طبیعی محسوب می‌شود (Bazmara et al., 2017).

یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد طبیعت گردی می‌تواند به‌طور هم‌زمان زمینه بهره‌وری پایدار از منابع و حفاظت از اکوسیستم‌ها را فراهم کند. بر همین اساس، توسعه مسئولانه اکوتوریسم، ژئوتوریسم، بیوتوریسم و گردشگری سلامت‌محور، از جمله طبیعت‌درمانی، به‌عنوان گزینه‌هایی مناسب برای تمامی اکوسیستم‌های ایران پیشنهاد شده و بر ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار در این زمینه تأکید شده است (Seyed Mousavi et al., 2025). باید توجه داشت که فعالیت‌های گردشگری می‌تواند عواقب و اثرات محیط‌زیستی مهمی به همراه داشته باشد. نتایج پژوهش‌های بررسی شده تاثیر گردشگری را بر کاهش پوشش گیاهی طبیعی و همچنین حاصلخیزی خاک (به علت آتش افروزی) نشان داده است (Zareie et al., 2024).

در این تحقیق تلاش شد از طریق بررسی و تحلیل مطالعات پیشین، ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر برنامه‌ریزی محیط‌زیستی اکوتوریسم در زیست‌بوم‌های حساس و مناطق حفاظت‌شده شناسایی شده و زمینه برای ارائه الگویی جامع و بومی برای کشور، با هدف هماهنگی توسعه گردشگری، مشارکت جوامع محلی و حفاظت پایدار از منابع طبیعی فراهم شود. بررسی ادبیات مرتبط نشان داد که پژوهش‌های انجام شده در ایران اغلب در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای صورت گرفته و هر یک تنها به ظرفیت‌سنجی یا استخراج چالش‌های یک منطقه گردشگری خاص پرداخته‌اند. به طوری که کمتر چارچوبی منسجم و قابل تعمیم برای برنامه‌ریزی محیط زیستی قابل اعمال در مناطق مختلف ارائه داده‌اند. از سوی دیگر، پژوهش‌های خارجی در مورد به بسترهای جغرافیایی، نهادی و محیط زیستی با شرایطی متفاوت هستند که کاربرد مستقیم یافته‌های آنان را در شرایط ویژه ایران، با پیچیدگی‌های اقلیمی، تنوع زیستی و ساختار حکمرانی محلی، نیازمند تطابق با این شرایط است. به بیان دیگر، بررسی منابع نشان دهنده کمبود پژوهش‌هایی است که برنامه‌ریزی محیط زیستی اکوتوریسم را در قالب یک الگوی یکپارچه، هم‌زمان و در ادغام با حفاظت پایدار در زیست‌بوم‌های حساس و مناطق حفاظت شده ایران نمایان کنند.

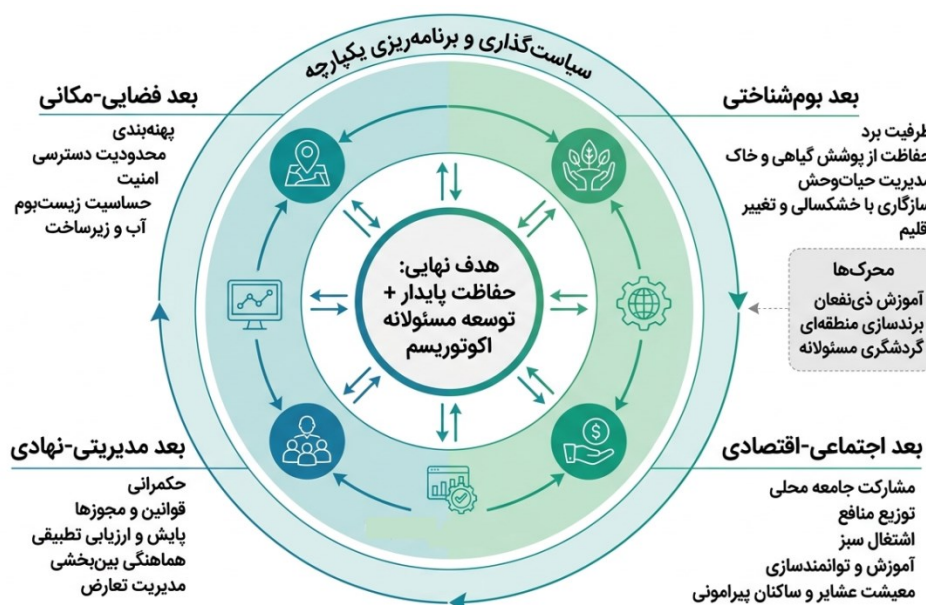
آنچه در ادبیات بررسی شده کمتر مورد توجه قرار گرفته است شامل ابعاد زیر است:

الف) پیوند نظام مند میان ابعاد طبیعی (اکولوژیک)، اقتصادی - اجتماعی و نهادی در قالب یک مدل یکپارچه برای اکوتوریسم

ب) چگونگی نهادینه سازی مشارکت جوامع محلی به عنوان ستون اصلی برنامه ریزی نه صرفا یک متغیری حاشیه ای
ج) ارائه کالبد مفهومی و سیاستی مشخصی که بتواند تعادل میان بهره برداری توسعه‌گرایانه و الزامات حفاظتی را در بستر ایران عملیاتی سازد.

براساس خلاءهای پیش گفته، چارچوب پیشنهادی برای برنامه‌ریزی محیط‌زیستی اکوتوریسم در زیست‌بوم‌های حساس و مناطق حفاظت شده ایران حتما باید شامل ارکانی مانند حفاظت از محیط زیست در کنار توسعه اقتصادی، مشارکت

جامعه محلی، توجه به شرایط خاص ایران و آسیب پذیری اکوسیستم‌ها، توجه به ظرفیت برد گردشگری و سیاستگذاری صحیح باشد. بومی سازی چارچوب پیشنهادی توسعه اکوتوریسم برای ایران بر این اصل مهم استوار است که برنامه‌ریزی اکوتوریسم در مناطق حفاظت شده ایران نمی‌تواند صرفاً بر پایه معیارهای عمومی و الگوهای برگرفته از سایر کشورها صورت گیرد. بلکه ضرورت دارد ویژگی‌های خاص این سرزمین شامل اقلیم خشک و نیمه خشک نوسان‌پذیر، ناهم‌آهنگی نهادی، رقابت بر سر منابع آب محدود، وابستگی معیشتی جوامع حاشیه مناطق حفاظت شده به منابع طبیعی، و محدودیت‌های امنیتی و دسترسی در تمامی بخش‌های مختلف مدل مد نظر گیرد. حاصل این بومی‌سازی، چارچوبی است که ظرفیت برد منطبق با اقلیم، پهنه بندی را مسئولیت‌پذیر و هماهنگ با ساختار نهادی، مشارکت محلی را معیشت محور و مبتنی بر توزیع عادلانه منافع و پایش را تطبیقی و مبتنی بر داده طراحی نماید. چنین چارچوبی، با در نظر گرفتن همزمان شرایط خاص طبیعی، نهادی و اجتماعی ایران، می‌تواند به عنوان الگویی عملیاتی برای برنامه ریزی راهبردی اکوتوریسم، زمینه ساز گذار از بهره برداری صرف به حفاظت پایدار در زیست‌بوم‌های حساس و مناطق حفاظت شده کشور باشد. در شکل ۲، تلاش شده است که ابعاد مختلف این الگو به صورت شماتیک نشان داده شود.



شکل ۲. چارچوب مدل بومی برنامه‌ریزی محیط‌زیستی اکوتوریسم در مناطق حفاظت‌شده ایران براساس سنتز مطالعات

پیشین

Figure 2. Framework of an indigenous model for ecotourism environmental planning in Iran's protected areas, based on a synthesis of previous studies

سپاسگزاری

نویسنده مقاله بدین‌وسیله اعلام می‌دارد که از ابزار هوش مصنوعی OpenAI GPT-5.6 (از طریق پلتفرم GapGPT) برای ترجمه و بازنویسی بخش‌هایی از متن مقاله و همچنین طراحی بصری شکل ۲ استفاده کرده‌است. تمامی محتوای تولیدشده توسط هوش مصنوعی توسط نویسنده بازبینی، تأیید و نهایی شده و مسئولیت کامل صحت علمی محتوای مقاله بر عهده نویسنده است.

References

- Baloch, Q. B., Shah, S. N., Iqbal, N., Sheeraz, M., Asadullah, M., Mahar, S., & Khan, A. U. (2023). Impact of tourism development upon environmental sustainability: a suggested framework for sustainable ecotourism. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 5917-5930. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22496-w>.
- Bazmara Balashti, M., Tavakoli, M., Jafarzadeh, K. (2017). Assessing Appropriate Areas for Ecotourism Development of Protected Areas. Case Study: Khaeez Protected Area. *The Journal of Spatial Planning and Geomatics*, 21(3), 95-118. https://hsmsp.modares.ac.ir/article_14566.html [in Persian].
- Buschke, F. T., & Capitani, C. (2025). The values of ecosystem services inside and outside of protected areas in Eastern and Southern Africa. *Conservation Science and Practice*, 7(7), e70076. <https://doi.org/10.1111/csp2.70076>.
- KC, B., & Kusi, R. (2026). Social capital approach to promote sustainable ecotourism in protected areas. *Current Issues in Tourism*, 29(1), 206-211. <https://doi.org/10.1080/13683500.2025.2466038>.
- Cellitti, G., & Angrilli, M. (2025). Ecotourism and Enhancement of Cultural Ecosystem Services in Protected Areas: The Case of Maiella National Park. In *The International Conference on Cultural Sustainable Tourism* (pp. 197-206). Springer, Cham.
- Cvetković, M., Brankov, J., Čurčić, N., Pavlović, S., Dobričić, M., & Tretiakova, T. N. (2023). Protected natural areas and ecotourism—priority strategies for future development in selected Serbian case studies. *Sustainability*, 15(21), 15621. <https://doi.org/10.3390/su152115621>.
- Dubale, S. A., & Melese, K. B. (2026). Community Participation in Ecotourism Project Development: Evidence from Menz-Guassa Community Conservation Area, Ethiopia. *Gateways: International Journal of Community Research and Engagement*, 19(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2026.101837>.
- Esfandyari Darabad, F. & Nezafat takle, B. (2025). Geotourism and geomorphological potential assessment of protected areas in Meshkinshahr Township using quantitative models. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(3), 78-85. https://www.srds.ir/article_216380.html [in Persian].
- Forje, G. W., & Tchamba, M. N. (2022). Ecotourism governance and protected areas sustainability in Cameroon: The case of Campo Ma'an National Park. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100172. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100172>.
- Forje, G. W., Tchamba, M. N., & Eno-Nku, M. (2021). Determinants of ecotourism development in and around protected areas: The case of Campo Ma'an National Park in Cameroon. *Scientific African*, 11, e00663. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2020.E00663>.
- Harilal, V., Tichaawa, T. M., & Saarinen, J. (2021). The impacts of ecotourism and conservation measures in protected areas on local communities in Cameroon. *Tourism Review International*, 25(2-3), 89-103. <https://doi.org/10.3727/154427220X16092157169853>.
- Hasana, U., Swain, S. K., & George, B. (2022). A bibliometric analysis of ecotourism: A safeguard strategy in protected areas. *Regional Sustainability*, 3(1), 27-40. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2022.03.001>.
- Hajehforoosh Nia, SH (2022). Investigating the importance of Ecotourism, Agrotourism and Geotourism In the development of tourism industry and economy (Case study: Semiram City). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 3(2), 21-38. https://gsma.lu.ac.ir/article_707895.html [in Persian].
- Hejazi, S. A., Heydari, S. A., Rasouli, A. and Imanzadeh, T. (2024). Geotourism assessment of natural protected areas using quantitative methods, case study: Geosites of Mirabad protected Area. *Journal of Natural Environment*, 76(Special Issue Protected Areas), 163-176. <https://doi.org/10.22059/jne.2023.360321.2556> [in Persian].
- kamandari, M., chahrrahi, M. and ghorbanpour, H. (2020). Ecotourism potentials in Kerman province a Domain for Tourism Development. *Geography and Human Relationships*, 3(2), 27-42. https://www.gahr.ir/article_114198.html [in Persian].
- Kiper, T. (2013). Role of ecotourism in sustainable development.
- Machnik, A. (2021). Ecotourism as a Core of Sustainability in Tourism. In: Lubowiecki-Vikuk, A., de Sousa, B.M.B., Đerčan, B.M., Leal Filho, W. (eds) *Handbook of Sustainable Development and Leisure Services*. World Sustainability Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59820-4_15.
- Mancini, M. S., Barioni, D., Danelutti, C., Barnias, A., Bračanov, V., Pisce, G. C., ... & Galli, A. (2022). Ecological Footprint and tourism: Development and sustainability monitoring of ecotourism packages in

- Mediterranean Protected Areas. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 38, 100513. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100513>.
- Mohanty, P. P., Patra, S. K., Kunjuraman, V., & Pathak, D. (2024). COMMUNITY-BASED ECOTOURISM IN PROTECTED AREAS TOWARDS INCLUSIVE DEVELOPMENT: AN EVIDENCE OF BHITARKANIKA WILDLIFE SANCTUARY OF INDIA. *International Journal of Business & Society*, 25(2), 810.
- Mousavi, S. H. (2025). Explanation of Nature-Based Tourism (Ecotourism): Geotourism and Biotourism, With an Emphasis on Sustainable Usage of Nature Ecosystem in Iran. *Geography and Human Relationships*, 8(2), 86-97. <https://doi.org/10.22034/gahr.2024.483649.2288>.
- Palli, J., Cagnetti, C., Emanuel, C., Ferrari, S., Filibeck, G., Forte, T. A. G. W., ... & Piovesan, G. (2023). The environmental dimension of ecotourism in Italian protected areas: A comparison of two bio-geographical regions based on the assessment of accredited hiking guides. *Journal of Ecotourism*, 22(1), 164-186.
- Pegler, G. F., de Lemos, C. C., & Ranieri, V. E. L. (2025). Exploring the application of environmental impact assessment to tourism and recreation in protected areas: a systematic literature review. *Environment, Development and Sustainability*, 27(7), 15053-15075. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04532-6>.
- Pinheiro, R. O., Triest, L., & Lopes, P. F. (2021). Cultural ecosystem services: Linking landscape and social attributes to ecotourism in protected areas. *Ecosystem Services*, 50, 101340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101340>.
- Ramaano, A. I. (2024). Environmental consequences and climate change linked ecotourism activities in remote and protected areas of South Africa. *Rural Society*, 33(2), 97-115. <https://doi.org/10.1080/10371656.2024.2368301>.
- Sánchez-Prieto, M. C., Luna-González, A., Espinoza-Tenorio, A., & González-Ocampo, H. A. (2021). Planning ecotourism in coastal protected areas; projecting temporal management scenarios. *Sustainability*, 13(14), 7528. <https://doi.org/10.3390/su13147528>.
- Seyed Mousavi, M. H., Nemati, V. & Ardabili, S. (2025). A Comparative Analysis of Natural Resource Conservation in Tourism with an Emphasis on Environmental Security and Local Community Participation. *Journal of Tourism and Development*, 14(2), 235-253. <https://doi.org/10.22034/jtd.2025.493919.2995>.
- Trišić, I., Nechita, F., Milojković, D., & Štetić, S. (2023). Sustainable tourism in protected areas—Application of the prism of sustainability model. *Sustainability*, 15(6), 5148. <https://doi.org/10.3390/su15065148>.
- Uyar, Ç., Küçükosmanoğlu, G. G., & Küçükosmanoğlu, A. (2025). Evaluation of socio-economic impacts of ecotourism routes in Türkiye's forests and protected areas. *Kent Akademisi*, 18(2), 780-799. <https://doi.org/10.35674/kent.1555417>.
- Widianto, A., Geoffrey Bengen, D., Budiharsono, S., & Frendy Koropitan, A. (2026). Rapid economic valuation and sustainability analysis for managing ecotourism in Gili Matra Marine Conservation Area, West Nusa Tenggara Province. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 220, p. 01001). EDP Sciences.
- Zarei, M., Moradi, A., & Rezai, M. Zitun Ibrahim, Z. (2025). Investigating the effect of recreation on the sustainability of tourism in the raised shores of the international lagoon of Shidvar Island. *Journal of Geography and Planning*, 28 (90), 119-138. <http://doi.org/10.22034/gp.2024.61241.3251> [in Persian].
- Zorlu, K., & Yılmaz, A. (2020). Determination of strategies of ecotourism in protected areas with SWOT-AHP method: The case of Aksaray-Ihlara special environmental protection zone (SEPZ). *Journal of Geography*, (40), 247-257. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0051>.
- Lim, T.-Y., Chan, M. W. T., Leong, C.-M., & Chin, C.-H. (2023). To Visit and Preserve an Ecotourism Destination? The Moderating Effect of the Sense of Responsibility. *Journal of Responsible Tourism Management*, 3(1), 24–43. <https://doi.org/10.47263/JRTM.03-01-03>



Identification and Prioritization of Factors Affecting the Location of Safe Shelters and Emergency Evacuation Routes in Process Industries Using the Analytic Hierarchy Process

Zahra Barkhordarian^a, Masoud Nasouri^{a*}

^aDepartment of Environmental Planning, Management and HSE, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: nasouri@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4145-3969>

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 2026/08/16

Received in revised form:
2026/09/13

Accepted 2026/09/21

Available online: 2026/09/22

Keywords:

Analytic Hierarchy Process,
Process industries,
Emergency evacuation routes,
Safe shelter location.

ABSTRACT

Process industries, due to their operational nature and the presence of hazardous chemicals, are constantly exposed to extensive risks such as fire, explosion, and the release of toxic substances. Under such circumstances, the establishment of safe shelters and the designation of efficient emergency evacuation routes, as two fundamental components of the crisis management system, play a vital role in reducing human casualties and enhancing industrial resilience. The present study was conducted with the aim of identifying and prioritizing the factors affecting the location of safe shelters and the determination of emergency evacuation routes in process industries in scenarios such as the release of toxic substances using the Analytic Hierarchy Process approach. In this study, a review of scientific sources was first conducted to extract the key criteria influencing the location of safe shelters and the determination of emergency evacuation routes. Subsequently, utilizing an expert panel method (comprising 13 faculty members specializing in industrial safety and crisis management), the extracted criteria were validated and supplemented. The data collection instrument was a pairwise comparison questionnaire based on Saaty's scale (1 to 9). The final weights of the criteria were calculated using the AHP method, and the consistency of the judgments was confirmed through the calculation of the inconsistency ratio. The findings indicated that in the location of safe shelters, the criteria of "minimum exposure to hazardous materials" (C1) and "distance from the hazard source" (C2), with equal weights of 0.16, possess the highest priority. The criteria of "access to safe routes" (C3) and "optimal evacuation time" (C4) were ranked subsequently. Among the factors affecting the determination of emergency evacuation routes, the criterion of "susceptibility to the accident" (C3) with a weight of 0.22 had the highest priority, followed by "population distribution at the site" (C1) and "population density along the routes" (C2). Prioritizing the criteria of distance from hazard sources and route safety in the design of emergency management systems can effectively contribute to reducing human casualties, preventing widespread consequences, and enhancing the resilience of process industries. The findings of this study can serve as a foundation for developing location standards, revising comprehensive emergency response plans, and improving the level of safety in high-risk industrial units.

Cite this article: Barkhordarian, Z. & Nasouri, M. (2026). Identification and Prioritization of Factors Affecting the Location of Safe Shelters and Emergency Evacuation Routes in Process Industries Using the Analytic Hierarchy Process. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 67-84. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597539.1026>



© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597539.1026>

Introduction

Process industries, due to their operational nature and the presence of hazardous chemicals, are inherently exposed to extensive risks including fire, explosion, and the release of toxic substances. The occurrence of accidents in these industries can result in catastrophic consequences, not only in terms of human casualties and financial losses but also with irreversible impacts on surrounding communities and the environment. When primary accidents occur in chemical facilities, the chain-like nature and physicochemical interactions between adjacent units create the potential for propagation to neighboring equipment, potentially leading to the "domino effect" phenomenon, which exacerbates the scale of the disaster.

The establishment of safe shelters and the designation of efficient emergency evacuation routes constitute two fundamental components of crisis management systems, playing a vital role in reducing human casualties and enhancing industrial resilience. Rescue centers in chemical industrial complexes serve as key operational infrastructure components within emergency management systems, responsible for providing and distributing emergency resources, personal protective equipment, and sheltering exposed individuals in a timely manner. Safe shelters serve a dual function: providing temporary accommodation for affected populations who lack alternative safe locations and offering specialized medical care for those requiring immediate attention. These shelters must possess adequate physical space to meet basic survival needs and primary healthcare services.

Emergency evacuation, defined as the purposeful relocation of individuals from identified hazard zones toward safe locations within the shortest possible time and with maximum reliability, represents a critical pillar of crisis response systems. Based on available warning time, emergency evacuation scenarios can be broadly classified into precautionary operations, where sufficient warning time enables pre-assessment and planning, and life-saving operations, characterized by limited or absent warning, necessitating immediate rescue of injured individuals and clearing of access routes.

Due to the inherent diversity of evacuation scenarios and their susceptibility to multiple and sometimes conflicting factors, selecting the best operational strategy requires simultaneous assessment of numerous indicators. Safety experts in process industries possess different perspectives regarding safety system evaluation indicators, naturally leading to different levels of importance for each indicator. Multiple-Criteria Decision-Making methods have emerged as efficient approaches for addressing these complexities. Among various MCDM methods, the Analytic Hierarchy Process, first introduced by Saaty in 1980, has become one of the most practical tools for integrating expert opinions and evaluating scores. Despite the breadth of studies in crisis management, limited research has specifically addressed the identification and prioritization of factors affecting the location of safe shelters and emergency evacuation routes in process industries using MCDM techniques. Therefore, this study was designed with the objective of identifying and prioritizing these factors using the Analytic Hierarchy Process approach.

Method

This study employed a systematic multi-stage methodology to identify and prioritize key factors affecting the location of safe shelters and emergency evacuation routes in process industries. Initially, a comprehensive review of credible scientific literature and previous studies in crisis management, process safety, and emergency facility location was conducted. Based on the findings, a set of criteria were extracted covering various aspects of the subject. The identified dimensions for ranking the location of safe shelters included: C1 (minimum exposure to hazardous materials), C2 (distance from hazard source), C3 (access to safe routes), C4 (optimal evacuation time), C5 (environmental and climatic requirements), C6 (potential for accident impact), C7 (easy access), C8 (emergency facilities and infrastructure), and C9 (minimum access time). Factors identified as effective in determining evacuation routes included: C1 (population distribution at the site), C2 (population density along routes), C3 (susceptibility to the accident), C4 (maximum route capacity), C5 (time from route to safe assembly point), and C6 (exit locations).

An expert panel comprising 13 faculty members specializing in occupational health and safety and crisis management was formed. All participants held doctoral degrees, with ages ranging from 31 to over 45 years and work experience spanning 1 to over 15 years, ensuring diversity of perspectives. A pairwise comparison questionnaire based on Saaty's standard scale (1 to 9) was designed to measure the relative

importance of each factor. The Consistency Ratio was calculated to assess inconsistency in judgments, with values less than 0.1 considered acceptable. The final weights of the criteria were calculated using the AHP method based on the pairwise comparison matrices.

Results

The results revealed distinct prioritization patterns for safe shelter location compared to emergency evacuation route criteria. For safe shelter location, the criteria of "minimum exposure to hazardous materials" (C1) and "distance from hazard source" (C2), with equal weights of 0.16, demonstrated the highest priority. The criterion of "access to safe routes" (C3) with a weight of 0.15 ranked third, followed by "optimal evacuation time" (C4) with a weight of 0.12 in fourth position. These four criteria collectively accounted for the highest weights, indicating their dominant influence in the decision-making process. In contrast, criteria including environmental and climatic requirements (0.09), potential for accident impact (0.11), easy access (0.09), emergency facilities and infrastructure (0.06), and minimum access time (0.07) exhibited lower priority.

For emergency evacuation route determination, the criterion of "susceptibility to the accident" (C3) with a weight of 0.22 demonstrated the highest priority. The criteria of "population distribution at the site" (C1) and "population density along routes" (C2) ranked second and third with weights of 0.20 and 0.19 respectively. These three criteria collectively received the highest weights, demonstrating their dominant influence in evacuation route design. The Consistency Ratio for all participants' judgments was confirmed within the acceptable range (less than 0.1), indicating internal consistency and appropriate reliability of the pairwise comparisons conducted.

Conclusions

The present study successfully identified and prioritized factors affecting the location of safe shelters and emergency evacuation routes in process industries using the Analytic Hierarchy Process approach. The findings revealed that for safe shelter location, the criteria of "minimum exposure to hazardous materials" and "distance from hazard sources" possess the highest priority, followed by "access to safe routes" and "optimal evacuation time," indicating the critical importance of distancing from hazards and speed of access in shelter design. Conversely, in determining emergency evacuation routes, the criterion of "susceptibility to the accident" demonstrates the highest importance, followed by "population distribution at the site" and "population density along routes," indicating the necessity of prioritizing route safety against process hazards.

Based on these findings, safety engineers should calculate minimum safe distances based on consequence modeling of critical scenarios and establish shelters outside hazard radii. In evacuation route design, network nodes exposed to domino effects should be eliminated and alternative routes with minimum hazard exposure should be determined using route optimization algorithms. Evacuation route capacity should be calculated based on maximum floating and working population per shift, and potential bottlenecks should be eliminated to optimize evacuation time. In revising comprehensive emergency response plans, higher-weight criteria should be defined as key performance indicators and compliance of existing shelters and routes should be monitored. Ultimately, prioritizing distance from hazard sources and route safety criteria in emergency management system design can effectively contribute to reducing human casualties, preventing consequences arising from domino effects, and enhancing resilience of process industries, providing an effective operational framework for safety engineers and crisis managers toward improving safety levels in high-risk industrial units.



شناسایی و اولویت بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی

زهرا برخورداریان^a، مسعود نصوری^{a*}

^aگروه برنامه ریزی، مدیریت محیط زیست و HSE، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: nasouri@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	صنایع فرایندی به دلیل ماهیت عملیاتی و حضور مواد شیمیایی خطرناک، همواره با مخاطرات گسترده ای نظیر آتش سوزی، انفجار و انتشار مواد سمی مواجه هستند. در چنین شرایطی، استقرار پناهگاه های ایمن و تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری کارآمد، به عنوان دو مؤلفه اساسی در سیستم مدیریت بحران، نقشی حیاتی در کاهش تلفات انسانی و افزایش تاب آوری صنایع ایفا می کنند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و اولویت بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی در مواجهه با سناریوهایی نظیر انتشار مواد سمی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی انجام گردید. در این مطالعه، ابتدا با مرور برخی منابع علمی معتبر، معیارهای کلیدی مؤثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری استخراج گردید. سپس، با به کارگیری روش پل خبرگان (شامل ۱۳ نفر از اعضای هیئت علمی حوزه ایمنی صنعتی و مدیریت بحران)، معیارهای استخراج شده اعتبارسنجی و تکمیل شدند. ابزار گردآوری داده ها، پرسشنامه مقایسات زوجی مبتنی بر مقیاس ساعتی (۱ تا ۹) بود. وزن های نهایی معیارها با استفاده از روش AHP محاسبه و سازگاری قضاوت ها از طریق محاسبه نرخ ناسازگاری تأیید گردید. نتایج نشان داد که در مکان یابی پناهگاه های ایمن، معیارهای "حداقل میزان مواجهه با مواد خطرناک" و "فاصله از منبع خطر" با وزن مساوی ۰/۱۶، بالاترین اولویت را دارند. معیارهای "دسترسی به مسیرهای ایمن" با وزن ۰/۱۵ و "زمان بهینه تخلیه" با وزن ۰/۱۲ در رتبه های بعدی قرار گرفتند. در میان فاکتورهای مؤثر بر تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری، معیار "تأثیرپذیری از حادثه" با وزن ۰/۲۲ بالاترین اولویت را داشته و معیارهای "توزیع جمعیت در محل" و «چگالی جمعیت (تعداد) در مسیرها» به ترتیب با وزن های ۰/۲۰ و ۰/۱۹ در اولویت های بعدی قرار گرفتند. اولویت دهی به معیارهای فاصله از منابع خطر و ایمنی مسیر در طراحی سیستم های مدیریت اضطراری، می تواند نقش مؤثری در کاهش تلفات انسانی، جلوگیری از پیامدهای گسترده و افزایش تاب آوری صنایع فرایندی ایفا نماید. یافته های این مطالعه می تواند مبنایی برای تدوین استانداردهای مکان-یابی، بازنگری در طرح های جامع پاسخ به شرایط اضطرار و ارتقاء سطح ایمنی در واحدهای صنعتی با ریسک بالا قرار گیرد.
کلیدواژه ها: تحلیل سلسله مراتبی، صنایع فرایندی، مسیرهای تخلیه اضطراری، مکان یابی پناهگاه های ایمن.	

استناد به این مقاله: برخورداریان، زهرا و نصوری، مسعود (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان یابی پناهگاه های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی. راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۸۴-۶۷.

<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597539.1026>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.597539.1026>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

مواد شیمیایی خطرناک در فرایندهای تولید و ذخیره‌سازی، همواره با ریسک‌های قابل توجهی همراه هستند. وقوع نشت در این مواد، می‌تواند به پیامدهای فاجعه باری نظیر آتش‌سوزی، انفجار و مسمومیت‌های حاد منجر گردد که بیانگر ضرورت طراحی نظام‌های کارآمد واکنش سریع در مواجهه با سوانح شیمیایی است (He et al., 2025). حوادث اولیه در تأسیسات شیمیایی، به دلیل ماهیت زنجیره‌ای و تعاملات فیزیکی- شیمیایی میان واحدهای مجاور، پتانسیل سرایت به تجهیزات و مخازن هم جوار را داشته و می‌توانند به پدیده‌ای تحت عنوان "اثر دومینو" منجر گردند که خود تشدیدکننده ابعاد فاجعه است (He et al., 2025). شواهد تجربی حاکی از آن است که در پژوهشی مبتنی بر تحلیل آماری ۲۰۷ حادثه‌ی بزرگ شیمیایی، حدود ۳۹ درصد از موارد شامل پدیده دومینو شناسایی شده‌اند که بیانگر فراوانی غیر قابل چشم‌پوشی این الگوی حوادث در صنایع فرایندی می‌باشد (Kourniotis & Markatos, 2000).

از منظر پیامدشناسی، اثر دومینو می‌تواند خسارات جانی و مالی را به مراتب فراتر از سناریوی اولیه افزایش دهد. نمونه بارز آن، حادثه انفجار شیمیایی ۲۱ مارس ۲۰۱۹ در استان جیانگ سوی چین است که در پی احتراق خودبه‌خودی ضایعات حاوی نیتراکس رخ داد و با گسترش آتش‌سوزی به مخازن ذخیره‌سازی و انبارهای متعدد، به انفجارهایی زنجیره‌ای انجامید. این رویداد، نهایتاً به فوت ۷۸ نفر و مصدومیت ۷۱۶ تن انجامید که گویای شدت اثرات توسعه یافته دومینو در مقیاس وسیع است (Zhang et al., 2019). بنابراین، شناسایی ریسک‌های بالقوه در صنایع فرایندی، به‌ویژه سناریوهایی که امکان ایجاد اثر دومینو در سطوح چندگانه دارند، می‌بایست به عنوان یکی از مولفه‌های اساسی در فرآیندهای مدیریت اضطراری، برنامه‌ریزی واکنش و تدوین راهکارهای پیشگیرانه مد نظر قرار گیرد. غفلت از این جنبه، می‌تواند به نقص‌های سیستمی در مهار بحران و افزایش آسیب‌پذیری جوامع پیرامونی بینجامد (Jiang et al., 2023). مراکز نجات اضطراری در مجتمع‌های صنعتی شیمیایی، به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی و زیرساخت‌های عملیاتی در نظام مدیریت اضطراری و واکنش سریع محسوب می‌شوند. این مراکز، وظیفه تامین و توزیع به هنگام منابع اضطراری، تجهیزات حفاظت فردی و پناه‌گیری افراد در معرض را بر عهده دارند که نقشی حیاتی در مهار اولیه سوانح و کاهش پیامدهای ثانویه ایفا می‌نمایند (Zhang et al., 2017). از منظر مدیریت پیش‌دستانه، مکان‌یابی و استقرار پیشین این مراکز، نه تنها به عنوان یک اقدام ضروری در راستای تضمین آمادگی عملیاتی پیش از وقوع حادثه مطرح است، بلکه بر کارایی فرایند پاسخ دهی، کاهش زمان واکنش و بهینه سازی تخصیص منابع در شرایط بحرانی تأثیری مستقیم دارد. به عبارتی، هرگونه تأخیر در دسترسی به مراکز اضطراری می‌تواند زنجیره واکنش مؤثر را مختل ساخته و احتمال وقوع اثر دومینو یا گسترش دامنه حادثه را افزایش دهد (Jiang et al., 2023).

در صنایع فرایندی، وقوع حوادث بزرگ مقیاس همواره با ضرورت اسکان موقت جمعیت‌های آسیب دیده و مدیریت تخلیه اضطراری همراه است (Zhang et al., 2023). پناهگاه‌های ایمن، نقشی دوگانه در پاسخ‌گویی به دو گروه اصلی از قربانیان ایفا می‌کنند: نخست، افرادی که امکان اسکان در مکان‌های امن دیگر را ندارند و دوم، آسیب دیدگانی که نیازمند مراقبت‌های ویژه پزشکی می‌باشند (Li et al., 2012). این پناهگاه‌ها می‌بایست دارای فضای فیزیکی کافی جهت تأمین نیازهای اساسی زیستی و خدمات درمانی اولیه باشند. اسکان مجدد قربانیان، می‌بایست بر اساس اصل تطبیق پویای عرضه و تقاضای منابع اضطراری صورت پذیرد؛ به گونه‌ای که نه تنها نیازهای افقی و متنوع معیشتی و درمانی آنان برآورد گردد (Pérez-Galarce et al., 2017)، بلکه کیفیت خدمات نیز در بازه‌های زمانی مختلف ارتقاء یافته و پاسخگوی نیازهای عمودی رو به افزایش قربانیان باشد (Zhao et al., 2019).

در صنایع فرایندی، پناهگاه‌های اضطراری به عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی مدیریت بحران محسوب می‌شوند که کارکرد اصلی آن‌ها، فراهم‌آوری بستری امن برای تخلیه سریع و اسکان موقت نیروی انسانی شاغل، بازدیدکنندگان

و جمعیت شناور مستقر در محدوده صنعتی، در هنگام وقوع حوادث بزرگ مقیاس نظیر آتش‌سوزی، انفجار، انتشار مواد سمی یا شکست سازه‌ای می‌باشد. این فضاها، ضمن تامین حداقل امکانات زیستی شامل سرپناه مقاوم، آب آشامیدنی سالم، تجهیزات بهداشتی، تهویه مناسب و ارتباطات اضطراری، نقشی کلیدی در کاهش تلفات انسانی و تسهیل عملیات امداد و نجات ایفا می‌نمایند. با این وجود، خدمات ارائه شده توسط پناهگاه‌های اضطراری در صنایع فرایندی، هم از جنبه عرضه (ظرفیت، تجهیزات، دسترسی) و هم از جنبه تقاضا (تعداد پرسنل، نوع مواجهه، شدت آسیب)، دارای دو بعد مکانی و غیرمکانی می‌باشند. بعد مکانی شامل عواملی نظیر موقعیت پناهگاه نسبت به مراکز خطر (مخازن، راکتورها، تأسیسات فرایندی)، شعاع پوشش، توزیع فضایی پناهگاه‌ها و هم پوشانی حوزه‌های خدماتی در سطح مجتمع صنعتی است؛ در حالی که بعد غیرمکانی به کیفیت تجهیزات حفاظتی، ظرفیت پذیرش، تنوع خدمات درمانی، سطح آمادگی عملیاتی و قابلیت اطمینان سیستم‌های پشتیبان باز می‌گردد (Cao et al., 2022; Jiang et al., 2023; Li et al., 2021; Zhang et al., 2023).

تخلیه اضطراری، به عنوان یکی از ارکان اساسی نظام پاسخ‌گویی به بحران، نقشی حیاتی در مدیریت سوانح ایفا می‌نماید. این فرایند را می‌توان به مثابه جا به جایی هدفمند ساکنان از منطقه‌ای که به عنوان محدوده خطر شناسایی شده است، به سوی مکان‌های امن، در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با حداکثر سطح قابلیت اطمینان، تعریف نمود. اگرچه اصول بنیادین پاسخ‌گویی به بلایا و اجرای تخلیه، در کلیت انواع سناریوهای حادثه مشترک است، اما هر رویداد خاص، ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر میزان هشدار در دسترس، مخاطرات پیش روی امدادگران، احتمال وقوع رویدادهای ثانویه، عملیات بازیابی مورد نیاز و دامنه و مقیاس خسارات وارده را به همراه دارد که ماهیت و پیچیدگی فرایند تخلیه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر اساس میزان هشدار موجود، سناریوهای تخلیه اضطراری را می‌توان به دو دسته کلی طبقه‌بندی نمود: عملیات احتیاطی و عملیات نجات جان. در تخلیه احتیاطی، به دلیل وجود زمان کافی برای هشداردهی، امکان برآورد پیشین مدت زمان تخلیه در مقایسه با زمان انتشار خطر و ارزیابی اولیه سطح ریسک، وجود دارد؛ از این‌رو، زمان پاسخ‌دهی و مخاطرات بالقوه، به عنوان مولفه‌های کلیدی در این نوع تخلیه مطرح می‌شوند. در مقابل، در عملیات نجات جان، کمبود یا فقدان هشدار کافی، مانع از انجام برنامه‌ریزی پیش از حادثه توسط سازمان‌دهندگان می‌گردد؛ بنابراین، تخلیه نجات بخش بر نجات فوری افراد مجروح در داخل و پیرامون منطقه آسیب دیده و همچنین پاکسازی مسیرهای دسترسی متمرکز است (Osman, 2012; Osman, 2013).

با توجه به تنوع ذاتی سناریوهای تخلیه و تأثیرپذیری آن‌ها از عواملی چندگانه و بعضاً متضاد، انتخاب بهترین راهکار عملیاتی در هر شرایط، نیازمند سنجش هم‌زمان شاخص‌های متعدد و گاه ناسازگار است. از سوی دیگر، متخصصان ایمنی در صنایع فرایندی، از دیدگاه‌های متفاوتی نسبت به شاخص‌های ارزیابی ایمنی سیستم برخوردارند (Omid et al., 2024; Shafahi et al., 2026). این تناظر دیدگاه‌ها، به‌طور طبیعی به سطوح مختلفی از اهمیت برای هر شاخص و در نتیجه، تخصیص وزن‌های متفاوت به اندازه‌گیری‌ها منجر می‌گردد (Omid et al., 2024; Salehi et al., 2023). تخصیص وزن‌های متفاوت به شاخص‌های گوناگون، این امکان را برای مدیران و متخصصان ایمنی فراهم می‌سازد تا راهبردهای متنوعی را در جهت ارتقاء سطح ایمنی تدوین نمایند. شایان ذکر است که عواملی که در یک بافت و زمینه کاری خاص، تاثیرگذارتر تلقی می‌گردند، ممکن است در شرایط متفاوت، اولویت‌های دیگری پیدا کنند و این امر، خود به تنوع راهبردهای مدیریت ایمنی دامن می‌زند. به منظور انطباق با این تنوع دیدگاه‌ها و پیچیدگی‌های ذاتی تصمیم‌گیری در زمینه ایمنی، به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به‌عنوان رویکردی کارآمد مطرح گردیده است (Omid & Pilbeam, 2023). در طول دهه گذشته، کاربرد این روش‌ها برای مواجهه با عدم قطعیت‌ها و حل مسائل پیچیده مهندسی، روندی فزاینده یافته است. روش‌های MCDM در موقعیت‌های همراه با عدم قطعیت،

اعم از عدم قطعیت ناشی از ابهام (به دلیل فقدان اطلاعات کامل) یا عدم قطعیت ناشی از قضاوت‌های کیفی تصمیم‌گیرندگان، از کارایی مناسبی برخوردارند. در نتیجه، این روش‌ها برای پرداختن به مسائل دنیای واقعی که در این ویژگی‌ها مشترکند، بسیار سودمند و کاربردی محسوب می‌شوند (Omid & Moradi, 2023).

در میان روش‌های متعدد MCDM، فرایند تحلیل سلسله مراتبی نخستین بار در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ارائه گردید (TL, 1990). این رویکرد که به عنوان یکی از روش‌های بنیادین تصمیم‌گیری چند معیاره شناخته می‌شود، از کاربردی‌ترین ابزارها برای تلفیق نظرات کارشناسی و ارزیابی امتیازات محسوب می‌گردد. AHP با تجزیه مسائل پیچیده تصمیم‌گیری به اجزای تشکیل دهنده در قالب یک ساختار سلسله مراتبی، امکان تحلیل نظام‌مند سیستم‌های تصمیم‌گیری پیچیده را فراهم می‌آورد (Omid, 2018). روش AHP مزایای قابل توجهی در تصمیم‌گیری در شرایطی که کمی‌سازی عوامل با دشواری همراه است، نشان داده است. این روش، به عنوان یک رویکرد پژوهشی معتبر در علوم ایمنی شناخته می‌شود و کاربرد گسترده‌ای نه تنها در فرایندهای تصمیم‌گیری مدیریتی، بلکه در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی دارد. پژوهشگران متعددی از این روش به عنوان تکنیکی ساختار یافته و ساده برای ارزیابی معیارهای پیچیده و مقابله با تصمیمات مبتنی بر اصول ریاضی بهره گرفته‌اند. همچنین، این چارچوب، ابزاری جامع برای ساختاردهی مسائل تصمیم‌گیری در حوزه‌های گوناگون فراهم می‌آورد (Othman et al., 2016).

بررسی پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهد که علی‌رغم گستردگی مطالعات در حوزه مدیریت بحران و مکان‌یابی تاسیسات اضطراری در سناریوهایی نظیر انتشار ماده سمی، پژوهش‌های محدود به طور خاص به شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر انتخاب محل پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری برای جمعیت‌های در معرض خطر در حوادث مرتبط در صنایع فرایندی، با به کارگیری تکنیک‌های MCDM، پرداخته‌اند. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی در حوادثی نظیر انتشار مواد سمی، با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی AHP طراحی و اجرا گردیده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند چارچوبی تحلیلی برای مدیران ایمنی و مسئولین مدیریت بحران در صنایع فرایندی فراهم آورد تا ضمن لحاظ نمودن اولویت‌های چندگانه، تصمیمات مبتنی بر شواهد و کارآمدی در زمینه مکان‌یابی پناهگاه‌ها و انتخاب مسیرهای تخلیه اتخاذ نمایند.

روش‌شناسی پژوهش

در مطالعه حاضر، به منظور شناسایی جامع و نظام‌مند فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی، ابتدا مروری بر تعدادی از متون علمی معتبر و مطالعات پیشین در حوزه‌های مدیریت بحران، ایمنی فرایند و مکان‌یابی تاسیسات اضطراری انجام پذیرفت. این مرور، با هدف پوشش حداکثری ابعاد مختلف مسئله و شناسایی معیارهای کلیدی مورد تأکید در ادبیات فنی و تجارب عملیاتی، صورت گرفت. بر اساس یافته‌های حاصل از این مرحله، مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارهای اولیه استخراج گردید که ابعاد گوناگون موضوع را شامل می‌شدند؛ ابعاد شناسایی شده برای رتبه‌بندی مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن شامل C1: حداقل میزان مواجهه با مواد خطرناک، C2: فاصله از منبع خطر، C3: دسترسی به مسیرهای ایمن، C4: زمان بهینه تخلیه، C5: الزامات محیطی و آب و هوایی، C6: پتانسیل اثرپذیری از حادثه، C7: دسترسی آسان، C8: امکانات اضطراری و زیرساخت‌ها و C9: حداقل زمان دسترسی بودند ((Cao et al., 2022 ; Jiang et al., 2023; Li et al., 2021; Shojae Barjoe, 2021; Zhang et al., 2023)). فاکتورهای شناسایی شده مؤثر بر تعیین مسیرهای تخلیه شامل C1: توزیع جمعیت در محل، C2: چگالی جمعیت (تعداد افراد) در مسیرها، C3: تأثیرپذیری از حادثه، C4: حداکثر ظرفیت مسیر، C5: زمان رسیدن

از مسیر به محل تجمع ایمن و C6: محل خروجی بودند (Georgiadou et al., 2007; Shen et al., 2026; Zhang et al., 2023).

انتخاب خبرگان در پژوهش‌های مبتنی بر روش تحلیل سلسله مراتبی، نقشی تعیین‌کننده در اعتبار نتایج ایفا می‌نماید. در مطالعه حاضر، معیارهای انتخاب متخصصان بر اساس سه مؤلفه اصلی دانش نظری، تخصص عملیاتی و تجربه کاری در حوزه موضوع مطالعه، علاوه بر تمایل به مشارکت و دسترسی‌پذیری در طول فرایند پژوهش، تدوین گردید (Nguyen et al., 2024). بر این اساس، گروه کارشناسی متشکل از ۱۳ نفر از خبرگان شامل ۱۳ نفر از اعضای هیئت علمی حوزه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی و مدیریت بحران تشکیل شد. جدول ۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناختی متخصصان مشارکت‌کننده در مطالعه را نشان می‌دهد. روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره، مبتنی بر مقایسات زوجی است و امکان ارزیابی سناریوهای مختلف را در شرایط تصمیم‌گیری پیچیده فراهم می‌سازد. در این روش، مسئله مورد مطالعه با معیارهای متعدد، به‌صورت یک ساختار سلسله مراتبی متشکل از سطوح مختلف تجزیه می‌گردد؛ به گونه‌ای که بالاترین سطح بیان‌گر هدف نهایی، سطوح میانی نشان‌دهنده معیارهای اصلی و زیر معیارها، و پایین‌ترین سطح شامل گزینه‌های تصمیم می‌باشند.

به منظور سنجش درجه اهمیت هر یک از فاکتورهای اثرگذار در قالب یک ماتریس مقایسات زوجی، فاکتورها دو به دو مورد سنجش قرار گرفتند (جدول ۲) و اولویت نسبی هر یک نسبت به دیگری تعیین گردید. در مرحله بعد، با انجام محاسبات مرتبط و نرخ سازگاری، وزن‌های هر عنصر تصمیم بر اساس داده‌های ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه شد. پرسشنامه مقایسات زوجی بر اساس مقیاس ساعتی استاندارد (۱ تا ۹) طراحی گردید (جدول ۳). این مقیاس که بر مبنای مطالعات روان‌سنجی توسعه یافته است، امکان تبدیل قضاوت‌های کیفی خبرگان به داده‌های کمی را با حفظ سازگاری درونی فراهم می‌سازد (TL, 1990). ترم‌های زبانی این مقیاس شامل سطوحی از "اهمیت یکسان" (امتیاز ۱) تا "کاملاً با اهمیت" (امتیاز ۹) است که امکان بیان دقیق ترجیحات نسبی را برای تصمیم‌گیرندگان فراهم می‌آورد. از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا اهمیت نسبی رویدادها را بر اساس راهنمای ارائه شده تعیین نمایند. تعداد مقایسات زوجی مورد نیاز برای هر سطح از سلسله مراتب، از طریق رابطه $\frac{n(n-1)}{2}$ تعیین گردید که در آن n تعداد عناصر (معیارها) در آن سطح می‌باشد (Mandali et al., 2025).

جهت محاسبه مقادیر ناسازگاری در قضاوت‌ها از روابط مرتبط با نرخ سازگاری (Consistency Ratio) استفاده شد. مقادیر $R < 0.1$ در قضاوت خبرگان مورد پذیرش قرار می‌گیرد و در غیر این صورت می‌بایست تجدید نظر در قضاوت‌ها صورت پذیرد. برای محاسبه شاخص سازگاری (Consistency Index) رابطه ۱ بکار گرفته شد که در آن λ_{max} بزرگترین مقدار ویژه ماتریس و n تعداد شاخص‌ها در ماتریس قضاوت است.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad [1]$$

برای محاسبه نرخ سازگاری (Consistency Ratio) رابطه ۲ مورد استفاده قرار گرفت (Abdollahpour et al., 2022b). شکل ۱ فلوچارت انجام مطالعه را نشان می‌دهد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [2]$$

جدول ۱. مشخصات پاسخ‌دهندگان

Table 1. Characteristics of respondents

تعداد کل - ۱۳		متغیر دموگرافیک
(%)	تعداد	
۱۰۰	۱۳	عنوان سازمانی - عضو هیئت علمی
۳۹	۵	سن (سال)
۲۳	۳	۳- ۳۱-۳۵ سال
۱۵	۲	۴- ۳۶-۴۰ سال
۲۳	۳	۵- ۴۱-۴۵ سال
		۶- بیش از ۴۵ سال
۷	۱	تجربه کاری (سال)
۳۱	۴	۲- ۱-۵ سال
۳۱	۴	۳- ۶-۱۰ سال
۳۱	۴	۴- ۱۱-۱۵ سال
		۵- بیش از ۱۵ سال
۱۰۰	۱۳	سطح تحصیلات - دکتری

جدول ۲. نمونه‌ای از پرسشنامه مقایسه زوجی فاکتورهای مرتبط با انتخاب مسیر تخلیه

Table 2. Sample pairwise comparison questionnaire for factors related to evacuation route selection

فاکتورهای مرتبط با مسیر تخلیه	C1: توزیع جمعیت در محل	C2: چگالی جمعیت (تعداد افراد) در مسیرها	C3: تاثیرپذیری از حادثه	C4: حداکثر ظرفیت مسیر	C5: زمان رسیدن از مسیر به محل تجمع ایمن	C6: محل خروجی
توزیع جمعیت در محل: C1	۱					
چگالی جمعیت (تعداد افراد) در مسیرها: C2		۱				
تاثیرپذیری از حادثه: C3			۱			
حداکثر ظرفیت مسیر: C4				۱		
زمان رسیدن از مسیر به محل تجمع ایمن: C5					۱	
محل خروجی: C6						۱

جدول ۳. مقیاس اندازه‌گیری ساعتی در مقایسه زوجی

Table 3. Hourly measurement scale for pairwise comparison

درجه اهمیت	تعریف	توضیح
۱	اهمیت یکسان	دو معیار به صورت برابر به هدف کمک می‌کنند.
۳	اهمیت متوسط	قضاوت به طور جزئی به نفع یکی از معیارها است.
۵	اهمیت زیاد	قضاوت به طور قاطع به نفع یکی از معیارها است.
۷	اهمیت بسیار زیاد	یک معیار برتری آشکار دارد.
۹	کاملاً با اهمیت	برتری یک معیار بر دیگری در بالاترین سطح ممکن تایید می‌شود.
۲، ۴، ۶ و ۸	مقادیر میانی	برای بیان مقادیر بینابینی بین اولویت‌های فوق به کار می‌روند.



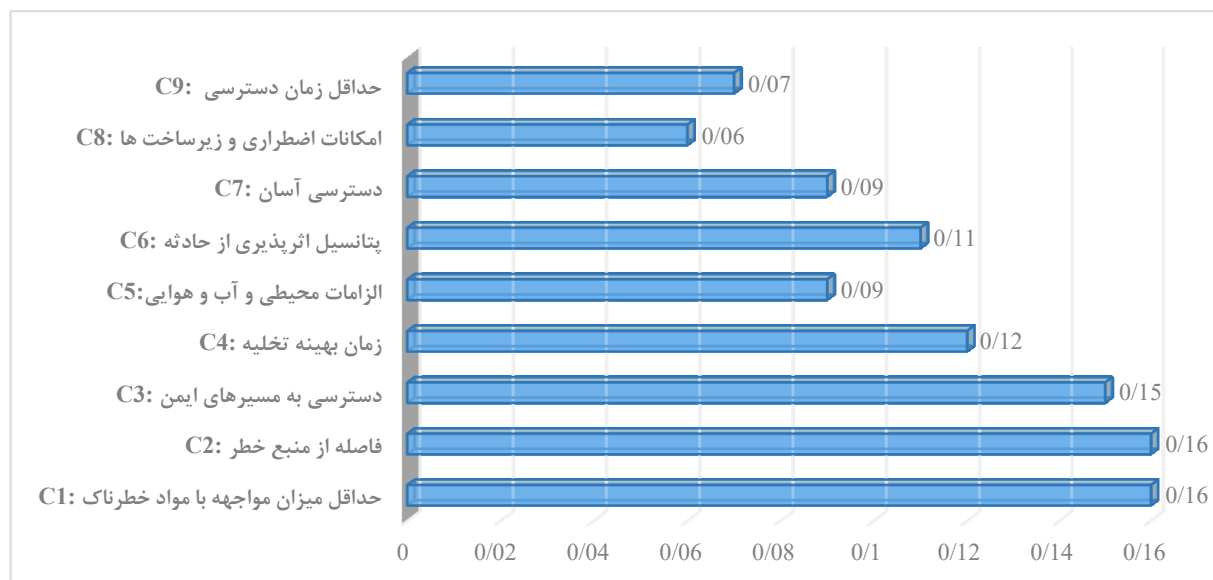
شکل ۱. فلوچارت انجام مطالعه

Figure 1. Study flowchart

یافته‌ها و بحث

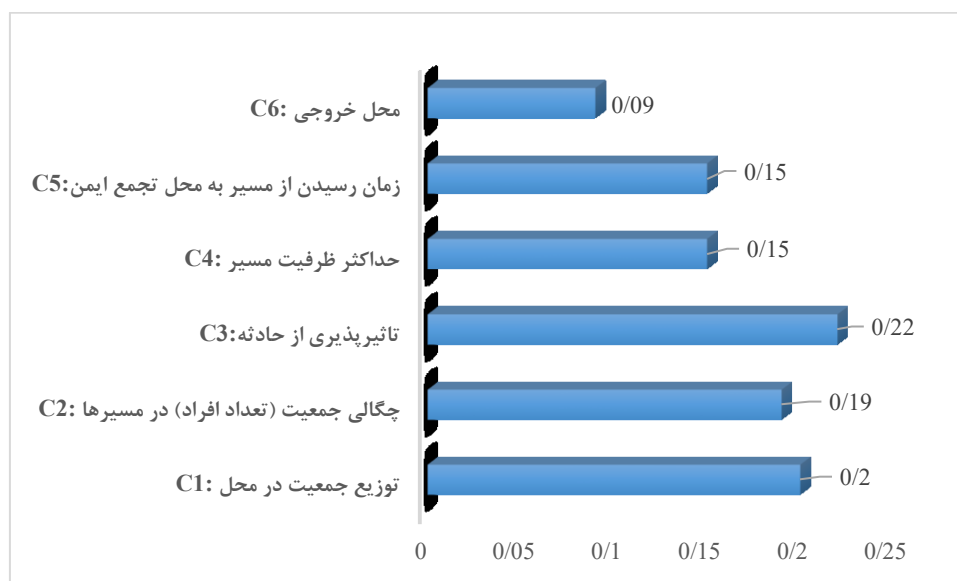
در این مطالعه، به منظور شناسایی و اولویت‌بندی سیستماتیک فاکتورهای کلیدی مؤثر بر مکان‌یابی بهینه پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی در حوادثی نظیر انتشار ماده سمی، از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده گردید. ماتریس مقایسات زوجی توسط پنلی از خبرگان صاحب نظر در حیطه موضوعی ایمنی و مدیریت بحران تکمیل شد و وزن‌های نهایی معیارها محاسبه گردید.

نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که معیارهای C1 (حداقل میزان مواجهه با مواد خطرناک) و C2 (فاصله از منبع خطر) با وزن‌های مساوی ۰/۱۶، بالاترین اولویت را در میان شاخص‌های مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن به خود اختصاص داده‌اند. معیار C3 (دسترسی به مسیرهای ایمن) با وزن ۰/۱۵ در رتبه سوم و معیار C4 (زمان بهینه تخلیه) با وزن ۰/۱۲ در رتبه چهارم قرار گرفته است. این چهار معیار (C1 تا C4) بیشترین وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده تأثیر غالب این عوامل در فرایند تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن در صنایع فرایندی است. در مقابل، معیارهای الزامات محیطی و آب و هوایی (۰/۰۹)، پتانسیل اثرپذیری از حادثه (۰/۱۱)، دسترسی آسان (۰/۰۹)، امکانات اضطراری و زیرساخت‌ها (۰/۰۶) و حداقل زمان دسترسی (۰/۰۷) از اولویت پایین‌تری برخوردار بوده‌اند. اگرچه معیار پتانسیل اثرپذیری از حادثه با وزن ۰/۱۱ در رتبه پنجم قرار گرفته و نسبت به سایر معیارهای گروه دوم از اهمیت نسبتاً بیشتری برخوردار است، اما همچنان وزن کمتری نسبت به معیارهای اولویت دار (C1 تا C4) دارد. الگوی اولویت‌بندی به دست آمده حاکی از آن است که در طراحی و مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن در صنایع فرایندی، عواملی نظیر فاصله از منابع خطر، دسترسی سریع، ظرفیت کافی پناهگاه و ایمنی سازه‌ای در مقایسه با عواملی مانند وضعیت توپوگرافی و الزامات آب و هوایی، از درجه اهمیت بالاتری برخوردار هستند. شکل ۲ نتایج حاصل رتبه‌بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن را نشان می‌دهد.



شکل ۲. وزن فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن
Figure 2. Weight of factors affecting the location of safe havens

به منظور شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی، از فرایند آنالیز سلسله مراتبی استفاده گردید. نتایج حاصل از آنالیز نشان می‌دهد که معیار C3 (تأثیرپذیری از حادثه) با وزن ۰/۲۲، بالاترین اولویت را در میان شاخص‌های تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری به خود اختصاص داده است. معیارهای C1 (توزیع جمعیت در محل) و C2 (چگالی جمعیت (تعداد افراد) در مسیرها) به ترتیب با وزن‌های ۰/۲۰ و ۰/۱۹ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند (شکل ۳). این سه معیار (C1، C2 و C3) بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده تأثیر غالب این عوامل در فرایند تصمیم‌گیری برای طراحی مسیرهای تخلیه است. در مطالعه حاضر، نرخ ناسازگاری برای قضاوت کلیه مشارکت‌کنندگان در محدوده قابل قبول (کمتر از ۰/۱) گزارش گردید که نشان از سازگاری درونی و قابلیت اتکای مناسب مقایسات صورت گرفته دارد.



شکل ۳. وزن فاکتورهای مؤثر بر تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری

Figure 3. Weights of factors influencing the determination of emergency evacuation routes.

صنایع فرایندی به دلیل ماهیت عملیاتی خود، همواره با مخاطرات گسترده و پیچیده‌ای از جمله آتش‌سوزی، انفجار و انتشار مواد سمی و خطرناک مواجه هستند. وقوع حوادث در این صنایع می‌تواند علاوه بر خسارات جانی و مالی سنگین، پیامدهای جبران‌ناپذیری برای جوامع پیرامونی و محیط زیست به همراه داشته باشد. در چنین شرایطی، وجود پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری کارآمد، به عنوان دو مولفه اساسی در سیستم مدیریت بحران نقشی حیاتی در کاهش تلفات انسانی و افزایش تاب‌آوری صنایع ایفا می‌کنند. هدف از مطالعه حاضر شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن و تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی در مواجهه با سناریوهایی نظیر انتشار مواد سمی با به‌کارگیری رویکرد AHP است.

بر اساس نتایج معیارهای حداقل میزان مواجهه با مواد خطرناک (با وزن ۰/۱۶) و فاصله از منبع خطر (با وزن ۰/۱۶) بالاترین اولویت را در مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن به خود اختصاص داده‌اند. معیار دسترسی به مسیرهای ایمن با وزن ۰/۱۵ و زمان بهینه تخلیه با وزن ۰/۱۲ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این یافته با نتایج مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) که با استفاده از مدل پخش گاوسی و الگوریتم فلوید به بررسی مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن در صنایع شیمیایی پرداختند، همخوانی کامل دارد. آنها نشان دادند که فاصله از منبع نشت و زمان دسترسی به پناهگاه، از مهمترین

معیارهای تعیین‌کننده در مکان‌یابی پناهگاه‌های اضطراری هستند و در تحلیل ریسک سالیانه نشت گازهای سمی، مناطقی که در معرض غلظت‌های بالای گاز قرار دارند، باید به عنوان مناطق با اولویت پایین برای استقرار پناهگاه در نظر گرفته شوند (Zhang et al., 2023). همچنین، مطالعه Talhofer & Hošková-Mayerov (2019) که به بررسی کاربرد تحلیل چند معیاره در انتخاب مکان مناسب برای استقرار مرکز اضطرار در شرایط بحران پرداختند، نشان دادند که معیارهای فاصله از منابع خطر و دسترسی به راه‌های ارتباطی، از بالاترین وزن‌ها در فرایند تصمیم‌گیری برخوردار هستند. آنها با استفاده از روش SAW^۱ و تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها، نشان دادند که تغییر در وزن معیار دسترسی، تأثیر قابل توجهی بر نتایج نهایی تحلیل دارد. این یافته با اولویت بالای معیار دسترسی سریع در مطالعه حاضر سازگار است و تأکید می‌کند که در شرایط بحرانی، زمان رسیدن به محل‌های ایمن، یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل در بقای افراد است (Talhofer & Hošková-Mayerová, 2019).

علاوه بر این، مطالعه Cao et al (2022) که به ارائه مدل مکان‌یابی مراکز اضطراری در پارک‌های شیمیایی با هدف پیشگیری از اثر دومینو پرداختند، نشان دادند که در نظر گرفتن فاصله از تاسیسات پرخطر، تأثیر تعیین‌کننده‌ای در جلوگیری از گسترش حوادث دارد. آنها با استفاده از الگوریتم NSGA-II و در نظر گرفتن توابع هدف هزینه و ایمنی، نشان دادند که مکان‌یابی مراکز اضطراری در فاصله‌ای بیش از شعاع ریسک از نقاط حادثه‌خیز، می‌تواند از وقوع اثر دومینو جلوگیری کند. این یافته با نتایج مطالعه حاضر همسو است و نشان می‌دهد که در طراحی پناهگاه‌های ایمن در صنایع فرایندی، رعایت فاصله ایمن از تاسیسات پرخطر، یک الزام اساسی است (Cao et al., 2022).

در مقابل، نتایج مربوط به اولویت‌بندی فاکتورهای موثر بر تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری نشان داد که معیار تأثیرپذیری از حادثه (C3) با وزن ۰/۲۲ بالاترین اولویت را دارد و معیارهای C1 (توزیع جمعیت در محل) و C2 (چگالی جمعیت (تعداد افراد) در مسیرها) در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. این یافته با پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه طراحی مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع پرخطر همخوانی دارد. مطالعه Jiang et al (2023) نشان داد که ایمنی مسیرهای دسترسی و فاصله از مناطق با ریسک بالا، از مهم‌ترین معیارهای تعیین‌کننده در طراحی مسیرهای تخلیه هستند. آنها با استفاده از مدل‌سازی ریسک بهبود یافته و شبیه‌سازی مونت کارلو، نشان دادند که در نظر گرفتن اثر دومینو می‌تواند توزیع ریسک را در مناطق صنعتی به طور چشمگیری تغییر دهد و بر اولویت‌بندی مسیرهای تخلیه تأثیر بگذارد (Jiang et al., 2023). همچنین، مطالعه Zhang et al (2023) با استفاده از مدل پخش گاوسی و الگوریتم فلوید، نشان دادند که در طراحی مسیرهای تخلیه، ایمنی مسیر در برابر غلظت گازهای سمی (نظیر آمونیاک) و زمان در دسترس بودن مسیر از مهم‌ترین معیارها هستند. آنها با شبیه‌سازی نشت لحظه‌ای آمونیاک و تحلیل غلظت گاز در گره‌های شبکه تخلیه، نشان دادند که مسیرهایی که در معرض غلظت‌های بالاتر از آستانه مجاز قرار می‌گیرند، باید از شبکه تخلیه حذف شوند و مسیرهای جایگزین با کمترین مواجهه با مخاطرات انتخاب گردند (Zhang et al., 2023).

مطالعه Ayyildiz et al (2025) که با استفاده از رویکرد فازی شهودی^۲ و روش‌های EDAS و SWARA به انتخاب مکان مراکز پاسخ‌گویی اضطراری در مناطق صنعتی پرداختند، نشان داد که در انتخاب مکان این مراکز، معیارهای دسترسی بیشترین اهمیت را دارند، اما در طراحی مسیرهای تخلیه، معیارهای عملیاتی مانند وجود مسیرهای خروج و ایمنی مسیر از اهمیت بالاتری برخوردارند. آنها با تحلیل حساسیت و بررسی سناریوهای مختلف وزنی، نشان دادند که تغییر در وزن معیارهای ایمنی مسیر می‌تواند رتبه‌بندی گزینه‌های مکان‌یابی را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهد (Ayyildiz et al., 2025).

1. simple additive weighting
2. Intuitionistic Fuzzy

یافته‌های مطالعه حاضر دارای پیامدهای مدیریتی برای صنایع فرایندی است. نخست، مدیران ایمنی و برنامه‌ریزان می‌بایست در مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن، اولویت نخست را به معیارهای فاصله از منابع خطر و دسترسی سریع اختصاص دهند و از استقرار پناهگاه‌ها در مجاورت تاسیسات پرخطر و مناطق با ریسک بالا خودداری کنند. دوم، در طراحی مسیرهای تخلیه اضطراری، معیار ایمنی مسیر در برابر مخاطرات فرایندی (مانند انتشار گازهای سمی، حریق و انفجار) باید در اولویت بالا قرار گیرد و مسیرهایی انتخاب شوند که کمترین میزان مواجهه با مخاطرات را داشته باشند. سوم، با توجه به تفاوت معنادار الگوی اولویت‌بندی، نمی‌توان از یک چارچوب واحد برای طراحی پناهگاه‌ها و مسیرهای تخلیه استفاده کرد و هر یک نیازمند تحلیل و برنامه‌ریزی مجزا هستند.

مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است که می‌بایست در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرند. یک محدودیت مهم، به ترکیب پنل خبرگان باز می‌گردد. اگرچه مشارکت خبرگان دانشگاهی و صاحب نظران حوزه ایمنی صنعتی و مدیریت بحران، اعتبار محتوایی مناسبی به فرایند مقایسات زوجی بخشیده است، اما اتکای صرف بر خبرگان دانشگاهی و عدم بهره‌گیری هم‌زمان از خبرگان عملیاتی با تجربه مستقیم میدانی، می‌تواند بر تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد. گرچه در مطالعه حاضر، نرخ ناسازگاری برای قضاوت کلیه مشارکت‌کنندگان در محدوده قابل قبول (کمتر از ۰/۱) محاسبه و تایید گردید که نشان‌دهنده سازگاری درونی و قابلیت اتکای مناسب مقایسات صورت گرفته است. با این حال، یکی از محدودیت‌های این مطالعه، فقدان تحلیل حساسیت جهت بررسی تأثیر تغییرات وزن معیارها بر رتبه‌بندی نهایی و پایداری نتایج در سناریوهای مختلف وزنی می‌باشد که انجام آن می‌توانست اعتبار و استحکام تصمیمات اتخاذ شده را به طور قابل توجهی افزایش دهد. همچنین، اگرچه از نظرات متخصصان حوزه ایمنی و مدیریت بحران بهره‌گیری شد، حجم نمونه محدود و ماهیت ذاتی روش AHP که بر قضاوت‌های افراد استوار است، می‌تواند بر طیف دیدگاه‌ها و اولویت‌بندی نهایی تأثیرگذار بوده باشد. به علاوه، تمرکز مطالعه حاضر بر شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای مؤثر بوده و راهکارهای عملیاتی دقیق برای پیاده‌سازی هر یک از معیارها ارائه نگردیده است. انجام پژوهش‌های آتی با رویکردهای ترکیبی نظیر Fuzzy AHP برای مواجهه با عدم قطعیت ذهنی، ANP (فرایند تحلیل شبکه‌ای) به منظور لحاظ کردن وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیاری، GIS-based MCDM برای مکانی سازی اولویت‌ها، و شبیه‌سازی دینامیک سیستم‌ها برای ارزیابی پویای عملکرد معیارها در شرایط زمانی و مکانی متفاوت، پیشنهاد می‌شود. به‌ویژه، بکارگیری همزمان تکنیک‌های MCDM با شبیه‌سازی می‌تواند امکان اعتبارسنجی نتایج اولویت‌بندی را در سناریوهای عملیاتی متنوع فراهم آورد و اثرات دومینو و عدم قطعیت‌های محیطی را به‌صورت واقع‌گرایانه‌تری مدل نماید. همچنین، انجام مطالعات میدانی با نمونه‌های آماری گسترده‌تر و آزمون حساسیت بر روی وزن‌های حاصل، می‌تواند به افزایش استحکام و کاربردی‌پذیری یافته‌ها در شرایط مختلف بحرانی کمک کند. علاوه بر این، انجام اعتبارسنجی میدانی از طریق مطالعه میدانی در یک منطقه واقعی با جمعیت هدف، می‌تواند میزان انطباق اولویت‌های نظری با شرایط عملیاتی را بسنجد و نقاط قوت و ضعف هر معیار را در مواجهه با پیچیدگی‌های عینی آشکار سازد. این اعتبارسنجی میدانی، به‌ویژه در کنار شبیه‌سازی، امکان مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های مشاهده شده از تخلیه‌های واقعی (یا تمرینات عملیاتی) را فراهم نموده و به اصلاح وزن‌ها و افزایش استحکام مدل کمک شایانی می‌کند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف شناسایی و اولویت‌بندی فاکتورهای مؤثر بر مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن و مسیرهای تخلیه اضطراری در صنایع فرایندی در مواجهه با سناریوهایی نظیر انتشار مواد سمی با به کارگیری رویکرد AHP انجام شد و نتایج نشان داد که در مکان‌یابی پناهگاه‌های ایمن، معیارهای "حداقل میزان مواجهه با مواد خطرناک" و "فاصله از

منابع خطر" با وزن مساوی ۰,۱۶, بالاترین اولویت را دارند. در رتبه‌های بعدی، معیارهای "دسترسی به مسیرهای ایمن" و "زمان بهینه تخلیه" قرار می‌گیرند که بیانگر اهمیت حیاتی فاصله‌گیری از مخاطرات و سرعت دسترسی در طراحی پناهگاه‌هاست. در مقابل، در تعیین مسیرهای تخلیه اضطراری، معیار "تأثیرپذیری از حادثه" با وزن ۰,۲۲، بیشترین اهمیت را داشته و معیارهای "توزیع جمعیت در محل" و "چگالی جمعیت در مسیرها" در اولویت‌های بعدی قرار گرفته‌اند که نشان دهنده لزوم اولویت‌دهی به ایمنی مسیر در برابر مخاطرات فرایندی است. بر اساس این یافته‌ها، مهندسان ایمنی می‌بایست در مکان‌یابی پناهگاه‌ها، حداقل فاصله ایمن را بر اساس مدل‌سازی پیامد سناریوهای بحرانی نظیر انفجار و انتشار گازهای سمی محاسبه و پناهگاه‌ها را خارج از شعاع خطر استقرار دهند. همچنین، در طراحی مسیرهای تخلیه، گره‌های شبکه‌ای که در معرض اثر دومینو قرار دارند، باید از شبکه حذف و مسیرهای جایگزین با کمترین میزان مواجهه با مخاطرات با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر تعیین گردند. ظرفیت مسیرهای تخلیه نیز می‌بایست بر اساس حداکثر جمعیت شناور و شاغل در هر شیفت محاسبه شده و گلوگاه‌های احتمالی از طریق افزایش پهنای مسیر یا ایجاد مسیرهای موقت برطرف شوند تا زمان تخلیه بهینه گردد. در بازنگری طرح‌های جامع پاسخ به شرایط اضطرار، معیارهای با وزن بالاتر به‌عنوان شاخص‌های کلیدی عملکرد تعریف شده و میزان انطباق پناهگاه‌ها و مسیرهای موجود با این شاخص‌ها، پایش گردد. برای واحدهای در حال احداث، نتایج این مطالعه می‌تواند در مرحله طراحی مفهومی به عنوان چک لیست الزامات ایمنی مورد استفاده قرار گیرد تا از بروز هزینه‌های اصلاحی در مراحل بعدی پیشگیری شود. در نهایت، اولویت‌دهی به معیارهای فاصله از منابع خطر و ایمنی مسیر در طراحی سیستم‌های مدیریت اضطراری، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تلفات انسانی، جلوگیری از پیامدهای ناشی از اثرات دومینو و افزایش صنایع فرایندی ایفا کند و چارچوب عملیاتی این مطالعه، ابزاری کارآمد برای مهندسان ایمنی و مدیران بحران در راستای ارتقاء سطح ایمنی واحدهای صنعتی با ریسک بالا فراهم می‌آورد.

References

- Abdollahpour S, B. A., Akbari H, Khajevandi A. . (2022a). Assessment of the Resilience Culture of Safety Management Systems by Hierarchical Analysis Method; Case Study: Metal Industries in Countries, 2021. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* ۵۴-۴۶, (۱)۹.
- Abdollahpour S, B. A., Akbari H, Khajevandi A. . (2022b). Assessment of the Resilience Culture of Safety Management Systems by Hierarchical Analysis Method; Case Study: Metal Industries in Countries, 2021. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*, 9(1), 46-54 .
- Ayyildiz, E., ERDOĞAN, M., & Gul, M. (2025). An integrated intuitionistic fuzzy framework for emergency response center location planning in industrial areas. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 100813 .
- Cao K ,L. L., Liu Y, Wang L, Choi KN, Gao J. . (2022). Research on the siting model of emergency centers in a chemical industry park to prevent the domino effect. *Processes*, 10(11), 2287 .
- Georgiadou PS, P. I., Kiranoudis CT, Markatos NC. . (2007). Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. . *Reliability Engineering & System Safety*, 92(10), 1388-1402 .
- He S, S. S., Lin Z, Lu Y, Li H. . Dec 30:112178. (2025). Optimization of decision-making in safety investments for domino accident prevention in chemical industrial parks based on system dynamics. *Reliability Engineering & System Safety*, 270, 112178 .
- He, Z., Weng, W., Huang, X., Lan, M., & Shen, K. (2025). The decision-making between evacuation and shelter-in-place (SIP) in case of multi-hazard chemical accidents. *Chemical Engineering Transactions*, 116, 463-468 .
- Jiang J, Z. X., Wei R, Huang S, Zhang X. S. (2023). Study on location of fire stations in chemical industry parks from a public safety perspective: Considering the domino effect and the identification of major hazard installations for hazardous chemicals. *Fire*, 6(6), 218 .

- Kourniotis SP, K. C., Markatos NC. (2000). Statistical analysis of domino chemical accidents. *Journal of hazardous materials*, 71(1-3), 239-252 .
- Li AC, N .L., Xu N, Davidson R. (2012). Shelter location and transportation planning under hurricane conditions. . *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.*, 48(4), 715-729 .
- Li, D., H. H., Yang J. (2021). *Two-stage optimization study on location and layout of emergency resources in chemical parks*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science ,
- Mandali, H., K. E., Ebrahimi H, Hanifi SM, Ayat SM, Ghashghaei M. . (2025). Machine learning and bayesian network based on fuzzy AHP framework for risk assessment in process units. *Scientific Reports.*, 15(1), 39083 .
- Nguyen, P.T., N. Q., Huynh VDB, Nguyen LT. (2024). E-learning quality and the learners' choice using spherical fuzzy analytic hierarchy process decision-making approach. *Vikalpa*, 49(2), 143-156 .
- Omidi, L., B. M., Dolatabad, K.M., Zakerian, S.A., Azam, K. (2024). Mindful organizing mediates the relations between group safety climate and safety-related behaviors among operating room team members. *Perioperative Care and Operating Room Management.*, 34, 100351 .
- Omidi, L., D. K., Pilbeam, C. (2023). Differences in perception of the importance of process safety indicators between experts in Iran and the West. *Journal of safety research*, 84, 261-272 .
- Omidi, L., K. H., Moradi, G. (2023). Assessment of emergency risk management and resilience engineering at management levels of a high hazard industry. *Safety and reliability* .
- Omidi, L., M. G., Salehi V, Khosravifar M. (2024). A multi-criteria decision-making approach for prioritizing factors influencing healthcare workers' safety performance: A case of a women's hospital. *Journal of Safety and Sustainability.*, 1(3), 173-180 .
- Omidi, L., Z. S., Saraji, J.N., Hadavandi, E., Yekaninejad, M.S. (2018). Prioritization of human factors variables in the management of major accident hazards in process industries using fuzzy AHP approach. *Health scope*, 7(4), e61649 .
- Osman, M.S., R. B. (2012). *Application of static uncapacitated multi-commodity flow models to dynamic capacity-constrained evacuation path networks*. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management
- Osman, M.S., R. B. (2013). Two-phase evacuation route planning approach using combined path networks for buildings and roads. *Computers & Industrial Engineering*, 65(2), 233-245 .
- Othman, M.R., I. R., Hassim MH, Ibrahim WHW. (2016). Prioritizing HAZOP analysis using analytic hierarchy process (AHP). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1345-1360 .
- Pérez-Galarce, F., C. L., Vergara, C., Candia-Véjar, A. (2017). An optimization model for the location of disaster refuges. *Socio-Economic Planning Sciences.*, 59, 56-66 .
- Salehi, V., M. G., Omidi, L., Rahimi, E. (2023). An MCDM approach to assessing influential factors on healthcare providers' safe performance during the COVID-19 pandemic: Probing into demographic variables. *Journal of Safety Science and Resilience.*, 4(3), 274-283 .
- Shafahi, M., D. K., Juybari, M.N., Omidi, L. (2026). Prioritizing Factors Influencing Failure in the Crisis Management System of a Process Industry Using the Analytic Hierarchy Process. *Journal of Health and Safety at Work*, 16(1), 168-187.
- Shen, Y., W. Q., Yan, W., Sun, J. (2015). An evacuation model coupling with toxic effect for chemical industrial park. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.*, 33, 258-265 .
- Shojaee Barjoe, S., N. M., Malverdi, E., Mahmoud, Z., Abadi, S., Naghdi, M.R. (2021). Modeling the consequences of benzene leakage from tank using ALOHA in Tar Refining Industrial of Kerman, Iran. *Pollution*, 7(1), 217-230.
- Talhofer, V., & Hošková-Mayerová, Š. (2019). Method of selecting a decontamination site deployment for chemical accident consequences elimination: application of multi-criterial analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), 171.
- TL., S. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26 .
- X., W. (2026). Spatially Constrained Evacuation Route Optimization for LPG Leakage Accidents in Chemical Industrial Parks. . *Processes*, 14(13), 2222 .

- Zhang, D., M. Z., Gong, M., Ren, J., Zuo, S., Chen, X. (2023). Study on optimization of shelter locations and evacuation routes of gas leakage accidents in chemical industrial park. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 556-567 .
- Zhang, J.H., S. X., Zhu, R., Li, M., Miao, W. (2017). Solving an emergency rescue materials problem under the joint reserves mode of government and framework agreement suppliers. . *Plos one*, 12(10), e0186747 .
- Zhang, N., S. S., Zhou, A.N., Chen, J. (2019) .A brief report on the March 21, 2019 explosions at a chemical factory in Xiangshui, China. *Process Safety Progress*, 38(2), e12060 .
- Zhao, X., C. J., Xu, W., Lou, S., Du, P., Yuan, H., Ip, K.P. (2019). A three-stage hierarchical model for an earthquake shelter location-allocation problem: case study of Chaoyang District, Beijing, China. *Sustainability*, 11(17), 4561 .



Black Soldier Fly: A Novel Solution for Organic Waste Recycling, Alternative Protein Production, and Food Security

Emad Changizia*

Department of Pathobiology, Faculty of Veterinary Medicine, Semnan University, Semnan, Iran.

*Corresponding Author: echangizi@semnan.ac.ir, <https://orcid.org/0000-0001-7120-0833>

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2026/08/06
Received in revised form:
2026/08/12
Accepted 2026/09/06
Available online: 2026/09/22

Keywords:
Circular economy,
Food security,
Alternative protein,
Waste management,
Black soldier fly.

The escalating production of organic waste, the rapidly growing demand for protein for both human consumption and animal feed, and the intensifying pressure on water resources, soil, and conventional agricultural inputs have collectively underscored the urgent need for the development of low-input, biological solutions. In this regard, the black soldier fly (*Hermetia illucens*) has attracted considerable attention in recent years owing to its relatively short life cycle, its capacity to consume a wide spectrum of organic materials, and its ability to convert a significant fraction of these substrates into insect biomass. The larvae of this species are capable of transforming food waste and various organic streams into biomass that is exceptionally rich in protein and lipids, while simultaneously generating a valuable by-product known as frass. The present review examines the potential of black soldier fly-based technology, focusing on its biology and life cycle, rearing conditions, the distinction between open and closed systems, substrate and feed management, the range of harvestable products, and the insect's role within the circular bioeconomy. Furthermore, it discusses the applications of larval meal, oil, frass, and compounds such as chitin and chitosan, together with the opportunities and limitations of their utilisation in animal feed, aquaculture, agriculture, and biotechnology. Within the conceptual framework derived from current research, the black soldier fly should not be viewed exclusively as a waste management tool; rather, it can be conceived as an intrinsic element of a closed-loop system wherein waste is transformed into biomass and subsequently into feed, fertiliser, and other high-value products. However, factors including substrate safety, consistency in feed composition, production costs, standardisation, regulatory frameworks, pathogen control, and market acceptance constitute the most critical obstacles to the industrial-scale deployment of this technology. In Iran, establishing clear standards, advancing indigenous technical expertise, creating sustainable supply chains, and conducting research adapted to the local climate and socio-economic context can facilitate the responsible expansion of this nascent industry.

Cite this article: Changizi, E. (2026). Black Soldier Fly: A Novel Solution for Organic Waste Recycling, Alternative Protein Production, and Food Security. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 85-96. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.595701.1020>



Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.595701.1020>

Introduction

The rapid growth of population, urbanisation, and changing consumption patterns has substantially increased the generation of organic waste and intensified concerns regarding waste management, resource depletion, and food security. At the same time, the increasing demand for protein-rich feed ingredients has placed considerable pressure on conventional sources such as soybean meal and fishmeal. The production of these resources is associated with environmental challenges, including deforestation, overfishing, high water consumption, and greenhouse gas emissions. Consequently, increasing attention has been directed toward alternative protein sources that can simultaneously contribute to organic waste valorisation and resource recovery. Among emerging biological technologies, the black soldier fly (BSF), *Hermetia illucens*, has received considerable attention because of its high capacity to convert diverse organic substrates into valuable biomass. BSF larvae can consume food waste, agricultural residues, and manure and convert them into protein- and lipid-rich biomass, while the remaining frass can be used as a nutrient-rich agricultural amendment. This characteristic makes BSF particularly relevant to circular economy and sustainable agriculture approaches. In addition to larval meal, BSF production can provide oil, frass, chitin, chitosan, and bioactive compounds with potential applications in animal feed, agriculture, industry, and biotechnology. Although BSF technology has progressed considerably at the global level, its development in Iran remains constrained by technical, regulatory, economic, and market-related challenges. Therefore, this study aimed to review the biological characteristics, rearing requirements, production systems, products and applications, circular-economy potential, and major opportunities and limitations associated with BSF production, with particular emphasis on its prospects for development in Iran.

Method

A descriptive and analytical review was conducted on the biology, production, applications, sustainability, and development prospects of *H. illucens*. The available evidence was synthesised thematically according to major components of the BSF production chain. The review considered the biological and developmental characteristics of BSF, environmental and operational requirements including temperature, humidity, substrate properties, moisture, and larval density, and differences between open and closed production systems in terms of environmental control, investment, biosecurity, and scalability. Major products, including larval protein meal, oil, frass, chitin, chitosan, and bioactive compounds, were examined alongside their potential applications. The circular-economy potential of BSF was assessed through organic-residue conversion, feed production, and nutrient recycling. Finally, opportunities and limitations for BSF development in Iran were reviewed, including substrate availability, dependence on imported feed ingredients, research activities, emerging businesses, regulatory conditions, technical capacity, product safety, and market barriers.

Results

The review demonstrated that BSF has considerable potential to integrate organic waste valorisation with alternative protein production. Successful production depends strongly on environmental and nutritional conditions. Under favourable conditions, particularly temperatures of approximately 27–32°C and relative humidity of 60–80%, eggs hatch within 3–4 days and larvae can reach harvestable size within approximately 14–21 days. Substrate characteristics strongly influence larval growth, biomass yield, and product quality. A moisture content of approximately 60–70% is generally suitable for larval development, while substrate composition affects biomass composition; protein-rich substrates may support growth, whereas starch-rich substrates can promote lipid accumulation. Appropriate feeding and larval-density management are therefore essential to avoid anaerobic conditions, odour generation, and

reduced productivity. Production systems differ according to scale and resource availability. Open systems generally require lower investment and may be suitable for small-scale or rural applications, but limited environmental and biosecurity control can reduce consistency and scalability. Closed systems require greater investment but allow better control of temperature, humidity, lighting, feeding, and harvesting, making them more suitable for standardised and industrial production. Automation of feeding, environmental control, and harvesting may further improve efficiency and consistency.

BSF biomass has multiple potential applications. Depending on substrate and processing conditions, dried larvae may contain approximately 40–45% protein and 15–25% fat, with a useful amino acid profile. This supports their potential as a partial alternative to conventional protein sources, particularly fishmeal, in aquaculture and poultry feed. BSF oil, characterised by its high lauric acid content, has potential applications in feed, biodiesel, and cosmetics. Frass contains nutrients and organic matter and may contribute to soil fertility and plant growth; however, its commercial use requires control of composition and microbiological safety. Chitin and chitosan obtained from larval cuticles also have potential applications in agriculture, medicine, drug delivery, and biodegradable materials. Bioactive compounds, including antimicrobial peptides, represent additional opportunities, although further safety and efficacy studies are required. BSF production is closely aligned with circular-economy principles because it converts organic residues into protein and lipid biomass while returning nutrients to agricultural systems through frass. Nevertheless, environmental and economic benefits are context-dependent and may be affected by energy and water consumption, transportation, substrate preparation, drying, and processing. Life-cycle and economic assessments are therefore necessary to evaluate sustainability under specific conditions.

In Iran, the availability of agricultural, food, and municipal organic residues and dependence on imported protein feed ingredients provide opportunities for BSF development. Iranian universities have increasingly investigated local substrates, larval growth, and nutritional characteristics, while emerging businesses and pilot projects have explored training, farm design, equipment, and insect production. However, wider adoption is limited by the absence of comprehensive national standards and clearly defined regulations for insect production, substrate use, and feed applications. Limited technical knowledge, inadequate training and extension services, uncertain market demand, and economic competitiveness also remain important constraints. Product safety requires particular attention because unsuitable substrates may introduce heavy metals, mycotoxins, pharmaceutical residues, or pathogens, while variations in substrate, larval age, and processing can result in inconsistent product quality.

Conclusions

BSF technology offers an integrated approach to organic waste valorisation, alternative protein production, and nutrient recycling within a circular bioeconomy. Its ability to convert diverse organic residues into protein- and lipid-rich biomass, together with valuable products such as frass, oil, chitin, and chitosan, creates opportunities for agricultural and industrial applications. In Iran, abundant organic residues and the need for alternative domestic feed ingredients provide a basis for further development. However, technological potential alone is insufficient for industrial adoption. National standards, clear regulatory frameworks, improved technical and extension capacities, pilot and demonstration facilities, and context-specific economic and life-cycle assessments are required. Future research should prioritise production optimisation, automation, selective breeding, substrate safety, product standardisation, and integration with waste-management systems. Collaboration among researchers, industry, policymakers, and standard-setting organisations will be essential for developing a safe, economically viable, and sustainable BSF sector in Iran.



مگس سرباز سیاه: راهکاری نوین برای بازیافت پسماندهای آلی، تولید پروتئین جایگزین و امنیت غذایی

عماد چنگیزی^{a*}

^aگروه پاتوبیولوژی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

*نویسنده مسئول: echangizi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	امروزه با رشد سریع تکنولوژی، به خصوص یادگیری عمیق، اهمیت به کارگیری روش های نوین بیش از پیش آشکار شده است. مسائل محیط زیستی همچون مدیریت پسماند نیز نیازمند رویکردهای جدید و هوشمند است تا باعث کاهش هزینه ها، تسريع در انجام امور و کاهش خطای انسانی شود. طبقه بندی پسماند، به عنوان یکی از جنبه های اساسی و مهم در مدیریت و بازیافت پسماند، محور اصلی این پژوهش است. در این پژوهش با آموزش دو مدل یادگیری عمیق بر روی تصاویر مجموعه ی Realwaste که حدود ۴۲۰۰ تصویر از دسته های پسماندهای فلزی، پسماندهای شیشه ای، پسماندهای کاغذی، پسماندهای مقوایی، پسماندهای آلی غذایی، پسماندهای پلاستیکی، پسماندهای گیاهی و پسماندهای نساجی/پارچه ای هستند، در مسیر تفکیک هوشمند پسماند گام برداشته شده است. مدل های حاصل از این پژوهش تک برچسبی و چند برچسبی هستند. مدل پایه از معماری EfficientNetB0 بهره گرفته، اما با روش انتقال یادگیری، متناسب با مسئله ی خاص این پژوهش، بازطراحی و آموزش داده شده است. به منظور افزایش تنوع داده ها، تکنیک های افزایش مصنوعی داده ها مانند چرخش، تغییر نور و ترکیب تصاویر با روش های CutMix و MixUp به کار گرفته شد. همچنین برای مقابله با عدم توازن داده ها، وزن دهی کلاس ها بر اساس فراوانی هر کلاس محاسبه گردید. داده های آموزش و اعتبارسنجی با نسبت ۷۰ به ۳۰ درصد تقسیم شدند و برنامه نویسی به زبان پایتون در محیط Visual Studio Code با استفاده از کتابخانه های Scikit-learn و TensorFlow انجام گرفت. نتایج آزمون های تجربی نشان دادند هر دو مدل در تفکیک هوشمند تصاویر پسماند عملکرد خوبی دارند. مدل تک برچسبی در تصاویر با یک نوع پسماند گاهی اطمینان بالاتری در تشخیص دسته ی صحیح ارائه داد اما مدل چند برچسبی که بیش تر از کنترل شده تری در حین آموزش داشت، در مجموع عملکرد بهتری ارائه کرد؛ متوسط اطمینان مدل چند برچسبی در تشخیص دسته ی صحیح در آزمون تجربی برابر با ۰/۸۷۵ نیز از متوسط اطمینان مدل تک برچسبی در تشخیص دسته ی صحیح برابر با ۰/۸۵۵ بیشتر بود. در تحلیل تصویر نامرتبط به پسماند نیز مدل چند برچسبی با اطمینان کمتر از ۰/۲۵ از مدل تک برچسبی با اطمینان ۰/۲۹ خطای کمتری داشت. در آزمون تجربی تحلیل تصاویر با حضور هم زمان چند نوع پسماند، مشخص شد معماری EfficientNet، به اندازه ی تحلیل تصاویر با حضور یک نوع پسماند، قابل اعتماد نیست.

استناد به این مقاله: عماد، چنگیزی (۱۴۰۵). مگس سرباز سیاه: راهکاری نوین برای بازیافت پسماندهای آلی، تولید پروتئین جایگزین و امنیت غذایی. راهبردهای

علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۹۶-۸۵. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.595701.1020>



© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.595701.1020>

مقدمه

جهان امروز با بحران‌های جدی در زمینه تولید پسماند و امنیت غذایی روبه‌رو است. سالانه مقادیر انبوهی از مواد غذایی، ضایعات کشاورزی و کودهای دامی تولید می‌شوند که افزون بر ایجاد چالش‌های فراوان در زمینه دفع، نقش بسزایی در افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و افزایش مصرف مواد غذایی، به‌طور همزمان دو چالش اساسی را تشدید کرده‌اند: از یک‌سو، بر حجم جریان‌های پسماند آلی افزوده شده و از دیگر سو، تقاضا برای منابع پروتئینی فزونی یافته است. تولید دام، طیور و آبزیان به نهاده‌هایی همچون کنجاله سویا و پودر ماهی وابسته است که تأمین آن‌ها معمولاً با مصرف گسترده زمین و آب، تغییر کاربری اراضی و فشار بر ذخایر طبیعی همراه است. منابع پروتئینی مرسوم با محدودیت‌های جدی مواجه‌اند و بهره‌برداری از آن‌ها با چالش‌های زیست‌محیطی نظیر جنگل‌زدایی، صید بی‌رویه و تغییرات اقلیمی گره خورده است (FAO, 2013; Van Huis, 2013; Alfarano et al., 2026).

از این‌رو، توسعه منابع پروتئینی جایگزین و به‌کارگیری روش‌هایی که بتوانند مواد آلی کم‌ارزش را به محصولاتی با ارزش افزوده تبدیل کنند، به‌عنوان بخشی از راهبردهای نوین پایداری مورد توجه قرار گرفته‌اند. پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۹/۷ میلیارد نفر فراتر رود و این امر فشارهای مضاعفی بر سیستم‌های غذایی، زنجیره‌های تأمین پروتئین و مدیریت پسماند وارد خواهد ساخت. در این میان، حشرات به‌دلیل نیاز نسبتاً محدود به فضا و توانایی بهره‌گیری از برخی جریان‌های آلی، به‌عنوان یکی از گزینه‌های مورد بررسی مطرح شده‌اند (Mei et al., 2024; Putri et al., 2026).

در میان گونه‌های مطالعه‌شده، لارو مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) از خانواده Stratiomyidae از جایگاهی ویژه برخوردار است؛ چنان‌که مرحله لاروی آن مهم‌ترین دوره از نظر مصرف بستر و تولید زیست‌توده محسوب می‌شود. یافته‌های مروری و پژوهشی نشان داده‌اند که لاروهای این گونه قادرند طیف گسترده‌ای از مواد آلی را مصرف کرده و بخش قابل‌توجهی از مواد مغذی آن‌ها را در زیست‌توده خود ذخیره کنند (Wang & Shelomi, 2017; Singh & Kumari, 2019; Baptista da Silva et al., 2026).

با این حال، توانایی زیست‌تبدیل بالای مگس سرباز سیاه به معنای مناسب بودن هر نوع پسماند برای تولید خوراک نیست. نوع بستر، آلودگی‌های شیمیایی و میکروبی، کیفیت تغذیه‌ای، میزان رطوبت و شرایط فرآوری، همگی عواملی هستند که می‌توانند بر رشد لارو و ایمنی محصول نهایی تأثیر بگذارند. از این‌رو، توسعه صنعت مبتنی بر مگس سرباز سیاه باید هم‌زمان بر دو محور کارایی زیستی و نظام کنترل کیفیت و ایمنی استوار باشد (Camperio et al., 2026; European Commission, 2021).

در ایران نیز مگس سرباز سیاه موضوع پایان‌نامه‌ها و طرح‌های پژوهشی متعددی در دانشگاه‌ها و مراکز علمی، از جمله دانشگاه‌های گیلان، تهران و تربیت مدرس و مراکز پژوهشی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی، بوده است. محور اصلی این مطالعات، بررسی تأثیر پسماندهای آلی موجود در کشور، از جمله ضایعات برنج، تفاله‌های صنایع غذایی و کودهای دامی، بر سرعت رشد و میزان چربی و پروتئین لاروها بوده است. بررسی روند تولید مقالات علمی در ارتباط با مگس سرباز سیاه نیز نشان‌دهنده افزایش چشمگیر توجه پژوهشی به این گونه در سطح جهان و ایران است. این حوزه که پیش از سال ۲۰۱۰ موضوعی نسبتاً محدود بود، طی سال‌های اخیر به یکی از موضوعات مورد توجه در علوم کشاورزی، محیط‌زیست و بیوتکنولوژی تبدیل شده است. در ایران نیز مطالعات مربوط به *H. illucens* در رشته‌هایی مانند حشره‌شناسی کشاورزی، تغذیه دام و طیور، مهندسی محیط‌زیست و بیوتکنولوژی گسترش یافته است.

در کنار فعالیتهای دانشگاهی، شرکت‌های دانش‌بنیان، استارت‌آپ‌ها و مجموعه‌های تخصصی نیز در زمینه‌هایی مانند آموزش، طراحی خطوط تولید، راه‌اندازی مزرعه، تأمین تجهیزات و تولید تخم و لارو فعالیت می‌کنند. همچنین برخی پروژه‌های مدیریت پسماند شهری در مناطقی از کشور، از جمله خراسان شمالی و بجنورد، به استفاده از مگس سرباز سیاه برای تبدیل بخشی از ضایعات و پسماندهای آلی به محصولات قابل استفاده پرداخته‌اند.

با توجه به گسترش مطالعات علمی و فعالیتهای تجاری، بررسی جامع زیست‌شناسی، نیازهای پرورشی، محصولات، کاربردها، ظرفیت اقتصاد چرخشی و چالش‌های توسعه این فناوری در ایران ضروری است. بنابراین، هدف این مطالعه بررسی ویژگی‌های زیستی و چرخه زندگی مگس سرباز سیاه، شرایط محیطی و مدیریت پرورش، سیستم‌های تولید، ارزش تغذیه‌ای و فرآورده‌های حاصل، نقش آن در اقتصاد زیستی چرخشی، الزامات ایمنی و کیفیت و در نهایت فرصت‌ها و چالش‌های توسعه این فناوری در ایران است.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه به صورت یک مرور توصیفی — تحلیلی انجام شد و شواهد موجود درباره زیست‌شناسی، پرورش، تغذیه، فرآوری، کاربردها، ایمنی، پایداری و ظرفیت توسعه‌ای مگس سرباز سیاه مورد بررسی و تلفیق قرار گرفت. اطلاعات گردآوری‌شده بر اساس محورهای اصلی زنجیره تولید BSF دسته‌بندی شد.

در بخش زیست‌شناسی، مطالعات مربوط به چرخه زندگی، مراحل تخم، لارو، پیش‌شیره، شفیره و حشره بالغ و عوامل مؤثر بر رشد و بقا بررسی شدند. سپس نیازهای محیطی و مدیریتی شامل دما، رطوبت، نور، ویژگی‌های بستر، میزان رطوبت بستر، تغذیه و تراکم لارو مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، سیستم‌های پرورش باز و بسته از نظر میزان کنترل شرایط محیطی، نیاز به سرمایه‌گذاری، امنیت زیستی، قابلیت تکرارپذیری و امکان توسعه در مقیاس صنعتی مقایسه شدند. فرآورده‌های اصلی حاصل از پرورش BSF شامل زیست‌توده لاروی و پودر پروتئینی، روغن، فرس، کیتین، کیتوزان و ترکیبات زیست‌فعال نیز از نظر ویژگی‌ها و کاربردهای بالقوه بررسی شدند.

در ادامه، ظرفیت مگس سرباز سیاه در اقتصاد زیستی چرخشی از طریق تبدیل پسماندهای آلی به زیست‌توده حشره‌ای و بازگرداندن مواد مغذی به سامانه‌های کشاورزی ارزیابی شد. موضوعات مرتبط با ایمنی بستر و محصول، آلودگی‌های شیمیایی و میکروبی، استانداردسازی و محدودیت‌های اقتصادی و فنی نیز مورد توجه قرار گرفتند.

در نهایت، شواهد مرتبط با وضعیت ایران، شامل فعالیتهای پژوهشی، ظرفیت پسماندهای آلی، وابستگی به نهادهای پروتئینی وارداتی، فعالیت کسب‌وکارهای نوپا، پروژه‌های آزمایشی، محدودیت‌های فنی، اقتصادی و نظارتی و نیازهای پژوهشی آینده، به صورت جداگانه بررسی و تلفیق شد.

یافته‌ها و بحث

زیست‌شناسی و چرخه زندگی مگس سرباز سیاه

Hermetia illucens حشره‌ای با دگردیسی کامل است و چرخه زندگی آن شامل چهار مرحله تخم، لارو، پیش‌شیره/شفیره و حشره بالغ می‌شود. طول این چرخه تحت تأثیر دما، رطوبت، رژیم غذایی و سایر عوامل محیطی تغییر می‌کند. اهمیت صنعتی این گونه عمدتاً به مرحله لاروی بازمی‌گردد، زیرا لاروها با تغذیه فعال، زیست‌توده قابل برداشت تولید می‌کنند (Tomberlin et al., 2002; Diener et al., 2009).

این گونه از نظر فیزیولوژیکی و اکولوژیکی سازگاری بالایی دارد و برخلاف بسیاری از مگس‌ها، حشره بالغ آن فاقد قطعات دهانی کارآمد برای تغذیه از مواد جامد است. مگس سرباز سیاه بومی مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری قاره

آمریکا است، اما امروزه در بسیاری از مناطق گرم، معتدل و استوایی جهان مستقر شده است (Wang & Shelomi, 2017; Traore et al., 2024).

مرحله تخم

حشره بالغ ماده معمولاً تخم‌های خود را در شکاف‌ها و سطوح خشک و در مجاورت منابع مواد آلی قرار می‌دهد و مستقیماً درون بسترهای بسیار مرطوب تخم‌گذاری نمی‌کند. ماده‌ها پس از جفت‌گیری می‌توانند دسته‌هایی شامل حدود ۲۰۰ تا ۹۰۰ تخم کوچک و بیضی‌شکل تولید کنند. این رفتار امکان استفاده از تله‌های تخم‌گذاری را در سامانه‌های پرورش کنترل‌شده فراهم می‌کند. در شرایط مناسب، تخم‌ها معمولاً طی ۳ تا ۴ روز تفریخ می‌شوند (Klüber et al., 2024).

مرحله لاروی

مرحله لاروی مهم‌ترین بخش چرخه از دیدگاه تولید صنعتی است. لاروها در شش سن لاروی رشد می‌کنند و با مصرف مواد آلی، بخشی از پروتئین، چربی و سایر مواد مغذی را در بدن خود ذخیره می‌کنند. ترکیب غذایی لارو به گونه، سن، نوع بستر و روش فرآوری وابسته است و نمی‌توان مقدار ثابتی را برای تمام جمعیت‌های پرورشی در نظر گرفت. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که لارو BSF از نظر پروتئین و چربی ظرفیت مناسبی برای استفاده به‌عنوان ماده اولیه خوراک دارد (Lu et al., 2022). لاروها قادرند طیف وسیعی از پسماندهای تر، برخی فضولات دامی و بقایای گیاهی را مصرف کنند. کوتیکول لارو نیز حاوی مقادیر قابل توجهی کیتین و مواد معدنی است و نقش حفاظتی دارد.

پیش‌شفیره و شفیره

پس از پایان تغذیه فعال، لارو وارد مرحله پیش‌شفیری می‌شود. حرکت پیش‌شفیره‌ها به سمت محیط‌های خشک‌تر امکان استفاده از رفتار طبیعی آن‌ها را برای برداشت خودکار فراهم می‌کند. در سامانه‌های صنعتی، رمپ‌ها و سازوکارهای خودبرداشت از این رفتار استفاده می‌کنند. مرحله شفیری حدود یک تا دو هفته طول می‌کشد و طی آن ساختار بدن حشره بالغ شکل می‌گیرد (Sheppard et al., 2002; Fawzy et al., 2026).

حشره بالغ

حشره بالغ عمدتاً برای تولیدمثل اهمیت دارد و انرژی مورد نیاز آن تا حد زیادی از ذخایری تأمین می‌شود که در مرحله لاروی ایجاد شده‌اند. بالغ‌ها از مواد جامد تغذیه نمی‌کنند و عمدتاً آب یا شهد دریافت می‌کنند. طول عمر حشرات بالغ معمولاً کوتاه است و جفت‌گیری آن‌ها به شرایط نوری مناسب وابسته است. مطالعات نشان داده‌اند که کیفیت و طیف نور می‌تواند بر موفقیت جفت‌گیری تأثیر بگذارد (Liu et al., 2020; Zulkifli et al., 2022). از این رو، مدیریت بخش مولد در سیستم‌های صنعتی به اندازه مدیریت مرحله لاروی اهمیت دارد.

شرایط محیطی و مدیریت پرورش

دما و رطوبت

دما یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده سرعت رشد و طول چرخه زندگی BSF است. محدوده‌های حدود ۲۷ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد برای رشد و نمو مناسب گزارش شده‌اند. دماهای پایین‌تر می‌توانند چرخه زندگی را طولانی کنند، درحالی‌که دماهای بسیار بالا ممکن است موجب افزایش تلفات شوند. پاسخ حشره به دما به سن، رژیم غذایی و سایر شرایط محیطی وابسته است و بنابراین نباید یک مقدار ثابت را برای تمام مراحل رشد به‌عنوان مقدار مطلق توصیه کرد (Diener et al., 2009; Harnden & Tomberlin, 2016).

رطوبت نسبی نیز نقش مهمی در تفریخ تخم و بقای لارو دارد و محدوده‌های حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد برای بسیاری از شرایط پرورش مناسب گزارش شده‌اند. رطوبت بسیار بالا می‌تواند رشد قارچ و شرایط نامطلوب بستر را افزایش دهد، درحالی‌که رطوبت پایین موجب خشک‌شدن تخم‌ها و محدود شدن دسترسی لارو به مواد غذایی می‌شود.

نور و مدیریت کلونی

نور برای رفتار جفت‌گیری و تولیدمثل حشرات بالغ اهمیت دارد. طیف و شدت نور می‌تواند بر موفقیت جفت‌گیری تأثیرگذار باشد و در سیستم‌های بسته، استفاده از نور مصنوعی امکان ایجاد شرایط یکنواخت‌تر را فراهم می‌کند. فراهم کردن محل مناسب تخم‌گذاری و جمع‌آوری منظم تخم‌ها نیز برای حفظ تولید پایدار ضروری است (Liu et al., 2020; Klüber et al., 2024).

مدیریت بستر و تغذیه

لارو BSF قادر به مصرف طیف وسیعی از مواد آلی است، اما قابلیت مصرف یک ماده با مناسب‌بودن آن برای تولید خوراک ایمن یکسان نیست. نوع بستر باید بر اساس هدف نهایی محصول، کیفیت تغذیه‌ای و خطرات شیمیایی و میکروبی انتخاب شود. میزان رطوبت بستر معمولاً باید در محدوده‌ای قرار گیرد که امکان تغذیه مناسب لارو را فراهم کند؛ رطوبت بیش از حد می‌تواند موجب ایجاد شرایط بی‌هوای و بوی نامطبوع شود و بستر بسیار خشک نیز رشد لارو را محدود می‌کند. ترکیب بستر بر رشد، زمان برداشت و ترکیب شیمیایی لارو اثر می‌گذارد (Jucker et al., 2017; Lu et al., 2022).

تراکم لارو

تراکم لارو بر رشد، مصرف بستر و راندمان تبدیل مواد اثر می‌گذارد. تراکم بسیار بالا می‌تواند رقابت برای منابع و کاهش رشد را به همراه داشته باشد، درحالی‌که تراکم بسیار پایین ممکن است موجب مصرف ناکافی بستر شود. بنابراین، تراکم مناسب باید با توجه به نوع ظرف، ترکیب بستر، سن لارو و هدف تولید تعیین شود و استفاده از یک مقدار ثابت برای تمام سامانه‌ها مناسب نیست.

سیستم‌های پرورش: باز و بسته

سیستم‌های تولید BSF را می‌توان به دو گروه کلی باز و بسته تقسیم کرد. سیستم‌های باز معمولاً سرمایه‌گذاری اولیه کمتری نیاز دارند و در مناطق دارای شرایط اقلیمی مناسب می‌توانند برای تولید کوچک‌مقیاس مورد استفاده قرار گیرند؛ باین‌حال، کنترل شرایط محیطی، کیفیت محصول و امنیت زیستی در آن‌ها دشوارتر است. در سیستم‌های بسته، واحد مولد از واحد پرورش و زیست‌تبدیل پسماند تفکیک می‌شود و شرایطی مانند دما، رطوبت، نور، تراکم و تغذیه تحت کنترل بیشتری قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها قابلیت تکرارپذیری و مقیاس‌پذیری بیشتری دارند، اما سرمایه‌گذاری و هزینه انرژی و تجهیزات در آن‌ها بالاتر است. انتخاب سیستم باید بر اساس اقلیم، منابع، نیروی انسانی، مقیاس تولید و بازار هدف انجام شود (Bruno et al., 2019; Dortmans et al., 2021).

ارزش تغذیه‌ای و فرآورده‌های حاصل

پرورش BSF را می‌توان یک سامانه چندمحصولی در نظر گرفت که در آن علاوه بر لارو یا پودر پروتئینی، روغن، فرس، کیتین، کیتوزان و ترکیبات زیست‌فعال نیز قابلیت ایجاد ارزش افزوده دارند (Camille et al., 2020; Ewald et al., 2020).

زیست‌توده لاروی و پودر پروتئینی

لاروها پس از برداشت می‌توانند به‌صورت تازه یا پس از خشک‌کردن و فرآوری به شکل پودر پروتئینی مورد استفاده قرار گیرند. مقدار پروتئین و چربی به بستر، سن برداشت و روش فرآوری وابسته است (Henry et al., 2015; Tan & Teoh, 2026).

نتیجه‌گیری

مگس سرباز سیاه به‌عنوان یک راهکار زیستی امیدبخش، ظرفیت قابل‌توجهی برای تلفیق ارزش‌افزایی پسماندهای آلی، تولید پروتئین جایگزین و بازیافت مواد مغذی در چارچوب اقتصاد زیستی چرخشی دارد. بررسی شواهد موجود نشان می‌دهد که لاروهای این گونه می‌توانند طیف متنوعی از بسترهای آلی مناسب را به زیست‌توده‌ای غنی از پروتئین و چربی تبدیل کنند و در کنار آن، فرآورده‌های باارزشی مانند فرس، روغن، کیتین و کیتوزان تولید نمایند. با این حال، کارایی و ایمنی این سامانه به عواملی همچون کیفیت بستر، شرایط محیطی، مدیریت پرورش، روش‌های فرآوری و اجرای نظام‌های مناسب کنترل کیفیت وابسته است (Lai-Foenander et al., 2024; Lock et al., 2015).

در ایران، وجود مقادیر قابل‌توجهی از پسماندهای کشاورزی و صنایع غذایی، در کنار افزایش نیاز به منابع پروتئینی جایگزین، زمینه مناسبی برای توسعه فناوری مگس سرباز سیاه فراهم می‌کند. افزایش فعالیت‌های پژوهشی دانشگاهی و شکل‌گیری برخی فعالیت‌های تجاری و دانش‌بنیان نیز نشان‌دهنده رشد توجه علمی و اقتصادی به این فناوری است. با این حال، گذار از تولید آزمایشگاهی و مقیاس کوچک به یک صنعت پایدار و قابل‌اعتماد، نیازمند توجه جدی‌تر به ایمنی بستر، استانداردسازی فرآیند تولید، کنترل کیفیت محصولات، توجیه‌پذیری اقتصادی و تدوین چارچوب‌های نظارتی است.

از این‌رو، پژوهش‌های آینده باید بر بهینه‌سازی و خودکارسازی سامانه‌های پرورش، ارزیابی بسترهای آلی بومی، بهبود عملکرد زیستی و اصلاح نژاد، بررسی دقیق ایمنی و کیفیت تغذیه‌ای محصولات و تدوین پروتکل‌های استاندارد برای زیست‌توده لارو و فرس متمرکز شوند. همچنین، انجام ارزیابی چرخه حیات و مطالعات اقتصادی متناسب با شرایط ایران برای تعیین عملکرد واقعی زیست‌محیطی و اقتصادی سامانه‌های مختلف ضروری است. ایجاد استانداردهای ملی و چارچوب‌های قانونی شفاف، همراه با تقویت آموزش‌های تخصصی و همکاری میان دانشگاه‌ها، صنعت، سیاست‌گذاران و نهادهای نظارتی، از الزامات توسعه مسئولانه این حوزه خواهد بود. در مجموع، مگس سرباز سیاه را نباید صرفاً به‌عنوان یک منبع پروتئینی جایگزین در نظر گرفت، بلکه می‌توان آن را به‌عنوان یکی از اجزای یک سامانه یکپارچه برای ارزش‌افزایی پسماند، بازیافت منابع و تولید پایدار در ایران مورد توجه قرار داد.

References

- Alfarano, L., Bellezza Oddon, S., Cecire, R., Gasco, L., & Pugliese, M. (2026). Nursery Application of Raw and Thermally Treated *Hermetia illucens* Frass Shows Dose-Dependent Effects Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* on Tomato Under Greenhouse Conditions. *Insects*, 17(7), 669. <https://doi.org/10.3390/insects17070669>.
- Baptista da Silva, C., De Troyer, T., De Paepe, E., Hesta, M., Vanhaecke, L., & Hemeryck, L. Y. (2026). A systematic review of the health effects of edible insects in human and mammalian nutrition. *Journal of Insects as Food and Feed*, 12(11), 1843-1862. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10384>.
- Bruno, D., Bonelli, M., De Filippis, F., Di Lelio, I., Tettamanti, G., Casartelli, M., Ercolini, D., Caccia S. (2019). The Intestinal Microbiota of *Hermetia illucens* Larvae Is Affected by Diet and Shows a Diverse Composition in the Different Midgut Regions. *Applied Environmental Microbiology*. 9;85(2): e01864-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.01864-18>. PMID: 30504212; PMCID: PMC6328772.
- Camille, B. P., Virginie, T. T., Maglwa, T. Hélène and FC Geneviève. (2020). Valorization of extracted organic matter from municipal solid waste leachate: Application to soils from France and Togo. *Waste Management*, 102(1): 161-169.
- Camperio, J., Carroza-Meza, CH., Suarez, J., Benetti, D. (2026). Global Research Trends of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Meal in Aquaculture from a Scientometric Perspective (2007-

- 2025). Aquaculture Nutrition. 6; 2026:5560332. <https://doi.org/10.1155/anu/5560332>. PMID: 41509727; PMCID: PMC12774867.
- Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>.
- Dortmans, B. M. A., Egger, J., Diener, S., & Zurbrugg, C. (2021). *Black soldier fly biowaste processing: A step-by-step guide* (2nd ed.). Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- European Commission. (2021). Commission Regulation (EU) 2021/1372 on the use of processed insect protein in feed. Brussels: European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/1372/oj/>
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., & Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) - Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste management (New York, N.Y.)*, 102, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
- FAO. (2013). "Edible insects: Future prospects for food and feed security." *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- FAO. (2021). "Insects as feed: legislative framework and future prospects." *Food and Agriculture Organization*.
- Fawzy, E., Hassanien, R. H. E., Mansour, G., & Suloma, A. (2026). Towards a sustainable simple decoupled aquaponic system: mineralization of black soldier fly frass improved Tilapia-Basil system performance. *Journal of Insects as Food and Feed*, 12(11), 1925-1937. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10375>.
- Harnden, L. M., & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic science international*, 266, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007>.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., and E. Fountoulaki. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal. Feed Science & Technology*, 203: 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental entomology*, 46(6), 1415–1423. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx154>.
- Klüber, P., Arous, E., Jerschow, J., Fraatz, M., Bakonyi, D., Rühl, M., & Zorn, H. (2024). Fatty acids derived from oviposition systems guide female black soldier flies (*Hermetia illucens*) toward egg deposition sites. *Insect science*, 31(4), 1231–1248. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.13287>.
- Lai-Foenander, A. S., Kuppusamy, G., Manogoran, J., Xu, T., Chen, Y., Tang, S. Y., Ser, H. L., Yow, Y. Y., Goh, K. W., Ming, L. C., Chuah, L. H., Yap, W. H., & Goh, B. H. (2024). Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.): A potential small mighty giant in the field of cosmeceuticals. *Health science reports*, 7(6), e2120. <https://doi.org/10.1002/hsr.2.2120>.
- Liu, Z., Najar-Rodriguez, A. J., Minor, M. A., Hedderley, D. I., & Morel, P. C. H. (2020). Mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), under four artificial light sources. *Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology*, 205, 111815. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111815>.
- Lock, E. R., Arsiwalla, T., and R. Waagbo. (2015). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effects on performance, nutritional status and metabolism. *Aquaculture Nutrition*, 22(6): 1202–1213. <https://doi.org/10.1111/anu.12343>
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., and P. Paengkoum. (2022). Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects*, 13(9), 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>.
- Mei, Z., Kuzhir, P., & Godeau, G. (2024). Update on Chitin and Chitosan from Insects: Sources, Production, Characterization, and Biomedical Applications. *Biomimetics (Basel, Switzerland)*, 9(5), 297. <https://doi.org/10.3390/biomimetics9050297>.
- Putri, S.A., Arrazi, M.Z., Unadirekkul, P., Zhang, Q., Kenéz, A., Putra, R.E., Melani, L., Puniamoorthy, N., & Abduh, M.Y. (2026). Enzymatic hydrolysis of black soldier fly larvae oil enhances

- antimicrobial and antioxidant properties across different strains. *Journal of Insects as Food and Feed*, 12(11), 1909-1924. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10383>.
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of medical entomology*, 39(4), 695–698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>.
- Singh, A., & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of environmental management*, 251, 109569. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>.
- Tan, J., & Teoh, C. (2026). Impact of defatted black soldier fly larvae meal on growth, feed utilisation, and fillet quality in freshwater-reared Asian seabass. *Journal of Insects as Food and Feed*, 12(11), 1939-1951. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10374>.
- Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected life-history traits of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) reared on three diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379-386.
- Traore, O., Zaato, P. A., Baidoo, J. K., Feleke, S., Manyong, V., Abdoulaye, T., Djouaka, R., Schreinemachers, P., & Ba, M. N. (2024). Willingness of West African Consumers to Buy Food Produced Using Black Soldier Fly Larvae and Frass. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(17), 2825. <https://doi.org/10.3390/foods13172825>.
- Van Huis A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*. 58:563-83. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>. Epub 2012 Sep 27. PMID: 23020616.
- Wang, H., & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Its Potential. *Foods*, 6(10), 91.
- Zulkifli, N. F. N. M., Seok-Kian, A. Y., Seng, L. L., Mustafa, S., Kim, Y. S., & Shapawi, R. (2022). Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PloS one*, 17(2), e0263924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>.



A Meta-Methodological Architecture for Decision-Relevant Mountain Vulnerability Assessment

Fariab Amini^a, Hassan Darabi^{b*}

^aDepartment of Environmental Planning, Management and HSE, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

^aDepartment of Environmental Design Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: darabih@ut.ac.ir, ORCID: 0000-0002-5137-4200

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 2026/08/22

Received in revised form:

2026/09/05

Accepted 2026/09/21

Available online: 2026/09/22

Keywords:

Mountain vulnerability,
Vulnerability assessment,
Uncertainty analysis,
Meta-method,
Methodological architecture.

Mountain vulnerability assessment has shifted from indicator-based and spatial approaches toward hybrid frameworks combining GIS, remote sensing, machine learning, MCDA, and statistical-participatory methods. Yet methodological diversity alone does not guarantee that the resulting documents are coherent, robust, or useful for decision-making. To examine the state of methodology in mountain vulnerability research, we conducted a review-based methodological assessment. Following the PRISMA 2020 protocol, we selected 96 articles and carefully analyzed their methodological landscape within a meta-method framework. Data processing, classification, and statistical analysis were performed using Python in the Google Colab environment, based on a reproducible computational flowchart. We examined the documents across several dimensions: methodological groups, methodological architecture, process robustness, output types, and their linkage to decision-making. Results showed that composite architecture dominated vulnerability assessment (83.3%, $n=80$). Uncertainty, however, received limited attention, appearing in only 10.4% of studies. Validation was reported in 57.3% of the reviewed papers. Overall, 57.3% of the studies presented a complete method–output–decision chain. Monte Carlo permutation tests followed by Benjamini–Hochberg correction indicated a significant association between methodological architecture and chain completeness (Cramér’s $V = 0.441$; $pFDR = 0.0003$). Temporal shifts in methodological architecture were also evident. Synthesizing the findings within the meta-method framework confirmed an eight stage process: problem framing, vulnerability conceptualization, data architecture, method architecture, aggregation and modeling, validation and robustness, output translation, and decision linkage. The final results suggest that a methodological gap does not actually exist in this field. Rather, the core issue lies in methodological shortcomings, specifically, weaknesses in addressing uncertainty and in connecting to decision-making. As a result, methodological outputs are only partially transformed into decision functions.

Cite this article: Amini, F. & Darabi, H. (2026). A Meta-Methodological Architecture for Decision-Relevant Mountain Vulnerability Assessment. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 97-122. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598056.1035>



Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598056.1035>

Introduction

Mountain vulnerability assessment has grown into a methodologically diverse field. Early work leaned heavily on indicators and spatial analysis. More recent studies combine GIS, remote sensing, statistical models, machine learning, multi-criteria decision analysis, scenario techniques, and participatory approaches. This expansion has increased analytical capacity. But it has not necessarily produced assessments that are equally robust or useful for decision-making. A study may bring together several advanced techniques and still leave important parts of the analytical process weakly specified. Validation may be missing. Uncertainty may go untested. Outputs may stop at vulnerability maps, indices, or classifications without being translated into a clear decision function. Moreover, methodological complexity can sometimes obscure how individual analytical choices influence the final assessment, making comparisons across studies difficult and limiting the reproducibility of reported findings. These concerns highlight the need to examine not only which methods are used, but also how they are structured, connected, evaluated, and ultimately interpreted. This study examines mountain vulnerability assessment at the level of methodological architecture. We do not ask which single method performs best. Instead, we address three questions. How have methodological families and their combinations changed over time? How are validation, sensitivity analysis, and uncertainty analysis treated? Can an empirically grounded meta-methodological architecture be derived from the literature? Particular attention is given to the connection between method, analytical output, and decision use.

Methods

A systematic scoping review and meta-methodological synthesis was conducted following the PRISMA 2020 protocol. Searches covered 2008–2026 and used Semantic Scholar and OpenAlex. Records were screened for mountain context, vulnerability focus, assessment orientation, methodological evidence, and eligibility for full-text analysis. After deduplication, title and abstract screening, full-text assessment, retrieval, and bibliographic verification, 96 studies formed the final analytical corpus. The studies were coded for several dimensions: vulnerability conceptualization, data architecture, methodological family, method sequence, indicator selection, normalization, weighting, aggregation, modelling, validation, sensitivity analysis, uncertainty analysis, output type, and decision relevance. Methods were grouped into major families. These included index-based approaches, GIS and remote sensing, statistical methods, machine learning, MCDA/AHP, scenario-based analysis, and survey or participatory approaches. Method architecture was then classified according to whether studies used a single family, two-family combinations, or multi-method combinations. Data processing and statistical analysis were performed in Python within Google Colab using a reproducible computational workflow. Associations between categorical variables were examined with Pearson's chi-square statistic and Cramér's V. Because some contingency-table cells had small expected frequencies, statistical significance was estimated using 20,000 Monte Carlo permutations. Benjamini–Hochberg false discovery rate correction was applied to multiple comparisons. The method–output–decision relationship was also coded as a methodological chain, here termed M–O–D.

Results

Methodological combination was the dominant pattern. Of the 96 studies, 53.1% used multi-method architectures and 30.2% combined two methodological families. Only 9.4% relied on a single methodological family. Taken together, 83.3% of the corpus used a combined architecture. This indicates that the field has moved toward methodological recombination rather than the simple replacement of older methods by newer ones. The change was also temporal. Publication period was significantly associated with method architecture after Monte

Carlo testing and FDR correction (Cramér's $V = 0.279$; $pFDR = 0.0143$). Its association with the dominant methodological family was not statistically significant after correction (Cramér's $V = 0.328$; $pFDR = 0.0820$). Thus, the more evident change concerns how methods are assembled within assessments.

Methodological robustness analysis provides an alternative viewpoint on the data. According to the statistics provided above, 57.3% of studies demonstrate validation. In case sensitivity analysis is considered, the percentage goes down to 14.6%. Importantly, 10.4% of studies were distinguished by uncertainty analysis. One more important point relates to the relationship between vulnerability outputs and decision-making that was revealed in 69.8% of cases. When the chain was expanded to include explicit vulnerability conceptualization, identifiable method architecture, identifiable output, validation, uncertainty analysis, and decision linkage, only 6.2% satisfied all six components.

The statistical results support this distinction. Method architecture was associated with the completeness of the M–O–D chain (Cramér's $V = 0.441$; $pFDR = 0.0003$). The dominant method family was also associated with chain completeness (Cramér's $V = 0.417$; $pFDR = 0.0054$). By contrast, robustness architecture alone showed no significant association with M–O–D completeness after FDR correction (Cramér's $V = 0.209$; $pFDR = 0.1817$). Methodological plurality, in other words, cannot by itself be treated as evidence of methodological integration. The review of the literature from a robustness perspective shows that the concept of “uncertainty” is used in many ways. Some of the papers performed simulation and global sensitivity analysis. In other papers, model or scenario uncertainty was analyzed using either an ensemble analysis, diagnostics, or the comparison of models' performance. There were also three papers in which uncertainty was viewed as a part of the research, a suggestion, or methodological issue, but not as an element of the evaluation process. Some variability was also seen in validation techniques. Among 55 papers that used some type of validation technique, 26 used predictive or statistical validation, such as cross-validation, AUC/ROC, and other performance measures. Nine papers compared their model outputs with field data or other data. In three papers, the validation was performed by experts or stakeholders, and in 17 papers, no information on validation methods was provided. This variability is important, since they reflect different aspects of evaluation process. The first one is discriminatory ability, while the second one refers to performance versus observation.

Conclusions

The synthesis produced an eight-stage meta-methodological architecture: problem framing, vulnerability conceptualization, data architecture, method architecture, aggregation and modelling, validation and robustness assessment, output translation, and decision linkage. These stages describe functions that need to be connected, not a prescribed sequence of techniques. The main methodological problem identified in the literature is therefore not a shortage of assessment methods. The field already contains a wide range of analytical tools and increasingly combines them. The weaker point lies elsewhere. Uncertainty is rarely examined explicitly. Validation remains incomplete. Analytical outputs do not always reach a clear decision function. For mountain vulnerability assessment, the practical question is consequently less about adding another method and more about maintaining a defensible analytical chain from the definition of vulnerability to the use of results in planning, management, or policy.



معماری فراروش شناختی برای ارزیابی تصمیم محور آسیب پذیری مناطق کوهستانی

فریبا امینی^a، حسن دارابی^{b*}

^aگروه برنامه ریزی، مدیریت و HSE محیط زیست، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

^bگروه مهندسی طراحی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: darabih@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	ارزیابی آسیب پذیری مناطق کوهستانی از رویکردهای شاخص محور و فضایی فاصله گرفته است و در حال حرکت به سمت رویکردهای ترکیبی است. اما تنوع روش شناسی به تنهایی نمی تواند منجر این استنتاج گردد که مستندات حاصل از روش ها الزاما یکپارچه، استوار و قابل بهره برداری در تصمیم گیری هاست. برای اطمینان و بررسی از وضعیت روش شناسی در موضوع آسیب پذیری کوهستان، یک ارزیابی مروری بر روش شناسی صورت گرفت. به این منظور به استناد پروتکل پریسما ۲۰۲۰ تعداد ۹۶ مقاله برگزیده شد و چشم انداز روش شناسی آنها به دقت مورد واکاوی در چارچوب فراروش قرار گرفت. در مراحل پردازش داده و طبقه بندی و تحلیل آماری از پایتون در محیط کولب گوگل و مبتنی بر فلوجارت محاسباتی قابل تکرار استفاده شد. مستندات در گروه های روش شناسی، معماری روش شناسی، استواری فرایندها و نوع خروجی و پیوند آنها با تصمیم گیری بررسی شد. نتایج نشان داد معماری مرکب در حوزه ارزیابی آسیب پذیری (۸۳/۳۰، ۸۰/۹۶٪) در این حوزه غلبه داشت. در حالی که در مطالعات انجام شده عدم قطعیت با ۱۰/۴ درصد جایگاه چندانی را به خود اختصاص نداده است. اعتبار سنجی نیز در بیش از نیمی از مطالعات (۵۷/۳٪) مشهود است. در همین تعداد از مطالعات زنجیره روش - خروجی - تصمیم کامل بود. آزمون های جایگشت مونت کارلو و سپس تصحیح صورت گرفته مبتنی بر بنیامین - هوچبرگ نشان از آن داشت که معماری روش با کامل بودن زنجیره ارتباط معناداری دارد ($Cramér's V = 0.441$; $pFDR = 0.0003$). تغییرات زمانی در معماری روش های کاملا مشهود بود. ترکیب یافته مبتنی بر الگوی فراروش یک چارچوب هشت مرحله ای را تایید می کند که شامل چارچوب بندی مسئله، مفهوم سازی آسیب پذیری، معماری داده، معماری روش، تجمیع و مدل سازی، اعتبار سنجی و استواری، ترجمه خروجی و پیوند با تصمیم می شود. نتایج نهایی دلالت بر این دارد که در این حوزه عملا خلا روش شناسی وجود ندارد بلکه مساله اصلی در نقص های روش شناختی به طور اخص ریشه در ضعف در مواجهه با عدم قطعیت دارند و پیوند با تصمیم گیری دارند. لذا به شکل ناقصی برون دادهای روش شناختی به توابع تصمیم گیری تبدیل می شود.

استناد به این مقاله: امینی، فریبا و دارابی، حسن (۱۴۰۵). معماری فراروش شناختی برای ارزیابی تصمیم محور آسیب پذیری مناطق کوهستانی. راهنمای علوم

مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۹۷-۱۲۲. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598056.1035>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598056.1035>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

ارزیابی آسیب‌پذیری کوهستان‌ها ارتباط تنگاتنگ بین متغیرهای اقلیمی، اکولوژیکی و زمین‌شناختی و فشارهای اجتماعی را نشان می‌دهد و در سطح مناطق کوهستانی نتایج متفاوتی را بر اساس شرایط بستر و محیط زیست ارائه می‌دهند (Gerlitz et al., 2016; Cavallo et al., 2025). چنین ارزیابی و درک این مشکل نیاز به استفاده از روش‌های مختلف دارد. بررسی ادبیات نشان می‌دهد که عدم سازگاری زیادی در این زمینه وجود دارد که در آن آسیب‌پذیری مرتبط با بلایا و رویدادها اغلب غالب است. با این حال به این معنا نیست که مسائل اقلیمی، محیط زیستی، اجتماعی-اقتصادی و معیشتی را نادیده گرفته شود. مطالعات اولیه و تاثیرگذار در این زمینه بیشتر در چارچوب پارادایم‌های سوانح و تاب‌آوری، شاخص‌های آسیب‌پذیری معیشتی، شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی و رویکردهای مبتنی بر شاخص توسعه یافته‌اند (Fuchs, 2009; Papathoma-Köhle et al., 2019). در نتیجه این روند ارزیابی آسیب‌پذیری را به ارزیابی تشخیصی تبدیل کرده است که مناطق در معرض خطر، تحلیل حساسیت، ظرفیت سازگاری همراه با موانع و شرایط اجتماعی و اقتصادی را ارائه می‌دهد (Simane et al., 2014; Valencia et al., 2020). بررسی ادبیات نشان می‌دهد که تعداد فزاینده‌ای از مطالعات در این زمینه وجود دارد. روش‌های مبتنی بر شاخص و روش‌های یکپارچه شاخص‌گرا به گروه پیشرو تحقیقات در این زمینه تبدیل شده‌اند که گاهی اوقات با استفاده از GIS و حسگرهای از راه دور برای نقشه‌برداری از ناسازگاری‌های فضایی همراه‌اند (Tessema & Simane, 2019; Aksha et al., 2018). علاوه بر آن روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند AHP گاهی اوقات برای اولویت‌بندی استفاده می‌شوند (Darabi et al., 2019). در همین حال رویکرد کاهش‌گرا سعی در کاهش تکرار و برقراری رابطه تجربی دارد (Nisha & Punia, 2014; Limboo et al., 2025). با گذشت زمان روش‌های یادگیری ماشین شروع به استفاده در زمینه تخمین توانایی‌ها، طبقه‌بندی و ارزیابی از طریق پیش‌بینی و سناریوها کرده است. هدف این دسته از مطالعات ادبیات بررسی پیش‌بینی شرایط آینده تحت تاثیر اصلی آب و هوا و اکوسیستم است (Iwahashi et al., 2021; Wu et al., 2023).

به موازات این مطالعات نظرسنجی‌ها و مطالعات تحقیقاتی مبتنی بر مشارکت نقش مهمی را در مواردی که آسیب‌پذیری جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی دارد ایفا می‌کنند (Valencia et al., 2020; Li et al., 2025). نمونه‌هایی از این نوع تحقیقات را می‌توان در مورد آسیب‌پذیری چند بعدی معیشت و شرایط اجتماعی یافت (Gerlitz et al., 2018; Aksha et al., 2018). مطالعات ارزیابی چندمتغیره را می‌توان در تحقیقات شاه و همکاران (۲۰۲۳)؛ فایاز و همکاران (۲۰۲۳) یافت. تحقیقاتی مانند کارهای هان و همکاران (۲۰۲۳)؛ ایواهاشی و همکاران (۲۰۲۱) نمونه‌هایی از یادگیری ماشین و طبقه‌بندی مبتنی بر داده است. والنسیا و همکاران (۲۰۲۰)؛ بای و همکاران (۲۰۱۴) مطالعاتی هستند که از ارزیابی‌های مبتنی بر سناریو استفاده کرده هستند. در نهایت فوکس و همکاران (۲۰۱۲)؛ فاویه و همکاران (۲۰۱۴) نمونه‌هایی از استفاده از آمار فضایی در مطالعات سوانح هستند. با وجود اینکه این لیست شامل انواع مختلف تحقیقات در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری کوهستانی است، اما مشکلات ساختاری خاصی با این روش‌ها وجود دارد. یعنی اگر خود مسئله به خوبی تعریف نشده باشد حتی پیچیده‌ترین روش‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری شکست خواهند خورد یا اگر نتایج تایید نشده و عدم قطعیت را در نظر نگرفته باشد دوباره شکست خواهد خورد. علاوه بر این عدم توانایی در اجرای نتایج تجزیه و تحلیل به تصمیمات عملی ممکن است کیفیت روش را به طور منفی تحت تاثیر قرار دهد. با وجود اینکه محققان زمینه روش‌شناختی مهمی و بسیاری از نمونه‌ها در ادبیات تولید کرده‌اند اما به اندازه کافی به ارتباط بین تجزیه و تحلیل مسئله و تصمیم‌گیری توجه نمی‌کنند. اغلب مقالات زنجیره M-O-D را نشان می‌دهند.

مطالعات بررسی‌های قبلی جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیری مناطق کوهستانی را مورد بررسی قرار داده‌اند. پاپاتوما-کوله و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود آسیب‌پذیری فیزیکی را برای ارزیابی خطر کوهستانی مورد بحث قرار دادند و

رویکردهای موجود و الزامات روش‌شناختی آنها را تجزیه و تحلیل کردند. **تاکر و همکاران (۲۰۲۱)** ۷۵ مطالعه را بررسی کرده‌اند. به عنوان نتیجه محققان ناسازگاری قابل توجهی در مقیاس، اهداف شاخص و رویکردها را شناسایی کردند. **سلطان و همکاران (۲۰۲۲)** ۵۹ مطالعه را که به آسیب‌پذیری در هیمالیا اختصاص داده شده بود تجزیه و تحلیل کردند. آنها نشان دادند که تحقیقات آسیب‌پذیری در هیمالیا شامل رویکردهای اجتماعی، طبیعی و ترکیبی است. یعنی از نظر روش‌شناختی ناسازگاری قابل توجهی وجود دارد. هرچند این مطالعات به طور قابل توجهی به گسترش پایگاه دانش در ارزیابی آسیب‌پذیری کمک کرده‌اند اما هرکدام از آنها بر یک منطقه، رویکرد، شاخص و پاسخ و واکنش به آسیب‌پذیری متمرکز بوده‌اند. بنابراین مفهومی‌سازی آسیب‌پذیری، معماری داده و روش‌های تجزیه و تحلیل، تجمیع یا مدل‌سازی و تایید و ارزیابی عدم قطعیت و پیوند آن به تصمیم‌گیری مورد توجه قرار نگرفته است. واضح است که توجه ناکافی به مفهوم آسیب‌پذیری، معماری داده و روش‌های تجزیه و تحلیل، تجمیع یا مدل‌سازی و تایید و ارزیابی عدم قطعیت و پیوند آن به تصمیم‌گیری یک شکاف جدی در این زمینه ایجاد می‌کند. اینکه کدام روش عملکرد موثرتری را ارائه می‌دهد چندان روشن نیست. علی‌رغم تنوع و تعدد روش‌هایی که در مطالعات موجود در این زمینه ارائه شده‌اند آنها به سطح یکپارچگی که نشان دهد چگونه عملکردهای روش‌های مختلف به هم متصل شده‌اند نرسیده‌اند یا اینکه در کجا استحکام یک روش شکست می‌خورد. در نهایت اینکه آیا نتیجه یک روش به یافته‌های عملی برای برنامه‌ریزی، سیاست و مدیریت تبدیل می‌شود. بنابراین این پژوهش با هدف پاسخگویی به سوالات زیر انجام می‌شود: ۱- چگونه خانواده روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری کوهستانی و معماری آنها در طول زمان توسعه یافته است؟ ۲- نقش تایید، تحلیل حساسیت و عدم قطعیت در این مطالعات چیست؟ ۳- چه نوع معماری روش می‌تواند به صورت تجربی از ادبیات بدست آید؟ بنابراین تمرکز این مطالعه بر روی معماری روش است.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه به عنوان یک بررسی سیستماتیک همراه با رویکرد ترکیبی انجام می‌شود. چارچوب بررسی سیستماتیک بر اساس پروتکل PRISMA (۲۰۲۰) است. شکل ۱ روند شناسایی، غربالگری، ارزیابی، انتخاب مجموعه نهایی مقالات بر اساس این پروتکل را نشان می‌دهد (Page et al., 2021). به عنوان منبع اطلاعات برای جستجو پایگاه‌های داده Semantic Scholar و OpenAlex در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۶ استفاده شده‌است. Web of Science به دلیل محدودیت‌ها برای جستجو در دسترس نبود. برای جستجوی مناطق کوهستانی چنین کلمات کلیدی مانند کوه، کوهستانی، آلپین، ارتفاعات، اراضی مرتفع استفاده شده‌است. برای جستجوی واژه‌ها سه گروه واژگان بهره گرفته شد که در محورهای کوهستان، ارزیابی و آسیب‌پذیری به شرح زیر دسته‌بندی شدند: mountainous, mountain, indicator, index, evaluation, fragility assessment, vulnerable, vulnerability, upland, highland, alpine, statistical, MCDA/AHP, remote sensing, GIS, framework, model.

استفاده از ۵۸۳۲ رکورد از Scopus که داده خام بودند انجام شد. سپس داده‌ها به ۳۱۷۰ مرجع کاهش یافتند و در نهایت ۲۰۰۸ منبع اصلی تشکیل جستجوی اصلی را دادند. در Open Alex، حدود ۵۲۲۳ رکورد بدست آمد. در کل ۷۲۳۱ رکورد حاصل شد. از این تعداد ۶۸۴۰ رکورد پس از حذف داده‌های تکراری باقی ماند. سپس با غربالگری عنوان و خلاصه ۳۴۸۵ منبع باقی ماند. در مرحله بعد با ادغام رکوردها بر اساس زمینه کوهستانی، تمرکز آسیب‌پذیری، جهت ارزیابی، نشانه‌های روش‌شناختی و ویژگی‌های غیره‌دفعند آنها طبقه‌بندی شدند. پس از غربالگری متن کامل تعداد به ۱۰۰۷ مرجع کاهش یافت. سپس بر اساس متن کامل ۳۲۴ مرجع واجد شرایط برای ارزیابی کامل و ورود به مرحله ارزیابی بودند. پس از جستجوی منابع و بدست آوردن متن کامل مشخص شد که در واقع دسترسی به ۲۲۶ منبع

غیرممکن است و ۹۸ منبع برای تحلیل نهایی که قابل بررسی سیستماتیک هستند بدست آمد. در مرحله آخر با انجام تأیید کتابخانه هر سند از طریق DOI خود شناسایی شد. با حذف موارد تکراری بدنه اصلی ۹۶ مورد مطالعه شد. علاوه بر این که بررسی سندهای DOI این منابع بررسی دیگر جزئیات کتابخانه‌ای را برای اطمینان از دقت بررسی انجام گرفت. سپس ساخت پایگاه داده از یافته‌ها، مفاهیم آسیب‌پذیری، معماری داده و خانواده روش‌ها ساخته شد. در این توالی روش‌ها انتخاب نشانه‌ها، نرمال‌سازی، وزن‌دهی، تجمیع، مراحل تأیید، حساسیت، ناسازگاری، انواع خروجی و توابع تصمیم‌گیری در نظر گرفته شدند.



شکل ۱. فرآیند طی شده براساس پروتکل پریسما به منظور غربالگری منابع مورد استفاده

Figure 1. Process followed based on the PRISMA protocol for screening the sources used

روش‌ها به چندین خانواده به شرح زیر تقسیم شدند: نشانه/ نشانه ترکیبی، یادگیری ماشین، نظرسنجی/ مشارکت، MCDA/AHP، روش‌های مبتنی بر بر اساس سناریو، GIS/حسگر از راه دور، کاهش ابعاد آماری یا سایر/ غیر واضح. معماری روش‌ها به خانواده یکی، ترکیب دو خانواده، ترکیب چند روش یا نامشخص تقسیم شد. در زمینه تصمیم‌گیری داده استخراج شده قادر به ارزیابی صریح برنامه‌ریزی و مدیریت سیاست یا اولویت‌بندی تصمیمات بودند. با توجه به مقدار داده‌های بدست آمده برای مدیریت و هماهنگی رکوردها، حذف داده‌های تکراری، غربالگری، استخراج شواهد از متن کامل، طبقه‌بندی روش‌شناختی و تحلیل کمی از برنامه پایتون استفاده شد. برای اجرای پایتون در Google Colab عملیاتی شد برای تولید داده‌های توصیفی، جدول‌های همخوان، استنباطات آماری پایتون استفاده شد. برای تحلیل رابطه بین دو متغیر دسته‌ای آمار کای دو پیرسون به شرح زیر محاسبه شد:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

که در آن:

O_{ij} فراوانی مشاهده شده در سلول i و j

E_{ij} فراوانی مورد انتظار در همان سلول

r = تعداد سطرهای جدول توافقی

c = تعداد ستون‌های جدول توافقی

فراوانی مورد انتظار هر سلول نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{ij} = \frac{R_j \cdot C_i}{N}$$

که در آن R_j مجموع فراوانی سطر i ، C_j مجموع فراوانی ستون j و N تعداد کل مطالعات است. درجه آزادی آزمون نیز برابر است با:

$$df = (r-1)(c-1)$$

از آنجا که معناداری آماری به‌تنهایی شدت ارتباط را نشان نمی‌دهد، اندازه اثر با کرامر وی محاسبه شد:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{N \cdot \min(r-1, c-1)}}$$

که در آن X^2 کای دو پیرسون، N تعداد کل مطالعات، r و c تعداد سطرها و ستون‌های جدول توافقی است. مقدار V در بازه صفر تا یک قرار می‌گیرد. مقادیر بیشتر بیانگر ارتباط قوی‌تر است. به دلیل وجود فراوانی‌های مورد انتظار کوچک در تعدادی از سلول‌ها جداول توافقی اقدام به برآورد مقدار احتمال با ۲۰۰۰۰ جایگشت مونت کارلو شد. به این منظور از روش زیر استفاده شد:

$$P_{MC} = \frac{1 + \sum_{b=1}^B I(T_b \geq T_{obs})}{B + 1}$$

که در آن $B=20000$ تعداد جایگشت، T_{obc} آماره آزمون مشاهده شده، T_b هم معادل آماره حاصل از جایگشت b و $I(.)$ تابع شاخص است که در صورت برقراری شرایط عدد یک و در صورت عدم برقراری شرایط مقدار صفر به خود می‌گیرد. از سوی دیگر به دلیل برای کنترل خطای ناشی از مقایسه‌های چندگانه از روش نرخ کشف کاذب بنیامین هوچبرگ استفاده شد. ابتدا به صورت صعودی مقادیر مرتب شد:

$$p_{(i)} \leq (i/m)q$$

سپس معیار بنیامین - هوچبرگ به شکل زیر اعمال شد:

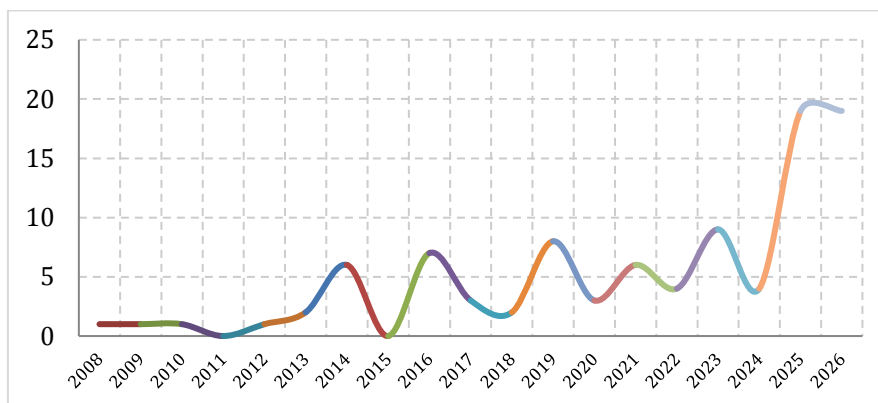
$$P_{(i)} \leq \frac{i}{m} q$$

که در آن $P_{(i)}$ مقدار احتمال مرتبه شده در رتبه i و i رتبه مقدار احتمال، m تعداد کل آزمون‌های همزمان در این رابطه مساوی با ۶ بود و q معادل سطح FDR مورد نظر که برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. در نهایت زنجیره M-O-D براساس ماهیت به کامل، جزئی، یا ضعیف و غیر قابل بازیابی تفکیک شد. این زنجیره می‌تواند در بردارنده شش جزئی گسترده‌تر، شامل مفهوم‌سازی صریح آسیب‌پذیری، معماری روش قابل‌شناسایی، خروجی قابل‌شناسایی، اعتبارسنجی، تحلیل عدم قطعیت و پیوند با تصمیم باشد. باید به خاطر داشت که وقتی از تکرار روش‌شناختی بحث می‌شود این به تعداد خانواده‌های روش تلفیق‌شده اشاره دارد، اما وقتی از یکپارچگی روش‌شناختی صحبت به میان می‌آید به معنا این است که روش‌ها و کارکردهای مکملی را در درون یک زنجیره تحلیلی وجود دارد. لذا باید بین این دو تفاوت قایل شد.

روش ترکیب یافته‌ها بر اساس ترکیب شواهد با رویکرد چارچوب مبتنی بر شواهد بود. در ابتدا شواهد تولید شده در سطح مطالعه به صورت مقایسه‌ای در خانواده‌های روش بر اساس استحکام توابع، نوع خروجی و پیوند تصمیم‌گیری کدگذاری شدند. سپس الگوهای تکراری بر روی زنجیره M-O-D و سپس به هشت تابع شناختی تفکیک شدند. به این ترتیب سعی شد که مشخص شود آیا توابع وجود دارند یا خیر و به یکدیگر پیوند خورده‌اند یا خیر. برای پوشش بازیابی مراحل در ارتباط با متغیرهای کدگذاری موجود ارزیابی شد. در مرحله اولیه تولید شواهد مبتنی بر قوانین و با کمک کامپیوتر استخراج شدند و موارد هدف از طریق بررسی دستی کل متن کنترل شدند.

یافته‌ها و بحث

بررسی روند سالانه نشان می‌دهد که تعداد مطالعات در مورد آسیب‌پذیری در سال‌های اخیر به طور قابل توجهی افزایش یافته است (شکل ۲). افزایش در سال‌های اخیر نباید به عنوان افزایش ذاتی در بهبود روش‌ها در نظر گرفته شود. تغییرات در معماری روش بر اساس داده‌های آماری بیشتر توضیح داده خواهد شد. قبل از اینکه به روش‌ها پرداخته شود، لازم است روش‌های اصلی ارزیابی که در مجموعه‌ای از ۹۶ منبع شناسایی شده‌اند طبقه‌بندی شوند. لازم است به این نکته اشاره شود تکرار یک مرجع در چند دسته باشد که ناشی از بهره‌مندی یک مطالعه از چند روش است. بنابراین مطالعات ترکیبی ممکن است در به بیش از یک دسته پدیدار شوند. در جدول ۱ فهرستی از روش‌ها و طبقه‌بندی آنها وجود دارد.



شکل ۲. روند انتشار سالانه ۹۶ مطالعه از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۶

Figure 2. Annual publication trend of 96 studies from 2008 to 2026

جدول ۱. طبقه‌بندی توصیفی جامع روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری در مجموعه ۹۶ مطالعه

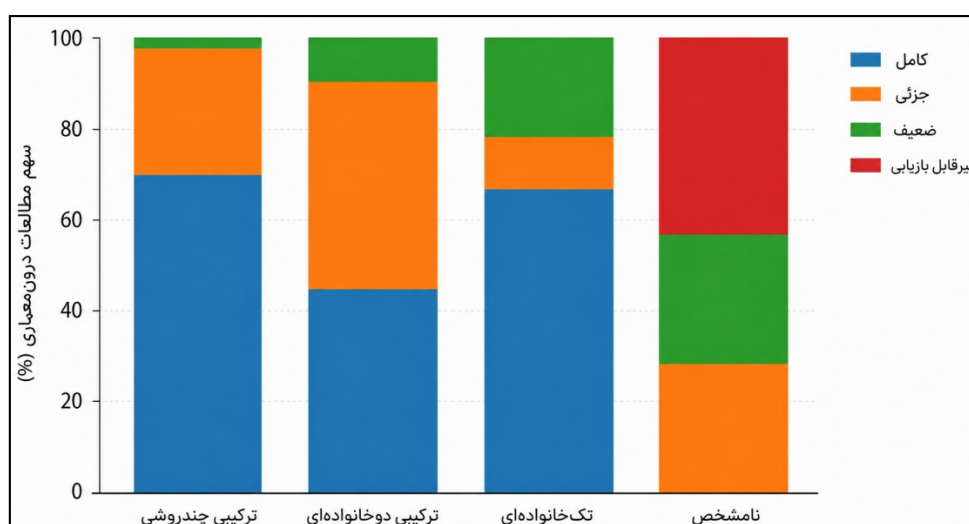
Table 1. Comprehensive descriptive classification of vulnerability-assessment methods in the 96-study corpus.

دسته کلی	روش خاص به‌کاررفته	فراوانی	مطالعات انجام شده
شاخص، وزن-دهی و تجمیع	شاخص ترکیبی / ارزیابی مبتنی بر شاخص	۵۹	Khadzhaev & Fazilova (2026); Bui et al. (2026); Wang et al. (2026); Gjoni & Kopliku (2026); Munyai et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Veloso et al. (2026); Moreno-Abdelnur et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Sguigaa et al. (2026); Sarieva et al. (2025); Lan et al. (2025); Lyngdoh et al. (2025); Cai et al. (2025); Zhu et al. (2025); Batista & Passini (2025); Cojocariu et al. (2025); Cavallo et al. (2025); Limboo et al. (2025); Lalrinsangpuii et al. (2025); Fatima et al. (2025); Zhou et al. (2025); Ma et al. (2025); Tokarev et al. (2024); Tian et al. (2024); Bhandari et al. (2024); Bista (2023); Khatri & Pasa (2023); Fayaz et al. (2023); Jamal-ud-din et al. (2023); Wu et al. (2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Hespanhol et al. (2022); Handwerger et al. (2021); Zhao & Chi (2021); Mekonen & Berlie (2021); Valencia et al. (2020); Jr. et al. (2020); Naithani et al. (2019); Nepal et al. (2019); Shahzad (2019); Orchard et al. (2019); Zeng et al. (2019); Tessema & Simane (2019); Papathoma-Köhle et al. (2019); Aksha et al. (2018); Song et al. (2017); Mohanty et al. (2017); Zhang et al. (2016); Saputra et al. (2016); Ciurean et al. (2016); Gerlitz et al. (2016); Papathoma-Köhle (2016); Simane et al. (2014); Maggini et al. (2014); Земцов et al. (2014); Nisha & Punia (2014); Han et al. (2013)
مکانی و فضایی	سامانه اطلاعات جغرافیایی / تحلیل مکانی (GIS)	۵۷	Khadzhaev & Fazilova (2026); Brown et al. (2026); Gjoni & Kopliku (2026); Munyai et al. (2026); Joshi et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Veloso et al. (2026); Moreno-Abdelnur et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Jing et al. (2026); Qiu & Geng (2025); Lan et al. (2025); Lyngdoh et al. (2025); Cai et al. (2025); Zhu et al. (2025); Batista & Passini (2025); Cojocariu et al. (2025); Cavallo et al. (2025); Limboo et al. (2025); Fatima et al. (2025); Li et al. (2025); Li & Shen (2025); Zhou et al. (2025); Ma et al. (2025); Tokarev et al. (2024); Tian et al. (2024); Fayaz et al. (2023); Jamal-ud-din et al. (2023); Wu et al. (2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Attiogbé et al. (2022); Piedallu et al. (2022); Zhao & Chi (2021); Iwahashi et al. (2021); Mekonen & Berlie (2021); Mountain et al. (2020); Jr. et al. (2020); Naithani et al. (2019); Shahzad (2019); Papathoma-Köhle et al. (2019); Azmeri & Isa (2018); Aksha et al. (2018); Schlögl et al. (2019); Song et al. (2017); Zhang et al. (2016); Saputra et al. (2016); Ciurean et al. (2016); Utaş et al. (2016); Papathoma-Köhle (2016); Bai et al. (2014); Favier et al. (2014); Земцов et al. (2014); Nisha & Punia (2014); Han et al. (2013); Fuchs et al. (2012); Alcántara-Ayala (2008)
مکانی	سنجش از دور	۵۳	Khadzhaev & Fazilova (2026); Bui et al. (2026); Brown et al. (2026); Munyai et al. (2026); Joshi et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Moreno-Abdelnur et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Sguigaa et al. (2026); Jing et al. (2026); Kashyap et al. (2026); Kee et al. (2025); Cai et al. (2025); Zhu et al. (2025); Batista & Passini (2025); Cojocariu et al. (2025); Smyk & Arkhypova (2025); Limboo et al. (2025); Marshall et al. (2026); Fatima et al. (2025); Collette et al. (2026); Li & Shen (2025); Cong et al. (2025); Zhou et al. (2025); Ma et al. (2025); Tian et al. (2024); Malik & Ford (2024); Fayaz et al. (2023); Wu et al.

(2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Han et al. (2023); Xu et al. (2023); Piedallu et al. (2022); Iwahashi et al. (2021); Mekonen & Berlie (2021); Valencia et al. (2020); Naithani et al. (2019); Shahzad (2019); Zeng et al. (2019); Papathoma-Köhle et al. (2019); Azmeri & Isa (2018); Schlögl et al. (2019); Song et al. (2017); Zhang et al. (2016); Saputra et al. (2016); Ciurean et al. (2016); Papathoma-Köhle (2016); Bai et al. (2014); Земцов et al. (2014); Nisha & Punia (2014); Han et al. (2013); Alcántara-Ayala (2008)			
Munyai et al. (2026); Joshi et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Veloso et al. (2026); Moreno-Abdelnur et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Sguigaa et al. (2026); Cruz-Burga et al. (2026); Kashyap et al. (2026); Qiu & Geng (2025); Batista & Passini (2025); Cojocariu et al. (2025); Smyk & Arkhypova (2025); Limboo et al. (2025); Li et al. (2025); Collette et al. (2026); Li & Shen (2025); Ma et al. (2025); Tian et al. (2024); Fayaz et al. (2023); Wu et al. (2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Han et al. (2023); Hespanhol et al. (2022); Iwahashi et al. (2021); Papathoma-Köhle et al. (2019); Schlögl et al. (2019); Saputra et al. (2016)	۲۹	یادگیری ماشین	داده‌محور و پیش‌بینی‌کننده
Bui et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Cruz-Burga et al. (2026); Kee et al. (2025); Lan et al. (2025); Lyngdoh et al. (2025); Cavallo et al. (2025); Bhandari et al. (2024); Bista (2023); Khatri & Pasa (2023); Jamal-ud-din et al. (2023); Piedallu et al. (2022); Mekonen & Berlie (2021); Mountain et al. (2020); Nepal et al. (2019); Shahzad (2019); Orchard et al. (2019); Tessema & Simane (2019); Aksha et al. (2018); Schlögl et al. (2019); Mohanty et al. (2017); Gerlitz et al. (2016); Simane et al. (2014); Земцов et al. (2014); Alcántara-Ayala (2008)	۲۵	پیمایش / پیمایش خانوار یا جامعه	اجتماعی و مشارکتی
Bui et al. (2026); Wang et al. (2026); Joshi et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Sguigaa et al. (2026); Lyngdoh et al. (2025); Zhu et al. (2025); Batista & Passini (2025); Cavallo et al. (2025); Limboo et al. (2025); Marshall et al. (2026); Li & Shen (2025); Khatri & Pasa (2023); Wu et al. (2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Han et al. (2023); Hespanhol et al. (2022); Piedallu et al. (2022); Papathoma-Köhle et al. (2019); Azmeri & Isa (2018)	۲۲	مدل‌سازی رگرسیونی	آماري و کاهش بُعد
Bui et al. (2026); Munyai et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Moreno-Abdelnur et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Kee et al. (2025); Lan et al. (2025); Cai et al. (2025); Limboo et al. (2025); Zhou et al. (2025); Tian et al. (2024); Fayaz et al. (2023); Jamal-ud-din et al. (2023); Wu et al. (2023); Shah et al. (2023); He et al. (2023); Zhao & Chi (2021); Naithani et al. (2019); Zeng et al. (2019); Papathoma-Köhle et al. (2019); Papathoma-Köhle (2016); Han et al. (2013)	۲۲	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)	تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره
Khadzhaev & Fazilova (2026); Bui et al. (2026); Muhammad et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Ruegg et al. (2026); Cruz-Burga et al. (2026); Lan et al. (2025); Lyngdoh et al. (2025); Cai et al. (2025); Zhu et al. (2025); Limboo et al. (2025); Fatima et al. (2025); Li et al. (2025); Zhou et al. (2025); Handwerger et al. (2021); Zhao & Chi (2021); Naithani et al. (2019); Aksha et al. (2018); Nisha & Punia (2014)	۱۹	تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)	آماري و کاهش بُعد
Bui et al. (2026); Joshi et al. (2026); Cruz-Burga et al. (2026); Lan et al. (2025); Lyngdoh et al. (2025); Cavallo et al. (2025); Fatima et al. (2025); Ma et al. (2025); Malik & Ford (2024); Khatri & Pasa (2023); Wu et al. (2023); Mekonen & Berlie (2021); Naithani et al. (2019); Nepal et al. (2019); Shahzad (2019); Orchard et al. (2019); Tessema & Simane (2019); Papathoma-Köhle et al. (2019); Onyango et al. (2016)	۱۹	روش‌های مشارکتی	اجتماعی و مشارکتی
Bui et al. (2026); Munyai et al. (2026); Magdiev et al. (2026); Pitchaimani et al. (2026); Kee et al. (2025); Limboo et al. (2025); Fayaz et al. (2023); Jamal-ud-din et al. (2023); Shah et al. (2023); Zhao & Chi (2021); Schlögl et al. (2019); Utaisse et al. (2016)	۱۲	تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) نشانگان صریح	تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره
Ruegg et al. (2026); Lyngdoh et al. (2025); Li et al. (2025); Collette et al. (2026); Cong et al. (2025); Bhandari et al. (2024); Xu et al. (2023); Attiogbé et al. (2022); Hespanhol et al. (2022); Valencia et al. (2020); Jr. et al. (2020); Bai et al. (2014)	۱۲	تحلیل / مدل‌سازی سناریو	سناریو و آینده‌نگر
Munyai et al. (2026); Ma et al. (2025); He et al. (2023)	۳	وزن‌دهی آنتروپی	شاخص، وزن-دهی و تجمیع

تمامی ۹۶ مطالعه که در بین سالهای ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۶ انجام شده است در این مطالعه وارد شده‌اند. در این میان رویکردهای شاخص محور پرتکرارترین روش (۲۷/۱٪) و خانواده غالب بوده‌اند. پس از آن یادگیری ماشین (۲۱/۹٪)، مطالعات پیمایشی و مشارکتی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. هم‌رخدادی روش‌ها نیز متنوع است. ترکیب شاخص‌ها با GIS در ۴۶/۹ درصد از مطالعات و ترکیب آماری، GIS و سنجش از دور ۳۰/۲ درصد از هم‌رخدادی‌ها را پوشش می‌دهد.

ترکیب روش‌ها توسط دو خانواده روش انجام شده است. اما نکته اصلی این است که ۵۳/۱٪ از مطالعات ترکیبی از چندین روش استفاده کرده‌اند. در کل ۸۳/۳٪ از مطالعات ترکیبی شده‌اند. دوره انتشار پس از تصحیح مونت کارلو و نرخ کشف نادرست (FDR) نشان دهنده معماری به طور معنی دار مرتبط ($pFDR=0.0143$; $V=0.279$) بود در حالی که اهمیت معماری خانواده روش غالب نبوده است ($pFDR=0.0820$; $V=0.328$). این بدان معناست که بازسازمان‌دهی روش‌ها و بازترکیب روش‌ها و به معنی جایگزینی یک روش با روش دیگر نیست. با این حال زنجیره M-O-D در معماری روش در شکل ۳ نشان داده شده است. مطالعات ترکیبی چند روش جایگاهی ویژه در یک زنجیره کامل دارند.

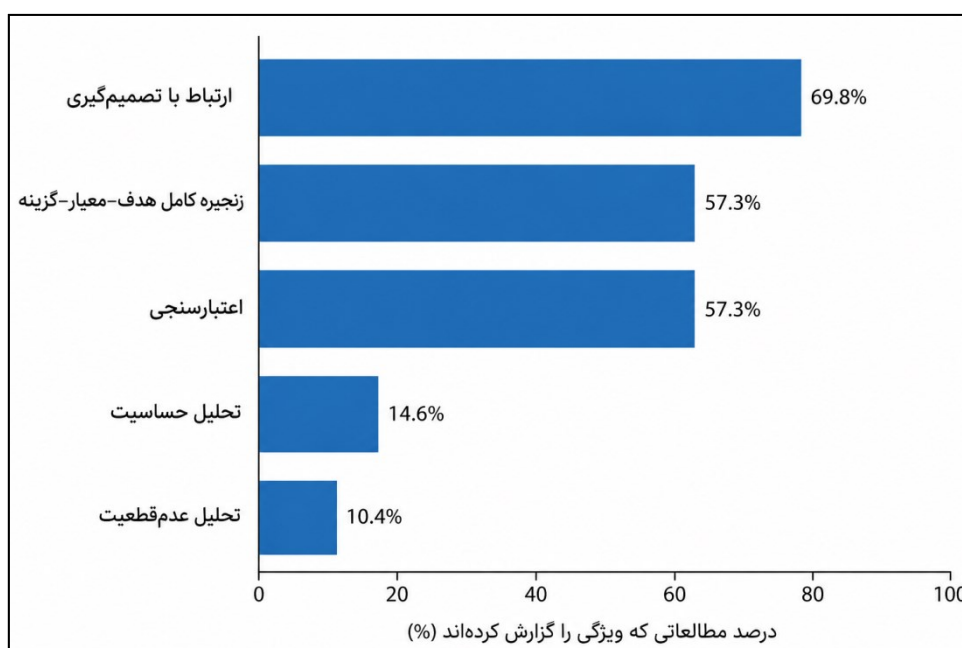


شکل ۳. معماری روش و ارزیابی کامل بودن زنجیره روش خروجی و تصمیم، محور افقی طبقات معماری روش و محور عمودی درصد از زنجیره M-O-D در هر طبقه از زنجیره

Figure 3. Method architecture and completeness assessment of the Method-Output-Decision (M-O-D) chain; the horizontal axis represents method architecture layers, and the vertical axis shows the percentage of the M-O-D chain within each layer

ارزیابی استواری مطالعات یکی از محورهای این بررسی است. از کل مطالعات در مجموع مطالعات ۵۷/۳ درصد آنها اقدام به اعتبارسنجی مطالعه خود کرده‌اند. تحلیل حساسیت صرفاً در ۱۴/۶ درصد از مطالعات انجام گرفته است. مهمترین یافته شاید عبارت باشد از توجه به تحلیل عدم قطعیت این موضوع فقط در ده مطالعه قابل شناسایی است. بررسی از نظر زنجیره معماری نشان می‌دهد: در ۶۹/۸ درصد از مطالعات پیوند خروجی با تصمیم مشخص و قابل شناسایی است. اما وقتی بحث از زنجیره کامل می‌شود تنها ۵۷/۳ درصد از مطالعات آن را به صورت کامل ارائه کرده‌اند. در مجموع مطالعات ۶/۲ درصد آنها به صورت همزمان مباحث مفهوم‌سازی صریح آسیب‌پذیری، روش، خروجی، اعتبارسنجی، تحلیل عدم قطعیت و پیوند با تصمیم را در کار خود ارائه کرده بودند. بررسی ارتباط معماری با تکامل زنجیره M-O-D رابطه‌ای متوسط را منعکس می‌کند ($V=0.441$; Monte Carlo $pFDR=0.0003$). در ضمن بین

خانواده روش‌شناسی غالب و کامل بودن زنجیره ارتباط معناداری وجود دارد ($V=0.417$; $pFDR=0.0054$). براساس شکل ۴ اعتبارسنجی در کمی بیش از نصف حجم جامعه نمونه قابل رویت است تحلیل حساسیت و عدم قطعیت موضوعی نادر است. تضاد بین پیوند با تصمیم‌گیری ۶۹/۸ درصد و تحلیل صریح عدم قطعیت (۱۰/۴ درصد)، نشان از آن دارد که عدم‌توازن روش‌شناختی وجود دارد که در تلفیق میان این دو قرار گرفته است. شکل ۴ نمایه استواری تا تصمیم را خلاصه می‌کند. اعتبارسنجی در کمی بیش از نیمی از پیکره مطالعاتی وجود دارد، در حالی که تحلیل حساسیت و به‌ویژه تحلیل عدم قطعیت همچنان نادر هستند. تضاد بین پیوند با تصمیم نشان‌دهنده عدم‌توازن روش‌شناختی مرکزی است که توسط این تلفیق شناسایی شده است.



شکل ۴. ارزیابی استواری مطالعات انجام شده محور عمودی مولفه‌های استواری و پیوند با تصمیم و محور افقی درصد از کل مطالعات بررسی شده

Figure 4. Assessment of the robustness of the conducted studies; the vertical axis represents robustness components and their link to decision-making, while the horizontal axis represents the percentage of the total studies reviewed

تلفیق یافته‌ها نشان از آن دارد که نقص در بسته روشی به صورت کامل و نه فقدان ابزار تحلیل را به عنوان یک مساله اصلی در این عرصه مشخص می‌سازد. این درحالی است که چرخه کامل حکایت از هشت مرحله مشخص دارد که عبارت است از چارچوب‌بندی مسئله، مفهوم‌سازی آسیب‌پذیری، معماری داده، معماری روش، تجمیع / مدل‌سازی، اعتبارسنجی و استواری، ترجمه خروجی، پیوند با تصمیم. در حالی که این معماری نقطه قوت محسوب می‌شود و ماهیتی کارکردی به تمام معنا دارد. اما داده‌ها حکایت از نادیده انگاری آن دارند. لذا این معماری مشخص می‌کند که یک ارزیابی باید از چه مولفه‌هایی برخوردار باشد و آنها را چگونه به یکدیگر پیوند بزنند. در عین حال در این میان آزادی عمل برای انتخاب اجزا تشکیل‌دهنده روش مانند سنجش از دور، استفاده از مجموعه شاخص‌ها یا تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، یادگیری ماشین و سناریو و یا رویکردهای مشارکتی وجود دارد.

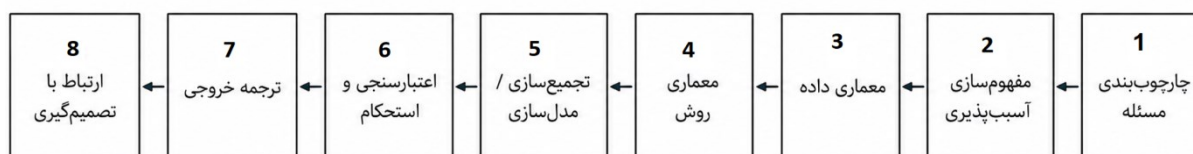
تحلیل هشت مرحله از پوشش نشان می‌دهد که در ۹۳ مطالعه (۹۶/۹٪) شواهد مربوط به تمرکز بر مساله / آسیب-پذیری وجود دارد، ۹۰ مطالعه (۹۳/۸٪) اجزای صریح مفهومی آسیب‌پذیری را دارند، ۸۶ مطالعه (۸۹/۶٪) شواهد قابل

بازیابی در مورد معماری داده‌ها دارند، ۸۹ مطالعه (۹۲/۷٪) شواهد قابل شناسایی در مورد معماری روش دارند، ۸۱ مطالعه (۸۴/۴٪) قابلیت تجمیع یا مدل‌سازی را دارند، ۵۵ مطالعه (۵۷/۳٪) تاییدیه دارند، ۷۷ مطالعه (۸۰/۲٪) خروجی قابل شناسایی دارند و ۶۷ مطالعه (۶۹/۸٪) پیوند صریح با تصمیم‌گیری دارند. در مرحله بلوغ تنها ۱۴ مطالعه (۱۴/۶٪) تحلیل حساسیت و ۱۰ مطالعه (۱۰/۴٪) شواهد صریح در مورد شاخص‌های عدم قطعیت دارند. این درصدها نشان‌دهنده پوشش عملکردها می‌باشد و نمی‌توان آنها را به عنوان نمره کیفیت مطالعات در نظر گرفت.

جدول ۲. آزمون‌های ارتباطی با تأیید مونت کارلو و تصحیح نرخ کشف کاذب (FDR) بنیامینی-هوچبرگ (n=96)

Table 2. Monte Carlo-validated association tests with Benjamini-Hochberg FDR correction (n= 96)

تحلیل	Cramér's V	pFDR	Monte Carlo p	df	χ^2	رابطه
متوسط	۰/۳۲۸	۰/۰۸۲۰	۰/۰۶۸۳	۲۱	۳۱/۰۰	ارتباط دوره انتشار با خانواده روش غالب
اندک	۰/۲۷۹	۰/۰۱۴۳	۰/۰۰۷۶	۹	۲۲/۳۶	ارتباط دوره انتشار با معماری روش
اندک	۰/۲۸۶	۰/۰۱۴۳	۰/۰۰۹۵	۹	۲۳/۵۴	ارتباط معماری روش با معماری استواری
متوسط	۰/۴۴۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰	۹	۵۵/۹۳	ارتباط معماری روش با زنجیره روش-خروجی-تصمیم
متوسط	۰/۴۱۷	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۱۸	۲۱	۵۰/۰۱	ارتباط خانواده روش غالب با زنجیره روش-خروجی-تصمیم
اندک	۰/۲۰۹	۰/۱۸۱۷	۰/۱۸۱۷	۹	۱۲/۶۴	ارتباط معماری استواری با زنجیره روش-خروجی-تصمیم



شکل ۵. معماری حاصل فراروش هشت مرحله مستخرج از ۹۶ مطالعه برگزیده

Figure 5. Architecture resulting from the eight-step meta-method derived from 96 selected studies.

جدول ۳. معماری روش‌شناسی، از استواری روش تا تصمیم‌گیری در ۹۶ مطالعه برگزیده

Table 3. Methodological architecture: from methodological robustness to decision-making in 96 selected studies

ویژگی / مشخصه	n	%
ترکیبی چند روش	۵۱	۵۳/۱
ترکیبی دو خانواده	۲۹	۳۰/۲
تک خانواده	۹	۹/۴
اعتبارسنجی گزارش شده	۵۵	۵۷/۳
تحلیل حساسیت گزارش شده	۱۴	۱۴/۶
تحلیل عدم قطعیت گزارش شده	۱۰	۱۰/۴
پیوند با تصمیم شناسایی شده	۶۷	۶۹/۸
زنجیره کامل روش-خروجی-تصمیم (M-O-D)	۵۵	۵۷/۳
زنجیره کامل شش جزئی	۶	۶/۲

بر اساس اهداف تحقیق داده‌های مورد نیاز در بخش نتایج ارائه شد. نتایج نشان می‌دهند که ارزیابی آسیب‌پذیری کوهستانی حوزه‌ای ترکیبی به شمار می‌آید در بسیار از مطالعات مورد توجه بوده و از چارچوب بهره گرفته است (Papathoma-Köhle et al., 2019; Simane et al., 2014). به عنوان مثال هر آن جایی که موضوع مباحث اجتماعی و اقتصادی در آسیب‌پذیری مطرح شده است، شاخص‌های ترکیب توام با اطلاعات مکانی ارایه شده و شواهد مرتبط با رویه‌های مانند وزن‌دهی، مدل‌سازی مخاطره و مانند آن تلفیق می‌شوند (Aksha et al., 2018; Gerlitz et al., 2016). این موضوع در مطالعات قابل مشاهده است (Lan et al., 2025; Tessema & Simane, 2019). این الگو در مطالعات مرتبط با یادگیری ماشین، تصمیم‌گیری چند معیاره و سنجش از دور و GIS و یا روندهای پیش‌بینی توان با رتبه‌بندی‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیای قابل ردیابی است (Shah et al., 2023; Fayaz et al., 2023). این موضوع به خوبی بیانگر معماری روش‌شناختی است که به نوعی تایید کننده زنجیره کامل (M-O-D) است.

واضح است که ادغام هر روش فقط زمانی سودمند خواهد بود که انتظار داشته باشیم در تحقیق نقش خاصی را ایفا کند. در حال حاضر ارزیابی‌های آسیب‌پذیری از عدم سازگاری در استفاده از روش‌ها و تعامل آنها در ادبیات روش‌شناسی رنج می‌برند. پاپاتوما-کول (۲۰۱۱) ناسازگاری در مقیاس، شاخص‌ها و فناوری مورد استفاده در ارزیابی‌های آسیب‌پذیری فیزیکی خطرات کوهستانی را برجسته کرده است. همچنین بر اساس مطالعه تاکور و همکاران (۲۰۲۱) در ۷۵ مورد از آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های جنگلی کوهستانی در رویکرد مبتنی بر مدل فقدان داده‌های اجتماعی-اکولوژیکی و مبتنی بر زمین مشاهده شده است. علاوه بر این بر اساس سلطان و همکاران (۲۰۲۲) در یک بررسی از ۵۹ مطالعه در هیمالیا ناسازگاری در انواع آسیب‌پذیری، مقیاس و روش‌های ارزیابی مشاهده شده است. بنابراین تحقیق فعلی با بررسی‌های ذکر شده در مسئله چند روش‌گرایی موافق است. اما حتی فراتر از این است زیرا تغییرات مشاهده شده در "معماری و بازترکیب روش‌ها" است نه جایگزینی خانواده روش‌های غالب. علاوه بر این ارتباط ضعیف بین معماری محکم و کامل بودن زنجیره M-O-D نشان می‌دهد که علیرغم اینکه اعتبارسنجی یا تحلیل عدم قطعیت لازم است این عوامل نمی‌توانند جای بزرگترین نقص در این حوزه موضوعی عدم قطعیت تحلیل است. از ۱۰/۴ درصد مقالاتی که به صراحت به مسئله عدم قطعیت پرداخته‌اند نگرانی زیادی در مورد تحلیل عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری وجود دارد. اگرچه مسایل دیگری مانند انتخاب یک شاخص، نرمال‌سازی و وزن‌دهی، ویژگی‌های مدل مورد استفاده، توسعه سناریو و انتخاب آستانه طبقه‌بندی وجود دارد، ولی نگرانی زیادی در مورد مسئله عدم قطعیت در این مقاله وجود دارد. چون به صراحت ذکر شده است که تخمین آسیب‌پذیری به انتخاب مدل یا شاخص بستگی دارد (Gerlitz et al., 2016; Aksha et al., 2018). تایید نتایج در ۵۷/۳ درصد مطالعات یافت شده است. بنابراین به دلیل این نگرانی مطرح شده است که لازم است تایید نتایج و تحلیل حساسیت از تحلیل عدم قطعیت جدا شود (Fuchs et al., 2012; Favier et al., 2014). به عبارت دیگر لازم است ببینیم که آیا نتایجی که به دست آمده در برابر انتخاب‌های فعلی کافی محکم هستند یا خیر (Bai et al., 2014; Valencia et al., 2020).

بررسی ده مقاله هدفمند که دارای شاخص‌های صریح عدم قطعیت هستند نشان می‌دهد که آنها یکسان نیستند اسجیجا و همکاران (۲۰۲۶) بر روی عدم قطعیت در تخمین جرم با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو و تخمین بازه اطمینان تمرکز کرده اند فیور و همکاران (۲۰۱۴) از شاخص‌های مونت کارلو و Sobol برای انجام تحلیل حساسیت داده‌های ورودی استفاده کرده‌اند. کلوت و همکاران (2026)، ایزو و همکاران (۲۰۲۳)، ولنسیا و همکاران (۲۰۲۰) و سیریون و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مسیر سناریو/ گروه‌بندی، انتخاب مدل، انتخاب متغیر یا فرمول‌بندی احتمالی به دنبال عدم قطعیت بوده‌اند. فوکس و همکاران (۲۰۱۲) از آزمون مونت کارلو برای انجام استنباط از اهمیت آماری استفاده کرده‌اند. در مقابل در سه مطالعه مونایی و همکاران (۲۰۲۶)، فاطیما و همکاران (۲۰۲۵) و شاه و همکاران

(۲۰۲۳) نشان می‌دهد که عدم قطعیت بیشتر به عنوان یک محدودیت، پیشنهاد برای مطالعه بیشتر یا فقط به عنوان یک مرجع روش مطرح شده است. انتشار صریح عدم قطعیت تا خروجی نهایی انجام نشده است. بنابراین این موضوع باید به عنوان "وجود شاخص‌های صریح عدم قطعیت" درک شود نه ده شاخص کامل در مورد گسترش عدم قطعیت. بررسی اعتبار سنجی استحکام و استواری مطالعات نیز نشان‌دهنده ناهمگنی بالایی است. با بازبینی حدوده ۵۵ مطالعه بیانگر آن است که ۲۶ مطالعه از معیارهای کنترل عملکرد استفاده کرده‌اند. در ۹ مطالعه در کارشان از پیش‌بینی و تایید آماری از جمله تایید متقاطع، AUC/ROC یا معیار عملکرد استفاده کرده‌اند. فقط ۳ مطالعه شامل از تایید متخصص یا ذینفع بهره برده‌اند. در ۱۷ مطالعه نوع تایید مشخص در گزارش قابل‌بازبینی نبوده است. تایید مدل روشی برای ارزیابی توانایی تمایز مدل است و وقتی با اطلاعات مستقل مقایسه شود ارزیابی مناسب‌تری از تناسب آزمایشی را ارائه می‌دهد. تایید متخصص از نظر قابلیت تفسیر و مفید بودن در تصمیم‌گیری ارزشمند است. در مقابل گزارش مبهم تایید روش که قابل‌بازبینی نیست شواهد کمتری از استحکام مدل ارائه می‌دهد.

یک عامل مهم دیگر ناسازگاری روش-خروجی-تصمیم است از میان کارهای مورد مطالعه ۶۹/۸ درصد به فرایندهای تصمیم‌گیری خاص و قابل‌بازبینی مرتبط بوده است. با این حال تنها ۵۷/۳ درصد از مقالات یک زنجیره کامل از فرآیند تصمیم‌گیری را ارائه دادند. برای مثال یک نقشه آسیب‌پذیری یا پیش‌بینی زمان به عنوان شواهد و مستندات فرآیند تصمیم‌گیری که خروجی را توضیح می‌دهد و چگونه می‌توان آن را اولویت‌بندی کرد، تبدیل به یک برنامه مدیریت و برنامه‌ریزی یا تخصیص منابع می‌شود. در اکثر موارد مطالعات اقتصادی و همکارانه نتایج غنی ارائه می‌دهند درحالی که مطالعات تصمیم‌گیری چند متغیره معمولاً اولویت‌های واضحی را تولید می‌کنند (Khatrī & Pasa, 2023; Jamal-ud-din et al., 2023). اما هرچند مطالعاتی با پیش‌بینی‌ها یا شدت فضایی ممکن است خروجی خوبی تولید کنند در حوزه تصمیم‌گیری خروجی ممکن است آنقدر واضح نباشد؛ بنابراین این مطالعه نشان می‌دهد که بین تولید خروجی و خروجی مرتبط با تصمیم‌گیری هماهنگی وجود ندارد (Li et al., 2025; Piedallu et al., 2022) خروجی‌های دو مورد نمی‌توانند فرایندهای تصمیم‌گیری را پشتیبانی کنند.

نکته دیگر عبارت است از این که معماری روش و دسته‌بندی روش‌های مورد استفاده ارتباط نه چندان قوی با زنجیره کامل دارد. در همین راستا موضوع استواری بعد از تصحیح FDR ارتباط معناداری با کامل بودن زنجیره پیدا نکرد. البته این یافته دال بر فقدان اهمیت استواری نبوده و موید آن است که دو موضوع اعتبارسنجی و یا عدم قطعیت از بحث معماری مجزا هستند و جایگزین یک دیگر نیستند. آن چه در معماری روش‌شناسی مهم است پیوند میان مسئله، روش، خروجی و تصمیم است تا این به موضوعاتی مانند تحلیل، همبستگی و مانند آن بپردازد.

مدلی که به عنوان نتیجه این مطالعات پدید آمده است پتانسیل توسعه یک چارچوب آزمایشی پیشنهادی را دارد که پایه منطقی روش‌شناسی تحقیقات آینده را تشکیل خواهد داد. این مطالعات نشان داده‌اند که این چارچوب و سوال است که سطح آسیب‌پذیری را تعریف می‌کند. با این درک از آسیب‌پذیری کمک می‌کند تا معنای آسیب‌پذیری در مطالعه را درک کرد. با این حال شواهد مربوط به معماری داده، فضایی، زمانی، محیطی و اجتماعی باید هماهنگ شود (Handwerger et al., 2021; Mekonen & Berlie, 2021). به وضوح در چارچوب معماری روش، ممارسات ضروری و مکمل شناسایی و اعمال خواهد شد (Zhao & Chi, 2021; He et al., 2023). در فرآیند جمع‌آوری یا مدل‌سازی شواهد و خروجی‌های بدست آمده هماهنگ است. تایید و قابلیت اعتماد یکی از مراحل کلیدی کار است که قرار است خروجی‌های بدست آمده را از نظر صحت و پایداری آن بررسی و تایید کند و آن را بپذیرد یا رد کند. خروجی‌های تایید شده همراه با شواهد و مستندات باید به فرآیند تصمیم‌گیری متصل شود و بازتاب دهنده کاربرد خروجی‌های بدست آمده

باشد. این مدل پتانسیل این را دارد که به یک چک لیست تبدیل شود که دیدگاهی پیش رو در فرآیند ارزیابی وجود دارد را بهتر هدایت کند (Utassee et al., 2016; Kee et al., 2025).

این مطالعه اگر چه نکات مشخصی را برجسته کرد اما از محدودیت‌هایی هم برخوردار است. اول این که اگر چه مطالعه ۹۶ مطالعه را بررسی کرد اما با سوگیری مقالات منتشر شده از یک سو و از سوی دیگر مقالات قابل ارزیابی رودرو است. لذا نمی‌توان ادعا کرد نمونه کاملی از تمامی مطالعات بالقوه مرتبط با آسیب‌پذیری کوهستانی به شمار می‌آید. سوگیری بعدی که وجود دارد به انتشار مقالات در کشورهای شمال باز می‌گردد که به طور متعارف بسیار بیشتر از کشورهای جنوب است که خود یک موضوع قابل تامل است. درنهایت باید اشاره کرده که جداول توافقی پراکنده، مورد استفاده در تحلیل مونت کارلو تفسیر زیرگروه‌ها را با دقت بالا محدود خواهد ساخت. به عبارت دیگر توصیه می‌شود که یک آزمایش بر اساس چارچوب شناختی که در بالا بحث شد انجام شود و نتایج آن گزارش شود. در مورد دیگری که در آن امکان استفاده از این چارچوب در مناطق کوهستانی با انواع مختلف دسترسی به داده‌ها و رژیم‌های خطر مورد بررسی قرار گرفته است. این پیشنهاد مطابق با آن تغییر کرده و پس از تایید به پروتکل تاییدشده تبدیل خواهد شد. لازم به ذکر است که چون فرایند کدگذاری دوگانه برای تمام مواد کدگذاری شده انجام نشده است، ممکن است سوگیری طبقه‌بندی در میان متغیرهای تفسیری ایجاد شود. اما این مشکل از طریق راهنمایی‌های از پیش تعریف شده و ارجاعات متنی حل شده است.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعات عبارت بود از ارزیابی مبتنی روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق کوهستانی مبتنی بر چارچوب بر فراروش تعدد ۹۶ مطالعه مستقل در این تحقیق در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۶ استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که ارزیابی آسیب‌پذیری در مناطق کوهستانی از تحلیل‌های تک روشی فراتر رفته است. اما تنوع‌گرایی روش‌شناختی قادر به ارزیابی معماری کامل این مطالعات نبوده است. لذا یک چرخه ناقص از زنجیره روش خروجی و تصمیم‌گیری شکل گرفته است. اگر چه که در این فرایند روش‌های ترکیبی در حال حاضر غالب است اما درمقابل عدم قطعیت حاکم بر دستاوردها موضوعی چالش برانگیز در این حوزه است. از سوی دیگر انتقال نتایج به دست آمده به فرآیند تصمیم‌گیری از الگوی ناقصی برخوردار است. در بهترین حالت قوی‌ترین نتیجه ساختاری به دست آمده موید ارتباطی متوسط بین معماری روش و کامل‌بودن زنجیره M-O-D است که خود جای بررسی عمیق‌تری دارد.

افزودن بر این‌ها، به نظر نمی‌رسد توسعه ابزارهای تحلیلی جدید، اگر به صورت هم‌زمان به انسجام معماری ارزیابی توجه نشود، به‌تنهایی برای رفع این شکاف کفایت نخواهد کرد. تمرکز بر تکمیل زنجیره از چارچوب‌بندی مسئله و مفهوم‌سازی آسیب‌پذیری، از طریق معماری داده و روش، مدل‌سازی استوار، ترجمه خروجی و پیوند با تصمیم در قالب یک چارچوب هشت‌مرحله‌ای پیشنهادی گزینه‌ای تعیین‌کننده برای رفع این مشکل ساختاری است. لذا همین موضوع نیز می‌تواند بنیاد مطالعات بعدی برای بهبود ساختاری مبتنی بر داده‌های تجربی فراهم سازد.

References

- Aksha, S. K., Juran, L., Resler, L., & Zhang, Y. (2018). An Analysis of Social Vulnerability to Natural Hazards in Nepal Using a Modified Social Vulnerability Index. *International Journal of Disaster Risk Science*. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0192-7>.
- Alcántara-Ayala, I. (2008). On the historical account of disastrous landslides in Mexico: the challenge of risk management and disaster prevention. *Advances in geosciences*. <https://doi.org/10.5194/adgeo-14-159-2008>.

- Attiogbé, A. A. C., Abotsi, K., Adjossou, K., Parkoo, E. N., Adjonou, K., & Kokou, K. (2022). Climate vulnerability of coffee-cocoa agrosystems in the sub-humid mountain ecosystems in south-west Togo (West Africa). *Environmental Systems Research*. <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00274-4>.
- Azmeri, A., & Isa, A. H. (2018). An analysis of physical vulnerability to flash floods in the small mountainous watershed of Aceh Besar Regency, Aceh province, Indonesia. *Jamba*. <https://doi.org/10.4102/jamba.v10i1.550>.
- Bai, Y., Kaneko, I., Kobayashi, H., Kurihara, K., Takayabu, I., Sasaki, H., & Murata, A. (2014). A Geographic Information System (GIS)-based approach to adaptation to regional climate change: a case study of Okutama-machi, Tokyo, Japan. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9450-6>.
- Batista, E. F., & Passini, L. D. B. (2025). Ecological vulnerability in landslide risk measurement in the municipality of Barra do Turvo, São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.4.p2621-2639>.
- Bhandari, A., Magar, N. T., Thapa, B. J., Shahi, P., & Sharma, T. P. P. (2024). Measuring climate vulnerability of tourism-dependent livelihoods: The case of Lamtang National Park. *Journal of Tourism and Himalayan Adventures*. <https://doi.org/10.3126/jtha.v6i1.67397>.
- Bista, R. (2023). Assessment of Climate Change induced Household Vulnerability in Nepal: Application of Index Method. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities*. <https://doi.org/10.35877/soshum1151>.
- Brown, T. M., Amirkhiz, R. G., Albright, S., Arnold, A., Brown, E., Brown, C., Chevreuil, V., Cheung, R., Cortes, D., Gallardo, J., Hanna, K., Lozano, R. R., Rebellon, J., Santillana, L., Silberberg, K., Yoo, J., Bernier, K., Ruegg, K., Hooten, M., & Zavaleta, E. (2026). Co-limitation by stable, dynamic and directional habitat features shapes climate vulnerability in an alpine specialist. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.64898/2026.04.09.717579>.
- Bui, V. L., Vu, B. T., Pham, K. D., Nong, D., Pham, D. V., Le, N., Pham, L. T., Brychkova, G., McKeown, P., Murray, C., S.Obaitor, O., Garschagen, M., & Spillane, C. (2026). Analytical hierarchy process-based mapping of social vulnerability to climate change in mountainous communes across Northwestern Vietnam. *GeoJournal*. <https://doi.org/10.1007/s10708-026-11588-6>.
- Cai, Y., Guo, X., Liu, J., Wang, D., & Zheng, J. (2025). Ecological geological vulnerability assessment in Northern Shanxi Province (China) based on sensitivity resilience pressure (SRP) model. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92642-0>.
- Calvo, R., Amigo, C., Billi, M., González, M. F., Urquiza, A., Álamos, N., & Navea, J. (2021). Territorial Energy Vulnerability Assessment to Enhance Just Energy Transition of Cities. *Frontiers in Sustainable Cities*. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.635976>.
- Cavallo, A., Cannata, G., Mastronardi, L., & Romagnoli, L. (2025). Environmental vulnerability in Italian mountain areas and its socioeconomic drivers. *RIVISTA DI ECONOMIA AGRARIA*. <https://doi.org/10.36253/rea-16630>.
- Ciurean, R., Hussin, H., Westen, C., Jaboyedoff, M., Nicolet, P., Chen, L., Chen, L., Frigerio, S., & Glade, T. (2016). Multi-scale debris flow vulnerability assessment and direct loss estimation of buildings in the Eastern Italian Alps. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2612-6>.
- Cojocariu, L., Copăcean, L., Horablagă, N., Sărățeanu, V., Bostan, C., & Samfira, I. (2025). Ecological vulnerability of mountain grasslands in protected areas of southwestern Romania: limiting factors and degradation processes. *Present Environment and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.47743/pesd2025192011>.

- Collette, N., Pinel, S., Delorme-Hinoux, V., & Bertrand, J. A. M. (2026). Projecting spatiotemporal bioclimatic niche dynamics of endemic Pyrenean plant species under climate change: How much will we lose? *Ecography*, e08067. <https://doi.org/10.1002/ecog.08067>.
- Cong, W., Li, J., Zhang, Y., Huang, T., Gao, S., Yu, J., Zhang, Y., & Li, D. (2025). Snow Leopard habitat vulnerability assessment under climate change and connectivity corridor in Xinjiang Uygur autonomous region, China. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98909-w>.
- Cruz-Burga, Z., Fernández-Heaton, B. D. M., Ibáñez-Blancas, A. N., Chávez-Achong, J., & Sánchez-Uzcátegui, J. M. (2026). Socio-ecological drivers of forest-use change in the coffee landscapes of Chanchamayo, Peru. *Frontiers in Forests and Global Change*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2026.1769428>.
- Darabi, H., Islami Farsani, S., & Irani Behbahani, H. (2019). Evaluation of Ecological Vulnerability in Chelgard Mountainous Landscape. *Pollution*, 5(3), 597–610. <https://doi.org/10.22059/poll.2018.262881.486>.
- Fatima, K., Jan, M., Ahmad, I., Farooq, M., & Muslim, M. (2025). Micro-level vulnerability assessment among agricultural communities of District Kupwara, Kashmir Himalaya. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14950-9>.
- Favier, P., Bertrand, D., Eckert, N., & Naaim, M. (2014). A reliability assessment of physical vulnerability of reinforced concrete walls loaded by snow avalanches. *Natural hazards and earth system sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-689-2014>.
- Fayaz, M., Romshoo, S., Rashid, I., & Chandra, R. (2023). Earthquake vulnerability assessment of the built environment in the city of Srinagar, Kashmir Himalaya, using a geographic information system. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1593-2023>.
- Fuchs, S. (2009). Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited. *Natural hazards and earth system sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-337-2009>.
- Fuchs, S. (2010). A coupled vulnerability approach for European mountain regions. *WIT transactions on information and communication technologies*. <https://doi.org/10.2495/risk100441>.
- Fuchs, S., Orntsmüller, C., & Totschnig, R. (2012). Spatial scan statistics in vulnerability assessment: an application to mountain hazards. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-0081-5>.
- Gerlitz, J., Macchi, M., Brooks, N., Pandey, R., Banerjee, S., & Jha, S. K. (2016). The Multidimensional Livelihood Vulnerability Index – an instrument to measure livelihood vulnerability to change in the Hindu Kush Himalayas. *Climate and Development*. <https://doi.org/10.1080/17565529.2016.1145099>.
- Gjoni, F., & Kopliku, B. (2026). ENVIRONMENTAL VULNERABILITY TO TOURISM PRESSURE IN PROTECTED MOUNTAIN AREAS: THE CASE OF THETH NATIONAL PARK, ALBANIA. *Revue Roumaine de Géographie / Romanian Journal of Geography*. <https://doi.org/10.59277/rrg.2026.1.04>.
- Han, W., Guan, J., Zheng, J., Liu, Y., Ju, X., Liu, L., Li, J., Mao, X., & Li, C. (2023). Probabilistic assessment of drought stress vulnerability in grasslands of Xinjiang, China. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1143863>.
- Han, Y., Peng, S., Zhengchao, C., Xianzhao, L., Peng, H., & Shaokun, D. (2013). Disaster Insurance against Secondary Mountain Hazards in 32 Counties Severely Affected by the 2008 Wenchuan Earthquake. <https://doi.org/10.5595/idrim.2013.0054>.

- Handwerger, L. R., Runkle, J. R., Leeper, R., Shay, E., Dempsey, K. E., & Sugg, M. (2021). An Assessment of Social and Physical Vulnerability to Hydroclimate Extremes in Appalachia. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-469519/v1>.
- He, Y., Ding, M., Zheng, H., Gao, Z., Huang, T., Duan, Y., Cui, X., & Luo, S. (2023). Integrating development inhomogeneity into geological disasters risk assessment framework in mountainous areas: a case study in Lushan–Baoxing counties, Southwestern China. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05983-2>.
- Hespanhol, H., Cezón, K., Muñoz, J., Mateo, R. G., & Gonçalves, J. (2022). How vulnerable are bryophytes to climate change? Developing new species and community vulnerability indices. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108643>.
- Iwahashi, J., Yamazaki, D., Nakano, T., & Endo, R. (2021). Classification of topography for ground vulnerability assessment of alluvial plains and mountains of Japan using 30 m DEM. *Progress in Earth and Planetary Science*. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00398-0>.
- Jamal-ud-din, Ainuddin, S., Murtaza, G., Faiz, S., Muhammad, A., Raheem, A., & Khan, S. (2023). Earthquake vulnerability assessment through spatial multi-criteria analysis: a case study of Quetta city, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10967-3>.
- Jing, X., Qiao, C., Zhang, D., & Wang, R. (2026). Spatio-temporal evolution and driving factors of land degradation in Deyang City, Sichuan province. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2026.1855067>.
- Joshi, B. R., Bhandary, N., Acharya, I. P., K.C., N., & Bhandari, C. (2026). Geospatial Integration of Landslide Susceptibility and Road Network Vulnerability in Mountainous Terrain. *Journal of Engineering Issues and Solutions*. <https://doi.org/10.3126/joeis.v5i2.97804>.
- Jr., C. E. J., Leibowitz, S., Sawicz, K. A., Comeleo, R., Stratton, L., Morefield, P., & Weaver, C. (2020). Using hydrologic landscape classification and climatic time series to assess hydrologic vulnerability of the western U.S. to climate. *Hydrology and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/hess-25-3179-2021>.
- Kashyap, A., Pandey, V. K., Bera, D., Parashar, D., Kumar, A., Pandey, A., Ullah, S., Alkhuraiji, W. S., & Zhran, M. (2026). Vegetation loss and climate-driven fragmentation in the Himalayan alpine ecosystem: an AI/ML-based LULC and carbon stock analysis. *Theoretical and Applied Climatology*. <https://doi.org/10.1007/s00704-026-06269-w>.
- Kee, T., Qiu, B., Du, Q., & Sui, J. (2025). An application of AHP-based fire vulnerability assessment for 20th century mountainous built heritage. *npj Heritage Science*. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01823-7>.
- Khadzhaev, R. N., & Fazilova, D. (2026). A spatial assessment of environmental vulnerability in the Akhangaran river basin, Uzbekistan. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Series "Earth Sciences"*. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-44-67>.
- Khatri, B. B., & Pasa, R. B. (2023). Climate Change Adaptation Strategies of the Communities in Bagmati Province, Nepal. *Pravaha*. <https://doi.org/10.3126/pravaha.v29i1.71409>.
- Земцов, , Бабурин, , Koltermann, K. P., Krylenko, I., Yumina, N. M., & Litvinov, V. (2014). SOCIAL RISK AND VULNERABILITY ASSESSMENT OF HAZARDOUS HYDROLOGICAL PHENOMENA IN RUSSIA. *GEOGRAPHY ENVIRONMENT SUSTAINABILITY*. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2014-7-4-95-117>.
- Lalrinsangpuii, Feroze, S., & Lalruatsangi, E. (2025). Evaluation of Climate Change Vulnerability and Adaptive Capacity among Turmeric Farmers in Mizoram. *International Journal of Economic Plants*. <https://doi.org/10.23910/2/2025.6303a>.
- Lan, B., Truong, D. D., Dat, T. T., Quang, B. H., Hang, N. D., & Huan, L. (2025). Assessment of community livelihood vulnerability to climate change in Vietnam: A case study of ethnic

- groups in Northern Upland Region. PLoS ONE. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0330482>.
- Li, C., & Shen, L. (2025). Research on landslide ecological vulnerability assessment in alpine valley region considering spatial heterogeneity and feature optimization: a case study of Luding County. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1686605>.
- Li, X., Yang, D., Wang, J., & Pan, G. (2025). Prediction of the change in suitable growth area of *Sabina tibetica* on the Qinghai-Tibetan plateau using MaxEnt model. *Frontiers in Forests and Global Change*. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1465416>.
- Lima, B. C., Francisco, C., & Bohrer, C. (2017). DESLIZAMENTOS E FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA REGIÃO SERRANA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. <https://doi.org/10.5902/1980509830321>.
- Limboo, S., Guite, L., Haq, A. U., & Bharti, S. (2025). Evaluating determinants of inherent vulnerability and risk index (IVRI) assessment of Gangtok city using PCA (Principal Component Analysis) approach. *Discover Environment*. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00398-1>.
- Lyngdoh, V., Lynrah, M. M., Wahlang, E., Nongrang, A. L., Wahlang, N., Chiang, A., & Beda, J. (2025). District-level climate vulnerability assessment in Meghalaya using an IPCC AR5 framework. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26651-4>.
- Ma, R., Liu, L., Xu, J., Yang, M., Xu, G., Yang, H., & Ma, M. (2025). Vulnerability-based analysis of traditional village distribution in Northwest Yunnan as an ecologically fragile area. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27342-w>.
- Magdiev, K., Fazilova, D., & Kazakov, A. (2026). GIS-based Ecological Vulnerability Assessment in a Mountainous Region: the Charvak Reservoir, Uzbekistan. *Forum Geografic*. <https://doi.org/10.23917/forgeo.13377>.
- Maggini, R., Lehmann, A., Zbinden, N., Zimmermann, N. E., Bolliger, J., Schröder, B., Foppen, R., Schmid, H., Beniston, M., & Jenni, L. (2014). Assessing species vulnerability to climate and land use change: the case of the Swiss breeding birds. *Diversity and Distributions*. <https://doi.org/10.1111/ddi.12207>.
- Malik, I. H., & Ford, J. D. (2024). Monitoring climate change vulnerability in the Himalayas. *AMBIO*. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02066-9>.
- Marshall, A. M., Abatzoglou, J. T., Koshkin, A. L., & Rhoades, A. M. (2026). High-resolution mountain topography can inform global snow vulnerability estimates. *Environmental Research Letters*, 21(1), 014017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ae2d73>.
- McGahey, D. J., Williams, D. G., Muruth, P., & Loubser, D. (2013). Investigating climate change vulnerability and planning for adaptation: Learning from a study of climate change impacts on the Mountain Gorilla in the Albertine Rift. *Natural Science*. <https://doi.org/10.4236/ns.2013.55a002>.
- Mekonen, A. A., & Berlie, A. B. (2021). Rural households' livelihood vulnerability to climate variability and extremes: a livelihood zone-based approach in the Northeastern Highlands of Ethiopia. *Ecological Processes*. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00313-5>.
- Mohanty, S. K., Agrawal, N., Mahapatra, B., Choudhury, D., Tuladhar, S., & Holmgren, E. V. (2017). Multidimensional poverty and catastrophic health spending in the mountainous regions of Myanmar, Nepal and India. *International Journal for Equity in Health*. <https://doi.org/10.1186/s12939-016-0514-6>.
- Moreno-Abdelnur, A., Bateman, J. F. T., Bernal, J. E. M., Quesada, B., & Avila-Diaz, A. (2026). Integrated flood vulnerability assessment in a data-scarce tropical mountain-to-piedmont watershed. *Environmental Research Communications*. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae47ac>.

- Mountain, U., Tribe, U., Oden, J. H., Bauch, N. J., Arnold, R., Reilly, J. F., McMahon, P., Paschke, S., Beisner, K. R., & Walton-Day, K. (2020). Hydrogeologic characterization, groundwater chemistry, and vulnerability assessment, Ute Mountain Ute Reservation, Colorado and Utah. <https://doi.org/10.3133/sir20195122>.
- Muhammad, S., Khalid, T., Tayyab, M., Majeed, M., Nawaz, H., Bilal, M., Khan, M. J. T., & Khan, Z. (2026). Climate-growth coupling across elevational gradients: species-specific response of Himalayan conifers in Galyat region, Pakistan. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. <https://doi.org/10.15835/nbha54215211>.
- Mulska, O., Vasylytsiv, T., Levytska, O., Осінська, & Kynytska-Iliash, M. (2022). Assessment of environment of an area's social vulnerability: ecological aspect. *Agricultural and Resource Economics International Scientific E-Journal*. <https://doi.org/10.51599/are.2022.08.03.04>.
- Munyai, R. B., Nenwiini, S. C., Mohomi, T., Singo, M. V., & Chikoore, H. (2026). Flood vulnerability assessment in Mopani District Municipality, South Africa. Part 1: Physical factors and adaptation framework. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-026-08299-z>.
- Naithani, S., Naithani, S., Ray, P. K. C., & Joshi, R. (2019). A MULTI PARAMETRIC MICRO-LEVEL VULNERABILITY ASSESSMENT MODEL FOR MOUNTAIN HABITAT: A CASE EXAMPLE FROM BHILANGANA BLOCK, UTTARAKHAND HIMALAYA, INDIA. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxii-3-w8-267-2019>.
- Nepal, A., Mandal, R., Pradhananga, S., & Khanal, S. (2019). Assessing Climate Variability in Langtang Valley Using Livelihood Vulnerability Index. *Journal of aquatic science and marine biology*. <https://doi.org/10.22259/2638-5481.0201003>.
- Nisha, & Punia, M. (2014). Socio-economic vulnerability and sustainable development in context of Development vs. Conservation debate: A study of Bhagirathi Basin, Uttarakhand, INDIA. ~ The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences/International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xx-8-77-2014>.
- Onyango, E., Sahin, O., Awiti, A., Chu, C., & Mackey, B. (2016). An integrated risk and vulnerability assessment framework for climate change and malaria transmission in East Africa. *Malaria Journal*. <https://doi.org/10.1186/s12936-016-1600-3>.
- Orchard, S., Glover, D., Karki, S. T., Ayele, S., Sen, D., Rathod, R., & Rowhani, P. (2019). Exploring synergies and trade-offs among the sustainable development goals: collective action and adaptive capacity in marginal mountainous areas of India. *Sustainability Science*. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00768-8>.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Papathoma-Köhle, M. (2016). Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. *Natural hazards and earth system sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1771-2016>.
- Papathoma-Köhle, M., Schlögl, M., & Fuchs, S. (2019). Vulnerability indicators for natural hazards: an innovative selection and weighting approach. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50257-2>.
- Piedallu, C., Dallery, D., Bresson, C., Legay, M., Gégout, J., & Pierrat, R. (2022). Spatial vulnerability assessment of silver fir and Norway spruce dieback driven by climate warming. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-022-01570-1>.

- Pitchaimani, V., Jerin, R., Stuvvar, S. S. R., Liberthin, M., Antony, A., Promilton, A., & Abishek, S. (2026). Landslide susceptibility and vulnerability assessment using GIS–AHP in the highland of Wayanad, Western Ghats, India. *Discover Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s44475-026-00008-5>.
- Qiu, C., & Geng, X. (2025). An integrated method for assessing vulnerability of buildings caused by debris flows in mountainous areas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-709-2025>.
- Ruegg, K., Bossu, C., Amirkhiz, R. G., Goel, N., Robertson, E. C. N., Brown, T. M., Bernier, K., Vernasco, B., Bolton, P., Funk, E., Taylor, S. A., Hooten, M., & Zavaleta, E. (2026). Loss of Adaptive Capacity Drives Climate Vulnerability Across Taxonomic Scales in an Alpine Specialist Species Complex. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.64898/2026.05.13.724772>.
- Saputra, A., Sartohadi, J., Hadmoko, D., & Gomez, C. A. (2016). Geospatial Assessment of Coseismic Landslides in Baturagung Area. <https://doi.org/10.23917/forge.v29i2.693>.
- Sarieva, G. E., Yusupov, R., Bazarkanova, G. D., Maimulov, R. K., Moldakunova, N. K., & Bekbolotova, N. (2025). Analysis of Vulnerability of the Population of the Sary-Dzhas Natural Plague Focus in Kyrgyzstan. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2025-1-134-140>.
- Schlögl, M., Avian, M., Richter, G., Thaler, T., Heiss, G., Fuchs, S., & Lenz, G. (2019). On the nexus between landslide susceptibility and transport infrastructure – agent-based vulnerability assessment of rural road networks in the Eastern European Alps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(1), 201–219. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-201-2019>.
- Sguigaa, A., Lahssini, S., Moukrim, S., Sebari, I., Menzou, K., Rahoui, H., Khattabi, A., & Azedou, A. (2026). Quantifying aboveground carbon at risk and composite vulnerability in semi-arid mountain forests: A Landsat and field-inventory approach in the Moroccan High Atlas. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. <https://doi.org/10.12912/27197050/221824>.
- Shah, N. A., Shafique, M., Ishfaq, M., Faisal, K., & Meijde, M. van. der. (2023). Integrated Approach for Landslide Risk Assessment Using Geoinformation Tools and Field Data in Hindukush Mountain Ranges, Northern Pakistan. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15043102>.
- Shahzad, L. (2019). DOES LIVELIHOOD VULNERABILITY INDEX JUSTIFY THE SOCIO-ECONOMIC STATUS OF MOUNTAINOUS COMMUNITY? A CASE STUDY OF POST-EARTHQUAKE ECOLOGICAL ADAPTATION OF BALAKOT POPULATION. *Applied Ecology and Environmental Research*. https://doi.org/10.15666/aeer/1703_66056624.
- Shimpi, V., Sivasubramanian, M. V. R., Singh, S. B., & Periyasamy, D. (2021). Seismic vulnerability assessment and fragility curves for a multistorey gallery arch bridge. *SN Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04652-y>.
- Simane, B., Zaitchik, B., & Foltz, J. (2014). Agroecosystem specific climate vulnerability analysis: application of the livelihood vulnerability index to a tropical highland region. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9568-1>.
- Smyk, I., & Arkhypova, L. (2025). Environmental assessment of water resources in the tourist zones of Ivano-Frankivsk region: A case study. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. <https://doi.org/10.12912/27197050/209739>.
- Song, W., Chen, M., Zhang, Q., Liu, S., & Yang, J. (2017). Analysis of Human Disturbance and Ecological Security Evolution in Oasis in Arid Area Based on LUCC: A Case Study of

- Oasis in the Northern Tianshan Mountain Slope Economic Zone. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/74/1/012018>.
- Tessema, I., & Simane, B. (2019). Vulnerability analysis of smallholder farmers to climate variability and change: an agro-ecological system-based approach in the Fincha'a sub-basin of the upper Blue Nile Basin of Ethiopia. *Ecological Processes*. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0159-7>.
- Tian, H., Xiao, C., Xu, H.G., Liang, X., Zhao, H., Zhao, Q., Qiao, L., & Zhang, W. (2024). GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT FOR NITRATE POLLUTION BASED ON MODIFIED DRASTIC METHOD: A CASE STUDY IN SOUTHWEST CHINA. *Applied Ecology and Environmental Research*. https://doi.org/10.15666/aeer/2203_23392358.
- Tokarev, S., Amelichev, G., Braga, E., & Sereda, A. (2024). Assessment of Karst Groundwater Vulnerability to Contamination as a Tool for Delineation of Source Protection Zones: A Case Study in the Crimean Mountains. *Russian Journal of Earth Science*. <https://doi.org/10.2205/2024es000953>.
- Utasse, M., Jomelli, V., Grancher, D., Leone, F., Brunstein, D., & Virmoux, C. (2016). Territorial Accessibility and Decision-Making Structure Related to Debris Flow Impacts on Roads in the French Alps. *International Journal of Disaster Risk Science*. <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0088-3>.
- Valencia, J. B., Mesa, J., León, J., Madriñán, S., & Cortés, A. (2020). Climate Vulnerability Assessment of the Espeletia Complex on Páramo Sky Islands in the Northern Andes. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.565708>.
- Veloso, V., Reis, F. A. G. V., Cabral, V., Ribeiro, T. D. C., Corrêa, C. V. D. S., Giordano, L. C., & Sá, A. A. (2026). Integrated debris flow hazard assessment in critical infrastructure zones: a case study of the 2022 Cubatão event, Serra do Mar, Brazil. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-026-07969-2>.
- Wang, J., Chen, J., Zeng, L., Yang, F., Li, X., Zhao, W., & Chen, H. (2026). Assessment of the vulnerability of buildings destroyed during postfire debris flow events in Kule village, Yajiang County, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-26-2717-2026>.
- Wu, J., Liu, H., Li, T., Ou-Yang, Y., Zhang, J., Zhang, T., Huang, Y., Gao, W., & Shao, L. (2023). Evaluating the ecological vulnerability of Chongqing using deep learning. *Environmental science and pollution research international*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28032-8>.
- Xu, X., Tian, H., Yang, G., Li, X., He, X., Li, Y., Gao, Y., Li, F., Li, P., Liu, B., & Xue, L. (2023). Spatial and temporal changes in land and water resources on the northern slopes of the Tianshan mountains from the perspective of "production-living-ecological space". *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1121248>.
- Zeng, J. J., Li, K., Cui, Y. C., Kang, L. F., & Cao, S. (2019). Study on vulnerability assessment of Xiaoxiang water source in Qujing. *IOP Conference Series: Earth and Environment*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/344/1/012163>.
- Zhang, F., Zhang, J., Chen, Y., Ma, Q., Guo, E., & Wang, Y. (2016). Assessment of West Liaohe River Basin's Ecological Vulnerability and Temporal-Spatial Distribution based on Landscape Pattern *. <https://doi.org/10.2991/rac-16.2016.7>.
- Zhao, K., & Chi, L. (2021). Assessment of External Spatial Vulnerability of Mountain Cities under Climate Change : Zhao Tong Case Study, China. *Proceedings of the 57th ISOCARP World Planning Congress*. <https://doi.org/10.47472/nnau5vdf>.

- Zhou, L., Pan, A., Luo, F., & Cao, L. (2025). SPATIAL-TEMPORAL EVOLUTION OF ECOLOGICAL VULNERABILITY IN DADU RIVER BASIN, CHINA. *Applied Ecology and Environmental Research*. https://doi.org/10.15666/aeer/2302_28212836.
- Zhu, K., Zhu, Y., Zhao, Z., Wang, Y., Guo, X., Du, Y., Fu, J., & Gao, J. (2025). Ecological vulnerability and driving factors in the himalayan transboundary landscape under global climate change. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86811-4>.
- Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., & Glade, T. (2011). Physical vulnerability assessment for alpine hazards: State of the art and future needs. *Natural Hazards*, 58(2), 645–680. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4>.
- Thakur, S., Negi, V. S., Dhyan, R., Satish, K. V., & Bhatt, I. D. (2021). Vulnerability assessments of mountain forest ecosystems: A global synthesis. *Trees, Forests and People*, 6, 100156. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100156>.
- Sultan, H., Zhan, J., Rashid, W., Chu, X., & Bohnett, E. (2022). Systematic review of multi-dimensional vulnerabilities in the Himalayas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), 12177. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912177>.



Industrial Symbiosis in Eco-Industrial Parks of Developing Countries: A Review of Challenges, Barriers and Success Factors

Atefe Dehghani^{a*}, Mahdi Soheili^b, Mahdi Homayouni^b, Sajjad Mozaffari^b

^aDepartment of Biology, Faculty of Medical Sciences, Islamic Azad University, Sanandaj Branch, Kurdistan, Iran.

^bDepartment of Environmental Planning, Management and HSE, Aras International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: atefedehqani1999@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2540-9318>

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2026/08/24
Received in revised form:
2026/09/09
Accepted 2026/09/24
Available online: 2026/09/25

Keywords:
Eco-Industrial Park,
Success Factors,
Developing Countries,
Institutional Barriers,
Industrial Symbiosis.

This study aimed to systematically review the challenges, barriers, and success factors of industrial symbiosis in eco-industrial parks of developing countries. Despite extensive research in industrialized countries, developing contexts have remained overlooked in the literature due to institutional voids, weak infrastructure, financial constraints, and specific socio-cultural norms. The study seeks to identify theoretical gaps and propose a context-based model for implementing industrial symbiosis in these countries. A systematic search was conducted in Web of Science, Scopus, Science Direct, and Google Scholar using keywords related to industrial symbiosis, eco-industrial parks, developing countries, and challenges/success factors. Inclusion criteria comprised full peer-reviewed research articles focused on developing countries and written in English or Persian. After two-stage screening (title/abstract and full text) and methodological quality assessment, 35 eligible articles were selected. Data were coded based on a four-dimensional framework (institutional, technical, economic, and socio-cultural) and synthesized using qualitative content analysis. Barriers were identified in four categories: institutional (weak laws, lack of incentive policies, ambiguous ownership), technical (poor infrastructure, data scarcity, limited awareness), economic (high investment costs, high risk, limited access to finance), and socio-cultural (distrust, resistance to change, low social capital). In contrast, four key success factors were identified: the role of facilitators and intermediary institutions, participatory design and trust-building through pilot projects, flexibility in financial models and utilization of foreign investment, and adaptation to local context through the use of indigenous waste streams and anchor industries. The proposed conceptual model rests on four pillars: gradual institutionalization, pilot-orientation, local context adaptation, and stakeholder participation. Copying developed-country experiences without considering local requirements is associated with high failure rates, and success requires stepwise, context-sensitive, and capacity-based design. The findings provide clear policy implications for governments, industrial managers, and international bodies to facilitate the transition toward sustainable eco-industrial parks.

Cite this article: Dehghani, A., Soheili, M., Homayouni, M. & Mozaffari, S. (2026). Industrial Symbiosis in Eco-Industrial Parks of Developing Countries: A Review of Challenges, Barriers and Success Factors. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 123-136. <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598868.1040>

© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598868.1040>

Introduction

Increasing resource depletion, climate change, and the accumulation of industrial waste have intensified the need to move beyond linear models of production and consumption toward circular and resource-efficient industrial systems. Industrial symbiosis (IS), which involves the exchange of materials, energy, water, infrastructure, and knowledge among industrial actors, provides an important mechanism for implementing circular economy principles at the industrial ecosystem level. When these interactions are organized within a geographically defined industrial area, they can contribute to the development of eco-industrial parks (EIPs), in which firms and other stakeholders pursue environmental, economic, and social benefits through coordinated resource sharing and collective action. Despite the growing international attention to industrial symbiosis and eco-industrial parks, their implementation in developing countries cannot be considered a simple transfer of models developed in industrialized contexts. Many developing countries are characterized by institutional fragmentation, weak regulatory enforcement, inadequate infrastructure, limited access to finance and technology, informal economic activities, market instability, and context-specific social and cultural conditions. These characteristics influence the formation, coordination, and sustainability of symbiotic relationships and may substantially alter the conditions required for successful EIP development.

Existing literature provides valuable insights into industrial symbiosis; however, evidence concerning the specific barriers and enabling conditions in developing countries remains fragmented across different geographical, industrial, and institutional contexts. This fragmentation limits the development of context-sensitive implementation strategies and may encourage the adoption of standardized approaches that do not adequately reflect local conditions. Therefore, this study systematically reviews the literature on industrial symbiosis and eco-industrial parks in developing countries, focusing on the major barriers, enabling conditions, and implementation mechanisms. The review aims to develop an integrated understanding of institutional, technical, economic, and socio-cultural conditions and to synthesize these findings into a context-sensitive conceptual framework for EIP development.

Method

A systematic literature review was conducted to identify, assess, and synthesize research addressing industrial symbiosis and eco-industrial parks in developing-country contexts. Literature searches were performed in Web of Science, Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, and selected Persian-language databases. The search strategy combined terms related to industrial symbiosis, eco-industrial parks, developing countries, barriers, challenges, enabling conditions, and success factors. Publications from 2000 to 2026 were considered, with greater attention given to recent studies in order to incorporate current developments in the field. Studies were included when they were peer-reviewed research articles that explicitly addressed industrial symbiosis or eco-industrial parks in developing or low- and middle-income countries and examined at least one relevant barrier, enabling condition, success factor, implementation mechanism, or lesson learned. Studies focusing exclusively on general sustainability or circular economy issues without a specific connection to industrial symbiosis, studies conducted solely in developed-country contexts without relevant comparison, and publications lacking sufficient methodological or empirical information were excluded.

The screening process consisted of title and abstract screening followed by full-text assessment. Duplicate and irrelevant records were removed, and the remaining studies were evaluated according to the inclusion criteria and methodological quality. The quality assessment considered the clarity of research objectives, appropriateness of methodology, transparency of reporting, and consistency between evidence and conclusions. Ultimately, 35 studies were selected for qualitative synthesis. Data were extracted using a structured coding framework covering study characteristics, geographical and industrial context, identified barriers, success factors, implementation mechanisms, and reported outcomes. The findings were analyzed through qualitative content analysis and organized into four dimensions: institutional and governance, technical and infrastructural, economic and financial, and socio-cultural factors.

Results

The findings indicate that barriers to industrial symbiosis in developing countries are interconnected across four dimensions. Institutional and governance barriers include weak or poorly enforced

regulations, fragmented responsibilities, limited institutional capacity, insufficient incentives, and uncertainty regarding ownership and benefit sharing. Technical and infrastructural barriers involve inadequate waste treatment and segregation, limited information on resource flows, technological constraints, inconsistent quality of secondary resources, and spatial separation between potential partners. Industrial symbiosis extends beyond material exchange to include water reuse, energy integration, and shared value-chain activities such as logistics, procurement, knowledge exchange, and workforce development. Economic and financial barriers include limited access to capital, high financing costs, investment uncertainty, and difficulties in funding shared infrastructure. Diversified financing, public-private partnerships, green finance, and risk-sharing mechanisms can help address these constraints, provided that appropriate institutional and regulatory frameworks are in place. Socio-cultural barriers include limited awareness, lack of trust, reluctance to share information, weak collaboration, and insufficient stakeholder participation, highlighting the importance of communication and trust-building.

Four major groups of success factors were identified. First, intermediary and facilitator institutions can improve coordination, information exchange, trust, and identification of symbiotic opportunities. Second, participatory implementation and pilot projects can reduce uncertainty, support institutional learning, demonstrate benefits, and build stakeholder confidence. Third, financial flexibility and risk-sharing mechanisms can facilitate investment by diversifying financing sources and reducing financial risks. Fourth, adaptation to local conditions is essential; symbiotic networks should reflect local resources, industries, infrastructure, markets, institutional capacities, and regional priorities rather than replicate standardized EIP models. In less mature industrial networks, anchor industries can also provide a foundation for developing broader symbiotic relationships.

Conclusions

The synthesis indicates that industrial symbiosis in developing countries involves two simultaneous processes: establishing the institutional, technical, financial, and social foundations required for collaboration and generating tangible environmental and economic benefits through that collaboration. Consequently, successful EIP development requires more than technological solutions or waste-exchange opportunities. It requires an integrated process of institutional development, stakeholder coordination, financial mobilization, capacity building, and adaptation to local conditions.

Based on the synthesized evidence, a four-pillar conceptual framework is proposed. The first pillar is gradual institutionalization and effective governance, emphasizing clear responsibilities, supportive policies, regulatory capacity, and appropriate incentive mechanisms. The second is intermediary facilitation and stakeholder participation, focusing on trust building, information exchange, coordination, and inclusive decision-making. The third is pilot-oriented and financially flexible implementation, emphasizing incremental development, institutional learning, risk reduction, and diversified financing. The fourth is local-context adaptation, which aligns symbiotic networks with regional resources, industries, infrastructure, market conditions, and socio-economic characteristics.

The findings suggest that industrial symbiosis in developing countries should be approached as an evolutionary and context-dependent process rather than as the direct replication of standardized models. Effective implementation requires simultaneous attention to institutional capacity, technical infrastructure, economic feasibility, and socio-cultural conditions. Policies and programs should therefore combine regulatory and financial support with participatory planning, local facilitation, capacity building, and experimentally oriented implementation.

Several limitations should be considered. The reviewed literature is heterogeneous in terms of definitions, analytical approaches, geographical coverage, and methodological quality. The number of longitudinal studies remains limited, and evidence is concentrated in particular regions. In addition, the review was restricted to English- and Persian-language literature. Future research should strengthen longitudinal and comparative analyses, employ quantitative and econometric approaches where appropriate, investigate the role of digital technologies and informal economic activities, and develop empirical models for assessing the long-term performance of EIPs in different developing-country contexts. Further research can also contribute to developing context-specific implementation frameworks for industrial symbiosis and eco-industrial parks in countries undergoing industrial and circular-economy transitions.



همزیستی صنعتی در پارک های اکولوژیکی کشورهای در حال توسعه: مرور چالش ها، موانع و عوامل موفقیت

عاطفه دهقانی^{a*}، مهدی سهیلی^b، مهدی همایونی^b، سجاد مظفری^b

^aگروه زیست شناسی، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران.
^bگروه برنامه ریزی، مدیریت و HSE محیط زیست، پردیس بین المللی ارس، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: darabih@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	پژوهش حاضر با هدف مرور نظام مند چالش ها، موانع و عوامل موفقیت همزیستی صنعتی در پارک های اکولوژیک کشورهای در حال توسعه انجام شد. با وجود پژوهش های گسترده در کشورهای صنعتی، بسترهای در حال توسعه به دلیل خلأهای نهادی، ضعف زیرساخت ها، محدودیت های مالی و هنجارهای اجتماعی- فرهنگی خاص، در ادبیات موجود مغفول مانده اند. این مطالعه در صدد است ضمن شناسایی شکاف های نظری، مدلی بافت مند برای پیاده سازی همزیستی صنعتی در این کشورها ارائه دهد. جستجوی نظام مند در پایگاه های Science Direct، Scopus، Web of Science و Google Scholar با کلیدواژه های مرتبط با همزیستی صنعتی، پارک های اکولوژیک، کشورهای در حال توسعه، و مؤلفه های چالش ها و عوامل موفقیت انجام شد. معیارهای ورود شامل مقالات پژوهشی کامل دارای داور همتا، متمرکز بر کشورهای در حال توسعه و نگاشته شده به زبان انگلیسی و فارسی بود. پس از غربالگری دو مرحله ای (عنوان، چکیده و متن کامل) و ارزیابی کیفیت روش شناختی، ۳۵ مقاله واجد شرایط انتخاب شدند. داده ها بر اساس چارچوب چهاروجهی (نهادی، فنی، اقتصادی و اجتماعی- فرهنگی) کدگذاری و با استفاده از تحلیل محتوای کیفی ترکیب شدند. موانع در چهار دسته نهادی (ضعف قوانین، نبود سیاست های تشویقی و ابهام در مالکیت)، فنی (ضعف زیرساخت ها، کمبود داده و آگاهی محدود)، اقتصادی (هزینه های سرمایه گذاری بالا، ریسک بالا و دسترسی محدود به تأمین مالی) و اجتماعی- فرهنگی (بی اعتمادی، مقاومت در برابر تغییر و سرمایه اجتماعی پایین) شناسایی شدند. در مقابل، چهار عامل موفقیت کلیدی شامل نقش تسهیل گر و نهاد واسطه، طراحی مشارکتی و اعتمادسازی از طریق پروژه های پایلوت، انعطاف پذیری در مدل های مالی و بهره مندی از سرمایه گذاری خارجی، و انطباق با بافت محلی از طریق استفاده از پسماندهای بومی و صنایع پیشران بودند. مدل مفهومی پیشنهادی بر چهار رکن نهادسازی تدریجی، پایلوت محوری، انطباق با بافت محلی و مشارکت ذی نفعان استوار است. رویکرد نسخه برداری از تجارب کشورهای توسعه یافته بدون توجه به الزامات بومی با نرخ بالای شکست همراه است و موفقیت نیازمند طراحی گام به گام، بافت مند و مبتنی بر ظرفیت های محلی است. یافته ها دلالت های سیاستی روشنی برای دولت ها، صنعتگران و نهادهای بین المللی در راستای تسهیل گذار به پارک های اکولوژیک پایدار ارائه می دهند.

استناد به این مقاله: دهقانی، عاطفه؛ سهیلی، مهدی؛ همایونی، مهدی و مظفری، سجاد (۱۴۰۵). همزیستی صنعتی در پارک های اکولوژیکی کشورهای در حال توسعه: مرور چالش ها، موانع و عوامل موفقیت. راهنمای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲)، ۱۲۳-۱۳۶.

<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598868.1040>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598868.1040>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

فشارهای فزاینده تحلیل منابع، تغییر اقلیم و انباشت پسماند در دهه‌های اخیر، گذار از الگوهای خطی تولید و مصرف را به دغدغه‌ای محوری برای سیاست‌گذاران و پژوهشگران تبدیل کرده است (De Abreu et al., 2022). در این بستر، همزیستی صنعتی به‌عنوان همکاری اختیاری و نظام‌مند میان واحدهای صنعتی مجاور برای تبادل محصولات جانبی، انرژی، آب و خدمات لجستیکی ظهور کرده و هم‌زمان مصرف مواد خام و دفع پسماند را کاهش می‌دهد (Rajak et al., 2026). وقتی این شبکه همزیستی در محدوده جغرافیایی مشخصی سازمان می‌یابد، پارک اکولوژیک شکل می‌گیرد؛ جامعه‌ای هماهنگ از واحدهای تولیدی و خدماتی که با زیرساخت مشترک و تبادلات متقابل، عملکرد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی خود را بهبود می‌دهند (Xie et al., 2023).

هرچند نمونه کلاسیک کالوندبورگ دانمارک الگوی اصلی باقی مانده، گسترش جهانی آن توسط نهادهایی مانند یونیدو و بانک جهانی نشان‌دهنده علاقه بین‌المللی است (Nag & Kohli, 2023). پرسش کلیدی، قابلیت انطباق این الگو با واقعیت‌های اقتصادی، نهادی و فرهنگی اساساً متفاوت کشورهای در حال توسعه است. در ادبیات معاصر، همزیستی صنعتی و پارک‌های اکولوژیک دیگر صرفاً راه‌حل مدیریت پسماند پایان خط نیستند، بلکه ابزارهای کلیدی عملیاتی‌سازی اقتصاد چرخشی در سطح اکوسیستم صنعتی‌اند (UNIDO, 2023). با جایگزینی مواد خام اولیه با محصولات جانبی بازیافتی، این الگو به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، فشار بر منابع طبیعی و افزایش بهره‌وری انرژی کمک کرده و اهداف توسعه پایدار ۹، ۱۲ و ۱۳ را نشانه می‌رود (UNIDO, 2023). در کشورهای در حال توسعه، مزایای همزیستی صنعتی از مرزهای زیست‌محیطی فراتر رفته و ابعاد اقتصادی و اجتماعی برجسته‌تری می‌یابد؛ کاهش کمبود سرمایه، وابستگی وارداتی، بیکاری و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی ناپایدار، به شرط فراهم بودن شرایط نهادی، فنی و اجتماعی (Barathi et al., 2026).

با این حال، توزیع پژوهش‌ها بسیار نامتوازن است. بیشتر چارچوب‌ها، ابزارهای ارزیابی و معیارهای موفقیت بر تجربه کشورهای صنعتی اروپا، آمریکای شمالی و شرق آسیا مبتنی‌اند؛ جایی که نهادهای کارآمد، مقررات زیست‌محیطی اجراپذیر، شفافیت بازار و دسترسی به فناوری‌های پاک، شکل‌گیری همزیستی صنعتی را تسهیل کرده‌اند. در کشورهای در حال توسعه، حضور بخش اقتصاد غیررسمی، ساختارهای حکمرانی تکه‌تکه، قیمت‌های پرنوسان انرژی، محدودیت‌های مالی و فنی و هنجارهای اجتماعی-فرهنگی خاص، محیط عملیاتی را اساساً دگرگون می‌کند. مرورهای نظام‌مند پیشین یا این بسترها را کاملاً حذف کرده‌اند یا حاشیه‌ای دیده‌اند. این شکاف تنها یک کمبود دانشگاهی نیست؛ مانعی عملی است، زیرا نهادهای توسعه بین‌المللی و سیاست‌گذاران ملی اغلب طرح‌های آماده پارک اکولوژیک را بدون توجه به الزامات محلی از کشورهای توسعه‌یافته اقتباس می‌کنند و نرخ شکست بالا، هدررفت سرمایه و بی‌اعتمادی فزاینده میان ذی‌نفعان محلی را رقم می‌زنند. از این‌رو، نیاز به یک مرور نظام‌مند، جامع و حساس به بافت که چالش‌ها را بررسی و عوامل موفقیت را در کشورهای در حال توسعه شناسایی کند، آشکار است.

مقاله حاضر با آگاهی از این شکاف، مروری نظام‌مند و نقادانه بر ادبیات همزیستی صنعتی و پارک‌های اکولوژیک با تأکید بر کشورهای در حال توسعه انجام می‌دهد. هدف اصلی به دو هدف فرعی تفکیک می‌شود: دسته‌بندی و تحلیل نظام‌مند موانع چندوجهی، و شناسایی و نظریه‌پردازی درباره عوامل موفقیت. سه پرسش پژوهشی این مرور را هدایت می‌کند: موانع نهادی، فنی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی؛ عوامل موفقیت و تفاوت‌های آن‌ها با بستر کشورهای توسعه‌یافته؛ و چگونگی ترسیم چارچوب بافت‌مند برای پیاده‌سازی. ساختار مقاله شامل مقدمه، مبانی نظری و چارچوب تحلیلی، روش‌شناسی، یافته‌های چالش‌ها، یافته‌های عوامل موفقیت، بحث و سنتز یافته‌ها با مدل مفهومی پیشنهادی، و در نهایت نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و جهت‌گیری‌های آینده است.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با هدف مرور نظام‌مند ادبیات در حوزه همزیستی صنعتی و پارک‌های اکولوژیک در کشورهای در حال توسعه، به‌کارگیری رویکردی ساختاریافته و شفاف را در دستور کار قرار داد. جستجوی سیستماتیک در پایگاه‌های داده معتبر بین‌المللی شامل وب آو ساینس، اسکوپوس و ساینس دایرکت انجام شد و برای پوشش جامع‌تر ادبیات خاکستری و مطالعات منتشر شده در پایگاه‌های داخلی، از گوگل اسکالر، مگیران و نورمگز نیز بهره گرفته شد. ترکیب جستجو با استفاده از عملگرهای بولی و کلیدواژه‌های مرتبط با سه حوزه اصلی یعنی مفاهیم همزیستی صنعتی و پارک‌های اکولوژیک، بستر کشورهای در حال توسعه، و مؤلفه‌های چالش‌ها و عوامل موفقیت تدوین گردید. دامنه زمانی جستجو سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۶ را در بر گرفت، اما در فرآیند غربالگری و تحلیل نهایی، اولویت با مقالات منتشر شده از سال ۲۰۲۰ به بعد بود.

معیارهای ورود شامل مقالات پژوهشی کامل دارای داوری همتا، با موضوع مشخص همزیستی صنعتی یا پارک‌های اکولوژیک، متمرکز بر کشورهای در حال توسعه و نگاشته شده به زبان انگلیسی یا فارسی بود. مقالات صرفاً کلی، مطالعات موردی از کشورهای توسعه‌یافته، مقالات مروری فاقد داده جدید و مقالات فاقد متن کامل از مطالعه خارج شدند. فرآیند غربالگری در دو مرحله انجام گرفت. در مرحله نخست، عنوان و چکیده مقالات توسط دو عضو تیم به طور مستقل بررسی و موارد بی‌ارتباط حذف شدند. در مرحله دوم، متن کامل مقالات باقی‌مانده مطالعه و مقالات فاقد عمق تحلیلی یا روش‌شناسی معتبر کنار گذاشته شدند. در نهایت ۳۵ مقاله انتخاب شد که تنوع جغرافیایی مناسبی از کشورهای در حال توسعه در آسیا، آفریقا، آمریکای لاتین و خاورمیانه را پوشش می‌دادند. داده‌های استخراج شده بر اساس چارچوب چهاروجهی شامل عوامل نهادی، فنی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی کدگذاری و با استفاده از تحلیل محتوای کیفی مورد بررسی قرار گرفتند.

به‌منظور افزایش شفافیت فرایند سنتز و فراهم‌کردن امکان مقایسه نظام‌مند ادبیات بررسی‌شده، منابع مورد استفاده از نظر روش یا رویکرد، عوامل کلیدی، ابعاد تحلیلی و وجوه اشتراک و افتراق مقایسه و در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه تحلیلی منابع بررسی‌شده از نظر روش / رویکرد، عوامل کلیدی، دسته‌بندی و وجوه اشتراک و افتراق
Table 1. Analytical comparison of the reviewed sources in terms of methods/factors, key factors, categorization, and points of convergence and divergence

ردیف	منبع	روش / رویکرد	عوامل کلیدی	دسته تحلیلی	شباهت‌ها	تفاوت‌ها / ویژگی‌های متمایز
۱	Barathi et al. (2026)	تلفیق IS، زیست پالایشگاه و اقتصاد چرخشی	پایداری، فناوری، SDGs	چند بعدی	تأکید بر توسعه پایدار مشابه مطالعات اقتصاد چرخشی	تمرکز بر زیست‌پذیری و SDGs
۲	Bilyaminu et al. (2024)	ارزیابی تحول اکو-صنعتی	عملکرد EIP، نهاده‌ها، ظرفیت فنی	نهادی / محلی	مشابه مطالعات EIP و سنجش عملکرد بوم‌سازی	تحقق ۳۹ شاخص EIP در گروه
۳	Boom-Cárcamo & Peñabaena-Niebles (2022)	تحلیل موانع و محرک‌های IS	عوامل نهادی و اقتصادی	نهادی / اقتصادی	مشابه مطالعات موانع و محرک‌های IS	تمرکز بر بازارهای نوظهور و مرزی
۴	Bosco et al. (2026)	تحلیل جریان منابع، سرمایه‌گذاری و نوآوری	سرمایه‌گذاری سبز، نوآوری، PPP	اقتصادی / فنی	مشابه مطالعات اقتصاد چرخشی و اهمیت مالی	نسبت سرمایه‌گذاری ۲/۴٪ نوآوری در PPP

۵	Buda (2026)	ارزیابی ظرفیت و پتانسیل IS	زیرساخت، مقررات، مشارکت بنگاه‌های کوچک	نهادی/ فنی/ اجتماعی	مشابه مطالعات اهمیت تسهیل‌گری و حمایت از بنگاه‌های کوچک	بررسی ظرفیت در سطح منطقه‌ای
۶	Castillo-Vergara et al. (2022)	تحلیل موانع و محرک‌ها	تبدیل منابع به محصولات صنعتی	نهادی	مشابه Nysten و Park و Buda	استخراج تاکسونومی IS در صنعت
۷	Chertow (2000)	مرور ادبیات و طبقه‌بندی IS	تبدیل منابع، مصرف و کاهش مصرف	مفهومی	مشابه مفاهیم و مبانی مطالعات IS	ارائه چارچوب کلاسیک IS
۸	De Abreu et al. (2022)	رویکرد اقتصاد چرخشی	حمل‌ونقل، EIP و منابع	محیط‌زیستی	مشابه مطالعات پایداری و اقتصاد چرخشی	تمرکز بر حمل‌ونقل و واسطه‌های مستقل
۹	Diele & Abam (2025)	ارزیابی تجربی و طراحی همزیستی	آمادگی پارک، جریان منابع، ظرفیت محلی	فنی/ محلی	مشابه Bilyaminu در اهمیت بوم‌سازی	آمادگی ۶۷٪ و شناسایی ظرفیت صنعتی و آب
۱۰	Diele et al. (2025)	مدل‌سازی تحول صنعتی سبز	SDGs، انرژی، زیست‌محیطی	اقتصادی/ فنی	مشابه Kleschov و Bosco در سرمایه‌گذاری	بررسی سرمایه‌گذاری و تحول صنعتی سبز
۱۱	Fiati et al. (2026)	تجربه پایلوت شبکه IS	صنایع محوری و تبادل مواد	فنی/ اجتماعی	مشابه Ngesa و Park در پایلوت و همکاری صنعتی	شناسایی سیمان، فلزات و کشاورزی به‌عنوان شبکه‌های اصلی
۱۲	Financial Express (2025)	گزارش/ خبر کارگاه	شکاف مقرراتی و نهادی	نهادی	مشابه Nguyen & Le و Tnah در اهمیت مقررات	تمرکز بر شکاف مقرراتی
۱۳	Gomez et al. (2026)	بررسی چالش‌های کسب‌وکار IS	عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی	چند بعدی	مشابه مطالعات موانع چندبعدی	بررسی همزمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی
۱۴	Kleschov (2024)	تحلیل جذابیت سرمایه‌گذاری	سرمایه‌گذاری، حمایت دولت	اقتصادی/ نهادی	مشابه Bosco و Diele در اهمیت تأمین مالی	تأکید بر جذابیت سرمایه‌گذاری و حمایت دولت
۱۵	Lombardi & Laybourn (2012)	بازتعریف IS	همکاری راهبردی، انرژی	مفهومی	مشابه Chertow در تأکید بر همکاری و شبکه‌سازی	پیوند دیدگاه دانشگاهی و عملی با انرژی
۱۶	Ng & Kohli (2023)	تحلیل اهمیت نهاده‌ها در EIP	کیفیت نهاده و حکمرانی	نهادی	مشابه مطالعات نظری موانع نهادی	تمرکز اختصاصی بر اهمیت نهاده‌ها
۱۷	Ngesa et al. (2023)	ارزیابی عملکرد در چارچوب EIP	مشارکت ذی‌نفعان، عملکرد EIP	نهادی/ اجتماعی	مشابه Park در مشارکت	استفاده از چارچوب EIP برای ارزیابی عملکرد
۱۸	Nguyen & Le (2025)	مطالعه حکمرانی IS	سیاست دولت، حکمرانی، موانع	نهادی	مشابه Tnah در نقش سیاست‌های حمایتی	دسته‌بندی و اولویت‌بندی موانع
۱۹	Nysten et al. (2025)	تجربه پایلوت شبکه صنعتی	همکاری، تسهیل‌گری، اعتماد	نهادی/ اجتماعی	مشابه Castillo-Vergara، Park و Buda	تمرکز بر تجربه پایلوت شبکه صنعتی
۲۰	Park et al. (2018)	تجربه پایلوت شبکه صنعتی	ایجاد IS در شرکت‌ها	اجتماعی/ نهادی	مشابه Ngesa و Fiati و Buda	ایجاد IS برای ۲۶ شرکت مهندسی
۲۱	Rajak et al. (2026)	بهینه‌سازی تبادل منابع	همکاری، کرایه منابع	فنی/ مفهومی	مشابه Chertow در تبادل منابع	مدل‌سازی بهینه‌سازی برای تبادل منابع

۲۲	Ramin et al. (2024)	مرور ۵۷ مورد مطالعه	آب، تصفیه و زیرساخت مشترک	فنی/ محیط‌زیستی	مشابه مطالعات مربوط به تبادل منابع	تمرکز بر آب و زیرساخت مشترک
۲۳	Tnah et al. (2023)	امکان‌سنجی EIP	سیاست، مقررات، مشارکت	نهادی	مشابه Nguyen & Le در اهمیت سیاست دولت	امکان‌سنجی EIP در مقیاس محلی
۲۴	UNIDO (2023)	ارزیابی جهانی EIP	چارچوب EIP، سرمایه‌گذاری	نهادی/ سیاسی	مشابه مطالعات EIP	رویکرد سازمانی و بین‌المللی
۲۵	UNIDO (2024)	تحلیل روند مناطق و اقتصاد سبز	رشد سبز، فناوری، ظرفیت بنگاه	سیاسی/ اقتصادی	مشابه مطالعات ظرفیت صنعتی	تمرکز بر روند مناطق و اقتصاد سبز
۲۶	World Bank (n.d.)	چارچوب تأمین مالی سبز	سرمایه، ابزارهای مالی سبز، بازار	اقتصادی/ نهادی	مشابه Bosco و Kleschov	تأکید بر بستر حقوقی و تأمین مالی سبز
۲۷	Xie et al. (2023)	تحلیل یکپارچه شبکه	شبکه IS و تبادل منابع	فنی/ شبکه‌ای	مشابه Rajak و Chertow در تبادل منابع	تمرکز بر تحلیل شبکه در یک پارک صنعتی مشخص

یافته‌ها و بحث

موانع نهادی و حاکمیتی

موانع نهادی فراگیرترین موانع در کشورهای در حال توسعه هستند. خلاهای قانونی، نبود ضمانت اجرایی و شکاف میان قوانین نوشته و اجرا شده، مهم‌ترین موانع محسوب می‌شوند (Thanh et al., 2023; Nguyen & Le, 2025). فقدان ظرفیت نهادی، قوانین را بی‌اثر می‌کند (Boom-Cárcamo & Peñabaena-Niebles, 2022). تان و همکاران (۲۰۲۳) در ویتنام، نبود سیاست‌های تشویقی و ضعف مقررات را مهم‌ترین موانع دانستند. بیل یامینو و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند پارک شارادا تنها ۳۹٪ شاخص‌ها را برآورده می‌کند. نگوین و له (۲۰۲۵) «سیاست‌های دولتی» را مهم‌ترین مانع دانستند. بوم-کارکامو و پنیابائنا-نیلس (۲۰۲۲)، موانع نهادی و اقتصادی را مهم‌ترین چالش‌ها معرفی کردند. فایننشال اکسپرس (۲۰۲۵) بر شکاف‌های نظارتی تأکید دارد. گومز و همکاران (۲۰۲۶) ضعف نهادی را از موانع اصلی دانستند. بودا (۲۰۲۶) زیرساخت‌های ضعیف و آگاهی محدود را موانع اصلی معرفی نمود.

ابعاد همزیستی صنعتی

همزیستی صنعتی چهار بعد دارد: اشتراک منابع، مدیریت آب، بهینه‌سازی انرژی و زنجیره ارزش (Chertow, 2000; Lombardi & Laybourn, 2012). در بعد نخست، مبادله پسماندهای جامد صورت می‌گیرد، اما ناهمگونی کیفی و فاصله جغرافیایی چالش‌آفرین است. رامین و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند همزیستی آب میان‌بنگاهی بسیار محدود است. بعد انرژی با ایجاد شبکه‌های توزیع گرمای اتلافی، نقطه ورودی عملی‌تری است (Lombardi & Laybourn, 2012). بعد زنجیره ارزش، شامل همکاری در لجستیک و بازاریابی، همزیستی را به شراکت استراتژیک ارتقا می‌دهد. در کشورهای در حال توسعه، این بعد نیازمند سرمایه‌گذاری سنگین زیرساختی نیست. پروژه‌های تک‌بعدی در بلندمدت شکست خورده‌اند (Chertow, 2000).

نقش تسهیل‌گر و نهاد واسط

نهاد واسط یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل موفقیت است که شکاف‌های اطلاعاتی و اعتمادی را پر می‌کند (Castillo-Vergara et al., 2022; Nylén et al., 2025). کاستیلو-ورگارا و همکاران (۲۰۲۲) فقدان نهادهای میانجی را مانع کلیدی دانستند. نیلن و همکاران (۲۰۲۵) در فنلاند نشان دادند نهادهای مدیریتی هماهنگی ذی‌نفعان را تسهیل می‌کنند. نگسا و همکاران (۲۰۲۳) در اوگاندا بر نقش حیاتی ذی‌نفعان تأکید دارند. بودا (۲۰۲۶) ظرفیت‌سازی نهادی

را راهبرد کلیدی دانست. **پارک و همکاران (۲۰۱۸)** در کلمبیا نشان دادند تسهیل‌گران محلی ۲۰ پروژه را با ۳۶ شرکت شکل دادند.

طراحی مشارکتی و پروژه‌های پایلوت

پروژه‌های پایلوت ابزاری مؤثر برای اعتمادسازی و یادگیری نهادی هستند (Park et al., 2018; Negesa et al., 2023). برنامه پایلوت کلمبیا با مشارکت ۳۶ شرکت، ۲۰ پروژه ایجاد کرد. **فیاتی و همکاران (۲۰۲۶)** در غنا، صنایع سیمان، فلزات و کشاورزی را محورهای اصلی مبادلات معرفی کردند. **نگسا و همکاران (۲۰۲۳)** نشان دادند رویکرد پایلوت‌محور با کاهش ریسک، یادگیری نهادی را ممکن می‌سازد. **دیل و آبام (۲۰۲۵)** در نیجریه، پارک تجاری لاین را با ۶۷٪ آمادگی، بیشترین پتانسیل معرفی کردند. **دیل و همکاران (۲۰۲۵)** نشان دادند جذب ۲۵۰ میلیون دلار سرمایه‌گذاری، ۱۵ هزار شغل ایجاد می‌کند.

انعطاف‌پذیری مالی و سرمایه‌گذاری خارجی

انعطاف‌پذیری مالی و جذب سرمایه‌گذاری خارجی عوامل کلیدی موفقیت هستند (Diele et al., 2025; Kleshchov, 2024; Bosco et al., 2026). **دیل و همکاران (۲۰۲۵)** نشان دادند جذب ۲۵۰ میلیون دلار در پارک انوگو، ارزش خالص فعلی ۱۷۵ میلیون دلار در ده سال دارد. **کلشچوف (۲۰۲۴)** در اوکراین، حمایت دولتی را ضروری دانست. **بایمانا و همکاران (۲۰۲۶)** در رواندا به نسبت سرمایه‌گذاری سبز ۴۵٪ دست یافتند. بانک جهانی بر محدودیت‌های تأمین مالی تأکید دارد.

انطباق با بافت محلی

موفق‌ترین پارک‌ها، شبکه‌های همزیستی را حول پسماندهای بومی و صنایع پیشران طراحی کرده‌اند (Bilyaminu et al., 2025; Diele & Abam, 2025; Diele et al., 2025). **دیل و آبام (۲۰۲۵)** در نیجریه، پتانسیل انرژی ۱۷۰ گیگاوات از پوسته‌های مغز نخل را شناسایی کردند. **دیل و همکاران (۲۰۲۵)** نشان دادند استفاده از پسماندهای بومی، انتشار کربن را ۲۵ تا ۳۰٪ کاهش می‌دهد. **بیل یامینو و همکاران (۲۰۲۴)** نشان دادند عدم توجه به بافت محلی، دلیل اصلی شکاف عملکردی است. **یونیدو (۲۰۲۴)** بر فرصت‌های جدید در مناطق ویژه اقتصادی تأکید دارد. این یافته‌ها با مدل «همزیستی لنگر محور» همخوانی دارد (Chertow, 2000; Lombardi & Laybourn, 2012).

جدول ۲. تحلیل مقایسه‌ای مطالعات منتخب در زمینه موانع، عوامل موفقیت و رویکردهای پیاده‌سازی همزیستی صنعتی در

پارک‌های اکولوژیک

Table 2. Comparative analysis of selected studies on barriers, success factors, and implementation approaches for industrial symbiosis in eco-industrial parks

مطالعه	کشور / بستر مطالعه	محور اصلی	مهم‌ترین موانع شناسایی شده	عوامل / راهکارهای موفقیت	شباهت با سایر مطالعات	تفاوت با یافته / مطالعات	دلایل برای کشورهای در حال توسعه
Fitil et al. (2026)	غنا	شناسایی شبکه حلقه همزیستی	محدودیت زیرساخت و شبکه مبادله	همکاری بین بازیگران و شناسایی جریان‌های قابل مبادله	شناسایی صنایع، سیستم، فرایند کشاورزی و زیستی به‌عنوان شبکه همزیستی	حتی با زیرساخت محدود می‌توان از ظرفیت‌های موجود شروع کرد	روابط غیررسمی موجود در صنعت و توسعه رسمی همزیستی هستند

Diele & Abam (2025)	نیجریه	ارزیابی آمادگی پارک‌ها	محدودیت زیرساخت و توسعه شبکه	استفاده از روابط همزیستی موجود و منابع بومی	همسو با تأکید اهمیت ظرفیت محلی	گزارش ۶۷٪ آمادگی برای پارک تجاری	روابط غیررسمی موجود در صنعت و توسعه رسمی همزیستی هستند
Diele et al. (2025)	نیجریه	مدل‌سازی تحول صنعتی سبز	کمبود سرمایه و زیرساخت	سرمایه‌گذاری خارجی و استفاده از سیستم‌های کشاورزی	همسو با مطالعات مالی و بومی‌سازی	مدل‌سازی جذب ۲۵۰ میلیون دلار سرمایه و ایجاد بیش از ۱۰ هزار شغل	پیوند سرمایه خارجی با منابع بومی می‌تواند همزیستی را تقویت کند
Kleshchov (2024)	اوکراین/ اقتصاد در حال گذار	جاذبیت سرمایه‌گذاری	ریسک سرمایه‌گذاری و ضعف نهادی	مشوق‌های مالیاتی، حمایت دولت و تسهیل اداری	همسو با مطالعات در اهمیت تأمین مالی	تمرکز مستقیم بر جاذبیت سرمایه‌گذاری	ابزارهای مالی بدون حمایت کافی اگرچه محدود است، اما می‌توانند نقش داشته باشند
Bosco et al. (2026)	رواندا	سرمایه‌گذاری نوآوری سبز	محدودیت تأمین مالی و نوآوری درون‌زا	مشارکت عمومی- خصوصی و کاهش ریسک	همسو با مطالعات تأمین مالی	گزارش سهم ۲۶٪ سرمایه‌گذاری سبز	تقسیم ریسک میان بخش عمومی و خصوصی می‌تواند سرمایه‌گذاری سبز را تسهیل کند
Buda (2026)	اوگاندا	ظرفیت همزیستی صنعتی	زیرساخت ضعیف، آگاهی محدود و اجرای ناقص مقررات	ظرفیت‌سازی نهادی و تقویت تسهیل‌گران محلی	همسو با مطالعات نهادی و تسهیلگری	ترکیب موانع فنی و نهادی و آگاهی می‌تواند مانع توسعه همزیستی شود	ترکیب موانع فنی و نهادی و آگاهی می‌تواند مانع توسعه همزیستی شود
Nylén et al. (2025)	فنلاند؛ مبنای مقایسه	نقش پارک‌های اکولوژیک در اقتصاد چرخشی	مسائل هماهنگی ذی‌نفعان	نهاد مدیریتی/ واسطه و فرهنگ شبکه	تأیید اهمیت تسهیلگر	مطالعه در کشورهای توسعه‌یافته و رویکرد متفاوت	در کشورهای در حال توسعه علاوه بر بهره‌گیری از بستر، ابتدا خود بستر نیز باید ساخته شود
Thanh et al. (2023)	ویتنام	امکان‌سنجی گذار به پارک اکولوژیک	نبود سیاست‌های تشویقی، چارچوب نهادی ضعیف و فقدان مقررات و دستورالعمل‌های مشترک	مشارکت ذی‌نفعان، چارچوب مدیریتی و شفاف‌سازی نقش‌ها	تأکید بر ظرفیت فنی	وجود ظرفیت فنی، اما ناکافی بودن آن در غیاب بستر نهادی	اصلاح چارچوب نهادی باید مقدم یا همزمان با توسعه فنی باشد

Bilyaminu et al. (2024)	نیجریه	ارزیابی عملکرد پارک شارادا	ضعف مقررات، کمبود نیروی متخصص و کمبود ظرفیت‌های بومی	استفاده از پسماندهای بومی و صنایع پیرامون	تأیید اهمیت عوامل نهادی و ظرفیت‌های محلی	دستیابی پارک به تنها ۳۹٪ شاخص‌های چارچوب بین-المللی	استانداردهای جهانی باید با ظرفیت‌های محلی سازگار شوند
Nguyen & Le (2025)	ویتنام	حکمرانی پارک اکولوژیک	سیاست‌های دولتی نامناسب و عدم اطمینان سرمایه‌گذاری	سیاست حمایتی و مشوق‌های مؤثر	همسو با Thanh et al. در اهمیت سیاست دولت	استفاده از رویکرد تحلیلی برای اولویت‌بندی موانع	کاهش عدم اطمینان سیاستی برای جذب سرمایه‌گذاری ضروری است
Boom-Carcamo & Peñabaena-Nieles (2022)	اقتصادهای نوظهور	موانع و محرک‌های صنعت همزیست	موانع نهادی و اقتصادی	تقویت بستر نهادی و اقتصادی	تأیید الگوی غالب موانع در مطالعات مختلف	نگاه فراتر از یک پارک یا کشور مشخص	تأکید بر اهمیت همزمان اصلاح نهادی و اقتصادی
Negesa et al. (2023)	اوگاندا	گذار تدریجی و مشارکت اجباری؟	ضعف نهادی و هماهنگی ذی‌نفعان	مشارکت دولت، شرکت‌ها و جامعه بین‌المللی و همکاری یکپارچه	همسو با Park et al. در اهمیت مشارکت	تأکید بر یکپارچگی و مشارکت چندجانبه	گذار تدریجی و مشارکتی از اجرای یکباره مناسب‌تر است
Park et al. (2018)	کلمبیا	تسهیل همکاری بین بنگاه‌ها	موانع ارتباطی، سازمانی و ارتباط	تسهیلگران محلی و پروژه‌های پایلوت	همسو با Negesa et al. و مطالعات مربوط به نهاد واسط	ایجاد ۲۰ پروژه با مشارکت ۳۶ شرکت	تسهیلگر می‌تواند ظرفیت بالقوه را به همکاری واقعی تبدیل کند

مرور نظام‌مند مطالعات نشان داد که موانع نهادی و حاکمیتی، فراگیرترین موانع فراروی همزیستی صنعتی در کشورهای در حال توسعه هستند که با شکاف عمیق میان قوانین نوشته و اجرا شده همراه است (Boom-Cárcamo & Peñabaena-Nieles, 2022). در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته زیرساخت‌های نهادی و قانونی به‌عنوان «بستر» عمل می‌کنند (Nylén et al., 2025)، در کشورهای در حال توسعه این زیرساخت‌ها خود نیازمند ایجاد هستند و عوامل موفقیت باید همزمان به «ساخت بستر» و «بهره‌مندی از آن» بپردازند (Castillo-Vergara et al., 2022). نقش نهاد واسط یا تسهیل‌گر به‌عنوان یکی از تعیین‌کننده‌ترین عوامل موفقیت شناسایی شد که در غیاب ساختارهای نهادی کارآمد، با ایجاد پل ارتباطی میان ذی‌نفعان، شکاف‌های اطلاعاتی و اعتمادی را پر می‌کند (Buda, 2026; Negesa et al., 2023). همچنین در کشورهای در حال توسعه، به دلیل محدودیت‌های مالی و زیرساختی، بعد زنجیره ارزش مشترک می‌تواند به‌عنوان نقطه ورودی عملی‌تری برای شروع همزیستی صنعتی عمل کند (Chertow, 2000; Lombardi & Laybourn, 2012). مدل مفهومی پیشنهادی بر چهار رکن نهادسازی تدریجی، پایلوت‌محوری، انطباق با بافت محلی و مشارکت ذی‌نفعان استوار است که با رویکرد «گام‌به‌گام» و «تکاملی» با ظرفیت‌های کشورهای در حال توسعه همخوانی بیشتری دارد. با وجود شباهت‌های ساختاری، تفاوت‌های بنیادینی در بستر ایران از جمله تحریم‌ها، نظام یارانه‌ای انرژی و ساختار حاکمیتی متمرکز وجود دارد که پیاده‌سازی همزیستی صنعتی را با چالش‌های

منحصربه‌فردی مواجه می‌سازد. یافته‌ها دلالت‌های سیاستی روشنی برای دولت‌ها، صنعتگران و نهادهای بین‌المللی دارد و نشان می‌دهد که موفقیت نیازمند طراحی بافت‌مند، گام‌به‌گام و مبتنی بر ظرفیت‌های محلی است.

نتیجه‌گیری

این پژوهش با مرور نظام‌مند ۳۵ مقاله، نشان داد که موانع همزیستی صنعتی در کشورهای در حال توسعه در چهار دسته نهادی، فنی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی قرار دارند و عوامل موفقیت شامل نقش تسهیل‌گر، طراحی مشارکتی، انعطاف‌پذیری مالی و انطباق با بافت محلی هستند. تفاوت بنیادین با کشورهای توسعه‌یافته در این است که در بسترهای در حال توسعه، عوامل موفقیت باید همزمان به «ایجاد بستر» و «بهره‌مندی از بستر» بپردازند (Castillo-Vergara et al., 2022; Nylén et al., 2025). مدل مفهومی چهاررکنی پیشنهادی بر نهادسازی تدریجی، پایلوت‌محوری، انطباق با بافت محلی و مشارکت ذی‌نفعان تأکید دارد.

محدودیت‌های پژوهش شامل اتکا به مقالات انگلیسی و فارسی، تنوع تعاریف همزیستی، کمبود مطالعات طولی، تمرکز جغرافیایی بر آسیا و آفریقا و استفاده از منابع فاقد تاریخ انتشار دقیق (مانند بانک جهانی، بی‌تاریخ) است. پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی: انجام مطالعات تطبیقی طولی، روش‌های اقتصادسنجی، پژوهش‌های اقدام‌محور، بررسی نقش فناوری‌های دیجیتال و بخش غیررسمی اقتصاد، و مطالعات میان‌منطقه‌ای پیشنهاد می‌شود. همچنین پژوهشی با عنوان «ارائه مدل بومی پیاده‌سازی همزیستی صنعتی در پارک‌های اکولوژیک ایران با رویکرد اقتصاد چرخشی و با تأکید بر منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی» می‌تواند با روش‌های ترکیبی و مشارکت ذی‌نفعان کلیدی، چارچوبی عملیاتی برای گذار از پارک‌های صنعتی سنتی به اکولوژیک در ایران ارائه دهد.

References

- Barathi, A., Kundu, D., Pooja, K., Surya, M., Jacob, S., Samanta, P., ... & Kuila, A. (2026). Toward sustainable industry: integrating industrial symbiosis, biorefineries, and circular economy for SDG alignment. *Sustainable Energy & Fuels*, 10(8), 1816-1844.
- Bilyaminu, A. M., Rene, E. R., Pandey, A., Babel, S., Clement, Q. B., James, A., & Hernandez, H. G. (2024). Industrial symbiosis and eco-industrial transformation opportunities for environmental protection in Nigeria. *Sustainable Production and Consumption*, 49, 219-235.
- Boom-Cárcomo, E., & Peñabaena-Niebles, R. (2022). Analysis of the development of industrial symbiosis in emerging and frontier market countries: barriers and drivers. *Sustainability*, 14(7), 4223.
- Bosco, B. J., Hossain, S., Hasan, A., Adeel, M., & Akter, M. (2026). Resource flows for the green transition: an analysis of investment and innovation in Rwanda's eco-industrial parks. *Modern Innovations, Systems and Technologies*, 6(1), 2001-2015.
- Buda, G. (2026). Industrial symbiosis potential in Uganda's Kampala Industrial and Business Park. Sustainability challenges and opportunities. *Sustainable Futures*, 11, 101720.
- Castillo-Vergara, M., Alvarez-Marin, A., & Ortiz-Villajos, M. (2022). Analysis of the development of industrial symbiosis in emerging and frontier market countries: Barriers and drivers. *Sustainability*, 14(7), 4223.
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313-337.
- De Abreu, V. H. S., Da Costa, M. G., Da Costa, V. X., De Assis, T. F., Santos, A. S., & D'Agosto, M. D. A. (2022). The role of the circular economy in road transport to mitigate climate change and reduce resource depletion. *Sustainability*, 14(14), 8951.
- Diele, C. C., & Abam, F. I. (2025). An empirical assessment and symbiosis design for eco-industrial park development in Enugu State, Nigeria. *Nigerian Agricultural Journal*, 56(2), 632-648.
- Diele, C. C., Kadurumba, C. H., & Abam, F. I. (2025). Modelling green industrial transformation: The case of the Enugu Eco-Industrial Park, Nigeria. *Nigerian Agricultural Journal*.

- Fiati, K. E., Buamah, R., Udofia, E. A., & Adzanu, M. (2026). The first step to a giant leap: A pilot experience of the potential industrial symbiosis network in Ghana. *Circular Economy and Sustainability*, 6(2), 66.
- Financial Express. (2025, December 23). Regulatory and institutional gaps key challenges for eco-industrial parks. *The Financial Express*. <https://today.thefinancialexpress.com.bd/last-page/regulatory-and-institutional-gaps-key-challenges-for-eco-industrial-parks-1766426472>
- Gomez, M. A., Rodriguez, J. C., & Perez, L. (2026). Industrial symbiosis in emerging countries: A study on economic, social and environmental business challenges. *Results in Engineering*, 25, 104567.
- Kleshchov, A. (2024). Investment attractiveness of eco-industrial parks. *Innovation and Sustainability Articles*, 4(3), 76-82.
- Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefining industrial symbiosis: Crossing academic–practitioner boundaries. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28-37.
- Nag, R. M., & Kohli, H. S. (2023). *From Here to Denmark: The Importance of Institutions for Good Governance*. Oxford University Press.
- Negesa, D., Geme, T., Nijman-Ross, E., & Ntawuhiganayo, E. B. (2023). Eco-industrial transformation in Uganda: performance evaluation of industrial parks using the international EIP framework. *Frontiers in Sustainability*, 4, 1286611.
- Nguyen, B. T., & Le, N. B. A. (2025). Circular economy: A study of eco-industrial park governance. *Journal of Governance and Regulation*, 14(2), 310-316.
- Nylén, E. J., Anttiroiko, A. V., & Tiensuu, A. (2025). The role of Eco-industrial parks in promoting regional circular economy: A stakeholder perspective. *Circular Economy and Sustainability*, 5(2), 1245-1267.
- Park, J., Duque-Hernández, J., & Díaz-Posada, N. (2018). Facilitating business collaborations for industrial symbiosis: The pilot experience of the sustainable industrial network program in Colombia. *Sustainability*, 10(10), 3637.
- Rajak, S. K., Chelak, P., Damini, Nath, D., Patial, B., Bag, C., ... & Loreti, S. (2026). Fostering industrial symbiosis: Optimizing resource exchange for enhanced collaboration and efficiency. In *The Circular Path: Rethinking Waste for a Sustainable Future* (pp. 371-404). Springer Nature.
- Ramin, E., Faria, L., Gargalo, C. L., Ramin, P., Flores-Alsina, X., Andersen, M. M., & Gernaey, K. V. (2024). Water innovation in industrial symbiosis-A global review. *Journal of Environmental Management*, 349, 119578.
- Thanh, T. T. M., Huong, D. D., Long, N. D., Dat, N. D., Huyen, M. T., & Cuong, H. C. (2023). Assessing the feasibility of eco-industrial parks in developing countries: a case study of Thang Long II Industrial Park in Vietnam. *Sustainability*, 15(21), 15602.
- UNIDO. (2023). *Eco-Industrial Parks: A Global Assessment for Developing and Emerging Countries*. United Nations Industrial Development Organization.
- UNIDO. (2024). New trends in special economic zones: Opportunities for developing countries. *Industrial Analytics Platform*.
- World Bank. (n.d.). Green finance mechanisms for eco-industrial parks in developing countries. Documents1.worldbank.org.
- Xie, X., Wei, B., Hu, S., & Chen, D. (2023). Integrated network analysis on industrial symbiosis: Case study of Qinghai salt lake industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 429, 139235.



Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil Using Compost Produced from Food Waste

Saeid Salehi^a, Alireza Asgari^b, Shahrzad Sadeghi Alvijeh^b, Zahra Sadat Razavi Dinani^{c*}

^aIranian Offshore Oil Company, Bushehr, Iran.

^bIranian Scientific Association of Waste Engineering and Management, Tehran, Iran.

^cIsfahan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Isfahan, Iran.

*Corresponding Author: z.razavidinani@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0046-795X>

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: 2026/08/22

Received in revised form:

2026/09/09

Accepted 2026/09/22

Available online: 2026/09/22

Keywords:

Bahregan,

Oil-contaminated soil,

Bioremediation,

Food-waste compost,

Total petroleum hydrocarbons.

This study evaluated the potential of food waste-derived compost for the bioremediation of crude oil-contaminated soil from the Bahregan oil field, Bushehr Province, southern Iran. The experiment was conducted for 180 days using four treatments: a control without aeration and moisture addition, a control with aeration and moisture addition, and treatments containing 30% and 50% compost. Total petroleum hydrocarbons (TPH) were measured using gas chromatography equipped with a flame ionization detector (GC-FID), and changes in TPH concentrations were monitored throughout the experimental period. In addition, some physicochemical characteristics affecting the bioremediation process, including pH, organic carbon, total Kjeldahl nitrogen, and total phosphorus, were monitored. The results showed that after 180 days, TPH removal efficiencies in the control without aeration and moisture addition, the control with aeration and moisture addition, and the 30% and 50% compost treatments were 8.6%, 78%, 94.45%, and 94.91%, respectively. Comparison of the control treatments showed that oxygen supply and maintenance of appropriate moisture substantially increased TPH removal, indicating the important role of suitable environmental conditions in the activity of indigenous microorganisms. Compost addition under the same aeration and moisture conditions also increased the removal efficiency compared with the aerated and moistened control. The 30% and 50% compost treatments showed 16.45 and 16.91 percentage points greater TPH removal, respectively, than the aerated and moistened control. However, the difference in final removal efficiency between the two compost levels was only 0.46 percentage points. Therefore, under the conditions of this study, the use of 30% compost may be a more suitable option in terms of the amount of amendment required and operational costs. Overall, the results showed that food waste-derived compost, together with appropriate moisture and aeration management, has high potential for the bioremediation of petroleum-contaminated soil and can simultaneously contribute to reducing hydrocarbon contamination and the beneficial reuse of organic waste.

Cite this article: Salehi, S., Asgari, A., Sadeghi Alvijeh, Sh. & Razavi Dinani, Z. (2026). Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil Using Compost Produced from Food Waste. *Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, 2(2), 137-153.
<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598259.1034>



© The Author(s).

Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598259.1034>

Introduction

Crude oil is one of the world's most important energy resources and plays a major role in the economies of oil-producing countries, particularly those surrounding the Persian Gulf. However, oil exploration, drilling, extraction, transportation, storage, and processing can lead to significant environmental contamination. Oil spills, leakage from petroleum facilities, contaminated wastewater, and other petroleum-related activities are major sources of petroleum hydrocarbons in the environment. These contaminants can adversely affect soil properties, microbial communities, and surrounding ecosystems. Petroleum contamination is an important environmental concern because crude oil contains a complex mixture of hydrocarbons with different physical, chemical, and biological properties. Once introduced into soil, petroleum hydrocarbons may undergo volatilization, dissolution, adsorption, desorption, transport, and biodegradation. Their presence can also alter soil properties, nutrient availability, and microbial activity. Therefore, effective, environmentally compatible, and economically feasible remediation methods are particularly important in oil-producing regions. Bioremediation is a promising approach for treating petroleum-contaminated soils because microorganisms can transform and degrade petroleum hydrocarbons. Its efficiency depends on factors such as oxygen availability, moisture, nutrients, pH, temperature, and contaminant bioavailability. Compost can improve several of these conditions by supplying organic matter and nutrients, enhancing moisture retention, and improving soil properties. In addition, the use of food-waste compost can provide the combined benefits of organic waste management and contaminated-soil remediation. The Bahregan oil region in Bushehr Province, southern Iran, is located along the northern Persian Gulf and has a long history of petroleum exploration and production. Therefore, investigating suitable bioremediation approaches in this region is environmentally important. The present study evaluated the effectiveness of food-waste compost for the bioremediation of real crude-oil-contaminated soil collected from the Bahregan oil region. Specifically, the study investigated TPH reduction over 180 days, the effects of aeration and moisture management on TPH removal, and the effects of applying 30% and 50% compost on bioremediation efficiency.

Method

Petroleum-contaminated soil was collected from the Bahregan oil region in Bushehr Province, southern Iran. Food-waste compost containing 20% sheep manure was produced from food waste generated at a residential oil company camp and composted for five weeks in wooden boxes with regular turning and moisture control. The initial TPH concentration of the contaminated soil was 535,000 mg kg⁻¹, while TPH was not detected in the compost within the analytical detection limit. A 180-day bioremediation experiment was conducted using four treatments: (1) unaerated and unmoistened control, (2) aerated and moistened control without compost, (3) soil amended with 30% compost, and (4) soil amended with 50% compost. Compost-amended treatments were manually turned every four days, and moisture was maintained at 40–50% by adding water as needed. These treatments allowed the effects of aeration and moisture to be distinguished from the additional effect of compost amendment. TPH concentrations were measured at regular intervals. Before sampling, the mixtures were thoroughly homogenized, and samples were collected from different depths. TPH was extracted from dried samples using n-hexane and quantified by gas chromatography with a flame ionization detector (GC-FID) according to TNRCC Method 1005. Hydrocarbons in the C6–C35 range were considered TPH, and concentrations were reported on a dry-weight basis. pH, temperature, organic carbon, total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus, and moisture were also monitored. TPH, organic carbon, TKN, and total phosphorus were measured weekly, while pH and temperature were monitored daily. Treatment performance was evaluated based

on changes in TPH concentration and percentage TPH removal over the 180-day experimental period.

Results

Initial characterization showed that the compost had substantially higher organic carbon, nutrients, and moisture than the contaminated soil, with organic carbon and moisture of 285.60 g kg⁻¹ and 48.20% compared with 18.50 g kg⁻¹ and 11.60%, respectively. TKN and total phosphorus were also higher in the compost, while pH values were 7.45 and 6.82 for compost and soil, respectively, indicating more favorable conditions for microbial activity and petroleum hydrocarbon degradation. After 180 days, the unaerated and unmoistened control showed only 8.6% TPH reduction, whereas the aerated and moistened control achieved 78.00%, highlighting the importance of adequate oxygen and moisture and the limited contribution of natural attenuation alone. Compost addition further increased TPH reduction, with 94.45% and 94.91% removal in the 30% and 50% compost treatments, respectively, corresponding to additional reductions of 16.45 and 16.91 percentage points compared with the aerated and moistened control. The improved performance may be related to the higher organic matter and nutrient content of compost and its ability to improve soil moisture and the physical environment for indigenous microorganisms. TPH reduction was not constant throughout the experiment. In the aerated and moistened control, reduction increased from 72.03% on day 80 to 78.00% on day 180, while the 30% and 50% compost treatments increased from 55.46% to 94.45% and from 77.87% to 94.91%, respectively. Although degradation continued throughout the experiment, a considerable proportion occurred during the earlier stages, followed by slower reduction later, likely due to the depletion of readily biodegradable hydrocarbon fractions and persistence of less accessible compounds. Increasing compost from 30% to 50% resulted in only a 0.46 percentage-point increase in final TPH removal; therefore, the 30% treatment achieved similarly high removal with a lower compost requirement and may be more practical for further pilot-scale and field investigations.

Conclusion

The findings demonstrated that food-waste compost has considerable potential for the biological remediation of crude-oil-contaminated soil. After 180 days, TPH reductions in the unaerated and unmoistened control, aerated and moistened control, 30% compost, and 50% compost treatments were 8.6%, 78.00%, 94.45%, and 94.91%, respectively. The comparison between the control treatments demonstrated the important role of adequate aeration and moisture in enhancing the activity of indigenous microorganisms. Compost addition further improved TPH removal, presumably by improving the physicochemical conditions and providing organic matter and nutrients required for microbial activity. Because the difference between the 30% and 50% compost treatments was only 0.46 percentage points, the 30% compost treatment can be considered a more practical option under the conditions investigated. The use of food-waste compost may therefore provide a dual environmental benefit by contributing to petroleum-contaminated soil remediation and the beneficial reuse of organic waste. However, the results were obtained under controlled experimental conditions, and further pilot-scale and field studies are required to evaluate the effectiveness, stability, operational requirements, and environmental implications of this approach under actual conditions in oil-producing regions.



تصفیه زیستی خاک های آلوده به نفت توسط کمپوست تولید شده از پسماند مواد غذایی

سعید صالحی^a، علیرضا عسگری^b، شهرزاد صادقی علویجه^b، زهرا سادات رضوی دینانی^{c*}

^a شرکت ملی نفت فلات قاره ایران، بوشهر، ایران.

^b انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران، تهران، ایران.

^c مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: z.razavidinani@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	این پژوهش با هدف بررسی کارایی کمپوست حاصل از پسماند مواد غذایی در تصفیه زیستی خاک آلوده به نفت خام در منطقه نفتی بهرگان، استان بوشهر، صورت گرفت. آزمایش ها به مدت ۱۸۰ روز در چهار تیمار شامل شاهد بدون هوادهی و رطوبت دهی، شاهد با هوادهی و رطوبت دهی و تیمارهای حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست انجام شد. غلظت هیدروکربن های نفتی کل (TPH) با استفاده از کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز یونش شعله ای (GC-FID) اندازه گیری و روند تغییرات آن در طول دوره آزمایش بررسی شد. همچنین، برخی ویژگی های فیزیکوشیمیایی مؤثر بر فرایند زیست پالایی، از جمله pH، کربن آلی، نیتروژن کل، کج دال و فسفر کل، پایش شدند. نتایج نشان داد که پس از ۱۸۰ روز، میزان کاهش TPH در تیمارهای شاهد بدون هوادهی و رطوبت دهی، شاهد با هوادهی و رطوبت دهی، ۳۰ درصد کمپوست و ۵۰ درصد کمپوست به ترتیب ۸/۶، ۷۸، ۹۴/۴۵ و ۹۴/۹۱ درصد بود. مقایسه تیمارهای شاهد نشان داد که تأمین اکسیژن و حفظ رطوبت مناسب، کاهش TPH را به طور چشمگیری افزایش داد که بیانگر نقش شرایط محیطی مناسب در فعالیت میکروارگانیسم های بومی است. افزودن کمپوست نیز در شرایط یکسان هوادهی و رطوبت دهی، راندمان حذف را نسبت به شاهد افزایش داد، به طوری که تیمارهای ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست به ترتیب ۱۶/۴۵ و ۱۶/۹۱ واحد درصد کاهش بیشتر TPH نسبت به شاهد هوادهی و رطوبت دهی شده نشان دادند. با این حال، اختلاف راندمان نهایی بین دو سطح کمپوست تنها ۰/۴۶ واحد درصد بود. بنابراین، در شرایط این پژوهش، استفاده از ۳۰ درصد کمپوست می تواند از نظر میزان مصرف ماده اصلاح کننده و هزینه های اجرایی گزینه مناسب تری باشد. در مجموع، نتایج نشان داد که کمپوست حاصل از پسماند مواد غذایی، همراه با مدیریت مناسب رطوبت و هوادهی، ظرفیت بالایی برای زیست پالایی خاک آلوده به نفت دارد و می تواند هم زمان به کاهش آلودگی هیدروکربنی و استفاده مجدد از پسماندهای آلی کمک کند.

استناد به این مقاله: صالحی، سعید، عسگری، علیرضا، صادقی علویجه، شهرزاد و رضوی دینانی، زهرا السادات. (۱۴۰۵). تصفیه زیستی خاک های آلوده به نفت توسط کمپوست تولید شده از پسماند مواد غذایی. راهبردهای علوم مهندسی و مدیریت سیستم های پایدار، ۲(۲) ۱۳۷-۱۵۲.

<https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598259.1034>



© نویسندگان

DOI: <https://doi.org/10.22034/jsesm.2026.598259.1034>

ناشر: انجمن علمی مهندسی و مدیریت پسماند ایران

مقدمه

نفت خام یکی از مهم‌ترین منابع انرژی جهان و از ارکان اصلی اقتصاد کشورهای تولیدکننده و صادرکننده نفت، به‌ویژه کشورهای حاشیه خلیج فارس، به شمار می‌رود. با این حال، فعالیت‌های گسترده مرتبط با اکتشاف، حفاری، استخراج، انتقال، ذخیره‌سازی و فرآورش نفت می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی قابل‌توجهی داشته باشد. نشت و رهاسازی نفت و فرآورده‌های نفتی، تولید پسماند و پساب آلوده و حوادث مرتبط با تأسیسات نفتی از مهم‌ترین مسیرهای ورود هیدروکربن‌ها به محیط زیست هستند و می‌توانند خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی و اکوسیستم‌های مجاور را تحت تأثیر قرار دهند (Mekonnen et al., 2024).

این مسئله در منطقه خلیج فارس، به دلیل تمرکز فعالیت‌های نفت و گاز و حساسیت بالای اکوسیستم‌های منطقه، اهمیت بیشتری دارد. کشورهای حاشیه خلیج فارس سهم قابل‌توجهی در تولید و صادرات جهانی نفت دارند و بخش گسترده‌ای از فعالیت‌های اکتشاف، تولید، ذخیره‌سازی و انتقال نفت در این منطقه انجام می‌شود (OPEC, 2026). برآورد شده است حدود ۰/۰۸ تا ۰/۴ درصد نفت تولیدی وارد محیط دریایی شود (Edeghagba et al., 2021). افزون بر حوادث بزرگ نفتی، فعالیت‌های صنعتی، بندری و کشتیرانی نیز در ایجاد آلودگی مزمن هیدروکربنی در خلیج فارس نقش دارند. از این‌رو، مدیریت و کاهش آلودگی‌های نفتی در مناطق نفت‌خیز این منطقه، از اولویت‌های مهم زیست‌محیطی محسوب می‌شود (Uddin et al., 2021).

خاک یکی از مهم‌ترین محیط‌های دریافت‌کننده آلاینده‌های نفتی است و آلودگی آن می‌تواند در مراحل مختلف صنعت نفت، از استخراج و انتقال تا ذخیره‌سازی و فرآورش، ایجاد شود. نفت خام مخلوط پیچیده‌ای از صدها ترکیب هیدروکربنی با ویژگی‌های متفاوت است. پس از ورود نفت به خاک، ترکیبات مختلف آن تحت تأثیر فرآیندهایی مانند تبخیر، انحلال، جذب و واجذب، انتقال و تجزیه زیستی قرار می‌گیرند (Khan et al., 2018). آلودگی نفتی همچنین می‌تواند با تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، موجب افزایش آب‌گریزی، تغییر تخلخل و نفوذپذیری، اختلال در حرکت آب و هوا و کاهش دسترسی گیاهان به آب و عناصر غذایی شود. علاوه بر این، هیدروکربن‌ها می‌توانند ساختار و فعالیت جامعه میکروبی خاک را تغییر دهند و بر فرآیندهای زیستی و چرخه عناصر غذایی اثر بگذارند. برخی ترکیبات، به‌ویژه هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای، نیز به دلیل سمیت و پایداری نسبی، از اهمیت ویژه‌ای برای سلامت انسان و محیط زیست برخوردارند (Mekonnen et al., 2024; Khan et al., 2018). برای ارزیابی میزان آلودگی خاک‌های نفتی، کل هیدروکربن‌های نفتی^۱ (TPH) به‌طور گسترده به‌عنوان یک شاخص کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. TPH یک ترکیب شیمیایی منفرد نیست، بلکه بیانگر مجموعه‌ای از هیدروکربن‌های موجود در نفت خام و فرآورده‌های نفتی است و به دلیل پیچیدگی ترکیب نفت، اندازه‌گیری آن در بسیاری از مطالعات عملی‌تر از تعیین تک‌تک ترکیبات است (Mekonnen et al., 2024). با این حال، ترکیبات موجود در TPH از نظر ساختار، زیست‌فراهمی و قابلیت تجزیه متفاوت‌اند؛ بنابراین، کاهش TPH الزاماً به معنای کاهش یکسان همه اجزای نفت نیست و نتایج باید با توجه به روش اندازه‌گیری و ماهیت آلاینده تفسیر شوند (Zhang et al., 2021).

روش‌های مختلفی برای تصفیه خاک‌های آلوده به نفت، از جمله روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی، توسعه یافته است. اگرچه روش‌های فیزیکی و شیمیایی می‌توانند در کاهش سریع‌تر آلاینده مؤثر باشند، اما در بسیاری از موارد به انرژی، تجهیزات تخصصی و هزینه‌های اجرایی قابل‌توجه نیاز دارند. در مقابل، زیست‌پالایی^۲ با استفاده از توانایی میکروارگانیسم‌ها برای تبدیل و تجزیه آلاینده‌ها، می‌تواند روشی کم‌هزینه‌تر و سازگارتر با محیط زیست باشد (Elshafei & Mansour, 2024). در این فرآیند، میکروارگانیسم‌های بومی خاک نقش مهمی دارند و فعالیت آنها را می‌توان از طریق تأمین اکسیژن، رطوبت و مواد غذایی افزایش

¹ Total Petroleum Hydrocarbons

² Bioremediation

داد؛ رویکردی که به‌عنوان زیست‌تحریکی^۱ شناخته می‌شود. در مقابل، افزودن میکروارگانیسم‌های منتخب برای افزایش توان تجزیه، زیست‌افزایی^۲ نام دارد (Mekonnen et al., 2024).

در میان روش‌های زیست‌پالایی، کمپوست‌سازی به دلیل امکان استفاده هم‌زمان از مواد آلی و بهبود شرایط رشد میکروبی، مورد توجه قرار گرفته است. افزودن کمپوست می‌تواند با تأمین کربن آلی و برخی عناصر غذایی، بهبود ساختار و هوادهی خاک و حفظ رطوبت، شرایط مناسب‌تری برای فعالیت میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن فراهم کند (Jørgensen et al., 2021; Namkoong et al., 2002; Tran et al., 2000). بنابراین، کمپوست را می‌توان علاوه بر یک ماده آلی، به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و عامل تحریک فعالیت میکروبی در فرآیند زیست‌پالایی در نظر گرفت.

یورگنسن و همکاران (۲۰۰۰) در زیست‌پالایی خاک آلوده به روغن روان‌کننده و دیزل، پس از پنج ماه حدود ۷۰ درصد کاهش روغن معدنی را گزارش کردند. **نام‌کونگ و همکاران (۲۰۰۲)** نیز نشان دادند که افزودن کمپوست و لجن فاضلاب موجب افزایش تجزیه دیزل در خاک و بهبود شاخص‌های فعالیت میکروبی شد. در ایران، **عسگری و همکاران (۲۰۱۷)** با استفاده از کمپوست شهری در زیست‌پالایی لجن اسیدی حاصل از صنایع بازپالایش روغن‌های مصرف‌شده، حداکثر کاهش ۷۱/۵۶ درصدی TPH را گزارش کردند. همچنین، مرور مطالعات انجام‌شده توسط **تران و همکاران (۲۰۲۱)** نشان داد که کمپوست‌سازی هوازی در بسیاری از خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی می‌تواند موجب کاهش قابل توجه TPH شود؛ هرچند عواملی مانند نوع و مقدار کمپوست، رطوبت، هوادهی، دما، pH، مواد غذایی و ویژگی آلاینده بر عملکرد آن اثرگذارند.

یکی از مزایای مهم استفاده از کمپوست، امکان بهره‌گیری از پسماندهای آلی به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده است. تبدیل پسماندهای غذایی به کمپوست می‌تواند ضمن کاهش مشکلات ناشی از دفع نامناسب پسماندهای آلی، ماده‌ای قابل استفاده برای بهبود شرایط خاک و تحریک فعالیت میکروبی فراهم کند. از این منظر، استفاده از کمپوست پسماند غذایی می‌تواند به‌طور هم‌زمان به مدیریت پسماندهای آلی و کاهش آلودگی خاک‌های نفتی کمک کند و رویکردی در راستای استفاده مجدد از منابع و کاهش هزینه‌های تصفیه باشد (Palansooriya et al., 2023).

با وجود نتایج امیدوارکننده مطالعات پیشین، بخش قابل توجهی از پژوهش‌ها در شرایط آزمایشگاهی یا با استفاده از خاک‌های مصنوعی آلوده، دیزل، روغن روان‌کننده و سایر پسماندهای نفتی انجام شده‌اند. در مقابل، مطالعات مربوط به کاربرد کمپوست در خاک واقعی آلوده به نفت خام در مناطق نفت‌خیز جنوب ایران محدود است. از آنجا که ویژگی خاک، ترکیب نفت خام، شرایط اقلیمی و جامعه میکروبی بومی می‌تواند بر عملکرد زیست‌پالایی اثر بگذارد، بررسی این روش در شرایط واقعی هر منطقه اهمیت دارد (Mekonnen et al., 2024; Tran et al., 2021).

منطقه نفتی بهرگان در استان بوشهر، به دلیل فعالیت‌های گسترده نفتی و موقعیت آن در مجاورت خلیج فارس، یکی از مناطق مناسب برای بررسی روش‌های زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت محسوب می‌شود. از این‌رو، در پژوهش حاضر کارایی کمپوست حاصل از پسماند مواد غذایی در زیست‌پالایی خاک واقعی آلوده به نفت خام منطقه بهرگان بررسی شد. در این مطالعه، اثر سطوح مختلف کمپوست در شرایط کنترل‌شده هوادهی و رطوبت‌دهی بر کاهش TPH ارزیابی گردید و نقش شرایط محیطی در بهبود فرآیند زیست‌پالایی مورد توجه قرار گرفت. هدف نهایی، تعیین میزان مناسب کمپوست و ارزیابی ظرفیت این روش به‌عنوان رویکردی ساده، کم‌هزینه و قابل کاربرد در مدیریت خاک‌های آلوده به نفت بود.

¹ Biostimulation

² Bioaugmentation

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب ایران، در استان بوشهر و در محدوده منطقه نفتی بهرگان واقع شده است. منطقه بهرگان در بخش شمالی خلیج فارس و در نزدیکی بندر امام حسن قرار دارد. بر اساس اطلاعات شرکت ملی نفت ایران، بندر امام حسن (بهرگان) در فاصله حدود ۴۰ کیلومتری شمال‌غربی بندر گناوه و ۲۸ کیلومتری بندر دیلم واقع شده و فعالیت‌های اکتشاف و تولید نفت در این منطقه از دهه ۱۹۵۰ میلادی آغاز شده است (NIOC, 2014). در مطالعه حاضر، محدوده نمونه‌برداری در مختصات جغرافیایی $29^{\circ}49'48''$ طول شرقی و $29^{\circ}48'48''$ عرض شمالی قرار داشت (Hatami et al., 2009).

مواد مورد استفاده و نحوه آماده‌سازی آن

کمپوست مورد استفاده در این مطالعه از پسماند مواد غذایی تولیدشده در کمپ مسکونی شرکت نفت تهیه شد. کمپوست تولیدشده شامل پسماند مواد غذایی به همراه ۲۰ درصد کود حیوانی گوسفندی بود. به‌منظور تولید کمپوست، از باکس‌های چوبی با ابعاد 1×1 متر استفاده شد. با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه، فرآیند تولید کمپوست طی ۵ هفته تکمیل شد. به‌منظور تأمین هوادهی و یکنواخت شدن توده کمپوست، اختلاط توده دو بار در هفته انجام گرفت. خاک مورد استفاده در این مطالعه از خاک آلوده‌شده با نفت خام تهیه شد. به‌منظور بررسی عملکرد فرآیند تصفیه زیستی، دو نمونه شاهد نیز در نظر گرفته شد. در نمونه شاهد اول، هیچ‌گونه کمپوست، رطوبت‌دهی و هوادهی اعمال نشد. در نمونه شاهد دوم، بدون افزودن کمپوست، عملیات رطوبت‌دهی و هوادهی مشابه نمونه‌های آزمایشی انجام گرفت تا تأثیر رطوبت‌دهی و هوادهی بر کاهش آلودگی نفتی مورد بررسی قرار گیرد. به‌منظور بررسی تأثیر کمپوست بر فرآیند تصفیه زیستی خاک آلوده به نفت، دو سطح اختلاط کمپوست با خاک در نظر گرفته شد. در یکی از نمونه‌ها، ۳۰ درصد کمپوست و در نمونه دیگر ۵۰ درصد کمپوست به خاک آلوده به نفت اضافه شد. نمونه خاک آلوده به نفت پس از سرند شدن و یکنواخت‌سازی، در ظروف فلزی با ابعاد 50×50 سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر قرار گرفت. نمونه حاوی ۳۰ درصد کمپوست شامل ۸/۵ کیلوگرم کمپوست و ۲۰ کیلوگرم خاک آلوده به نفت بود. نمونه حاوی ۵۰ درصد کمپوست نیز از ۱۳ کیلوگرم کمپوست و ۱۳ کیلوگرم خاک آلوده به نفت تشکیل شد. در طول دوره آزمایش، به‌منظور ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و یکنواخت شدن توده، مخلوط خاک و کمپوست با استفاده از بیلچه هر ۴ روز یک‌بار زیرورو و مخلوط شد. مدت زمان اجرای آزمایش ۱۸۰ روز در نظر گرفته شد.

روش آنالیز

تنظیم نسبت عناصر غذایی و رطوبت اولیه

نسبت عنصری کربن (C)، نیتروژن (N) و فسفر (P) در مخلوط نهایی به ترتیب ۱۰۰، ۵ و ۱ در نظر گرفته شد. این نسبت بر اساس کربن آلی موجود در مواد اولیه و با افزودن NH_4Cl (خلوص ۹۹/۹۹٪، Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) به‌عنوان منبع نیتروژن و KH_2PO_4 (خلوص ۹۹/۵۵٪، Sigma-Aldrich) به‌عنوان منبع فسفر تعیین شد. بر این اساس، نسبت C/N هدف برابر با ۲۰ بود. میزان رطوبت مخلوط با افزودن آب در محدوده ۴۰ تا ۵۰ درصد حفظ شد.

اندازه‌گیری TPH

به‌منظور ارزیابی روند کاهش آلودگی نفتی در طی فرآیند تصفیه زیستی، TPH در نمونه‌های خاک در فواصل زمانی تعیین‌شده اندازه‌گیری شد. پیش از نمونه‌برداری، محتویات توده خاک و کمپوست به‌طور کامل مخلوط شد تا نمونه کاملاً یکنواخت شود؛ سپس نمونه‌ها از اعماق مختلف توده برداشت شدند.

برای استخراج هیدروکربن‌های نفتی، ۱ گرم از نمونه خشک‌شده با ۴ میلی‌لیتر نرمال هگزان با خلوص ۹۹/۹۵ درصد (Merck, Darmstadt, Germany) مخلوط شد. مخلوط به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۳۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. پس از ته‌نشینی ذرات، عصاره استخراج‌شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آنالیز نگهداری شد. میزان TPH

با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به آشکارساز یونش شعله‌ای (GC-FID)^۱ (Model CP-3800, Varian, Belrose, Australia) بر اساس اصول روش TNRCC Method 1005 تعیین شد؛ روشی که برای تعیین هیدروکربن‌های نفتی در نمونه‌های خاک، آب و پسماند طراحی شده است. در این روش، هیدروکربن‌های موجود در محدوده کربنی nC_6 تا nC_{35} اندازه‌گیری می‌شوند. مجموع غلظت هیدروکربن‌های اندازه‌گیری‌شده در این محدوده‌ها به‌عنوان غلظت TPH گزارش می‌شود (TNRCC, 2001). این رویکرد در مطالعات تعیین هیدروکربن‌های نفتی در خاک نیز به کار گرفته شده است (Asgari et al., 2017; Silva et al., 2005).

برای انجام آنالیز، ۰/۶ میلی‌لیتر از عصاره استخراج‌شده به دستگاه GC-FID تزریق شد. جداسازی ترکیبات هیدروکربنی با استفاده از ستون موئینه CP-Sil8CB با طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر انجام گرفت. هلیوم به‌عنوان گاز حامل با فشار ورودی 11 psi، نسبت اسپلیت ۲۵ درصد و دبی عبوری از ستون ۲/۹ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. برنامه دمایی آون شامل دمای اولیه ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه بود. سپس دما با نرخ ۱۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت ۵ دقیقه در این دما ثابت نگه داشته شد. در ادامه، دما با نرخ ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت ۳ دقیقه در این دما ثابت ماند. دمای محل تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۸۰ و ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. دبی گازهای هیدروژن، هوا و گاز کمکی نیتروژن برای آشکارساز FID نیز به ترتیب ۴۰، ۴۵۰ و ۳۰ میلی‌لیتر در دقیقه تنظیم شد. زمان کل آنالیز برای هر نمونه ۲۹ دقیقه در نظر گرفته شد (Asgari et al., 2017).

کالیبراسیون دستگاه با استفاده از روش استاندارد خارجی انجام گرفت و منحنی کالیبراسیون در هر روز کاری بررسی و تأیید شد. در این روش، از استانداردهای آلکان‌های نرمال برای تعیین محدوده‌های کربنی و کنترل توزیع هیدروکربن‌ها در کروماتوگرام استفاده شد (TNRCC, 2001).

در مطالعه حاضر، غلظت TPH بر اساس وزن خشک نمونه محاسبه و به‌صورت میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک (mg/kg dry weight) گزارش شد. نتایج اندازه‌گیری TPH در تیمارهای حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست با تیمار شاهد مقایسه شد تا اثر افزودن کمپوست تولیدشده از پسماند مواد غذایی بر کاهش هیدروکربن‌های نفتی خاک ارزیابی شود. کلیه تیمارهای آزمایشی در سه تکرار انجام شدند.

اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر بر فرایند تصفیه زیستی

به‌منظور بررسی شرایط محیطی حاکم بر فرایند تصفیه زیستی و ارزیابی تغییرات پارامترهای مؤثر بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها، دما، رطوبت، pH، کربن آلی، نیتروژن کل کج‌دال (TKN)^۲ و فسفر کل نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. دمای محیط و دمای توده خاک و کمپوست به‌صورت روزانه با استفاده از دماسنج جیوه‌ای اندازه‌گیری و ثبت شد. میزان رطوبت نمونه‌ها با استفاده از رطوبت‌سنج دیجیتال (Model pH Moisture Meter, China) و همچنین با روش خشک‌کردن در آون (Model tactical 308, Gallenkamp, Loughborough, UK) در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد. برای تعیین pH در آزمایشگاه، ۱ گرم از نمونه خشک با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۱ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. پس از ته‌نشینی ذرات، pH محلول رویی اندازه‌گیری شد. استفاده از نسبت مشخص نمونه به آب برای اندازه‌گیری pH از روش‌های متداول ارزیابی ویژگی‌های کمپوست و مواد آلی است (USCC, 2002). ماده آلی^۳ (OM) خاک با استفاده از روش افت وزنی در اثر احتراق^۴ (LOI) تعیین شد. بدین

^۱ Gas chromatography coupled flame ionization detector

^۲ Total Kjeldahl Nitrogen

^۳ Organic Matter

^۴ Loss on Ignition

منظور، ۱ گرم از نمونه خشک در کوره در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت حرارت داده شد. انتخاب دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد بر اساس روش **فیت‌فول (۲۰۰۲)** انجام شد؛ زیرا در دماهای بالاتر، به‌ویژه در حدود ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، تجزیه کربنات کلسیم و آزاد شدن CO₂ می‌تواند موجب افزایش افت وزن و در نتیجه بیش‌برآورد مقدار ماده آلی شود. پس از اتمام حرارت‌دهی، نمونه‌ها در دسیکاتور سرد شده و مجدداً توزین شدند. کاهش وزن نمونه پس از احتراق به‌عنوان LOI محاسبه و مقدار حاصل به‌عنوان برآوردی از ماده آلی نمونه گزارش شد (Faithfull, 2002). برای برآورد کربن آلی^۱ (OC) از ضریب تبدیل کلاسیک ۱/۷۲۴، که بر فرض وجود ۵۸ درصد کربن در ماده آلی استوار است، استفاده شد:

$$OC(mg/kg) = \frac{OM(mg/kg)}{1.724} \quad (۱)$$

نیتروژن کل کج‌لدال (TKN) با استفاده از روش استاندارد 4500-Norg اندازه‌گیری شد. برای انجام آزمایش، مقدار ۱ گرم از نمونه خشک به همراه ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۱ مولار و ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. استفاده از اسید سولفوریک با هدف جلوگیری از خروج آمونیاک در طی فرآیند آماده‌سازی نمونه انجام گرفت و مقدار نیتروژن کل کج‌لدال مطابق روش استاندارد اندازه‌گیری شد. فسفر کل نیز با استفاده از روش استاندارد مربوط به تعیین فسفر اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری پارامترهای TPH، نیتروژن کل، فسفر کل و کربن آلی به‌صورت هفتگی ثبت شد؛ در مقابل، دمای محیط و توده خاک-کمپوست به‌صورت روزانه پایش و pH نیز در طول دوره آزمایش به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد (Clesceri et al., 2010).

یافته‌ها و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی کمپوست و خاک

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اولیه خاک آلوده به نفت و کمپوست مورد استفاده در فرآیند تصفیه زیستی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج اولیه، کمپوست دارای مقدار قابل‌توجهی کربن آلی و عناصر غذایی شامل نیتروژن و فسفر است. مقدار pH کمپوست در محدوده نزدیک به خنثی قرار دارد که می‌تواند شرایط مناسبی را برای فعالیت میکروارگانیسم‌های دخیل در فرآیند زیست‌پالایی فراهم کند.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک آلوده به نفت و کمپوست مورد استفاده

Table 1. Physicochemical properties of the oil-contaminated soil and the compost used.

پارامتر	واحد	خاک آلوده به نفت	کمپوست
مواد آلی (OM)	mg/kg	۱۸۵۰۰	۲۸۵۶۰۰
نیتروژن کل کج‌لدال (TKN)	mg/kg	۱۱۲۰	۱۲۸۵۰
فسفر کل (TP)	mg/kg	۳۸۰	۴۲۶۰
pH	-	۶/۸۲	۷/۴۵
رطوبت	%	۱۱/۶۰	۴۸/۲۰
هیدروکربن‌های نفتی کل (TPH)	mg/kg	۵۳۵۰۰۰	N.D.
N.D. در محدوده تشخیص روش اندازه‌گیری مشاهده نشد.			

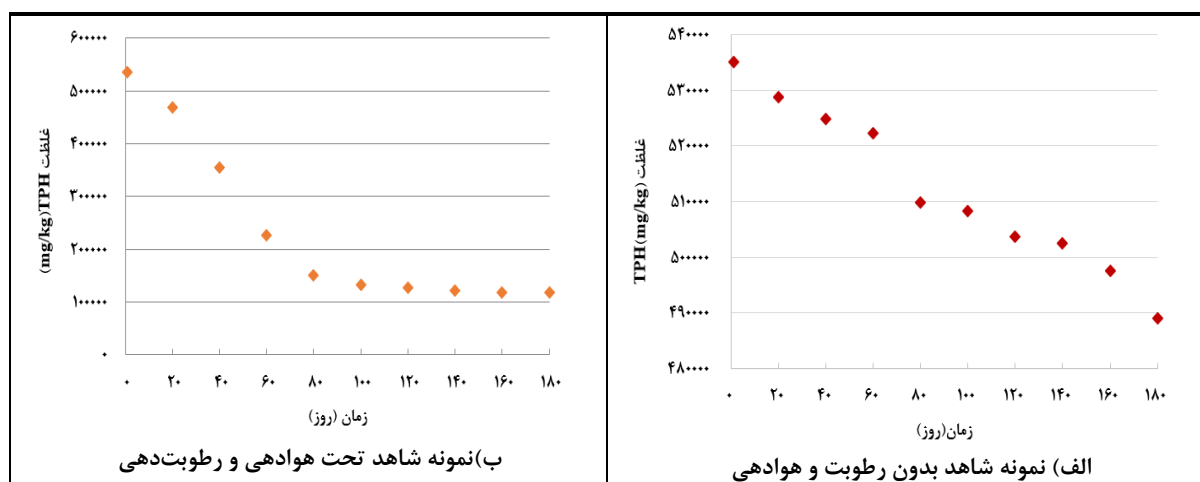
^۱ Organic Carbon

مقدار رطوبت بیشتر کمپوست و وجود مواد آلی و عناصر غذایی در آن می‌تواند شرایط مناسب‌تری برای فعالیت میکروبی و تجزیه زیستی هیدروکربن‌های نفتی فراهم کند. با توجه به TPH قابل توجه در خاک آلوده و عدم تشخیص آن در کمپوست، انتظار می‌رود افزودن کمپوست با بهبود شرایط فیزیکی‌شیمیایی و تأمین مواد مغذی، موجب افزایش فعالیت میکروبی و کاهش TPH خاک شود (Namkoong et al., 2002; Tran et al., 2021).

روند کلی تغییرات TPH در تیمارهای مختلف

نتایج بررسی تغییرات TPH نشان داد که نوع تیمار و مدت فرایند هر دو بر میزان کاهش TPH در خاک آلوده به نفت اثرگذار بودند (جدول ۲). کمترین کاهش TPH در نمونه شاهد (فاقد کمپوست، بدون هوادهی و رطوبت‌دهی) مشاهده شد، درحالی‌که تأمین اکسیژن و حفظ رطوبت مناسب، کاهش TPH را به‌طور چشمگیری افزایش داد. افزودن کمپوست نیز در شرایط یکسان هوادهی و رطوبت‌دهی، راندمان حذف را بیشتر کرد. پس از ۱۸۰ روز، میزان کاهش TPH در شاهد بدون هوادهی و رطوبت‌دهی، شاهد دارای هوادهی و رطوبت‌دهی، تیمار ۳۰ درصد کمپوست و تیمار ۵۰ درصد کمپوست به‌ترتیب ۸/۶، ۷۸، ۹۴/۴۵ و ۹۴/۹۱ درصد بود. این نتایج نشان می‌دهد که ابتدا تأمین اکسیژن و رطوبت مناسب و سپس افزودن کمپوست، مهم‌ترین عوامل افزایش حذف TPH در شرایط این پژوهش بودند.

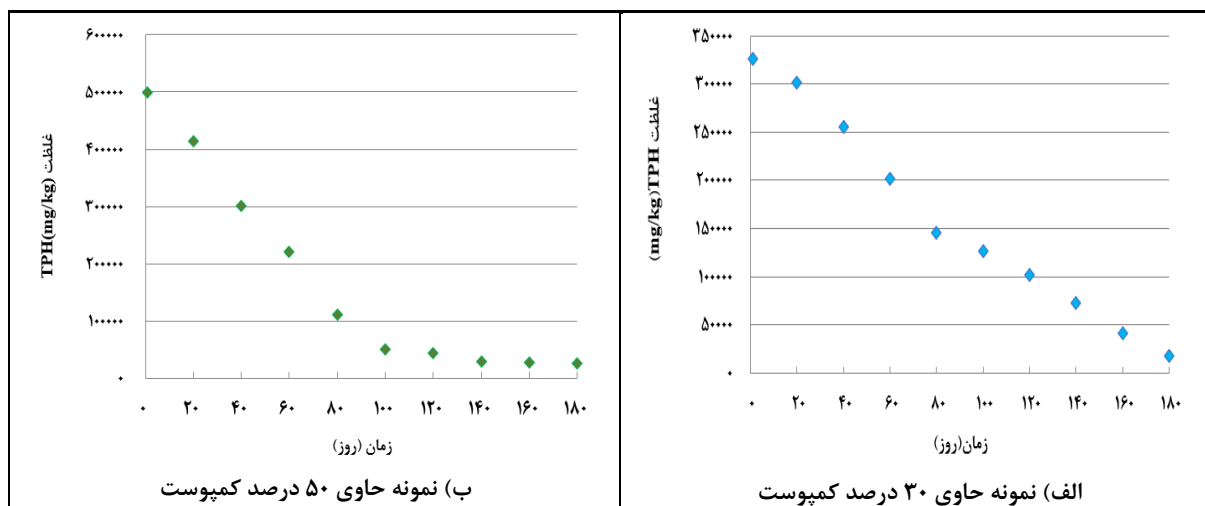
مکونن و همکاران (۲۰۲۴) تأکید کردند که موفقیت زیست‌پالایی به عواملی مانند فعالیت میکروبی، اکسیژن، رطوبت، pH، دما، غلظت اولیه آلاینده و زیست‌فراهمی هیدروکربن‌ها وابسته است. بررسی روند زمانی نیز نشان داد که کاهش TPH در تیمارهای فعال با افزایش مدت فرایند ادامه یافت، هرچند سرعت کاهش در طول زمان ثابت نبود. در شاهد دارای هوادهی و رطوبت‌دهی، میزان کاهش TPH از ۷۲/۰۳ درصد در روز ۸۰ به ۷۸ درصد در روز ۱۸۰ رسید؛ بنابراین، بخش عمده کاهش در ۸۰ روز نخست رخ داد و پس از آن افزایش محدودی مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱. روند تغییرات TPH در نمونه شاهد

Figure 1. Trend of pH changes in the control sample

روند تغییرات TPH در طول دوره آزمایش نیز نشان داد که پاسخ تیمارهای کمپوستی به زمان وابسته بوده است. در هر دو تیمار، کاهش TPH پس از روز ۸۰ نیز ادامه یافت، اگرچه شدت کاهش در مراحل پایانی کمتر از مراحل ابتدایی بود (شکل ۲). در تیمار ۳۰ درصد کمپوست، کاهش TPH از ۵۵/۴۶ درصد در روز ۸۰ به ۹۴/۴۵ درصد در روز ۱۸۰ و در تیمار ۵۰ درصد کمپوست از ۷۷/۸۷ درصد به ۹۴/۹۱ درصد افزایش یافت. در مجموع، بیشترین میزان کاهش TPH در تیمارهای کمپوستی و به‌ویژه در مراحل ابتدایی فرایند مشاهده شد.



شکل ۲. روند تغییرات TPH در خاک در اثر افزودن کمپوست

Figure 2. Trends in soil TPH levels resulting from compost addition

یورگنسن و همکاران (۲۰۰۰) در یک مطالعه میدانی نشان دادند که سرعت تخریب روغن معدنی در ماه‌های نخست بیشتر بوده و سپس کاهش آلاینده با روند کندتری ادامه یافته است؛ در این مطالعه، پس از پنج ماه حدود ۷۰ درصد روغن معدنی حذف شد. کاهش سرعت حذف در مراحل پایانی می‌تواند با کاهش بخش‌های زیست‌فراهم هیدروکربن، باقی‌ماندن ترکیبات مقاوم‌تر و محدود شدن دسترسی میکروارگانیسم‌ها به آلاینده مرتبط باشد. نام‌کونگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان دادند که کاهش TPH با گذشت زمان ادامه می‌یابد، اما ترکیب هیدروکربن‌های باقی‌مانده تغییر می‌کند و ترکیبات ساده‌تر سریع‌تر تجزیه می‌شوند. هارا و همکاران (۲۰۱۳) نیز کاهش قابل توجه TPH در طی ۷۴ روز در تیمار کمپوست را گزارش کردند. بنابراین، نتایج این پژوهش ضمن تأیید نقش هوا دهی، رطوبت و کمپوست در افزایش حذف TPH، نشان می‌دهد که بخش عمده فرآیند زیست‌پالایی در مراحل ابتدایی رخ داده و ادامه فرایند در دوره‌های طولانی‌تر، افزایش محدودتری در حذف آلاینده ایجاد می‌کند.

جدول ۲. میزان کاهش TPH در نمونه‌های مختلف

Table 2. TPH reduction rates in various sample

نمونه برداری چند روز بعد از عملیات	شماره	نمونه شاهد بدون هوا دهی / رطوبت دهی: TPH (mg/kg)	کاهش TPH (%)	نمونه شاهد هوا دهی و رطوبت دهی شده: TPH (mg/kg)	کاهش TPH (%)	غلظت TPH نمونه با نسبت ۳۰/۷۰ (mg/kg)	کاهش TPH (%)	غلظت TPH نمونه با نسبت ۵۰/۵۰ (mg/kg)	کاهش TPH (%)
شروع	۱	۵۳۵۰۰ ± ۴۲۰۰	-	۳۹۰۰ ± ۵۳۵۰۰	-	۳۱۰۰ ± ۳۲۶۰۰	-	۴۱۰۰ ± ۴۹۹۰۰	-
روز ۲۰	۲	۳۹۰۰ ± ۵۲۸۷۴	۱/۱۷ ± ۰/۳۵	۲۲۰۰ ± ۴۶۸۶۵	۱۲/۴۰ ± ۰/۸	۲۶۰۰ ± ۳۰۱۱۵۵	۷/۶۲ ± ۰/۹	۳۵۰۰ ± ۴۱۴۷۶۵	۱۶/۸۸ ± ۰/۷۵
روز ۴۰	۳	۳۶۰۰ ± ۵۲۴۸۳۵	۱/۹۰ ± ۰/۳۰	۳۱۰۰ ± ۳۵۵۴۰	۳۳/۵۷ ± ۱/۰۵	۲۸۰۰ ± ۲۵۵۹۴۰	۲۱/۴۸ ± ۰/۸۵	۲۹۰۰ ± ۳۰۱۱۵۳	۳۹/۶۴ ± ۰/۹۵
روز ۶۰	۴	۳۵۰۰ ± ۵۲۳۲۲۰	۲/۳۷ ± ۰/۱۱	۲۹۰۰ ± ۳۲۷۱۷۰	۵۷/۵۳ ± ۰/۹	۲۴۰۰ ± ۲۰۱۶۳۵	۳۸/۱۵ ± ۰/۷۵	۲۶۰۰ ± ۲۲۱۵۰۳	۵۵/۶۱ ± ۰/۹
روز ۸۰	۵	۳۳۰۰ ± ۵۰۹۸۵۵	۴/۷ ± ۰/۵۵	۲۲۰۰ ± ۱۴۹۶۰۰	۷۲/۳۰ ± ۰/۸۵	۲۱۰۰ ± ۱۴۵۲۰۰	۵۵/۴۶ ± ۰/۸۰	۱۸۰۰ ± ۱۱۰۴۰۰	۷۷/۸۷ ± ۰/۶۶
روز ۱۰۰	۶	۳۲۰۰ ± ۵۰۸۳۰۳	۴/۹۹ ± ۰/۵	۱۹۰۰ ± ۱۳۱۵۷۰	۷۵/۴۰ ± ۰/۷۵	۱۸۰۰ ± ۱۲۶۵۸۵	۶۱/۱۷ ± ۰/۷۰	۱۱۰۰ ± ۵۰۱۴۱	۸۹/۶۱ ± ۰/۵۵
روز ۱۲۰	۷	۳۰۰۰ ± ۵۰۳۷۵۶	۵/۸۴ ± ۰/۴۰	۱۸۰۰ ± ۱۲۷۴۲۰	۷۶/۱۸ ± ۰/۷۰	۱۶۰۰ ± ۱۰۲۱۵۵	۶۸/۶۶ ± ۰/۷۵	۹۵۰ ± ۴۳۷۲۲	۹۱/۲۳ ± ۰/۷۵
روز ۱۴۰	۸	۲۸۰۰ ± ۵۰۲۴۱۸	۶/۹۰ ± ۰/۵	۱۶۰۰ ± ۱۲۰۹۸۱	۷۷/۳۸ ± ۰/۶۵	۱۳۰۰ ± ۷۲۸۳۴	۷۷/۶۵ ± ۰/۷۰	۷۵۰ ± ۲۹۳۱۶	۹۴/۱۲ ± ۰/۶۵
روز ۱۶۰	۹	۲۹۰۰ ± ۴۹۷۵۵۰	۷/۱۰ ± ۰/۵۵	۲۵۰۰ ± ۱۱۸۶۴۵	۷۷/۸۲ ± ۰/۴۰	۹۰۰ ± ۴۰۹۹۴	۸۷/۴۲ ± ۰/۶۵	۷۰۰ ± ۲۶۹۴۵	۹۴/۶۰ ± ۰/۷
روز ۱۸۰	۱۰	۲۷۰۰ ± ۴۸۸۹۹۰	۸/۶۰ ± ۰/۳۵	۱۵۰۰ ± ۱۱۷۶۹۳	۷۸/۱۰۰ ± ۰/۵۵	۵۰۰ ± ۱۸۰۶۷	۹۴/۴۵ ± ۰/۸۰	۶۵۰ ± ۲۶۳۶۱	۹۴/۹۱ ± ۰/۴۵

اثر رطوبت‌دهی و هوادهی بر کاهش TPH در نمونه شاهد

در نمونه شاهد بدون هوادهی و رطوبت‌دهی، غلظت اولیه TPH برابر با 535000 mg/kg بود و پس از ۱۸۰ روز به 488990 mg/kg کاهش یافت که معادل $8/6$ درصد کاهش است (جدول ۲). در مقابل، در نمونه شاهد تحت هوادهی و رطوبت‌دهی، غلظت TPH از 535000 mg/kg در ابتدای آزمایش به 117693 mg/kg در روز ۱۸۰ رسید که معادل ۷۸ درصد کاهش بود. بنابراین، در شرایط آزمایش حاضر، مدیریت هوادهی و رطوبت بستر نقش مهمی در افزایش کاهش TPH داشته است. کاهش محدود TPH در نمونه فاقد هوادهی و رطوبت‌دهی نشان می‌دهد که در نبود مداخله عملیاتی، کاهش آلاینده در طول دوره آزمایش محدود بوده است. با این حال، این کاهش را نمی‌توان به‌طور قطعی معادل زیست‌تخریب دانست، زیرا کاهش غلظت TPH می‌تواند علاوه بر فرایندهای زیستی، تحت تأثیر فرایندهای غیرزیستی نیز قرار گیرد (Khan et al., 2018).

تران و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی زیست‌پالایی هوازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی، رطوبت و نرخ هوادهی را از جمله پارامترهای مهم عملیاتی مؤثر بر عملکرد فرایند معرفی کردند. همچنین، مطالعه آنها نشان داد که کارایی فرایند کمپوست‌سازی به شرایط عملیاتی و ویژگی‌های فیزیکی خاک وابسته است؛ در مطالعه آنان، پس از ۴۵ روز، میزان حذف TPH در دو کسر دانه‌بندی خاک ریزدانه (کوچک‌تر از $0/3$ سانتی‌متر) و درشت‌دانه (بزرگ‌تر از $1/3$ سانتی‌متر) به ترتیب ۸۲ و ۹۳ درصد گزارش شد.

در مجموع، اختلاف قابل توجه میان تیمار فاقد هوادهی و رطوبت‌دهی ($8/6$ درصد کاهش) و تیمار دارای هوادهی و رطوبت‌دهی (۷۸ درصد کاهش) نشان می‌دهد که کنترل شرایط فیزیکی بستر، به‌ویژه تأمین اکسیژن و حفظ رطوبت مناسب، در شرایط این آزمایش با افزایش میزان کاهش TPH همراه بوده است. از این رو، تیمار شاهد بدون هوادهی و رطوبت‌دهی می‌تواند به‌عنوان خط پایه مناسبی برای ارزیابی اثر مداخلات عملیاتی در تیمارهای بعدی در نظر گرفته شود. بنابراین، نبود هوادهی و رطوبت‌دهی کافی می‌تواند با محدود کردن فعالیت میکروارگانیسم‌های بومی، فرایند زیست‌تخریب هیدروکربن‌های نفتی را کاهش داده و به تداوم آلودگی در خاک منجر شود (Tran et al., 2021).

اثر افزودن کمپوست بر کاهش TPH

افزودن کمپوست در شرایط آزمایش حاضر موجب افزایش میزان کاهش TPH شد. میزان کاهش نهایی TPH در تیمارهای حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست به ترتیب $94/45$ و $94/91$ درصد بود، در حالی که این مقدار در تیمار شاهد دارای هوادهی و رطوبت‌دهی، بدون افزودن کمپوست، ۷۸ درصد به‌دست آمد (جدول ۲). به هر حال، افزودن کمپوست در شرایط یکسان رطوبت و هوادهی، کاهش TPH را به میزان قابل توجهی افزایش داد. این اثر را می‌توان به تأمین مواد آلی و عناصر غذایی، بهبود نگهداشت رطوبت و ویژگی‌های فیزیکی بستر و در نتیجه فراهم شدن شرایط مناسب‌تر برای فعالیت میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن نسبت داد. مطالعه مکنون و همکاران (۲۰۲۴) نیز نشان می‌دهد که اکسیژن، رطوبت، مواد مغذی، ویژگی‌های خاک و فعالیت جامعه میکروبی از عوامل اصلی کنترل‌کننده زیست‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی هستند. هارا و همکاران (۲۰۱۳) در یک مطالعه میدانی، کاربرد کمپوست حاصل از پسماند غذایی را برای خاک آلوده به نفت بررسی کردند و کاهش TPH از 8300 به 2300 ppm طی ۷۴ روز را گزارش کردند. همچنین، در تیمار کمپوست افزایش برخی باکتری‌های مرتبط با تجزیه هیدروکربن مشاهده شد. در مطالعه نام‌کونگ و همکاران (۲۰۰۲) نیز افزودن کمپوست یا لجن فاضلاب به خاک آلوده به دیزل، تجزیه TPH را نسبت به خاک بدون اصلاح‌کننده افزایش داد و بیشترین نرخ تجزیه در نسبت خاک به اصلاح‌کننده $1/5$ مشاهده شد. این مطالعه همچنین نشان داد که افزایش مقدار اصلاح‌کننده الزاماً موجب افزایش متناظر حذف TPH نمی‌شود. این یافته با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد؛ به‌طوری‌که اختلاف میانگین راندمان نهایی بین تیمارهای ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست تنها $0/46$

واحد درصد بود. بنابراین، افزایش مقدار کمپوست از ۳۰ به ۵۰ درصد در شرایط این آزمایش، مزیت قابل توجهی از نظر حذف نهایی TPH ایجاد نکرد و می‌تواند نشان‌دهنده وجود یک مقدار بهینه از اصلاح‌کننده باشد. هلمی و کاردنا (۲۰۲۴) در یک مطالعه میدانی، استفاده از بیوکمپوست به‌عنوان ماده حجیم‌کننده را در زیست‌پالایی خاک آلوده به نفت در میدان نفتی میناس اندونزی بررسی کردند. پس از ۱۵۰ روز، میانگین غلظت TPH از $9373 \pm 64799 \text{ mg/kg}$ به $74 \pm 163 \text{ mg/kg}$ (کاهش حدود ۹۹/۷۵ درصدی TPH) یافت.

برای ارزیابی عملکرد تیمارهای مورد بررسی، نتایج پژوهش حاضر با مطالعات پیشین در زمینه زیست‌پالایی هوازی و استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی مقایسه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که میزان حذف TPH در تیمارهای ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست پسماند غذایی، در بخش بالایی دامنه مقادیر گزارش شده در مطالعات پیشین قرار دارد. از این نظر، هر دو تیمار در مقایسه با مطالعات پیشین عملکرد مشابه و بالایی داشته‌اند و اختلاف میان دو سطح کمپوست در پژوهش حاضر نسبتاً محدود بوده است.

جدول ۳. مقایسه راندمان حذف TPH در زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی

Table 3. Comparison of TPH removal efficiency in the bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons using organic amendments

مطالعه	نتیجه	مقیاس و مدت	نمونه و ماده اصلاح‌کننده
Jorgensen et al. (2000)	حدود ۷۰٪ کاهش نفت معدنی؛ بیشترین کاهش در ماه‌های نخست	میدانی، ۵ ماه	خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی؛ تراشه پوست درخت، مواد مغذی و هوادهی: (به ازای هر ۱ واحد خاک، ۳ واحد چیپس پوست درخت)
Namkoong et al. (2002)	حذف ۹۹/۶٪ TPH	آزمایش کمپوست‌سازی	خاک آلوده به دیزل؛ کمپوست و لجن فاضلاب: (به ازای هر ۱ واحد خاک، ۰/۵ واحد اصلاح‌کننده)
Hara et al. (2013)	حذف ۷۲٪ TPH	میدانی، ۷۴ روز	خاک آلوده به نفت؛ کمپوست پسماند غذایی: (به ازای هر ۲۶/۳ کیلوگرم خاک، ۱ کیلوگرم کمپوست)
Tran et al. (2021)	حذف ۷۰٪ تا ۹۹٪ TPH	مرور مطالعات	خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی؛ کمپوست‌سازی هوازی: (کمترین نسبت خاک به کمپوست: ۱ به ۱۲/۵؛ بیشترین نسبت خاک به کمپوست: ۳ به ۱)
Helmy & Kardena (2024)	حذف ۹۹/۷۵٪ TPH	میدانی، ۱۵۰ روز	خاک آلوده به نفت؛ بیوکمپوست به‌عنوان ماده حجیم‌کننده: (به ازای هر ۴۰ واحد خاک، ۱ واحد ماده حجیم‌کننده)
Curriel-Alegre et al. (2025)	حذف ۹۰/۳٪ TPH	پایلوت، ۹۰ روز	خاک آلوده به نفت؛ ورمی کمپوست: (به ازای هر ۱۰۰ واحد خاک آلوده، ۲ واحد ورمی کمپوست)
پژوهش حاضر	حذف ۹۴/۴۵٪ TPH	۱۸۰ روز	۷۰٪ خاک آلوده به نفت؛ ۳۰٪ کمپوست پسماند غذایی
	حذف ۹۴/۹۱٪ TPH		۵۰٪ خاک آلوده به نفت؛ ۵۰٪ کمپوست پسماند غذایی

اهمیت کاربردی نتایج در مناطق نفت‌خیز جنوب کشور

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کمپوست پسماند غذایی، به‌ویژه در تیمارهای حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست با حذف بیش از ۹۰ درصد TPH، می‌تواند گزینه‌ای امیدوارکننده برای زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت در مناطق نفت‌خیز جنوب کشور باشد. اهمیت این موضوع با توجه به گزارش آلودگی‌های هیدروکربنی در خلیج فارس و محدوده بهرگان و سواحل استان بوشهر، که با فعالیت‌های نفتی مرتبط دانسته شده‌اند، بیشتر می‌شود (Hatami et al., 2009; Mohebbi-Nozar et al., 2015; Dashtbozorg et al., 2019; Uddin et al., 2021). کاربرد کمپوست علاوه بر بهبود

شرایط فیزیکوشیمیایی و افزایش فعالیت میکروبی خاک، امکان بازیافت پسماند آلی و کاهش وابستگی به روش‌های شیمیایی و فیزیکی پرهزینه را فراهم می‌کند (Tran et al., 2021; Namkoong et al., 2002). با این حال، نتایج حاضر در شرایط آزمایشگاهی به‌دست آمده و برای استفاده در مناطق نفتی نیازمند مطالعات پایلوت و میدانی است. همچنین، ارزیابی موفقیت فرایند نباید تنها بر کاهش TPH متکی باشد و بررسی ترکیبات هیدروکربنی، سمیت و انتشار ترکیبات فرار مانند بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلین‌ها^۱ (BTEX) نیز ضروری است (Tran et al., 2018).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تصفیه زیستی خاک آلوده به نفت با استفاده از کمپوست تولیدشده از پسماند مواد غذایی و با تکیه بر ظرفیت میکروارگانیسم‌های بومی خاک بررسی شد. نتایج نشان داد که فراهم‌کردن شرایط مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، به‌ویژه از طریق تأمین رطوبت و هوادهی، نقش مهمی در کاهش هیدروکربن‌های نفتی دارد؛ به‌طوری‌که پس از ۱۸۰ روز، کاهش TPH در تیمار شاهد بدون هوادهی و رطوبت‌دهی تنها ۸/۶ درصد بود، درحالی‌که در شاهد تحت هوادهی و رطوبت‌دهی به ۷۸ درصد رسید. این یافته نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های بومی موجود در خاک منطقه، در صورت فراهم‌بودن شرایط محیطی مناسب، ظرفیت قابل‌توجهی برای تجزیه زیستی هیدروکربن‌های نفتی دارند. افزودن کمپوست موجب افزایش بیشتر راندمان حذف TPH شد و میزان کاهش TPH در تیمارهای حاوی ۳۰ و ۵۰ درصد کمپوست پس از ۱۸۰ روز به‌ترتیب ۹۴/۴۵ و ۹۴/۹۱ درصد رسید. با این حال، اختلاف راندمان دو تیمار تنها ۰/۴۶ واحد درصد بود؛ بنابراین، در شرایط این مطالعه، افزایش مقدار کمپوست از ۳۰ به ۵۰ درصد مزیت قابل‌توجهی از نظر حذف نهایی TPH ایجاد نکرد. از این رو، تیمار ۳۰ درصد کمپوست می‌تواند گزینه مناسب‌تری برای بررسی‌های پایلوت و میدانی باشد، زیرا امکان دستیابی به راندمان بالا با مصرف کمتر کمپوست و احتمالاً هزینه عملیاتی پایین‌تر را فراهم می‌کند.

استفاده از کمپوست پسماند غذایی، هم‌زمان مدیریت پسماندهای آلی و زیست‌پالایی خاک‌های نفتی را ممکن می‌سازد و با کاهش شیرابه و انتشار گازهای گلخانه‌ای، پسماند را به یک اصلاح‌کننده مفید خاک تبدیل می‌کند. با این حال، تأیید قابلیت کاربرد این روش در مقیاس میدانی مستلزم انجام مطالعات پایلوت و ارزیابی هم‌زمان کارایی حذف آلاینده، پایداری فرایند و پیامدهای محیط‌زیستی آن است. همچنین در مطالعات آینده می‌توان شناسایی و تعیین میکروارگانیسم‌های بومی مؤثر در تجزیه هیدروکربن‌ها را در اولویت قرار داد.

References

- Asgari, A., Nabizadeh, R., Mahvi, A. H., Nasser, S., Dehghani, M. H., Nazmara, S., & Yaghmaeian, K. (2017). Biodegradation of total petroleum hydrocarbons from acidic sludge produced by re-refinery industries of waste oil using in-vessel composting. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15, 3. <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0267-1>.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Eaton, A. D. (2010). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.
- Curiel-Alegre, S., Khan, A. H. A., Rad, C., Velasco-Arroyo, B., Rumbo, C., Rivilla, R., Durán, D., Redondo-Nieto, M., Borràs, E., Molognoni, D., Martín-Castellote, S., Juez, B., & Barros, R. (2025). Bioaugmentation and vermicompost facilitated the hydrocarbon bioremediation: Scaling up from lab to field for petroleum-contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 32, 16601–16616.

¹ Benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes

- Dashtbozorg, M., Riyahi Bakhtiari, A., Shushizadeh, M. R., & Taghavi, L. (2019). Quantitative evaluation of n-alkanes, PAHs, and petroleum biomarker accumulation in beach-stranded tar balls and coastal surface sediments in the Bushehr Province, Persian Gulf (Iran). *Marine Pollution Bulletin*, 146, 801–815. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.023>.
- Edeghagba, B. O., Adamu-Governor, O. L., Ogbonna, S. C., & Onyeaghasiri, F. U. (2021). Assessment of spent engine oil degrading potentials of bacteria isolated from the air. *Global Scientific Journal*, 9(10), 69–80.
- Elshafei, A. M., & Mansour, R. (2024). Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons. *Discover Soil*, 1, 9. <https://doi.org/10.1007/s44378-024-00004-5>.
- Faithfull, N. T. (2002). *Methods in agricultural chemical analysis: A practical handbook*. CABI Publishing.
- Hara, E., Kurihara, M., Nomura, N., Nakajima, T., & Uchiyama, H. (2013). Bioremediation field trial of oil-contaminated soil with food-waste compost. *Journal of JSCE*, 1(1), 125–132. https://doi.org/10.2208/journalofjsce.1.1_125.
- Hatami, E., Sadati-Pour, S. M. T., & Shahabi, B. (2009). Assessment of total petroleum hydrocarbons (TPH) in Persian Gulf's water and sediment, Bahregan coastal area. *Journal of Marine Science and Technology Research*, 4(3), 84–93. [In Persian].
- Helmy, Q., & Kardena, E. (2024). Enhancing field-scale bioremediation of weathered petroleum oil-contaminated soil with biocompost as a bulking agent. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100735. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100735>.
- Jørgensen, K. S., Puustinen, J., & Suortti, A. M. (2000). Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting in biopiles. *Environmental Pollution*, 107(2), 245–254. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00144-X).
- Khan, M. A. I., Biswas, B., Smith, E., Naidu, R., & Megharaj, M. (2018). Toxicity assessment of fresh and weathered petroleum hydrocarbons in contaminated soil—A review. *Chemosphere*, 212, 755–767. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.094>.
- Mekonnen, B. A., Aragaw, T. A., & Genet, M. B. (2024). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: A review on principles, degradation mechanisms, and advancements. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1354422. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1354422>.
- Mohebbi-Nozar, S. L., Zakaria, M. P., Ismail, W. R., Mortazawi, M. S., Salimizadeh, M., Momeni, M., & Akbarzadeh, G. (2015). Total petroleum hydrocarbons in sediments from the coastline and mangroves of the northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 95(1), 407–411. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.03.037>.
- Namkoong, W., Hwang, E. Y., Park, J. S., & Choi, J. Y. (2002). Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. *Environmental Pollution*, 119(1), 23–31. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00328-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00328-1).
- National Iranian Oil Company (NIOC). (2014). Bahregan District. <https://www.niopc.ir>.
- Palansooriya, K. N., Dissanayake, P. D., Igalavithana, A. D., Tang, R., Cai, Y., & Chang, S. X. (2023). Converting food waste into soil amendments for improving soil sustainability and crop productivity: A review. *Science of the Total Environment*, 881, 163311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163311>.
- Organization of the Petroleum Exporting Countries (OPEC). (2026). Annual statistical bulletin 2026. <https://www.opec.org>.
- Silva, A., Delerue-Matos, C., & Fiúza, A. (2005). Use of solvent extraction to remediate soils contaminated with hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 124(1), 224–229.
- Texas Natural Resource Conservation Commission (TNRCC). (2001). TNRCC Method 1005: Total petroleum hydrocarbons. Texas Natural Resource Conservation Commission.
- Tran, H. T., Lin, C., Bui, X. T., Ngo, H. H., Cheruiyot, N. K., Hoang, H. G., & Vu, C. T. (2021). Aerobic composting remediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil: Current and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 753, 142250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142250>.
- Tran, H.-T., Vu, C.-T., Lin, C., Bui, X.-T., Huang, W.-Y., Vo, T.-D.-H., Hoang, H.-G., & Liu, W.-Y. (2018). Remediation of highly fuel oil-contaminated soil by food waste composting and its volatile

- organic compound (VOC) emission. Bioresource Technology Reports, 4, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.10.010>.
- Uddin, S., Fowler, S. W., Saeed, T., Jupp, B., & Faizuddin, M. (2021). Petroleum hydrocarbon pollution in sediments from the Gulf and Omani waters: Status and review. Marine Pollution Bulletin, 173, 112913. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112913>.
- United States Composting Council. (2002). Test methods for the examination of composting and compost (TMECC). United States Composting Council Research and Education Foundation, Ronkonkoma, NY.
- Zhang, H., Huang, Y., Chen, S., & Wang, X. (2021). Mitigation of petroleum-hydrocarbon-contaminated hazardous soils using organic amendments: A review. Journal of Hazardous Materials, 416, 125702. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125702>.

Table of Contents

Title	Page
<u>Investigating Barriers to the Development of Handicrafts and Sustainable Rural Tourism from the Perspective of Rural Women Entrepreneurs (A Case Study of the Villages of Torbat-e Jam and Taybad Counties)</u>	1-25
Hasan Giahhi, Khadije Bouzarjomehri, Mahdi Kermani / 10.22034/jsesm.2026.602045.1046	
<u>Formulating Design Indicators for Temporary Learning Environments on Brownfield Sites, Focusing on the Cognitive Characteristics of Generation Alpha</u>	26-44
Faezeh Bayani, Farzaneh Madani, Vajiheh Molaei Shams / 10.22034/jsesm.2026.596331.1024	
<u>Environmental Planning for Ecotourism in Sensitive Ecosystems and Protected Areas of Iran: A Framework for Achieving Sustainable Conservation</u>	45-62
Lobat Zebardast / 10.22034/jsesm.2026.597280.1025	
<u>Identification and prioritization of factors affecting the location of safe shelters and emergency evacuation routes in process industries using the analytic hierarchy process</u>	63-79
Zahra Barkhordarian, Masoud Nasouri / 10.22034/jsesm.2026.597539.1026	
<u>Black Soldier Fly: A Novel Solution for Organic Waste Recycling, Alternative Protein Production, and Food Security</u>	80-90
Emad Changizi / 10.22034/jsesm.2026.595701.1020	
<u>A Meta-Methodological Architecture for Decision-Relevant Mountain Vulnerability Assessment</u>	91-115
Fariba Amini, Hasan Darabi / 10.22034/jsesm.2026.598056.1035	
<u>Industrial Symbiosis in Eco-Industrial Parks of Developing Countries: A Review of Challenges, Barriers and Success Factors</u>	116-128
Atefe Dehghani, Mahdi Soheili, Mahdi Homayouni, Sajjad Mozaffari / 10.22034/jsesm.2026.598868.1040	
<u>Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil Using Compost Produced from Food Waste</u>	129-143
Saeid Salehi, Alireza Asgari, Shahrzad Sadeghi Alvijeh, Zahra Alsadat Razavi Dinani / 10.22034/jsesm.2026.598259.1034	

List of Esteemed Journal Reviewers

(in alphabetical order)

No.	Full Name	Institutional Affiliation
1	Hamidreza Ahmadnia Motlaq	Assistant Professor, Ferdowsi University of Mashhad
2	Ali Alavi Naeini	Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
3	Mohammad Javad Amiri	Associate Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
4	Homa Bahbahani (Irani Bahbahani)	Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
5	Amirali Boroumand	PhD Student, Faculty of Environment, University of Tehran
6	Hassan Darabi	Associate Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
7	Mahnaz Jadidi	PhD Student, Faculty of Environment, University of Tehran
8	Mojtaba Jokar	Assistant Professor, Ferdowsi University of Mashhad
9	Khalil Hajipour	Associate Professor, Shiraz University
10	Abdolreza Karbasi	Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
11	Sepideh Karimi	PhD Student, Faculty of Environment, University of Tehran
12	Houman Liaghaty	Professor, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University
13	Naghmeh Mobarghaei Dinan	Associate Professor, Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University
14	Yaser Moareb	Assistant Professor, Imam Hossein University
15	Naser Mehrdadi	Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
16	Gholamreza Nabi Bidhendi	Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
17	Maryam Pazoki	Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran
18	Roudabeh Samiei Zafarghandi	Assistant Professor, Faculty of Environment, University of Tehran

should use Times New Roman 11 pt. The manuscript should be single-spaced, fully justified, and formatted according to the journal template. Main section headings should appear in B Titr 12 pt, and subsection headings in B Titr 11 pt. Numbering of section headings should be avoided.

Tables, Figures, and Equations

All tables, figures, charts, maps, and illustrations should be numbered consecutively in the order in which they appear in the manuscript. Tables must include titles placed above the table, whereas figure captions should appear below the figure. Every table and figure should be cited within the text and prepared in publication-quality resolution. Mathematical equations should be created using Microsoft Equation and numbered sequentially throughout the manuscript.

References

All citations and references must conform to the **APA 7th Edition** referencing style. Every citation appearing in the text must be included in the reference list, and all references listed must be cited in the manuscript. Persian-language references should also be transliterated or translated into English in the References section, followed by the notation **[In Persian]**. Authors are responsible for ensuring the completeness and accuracy of all bibliographic information.

Submission Files

Authors are required to upload four separate files during submission: the anonymized main manuscript, the author information file, the author commitment form, and the conflict of interest declaration. Submissions lacking any of these required documents will not proceed to peer review.

Publication Ethics

Authors are expected to comply fully with internationally accepted principles of publication ethics. Manuscripts involving plagiarism, data fabrication or falsification, duplicate publication, inappropriate authorship attribution, or other forms of research misconduct will be rejected. Authors are solely responsible for obtaining all necessary permissions for copyrighted material and ensuring compliance with applicable ethical standards throughout the research and publication process.

Author Guideline of Journal of Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management

Aims and Scope

The *Journal of Strategies of Engineering Sciences and Sustainable Systems Management* publishes original, high-quality research that advances knowledge in engineering sciences, sustainable systems management, environmental studies, sustainability, governance, planning, emerging technologies, and related interdisciplinary fields. The journal welcomes studies that provide theoretical innovation, methodological advancement, or practical solutions to contemporary scientific and societal challenges.

Submission Policy

Submitted manuscripts must represent original work that has not been published previously and is not under consideration by another journal. Authors are fully responsible for the originality of the manuscript, the accuracy of the reported data, compliance with research ethics, and the integrity of the submission. All manuscripts must be submitted through the journal's online submission system and will undergo an initial editorial screening before entering the peer-review process.

Peer Review Process

The journal employs a double-blind peer-review system in which neither authors nor reviewers are informed of each other's identities. Consequently, the main manuscript must not contain author names, affiliations, acknowledgements, funding information, or any other identifying details. Editorial decisions regarding acceptance, revision, or rejection are based on reviewers' evaluations and the judgment of the Editorial Board.

Manuscript Organization

Manuscripts should include the following sections: Title, Abstract, Keywords, Introduction, Methodology, Results and Discussion, Conclusion, and References. The Introduction should clearly present the research problem, objectives, background, and significance of the study. The Methodology section should provide sufficient detail regarding research design, participants, instruments, data collection procedures, analytical methods, and ethical considerations. Results should be reported objectively and accurately, while the Discussion should interpret the findings in relation to previous research. The Conclusion should summarize the main findings, theoretical and practical implications, study limitations, and recommendations for future research.

Abstract and Keywords

The Persian abstract should contain between 300 and 400 words and be written as a structured abstract covering the study objective, methodology, principal findings, and conclusion in a single coherent paragraph. An extended English abstract of 500–700 words is mandatory and should include the headings Introduction, Method, Results, and Conclusions. Authors should provide three to five keywords in both Persian and English, ensuring that the English keywords accurately correspond to their Persian equivalents.

Manuscript Formatting

The complete manuscript, including abstracts, tables, figures, and references, should not exceed fifteen pages. Persian text should be prepared in B Nazanin 13 pt, while English text

Thematic Areas

This journal welcomes research articles, review articles, case studies, and applied studies in the following thematic areas:

1. Systems Thinking, Resilience, and Sustainability Engineering
2. Environmental Assessment (Development Impacts, Land Suitability, Strategic Environmental Assessment, and Life Cycle Assessment)
3. Environmental Monitoring, Management, and Engineering
4. Climate Change, Disaster Risk Management, and Nature-Based Solutions
5. Water Resources, Ecosystems, Biodiversity, and the Marine Environment
6. Renewable Energy, Energy Efficiency, and Low-Carbon Systems
7. Environmental Economics, Circular Economy, Waste Management, and Sustainable Production and Consumption
8. Emerging Technologies (Artificial Intelligence, Data Science, Internet of Things, GIS, and Remote Sensing)
9. Urban Planning, Green Infrastructure, Sustainable Architecture, and Sustainable Civil Engineering
10. Sustainable Industries (Oil, Gas, Mining, Petrochemicals, HSE, and Supply Chains)
11. Governance, Policy-Making, Innovation, and Sustainable Businesses
12. Social Dimensions of Sustainability (Education, Ethics, Environmental Justice, Health, and Stakeholder Engagement)

Objectives and Vision

The journal *Strategies in Engineering Sciences and Sustainable Systems Management* was established with the aim of advancing the frontiers of knowledge, promoting innovative research, and providing a scientific platform for the exchange of ideas and research findings in the fields of engineering, management, and sustainability. Through the publication of original, applied, and interdisciplinary scholarly articles, the journal seeks to contribute to identifying and developing effective solutions to the complex challenges of sustainable development at the local, national, and global levels. Enhancing the quality of decision-making, policymaking, and management in organizations, industries, and communities through the application of robust scientific evidence is also among the journal's principal objectives.

Adopting a systems-oriented and forward-looking approach, the journal focuses on advancing knowledge in areas including sustainable systems engineering, resource management, emerging technologies, digital transformation, renewable energy, risk management and resilience, sustainable governance, the circular economy, and technological innovation. Accordingly, it seeks to foster meaningful interaction among researchers, professionals, managers, policymakers, and industry practitioners and, by supporting interdisciplinary research, to help bridge the gap between theoretical knowledge and practical applications. The journal also prioritizes research that contributes to addressing real-world societal challenges and advancing the Sustainable Development Goals (SDGs).

The journal's vision is to become, in the years ahead, a reputable and influential scholarly reference in the field of engineering sciences and sustainable systems management at the national and regional levels and, through indexing in reputable international databases, to play an effective role in shaping scientific discourse and generating knowledge of lasting scholarly value. The journal seeks to become a hub for the dissemination of pioneering and impactful research by maintaining high standards of scientific rigor, research ethics, and peer-review quality, while making a meaningful contribution to shaping innovative engineering, managerial, and policy approaches toward a sustainable, smart, and resilient future.

Morteza Ghabadi, PhD — Associate Professor, Lorestan University
Hossein Rahmani, PhD — Associate Professor, Sari University of Agricultural Sciences and
Natural Resources

Bahman Jabbaryan Amiri, PhD — Associate Professor, University of Łódź, Poland

Babak Naeimi, PhD — Senior Researcher, Utrecht University, the Netherlands

Edwin Safari, PhD — Assistant Professor, University of Toronto, Canada

Mohsen Saeidi, PhD — Professor, University of British Columbia, Canada

Mehrdad Nazariha, PhD — Assistant Professor, University of Ottawa, Canada

English Language Editor: Mohammad Alavi, PhD — Professor, University of Tehran

Scientific Editor: Roudabeh Samiei Zafarghandi, PhD

Literary Editor: Fatemeh Zare Sheikh-Kalaei, PhD

Graphic Designer: Hamed Ahmadi, MSc

Executive Officer: Sahar Bidokhti, MSc

Layout Editor: Peyman Heidari, MSc

Articles represent the intellectual contributions of their authors and are published in the order in which they are received and approved for publication.

This quarterly journal is published with the support of the Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management.

Pursuant to Article 13 of the Press Law, ratified by the Islamic Consultative Assembly on 28 February 1990, a publication license for *Strategies in Engineering Sciences and Sustainable Systems Management*, in Persian and English and published quarterly, was issued under **Registration No. 99862.**

Address: Room 303, No. 15, Dr. Abdolhossein Zarrinkoub Alley, corner of Dr. Abdolhossein Zarrinkoub Alley, Qods Street, Enghelab Street, Tehran, Iran

Journal Website: www.jsesm.ir

Telephone: +98 21 6111 3177

Postal Code: 1417853111

Email: jsessm@gmail.com

Abstracting and Indexing

This journal is indexed in the following databases:

- Scientific Information Database (SID), Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR)
- Google Scholar



Publisher: Iranian Scientific Association of Waste Engineering and Management

Editor-in-Chief: Mohammad Javad Amiri, PhD

Editor: Abdolreza Karbasi, PhD

Managing Editor: Mahnaz Jadidi, PhD

Associate Editors: Jahanbakhsh Balist, PhD; Amirali Boroumand, PhD

Advisor: Masoud Nasouri, PhD

Editorial Board

- Naser Mehrdadi, PhD — Professor, University of Tehran
Gholamreza Nabi Bidhendi, PhD — Professor, University of Tehran
Abdolreza Karbasi, PhD — Professor, University of Tehran
Mohammad Javad Amiri, PhD — Associate Professor, University of Tehran
Shahnaz Danesh, PhD — Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Seyed Mohsen Hosseini, PhD — Professor, Tarbiat Modares University
Kamran Davari, PhD — Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Afshin Takdastan, PhD — Professor, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences
Mahmoudreza Hemami, PhD — Professor, Isfahan University of Technology
Ali Asadi, PhD — Professor, University of Tehran
Masoud Sadri-Nasab, PhD — Associate Professor, University of Tehran
Mohammad-Hossein Nik-Sokhan, PhD — Professor, University of Tehran
Behrouz Behnam, PhD — Associate Professor, Amirkabir University of Technology
Mohammad Kaboli, PhD — Professor, University of Tehran
Alireza Zare-Asadi, PhD — Professor, Shahid Chamran University of Ahvaz
Kamaleddin Naseri, PhD — Associate Professor, Ferdowsi University of Mashhad
Masoud Rezaei, PhD — Professor, Tarbiat Modares University
Abbas Banaj Shafiei, PhD — Professor, Urmia University
Hassan Darabi, PhD — Associate Professor, University of Tehran
Lobat Zebardast, PhD — Associate Professor, University of Tehran
Marjan Mohammadzadeh, PhD — Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Mehdi Jalili Ghazi-Zadeh, PhD — Associate Professor, Shahid Beheshti University
Hamidreza Pourkhabbaz, PhD — Associate Professor, Khatam al-Anbia University of Technology, Behbahan
Kiumars Safidi, PhD — Professor, University of Mohaghegh Ardabili
Mohammad Reza Ekhtesasi, PhD — Professor, Yazd University
Naghi Shabanian, PhD — Associate Professor, University of Guilan



In the Name of God, the Most Compassionate, the Most Merciful

**Strategies in Engineering Sciences and
Sustainable Systems Management
(*Scientific Journal*)**

Volume 2, Issue 2, Summer 2025–2026



ENGINEERING SCIENCES STRATEGIES AND SUSTAINABLE SYSTEMS MANAGEMENT

Vol. 2 | No. 2 | Summer 2026

Article titles

- Investigating Barriers to the Development of Handicrafts and Sustainable Rural Tourism from the Perspective of Rural Women Entrepreneurs (A Case Study of the Villages of Torbat-e Jam and Taybad Counties)
- Formulating Design Indicators for Temporary Learning Environments on Brownfield Sites, Focusing on the Cognitive Characteristics of Generation Alpha
- Environmental Planning for Ecotourism in Sensitive Ecosystems and Protected Areas of Iran: A Framework for Achieving Sustainable Conservation
- Identification and prioritization of factors affecting the location of safe shelters and emergency evacuation routes in process industries using the analytic hierarchy process
- Black Soldier Fly: A Novel Solution for Organic Waste Recycling, Alternative Protein Production, and Food Security
- A Meta-Methodological Architecture for Decision-Relevant Mountain Vulnerability Assessment
- Industrial Symbiosis in Eco-Industrial Parks of Developing Countries: A Review of Challenges, Barriers and Success Factors
- Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil Using Compost Produced from Food Waste



**Iranian Solid
Waste Association**