فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳

فهرست

عنوان **صفحه**

۱. بررسی مؤلفه‌های زیباشناسی فضای سبز شهری و نقش آموزشی آن‌ها در جلوگیری از تخریب محیط زیست (مطالعه موردی: شهر شاهین‌شهر) (حدیث معصومی، محمدعلی نادی) ۱

۲. رویکرد نوین GIS-MCDA و هوش مصنوعی در مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های CSP با تأکید بر تحلیل‌های جامع اقتصادی (مطالعه موردی: استان بوشهر) (میثم جعفری، دلارام سیکارودی، سحر غیاث) ۲۱

۳. استخراج کل آب قابل بارش و تأثیر ریزگردها در بازیابی آن در جوّ مهرآباد (سید مهدی پژوهان) ۴۲

۴. سیاست‌های جنایی تقنینی محیط زیست مطالعه موردی تخریب مناطق تحت حفاظت (مازیار نخکوب، حمید دوازده امامی) (فرشاد بشیرزادگان، پروین فرشچی، بیتا آزاد بخت، مصطفی پناهی) ۵۱

۵. تحلیل تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری‌های زمین بر پراکنش آلودگی هوا: مطالعه موردی منطقه صنعتی فولاد سیرجان (مریم نصری نصرآبادی، رضا پیکانپور فرد،) ۶۴

۶. واکاوی بارزترین عوامل بطلان معاهدات تغییرات آب و هوایی، رهیافتی بر تسهیل اعاده حق بر پایداری اقلیمی (شباب جهانبین، علی فقیه حبیبی، علی محمدی، شیرین شیرازیان، هادی کیادلیری ۷۶

https://sanad.iau.ir/journal/jeml

ISSN: 3041-8577

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

شابک: ۸۵۷۷-۳۰۴۱

سال دوم: دوره ۲، شماره ۲

تابستان ۱۴۰۳

فصلنامه علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

صاحب امتیاز: دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

سردبیر: دکتر سید علی جوزی (استاد تمام دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال)

مدیر مسئول: دکتر مژگان احمدی ندوشن (دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان))

اعضای هیات تحریریه:

دکتر نعمت اله خراسانی (استاد تمام دانشگاه تهران)

دکتر مسعود راعی (استاد تمام دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد)

دکتر کیومرث کلانتری (استاد تمام دانشگاه مازندران)

دکتر محمودرضا همامی (استاد تمام دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر عاطفه چمنی (دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان))

دکتر لیلا رئیسی (استاد تمام دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان))

دکتر مریم مروتی (دانشیار دانشگاه اردکان)

دکتر علیرضا آرش‌پور (دانشیار دانشگاه اصفهان)

کارشناسان نشریه:

سمانه محمدسلیمانی- زهرا جوهری

ویراستار: زهرا جوهری

ناشر: معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

نشانی: اصفهان، خیابان جی، ارغوانیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، پژوهشگاه مرکزی، مرکز تحقیقات پسماند و پساب تلفن: ۰۳۱۳۵۰۰۲۱۸۸/ صندوق پستی: ۱۵۸-۸۱۵۹۵

الگوی تهیه مقاله برای فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

نویسنده اول۱*، نویسنده دوم۲، نویسنده سوم۳،
نویسنده چهارم[۴]، نویسنده پنجم[۵]

۱- عنوان نویسنده اول (وابستگی سازمانی نویسندگان (Affiliation))
۲- عنوان نویسنده دوم (وابستگی سازمانی نویسندگان (Affiliation))

**پست الکترونیکی نویسنده مسئول:*

چکیده

در این مقاله، الگوی تهیه یک مقاله برای فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست شرح داده می‌شود. شیوه قالب‌بندی مقاله، بخش‌های مختلف آن، نوع قلم و اندازه آن، مشخص شده است. چکیده مقاله در یک پاراگراف تهیه شود و شامل ۲۰۰-۳۰۰ کلمه باشد. چکیده مقاله باید شامل زمینه و هدف، مواد و روش ها، نتایج، بحث و نتیجه گیری باشد و بطور واضح نتایج فعالیت پژوهشی انجام شده را بیان کند.

کلمات کلیدی: حداکثر پنج کلمه به عنوان کلمات کلیدی انتخاب شود و و آن‌ها را با ویرگول از هم جدا کنید. این کلمات باید شامل موضوعات اصلی و فرعی مقاله باشد.

بخش‌های مختلف مقاله

مقاله باید شامل این بخش‌ها باشد: چکیده، کلمات کلیدی، مقدمه، مواد و روش ها، نتایج، بحث و نتیجه‌گیری و منابع. سایر بخش‌ها همچون سپاسگزاری، ضمایم و زیرنویس‌ها اختیاری است.
مقالات باید طبق دستورالعمل زیر تایپ و از طریق سایت مجله به آدرس https://sanad.iau.ir/journal/jeml بعد از ثبت نام در سایت ارسال گردد.

مقدمه

برای نگارش مقاله از نرم‌افزار Microsoft Office Word استفاده شود. تمام فرمت‌های مورد نیاز برای قسمت‌های مقاله در این نوشتار تعریف شده است و نویسندگان لازم است فرمت مناسب را برای هر بخش انتخاب کنند. خواهشمند است برای تهیه مقاله به موارد زیر دقت کنید:

- تعداد صفحات مقاله حداکثر ۲۰ صفحه می‌باشد.
- در بخش مقدمه، دانش موجود درباره موضوع و مبانی نظری آن، ضرورت انجام تحقیق و هدف مطالعه مشخص شود.
- مقاله به صورت تک ستونی آماده شود.
- اندازه و نوع قلم‌های فارسی برای هر یک از بخش‌های مقاله در جدول ۱ آورده شده است. برای قلم لاتین از Times New Roman استفاده کنید.

- در صورت نیاز به درج پاورقی، همهٔ موارد فارسی به‌صورت راست‌چین با B Nazanin و اندازهٔ ۱۰ و پاورقی‌های انگلیسی به‌صورت چپ‌چین با قلم Times New Roman اندازهٔ ۸ نوشته شوند.
- عنوان و چکیده مقاله و متن جداول، اشکال و نمودارها به زبان فارسی و انگلیسی تهیه شود.

جدول ۱- اندازه و نوع آن

Table 1-

اندازه قلم	نام قلم	مکان استفاده شده
۱۶	B Titr پررنگ	عنوان مقاله
۱۲	B Nazanin	نام نویسندگان
۱۴	B Titr پررنگ	تیترهای اصلی
۱۲	B Nazanin پررنگ	تیترهای فرعی
۱۲	B Nazanin	متن چکیده
۱۱	B Nazanin	کلمات کلیدی
۱۰	B Nazanin پررنگ	عناوین اشکال و جداول
۱۰	B Nazanin	متن اشکال و جداول
۱۲	B Nazanin	متن اصلی مقاله
۱۶	Times New Roman	عنوان انگلیسی
۱۲	Times New Roman	نام نویسندگان انگلیسی
۱۰	Times New Roman	متن چکیده و کلمات انگلیسی
۱۰	Times New Roman	منابع

مواد و روش ها

در این بخش، نوع مطالعه، جامعه آماری و نمونه مورد مطالعه، روش نمونه‌گیری، ابزار گردآوری داده‌ها، روش کار و روش‌های آماری به دقت بیان شود.

- در صورت استفاده از روش‌های تحقیق شناخته شده، ذکر منبع کافی است؛ اما در صورت استفاده از روش‌های تحقیق جدید، باید اطلاعات کافی داده شود، به طوری که محقق دیگر بتواند براساس اطلاعات ارایه شده، آن روش را اجرا کند.

نتایج

در این قسمت، از متن، جدول، نمودار و عکس به تناسب برای بیان نتایج استفاده شود.

اشکال و جداول

اشکال و جداول باید دارای عنوان فارسی و انگلیسی باشند. عنوان شکل‌ها در پایین شکل و عنوان جدول‌ها در بالای جدول قرار می‌گیرند. در صورتی که از شکل‌ها یا جدول‌های دیگر منابع استفاده می‌کنید، مرجع را در عنوان شکل یا جدول ذکر کنید.

شکل ۱- نمودار مقایسه‌ای

Fig. 1-

جدول ۲- گروه‌های آموزشی

Table 2-

عنوان	ریاضی	فیزیک	شیمی
گروه ۱	۱۹	۲۰	۱۵
گروه ۲	۱۹	۱۸	۲۰
گروه ۳	۱۸	۱۶	۱۸

بحث

یافته‌های مهم تحقیق براساس اهداف ویژه آن با رعایت ترتیب منطقی، ذکر و پیرامون آن با استناد به موارد همسان و دگرسان در متون مرتبط بحث شود. اگر فرضیاتی در مطالعه مطرح شده، تایید و یا رد آن مورد بحث قرار گیرد.

نتیجه گیری

نتیجه گیری به صورت روشن و در حد یافته‌های تحقیق و با توجه به محدودیت‌های مطالعه بیان شود.

مراجع

استنادهای انتهای متن، همگی به صورت انگلیسی نوشته شود. تأکید می شود، از ترجمه شخصی عناوین منابع فارسی اکیداً خودداری نموده و معادل انگلیسی استناد منابع فارسی را از سایت منبع بردارید. در انتهای استناد منابعی که به زبان فارسی منتشر شده است، از عبارت [In Persian] استفاده نمایید.

روش منبع نویسی در این نشریه مطابق با الگوی APA است. برای اطلاع از نحوه منبع نویسی به این روش راهنما را مطالعه نمایید.

مثال:

Ayoobi, A. W., Ahmadi, H., Inceoglu, M., & Pekkan, E. (2022). Seasonal Impacts of Buildings' Energy Consumption on the Variation and Spatial Distribution of Air Pollutant over Kabul City: Application of Sentinel—5P TROPOMI Products. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *15*(1), 73-83.

❋توضیحات مهم:

✓ مسئولیت صحت مطالب چاپ شده از دیدگاه علمی، اخلاقی و حقوقی به عهده نویسنده (گان) مقاله است.

✓ مجله حق رد، قبول، اصلاح، ویرایش و خلاصه نمودن را برای خود محفوظ می دارد.

✓ تصمیم گیری نهایی در مورد مقالات در شورای نویسندگان مجله و پس از ارزیابی توسط داوران صورت می‌پذیرد.

✓ به اطلاع کلیه اساتید و دانشجویان محترم می رساند پس از بررسی مقاله شما توسط داوران، اصلاحات به صورت بازنگری کلی و جزئی برای نویسنده مسئول ارسال می گردد. پس از وصول و انجام اصلاحات فایل ویرایش شده باید مجددا از طریق سامانه بارگزاری شود تا تصمیم نهایی در مورد پذیرش یا عدم پذیرش مقاله انجام شود.

Template for Preparing a Journal of Environmental Management and Laws

First author[1], second author[2]*

1- The title of the first author (authors' organizational affiliation (Affiliation))

2- The title of the second author (authors' organizational affiliation (Affiliation))

**Corresponding Author:*

Abstract:

Basic guidelines for preparation of an Environmental Law and Management Quarterly are presented in this paper. This document contains information about formats, fonts, the styles and sizes. All required styles such as titles, subtitles, abstract, and body are predefined. Just select the appropriate style with respect to different sections of a paper. The abstract part is between 200 to 300 words in one paragraph. It should concisely state what was done, how it was done, why, and what is the primary result and its significance. The abstract cannot contain details, figures, tables, equations, or references.

Keywords: Up to 5 keywords shall be provided as index terms.

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۲۰-۱
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 1-20

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

An Examination of Aesthetic Components in Urban Green Spaces and their Educational Role in Environmental Conservation: A Case Study of Shahinshahr City

Hadis Masumi[1], Mohammad Ali Nadi[2*]

[1] *Department of Environmental Sciences, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*
[2] *Department of Educational Management, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran*

**Corresponding Author: mnadi@khuisf.ac.ir*

Original Paper

Received: 5.18.2024
Accepted: 12.17.2024

Keywords:
Aesthetics,
Green Space,
Effectiveness,
Education.

Abstract

This study aims to investigate the aesthetic components of urban green spaces in Shahinshahr and their educational role in preventing environmental degradation. A quasi-experimental pre-test-post-test design was employed. The independent variable was educational courses on identifying aesthetic components of green spaces, while the dependent variable was the effectiveness of these courses in preventing urban green space degradation. Sixty participants were randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group received 12, 45-minute training sessions, while the control group did not. A researcher-designed questionnaire on women's environmental attitudes was used as the measurement tool. Data were analyzed using SPSS, with descriptive statistics and a covariance analysis. Results showed no significant difference between pre-test and post-test scores. The effect size of the training was 0.075, indicating that only 7.5% of the variance in attitudes towards preventing urban green space degradation was attributable to group membership or the training effect, which was considered negligible and non-significant.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

بررسی مؤلفه‌های زیباشناسی فضای سبز شهری و نقش آموزشی آن‌ها در جلوگیری از تخریب محیط زیست (مطالعه موردی: شهر شاهین‌شهر)

حدیث معصومی[۱]، محمدعلی نادی[۲*]

۱- گروه آموزش محیط‌زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- گروه مدیریت آموزشی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

[*] پست الکترونیکی نویسنده مسئول: *mnadi@khuisf.ac.ir*

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹
پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۲۷

کلمات کلیدی:
زیباشناسی،
فضای سبز،
اثربخشی،
آموزش.

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی مؤلفه‌های زیباشناسی فضای سبز شهری و نقش آموزشی آن‌ها در جلوگیری از تخریب محیط زیست در شاهین شهر است. این پژوهش، از نوع نیمه آزمایشی با طرح پیش‌آزمون- پس‌آزمون است. دوره‌های آموزشی شناسایی مولفه‌های زیباشناسی فضای سبز متغیر مستقل و تعیین اثربخشی آموزشی این مولفه‌ها بر جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری متغیر وابسته این تحقیق را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش ۶۰ نفر به شیوه نمونه‌گیری تصادفی در گروه‌ها انتخاب شدند و در دو گروه کنترل و آزمایشی قرار گرفتند. افراد گروه آزمایشی، دوره‌های آموزشی شامل دوازده جلسه ۴۵ دقیقه‌ای را دریافت کردند در حالی که گروه گواه این آموزش‌ها را دریافت نکردند. در این پژوهش از پرسشنامه محقق ساخته نگرش محیط زیستی بانوان به عنوان ابزار سنجش استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شده است، روش آماری مورد استفاده در این تحقیق آمار توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، دامنه تغییرات، پایین‌ترین نمره، بالاترین نمره و آمار استنباطی شامل آزمون تحلیل کوواریانس بود. نتایج به دست آمده از داده‌های آماری بیانگر آن است که نمرات پیش‌آزمون با پس‌آزمون آن رابطه معنی‌داری ندارد. میزان تأثیر این آموزش‌ها در مرحله پس‌آزمون ۰/۰۷۵ بوده است. یعنی تنها در حدود ۷/۵ درصد از واریانس نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری مربوط به عضویت گروهی و یا تأثیر آموزش‌ها است که این مقدار جزیی و غیر معنی‌دار است.

مقدمه

فضای سبز شهری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر زیرساختی شهرها، نقش اساسی در بهبود کیفیت زندگی شهروندان و حفظ محیط زیست ایفا می‌کند (Lafortezza & Sanesi, 2019). فضاهای سبز شهری به بهبود سلامت و رفاه انسان و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک می‌کنند. همچنین شواهد قوی نشان می‌دهد که فضاهای سبز اثرات جزیره گرمایی شهری را کاهش داده و در نتیجه مصرف انرژی را (به عنوان مثال با کاهش استفاده از تهویه هوا) کاهش می‌دهند. علاوه بر این، جنگل‌های شهری به عنوان چاه‌های کربن عمل می‌کنند و آلودگی هوا و صدا را کاهش می‌دهند و مزایای کوتاه مدت و بلند مدت برای ساکنان تولید می‌کنند و در عین حال، شرایط زندگی بهتری را برای شهروندان فراهم می‌کنند (Giannico et al., 2021). تحقیقات نشان می‌دهد که تعامل انسان با فضای سبز، به‌ویژه فضاهایی که از مولفه‌های زیباشناسی برخوردارند، به کاهش استرس، افزایش خلاقیت و بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کند بنابراین، بهینه‌سازی و حفاظت از این فضاها از اهمیت بالایی برخوردار است (Martin et al., 2020). با توجه به موارد فوق، کمی‌سازی دقیق اثرات مفید فضاهای سبز شهری در رابطه با رفاه انسان، باید به یک تعهد ضروری برای برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران تبدیل شود. ارتباط بین نتایج سلامت و فضاهای سبز شهری در چندین مطالعه نشان داده شده است (Giannico et al., 2021)، Wan و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی روابط اساسی بین فضاهای سبز شهری عمومی و انسجام اجتماعی پرداختند، نتایج نشان داد که هم مقدار فضای سبز و هم کیفیت آن با بهبود سلامت عمومی، کاهش بیماری‌های حاد و بهبود سلامت روان مرتبط است. به عبارت دیگر، هرچه کیفیت فضای سبز بهتر باشد، تأثیر مثبت آن بر سلامت بیشتر است. تحلیل‌های آماری نشان داد که استرس و روابط اجتماعی نقش مهمی در این ارتباط ایفا می‌کنند. به این معنی که فضای سبز با کاهش استرس و تقویت روابط اجتماعی به طور غیرمستقیم بر سلامت افراد تأثیر می‌گذارد. در حالی که فعالیت فیزیکی نیز می‌تواند نقش داشته باشد، اما به اندازه استرس و روابط اجتماعی مهم نیست. ghashghaei & mansourian (۲۰۲۱) در پژوهشی، با تمرکز بر پیاده‌روهای شهر یاسوج به عنوان نمونه‌ای از فضاهای سبز شهری، به بررسی عمیق مؤلفه‌های تأثیرگذار بر کیفیت این فضاها پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه مؤلفه‌های احساسی بر کیفیت ادراک شده پیاده‌روها است. به عبارت دیگر، احساسات و تجربیات کاربران از فضا، نقش تعیین‌کننده‌ای در ارزیابی کیفیت آن ایفا می‌کند که این امر نشان می‌دهد که طراحی هوشمندانه فضاهای سبز می‌تواند به ایجاد محیط‌هایی با کارکردهای متنوع و پاسخگو به نیازهای مختلف کاربران کمک کند.

Dastras & Khajenoori (۲۰۱۹) در پژوهشی، رابطه متقابل بین عوامل جامعه‌شناختی و رفتار محیط زیستی شهروندان شهر شیراز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج توصیفی حاکی از آن است که اکثریت قابل توجهی از نمونه آماری (۶۰/۸ درصد) رفتار محیط زیستی در سطح متوسط از خود نشان داده‌اند. این یافته نشان می‌دهد که اگرچه بخش قابل توجهی از جامعه به موضوع محیط زیست اهمیت می‌دهند، اما هنوز تا رسیدن به سطح مطلوب از رفتارهای محیط زیستی فاصله وجود دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که بین اهمیت دادن به سلامت فردی و حساسیت نسبت به سلامت محیط زیست رابطه مستقیمی وجود دارد. افرادی که به سلامت خود اهمیت می‌دهند، تمایل بیشتری دارند که محیط زیست را نیز به عنوان بخشی از سلامت کلی خود تلقی کنند و برای حفظ آن تلاش نمایند.

زیبایی‌شناسی فضای سبز شهری شامل عناصری است که از نظر بصری، احساسی و عملکردی به محیط شهر اضافه می‌شوند و تجربه مثبت و آرامش‌بخشی را برای شهروندان فراهم می‌کنند. این مؤلفه‌ها شامل طراحی مناسب و هماهنگ با محیط، رنگ، تنوع گیاهی، استفاده از عناصر طبیعی نظیر آب و سنگ، و ایجاد مسیرهای پیاده‌روی و فضاهای عمومی تعاملی است (Polat & Akay, 2015). استفاده از تنوع رنگ‌های طبیعی درختان، گل‌ها و بوته‌ها یکی از عوامل مهم در جذابیت بصری فضای سبز است. علاوه بر رنگ، تنوع در شکل و اندازه گیاهان نیز به افزایش زیبایی و جذابیت این فضاها کمک می‌کند. این مولفه‌ها، به ویژه در فصل‌های مختلف، تغییراتی در چشم‌انداز شهری ایجاد می‌کنند که تجربه‌های جدیدی را برای شهروندان به ارمغان می‌آورد (Aboufazeli et al., 2024). ایران از نظر رنگی در

مقایسه با کشورهای اروپایی دارای فضاهای خنثی و بدون رنگ است. با توجه به نقش رنگ در روح و روان آدمی باید این نقیصه را با تنوع رنگ در فضاهای سبز جبران نمود (Morab et al., 2016). رنگ‌ها به عنوان عناصر تأثیرگذار بر ادراک انسان، ارتباطی مستقیم با احساسات و عواطف او برقرار می‌کنند. به عنوان مثال، رنگ سبز گیاهان به دلیل تأثیر مثبت بر سیستم عصبی، از دیرباز مورد توجه محققان بوده است (Deng, 2020). در طراحی فضاهای سبز، ترکیب گونه‌های گیاهی و شیوه چیدمان آن‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد حس مکان و زیبایی بصری ایفا می‌کند. استفاده از گیاهانی با رنگ‌های متنوع در فصول مختلف، علاوه بر افزایش زیبایی بصری، به تنوع زیستی نیز کمک کرده و جذابیت فضا را برای شهروندان دوچندان می‌کند (Sezavar, 2023). آب به‌عنوان یکی از عناصر طبیعی مهم در فضاهای سبز، نقش ویژه‌ای در بهبود کیفیت بصری و زیباشناختی فضا ایفا می‌کند. جریان آب، آب‌نماها و حتی صدای آب باعث ایجاد حس آرامش و طبیعی بودن فضا می‌شوند. این عنصر می‌تواند ارتباط بیشتری بین شهروندان و طبیعت برقرار کند و جذابیت فضاهای سبز را دوچندان کند (Deng, 2020). کاربرد هنر در فضاهای سبز، استفاده از مجسمه‌ها، آثار هنری و مبلمان شهری زیباشناسی در فضاهای سبز می‌تواند تجربه بصری متفاوتی ایجاد کرده و توجه شهروندان را به اهمیت این فضاها جلب کند. یک فضای سبز خوب طراحی شده، علاوه بر تأمین نیازهای فیزیولوژیکی انسان، باید بتواند تجربه‌ای زیباشناختی را نیز برای کاربران فراهم کند. این تجربه زیباشناختی از طریق عناصری مانند رنگ، بافت، فرم و مقیاس ایجاد می‌شود و به ایجاد حس رضایت و آرامش در افراد کمک می‌کند. با توجه به اهمیت فضاهای سبز در زندگی شهری، باید تلاش شود تا فضاهایی که هم از نظر زیبایی‌شناسی جذاب باشند و هم بتوانند نیازهای فیزیولوژیکی و روانشناختی انسان را برآورده کنند، طراحی و احداث شود (Dorst et al., 2021). Ma و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای که به بررسی تأثیر رنگ بر VAQ پرداختند، تصاویر بصری مختلفی با ترکیبات متفاوت رنگ قرمز و سبز در پس‌زمینه‌های مختلف را طراحی کردند تا تأثیر این رنگ‌ها و ترکیب آن‌ها بر کیفیت زیبایی‌شناختی را مورد ارزیابی قرار دهند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش نسبت رنگ قرمز به سبز باعث افزایش VAQ می‌شود و استفاده از گیاهان پهن‌برگ و سوزنی‌برگ نسبت به گیاهان مخلوط، تأثیر بیشتری بر جذابیت بصری دارد. این یافته‌ها نشان داد که ترکیب‌بندی و توزیع رنگ‌ها در طراحی فضای سبز نه تنها بر زیبایی‌شناسی، بلکه بر میزان توجه و مشارکت شهروندان در استفاده و حفاظت از این فضاها نیز تأثیر داشته است. Polat & Akay (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای که بر روی ۴۰۹ نفر از بازدیدکنندگان فضاهای تفریحی شهری انجام دادند، ارتباط بین کیفیت بصری این فضاها و ترجیحات کاربران با تمرکز بر عناصر گیاهی و ساختاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که عواملی مانند مساحت سطح آب، عرض پیاده‌روها، عملکرد فضاهای تفریحی، ترکیب گیاهان و تنوع گونه‌های گیاهی تأثیر مثبتی بر کیفیت بصری محیط دارند. همچنین، مشاهده شد که نبود گیاهان بوته‌ای در ترکیب گیاهی یک منطقه می‌تواند تأثیر منفی بر تجربه کاربران و کیفیت بصری فضا داشته باشد.

نقش آموزشی مؤلفه‌های زیباشناسی در جلوگیری از تخریب محیط زیست

با این حال، توسعه بی‌رویه شهری و فشارهای اقتصادی و جمعیتی منجر به تخریب و کاهش فضای سبز در بسیاری از شهرها شده است. در شهرهای مدرن، یکی از راهبردهای مؤثر در حفظ و توسعه فضای سبز، آموزش و ارتقاء آگاهی‌های عمومی در زمینه ارزش‌های زیباشناختی و محیط زیستی این فضاها است. آموزش می‌تواند شهروندان را به درک اهمیت استفاده از فضاهای سبز و توجه به زیبایی‌های طبیعی آن‌ها هدایت کند. این آگاهی نه تنها به بهبود رفتارهای شهروندان نسبت به فضای سبز منجر می‌شود، بلکه به ایجاد حس مسئولیت‌پذیری در قبال حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند (Dobson & Dempsey, 2021). در همین راستا، مطالعات نشان داده‌اند که در شهرهایی که آموزش محیط زیستی و زیبایی‌شناسی به طور مؤثر انجام شده است، سطح مشارکت عمومی در حفظ فضاهای سبز و جلوگیری از تخریب آن‌ها افزایش چشمگیری داشته است (Aboufazeli et al., 2024). آموزش زیباشناسی و محیط زیستی می‌تواند شهروندان را با اهمیت و ارزش فضاهای سبز آشنا کرده و حس مسئولیت‌پذیری آنان را نسبت به حفاظت از این فضاها تقویت کند و موجب شود که آن‌ها نه تنها به عنوان استفاده‌کنندگان، بلکه به عنوان محافظان و حامیان این فضاها عمل کنند. آموزش یکی از ابزارهای

کلیدی در تغییر نگرش‌ها و رفتارهای شهروندان در قبال محیط زیست است. آموزش شهروندان در زمینه زیباشناسی فضای سبز و اهمیت آن، باعث تغییر نگرش و رفتار آن‌ها نسبت به محیط زیست می‌شود. تحقیقات نشان داده است که شهروندانی که از طریق آموزش با ارزش‌های محیط زیستی و زیبایی‌شناختی آشنا می‌شوند، تمایل بیشتری به مشارکت در فعالیت‌های حفاظت از محیط زیست و جلوگیری از تخریب فضاهای سبز دارند (Dastras & Khajenoori, 2019).

Sharma و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان نقش آموزش محیط زیست به عنوان عامل تغییر تحول‌آفرین، به این نتیجه رسیدند که آموزش محیط زیست بر نگرانی دانشجویان نسبت به محیط زیست، تمایل به دوستدار محیط زیست بودن و نگرش داوطلبانه تأثیر مثبت دارد.

Whitburn و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی، تأثیر اردوهای آموزشی محیط زیستی بر تقویت ارتباط کودکان با طبیعت و بهبود رفتارهای محیط زیستی و سلامت روان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که آموزش محیط زیستی مبتنی بر تجربه مستقیم در طبیعت می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در جهت ارتقای رفتارهای محیط زیستی پایدار و حمایت از حفاظت از محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.

Lahoti و همکاران (۲۰۲۴) به پژوهشی با هدف بررسی ارتباط میان دسترسی به فضاهای سبز شهری، احساس تعلق به طبیعت و در نهایت، تأثیر این عوامل بر رفتارهای محیط زیستی مثبت در میان ساکنان شهر ناگپور، هند پرداختند. این پژوهش نشان می‌دهد که فضاهای سبز شهری فراتر از فضاهای تفریحی، به عنوان ابزاری قدرتمند برای ارتقای آگاهی محیط زیستی و تغییر رفتارهای فردی عمل می‌کنند. این یافته‌ها برای برنامه‌ریزی شهری، طراحی فضاهای سبز شهری و اجرای برنامه‌های آموزشی محیط زیستی در سطح محلی و ملی دارای اهمیت فراوانی است.

در ایران، فضای سبز شهری در معرض تهدیداتی از جمله توسعه بی‌رویه شهری و کمبود مدیریت پایدار قرار دارد. شهر شاهین‌شهر به‌عنوان یک نمونه‌پژوهی، چالش‌های خاص خود را در زمینه حفظ و توسعه فضای سبز تجربه کرده است. از این رو، بررسی مؤلفه‌های زیباشناسی در فضای سبز شاهین‌شهر و تحلیل نقش آموزش در افزایش آگاهی و مسئولیت‌پذیری شهروندان در قبال حفاظت از این فضاها می‌تواند به تدوین سیاست‌های بهتری در زمینه مدیریت پایدار فضای سبز شهری منجر شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر شاهین‌شهر با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع متوسط ۱۶۰۰ متر از سطح دریا، در منطقه‌ای با توپوگرافی تقریباً مسطح واقع شده است. پوشش گیاهی غالب پارک‌های شهری در این منطقه، با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی، شامل گونه‌های سازگار به خشکی همچون کاج، سرو، نارون، توت، بید و سنجد تلخ است. زمین‌شناسی منطقه شاهین‌شهر عمدتاً تحت تأثیر رسوبات کواترنری است و خاک‌های آن منشأی کوهستانی داشته و از کوه‌های اطراف تأمین می‌شود. این کوه‌ها که عمدتاً از سازندهای کرتاسه پایینی و تریاس بالایی تشکیل شده‌اند، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و در نتیجه، نوع پوشش گیاهی منطقه داشته‌اند. منبع تأمین آب فضای سبز شهری شاهین‌شهر، پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری است. اقلیم خشک سرد با میانگین دمای سالانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد و بارندگی سالانه ۱۰۷/۲ میلی‌متر، مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در منطقه شاهین‌شهر است. رژیم حرارتی خاک ترمیک و رژیم رطوبتی آن اریدیک است. در انتخاب گونه‌های گیاهی برای فضای سبز شهری شاهین‌شهر، عواملی همچون سازگاری با شرایط اقلیمی خشک و سرد، تحمل شوری خاک، مقاومت به آفات و بیماری‌ها و همچنین جنبه‌های زیبایی‌شناختی مورد توجه قرار گرفته است.

روش پژوهش

با توجه به ماهیت و اهداف، این پژوهش از دو روش تحلیل مضمون و آزمایشی استفاده می‌کند که هر یک با توجه به ماهیت سوالات تحقیق، انتخاب شده‌اند. تحلیل مضمون برای استخراج مؤلفه‌های زیباشناسی از داده‌های کیفی و روش آزمایشی برای بررسی تأثیر آموزش این مؤلفه‌ها بر نگرش محیط زیستی، استفاده شده است.

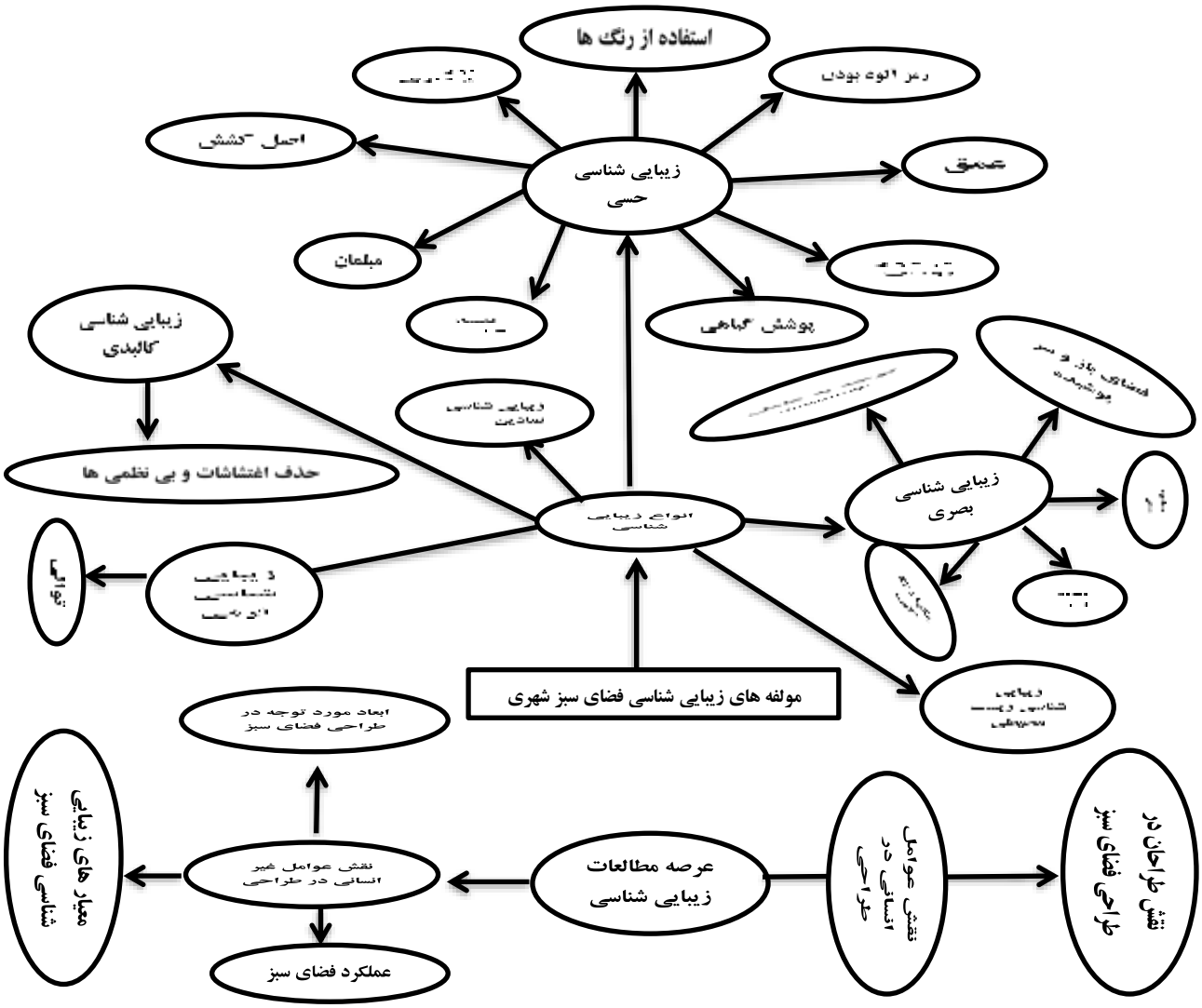
روش تحقیق در مرحله نخست، تحلیل مضمون است که براساس رویکرد استقرایی و کیفی انجام شده است (Holloway & Todres, 2003). این روش برای شناسایی و استخراج مضامین کلیدی در زیباشناسی فضای سبز شهری مناسب است. تحلیل مضمون جز دسته روش‌هایی قرار گرفته است که وابسته به جایگاه معرفت شناسی یا نظری خاصی نیست و می‌تواند در طیف وسیعی از روش‌های نظری مورد استفاده قرار گیرد (Braun & Clarke, 2006)، به همین جهت تحلیل مضمون، تحلیلی منعطف و مناسب برای روش‌های مختلف است (Boyatzis, 1998). تحلیل مضمون استفاده شده در پژوهش حاضر بر مبنای روش آترایدـ استرلینگ (۲۰۰۱) است که این روش براساس یک رویه مشخص و در سه سطح، نقش‌هایی از کل مضامین را ارائه می‌کند: مضامین فراگیر (اولیه) که شامل مضامین عالی دربرگیرنده اصول حاکم بر متن به عنوان یک کل است و در کانون شبکه مضامین قرار می‌گیرد، مضامین سازمان‌دهنده که دربرگیرنده مضامین حاصل از ترکیب و تلخیص مضامین پایه است و در نهایت مضامین پایه که شامل کدها و نکات کلیدی موجود در متن است (Attride-Stirling, 2001). ارتباط بین این مضامین در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- ارتباط بین مضامین (Attride-Stirling, 2001)

Fig. 1- The relationship between themes (Attride-Stirling, 2001)

فرآیند تحلیل مضمون انجام شده شامل مراحل زیر است:

- **جمع‌آوری داده‌های اولیه:** داده‌های مورد نیاز از طریق مرور نظام‌مند مقالات علمی و منابع معتبر مرتبط با زیباشناسی فضای سبز شهری جمع‌آوری شدند. مضامین به طور مستقیم از جملات تفاسیر برگرفته شده و پژوهشگردر محتوای آن‌ها دخل و تصرفی نداشته است. مفاهیم کلیدی استخراج و خوشه‌بندی شدند.
- **کدگذاری باز:** در این مرحله، داده‌ها به واحدهای معنایی شکسته شده و کدهای اولیه استخراج می‌شوند.
- **تلفیق کدها و شناسایی مضامین:** کدهای مرتبط ترکیب شده و مضامین اولیه و ثانویه شناسایی می‌شوند.
- **اجماع متخصصان:** به منظور افزایش اعتبار نتایج، مضامین استخراج‌شده توسط گروهی از متخصصان حوزه محیط زیست و زیباشناسی مورد ارزیابی و تایید قرار گرفتند.
- **تهیه مدل مفهومی:** در نهایت، براساس مضامین شناسایی‌شده، مدلی مفهومی طراحی شد که مؤلفه‌های زیباشناسی فضای سبز شهری را همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، نمایش می‌دهد.



شکل۲- شبکه مضامین مولفه‌های زیبایی شناسی فضای سبز

Fig. 2- Thematic Network of Aesthetic Components in Green Spaces

در بخش دوم تحقیق، از یک طراحی نیمه‌آزمایشی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل استفاده شده است. این روش برای بررسی تأثیر متغیر مستقل (آموزش مؤلفه‌های زیباشناسی) بر متغیر وابسته (نگرش محیط زیستی) مناسب است. جامعه آماری شامل ۶۰ زن ۳۰ تا ۴۰ ساله از ساکنین شاهین‌شهر است که به روش تصادفی ساده انتخاب شده و به دو گروه آزمایش و گواه تقسیم شدند.

ابزار پژوهش یک پرسشنامه محقق‌ساخته است که براساس مقیاس لیکرت ۵ درجه‌ای شامل گزینه‌های خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم، طراحی شده و شامل ۲۰ سوال در پنج مؤلفه مختلف است که مؤلفه‌های مذکور عبارتند از: شاخص دسترسی و خدماتی، شاخص سلامت فرد، شاخص احساس، شاخص کالبدی و شاخص محیطی و محیط زیستی. این پرسشنامه با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ (۸۶٪) و تحلیل عاملی اکتشافی (۰/۸۴۱) دارای پایایی و روایی مناسبی است.

به منظور بررسی تأثیر آموزش بر نگرش محیط زیستی بانوان ۳۰ تا ۴۰ ساله ساکن شاهین‌شهر، مطالعه‌ای نیمه‌تجربی انجام شد. پس از هماهنگی با دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان و موسسه یوگای ساحل آرامش، دو کلاس یوگا از بانوان ساکن شاهین‌شهر به عنوان جامعه آماری انتخاب شدند. یکی از کلاس‌ها به عنوان گروه آزمایش و دیگری به عنوان گروه گواه تعیین شد. پیش از اجرای مداخله، پرسشنامه محقق‌ساخته نگرش محیط زیستی به هر دو گروه ارائه شد. پس از پاسخ‌دهی بانوان پرسشنامه‌ها جمع‌آوری شد و نمرات در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس، گروه آزمایش به مدت ۱۲ هفته و هر هفته دو جلسه ۴۵ دقیقه‌ای آموزش دریافت

کرد. در اولین جلسه، اهداف و شیوه کار به طور کامل برای شرکت‌کنندگان تشریح شد. آموزش‌های محیط زیستی در طی چند جلسه به بانوان ارائه گردید. در هر جلسه، تمرین‌های عملی و مباحث مشارکتی پیرامون موضوعاتی چون تأثیر آلودگی بر محیط زیست، نقش فضاهای سبز و پارک‌ها در حفظ محیط زیست و سلامت انسان (از جنبه‌های روانی و جسمانی)، و همچنین مولفه‌های زیبایی‌شناختی فضاهای سبز برگزار شد. گروه گواه هیچ‌گونه مداخله‌ای دریافت نکرد. پس از اتمام دوره آموزشی، مجدداً پرسشنامه نگرش محیط زیستی از هر دو گروه کنترل و آزمایش جمع‌آوری شد. برای تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

یافته های توصیفی

یافته‌های توصیفی سن و تحصیلات به تفکیک گروه آزمایش و کنترل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های توصیفی سن و تحصیلات به تفکیک دو گروه و دو مرحله پژوهش

Table 1- Descriptive Statistics of Age and Education Level in Two Groups and Two Research Phases

متغیر	گروه‌ها	آزمایش	کنترل
سن	میانگین	۳۴/۴۷	۳۳/۵۳
	انحراف معیار	۲/۹۹	۲/۶۷
تحصیلات	میانگین	۱۴/۱۳	۱۴/۹۳
	انحراف معیار	۳/۱۶	۳/۲۸

همان گونه که در جدول۱ مشاهده می‌شود، میانگین سن در گروه آزمایش ۳۴/۴۷ سال و در گروه کنترل ۳۳/۵۳ سال است. میانگن تحصیلات نیز در گروه آزمایش ۱۴/۱۳ سال و در گروه کنترل ۱۴/۹۳ سال به دست آمده است.

شاخص‌های توصیفی نمرات هر یک از سؤالات جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری به تفکیک گروه آزمایش و کنترل در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲-شاخص‌های توصیفی نمرات متغیرهای وابسته پژوهش به تفکیک دو گروه و دو مرحله پژوهش

Table 2- Descriptive Statistics of Dependent Variable Scores for Two Groups across Two Phases of the Study

متغیر	گروه‌ها	آزمایش		کنترل	
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری کل	میانگین	۵۶	۷۹/۰۷	۵۰/۹۳	۷۶/۶
	انحراف معیار	۴/۲۵	۳/۴۷	۳/۶۳	۵/۴۷
رضایت از دسترسی به مراکز	میانگین	۲/۹۳	۳/۳۹	۲/۴	۳/۶
	انحراف معیار	۰/۹۶	۱/۰۶	۱/۱۲	۱/۱۲
رضایت از روان بودن تردد وسایل نقلیه	میانگین	۲/۶	۳/۵۳	۲/۵۳	۳/۵۳
	انحراف معیار	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۹۹	۱/۱۸
رضایت از دسترسی به فضاهای مذهبی	میانگین	۲/۸	۳/۶۷	۲/۲	۳/۵۳
	انحراف معیار	۰/۸۶	۱/۰۴	۰/۷۷	۱/۱۲
ایمنی و بزرگ بودن پیاده‌روها	میانگین	۳/۰۷	۳/۶	۲/۸	۴/۰۷
	انحراف معیار	۰/۸۸	۱/۴	۰/۹۴	۰/۷۹

متغیر	گروه‌ها	آزمایش		کنترل	
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
احساس سلامتی از زندگی و تردد شهری	میانگین	۲/۷۳	۳/۶	۲/۸	۴/۰۷
	انحراف معیار	۰/۴۶	۱/۱۸	۰/۶۷	۱/۰۹
اهمیت سلامت افراد ساکن در شهر	میانگین	۳	۴/۱۳	۲/۸	۳/۳۸
	انحراف معیار	۰/۸۴	۱/۲	۰/۹۴	۱/۳
تأثیر محیط و فضای سبز شهر در احساس آرامش	میانگین	۲/۸	۴/۴۷	۲/۹۳	۳/۷۳
	انحراف معیار	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۸۸	۱/۲۲
استفاده از فضای باز در روزهای تعطیل	میانگین	۲/۵۳	۴	۲/۹۳	۴/۲۷
	انحراف معیار	۰/۸۳	۰/۹۳	۱/۲۲	۱/۲۲
ترجیح حضور در این شهر	میانگین	۲/۴۷	۳/۹۳	۳/۰۷	۴
	انحراف معیار	۱/۰۷	۱/۳۳	۰/۹۶	۱/۱۳
احساس خوب از سکونت در شهر	میانگین	۲/۶	۴/۳۳	۲/۳۳	۴/۱۳
	انحراف معیار	۰/۹۸	۱/۱۱	۰/۸۲	۱/۱۸
شهر خوشنام ایران	میانگین	۲/۸۷	۴/۴۷	۲/۵۳	۴
	انحراف معیار	۱/۰۶	۰/۵۱	۱/۰۶	۱/۲۵
تعلق خاطر به فضلی باز شهری	میانگین	۲/۸۷	۴/۱۳	۲/۶	۳/۳۷
	انحراف معیار	۰/۸۳	۰/۷۴	۱/۱۸	۱/۱۷
رضایت از روشنایی و نورپردازی فضای باز	میانگین	۲/۶	۳/۹۳	۲/۰۷	۴
	انحراف معیار	۰/۶۳	۰/۹۶	۰/۷۹	۱/۲۵
مطابقت فضای شهری یا معماری ایرانی-اسلامی	میانگین	۲/۶۷	۳/۷۳	۲/۳۳	۳/۷۳
	انحراف معیار	۰/۹۷	۱/۰۹	۱/۰۴	۱/۲۷
رضایت از وضعیت آسفالت، جوی و جدول معابر شهر	میانگین	۲/۸۷	۴/۴۷	۲/۸۷	۴
	انحراف معیار	۱/۱۲	۱/۰۶	۰/۹۲	۱/۱۳
رضایت از کف‌سازی شهر از لحاظ تنوع مصالح، راحتی و دوام	میانگین	۳/۰۷	۴/۱۳	۲/۳۳	۳/۶۷
	انحراف معیار	۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۸۹	۱/۱۷
رضایت از جایگذاری امکانات داخل شهر مانند نیمکت، سطل زباله و ...	میانگین	۳/۱۳	۴/۰۷	۲/۴	۳/۸
	انحراف معیار	۱/۱۸	۱/۰۳	۰/۹۱	۰/۸۶
میزان پسند شکل ظاهری (از لحاظ شکل هندسی) گونه‌های موجود در فضای سبز شهر	میانگین	۲/۸	۳/۶	۲/۶	۳/۶
	انحراف معیار	۰/۸۶	۱/۴۵	۰/۶۳	۱/۱۲
تنوع و رنگ‌بندی گیاهان موجود در شهر	میانگین	۲/۸۷	۳/۹۳	۲/۱۳	۳/۷۶
	انحراف معیار	۰/۸۴	۱/۳۸	۰/۷۴	۱/۱۱
امکان استفاده از فضای سبز شهر در همه فصول	میانگین	۲/۷۳	۳/۴۷	۲/۲۷	۳/۶۷
	انحراف معیار	۰/۹۶	۱/۱۸	۱/۰۳	۱/۱۱

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری میانگین پیش‌آزمون در گروه آزمایش برابر با ۵۶

و پس‌آزمون ۷۹/۰۷ به دست آمده است. در گروه کنترل میانگین متغیر مذکور در پیش‌آزمون و پس‌آزمون به ترتیب برابر با ۵۰/۹۳ و ۷۶/۶ حاصل گردیده است. به طور کلی براساس یافته‌های توصیفی میانگین نمرات جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در گروه آزمایش نسبت به کنترل افزایش بیشتری در مرحله پس‌آزمون نشان داده است.

جدول۳-آزمون کلموگروف- اسمیرنف جهت ارزیابی نرمال بودن توزیع نمرات متغیرهای پژوهش در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون

Table 3- Kolmogorov-Smirnov Test for Normality of Pre- and Post-Test Scores

متغیر	گروه ها	پیش‌آزمون		پس‌آزمون	
		آماره	معنی‌داری		
جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری کل	آزمایش	۰/۱۵۹	۰/۱۷۴	۰/۱۸۹	۰/۱۹
	کنترل	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۱۵۲
رضایت از دسترسی به مراکز	آزمایش	۰/۲۷۲	۰/۰۰۴	۰/۲۱۷	۰/۰۵۶
	کنترل	۰/۲۳۹	۰/۰۲۱	۰/۱۷۳	۰/۲
رضایت از روان بودن تردد وسایل نقلیه	آزمایش	۰/۲۳۲	۰/۰۲۹	۰/۳۶۳	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۲۸۱	۰/۰۰۲	۰/۲۵۳	۰/۰۱۱
رضایت از دسترسی به فضاهای مذهبی	آزمایش	۰/۳۹۲	۰/۰۰۱	۰/۲۰۵	۰/۰۹۱
	کنترل	۰/۲۴۹	۰/۰۱۳	۰/۱۹۴	۰/۱۳۳
ایمنی و بزرگ بودن پیاده‌روها	آزمایش	۰/۲۶۳	۰/۰۰۶	۰/۲۴۱	۰/۰۵۲
	کنترل	۰/۳۱۷	۰/۰۰۱	۰/۲۱۲	۰/۰۶۸
احساس سلامتی از زندگی و تردد شهری	آزمایش	۰/۴۵۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷۳	۰/۲
	کنترل	۰/۲۸۲	۰/۰۲	۰/۲۷۶	۰/۰۰۳
اهمیت سلامت افراد ساکن در شهر	آزمایش	۰/۳	۰/۰۰۱	۰/۳۲۲	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۳۱۷	۰/۰۰۱	۰/۲۷۴	۰/۰۰۳
تأثیر محیط و فضای سبز شهر در احساس آرامش	آزمایش	۰/۲۸۳	۰/۰۰۲	۰/۳۳۹	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۲۷	۰/۰۰۴	۰/۱۸۶	۰/۱۷
استفاده از فضای باز در روزهای تعطیل	آزمایش	۰/۳۱۲	۰/۰۰۱	۰/۲۳۳	۰/۰۲۷
	کنترل	۰/۲۴۴	۰/۰۱۷	۰/۳۲۶	۰/۰۰۱
ترجیح حضور در این شهر	آزمایش	۰/۲۷	۰/۰۰۴	۰/۲۵۵	۰/۰۱
	کنترل	۰/۲۷۲	۰/۰۰۴	۰/۳۶۷	۰/۰۰۱
احساس خوب از سکونت در شهر	آزمایش	۰/۳۲۴	۰/۰۰۱	۰/۳۲۵	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۳۲۶	۰/۰۰۱	۰/۳۲۲	۰/۰۰۱
شهر خوش نام ایران	آزمایش	۰/۲۱۷	۰/۰۵۶	۰/۳۵	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۲۲۶	۰/۰۵۱	۰/۲۵۴	۰/۰۱
تعلق خاطر به فضلی باز شهری	آزمایش	۰/۲۹۷	۰/۰۱	۰/۲۳۸	۰/۰۲۲
	کنترل	۰/۱۶۸	۰/۲	۰/۲۱۲	۰/۰۶۹
رضایت از روشنایی و نورپردازی فضای باز	آزمایش	۰/۲۹۵	۰/۰۰۱	۰/۲	۰/۱۱

	کنترل	۰/۲۱۲	۰/۰۶۸	۰/۲۵۴	۰/۰۱
مطابقت فضای شهری یا معماری ایرانی- اسلامی	آزمایش	۰/۲۳۴	۰/۰۲۷	۰/۳۲۹	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۲۰۵	۰/۰۹۱	۰/۲۴۹	۰/۰۱۳
رضایت از وضعیت آسفالت، جوی و جدول معابر شهر	آزمایش	۰/۲۵۳	۰/۰۱۱	۰/۳۵۹	۰/۰۰۰۱
	کنترل	۰/۲۴۲	۰/۰۱۸	۰/۲۳۳	۰/۰۲۷
رضایت از کف سازی شهراز لحاظ تنوع مصالح، راحتی و دوام	آزمایش	۰/۲۷	۰/۰۰۴	۰/۲۳۸	۰/۰۲۲
	کنترل	۰/۳۷۱	۰/۰۰۱	۰/۲۰۵	۰/۰۹
رضایت از جایگذاری امکانات داخل شهر	آزمایش	۰/۲۵۵	۰/۰۰۹	۰/۲۸۴	۰/۰۰۲
	کنترل	۰/۲۷۸	۰/۰۰۳	۰/۲۵۸	۰/۰۰۸
میزان پسند شکل ظاهری گونه‌های موجود در فضای سبز شهر	آزمایش	۰/۲۵۸	۰/۰۰۸	۰/۲۳۲	۰/۰۲۹
	کنترل	۰/۴۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱۷۳	۰/۲
تنوع و رنگ‌بندی گیاهان موجود در شهر	آزمایش	۰/۲۹۷	۰/۰۰۱	۰/۲۵۳	۰/۰۱۱
	کنترل	۰/۲۳۸	۰/۰۲۲	۰/۲۸۴	۰/۰۰۲
امکان استفاده از فضای سبز شهر در همه فصول	آزمایش	۰/۲۷۶	۰/۰۰۳	۰/۳۴	۰/۰۰۱
	کنترل	۰/۲۰۲	۰/۱۰۱	۰/۲۱۸	۰/۰۵۴

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع نمرات در متغیر کل پژوهش شامل نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون باقی است یعنی توزیع نمرات نمونه نرمال و همسان با جامعه است و کجی و کشیدگی حاصل اتفاقی است (همه سطوح معنی‌داری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است). اما در بیشتر سوالات پرسشنامه در هر دو مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون رد شده است (سطوح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ است).

هدف از بررسی پیش‌فرض برابری وریانس‌ها، بررسی مساوی بودن واریانس‌های گروه‌هاست. بدین منظور از آزمون لوین استفاده شده است. نتایج، در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- آزمون لوین جهت ارزیابی پیش‌فرض برابری واریانس‌های نمرات متغیرهای پژوهش

Table 4- Levene's Test for Equality of Variances of Research Variables

مراحل پژوهش	پیش‌آزمون		پس‌آزمون	
متغیر	F	معنی‌داری	F	معنی‌داری
جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری کل	۲/۸۶۳	۰/۱۰۲	۲/۴۰۶	۰/۱۳۲
رضایت از دسترسی به مراکز	۱/۰۰۵	۰/۳۲۵	۰/۳۱۸	۰/۵۷۷
رضایت از روان بودن تردد وسایل نقلیه	۰/۶۳۶	۰/۴۳۲	۲/۸۶۸	۰/۱۰۱
رضایت از دسترسی به فضاهای مذهبی	۰/۰۸	۰/۷۸	۰/۰۰۲	۰/۹۶۶
ایمنی و بزرگ بودن پیاده‌روها	۰/۰۸	۰/۷۷۹	۹/۴۰۸	۰/۰۰۵
احساس سلامتی از زندگی و تردد شهری	۱/۵۳۲	۰/۲۲۶	۰/۶۶۶	۰/۴۲۱
اهمیت سلامت افراد ساکن در شهر	۰/۴۹۲	۰/۴۸۹	۰/۳۹	۰/۵۳۸
تأثیر محیط و فضای سبز شهر در احساس آرامش	۰/۲۲۹	۰/۶۳۶	۲/۵۴۴	۰/۱۲۲
استفاده از فضای باز در روزهای تعطیل	۲/۴۴۲	۰/۱۲۹	۰/۶۵۲	۰/۴۲۶

ترجیح حضور در این شهر	۰/۶۴۵	۰/۴۲۸	۱/۳۷۳	۰/۲۵۱
احساس خوب از سکونت در شهر	۰/۲۸۹	۰/۵۹۵	۰/۰۰۱	۰/۹۷۶
شهر خوش نام ایران	۰/۰۰۲	۰/۹۶۸	۴/۴۵۱	۰/۰۵۴
تعلق خاطر به فضلی باز شهری	۲/۷۳۷	۰/۱۰۹	۲/۹۵۲	۰/۰۹۷
رضایت از روشنایی و نورپردازی فضای باز	۰/۲۰۲	۰/۶۵۶	۰/۴۹۹	۰/۴۸۶
مطابقت فضای شهری یا معماری ایرانی- اسلامی	۰/۲۳	۰/۶۳۵	۰/۷۵۸	۰/۳۹۱
رضایت از وضعیت آسفالت، جوی و جدول معابر شهر	۰/۳۱۱	۰/۵۸۲	۰/۱	۰/۷۵۴
رضایت از کف‌سازی شهراز لحاظ تنوع مصالح، راحتی و دوام	۰/۹۶۸	۰/۳۳۴	۶/۴۶۷	۰/۰۱۷
رضایت از جایگذاری امکانات داخل شهر	۰/۰۹۱	۰/۷۶۵	۱/۲۰۵	۰/۲۸۲
میزان پسند شکل ظاهری گونه‌های موجود در فضای سبز شهر	۰/۷۳۷	۰/۳۹۸	۲/۴۴	۰/۱۲۹
تنوع و رنگ‌بندی گیاهان موجود در شهر	۰/۰۰۹	۰/۹۲۴	۰/۴۱۵	۰/۵۲۵
امکان استفاده از فضای سبز شهر در همه فصول	۰/۲۴	۰/۶۲۸	۰/۰۴۳	۰/۸۳۷

همان‌طور که در جدول ۴دیده می‌شود، پیش‌فرض لوین مبنی بر برابری واریانس‌ها در گروه‌ها در متغیر وابسته پژوهش شامل جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در مرحله پیش‌آزمون و همه سؤالات در مرحله پیش‌آزمون تأیید شده است و در مرحله پس‌آزمون نیز در نمره کل و بیشتر سؤالات به جز ایمنی پیاده‌روها و رضایت از کف‌سازی تأیید شده است.

در حالی که این فرض وجود دارد که در تحلیل کوواریانس‌ها متغیرها در کل داده‌ها باید خطی باشند، این فرض نیز مطرح است که خطوط رگرسیون برای هر گروه باید یکسان باشد. اگر خطوط رگرسیون ناهمگن باشند، آن گاه تحلیل کوواریانس مناسب نیست. فرض همگنی رگرسیون یک موضوع کلیدی تحلیل رگرسیون است (Khadivi et al., 2012). جهت بررسی این پیش‌فرض آزمون تعامل گروه در پیش‌آزمون از نظر پس‌آزمون در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج بررسی رابطه خطی پیش‌آزمون و متغیر وابسته در متغیرهای پژوهش

Table 5- Results of Linear relationship between Pretest and Dependent Variable for Research Variables

شاخص متغیر	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری
جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری	۱۰/۵۳۱	۱	۱۰/۵۳۱	۰/۴۷۸	۰/۴۹۵

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، تعامل پیش‌آزمون با عضویت گروهی در متغیر وابسته غیر معنی‌دار به دست نیامده است و لذا می‌توان گفت در همه متغیرهای پژوهش رابطه پیش‌آزمون با متغیر وابسته خطی است.

در جدول ۶ نتایج همبستگی نمرات متغیر پژوهش با ویژگی‌های جمعیت شناختی پیوسته سن و تحصیلات ارائه شده است. در صورتی که متغیر پژوهش رابطه معنی‌داری با این متغیرها داشته باشند، باید در بررسی فرضیه کنترل شوند.

جدول ۶- ضرایب همبستگی متغیرهای جمعیت شناختی با متغیر پژوهش

Table 6- Correlation Coefficients between Demographic Variables and the Research Variable

متغیرهای پژوهش	سن		تحصیلات	
	ضریب همبستگی	معنی‌داری	ضریب همبستگی	معنی‌داری
جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری	۰/۲۱۴	۰/۲۵۶	-۰/۰۷۷	۰/۶۸۴

همان‌طور که در جدول ۶ دیده می‌شود، سن و تحصیلات رابطه معنی‌داری با متغیر پژوهش نشان نداده است، هر دو سطوح معنی‌داری از ۰/۰۵ بیشتر است. بدین ترتیب در بررسی فرضیه پژوهش نیازی به کنترل این متغیرهای جمعیت شناختی نیست.

با توجه به تأیید بیشتر پیش‌فرض‌های آماری لازم همچنین برابری تعداد در دو گروه، می‌توان از آزمون پارامتری تحلیل کوواریانس استفاده نمود. نتایج تحلیل کوواریانس اثر آموزش مؤلفه‌های زیبایی شناسی فضای سبز بر نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در جدول ۷ ارائه شده است. در این تحلیل، به منظور مهار اثر اجرای پیش‌آزمون بر نتایج نمرات پس‌آزمون نمرات پیش‌آزمون کنترل گردیده است یعنی اثر آن از روی نمرات پس‌آزمون برداشته شده است و سپس دو گروه با توجه به نمرات باقی مانده مقایسه شده‌اند.

جدول ۷- نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری برحسب عضویت گروهی

Table 7- Results of Covariance Analysis Comparing Mean Attitude Scores Regarding the Prevention of Urban Green Space Destruction Based on Group Membership

منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
پیش‌آزمون	۵/۱۱۹	۱	۵/۱۱۹	۰/۲۳۷	۰/۶۳	۰/۰۰۹	۰/۰۷۶
عضویت گروهی	۴۷/۳۵۲	۱	۴۷/۳۵۲	۲/۱۹۱	۰/۱۵	۰/۰۷۵	۰/۲۹۸
خطا	۵۸۳/۴۱۵	۲۷	۲۱/۶۰۸				

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری با پس‌آزمون آن رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در مرحله پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی‌دار به دست نیامده است ($p>۰/۰۵$). لذا پاسخ به سؤال پژوهش منفی است. به عبارت دیگر آموزش مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی فضای سبز، نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری را در گروه آزمایش نسبت به کنترل افزایش معنی‌داری نمی‌دهد. میزان تأثیر این آموزش‌ها در مرحله پس‌آزمون ۰/۰۷۵ بوده است. یعنی تنها در حدود ۷/۵ درصد از واریانس نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری مربوط به عضویت گروهی و یا تأثیر آموزش‌ها است که این مقدار جزیی و غیر معنی‌دار است.

میانگین‌های تعدیل شده نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در مرحله پس‌آزمون در دو گروه در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- میانگین‌های تعدیل شده نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در مرحله پس‌آزمون در دو گروه

Table 8- Adjusted Mean Attitudes towards Preventing Urban Green Space Destruction in the Post-test Phase for Two Groups

مرحله پژوهش	گروه	میانگین	خطای انحراف استاندارد
پس‌آزمون	آزمایش	۷۹/۳۴	۱/۳۲
	کنترل	۷۶/۳۳	۱/۳۲

نتایج تحلیل کوواریانس اثر آموزش مؤلفه‌های زیبایی شناسی فضای سبز بر مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در جدول۹ تا ۱۳ ارائه شده است.

جدول ۹- نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در بعد شاخص دسترسی و خدماتی برحسب عضویت گروهی

Table 9- Results of Covariance Analysis Comparing Mean Scores of Attitude Components Related to Preventing Urban Green Space Destruction in the Dimension of Accessibility and Services, According to Group Membership

مؤلفه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
رضایت از دسترسی به مراکز	پیش‌آزمون	۳/۴۵۲	۱	۳/۴۵۲	۳/۱۱۹	۰/۰۸۹	۰/۱۰۴	۰/۳۳۹
	عضویت گروهی	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۵۳	۰/۰۴۸	۰/۸۲۸	۰/۰۰۲	۰/۰۵۵
	خطا	۱۲۹/۸۸	۲۷	۱/۱۰۷				
رضایت از روان بودن تردد وسایل نقلیه	پیش‌آزمون	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۸۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵
	عضویت گروهی	۲/۷۱	۱	۲/۷۱	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵
	خطا	۲۷/۴۶۶	۲۷	۱/۰۱۷				
رضایت از دسترسی به فضاهای مذهبی	پیش‌آزمون	۲/۹۱۳	۱	۲/۹۱۳	۲/۶۰۸	۰/۱۱۸	۰/۰۸۸	۰/۳۴۴
	عضویت گروهی	۰/۰۶۹	۱	۰/۰۶۹	۰/۰۶۲	۰/۸۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۵۷
	خطا	۳۰/۱۵۴	۲۷	۱/۱۱۷				
ایمنی و بزرگ بودن پیاده‌روها	پیش‌آزمون	۱/۳۴۴	۱	۱/۳۴۴	۱/۰۳۱	۰/۳۱۹	۰/۰۳۷	۰/۱۶۵
	عضویت گروهی	۲/۰۶۵	۱	۲/۰۶۵	۱/۵۸۴	۰/۲۱۹	۰/۰۵۵	۰/۲۲۹
	خطا	۳۵/۱۸۹	۲۷	۱/۳۰۳				

همان‌طور که در جدول ۹ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص دسترسی و خدماتی با پس‌آزمون آن‌ها رابطه معنی‌داری ندارد. هم چنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص دسترسی و خدماتی در مرحله پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی دار به دست نیامده است ($p>۰/۰۵$).

جدول ۱۰- نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص سلامت فرد برحسب عضویت گروهی

Table 10- Results of Covariance Analysis Comparing Mean Scores of Attitude Components Related to Preventing Urban Green Space Destruction on the Individual Health Index, According to Group Membership

مؤلفه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
احساس سلامتی از زندگی و تردد شهری	پیش‌آزمون	۱/۲۳۹	۱	۱/۲۳۹	۰/۹۴۷	۰/۳۳۹	۰/۰۳۴	۰/۱۵۶
	عضویت گروهی	۱/۸۰۱	۱	۱/۸۰۱	۱/۳۷۸	۰/۲۵۱	۰/۰۴۹	۰/۲۰۵
	خطا	۳۵/۲۹۵	۲۷	۱/۳۰۷				
اهمیت سلامت افراد ساکن در شهر	پیش‌آزمون	۰/۵۷۹	۱	۰/۵۷۹	۰/۳۶۴	۰/۵۵۱	۰/۰۱۳	۰/۰۹
	عضویت گروهی	۰/۴۰۷	۱	۰/۴۰۷	۰/۲۵۶	۰/۶۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۷۸
	خطا	۴۲/۸۸	۲۷	۱/۵۸۸				
تأثیر محیط و فضای سبز شهر در احساس آرامش	پیش‌آزمون	۰/۴۷۴	۱	۰/۴۷۴	۰/۴۲۴	۰/۵۲	۰/۰۱۵	۰/۰۹۶
	عضویت گروهی	۳/۷۶۵	۱	۳/۷۶۵	۳/۳۶۷	۰/۰۷۸	۰/۱۱۵	۰/۴۲۵
	خطا	۳۰/۱۹۳	۲۷	۱/۱۱۸				
استفاده از فضای باز	پیش‌آزمون	۳/۰۸۹	۱	۳/۰۸۹	۲/۷۹۵	۰/۱۰۶	۰/۰۹۴	۰/۳۶۴

در روزهای تعطیل	عضویت گروهی	۱/۱۱۸	۱	۱/۱۱۸	۲/۰۱۲	۰/۳۲۳	۰/۰۳۶	۰/۱۶۳
	خطا	۲۹/۸۴۴	۲۷	۱/۱۰۵				

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص سلامت فرد با پس‌آزمون آن‌ها رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص سلامت فرد در مرحله پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی دار به دست نیامده است (p>۰/۰۵).

جدول ۱۱ -نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص احساس تعلق برحسب عضویت گروهی

Table 11: Results of Covariance Analysis Comparing Mean Scores of Attitude Components Related to Preventing Urban Green Space Destruction Based on Group Membership

مؤلفه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
ترجیح حضور در این شهر	پیش‌آزمون	۰/۰۰۸	۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۹۴۵	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱
	عضویت گروهی	۰/۰۲۲	۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۴	۰/۹۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱
	خطا	۴۲/۹۲۶	۲۷	۱/۵۹				
احساس خوب از سکونت در شهر	پیش‌آزمون	۰/۳۱	۱	۰/۳۱	۰/۲۲۸	۰/۶۳۷	۰/۰۰۸	۰/۰۷۵
	عضویت گروهی	۰/۳۹۱	۱	۰/۳۹۱	۰/۲۸۷	۰/۵۹۶	۰/۰۱۱	۰/۰۸۱
	خطا	۳۶/۷۶۷	۲۷	۱/۳۶۱				
شهر خوش نام ایران	پیش‌آزمون	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵
	عضویت گروهی	۱/۵۹۶	۱	۱/۵۹۶	۱/۶۷۵	۰/۲۰۷	۰/۰۵۸	۰/۲۳۹
	خطا	۲۵/۷۳۳	۲۷	۰/۹۵۳				
تعلق خاطر به فضلی باز شهری	پیش‌آزمون	۰/۱۰۲	۱	۰/۱۰۲	۰/۱۰۳	۰/۷۵۱	۰/۰۰۴	۰/۰۶۱
	عضویت گروهی	۱/۷۱۴	۱	۱/۷۱۴	۱/۷۱۷	۰/۲۰۱	۰/۰۶	۰/۲۴۴
	خطا	۲۶/۹۶۴	۲۷	۰/۹۹۹				

همان‌طور که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص احساس تعلق با پس‌آزمون آن‌ها رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص احساس تعلق در مرحله پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی دار به دست نیامده است (p>۰/۰۵).

جدول ۱۲- نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص کالبدی برحسب عضویت گروهی

Table 12: Results of Covariance Analysis Comparing Mean Scores of Attitude Components Related to Preventing Urban Green Space Destruction in the Physical Index, According to Group Membership

مؤلفه ها	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
رضایت از روشنایی و	پیش‌آزمون	۰/۴۶۵	۱	۰/۴۶۵	۰/۳۶۴	۰/۵۵۱	۰/۰۱۳	۰/۰۹

نورپردازی فضای باز	عضویت گروهی	۰/۱۷۲	۱	۰/۱۷۲	۰/۱۳۵	۰/۷۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۶۴
	خطا	۳۴/۴۶۸	۲۷	۱/۲۷۷				
مطابقت فضای شهری یا معماری ایرانی- اسلامی	پیش‌آزمون	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۴	۰/۸۷۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵۳
	عضویت گروهی	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۰۵
	خطا	۳۹/۸۳۲	۲۷	۱/۴۵۷				
رضایت از وضعیت آسفالت، جوی و جدول معابر شهر	پیش‌آزمون	۰/۲۹۲	۱	۰/۲۹۲	۰/۲۳۶	۰/۶۳۱	۰/۰۰۹	۰/۰۷۶
	عضویت گروهی	۱/۶۳۳	۱	۱/۶۳۳	۱/۳۱۹	۰/۲۶۱	۰/۰۴۷	۰/۱۹۸
	خطا	۳۳/۴۴۱	۲۷	۱/۲۳۹				
رضایت از کف‌سازی شهر از لحاظ تنوع مصالح، راحتی و دوام	پیش‌آزمون	۰/۰۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۹۲۲	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱
	عضویت گروهی	۱/۴۷۵	۱	۱/۴۷۵	۱/۴۷۲	۰/۲۳۵	۰/۰۵۲	۰/۲۱۶
	خطا	۲۷/۰۵۷	۲۷	۱/۰۰۲				
رضایت از جایگذاری امکانات داخل شهر	پیش‌آزمون	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۰۵
	عضویت گروهی	۰/۴۶۷	۱	۰/۴۶۷	۰/۴۹۸	۰/۴۸۷	۰/۰۱۸	۰/۱۰۵
	خطا	۲۵/۳۳	۲۷	۰/۹۳۸				

همان‌طور که در جدول ۱۲ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص کالبدی با پس‌آزمون آن‌ها رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص کالبدی در مرحله پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی دار به دست نیامده است ($p>۰/۰۵$).

جدول ۱۳- نتایج تحلیل کوواریانس مقایسه میانگین‌های نمرات مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص محیطی و محیط زیستی برحسب عضویت گروهی

Table 13- Results of Covariance Analysis Comparing Mean Scores of Attitude Components Related to Preventing Urban Green Space Destruction, Classified by Environmental and Ecological Indices, According to Group Membership.

مؤلفه‌ها	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	اندازه اثر	توان آماری
میزان پسند شکل ظاهری گونه‌های موجود در فضای سبز شهر	پیش‌آزمون	۴/۴۱	۱	۴/۴۱	۲/۷۸۳	۰/۱۰۷	۰/۰۹۳	۰/۳۶۳
	عضویت گروهی	۰/۰۸۱	۱	۰/۰۸۱	۰/۰۵۱	۰/۸۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۵۵
	خطا	۴۲/۷۹	۲۷	۱/۵۸۵				
تنوع و رنگ‌بندی گیاهان موجود در شهر	پیش‌آزمون	۱/۱۴۲	۱	۱/۱۴۲	۰/۷۱۵	۰/۴۰۵	۰/۰۲۶	۰/۱۲۹
	عضویت گروهی	۱/۲۵۷	۱	۱/۲۵۷	۰/۷۸۷	۰/۳۸۳	۰/۰۲۸	۰/۱۳۷
	خطا	۴۳/۱۲۴	۲۷	۱/۵۹۷				
امکان استفاده از فضای سبز شهر در همه فصول	پیش‌آزمون	۰/۲۸۱	۱	۰/۲۸۱	۰/۲۰۷	۰/۶۵۳	۰/۰۰۸	۰/۰۷۲
	عضویت گروهی	۰/۱۶۶	۱	۰/۱۶۶	۰/۱۲۲	۰/۷۳	۰/۰۰۴	۰/۰۶۳
	خطا	۳۶/۷۸۵	۲۷	۱/۳۶۲				

همان‌طور که در جدول۱۳ مشاهده می‌شود، نمرات پیش‌آزمون در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص محیطی و محیط زیستی با پس‌آزمون آن‌ها رابطه معنی‌داری ندارد. همچنین تفاوت بین میانگین‌های تعدیل شده نمرات در همه مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در شاخص محیطی و محیط زیستی در مرحله

پس‌آزمون (بعد از کنترل نمرات پیش‌آزمون) در دو گروه آزمایش و کنترل معنی‌دار به دست نیامده است (p>۰/۰۵).
با توجه به نتایج جدول ۹ تا ۱۳ می‌توان گفت، پاسخ به سؤال دوم پژوهش نیز منفی است. به عبارت دیگر آموزش مؤلفه‌های زیبایی شناسی فضای سبز، هیچ یک از مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری را در گروه آزمایش نسبت به کنترل افزایش معنی‌داری نمی‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

با گسترش شهرنشینی و افزایش تراکم جمعیت در شهرها، شکل‌گیری روابط و فضاهای جدید در محیط‌های شهری، فشار قابل توجهی بر ساکنان این مناطق وارد کرده است. این فشارها به ویژه در زمینه‌های جسمی و روانی ساکنان تأثیرگذار بوده و آن‌ها را به جستجوی راحتی و آرامش در محیط‌های شهری، به‌ویژه در خارج از منازلشان سوق داده است (Polat & Akay, 2015). فضای سبز شهری به‌عنوان یکی از عناصر حیاتی شهرهای امروزی، نقشی کلیدی در بهبود کیفیت زندگی شهری و کاهش اثرات منفی توسعه صنعتی و جمعیتی ایفا می‌کند (Deng, 2020). کیفیت محیط زیست و فضای سبز شهری به عنوان یک عامل محوری مؤثر بر رفاه بشریت تاثیرگذار است. آموزش محیط زیستی یک استراتژی حفاظتی حیاتی را تشکیل می دهد (Ardoin et al., 2020). این امر آگاهی و درک محیط زیست و همچنین احساس مسئولیت و اقدام برای حفاظت از محیط زیست را توسعه می‌دهد. آموزش محیط زیست می‌تواند به مردم کمک کند تا درک عمیق‌تری از علل و اثرات مشکلات محیط زیستی به دست آورند. از طریق آموزش محیط زیست، مردم می‌توانند یاد بگیرند که چگونه از منابع برای حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و کاهش آسیب به محیط زیست استفاده بهتری کنند (Kang et al., 2024). در همین راستا، آموزش شهروندان در زمینه ارزش‌های زیباشناختی و محیط زیستی این فضاها می‌تواند نقشی حیاتی در کاهش تخریب آن‌ها ایفا کند. به همین دلیل، لازم است پژوهش‌هایی انجام شود تا اهمیت این موضوع روشن گردد. بر این اساس، پژوهش حاضر به بررسی مولفه‌های زیباشناسی فضای سبز از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی و ارزیابی تأثیر این آموزش‌ها در پیشگیری از تخریب فضای سبز شهری پرداخته است. طبق نتایج تحلیل کوواریانس به بررسی اثر آموزش مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی فضای سبز بر نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری پرداخته است. در این تحلیل، به منظور حذف تأثیر پیش‌آزمون بر نمرات پس‌آزمون، نمرات پیش‌آزمون کنترل شده و اثر آن از نمرات پس‌آزمون حذف شده است. سپس دو گروه با توجه به نمرات باقی‌مانده مقایسه شدند. نتایج نشان داد که نمرات پیش‌آزمون نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری با نمرات پس‌آزمون رابطه معنی‌داری نداشته است. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین میانگین‌های تعدیل‌شده نمرات پس‌آزمون دو گروه آزمایش و کنترل (با کنترل نمرات پیش‌آزمون) مشاهده نشد (p>0.05). به این ترتیب، پاسخ به پرسش پژوهش منفی است؛ یعنی آموزش مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی فضای سبز تأثیر معنی‌داری بر بهبود نگرش نسبت به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل نداشته است. میزان تأثیر این آموزش‌ها در مرحله پس‌آزمون برابر با ۰/۰۷۵ بود، به این معنا که تنها ۷/۵ درصد از واریانس نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری به عضویت در گروه یا تأثیر آموزش‌ها مربوط است، که این مقدار ناچیز و غیر معنی‌دار است.
علاوه بر این، بررسی مؤلفه‌های مختلف نگرش نشان داد که نمرات پیش‌آزمون در تمامی مؤلفه‌های نگرش (دسترسی و خدمات، سلامت فردی، احساس تعلق، شاخص‌های کالبدی و محیطی) با پس‌آزمون رابطه معنی‌داری نداشتند. همچنین، تفاوت بین میانگین‌های تعدیل‌شده نمرات این مؤلفه‌ها در دو گروه آزمایش و کنترل پس از کنترل نمرات پیش‌آزمون نیز معنی‌داری نبود(p>0.05) . بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که آموزش مؤلفه‌های زیبایی‌شناسی فضای سبز، هیچ‌یک از مؤلفه‌های نگرش مربوط به جلوگیری از تخریب فضای سبز شهری را به طور معنی‌داری در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل بهبود نداده است.
Horng و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به ارزیابی مواد آموزشی موجود در تایوان برای پیشگیری و کنترل آلودگی پرداختند. این مقاله به دنبال یافتن نقاط قوت و ضعف این مواد آموزشی و تطبیق آن‌ها با اهداف کلی آموزش محیط زیست است که به این نتیجه رسیده

است که مواد آموزشی موجود در تایوان به طور کلی به اهداف کلی آموزش محیط زیست توجه دارند. اما در پژوهش حاضر این نتیجه بدست آمد که آموزش زیباشناسی فضای سبز تأثیر چندانی بر تغییر نگرش افراد نسبت به محیط زیست نداشته است. این نتیجه ممکن است به دلایل مختلفی مانند کوتاه بودن دوره آموزشی یا عدم استفاده از روش‌های آموزشی مناسب باشد. Sharma و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهش خود به دنبال بررسی تأثیر آموزش محیط زیست بر نگرش‌ها و رفتارهای محیط زیستی دانشجویان از چندین موسسه آموزش عالی هند و برزیل بودند، اما برخلاف پژوهش حاضر به این نتیجه رسیدند که آموزش محیط زیست تأثیر مثبتی بر نگرش‌ها و رفتارهای محیط زیستی دانشجویان دارد.

Palliwoda & Priess (۲۰۲۱) در پژوهش خود به شناسایی عوامل مؤثر بر ادراک مثبت و منفی افراد از فضاهای سبز شهری و تفاوت این ادراک‌ها در گروه‌های سنی مختلف پرداختند. در این پژوهش با پرسش از بیش از ۱۷۰۰ نفر از کاربران فضاهای سبز شهری به این نتیجه رسیدند که افراد به عوامل مختلفی مانند عناصر طبیعی، زیبایی بصری، امکانات ورزشی و موقعیت مکانی فضاهای سبز اهمیت می‌دهند و این اهمیت در گروه‌های سنی مختلف متفاوت است. این پژوهش همانند مطالعه حاضر نشان به اهمیت فضاهای سبز شهری برای رفاه حال انسان‌ها و حفظ محیط زیست اشاره کرده‌است و نشان می‌دهند که برای بهره‌برداری بهینه از این فضاها، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و آموزش عمومی است. Rahmanpour & Ramezani (۱۳۹۷) به سنجش تاثیر آموزش محیط زیست بر تغییر رفتارهای محیط زیستی شهروندان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آموزش محیط زیست تاثیر مثبتی بر عملکرد محیط زیستی شهروندان داشته است. به عبارت دیگر، آموزش باعث بهبود رفتارهای محیط زیستی شهروندان شده است. ولی در پژوهش حاضر آموزش نتوانسته به طور معنی‌داری باعث کاهش تمایل افراد به تخریب فضای سبز شود. Bagheri و همکاران (۱۳۹۸) به شناسایی عواملی که باعث می‌شود کارکنان مراکز تحقیقات فضای سبز بیشتر در توسعه فضای سبز شهری مشارکت کنند، پرداختند. این پژوهش نشان می‌دهد که عواملی مانند حمایت سازمانی، پاداش، و ارزیابی عملکرد نقش مهمی در مشارکت کارکنان مراکز تحقیقات فضای سبز دارند. همچنین، عوامل دیگری مانند فرصت‌های یادگیری و توسعه فردی نیز بر مشارکت کارکنان تأثیرگذار هستند.

استفاده از راهبردهای نوین آموزشی، مانند برنامه‌های آموزشی محلی، تورهای تفریحی آموزشی در فضای سبز، و بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال در آموزش زیباشناسی محیط زیست، می‌تواند به افزایش تعامل شهروندان با فضای سبز و جلوگیری از تخریب آن‌ها کمک کند (Van Oijstaeijen et al., 2020). یافته‌های این مطالعه این فرضیه را تایید نمی‌کند که آموزش مولفه‌های زیبایی‌شناختی فضاهای سبز شهری به طور قابل‌توجهی نگرش افراد را نسبت به جلوگیری از تخریب فضای سبز افزایش می‌دهد. در حالی که نتایج غیرمنتظره بود، ولی به رشد تحقیقات در مورد آموزش محیط زیست و تغییر نگرش کمک می‌کنند. تحقیقات آینده می‌تواند رویکردهای جایگزین برای آموزش محیط‌زیست، مانند یادگیری تجربی یا ابتکارات مبتنی بر جامعه را برای تعیین اثربخشی آن‌ها در پرورش رفتارهای طرفدار محیط زیست بررسی کند. علاوه بر این، بررسی بیشتر در مورد عوامل خاصی که بر نگرش افراد نسبت به فضاهای سبز شهری تأثیر می‌گذارد، ممکن است بینش‌های ارزشمندی را برای توسعه برنامه‌های آموزش محیطی مؤثرتر ارائه دهد.

References

Aboufazeli, S., Jahani, A., & Farahpour, M. (2024). Aesthetic quality modeling of the form of natural elements in the environment of urban parks. *Evolutionary Intelligence*, *17*(1), 327-338. [In Persian]

Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological conservation*, *241*, 108224.

Attride-Stirling, J. (2001). Thematic networks: an analytic tool for qualitative research. *Qualitative research*, *1*(3), 385-405.

Bagheri, M., Mirdamadi, S. M., farajallah hosseini, S. J., & Lashgarara, F. (2020). Factors Affecting the Participation of Tehran Green Space Research, Education and Counseling Center Staff in Urban Green Space Development. *Agricultural Education Administration Research*, *11*(51), 141-152. [In Persian]

Boyatzis, R. E. (1998). *Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development*. Sage.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, *3*(2), 77-101.

Dastras, F., & Khajenoori, B. (2019). Investigating the Relationship between Sociological Factors and Environmental Behavior of Citizens of Shiraz. *Journal of Applied Sociology*, *30*(4), 35-58. [In Persian]

Deng, L., Luo, H., Ma, J., Huang, Z., Sun, L. X., Jiang, M. Y., ... & Li, X. (2020). Effects of integration between visual stimuli and auditory stimuli on restorative potential and aesthetic preference in urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, *53*, 126702.

Dorst, H., van der Jagt, A., Runhaar, H., & Raven, R. (2021). Structural conditions for the wider uptake of urban nature-based solutions–A conceptual framework. *Cities*, *116*, 103283.

ghashghaei, R., & mansourian, E. (2021). Influential components on improving the quality of urban green space (Case study of sidewalks in Yasuj). *Geography and Human Relationships*, *4*(3), 50-64.

Giannico, V., Spano, G., Elia, M., D'Este, M., Sanesi, G., & Lafortezza, R. (2021). Green spaces, quality of life, and citizen perception in European cities. *Environmental research*, *196*, 110922.

Holloway, I., & Todres, L. (2003). The Status of Method: Flexibility, Consistencyand Coherence. *Qualitative Research*, 3(3), 345-357.

Horng, C. Y., Chen, S. C., & Cheng, Y. T. (2024). Review and Experience Sharing on Environmental Education for Pollution Prevention and Control in Taiwan. *Japanese Journal of Environmental Education*, *33*(4), 4_79-89.

Kang, P., Huang, K., & Zhao, Y. (2024). A Study of Environmental Education Requirements in Urban Theme Parks from the Perspective of Adolescents. *Sustainability*, *16*(2), 505.

Khadivi, m., zargar, y., & davoudi, i.. (2012). The effects of stress management based on cognitive-behavior therapy on type a personality and job stress in personnel of khozestan gas company. *Journal of psychological achievements (journal of education & psychology)*, 19(1), 175-198. [In Persian]

Lafortezza, R., & Sanesi, G. (2019). Nature-based solutions: Settling the issue of sustainable urbanization. *Environmental research*, *172*, 394-398.

Lahoti, S. A., Dhyani, S., Sahle, M., Kumar, P., & Saito, O. (2024). Exploring the Nexus between Green Space Availability, Connection with Nature, and Pro-Environmental Behavior in the Urban Landscape. *Sustainability*, *16*(13), 5435.

Ma, B., Hauer, R.J., & Xu, C. (2020). Effects of Design Proportion and Distribution of Color in Urban and Suburban Green Space Planning to Visual Aesthetics *Quality Forests*, 11(3),278.

Martin, L., White, M. P., Hunt, A., Richardson, M., Pahl, S., & Burt, J. (2020). Nature contact, nature connectedness and associations with health, wellbeing and pro-environmental behaviours. *Journal of environmental psychology*, *68*, 101389.

Morab, Y., Sadat, M., & Salehi I. (2016). Analysis and investigation of vitality in new urban parks (Case Study: Water and Fire Park, Tehran). *Geographical Planning of Space*, *6*(20), 193-208. [In Persian]

Palliwoda, J., & Priess, J. A. (2021). What do people value in urban green? Linking characteristics of urban green spaces to users' perceptions of nature benefits, disturbances, and disservices. *Ecology and Society*, *26*(1), 28.

Polat, A. T., & Akay, A. (2015). Relationships between the visual preferences of urban recreation area users and various landscape design elements. *Urban Forestry & Urban Greening*, *14*(3), 573-582.

Rahmanpour; S., & Ramazani, M. A. (2019). Investigating the role of environmental education of local communities in the environmental performance of citizens of the 5th area of Tabriz municipality. *Sociological Studies*, 11(41), 151-169. [In Persian]

Sezavar, N., Pazhouhanfar, M., Van Dongen, R. P., & Grahn, P. (2023). The importance of designing the spatial distribution and density of vegetation in urban parks for increased experience of safety. *Journal of Cleaner Production*, *403*, 136768.

Sharma, N., Paço, A., & Upadhyay, D. (2023). Option or necessity: Role of environmental education as transformative change agent. *Evaluation and Program Planning*, *97*, 102244.

Van Oijstaeijen, W., Van Passel, S., & Cools, J. (2020). Urban green infrastructure: A review on valuation toolkits from an urban planning perspective. *Journal of environmental management*, *267*, 110603.

Wan, C., Shen, G. Q., & Choi, S. (2021). Underlying relationships between public urban green spaces and social cohesion: A systematic literature review. *City, culture and society*, *24*, 100383.

Dobson, J., & Dempsey, N. (2021). Known but not done: How logics of inaction limit the benefits of urban green spaces. *Landscape Research*, *46*(3), 390-402.

Whitburn, J., Abrahamse, W., & Linklater, W. (2023). Do environmental education fieldtrips strengthen children's connection to nature and promote environmental behaviour or wellbeing?. *Current Research in Ecological and Social Psychology*, *5*, 100163.

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۴۱-۲۱
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 21-44

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

A Novel GIS-MCDA and Artificial Intelligence Approach for Optimal Site Selection of CSP Plants with Emphasis on Comprehensive Economic Analyses (Case Study: Bushehr Province)

Meisam Jafari[1, 2*], Delaram Sikarudi [1, 2], Sahar Ghiyas [2]

[1] *Human Environment and Sustainable Development Research Center (HESD), Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*
[2] *Department of Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*

**Corresponding Author: mj_eia@yahoo.com*

Original Paper

Received: 5.21.2024
Accepted: 11.13.2024

Keywords:
Optimal site selection,
Artificial Intelligence,
Fuzzy,
Concentrated Solar Power,
GIS,
Economic analysis,
Bushehr.

Abstract

This study presents an innovative and comprehensive approach to optimal site selection for Concentrated Solar Power (CSP) plants in Bushehr Province, Iran, integrating Geographic Information Systems (GIS), Fuzzy Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), and advanced artificial intelligence techniques. The methodology encompassed processing Landsat 8 satellite imagery using the FLAASH algorithm for atmospheric corrections, calculating NDVI and LST indices, and land use classification with an overall accuracy of 87% (Kappa coefficient 0.83). Criteria weighting was performed using the Analytic Hierarchy Process, yielding a consistency ratio of 0.093. Machine learning algorithms, including Random Forest and Convolutional Neural Networks, were employed to enhance prediction accuracy, resulting in a 12.7% improvement in model accuracy (RMSE: 0.089 vs. 0.102 in traditional MCDA methods). Zonal analysis of the integrated AI-fuzzy MCDA model output identified ideal zones (approximately 5.37% of the province area) as highly suitable or optimal areas for CSP plant installation. Cost-Benefit Analysis (CBA) using Monte Carlo simulation was conducted for economic evaluation of CSP projects, with results indicating an average Internal Rate of Return (IRR) of 13.2% across the identified optimal zones. Sobol sensitivity analysis revealed that project Net Present Value (NPV) is most sensitive to initial investment costs and electricity selling price. Risk assessment was performed using Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) at 95% confidence level, providing a comprehensive understanding of the economic viability and associated risks of CSP projects in the region. This research contributes to the field by offering a novel framework that combines advanced spatial analysis, multi-criteria decision making, and economic modeling, providing a robust tool for strategic energy planning and sustainable development of renewable energy resources. The findings have significant implications for policymakers, investors, and researchers in the realm of solar energy development and can serve as a model for similar studies in other regions.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

رویکرد نوین GIS-MCDA و هوش مصنوعی در مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های CSP با تأکید بر تحلیل‌های جامع اقتصادی (مطالعه موردی: استان بوشهر)

میثم جعفری[۲،۱*]، دلارام سیکارودی[۱،۲]، سحر غیاث[۲]

۱- مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، (واحد نجف آباد)، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- گروه مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست، (واحد نجف آباد)، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mj_eia@yahoo.com

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱
پذیرش:۱۴۰۳/۰۸/۲۳

کلمات کلیدی:
مکان‌یابی بهینه،
هوش مصنوعی،
فازی،
نیروگاه حرارتی خورشیدی،
GIS،
تحلیل اقتصادی،
بوشهر.

چکیده

این مطالعه رویکردی نوآورانه و جامع برای انتخاب بهینه مکان نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز (CSP) در استان بوشهر، ایران ارائه می‌دهد که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل تصمیم چندمعیاره فازی (MCDA) و تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی را ادغام می‌کند. روش‌شناسی شامل پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندسَت ۸ با استفاده از الگوریتم FLAASH برای تصحیحات جوی، محاسبه شاخص‌های NDVI و LST، و طبقه‌بندی کاربری زمین با دقت کلی ۸۷٪ (ضریب کاپا ۰/۸۳) بود. وزن‌دهی معیارها با استفاده از فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی انجام شد که نسبت سازگاری ۰/۰۹۳ به دست آمد. الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از جمله جنگل تصادفی و شبکه‌های عصبی پیچشی، برای افزایش دقت پیش‌بینی به کار گرفته شدند که منجر به بهبود ۱۲/۷٪ در دقت مدل (RMSE: ۰/۰۸۹ در مقابل ۰/۱۰۲) در روش‌های سنتی MCDA شد. تحلیل منطقه‌ای خروجی مدل ادغام‌شده-AI فازی MCDA ، مناطق ایده‌آلی (تقریباً ۵/۳۷٪ از سطح استان) را به عنوان مناطق بسیار مناسب یا بهینه برای نصب نیروگاه CSP شناسایی کرد. تحلیل هزینه-فایده (CBA) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌های CSP انجام شد که نتایج نشان‌دهنده نرخ بازگشت داخلی (IRR) متوسط ۱۳/۲٪ در سراسر مناطق بهینه شناسایی‌شده بود. تحلیل حساسیت Sobol نشان داد که ارزش خالص فعلی (NPV) پروژه بیشترین حساسیت را به هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه و قیمت فروش برق دارد. ارزیابی ریسک با استفاده از Value at Risk (VaR) و Conditional Value at Risk (CVaR) در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد که درک جامعی از قابلیت اقتصادی و ریسک‌های مرتبط با پروژه‌های CSP در منطقه فراهم نمود. این تحقیق با ارائه چارچوبی نوین که تحلیل فضایی پیشرفته، تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدلسازی اقتصادی را ترکیب می‌کند، به زمینه انرژی کمک می‌کند و ابزار قدرتمندی برای برنامه‌ریزی استراتژیک انرژی و توسعه پایدار منابع تجدیدپذیر فراهم می‌سازد. یافته‌ها پیامدهای قابل توجهی برای سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاران و پژوهشگران در حوزه توسعه انرژی خورشیدی دارند و می‌توانند به عنوان مدل برای مطالعات مشابه در مناطق دیگر مورد استفاده قرار گیرند.

مقدمه

افزایش فزاینده تقاضای جهانی انرژی، همراه با نگرانی‌های روزافزون در خصوص تغییرات اقلیمی و امنیت انرژی، ضرورت گذار به منابع انرژی تجدیدپذیر را بیش از پیش نمایان ساخته است (Khalid, 2024). این گذار انرژی نه تنها یک الزام محیط زیستی، بلکه یک فرصت اقتصادی و راهبردی برای کشورها محسوب می‌شود (IRENA, 2023). در میان گزینه‌های متنوع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی به دلیل فراوانی، پایداری و قابلیت دسترسی گسترده، به عنوان یکی از امیدبخش‌ترین منابع انرژی پاک شناخته شده است (Zakariazadeh et al., 2024). در این میان، نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی (CSP[1]) با قابلیت ذخیره‌سازی انرژی حرارتی و تولید برق قابل اطمینان، نقشی کلیدی در آینده سیستم‌های انرژی پایدار ایفا می‌کنند (Salim et al., 2024). این فناوری با توانایی تولید برق در ساعات غیر آفتابی، می‌تواند به عنوان مکمل مهمی برای سایر منابع انرژی تجدیدپذیر متغیر مانند فتوولتائیک و بادی عمل نماید (Palladino et al., 2024).

مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های CSP یک چالش چندبعدی و پیچیده است که مستلزم در نظر گرفتن طیف وسیعی از عوامل فنی، اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی است (Yousefi et al., 2018). این فرآیند نه تنها بر عملکرد و بازدهی نیروگاه تأثیرگذار است، بلکه پایداری بلندمدت و مقبولیت اجتماعی پروژه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این راستا، بهره‌گیری از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) در ترکیب با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) به عنوان رویکردی قدرتمند در جهت تحلیل و ارزیابی جامع مکان‌های بالقوه مطرح شده است (Zhao et al., 2024). این رویکرد ترکیبی امکان تلفیق داده‌های مکانی متنوع و ارزیابی همزمان معیارهای مختلف را فراهم می‌آورد (Malczewski & Rinner, 2015).

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA[3]) صورت گرفته است. مطالعات نوین نشان می‌دهند که استفاده از تکنیک‌های پیشرفته سنجش از دور و الگوریتم‌های پردازش تصویر، امکان استخراج دقیق‌تر پارامترهای مکانی مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP را فراهم می‌آورد (Li et al., 2024). به عنوان مثال، بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و الگوریتم‌های یادگیری عمیق، دقت تخمین تابش مستقیم عمودی (DNI[4]) را به میزان قابل توجهی افزایش داده است (Ammari et al., 2024). علاوه بر این، توسعه روش‌های نوین MCDA فازی، امکان مدلسازی عدم قطعیت‌ها و ابهامات ذاتی در فرآیند تصمیم‌گیری را به نحو مطلوب‌تری فراهم آورده است (Amiri et al., 2024).

ظهور فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، افق‌های جدیدی را در زمینه مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های CSP گشوده است (Rezaei et al., 2024). الگوریتم‌های پیشرفته مانند شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN[5]) و جنگل تصادفی (RF[6]) قادرند الگوهای پیچیده و غیرخطی در داده‌های مکانی را شناسایی کنند که ممکن است در روش‌های سنتی MCDA نادیده گرفته شوند (Jiang et al., 2023). این تکنیک‌ها همچنین امکان پردازش حجم عظیمی از داده‌های ناهمگن را فراهم می‌آورند و می‌توانند به طور قابل توجهی دقت پیش‌بینی‌های مکانی را بهبود بخشند. علاوه بر این، استفاده از تکنیک‌های یادگیری تقویتی و بهینه‌سازی چند هدفه، امکان در نظر گرفتن سناریوهای مختلف آینده و بهینه‌سازی همزمان چندین هدف (مانند عملکرد اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی) را در فرآیند مکان‌یابی فراهم می‌آورد (Maxwell et al., 2018).

[1] Concentrated Solar Power
[2] Geographic Information System
[3] Multi Criteria Decision Making
[4] Direct Normal Irradiance
[5] Convolutional Neural Network
[6] Random Forest

پیشرفت‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، افق‌های نوینی را در فرآیند مکان‌یابی گشوده است. تلفیق این تکنیک‌ها با روش‌های سنتی GIS-MCDM، امکان تحلیل پیچیده‌تر الگوهای مکانی، پردازش حجم عظیمی از داده‌های ناهمگن و مدلسازی دقیق‌تر تعاملات بین معیارهای مختلف را فراهم می‌آورد (Jiang et al., 2023). این رویکردهای نوآورانه، قابلیت تصمیم‌گیری را در شرایط عدم قطعیت و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف آینده، به طور قابل توجهی ارتقا می‌بخشند. به طور کلی می‌توان اذعان داشت که ترکیب فناوری‌های پیشرفته مکانی با تکنیک‌های نوین هوش مصنوعی، پتانسیل قابل توجهی برای بهینه‌سازی فرآیند مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP و سایر زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر دارد. این رویکرد یکپارچه می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در تسریع روند گذار انرژی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان بوشهر، واقع در جنوب ایران و در امتداد ساحل خلیج فارس، منطقه‌ای با ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی منحصر به فرد است. این استان با مساحتی در حدود ۲۳۱۹۷ کیلومتر مربع، بین عرض‌های جغرافیایی ۲۷°۱۴′ تا ۳۰°۱۶′ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰°۰۶′ تا ۵۲°۵۸′ شرقی گسترده شده است (شکل ۱). توپوگرافی استان متنوع بوده و شامل مناطق کوهستانی در شمال و شمال شرق و دشت‌های ساحلی در جنوب و جنوب غرب است، با دامنه ارتفاعی متغیر از سطح دریا تا حدود ۱۹۵۰ متر (Jahangir et al., 2024). اقلیم استان بوشهر عمدتاً گرم و خشک است، با میانگین دمای سالانه حدود ۲۵/۲ درجه سانتیگراد و میانگین بارش سالانه در حدود ۲۱۳ میلی‌متر (Akhbari & Basiri Sadr, 2024). این شرایط اقلیمی، همراه با میانگین تابش خورشیدی روزانه بین ۵/۳ تا ۶/۱ کیلووات ساعت بر متر مربع، استان بوشهر را به یکی از مناطق مستعد برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی تبدیل کرده است (Mehrian et al., 2024).

شکل ۱- محل اجرای مطالعه

Fig. 1- The location of study area

از منظر اقتصادی، استان بوشهر به واسطه وجود منابع نفت و گاز، صنایع پتروشیمی، فعالیت‌های کشاورزی و شیلات، یکی از قطب‌های مهم اقتصادی کشور محسوب می‌شود. زیرساخت‌های حمل و نقل این استان شامل بیش از ۳۶۰۰ کیلومتر جاده‌های اصلی و فرعی، حدود ۷۰ کیلومتر راه‌آهن و ۱۰ بندر تجاری و صیادی است. این زیرساخت‌ها، همراه با شبکه انتقال برق و گاز، امکان توسعه پروژه‌های انرژی را فراهم می‌آورد (Afshari et al., 2024).

جمعیت استان بوشهر، طبق آخرین مطالعات جمعیت‌شناسی، حدود ۱۲۶۴۰۰۰ نفر برآورد شده و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۳۸۰۰۰۰ نفر افزایش یابد (Jahangir et al, 2024). این رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، افزایش تقاضا برای انرژی و ضرورت توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر را نمایان می‌سازد. علی‌رغم پتانسیل بالا برای توسعه نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در استان بوشهر، چالش‌هایی نظیر محدودیت منابع آب و حساسیت‌های محیط زیستی نیز وجود دارد که مستلزم بررسی دقیق در فرآیند مکان‌یابی است (Mehrian et al., 2024). این عوامل، اهمیت اتخاذ رویکردی جامع و چند بعدی در ارزیابی و انتخاب مناطق مناسب برای استقرار نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی را برجسته می‌سازد.

روش پژوهش

این پژوهش با هدف ارائه یک چارچوب جامع و پیشرفته برای شناسایی و ارزیابی مناطق بهینه جهت استقرار نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در استان بوشهر، رویکردی چند لایه و ترکیبی را اتخاذ نموده است (شکل ۲). در این راستا، از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی (Fuzzy MCDM) و تکنیک‌های یادگیری ماشین بهره گرفته شده است. معیارهای مورد بررسی در شش دسته اصلی شامل پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی، زیرساختی، محیط زیستی، اجتماعی-اقتصادی و فنی طبقه‌بندی گردیده‌اند (Al Garni & Awasthi, 2021).

جهت وزن‌دهی به معیارها، از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) استفاده شده که امکان لحاظ نمودن عدم قطعیت در قضاوت‌های کارشناسی را فراهم می‌آورد (Buckley, 1985). تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین تناسب اراضی با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی فازی (Fuzzy WLC[2]) صورت پذیرفته است (Malczewski & Rinner, 2015). این روش‌ها امکان مدلسازی عدم قطعیت و ابهام ذاتی در فرآیند تصمیم‌گیری را میسر می‌سازند.

در راستای افزایش دقت و جامعیت فرآیند مکان‌یابی، پردازش داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته صورت پذیرفت. تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، با استفاده از الگوریتم FLAASH مورد تصحیحات اتمسفری قرار گرفتند. این الگوریتم با بهره‌گیری از کد انتقال تابش MODTRAN، امکان تصحیح دقیق اثرات اتمسفری را فراهم می‌آورد (Maxwell et al., 2018). پارامترهای ورودی FLAASH شامل مدل اتمسفری mid-latitude summer و مدل آئروسل maritime با محتوای بخار آب اتمسفری ۲/۹۲ g/cm^2 انتخاب گردیدند که با شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی تطابق دارند (Cui et al., 2023).

به منظور ارتقای دقت مدلسازی و کاهش عدم قطعیت‌ها، از تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین استفاده شد. الگوریتم RF با ۵۰۰ درخت تصمیم و عمق حداکثر ۱۰، جهت استخراج الگوهای پیچیده در داده‌های مکانی پیاده‌سازی گردید. پارامترهای این الگوریتم با استفاده از اعتبارسنجی متقابل k-fold (با k=10) بهینه‌سازی شدند (Li et al., 2024). همچنین، یک شبکه عصبی

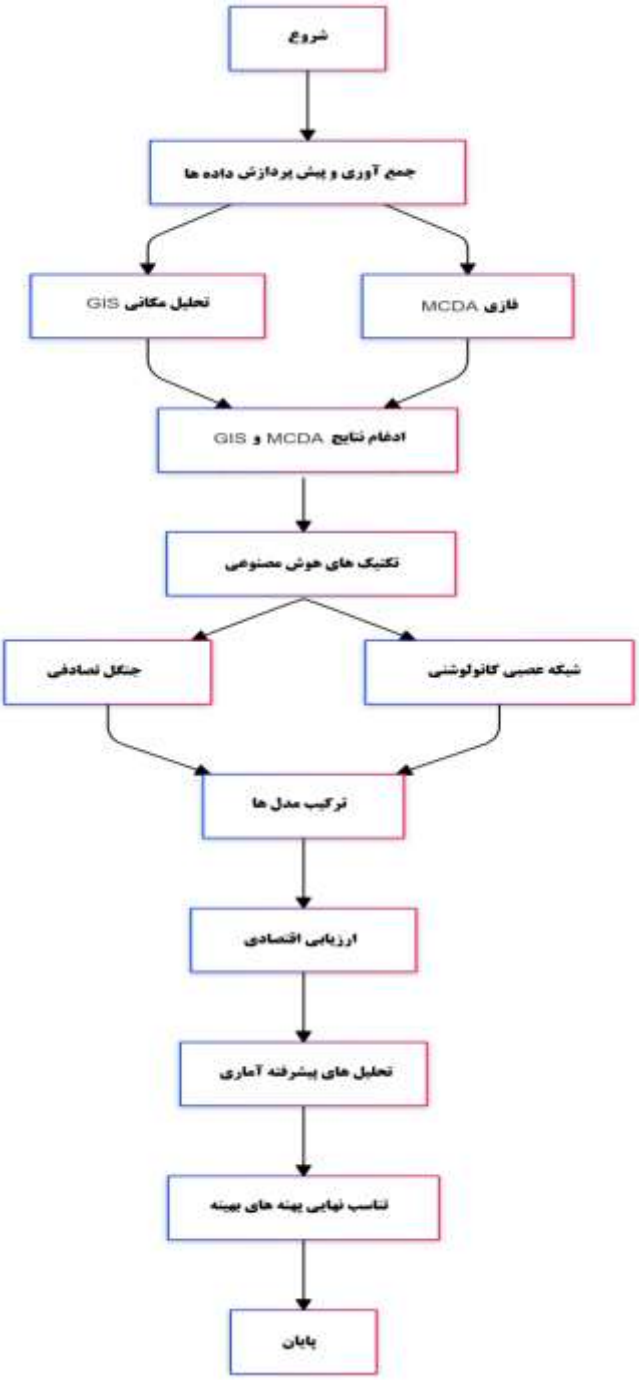
[1] Analytic Hierarchy Process
[2] Weighted Linear Combination

کانولوشنی با معماری ResNet50 اصلاح شده، با استفاده از ۱۰۰۰۰۰ پچ ۶۴×۶۴ پیکسلی از تصاویر Landsat 8 آموزش داده شد. این شبکه با استفاده از تکنیک transfer learning و وزن‌های اولیه از مدل پیش‌آموزش دیده بر روی مجموعه داده ImageNet، دقت قابل توجهی در شناسایی الگوهای مکانی نشان داد (Li et al., 2024).

جهت ارزیابی پایداری اقتصادی پروژه‌های CSP، تحلیل هزینه-فایده (CBA) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو انجام شد (Kroese et al., 2014). در این تحلیل، پارامترهای اقتصادی کلیدی شامل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری، قیمت فروش برق و نرخ تنزیل با توزیع‌های احتمالی مناسب مدلسازی شدند (Mirletz et al., 2024). برای هر منطقه منتخب، ۱۰۰۰۰ شبیه‌سازی اجرا گردید و شاخص‌های اقتصادی کلیدی مانند NPV، IRR و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شدند (Steffen, 2020). ارزیابی ریسک با استفاده از(Value at Risk (VaR و Conditional Value at Risk (CVaR) در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد (Palladino et al., 2024).

نوآوری اصلی این پژوهش در ارائه یک چارچوب یکپارچه و چند سطحی است که قادر به ترکیب داده‌های مکانی با دقت بالا، تحلیل‌های پیچیده چند معیاره، و ارزیابی‌های اقتصادی جامع است. این رویکرد نه تنها امکان شناسایی دقیق‌تر مناطق مستعد را فراهم می‌آورد، بلکه ابزاری قدرتمند جهت برنامه‌ریزی استراتژیک در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد.

نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری پیشرفته برای سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و سرمایه‌گذاران در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، متدولوژی ارائه شده در این مطالعه قابلیت تعمیم و کاربرد در سایر حوزه‌های برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت منابع را دارا است.



شکل ۲- مراحل اجرای طرح

Fig. 2- Stages of project implementation

نتایج

در این مطالعه، رویکردی جامع و نوآورانه جهت مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی (CSP) در استان بوشهر ارائه شده است. با استفاده از ترکیبی از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل چند معیاره فازی (Fuzzy MCDA) و روش‌های هوش مصنوعی، مناطق مستعد برای احداث این نیروگاه‌ها شناسایی و ارزیابی شدند.

تحلیل‌های مکانی GIS و پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور افزایش دقت فرایند مدلسازی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. پردازش این تصاویر شامل تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم FLAASH[1] بود. این الگوریتم با استفاده از کد انتقال تابش MODTRAN، تصحیحات اتمسفری را با دقت بالا انجام می‌دهد (Adler-Golden et al., 1999). پارامترهای ورودی FLAASH شامل مدل اتمسفری mid-latitude summer، مدل آئروسل maritime، و محتوای بخار آب اتمسفری ۲/۹۲ g/cm² بود که با توجه به شرایط اقلیمی استان بوشهر انتخاب شدند. پس از تصحیحات اتمسفری، تصحیحات رادیومتریک و هندسی با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.6 انجام شد. شاخص پوشش گیاهی (NDVI[2]) با استفاده از باندهای ۴ و ۵ محاسبه شد:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

که در آن NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) و Red باند قرمز (باند ۴) است.

دمای سطح زمین (LST) با استفاده از الگوریتم split-window و باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ تخمین زده شد (Jiménez-Muñoz et al., 2014):

$$LST = T10 + c1(T10 - T11) + c2(T10 - T11)^2 + c0 + (c3 + c4W)(1 - \varepsilon) + (c5 + c6W)\Delta\varepsilon$$

که در آن T10 و T11 دمای روشنایی باندهای ۱۰ و ۱۱، ε گسیلندگی سطح، Δε اختلاف گسیلندگی بین دو باند، W محتوای بخار آب اتمسفری، و c0 تا c6 ضرایب الگوریتم هستند.

در ادامه نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال و ترکیب باندهای ۲، ۳ و ۴ تهیه گردید. صحت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطا و ضریب کاپا ارزیابی شد و دقت کلی ۸۷٪ با ضریب کاپای ۰/۸۳ به دست آمد.

جهت اجرای تحلیل‌های مکانی پیشرفته، از ابزارهای سفارشی Python در محیط ArcGIS Pro 2.9 استفاده شد. این ابزارها با استفاده از کتابخانه‌های ArcPy و NumPy توسعه داده شدند و امکان اجرای تحلیل‌های پیچیده مانند محاسبه شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) و شاخص ناهمواری زمین (TRI) را فراهم آوردند.

تحلیل چند معیاره فازی و استخراج وزن‌ها

در فرآیند استانداردسازی فازی، تمامی لایه‌های معیار به مقیاس ۰ تا ۲۵۵ تبدیل شدند (نقشه ۲). برای این منظور، از توابع عضویت فازی مختلف مانند خطی، سیگموئیدی و گوسی استفاده شد. به عنوان نمونه، در رابطه با معیار DNI از تابع عضویت سیگموئیدی با نقاط کنترل a=5.2 و b=6.5 kWh/m²/day استفاده شد، در حالی که برای لایه شیب از تابع عضویت خطی کاهشی با نقاط کنترل a=2% و b=10% بهره گرفته شد. مناطق محدودیت با استفاده از روش بولین (۰ و ۱) از فرآیند مکان‌یابی حذف شدند. در مجموع، ۵۳/۷٪ از مساحت استان به عنوان مناطق محدودیت شناسایی و از فرآیند مکان‌یابی خارج شدند. جدول ۱ خلاصه‌ای از این محدودیت‌ها را نمایش می‌دهد:

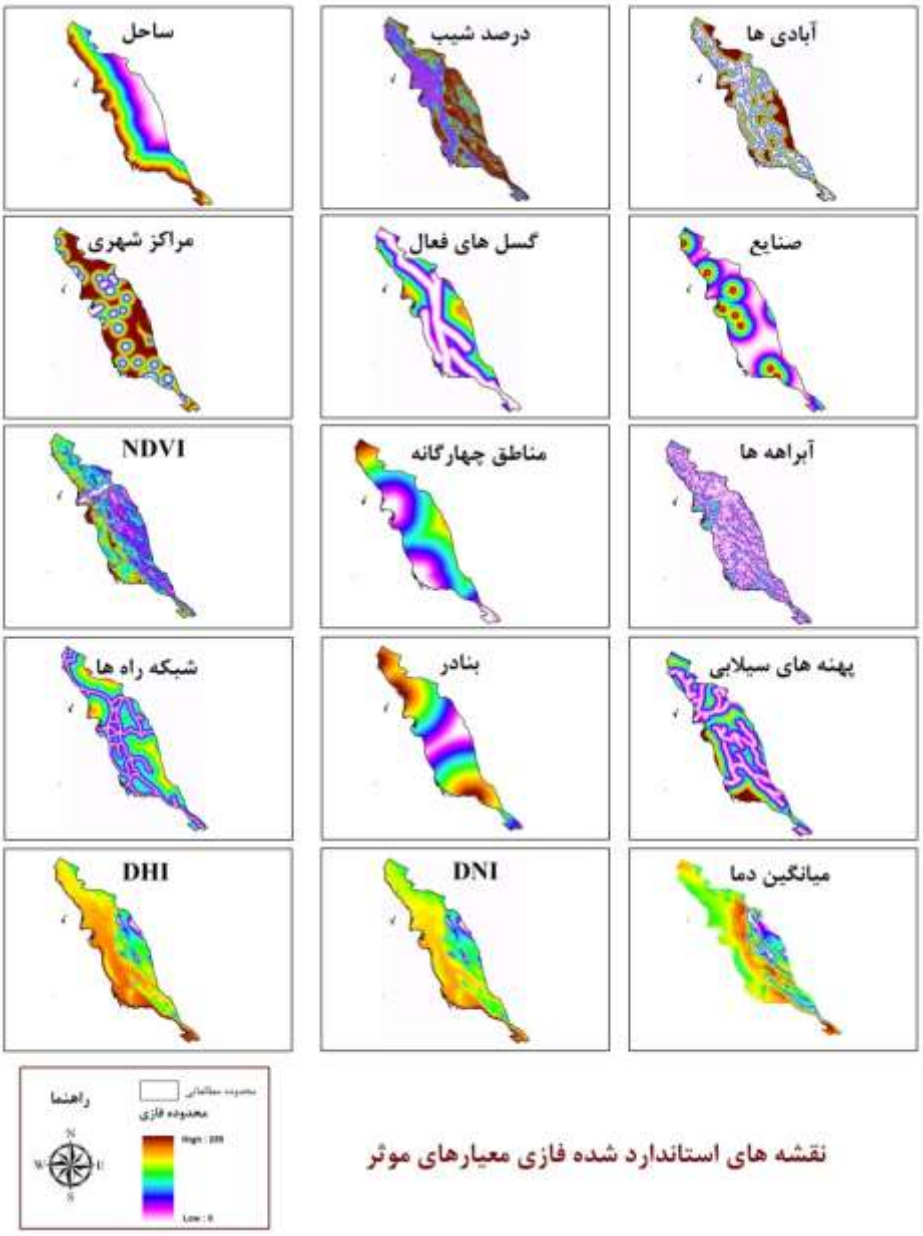
[1] Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes
[2] Normalized Difference Vegetation Index

جدول ۱- محدودیت‌های مکانی استقرار نیروگاه‌های CSP

Table 1- Spatial restrictions for locating CSP Plants

پارامتر	محدودیت (متر)	منابع
گسل‌های فعال	۵۰۰	Noorollahi et al. (2016); Azizkhani et al. (2017); Suh & Brownson (2016)
صنایع موجود	۱۰۰۰	Sánchez-Lozano et al. (2016); Al Garni & Awasthi (2021); Doorga et al. (2019)
مناطق شهری	۳۰۰۰	Al Garni & Awasthi (2021); Tahri et al. (2015); Uyan (2013)
مناطق روستایی	۱۵۰۰	Tahri et al. (2015); Sánchez-Lozano et al. (2016); Yousefi et al. (2018)
خط ساحلی	۱۰۰۰	Doorga et al. (2019); Gastli & Charabi (2010); Uyan (2013)
پارک‌های ملی	۱۰۰۰	Dixit ET AL. (2024); Sánchez-Lozano et al. (2016); Yousefi et al. (2018)
مناطق حفاظت شده	۵۰۰	UNEP-WCMC (2022); Tahri et al. (2015); Al Garni & Awasthi (2021)
پهنه‌های آبی	۵۰۰	Doorga et al. (2019); Suh & Brownson (2016); Azizkhani et al. (2017)
فرودگاه‌ها	۳۰۰۰	Sánchez-Lozano et al. (2016); Al Garni & Awasthi (2021); Uyan (2013)
رودخانه‌ها	۵۰۰	Yousefi et al. (2018); Tahri et al. (2015); Doorga et al. (2019)
مناطق جنگلی	۱۵۰	FAO (2020); Sánchez-Lozano et al. (2016); Noorollahi et al. (2016)
خطوط انتقال برق	۱۰۰	Malczewski & Rinner (2015); Al Garni & Awasthi (2021); Suh & Brownson (2016)
مراکز نظامی	۵۰۰۰	Watson & Hudson (2015); Brewer (2022); Aydin & Sarptas. (2020)

به منظور تعیین وزن‌های نسبی معیارها و زیرمعیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. ماتریس‌های مقایسه زوجی با استفاده از نظرات ۱۵ متخصص تکمیل گردیدند. سپس، وزن نسبی هر معیار و زیرمعیار با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice محاسبه شد (جدول ۲ و شکل ۴). ضریب سازگاری (CR) محاسبه شده برابر ۰/۰۹۳ بود که نشان‌دهنده سازگاری قابل قبول ماتریس‌های مقایسه زوجی است (Saaty, 1980).



شکل ۳- نقشه های استاندارد فازی معیارهای موثر جهت استقرار نیروگاه CSP

Fig. 3- The standard fuzzy maps of effective criteria for locating CSP plant

طبق نتایج استخراج شده، معیارهای اقلیمی همچنان بالاترین اهمیت را در فرآیند مکان‌یابی دارند، با وزن کلی ۰/۲۶۰۵۸ در این میان، شاخص تابشی DHI[1] با وزن ۰/۰۹۱۱۵ و شاخص DNI با وزن ۰/۰۸۴۳۱ به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم قرار گرفتند. این امر نشان‌دهنده تأثیر زیاد تابش خورشیدی بر عملکرد نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی است. معیارهای زیرساختی نیز با وزن ۰/۱۸۰۹۳ اهمیت بالایی داشتند، به ویژه فاصله از خطوط انتقال برق که با وزن ۰/۰۶۶۵۶ به عنوان یکی از زیرمعیارهای مهم شناسایی شد. اهمیت پایین شبکه های انتقال گاز اساسا به دلیل نادر بودن طرح‌های نیروگاهی ترکیبی CSP و گاز طبیعی بوده است. معیارهای اجتماعی-اقتصادی و محیط زیستی نیز به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۵۴۱۶ و ۰/۱۱۳۶۰ در اولویت‌های بعدی قرار

[1] Diffuse Horizontal Irradiance

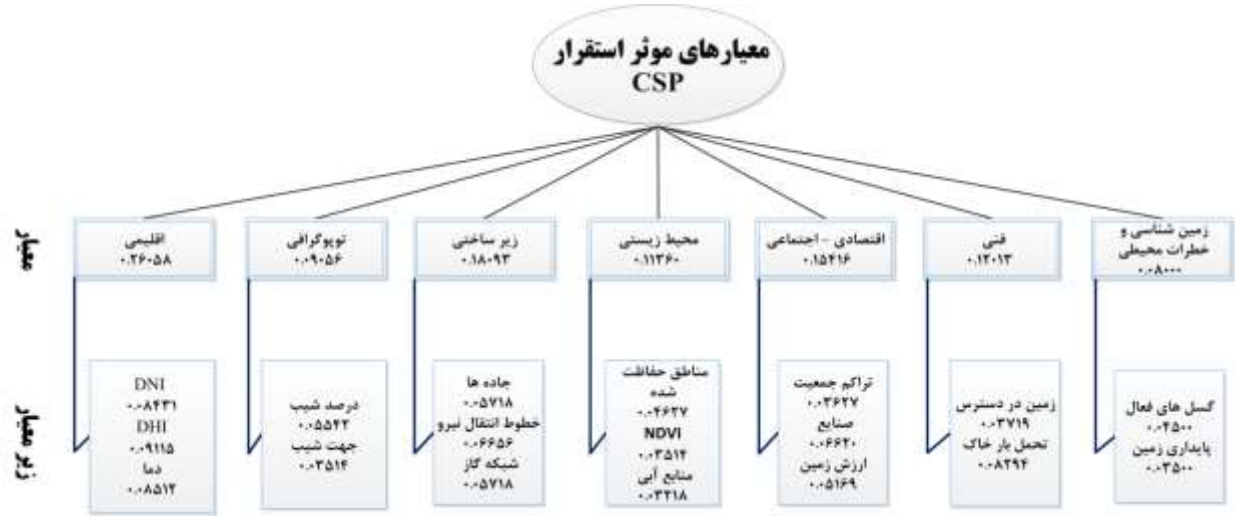
گرفتند. با بررسی معیار زمین‌شناسی و خطرات طبیعی با وزن کلی ۰/۰۸۰۰۰، اهمیت فاکتورهای زمین‌شناختی در فرآیند مکان‌یابی نیز مورد توجه قرار گرفت. در این معیار، فاصله از گسل‌های فعال با وزن ۰/۰۴۵۰۰ اهمیت بیشتری نسبت به پایداری زمین‌شناسی با وزن ۰/۰۳۵۰۰ داشت (شکل ۴).

جدول ۲- وزن دهی معیارهای اصلی و زیرمعیارها

Table 2: Weighting of main criteria and sub-criteria

معیار اصلی	زیرمعیارها	وزن زیرمعیار	وزن معیار اصلی
اقلیمی	DNI	۰/۰۸۴۳۱	۰/۲۶۰۵۸
	DHI	۰/۰۹۱۱۵	
	دما	۰/۰۸۵۱۲	
توپوگرافی	شیب	۰/۰۵۵۴۲	۰/۰۹۰۵۶
	جهت	۰/۰۳۵۱۴	
زیرساخت	فاصله از جاده‌ها	۰/۰۵۷۱۸	۰/۱۸۰۹۳
	فاصله از خطوط انتقال برق	۰/۰۶۶۵۶	
	فاصله از شبکه گاز	۰/۰۵۷۱۸	
	فاصله از مناطق حفاظت شده	۰/۰۴۶۲۷	
محیط زیستی	NDVI	۰/۰۳۵۱۴	۰/۱۱۳۶۰
	فاصله از منابع آبی	۰/۰۳۲۱۸	
اجتماعی-اقتصادی	تراکم جمعیت	۰/۰۳۶۲۷	۰/۱۵۴۱۶
	فاصله از مراکز صنعتی	۰/۰۶۶۲۰	
	ارزش زمین	۰/۰۵۱۶۹	
فنی	مساحت زمین در دسترس	۰/۰۳۷۱۹	۰/۱۲۰۱۳
	ظرفیت تحمل بار خاک	۰/۰۸۲۹۴	
زمین‌شناسی و خطرات طبیعی	فاصله از گسل‌های فعال	۰/۰۴۵۰۰	۰/۰۸۰۰۰
	پایداری زمین‌شناسی	۰/۰۳۵۰۰	

نتایج حاصل شده نشان می‌دهد که علاوه بر عوامل اقلیمی و زیرساختی، توجه به فاکتورهای زمین‌شناسی و خطرات طبیعی نیز در مکان‌یابی نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی حائز اهمیت است و می‌تواند به افزایش دقت و اعتبار فرآیند مکان‌یابی کمک کند.



شکل ۴- فرایند وزن‌دهی سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارهای موثر جهت استقرار نیروگاه‌های CSP هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

Fig. 4- Hierarchical Weighting Process for Criteria and Subcriteria Affecting the Site Selection of CSP Plants Using Artificial Intelligence and Machine Learning

به منظور بهبود دقت مدلسازی و استخراج الگوهای پیچیده از داده‌های چندبعدی، از دو روش پیشرفته هوش مصنوعی بهره گرفته شد:

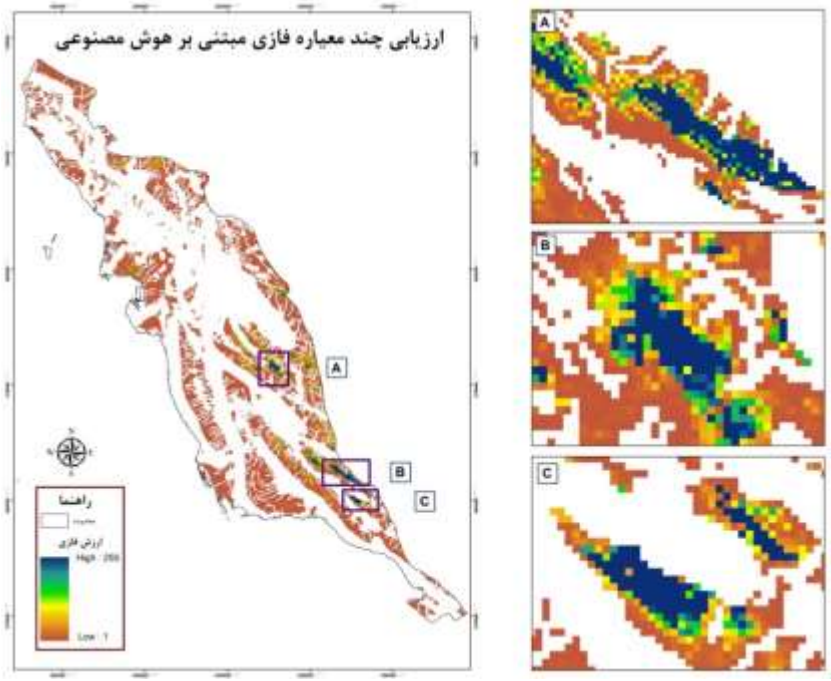
- جنگل تصادفی (Random Forest): این الگوریتم با استفاده از ۵۰۰ درخت تصمیم و عمق حداکثر ۱۰ پیاده‌سازی شد. انتخاب این پارامترها براساس آزمون‌های اعتبارسنجی متقابل k-fold (با k=10) صورت گرفت. اهمیت نسبی متغیرها با استفاده از شاخص Gini محاسبه شد. نتایج نشان داد که متغیرهای DNI (با اهمیت نسبی ۰/۲۸)، شیب (۰/۲۱)، و فاصله از خطوط انتقال برق (۰/۱۷) بیشترین تأثیر را در تعیین مناطق مناسب برای احداث نیروگاه‌های CSP دارند. خطای OOB برای مدل نهایی ۰/۰۹۲ به دست آمد.
- شبکه عصبی کانولوشنی (CNN): با توجه به ماهیت مکانی داده‌ها، از یک CNN با معماری ResNet50 اصلاح شده استفاده شد. این شبکه با ۱۰۰۰۰۰ پچ ۶۴×۶۴ پیکسل از تصاویر Landsat 8 آموزش داده شد. از تکنیک transfer learning با وزن‌های اولیه از مدل پیش‌آموزش دیده بر روی مجموعه داده ImageNet استفاده شد. برای مقابله با overfitting، از تکنیک‌های Dropout (با نرخ ۰/۵ در لایه‌های تماماً متصل) و Data Augmentation استفاده گردید. مدل CNN توانست با دقت ۹۳/۵٪ (F1-score) مناطق مناسب برای احداث نیروگاه CSP را شناسایی کند.

در نهایت، از یک رویکرد ترکیبی با استفاده از تکنیک یادگیری مجموعه‌ای (Stacking) استفاده شد. در این روش، خروجی‌های مدل‌های RF و CNN با استفاده از XGBoost[1] به عنوان فراآموزنده ترکیب شدند. اجرای آزمون McNemar نشان داد که این بهبود از نظر آماری معنادار است ($p < 0.001$). فرایند XGBoost با پارامترهای (تعداد درخت‌ها (۱۰۰)، حداکثر عمق (۶)، نرخ یادگیری (۰/۱) و گاما (۰/۱)) پیکربندی و با استفاده از جستجوی شبکه‌ای و اعتبارسنجی متقابل ۵ برابر بهینه‌سازی شدند. پس از تلفیق الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی ذکر شده با فرایند چندمعیاره فازی، مدل نهایی ساختاربندی و اجرا گردید. این رویکرد ترکیبی منجر به افزایش ۱۲/۷٪ در دقت پیش‌بینی مدل نسبت به روش‌های سنتی MCDA گردید (RMSE: 0.089 در

[1] Extreme Gradient Boosting

مقابل ۰/۱۰۲). اجرای آزمون McNemar نشان داد که این بهبود از نظر آماری معنادار است ($p < 0.001$). فرایند XGBoost با پارامترهای (تعداد درخت‌ها (۱۰۰)، حداکثر عمق (۶)، نرخ یادگیری (۰/۱) و گاما (۰/۱)) پیکربندی و با استفاده از جستجوی شبکه‌ای و اعتبارسنجی متقابل ۵ برابر بهینه‌سازی شدند.

طبق نتایج حاصل شده سطحی معادل حدود ۴۶/۳٪ از کل مساحت استان (۱۱۰۴۰ کیلومتر مربع) به عنوان مناطق بالقوه و مناسب جهت استقرار نیروگاه‌های انرژی خورشیدی متمرکز (CSP) شناسایی گردید (نقشه ۳).



شکل ۵-پهنه‌های بهینه اسقرار نیروگاه‌های CSP

Fig. 5- Optimal Zones for Locating CSP Plant

این مناطق به مقادیر فازی از ۱ تا ۲۵۵ اختصاص داده شده‌اند که ارزیابی دقیقی از تناسب پهنه‌های مناسب شناسایی شده ارائه می‌دهد (Malczewski & Rinner, 2015; Zakariazadeh, 1965). در ادامه با بکارگیری تحلیل‌های Zonal، پهنه‌های ایده‌آل (تقریباً ۵/۳۷٪)، از مناطق مناسب اولیه به عنوان مناطق بسیار مناسب یا بهینه طبقه‌بندی (سه پهنه) گردیدند. این تکنیک پیشرفته تحلیل فضایی، امکان ارزیابی دقیق‌تری از مناطق مناسب را فراهم کرده و به طور قابل توجهی فرآیند ارزیابی تناسب مکانی جهت استقرار نیروگاه‌های CSP را ارتقا بخشید.

تحلیل‌های آماری

به منظور ارزیابی جامع الگوهای فضایی و توزیع آماری نمرات تناسب مناطق برای احداث نیروگاه‌های CSP، از مجموعه‌ای از تحلیل‌های آماری پیشرفته استفاده شد:

- تحلیل خودهمبستگی فضایی: برای ارزیابی الگوی فضایی نمرات تناسب، از شاخص Moran's I جهانی استفاده شد. مقدار مثبت و بالای Moran's I(0.73، $p < 0.001$) نشان‌دهنده وجود خودهمبستگی فضایی مثبت قوی است.

- تحلیل خوشه‌ای فضایی: برای شناسایی دقیق‌تر خوشه‌های فضایی با تناسب بالا و پایین، از آماره Getis-Ord Gi* استفاده شد.
- بررسی توزیع آماری نمرات تناسب: برای ارزیابی نرمال بودن توزیع نمرات تناسب، از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شد. نتایج ($D = 0.089$، $p < 0.01$) نشان داد که توزیع ارزش‌های تناسب به طور معناداری از توزیع نرمال انحراف دارد. نتایج در جدول ۳ خلاصه شده است:

جدول ۳- نتایج تحلیل خوشه‌ای فضایی با استفاده از آماره Getis-Ord Gi*

Table 3- Results of Spatial Clustering Analysis using Getis-Ord Gi* statistic

نوع خوشه	تعداد سلول‌ها	درصد از کل منطقه
خوشه داغ (Hot Spot)	۲۳۴۵	٪۱۸/۷
خوشه سرد (Cold Spot)	۱۸۷۶	٪۱۵/۰
غیر معنادار	۸۲۷۹	٪۶۶/۳

ارزیابی اقتصادی

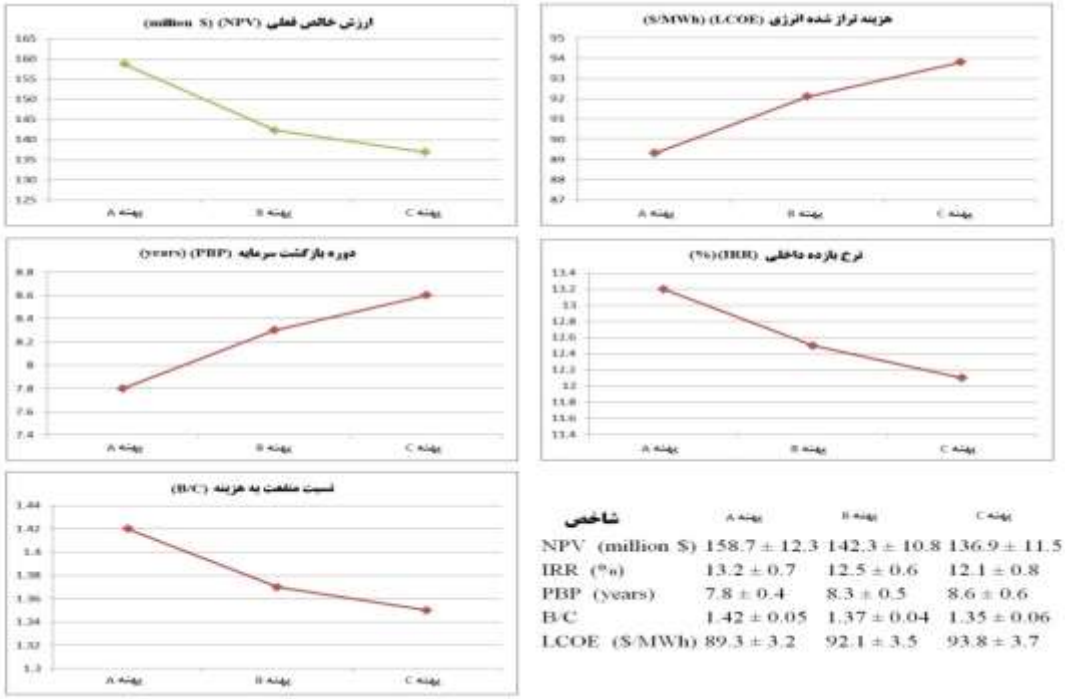
جهت ارزیابی جامع اقتصادی پروژه‌های نیروگاه CSP در استان بوشهر، تحلیل هزینه-فایده (CBA) با بهره‌گیری از روش شبیه‌سازی مونت کارلو برای سه منطقه با بالاترین ارزش تناسب فازی سرزمین صورت پذیرفت. این تحلیل جهت استقرار یک نیروگاه CSP فرضی با ظرفیت ۱۰۰ مگاوات و عمر پروژه ۲۵ سال انجام گردید. پارامترهای اصلی مورد استفاده در این تحلیل در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول ۴- پارامترهای اصلی مورد استفاده در تحلیل اقتصادی

Table 4- Main Parameters Used in Economic Analysis

پارامتر	مقدار	توزیع احتمال	منابع
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه	4500 $/kW	نرمال ($\mu=4500, \sigma=225$)	IRENA (2023); IEA (2020); Yao et al. (2025
هزینه عملیاتی و نگهداری ثابت	65 $/kW/year	یکنواخت (۶۰، ۷۰)	Yao et al. (2025); Mirletz et al. (2024); Palladino et al. (2024)
هزینه عملیاتی و نگهداری متغیر	3.5 $/MWh	مثلثی (۳، ۳.۵، ۴)	Mirletz et al. (2024); IEA (2020); Feldman et al. (2021)
قیمت فروش برق	120 $/MWh	لوگ نرمال ($\mu=4.78, \sigma=0.1$)	Abelló Sunyer, P. (2024); IRENA (2023); IEA (2020)
نرخ تنزیل	7.5%	مثلثی (٪۶/۵، ٪۷/۵، ٪۸/۵)	World Bank (2021); IEA (2020); Steffen (2020)
ضریب ظرفیت	41%	بتا ($\alpha=8.2, \beta=11.8$)	Yao et al. (2025); Mirletz et al. (2024); Palladino et al. (2024)

در هر منطقه، تعداد ۱۰۰۰۰ شبیه‌سازی اجرا و شاخص‌های اقتصادی کلیدی محاسبه گردیدند. نتایج این تحلیل در شکل ۶ ارائه شده است:



شاخص	A بهینه	B بهینه	C بهینه
NPV (million $)	158.7 ± 12.3	142.3 ± 10.8	136.9 ± 11.5
IRR (%)	13.2 ± 0.7	12.5 ± 0.6	12.1 ± 0.8
PBP (years)	7.8 ± 0.4	8.3 ± 0.5	8.6 ± 0.6
B/C	1.42 ± 0.05	1.37 ± 0.04	1.35 ± 0.06
LCOE ($/MWh)	89.3 ± 3.2	92.1 ± 3.5	93.8 ± 3.7

شکل ۶- نتایج تحلیل هزینه-فایده جهت مناطق منتخب

Fig. 6- Cost-benefit Analysis Results For Selected Regions

نتایج حاکی از آن است که هر سه منطقه از منظر اقتصادی جذاب می‌باشند، با NPV[1] مثبت و IRR[2] بالاتر از نرخ تنزیل. منطقه A با بالاترین NPV و کمترین دوره بازگشت سرمایه، جذاب‌ترین گزینه از دیدگاه اقتصادی است. جهت ارزیابی تأثیر عوامل مختلف بر شاخص‌های اقتصادی، تحلیل حساسیت با استفاده از روش Sobol انجام شد (Sobol, 2001). نتایج این تحلیل در شکل ۷ ارائه شده است:

شکل ۷- نتایج تحلیل حساسیت Sobol برای NPV پروژه

Fig. 7- Sobol Sensitivity Analysis Results for the Project's NPV

[1] Net Present Value
[2] Internal Rate of Return

این نتایج نشان می‌دهد که NPV پروژه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات در هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و قیمت فروش برق دارد. این یافته‌ها اهمیت سیاست‌های حمایتی دولت در تضمین خرید برق و ارائه مشوق‌های سرمایه‌گذاری را برجسته می‌سازد. به منظور ارزیابی پایداری نتایج در شرایط مختلف بازار، تحلیل سناریو انجام شد. سه سناریو (خوش‌بینانه، پایه و بدبینانه) با تغییر در پارامترهای کلیدی تعریف شدند. نتایج این تحلیل مرتبط با پهنه A در جدول ۵ ارائه شده است:

جدول ۵- نتایج تحلیل سناریو در رابطه با منطقه A

Table 5- Results of the Scenario Analysis for Region A

شاخص	سناریو خوش‌بینانه	سناریو پایه	سناریو بدبینانه
NPV (میلیون دلار)	۲۱۵/۴	۱۵۸/۷	۱۰۲/۳
IRR (%)	۱۵/۸	۱۳/۲	۱۰/۶
PBP[1] (سال)	۶/۵	۷/۸	۹/۳
B/C[2]	۱/۵۸	۱/۴۲	۱/۴۶

ارزیابی ریسک با استفاده از VaR[3] و CVaR[4] انجام شد. برای محاسبه VaR و CVaR، از روش شبیه‌سازی تاریخی با سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شد. نتایج نشان داد که VaR برای NPV پروژه در منطقه A برابر با ۸۷,۳ میلیون دلار و CVaR برابر با ۷۲/۱ میلیون دلار است. این نتایج نشان می‌دهد که با احتمال ۹۵٪، حداکثر زیان پروژه از ۸۷/۳ میلیون دلار فراتر نخواهد رفت، و میانگین زیان در ۵٪ بدترین سناریوها ۷۲/۱ میلیون دلار خواهد بود. این تحلیل‌های جامع آماری و اقتصادی، امکان ارزیابی دقیق‌تر پایداری بلندمدت پروژه‌های CSP در استان بوشهر را فراهم می‌آورد و می‌تواند در بهینه‌سازی طراحی و مدیریت این نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

به منظور ارزیابی جامع اعتبار و قابلیت تعمیم نتایج این پژوهش، یافته‌های حاصل با نتایج سایر مطالعات مشابه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۶). این مقایسه نه تنها امکان ارزیابی سازگاری نتایج را فراهم می‌آورد، بلکه بینش‌های ارزشمندی در مورد تفاوت‌های منطقه‌ای، روش‌شناختی، و جنبه‌های مختلف تحلیلی ارائه می‌دهد.

جدول ۶- مقایسه جامع نتایج با سایر مطالعات مشابه

Table 6- A Comprehensive Comparison of Results with other Similar Studies

تکنیک‌های هوش مصنوعی	ارزیابی اقتصادی	مدلسازی اقلیمی	روش‌شناسی	معیارهای اصلی	مساحت مناسب (٪)	منطقه	مطالعه
CNN، RF	Monte Carlo, CBA	RegCM4[5]، RCP[6] 4.5	GIS-MCDA با ML	DNI، شیب، دسترسی به شبکه	۵/۳۷	بوشهر، ایران	مطالعه حاضر

[1] Payback Period
[2] Benefit-Cost Ratio
[3] Value at Risk
[4] Conditional Value at Risk

[5] Regional Climate Model version 4
[6] Representative Concentration Pathway

Yousefi et al. (2018)	یزد، ایران	۴/۸۲	DNI، شیب، کاربری اراضی	GIS-AHP فازی	-	NPV ،IRR	-
Ammari et al. (2024)	مراکش	۶/۱۴	DNI، توپوگرافی، دسترسی	GIS-MCDA	تحلیل روند DNI	LCOE	-
Doorga et al. (2019)	موریس	۳/۷۵	تابش، شیب، کاربری	GIS-AHP	-	-	-
Sánchez-Lozano et al. (2016)	اسپانیا	۷/۲۳	DNI، شیب، زیرساخت	GIS-TOPSIS فازی	-	PROMETHEE	-
Amiri et al (2024)	عربستان سعودی	۴/۹۸	DNI، توپوگرافی، شبکه	GIS-AHP با بهینه‌سازی	-	تحلیل حساسیت	PSO

این مقایسه جامع نشان می‌دهد که مطالعه حاضر در چندین جنبه، رویکردی پیشرفته‌تر و جامع‌تر نسبت به سایر مطالعات اتخاذ کرده است. از نظر ارزیابی اقتصادی، روش تحلیل هزینه-فایده (CBA) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو در مطالعه حاضر، امکان ارزیابی جامع‌تر و واقع‌بینانه‌تر اقتصادی را فراهم کرده است. این رویکرد، عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای اقتصادی را به خوبی در نظر می‌گیرد، در حالی که سایر مطالعات عمدتاً از روش‌های ساده‌تر مانند NPV یا LCOE بهره برده‌اند. استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی، به ویژه الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند RF و CNN، وجه تمایز دیگر این مطالعه است. این رویکرد نوآورانه امکان شناسایی الگوهای پیچیده‌تر و غیرخطی را فراهم می‌آورد که در روش‌های سنتی GIS-MCDA کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. جامعیت معیارهای مورد استفاده در مطالعه حاضر، که ترکیبی از فاکتورهای فیزیکی، اقتصادی و زیرساختی را در بر می‌گیرد، نیز قابل توجه است. این جامعیت در برخی از مطالعات دیگر به این میزان مشاهده نمی‌شود. تحلیل حساسیت با استفاده از روش Sobol در این مطالعه، امکان درک بهتر تأثیر پارامترهای مختلف بر نتایج نهایی را فراهم آورده است، که این امر در اکثر مطالعات دیگر به این شکل جامع انجام نشده است.

در مجموع، این مقایسه نشان می‌دهد که مطالعه حاضر با ارائه رویکردی نوآورانه و جامع، گامی رو به جلو در زمینه مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP محسوب می‌شود. ترکیب روش‌های پیشرفته GIS، تحلیل چند معیاره فازی، تحلیل‌های اقتصادی پیشرفته و هوش مصنوعی، چارچوبی قوی و قابل اعتماد جهت تصمیم‌گیری در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه می‌دهد که می‌تواند الگوی مطالعات آینده در این حوزه باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با ارائه رویکردی جامع و نوآورانه برای مکان‌یابی بهینه نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی (CSP) در استان بوشهر، گامی مهم در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برداشته است. ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل چند معیاره فازی (Fuzzy MCDA) و تکنیک‌های هوش مصنوعی، امکان شناسایی دقیق‌تر مناطق مستعد را فراهم آورده است. این رویکرد یکپارچه و چندبعدی، چارچوبی جامع برای مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP ارائه داده که در مطالعات قبلی به این شکل مشاهده نشده است. در مقایسه با مطالعات پیشین، این پژوهش پیشرفت‌های قابل توجهی را نشان می‌دهد.

برخلاف مطالعه Yousefi et al. (۲۰۱۸) که تنها از GIS-AHP فازی استفاده کرده، این پژوهش با ترکیب GIS، MCDA فازی و تکنیک‌های هوش مصنوعی، امکان تحلیل پیچیده‌تر الگوهای مکانی را فراهم آورده است. علاوه بر این، تحلیل هزینه-فایده

(CBA) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، در مقایسه با روش‌های ساده‌تر مانند NPV یا LCOE در مطالعات قبلی، ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از پایداری اقتصادی پروژه‌ها ارائه داده است. این رویکرد امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در پارامترهای اقتصادی را فراهم می‌آورد و تصویر دقیق‌تری از ریسک‌های مالی پروژه‌ها ارائه می‌دهد (Kroese et al., 2014). بکارگیری الگوریتم‌های Random Forest و CNN، که در اکثر مطالعات قبلی مورد استفاده قرار نگرفته بود، امکان شناسایی الگوهای پیچیده‌تر و غیرخطی را فراهم آورده است. این استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش مصنوعی منجر به افزایش ۱۲/۷٪ در دقت پیش‌بینی مدل شده است، که نشان‌دهنده بهبود قابل توجه در شناسایی مناطق مستعد برای احداث نیروگاه‌های CSP است. این یافته با نتایج مطالعات اجرا شده در زمینه کاربرد یادگیری ماشین در مکان‌یابی انرژی‌های تجدیدپذیر همخوانی دارد (Maxwell et al., 2018). علی‌رغم جامعیت این پژوهش، برخی محدودیت‌های ذیل قابل ذکر هستند: عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های بلندمدت اقلیمی، محدودیت داده‌های دقیق محلی، و عدم لحاظ کامل برخی فاکتورهای اجتماعی-فرهنگی از جمله چالش‌های این مطالعه بوده‌اند. همچنین، اگرچه فاکتورهای محیط زیستی در مدل لحاظ شده‌اند، اما ارزیابی جامع اثرات محیط زیستی نیازمند مطالعات تخصصی‌تر است.

این محدودیت‌ها با یافته‌های Sánchez-Lozano et al. (۲۰۱۶) در مورد چالش‌های مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP همخوانی دارد. پیشنهاد می‌شود مطالعات آینده با بررسی جامع‌تر عواملی مانند پیشرفت‌های فناوری و تغییرات سیاستی، چشم‌انداز کامل‌تری از آینده انرژی‌های تجدیدپذیر و پایداری پروژه‌های CSP ارائه دهند.

تلفیق روش‌های نوین هوش مصنوعی با تکنیک‌های سنتی GIS-MCDA، نه تنها دقت مدلسازی را به طور معناداری افزایش داده (۱۲/۷٪)، بلکه چارچوب مفهومی جدیدی برای درک تعاملات پیچیده بین معیارهای مکان‌یابی ارائه کرده است. این رویکرد ترکیبی، همانطور که Li et al. (2024) اشاره می‌کنند، امکان شناسایی الگوهای غیرخطی و وابستگی‌های متقابل بین پارامترهای مختلف را فراهم می‌آورد که در روش‌های کلاسیک قابل تشخیص نبودند. به علاوه، استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو در تحلیل‌های اقتصادی، درک عمیق‌تری از عدم قطعیت‌ها و ریسک‌های پروژه‌های CSP ارائه می‌دهد که با یافته‌های اخیر Maxwell et al. (۲۰۱۸) در زمینه مدلسازی ریسک پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر همخوانی دارد.

از منظر سیاست‌گذاری انرژی، نتایج این پژوهش می‌تواند نقش کلیدی در تسریع گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر ایفا کند. شناسایی دقیق مناطق بهینه (۵/۳۷٪ از مساحت استان) با در نظر گرفتن ملاحظات فنی، اقتصادی و محیط زیستی، چارچوبی عملی برای برنامه‌ریزی استراتژیک در حوزه انرژی ارائه می‌دهد. این یافته‌ها با اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (SDGs) و تعهدات بین‌المللی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همسو است (IRENA, 2023). همچنین، تحلیل‌های اقتصادی جامع انجام شده، با نشان دادن پایداری مالی پروژه‌های CSP در شرایط مختلف بازار (IRR میانگین ۱۳/۲٪)، می‌تواند به جذب سرمایه‌گذاری‌های خصوصی و تسهیل مشارکت بخش خصوصی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کند.

اهمیت عملی و نظری یافته‌های این پژوهش قابل توجه است. نتایج می‌تواند به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیمات آگاهانه در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کند. ارزیابی دقیق مناطق مستعد و تحلیل جامع اقتصادی می‌تواند به افزایش موفقیت و پایداری پروژه‌های CSP کمک کند. رویکرد ترکیبی ارائه شده می‌تواند به عنوان الگویی برای مطالعات مشابه در سایر مناطق و حتی سایر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، این پژوهش با ارائه رویکردی نوآورانه و جامع در مکان‌یابی نیروگاه‌های CSP، گامی مهم در جهت توسعه پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر برداشته است. با فراهم آوردن زمینه برای توسعه انرژی‌های پاک، این مطالعه می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک کند

(UNEP-WCMC, 2022). یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در زمینه سیاست‌گذاری انرژی و سرمایه‌گذاری در پروژه‌های CSP باشد، و به عنوان نقطه عطفی در مطالعات مکان‌یابی انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شود. جهت تحقیقات آینده، پیشنهادات خلاقانه‌ای دیگری ارائه شده است:

- ادغام فناوری‌های نوین خنک‌سازی برای کاهش مصرف آب
- مدلسازی یکپارچه انرژی-آب-غذا
- بکارگیری یادگیری عمیق برای پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد نیروگاه‌ها
- تحلیل سناریوهای اقتصادی-اجتماعی
- و توسعه سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری هوشمند از جمله زمینه‌های پیشنهادی برای مطالعات آتی هستند. این پیشنهادات با روندهای نوظهور در تحقیقات انرژی‌های تجدیدپذیر همسو است (IRENA, 2023).

References

Abelló Sunyer, P. (2024). *Top-down cost assessment and market regulatory conditions affecting BESS feasibility in the spanish framework: Exploring the viability of utility-scale stand-alone battery energy storage systems in Spain* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Adler-Golden, S. M., Matthew, M. W., Bernstein, L. S., Levine, R. Y., Berk, A., Richtsmeier, S. C., … & Chetwynd, J. H. (1999). Atmospheric correction for shortwave spectral imagery based on MODTRAN4. In Imaging Spectrometry V. *International Society for Optics and Photonics*. 3753, 61-69.

Afshari, E., Ebrahimi, M., & Zare, H. (2024). Sustainable development spillover effects of China and the US on Iran: analysis of integrated sustainability perspective. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 15163-15175. [In Persian]

Akhbari, M., & Basiri Sadr, M. (2024). Mapping of Iran regions based on indicators of Climate Change impacts. *Journal of Climate Research*, 1402(55), 78-57. [In Persian]

Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2021). A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for evaluating concentrated solar power technologies in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110279.

Amiri, A. A., Wahid, M. N., Al-Buraiki, A. S., & Al-Sharafi, A. (2024). A strategic multi-criteria decision-making framework for renewable energy source selection in Saudi Arabia using AHP-TOPSIS. *Renewable Energy*, 236, 121523.

Ammari, N., Alami Merrouni, A., Mendyl, A., Chaabelasri, E., & Weidinger, T. (2024). Energy, Economic and Environmental (3E) Analysis for an Optimal CSP Technology Integration in Morocco. *Energies*, 17(12), 3020.

Aydin, F., & Sarptas, H. (2020). Spatial assessment of site suitability for solar desalination plants: a case study of the coastal regions of Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 309-323.

Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., & Naseri, F. (2017). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1198-1206. [In Persian]

Brewer, H. (2022). *The Effects of Placement and Ground Cover on Solar Panel Temperatures* (Master's thesis, University of Colorado at Denver).

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.

Cui, Z., Ma, C., Zhang, H., Hu, Y., Yan, L., Dou, C., & Li, X. M. (2023). Vicarious radiometric calibration of the multispectral imager onboard SDGSAT-1 over the Dunhuang calibration site, China. *Remote Sensing*, 15(10), 2578.

Dixit, S., Poudyal, N. C., Silwal, T., Joshi, O., Bhandari, A., Pant, G., & Hodges, D. G. (2024). Perceived benefits, burdens and effectiveness of a buffer zone programme in improving protected area–people relationships. *Environmental Conservation*, 51(2), 141-151.

Doorga, J. R., Rughooputh, S. D., & Boojhawon, R. (2019). Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy*, 133, 1201-1219.

FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. https://doi.org/10.4060/ca9825en

Feldman, D., Ramasamy, V., Fu, R., Ramdas, A., Desai, J., & Margolis, R. (2021). U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmark: Q1 2020. *National Renewable Energy Laboratory*. NREL/TP-6A20-77324.

Gastli, A., & Charabi, Y. (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 790-797.

IEA. (2020). Projected Costs of Generating Electricity 2020. International Energy Agency, Paris. https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020

IRENA. (2023). World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway. International Renewable Energy Agency.

Jahangir, M. H., Mokhtari, R., Salmanpour, F., & Yousefi, H. (2024). Urban energy planning towards achieving an economically and environmentally optimized energy flow by 2050 based on different scenarios (a case study). *Environment, Development and Sustainability*, 1-30. [In Persian]

Jiang, H., Shao, Y., & Tao, F. (2023). Machine learning-based multi-criteria decision making for renewable energy site selection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 177, 113092.

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(10), 1840-1843.

Khalid, M. (2024). Smart grids and renewable energy systems: Perspectives and grid integration challenges. *Energy Strategy Reviews*, 51, 101299.

Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Wiley Interdisciplinary Reviews*: *Computational Statistics*, 6(6), 386-392.

Li, X. Y., Dong, X. Y., Chen, S., & Ye, Y. M. (2024). The promising future of developing large-scale PV solar farms in China: A three-stage framework for site selection. *Renewable Energy*, 220, 119638.

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. *Springer*, 1, 55-77.

Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784-2817.

Mehrian, M. R., Qelichi, M. M., & Tahouri, H. (2024). Solar power plant site selection using fuzzy inference system: a case study in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24. [In Persian]

Mirletz, B., Vimmerstedt, L., Avery, G., Sekar, A., Stright, D., Akindipe, D & Hoffmann, J. (2024). Annual Technology Baseline: The 2024 Electricity Update. *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, Golden, CO (United States).

Noorollahi, Y., Yousefi, H., & Mohammadi, M. (2016). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13, 38-50. [In Persian]

Palladino, V., Di Somma, M., Cancro, C., Gaggioli, W., De Lucia, M., D'Auria, M., & Graditi, G. (2024). Innovative Industrial Solutions for Improving the Technical/Economic Competitiveness of Concentrated Solar Power. *Energies*, 17(2), 360.

Rezaei, F., Pourghasemi, H. R., Fallah Shamsi, S. R., Khosravi, R., & Kariminejad, N. (2024). Spatial modeling and mapping of flood potential using machine learning algorithms (Case study: Bushehr province). *Integrated Watershed Management*, 4(2), 81-96. [In Persian]

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill International Book Co.

Salim, S. S., Luxembourg, S. L., Dalla Longa, F., & van der Zwaan, B. (2024). From Retrofitting to Renewables: Navigating Energy Transition Pathways for European Residential Space Heating. *Energies*, 17(10), 2363.

Sánchez-Lozano, J. M., García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2016). GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. *Applied Energy*, 171, 86-102.

Sobol, I. M. (2001). Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. *Mathematics and computers in simulation*, 55(1-3), 271-280.

Steffen, B. (2020). Estimating the cost of capital for renewable energy projects. *Energy Economics*, 88, 104783.

Suh, J., & Brownson, J. R. (2016). Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of Ulleung Island, Korea. *Energies*, 9(8), 648.

Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1354-1362.

UNEP-WCMC. (2022). Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA). UNEP-WCMC and IUCN, Cambridge, UK. https://www.protectedplanet.net/

Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.

Watson, J. J., & Hudson, M. D. (2015). Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and Urban Planning*, 138, 20-31.

World Bank. (2021). World Bank Open Data. https://data.worldbank.org/

Yao, L., Guan, Z., Wang, Y., Hui, H., Luo, S., Jia, C., … & Xiao, X. (2025). Evaluating the feasibility of concentrated solar power as a replacement for coal-fired power in China: A comprehensive comparative analysis. *Applied Energy*, 377, 124396.

Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, 11(7), 1648. [In Persian]

Zakariazadeh, A., Ahshan, R., Al Abri, R., & Al-Abri, M. (2024). Renewable energy integration in sustainable water systems: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 100722. [In Persian]

Zhao, Y., Li, S., Yang, D., Yahaya, I. I., & Pan, H. (2024). Assessment of site suitability for centralized photovoltaic power stations in Northwest China's six provinces. *Journal of Environmental Management*, 366, 121820.

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۵۰-۴۲
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 45-53

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Extraction of total precipitable water and the effect of fine dust on its retrieval in the atmosphere of Mehrabad

Seyed Mahdi Pazhuhan

Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran.

**Corresponding Author: M.pourbagher@pnu.ac.ir*

Original Paper

Received: 9.9.2023
Accepted: 12.9.2024

Keywords:
total precipitable water,
MODIS,
aerosol or fine particles,
Mehrabad.

Abstract

The distribution of precipitable water on the scale of the earth is needed in order to increase the understanding of the hydrological cycle, the interaction of the biosphere and the atmosphere, the changes in the energy balance, and the monitoring of climate changes caused by greenhouse gases. Knowing the total amount of precipitable water is very useful in predicting floods, rainfall volume, designing water storage dams and designing hydrological models. The most important factor that causes errors in estimating total precipitable water from satellite images is the presence of fine dust. The purpose of this research is to recover precipitable water from MODIS satellite images and the effect of fine dust in its recovery. The most important materials of this research are MODIS sensor images from Tehran province, ENVI processor program and the method of this quantitative-applied research. The results of the study show that the precipitable water vapor obtained from band 19 to 2 in the upper atmosphere of Mehrabad, Tehran is equal to 4.69 mm on average. Also, studies show that the effect of fine particles on water vapor measurement depends on the intensity of surface reflectivity. Particulate matter weakens the reflected solar radiation in atmospheric openings and as a result reduces the radiation reaching the sensor. Also, the direct radiation of the sun is scattered towards the sensor and increases the input signal to the sensor. Also, one of the most important limitations of using this method is the cloud free and calm and almost stable atmosphere.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

استخراج کل آب قابل بارش و تأثیر ریزگردها در بازیابی آن در جوّ مهرآباد

سید مهدی پژوهان

استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور. تهران، ایران.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: M.pourbagher@pnu.ac.ir

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸
پذیرش:۱۴۰۳/۰۶/۲۲

کلمات کلیدی:
کل آب قابل بارش، MODIS، آئروسل یا ریزگردها، مهرآباد.

چکیده

نحوه پراکنش آب قابل بارش در مقیاس کره زمین، به‌منظور افزایش درک چرخه هیدرولوژی، برهمکنش زیست‌کره و جوّ، تغییرات بیلان انرژی و پایش تغییرات اقلیمی ناشی از گازهای گلخانه‌ای مورد نیاز است. اطلاع از میزان کل آب قابل بارش در پیش‌بینی سیل، حجم نزولات جوّی، طراحی سدهای ذخیره آب و طراحی مدل‌های هیدرولوژی بسیار کاربرد دارد. مهم‌ترین عاملی که باعث ایجاد خطا در برآورد کل آب قابل بارش از تصاویر ماهواره‌ای می‌کند، حضور ریزگردها است. هدف از این تحقیق بازیابی آب قابل بارش از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و تأثیر ریزگردها در بازیابی آن است. مهم‌ترین مواد این تحقیق، تصاویر سنجنده MODIS از استان تهران، برنامه پردازشگر ENVI و روش این تحقیق کمّی-کاربردی است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که بخارآب قابل بارش حاصل از باند ۱۹ به ۲ در جوّ بالای مهرآباد تهران به‌طور متوسط برابر با ۴/۶۹ میلی‌متر به‌دست‌آمده است. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که اثر ریزگرد روی سنجش بخارآب به میزان شدّتِ بازتابندگی سطحی بستگی دارد. ریزگردها، تابش بازتابیده خورشیدی را در روزنه‌های جوّی تضعیف کرده و درنتیجه تابش رسیده به سنجنده را کاهش می‌دهد. همچنین تابش مستقیم خورشید را به سمت سنجنده پراکنده کرده باعث افزایش سیگنال ورودی به سنجنده می‌شود. همچنین از مهم‌ترین محدودیت‌های استفاده از این روش، شرایط آسمان فاقد ابر و جوّ آرام و تقریباً پایدار است.

مقدمه

طبق تعریف، کل آب قابل بارش (TPW[1])، کل رطوبت موجود در ستون جوّ است که اگر کاملاً فشرده شود به قطرات ریز مایع تبدیل می‌گردد و برحسب ارتفاع ایستایی آب، عموماً میلی‌متر، بیان می‌شود. بنابراین آب قابل بارش مرحله قبل از تراکم بخارآب است، به همین دلیل در بازیابی بخارآب قابل بارش عموماً از تصاویر ماهواره‌های هواشناسی بدون ابر استفاده می‌شود؛ البته با به‌کارگیری باندهای جذبی قوی بخارآب مثل باند شماره ۱۸ مودیس به مرکزیت ۰/۹۳۵ میکرومتر می‌توان میزان بخارآب موجود در داخل و بالای ابرها را نیز سنجش کرد (Kaufman & Gao, 1992). توزیع بخارآب در جوّ مستقیماً بستگی به توزیع دمای هوا دارد. به همین دلیل مقدار بخارآب موجود در جوّ استوا به‌مراتب بیشتر از مقدار آن در قطبین است. درواقع میزان رطوبت مطلق در استوا زیاد و در قطبین کمتر است، اما میزان رطوبت نسبی برعکس است (Pourbagher Kurdi, 2007).

آب قابل بارش الزاماً به مفهوم نزولات جوّی نخواهد بود. این که چه مقدار از این آب به سطح زمین خواهد رسید به بسیاری از پارامترهای دیگر مثل مقدار و نوع هواویزها، دما و فشار جوّ، جهت و سرعت باد و غیره بستگی دارد (Pourbagher Kurdi et al., 2006).

Kaufman & Gao (۱۹۹۲) با موفقیت توانستند مقدار بخارآب جوّ را از طریق باند مادوق قرمز نزدیک سنجنده EOS/MODIS استخراج کنند آن‌ها با بکار گیری باندهای تکمیلی، عدم قطعیت در تخمین را به حداقل رساندند.

.KING et al (۱۹۹۲) روش‌های مختلفی را برای سنجش ویژگی‌های جوّی با استفاده از MODIS مرور می‌کنند و تأکید اصلی بر کاربردهای مهم تصاویر MODIS در تعیین خواص نوری، میکرو فیزیکی و فیزیکی ابرها و ذرات آئروسل از بازتاب طیفی و اندازه‌گیری‌های گسیل حرارتی دارند.

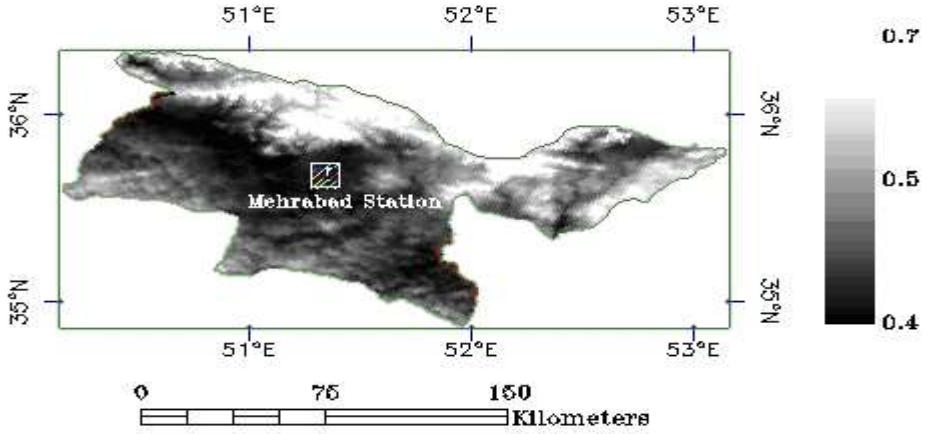
Aoki & Inoue (۱۹۸۲) کل آب قابل بارش را روی اقیانوس‌های مناطق حاره‌ای با کمک باند مادون‌قرمز (۱۰/۵ تا ۱۲/۵ میکرومتر) از ماهواره GMS ژاپنی استخراج کردند. داده‌های به‌دست‌آمده از این ماهواره توافق خوبی با داده‌های رادیوساوند داشتند. آن‌ها خطای RMS را ۰/۵۳ گرم بر سانتی‌متر مربع به دست آوردند.

برخی از پژوهشگران (Jiafei & Zhizhao, 2022) آب قابل بارش کلی را با استفاده از MODIS برآورد و سپس با داده‌های تأخیر سیگنال حاصل از بخارآب توسط GPS زمینی مقایسه کردند که نتایج کارشان نشان از توافق بالای بین داده‌های فضایی و زمینی مذکور دارد.

مواد و روش‌ها

تصاویر مودیس از مهم‌ترین مواد این تحقیق است. روش تحقیق از نوع کمّی و کاربردی است. شکل ۱ تصویر مودیس برای منطقه موردمطالعه در استان تهران همراه با بازتابندگی را نشان می‌دهد.

[1] Total Water Vapour



شکل ۱- منطقه موردمطالعه در استان تهران؛ نقاط روشن‌تر بازتابندگی بیشتر و نقاط تیره‌تر بازتابندگی کمتر را نشان می‌دهد.

Fig. 1- Study area in Tehran Province. Brighter areas indicate higher reflectance, while darker areas represent lower reflectance.

در اینجا بعد از معرفی روش استخراج آب قابل بارش و اثرات ریزگردها به بازیابی آن نیز پرداخته‌شده است.

۱- روش بازیابی آب قابل بارش

نام روش بازیابی آب قابل بارش Near Infra-Red (NIR) نام دارد، علت این نام‌گذاری استفاده از باندهای شماره ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲ که در دامنه طیفی مادون‌قرمز نزدیک سنجنده مودیس قرارگرفته‌اند، است. علاوه بر باندهای فوق از باند شماره ۵ مودیس که در دامنه طیفی مادون‌قرمز با طول‌موج کوتاه قرارگرفته است نیز استفاده می‌شود. ولی از آنجائی که باند شماره ۵ تصویر منتخب مودیس از نسبت سیگنال به نویز کمی (مقدار ۷۴ در جدول ۱) برخوردار بودند، لذا از باند شماره ۲ به علت داشتن نسبت سیگنال به نویز بالا (مقدار ۲۰۱ در جدول ۱) به‌عنوان باند روزنه بخارآب در محاسبات استفاده‌شده است. مشخصات طیفی باندهایی از مودیس که در بازیابی آب قابل بارش کاربرد دارند در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات طیفی باندهایی از مودیس که در بازیابی آب قابل بارش و ریزگردها کاربرد دارند.

Table 1- Spectral Characteristics of MODIS Bands Used in Retrieving Precipitable Water and Dust.

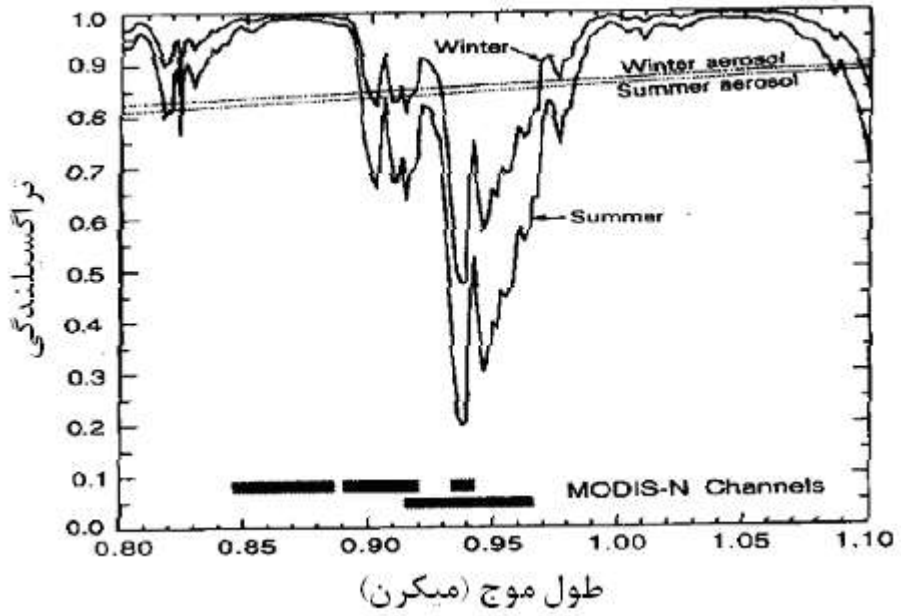
کاربرد اولیه	شماره باند	پهنای باند (نانومتر) از باند ۲۰ (میکرن)	رادیانس طیفی	سیگنال به نوفه
مواد معلق/ تعیین محدوده سطح	۱	۶۲۰ -۶۷۰	۲۱/۸	۱۲۸
زمین/ ابر	۲	۸۴۱ -۸۷۶	۲۴/۷	۲۰۱
	۳	۴۵۹ -۴۷۹	۳۵/۳	۲۴۳
	۴	۵۴۵ -۵۶۵	۲۹/۰	۲۲۸
مواد معلق /مشخصات سطح زمین/ ابر	۵	۱۲۳۰ -۱۲۵۰	۵/۴	۷۴
	۶	۱۶۲۸ -۱۶۵۲	۷/۳	۲۷۵
	۷	۲۱۰۵ -۲۱۵۵	۱/۰	۱۱۰
بخارآب اتمسفر	۱۷	۸۹۰ -۹۲۰	۱۰/۰	۱۶۷
	۱۸	۹۳۱ -۹۴۱	۳/۶	۵۷

	۱۹	۹۱۵ -۹۶۵	۱۵/۰	۲۵۰
	۲۶	۱/۳۶۰ -۱/۳۹۰	۶/۰۰	۱۵۰(SNR)
بخارآب ابرهای پرسا شکل	۲۷	۶/۵۳۵ -۶/۸۹۵	۱/۱۶ (۲۴۰K)	۰/۲۵
	۲۸	۷/۱۷۵ -۷/۴۷۵	۲/۱۸ (۲۵۰K)	۰/۲۵

سنجش‌ازدور بخارآب بر پایه آشکارسازی جذب بخارآب از طیف تابش خورشیدی که از میان جوّ به سطح زمین رسیده و پس از بازتاب به سنجنده می‌رسد (باند روزنه بخارآب) و یا توسط بخارآب جذب می‌شود (باند جذبی بخارآب)، مبتنی است. بنابراین مقدار بخارآب قابل بارش ستون جوّ از مقایسه بین تابش بازتابیده خورشیدی در باند جذبی و باند غیر جذبی به دست می‌آید که در شکل ۲ نمایان است.

از رابطه ۱ با توجه به ضرایب ثابت تصاویر MODIS می‌توان برای تخمین بخارآب قابل بارش کلی (TPW) استفاده کرد.

$$\mathrm{TPW}=(((0.02-\log(b19/b2))/0.65)^2\times((1/\cos(17.66\times3.14/180))+(1/\cos(30.13\times3.14/180))) \quad (۱)$$



شکل ۲- شفافیت طیفی در جوّ قطبی و حاره‌ای عرض جغرافیایی میانه. خطوط صاف گذران از منحنی میزان ذرات معلق را در زمستان و تابستان نشان می‌دهد. این منحنی مربوط به محاسبات مدل جوّی LOWTRAN7 در زاویه سمت الراس خورشید ۴۵ درجه و دید پاسوی ماهواره است. مستطیل‌های سیاه در پایین شکل موقعیت باندهای جذبی و روزنه بخارآب را نشان می‌دهند (بازسازی‌شده از Kaufman & Gao, 1992).

Fig. 2- Spectral transmittance in the polar, tropical, and mid-latitude atmosphere. Solid lines passing through the curves indicate the amount of suspended particles in winter and summer. This curve is related to the LOWTRAN7 atmospheric model calculations at a solar zenith angle of 45 degrees and a satellite overpass view. Black rectangles at the bottom of the figure show the position of the absorption bands and water vapor windows (redrawn from Kaufman & Gao 1992).

هدف از رابطه ۱ تعیین مقدار بخارآب با استفاده از تابش خورشیدی بازتاب یافته از سطح زمین و پس پراکنده به جوّ است. در این الگوریتم ابتدا مقدار کل ستون بخارآب از نسبت‌گیری باندهای جذبی به باندهای غیرجذبی بخارآب تعیین می‌شوند.

۲- اثرات ریزگردها در بازیابی آب قابل بارش

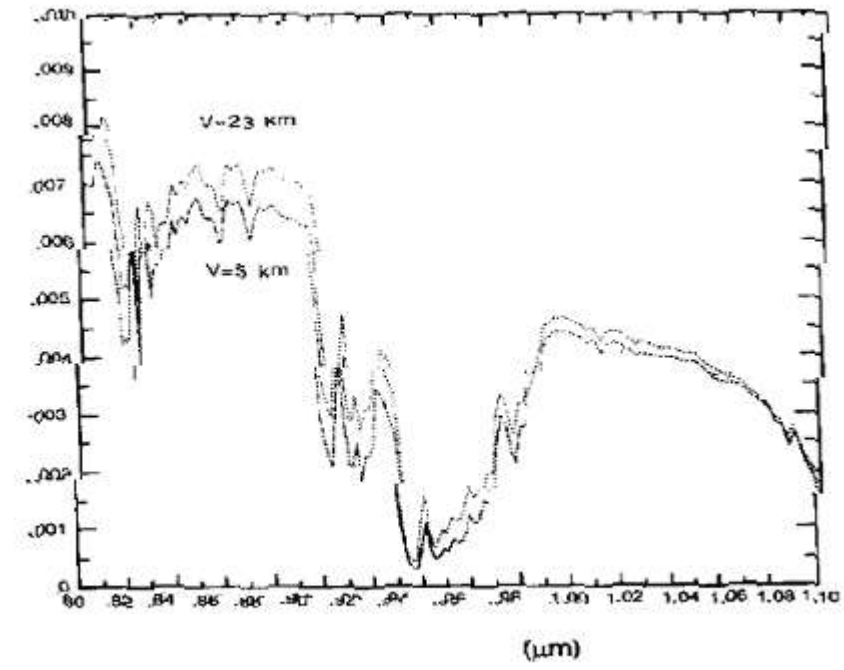
به‌طورکلی به انواع مواد معلق جامد و یا مایع در اتمسفر، آئروسل گفته می‌شود (William, 1999)، نمک دریا، گردوغبار و خاکستر آتش‌فشانی سه نوع متداول از آئروسل هستند (N.A.S.A, 2010). اگر این ذرات معلق مثل گردوغبار ریز، جامد باشند، به آن ریزگرد می‌گویند. ریزگردها باعث عدم قطعیت در بازیابی آب قابل بارش می‌شوند (Kaufman & Gao, 1992). به‌طورکلی ریزگردها از فرآیند بارش‌های گرم و سبک ممانعت به عمل می‌آورد و در عوض، افزایش ریزگردها در اثر سوء فعالیت انسان، باعث تقویت هسته‌های بارش شده و در نتیجه فرایندهای بارش یخی مثل تگرگ را افزایش می‌دهد. برای بررسی اثرات ریزگردها از شکل ۳ استفاده شده است. در شکل ۳ رادیانس طیفی بالاسوی برای دو پوشش سطحی چمن روشن و خاک رس تیره و همچنین برای دو نوع از غلظت ریزگرد با قابلیت دید ۲۳ کیلومتر و ۵ کیلومتر در مدل جوّی مناطق روستایی رسم شده است. ریزگرد، تابش بازتابیده خورشیدی را در روزنه‌های جوّی تضعیف کرده و در نتیجه تابش رسیده به سنجنده از سطح را کاهش می‌دهد. همچنین تابش مستقیم خورشید را به سمت سنجنده پراکنده کرده باعث افزایش سیگنال ورودی به سنجنده می‌شود. اثر خالص ریزگرد بستگی به میزان بازتابندگی سطحی دارد. طبق شکل (۳-الف) بازتابندگی در چمن‌های روشن، در حضور ریزگرد تضعیف می‌شود بدین معنی که ریزگرد میزان بازتابندگی چمن‌های روشن را کاهش می‌دهد، اما میزان بازتابندگی در خاک رس تیره در حضور ریزگرد افزایش می‌یابد که علتش اثرات پراکندگی ریزگرد است (شکل ۳-ب).

برای یافتن خطای ناشی از ریزگرد در سنجش‌ازدور بخارآب، بازتابندگی ظاهری برای چهار مدل جوّی توسط LOWTRAN شبیه‌سازی می‌شوند. این چهار مدل عبارت‌اند از: جوّ مناطق روستایی با قابلیت دید ۵۰ و ۲۳ کیلومتر، جوّ مناطق شهری با قابلیت دید ۵ کیلومتر و جوّ مناطق دریایی با قابلیت دید ۲۳ کیلومتر. در این مدل‌ها قسمت اعظم ریزگرد و بخارآب در یک لایه ترکیبی مرزی قرار می‌گیرند. عدم قطعیت در با قابلیت دید و میزان ریزگرد ستونی، محدوده اندازه‌های نسبت بازتابندگی ظاهری را افزایش داده خطا را دو برابر می‌کند. به‌عنوان‌مثال برای ۴/۱ سانتی‌متر بخارآب، قابلیت عبور برای چهار مدل بین ۰/۲۶ و ۰/۳۱ به‌دست می‌آید. توجه داشته باشید که کاهش با قابلیت دید به ۵ کیلومتر، نماینده حضور ریزگردهای شدید است (Kaufman & Gao, 1992).

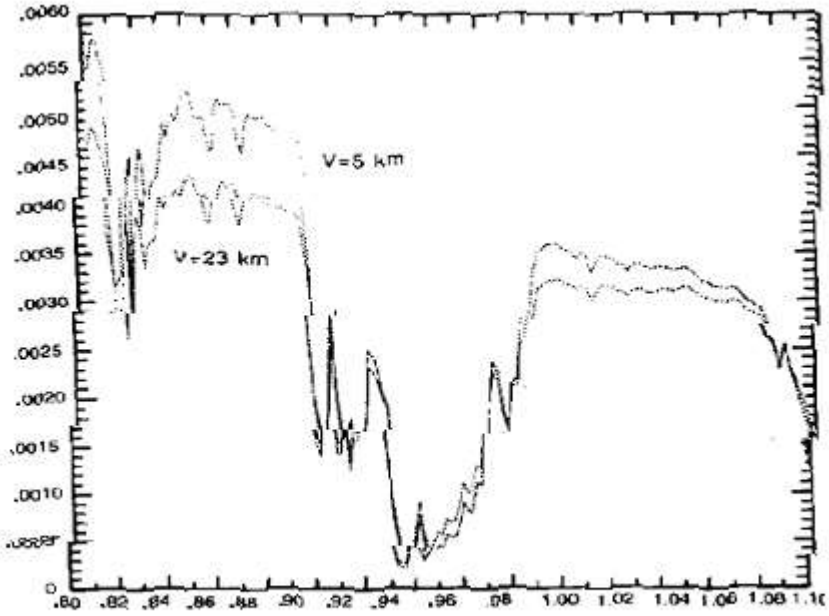
نتایج

اولاً نتایج شکل ۲ در بخش روش تحقیق نشان می‌دهد که میزان ذرات معلق در زمستان به خاطر مصرف سوخت‌های فسیلی بیشتر از فصل تابستان است. همچنین میزان جذب بخارآب در تابستان به علت بالا بودن میزان بخارآب بیشتر از زمستان است. در مجموع میزان شفافیت جوّ در زمستان بیشتر از تابستان است. البته باید توجه داشت که این شکل در شرایط آسمان فاقد ابر است. مقدار بخارآب قابل بارش از روش نسبت‌گیری کانال‌ها دارای دقت تقریبی ۱۵٪ است (Kaufman & Gao, 1992).

ثانیاً براساس شکل ۳ باید ابراز داشت که ریزگردها، بازتاب خورشیدی را کاهش می‌دهند، بنابراین رادیانس رسیده به سنجنده را به‌شدت کاهش می‌دهد. از طرفی ریزگردها به علت ایجاد خاصیت پراکندگی نور، میزان سیگنال رسیده به سنجنده را افزایش می‌دهند.



(a)



(b)

شکل ۳- رادیانس طیفی بالاسوی برای پوشش‌های سطحی a) چمن روشن و b) خاک رس تیره در دو نوع از غلظت‌های ریزگرد با قابلیت دید ۲۳ و ۵ کیلومتر (جوّ حاره‌ای عرض‌های میانه) (بازسازی‌شده از Kaufman & Gao, 1992).

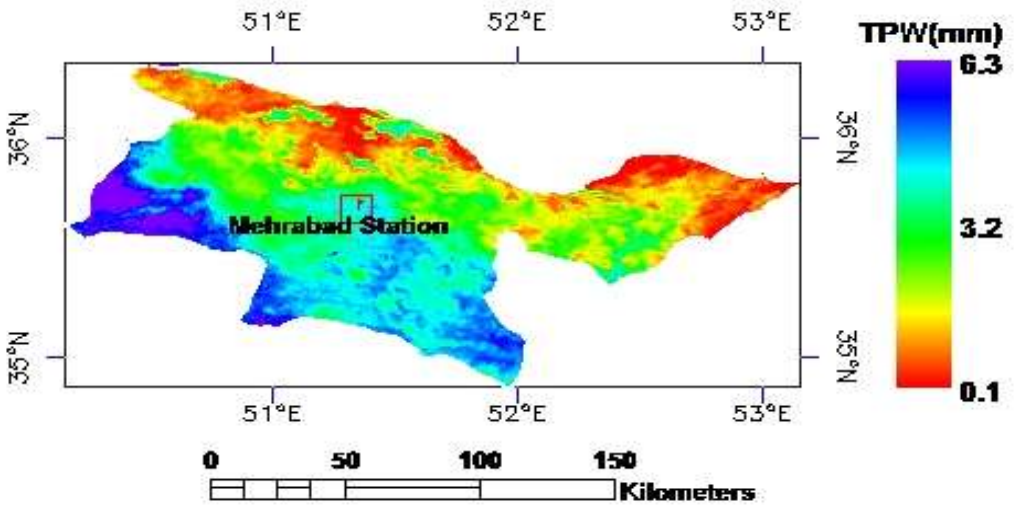
Fig. 3- Top-of-atmosphere spectral radiance for surface covers of a) light grass and b) dark clay soil under two types of dust aerosol concentrations with visibilities of 23 and 5 kilometers (mid-latitude tropical atmosphere) (adapted from Kaufman & Gao, 1992).

طول عمر ذرات معلق و بخارآب در جوّ شبیه هم‌اند زیرا که هردوی آن‌ها توسط فرآیندهای ابری تعیین می‌شوند. بنابراین در این مدل‌ها، فرض شباهت پروفایل‌های ذرات معلق و بخارآب با یکدیگر منطقی به نظر می‌رسد؛ اما در شرایط آتش‌های بزرگ و طوفان‌های گردوخاک، ذرات گردوغبار به لایه‌های بالای لایه جوّی تزریق می‌شوند. در این حالت، پروفایل‌های ریزگرد و بخارآب متفاوت شده و منبع خطای بزرگی را در برآورد میزان بخارآب ایجاد می‌کند (Kaufman & Gao, 1992).

لایه حاوی ذرات معلق بیشتر، رادیانس رو به بالا را در باند بخارآب در مقایسه با باندهای روزنه‌های جوّی، افزایش می‌دهد. در نتیجه باعث افزایش مقدار شفافیت بخارآب جوّ (T_w) شده که نتیجه آن برآورد کمتر از واقعیت میزان بخارآب است.

برای یک عمق اپتیکی متوسط (۰/۲) ناشی از یک‌لایه دود و گردوغبار، آب قابل بارش ظاهری در باند ۰/۹۴ میکرون به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود. برای کانال‌های جذبی ضعیف‌تر این اثر به علت تفاوت کمتر تابش رو به بالا در این باند و باندهای روزنه جوّی، کمتر است (۱۰ تا ۱۵ درصد). از این تفسیر غلط از میزان بخارآب می‌توان با آشکارسازی دود و گردوغبار (که توسط الگوریتم‌های مودیس انجام می‌شود) پرهیز کرد. اختلاف اساسی بین بخارآب استخراج‌شده از دو باند، می‌تواند نشان از آلودگی بالای پیکسل به ذرات معلق باشد.

میانگین مقدار آب قابل بارش کلی حاصل از باند ۱۹ به ۲ برابر با ۵/۱۰ میلی‌متر به‌دست‌آمده است. شکل ۴ مقادیر را برحسب میلی‌متر نشان می‌دهد.



شکل ۴- آب قابل بارش کلی حاصل از باند ۱۹ به ۲ درگذر ۲۶ می ۲۰۰۲(برحسب میلی‌متر)

Fig. 4- Total precipitable water derived from bands 19 to 2 on May 26, 2002 (in millimeters).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اولاً همه ماهواره‌های هواشناسی (مودیس، نوآو ...) مجهز به باندهای جذبی بخارآب به‌منظور اندازه‌گیری جرم بخارآب هستند. مثلاً باندهای شماره ۱۷، ۱۸ و ۱۹ تصاویر ماهواره‌ای مودیس باندهای مخصوص بخارآب است که محققان از این باندها برای محاسبه TPW بیشتر در شرایط آسمان فاقد ابر استفاده می‌کنند. البته باندهای ۲۶ و ۲۷ و ۲۸ هم برای تخمین میزان بخارآب داخل ابرهای پرسا شکل مورداستفاده قرار می‌گیرند. ثانیاً تصاویر ماهواره‌ای مودیس دارای سه باند مخصوص بخارآب اتمسفر هستند که میزان بخارآب لایه‌های تحتانی، میانی و فوقانی وردسپهر را اندازه‌گیری می‌کنند.

با استفاده از دو باند بخارآب مادون‌قرمز نزدیک (۰/۹۰۵ و ۰/۹۴میکرومتر) و نیز باندهای روزنه بخارآب ۰/۸۶۵و ۱/۲۴ میکرومتر) استخراج کل مقدار بخارآب ستون جوّ از داده‌های مودیس امکان‌پذیر می‌شود. از نسبت‌گیری تابش اندازه‌گیری شده در باند جذبی (۰/۹۴۰ ۰۲۵/۰) و یا (۰/۹۰۵ ۰۱۵/۰ میکرومتر) به باند غیر جذبی (۰/۸۶۵ ۰۲۰/۰) استخراج آب ستون جوّ روی اراضی خشکی را امکان‌پذیر می‌کند.

اثر ذرات معلق بر بازیابی آب قابل بارش بدین‌صورت است که رادیانس رو به بالا را در باند بخارآب در مقایسه با باندهای روزنه‌های جوّی، افزایش می‌دهد. درنتیجه باعث افزایش مقدار شفافیت بخارآب جوّ (T_w) شده و در نهایت باعث کمتر نشان دادن مقدار واقعی آب قابل بارش است به عبارت ساده‌تر حضور ذرات معلق منجر به برآورد کمتر از واقعیت میزان بخارآب می‌شود. یافته‌های این تحقیق همسو و تأییدکننده با سایر تحقیقات داخلی مثل Ansar Moghaddam and Safar Rad (۱۴۰۲) و تحقیقات خارجی مثل Qiao (۲۰۲۳) دارد.

References

Aoki, T., & Inoue,T., (1982). Estimation of the Precipitable water from the IR channel of the geostationary satellite. *remote sensing of environment* ,12, 219-228.

Ensafimoghaddam, T., & Safarrad, T. (2023). Investigate of Precipitable Water in dusty conditions using satellite images (Case study: Southwest of Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources, 3*, 17-20.[In Persian]

Jiafei, X.u., & Zhizhao, L.i.u. (2022). Evaluation of Precipitable Water Vapor Product From MODIS and MERSI-II NIR Channels Using Ground- Based GPS Measurements Over Australia, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, (15), .8744-8758.

Kaufman, Y.J., & Gao, B.C. (1992). Remote sensing of water vapor in the near IR from EOS/MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 5 (30), 871 – 884.

King, M.D., Kaufman, Y.J., Menzel, W.P., & Tanre, D. (1992). Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(1), 2 – 27.

Pourbagher Kurdi, S. M. (2007). *Extraction of Physical Meteorological Parameters Using MODIS Satellite Data.* Research Project, Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran. [In Persian]

Pourbagher Kurdi, S. M., Mobasheri, M. R., & Farajzadeh, M. (2006). *Feasibility of using radiosonde data and MODIS satellite imagery to estimate total precipitable water (Study area: Tehran region).* [Master's thesis, Tarbiat Modares University]. [In Persian]

N.A.S.A. (2010). Aerosols: Tiny Particles, Big Impact. earthobservatory.nasa.gov. 2 November 2010. https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols

Qiao, C., Liu, S., Huo, J., Mu, X., Wang, P., Jia, S., Fan, X., & Duan, M.(2023). Retrievals of precipitable water vapor and aerosol optical depth from direct sun measurements with EKO MS711 and MS712 spectroradiometers. *Atmos. Meas. Tech*., 16, 1539–1549.

William, C.H. (1999). *Aerosol Technology* (2nd ed.). Wiley - Interscience.

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۶۳-۵۱
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 54-68

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Legal criminal policies of the environment, a case study of the destruction of protected areas

Farshad Bashirzadegan[1*], Parvin Farshch[2], Bita Azad Bakht[3], Mustafa Panahi[4]

[1] PhD student in the field of environmental law, Faculty of Agriculture, Water, Food and Biodiversity, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[2] Assistant Professor, Department of Environmental Law, Faculty of Agriculture, Water, Food and Biodiversity, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[3] Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Agriculture and Basic Sciences, Roudhen Branch, Islamic Azad University, Roudhen, Iran.

[4] Associate Professor of the Department of Economics and Energy, Faculty of Agriculture, Water, Food and Biodiversity, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

**Corresponding Author: bashirzadegan@gmail.com*

Original Paper

Received: 8.24.2024
Accepted: 11.19.2023

Keywords:
Environment,
criminal policy,
protected areas,
environmental crimes.

Abstract

As one of the vital components of the environment, protected areas play an essential role in storing water resources, preventing soil erosion, and preserving biodiversity. However, despite the existence of legal criminal policies in the field of environment, we still see the illegal occupation and destruction of these areas. This shows the ineffectiveness of some existing policies and the necessity of revising legislative and executive approaches. Using the descriptive-analytical method and within the framework of environmental criminology, this article critically examines the challenges of criminal policy in the face of the destruction of protected areas from a legal point of view. The destruction and occupation of these areas, due to its multidimensional characteristics and complexity, has a distinct nature compared to other environmental crimes and requires the adoption of more comprehensive and specialized policies. In the theoretical framework of environmental criminology, this research focuses on the inefficiency of current criminal policies and identifies the shortcomings in Iran's legal system. The findings of the research show that one of the most important challenges in this field is the lack of guarantee of effective implementations in proportion to the severity of environmental damage. Weakness in the design of deterrent punishments and inadequacy of legal tools are among the factors that cause the continuation of environmental violations. Based on this, the necessity of developing comprehensive and efficient criminal policies that are proportional to the amount of environmental damage is felt more than ever. While preventing violations, these policies should play an effective role in responding to damages and play a real deterrent role by guaranteeing firm executions. Finally, the development and implementation of new criminal policies that are based on the principles of sustainable development, maintaining sensitive ecosystems and strengthening executive guarantees, should be considered as one of the main priorities of legislators and policymakers. This approach, in addition to improving the protection level of protected areas, will be a guarantee for the sustainable survival of these areas.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

سیاست‌های جنایی تقنینی محیط زیست مطالعه موردی تخریب مناطق تحت حفاظت

فرشاد بشیرزادگان[۱]، پروین فرشچی[۲*]، بیتا آزاد بخت[۳]، مصطفی پناهی[۴]

۱- دانشجوی دکتری رشته حقوق محیط زیست دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار گروه حقوق محیط زیست، دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و علوم پایه، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

۴- دانشیار گروه اقتصاد و انرژی دانشکده موضوعی کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[*] پست الکترونیکی نویسنده مسئول: *bashirzadegan@gmail.com*

نوع مقاله:
علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:
ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹

کلمات کلیدی:
محیط زیست،
سیاست جنایی،
مناطق تحت حفاظت،
جرایم محیط زیست.

چکیده

مناطق تحت حفاظت به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی محیط زیست، نقش اساسی در ذخیره‌سازی منابع آبی، جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند. با این حال، علی‌رغم وجود سیاست‌های جنایی تقنینی در حوزه محیط زیست، همچنان شاهد تخریب و تصرف غیرقانونی این مناطق هستیم. این امر نشان‌دهنده ناکارآمدی برخی سیاست‌های موجود و ضرورت بازنگری در رویکردهای تقنینی و اجرایی است. این مقاله با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی و در چارچوب جرم‌شناسی محیط زیستی، به بررسی انتقادی چالش‌های سیاست‌گذاری جنایی در مواجهه با تخریب مناطق تحت حفاظت از منظر تقنینی می‌پردازد. تخریب و تصرف این مناطق، به دلیل ویژگی‌های چندبُعدی و پیچیدگی خاص خود، نسبت به سایر جرایم محیط زیستی ماهیتی متمایز داشته و مستلزم اتخاذ سیاست‌هایی جامع‌تر و تخصصی‌تر است. در چارچوب نظری جرم‌شناسی محیط زیستی، این پژوهش بر ناکارآمدی سیاست‌های جنایی کنونی تمرکز داشته و کاستی‌های موجود در نظام تقنینی ایران را شناسایی می‌کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین چالش‌های این حوزه، فقدان ضمانت اجراهای مؤثر و متناسب با شدت خسارت‌های وارده به محیط زیست است. ضعف در طراحی مجازات‌های بازدارنده و ناکافی بودن ابزارهای قانونی، از جمله عواملی هستند که موجب استمرار تخلفات محیط زیستی می‌شوند. بر این اساس، ضرورت تدوین سیاست‌های کیفری جامع و کارآمد که متناسب با میزان آسیب‌های محیط زیستی باشد، بیش از پیش احساس می‌شود. این سیاست‌ها باید ضمن پیشگیری از تخلفات، نقش مؤثری در پاسخ‌دهی به خسارت‌های وارده داشته و از طریق اعمال ضمانت اجراهای قاطع، نقش بازدارندگی واقعی ایفا کنند. در نهایت، تدوین و اجرای سیاست‌های جنایی نوین که بر پایه اصول توسعه پایدار، حفظ اکوسیستم‌های حساس و تقویت ضمانت‌های اجرایی استوار باشد، باید به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران در نظر گرفته شود. این رویکرد، علاوه بر ارتقای سطح حفاظت از مناطق تحت حفاظت، تضمینی برای بقای پایدار این مناطق خواهد بود.

مقدمه

حفاظت از محیط‌زیست، به‌عنوان یکی از حقوق اساسی هر فرد، ضرورتی غیرقابل‌انکار و اولویتی بنیادین دارد. با این حال، در دهه‌های اخیر تخریب‌های فزاینده، محیط‌زیست را با چالش‌های بی‌سابقه‌ای مواجه کرده است. علیرغم وجود قوانین، آیین‌نامه‌ها و تصمیمات متعدد در راستای حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از تخریب آن، بررسی‌های عمیق جرم‌شناختی در این حوزه همچنان ضروری به نظر می‌رسد. دستیابی به نتایج مؤثر در چنین بررسی‌هایی مستلزم درک اصول حقوق محیط‌زیست و جایگاه آن در نظام قضایی است.

در پرتو تحولات علمی و فرهنگی اخیر، بازنگری در مفهوم جرایم محیط زیستی ضروری به نظر می‌رسد. رویکردهای سنتی نسبت به این جرایم باید به‌طور بنیادین و انتقادی مورد بازبینی قرار گیرند، زیرا ظرفیت قانونی و حمایت سیاست‌های کلی محیط‌زیست امکان چنین بازنگری‌هایی را فراهم آورده است (Hajivand et al., 2018). در همین راستا، قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران در اصل پنجاهم خود مسئولیت عمومی در قبال محیط‌زیست را به رسمیت شناخته و مقرر می‌دارد: در جمهوری اسلامی، حفاظت از محیط‌زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشند، وظیفه‌ای عمومی تلقی می‌شود. از این‌رو، فعالیت‌های اقتصادی و غیراقتصادی که با آلودگی محیط‌زیست یا تخریب غیرقابل‌جبران آن ملازمه پیدا کند، ممنوع است. اصل چهلم قانون اساسی نیز با الهام از قاعده فقهی "لاضرر" بر ممنوعیت اضرار به دیگران، حتی در چارچوب اعمال حق، تأکید دارد و مقرر می‌دارد: "هیچ‌کس نمی‌تواند اعمال حق خویش را وسیله‌ی اضرار به غیر یا تجاوز به منافع عمومی قرار دهد." بر این اساس، هرگونه استفاده از حقوق فردی یا فعالیت‌های اقتصادی که منجر به تخریب یا آسیب به محیط‌زیست گردد، با محدودیت و منع قانونی مواجه خواهد بود.

اصل یکصد و هفتاد و یکم به لزوم جبران خسارت‌های وارد شده به شهروندان تأکید دارد. علاوه بر این، اصل چهل و چهارم قانون اساسی به صراحت بیان می‌دارد که حمایت از مالکیت تنها تا جایی ممکن است که با سایر اصول این فصل از قانون اساسی سازگار بوده و به منافع جامعه آسیب وارد نسازد. این اصل مقرر می‌کند: مالکیت در این سه بخش [دولتی، تعاونی، خصوصی] تا جایی که با اصول دیگر این فصل مطابق باشد و از محدوده قوانین اسلام خارج نشود و موجب رشد و توسعه اقتصادی کشور گردد و مایه زیان جامعه نشود مورد حمایت قانونی جمهوری اسلامی است. همچنین در بند ۴ سیاست‌های کلی محیط‌زیست به صراحت بر "پیشگیری و ممانعت از انتشار انواع آلودگی‌های غیرمجاز، جرم‌انگاری تخریب محیط‌زیست، و اعمال مجازات‌های مؤثر و بازدارنده برای آلوده‌کنندگان و تخریب‌کنندگان محیط‌زیست و الزام آنان به جبران خسارت" تأکید شده است.

از منظر حقوق محیط‌زیست، مسئولیت محیط زیستی شامل دو بعد اساسی است: پیشگیری از وقوع تخریب و آلودگی و نظارت مستمر برای جلوگیری از گسترش پیامدهای زیان‌بار محیط زیستی (Abtahi & najafi tavana, 2017). اهمیت این مسئولیت از آن‌جاست که آثار مخرب آلودگی‌های محیط زیستی نه تنها سلامت نسل حاضر را تهدید می‌کند، بلکه به شکلی جدی حیات و کیفیت زندگی نسل‌های آینده را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. ظهور جرایم نوین محیط زیستی، به‌ویژه در مناطق تحت حفاظت، و ناکارآمدی ابزارها و روش‌های سنتی مجازات در مواجهه با این دسته از جرایم، سیاست جنایی محیط‌زیست در ایران را با چالش‌هایی جدی مواجه ساخته است. این چالش‌ها نشان‌دهنده ضرورت بازنگری و اصلاح رویکردهای موجود است.

در این مقاله، با بهره‌گیری از تحلیل پرونده‌های متعدد و مطالعه مبانی جرم‌شناسی محیط زیستی، وضعیت فعلی سیاست‌های جنایی و تقنینی مرتبط با محیط‌زیست بررسی می‌شود. رویکرد تحقیق بر شناسایی ناکارآمدی‌های موجود در نظام تقنینی و اجرایی و ارائه راهکارهایی برای بهبود و تقویت این سیاست‌ها تمرکز دارد. هدف اصلی این پژوهش، پیشنهاد سازوکارهایی مؤثر و جامع برای مقابله با جرایم محیط زیستی، به‌ویژه در مناطق تحت حفاظت، و ارتقای نظام حقوقی و سیاست‌گذاری‌های جنایی در راستای حفاظت پایدار از محیط‌زیست است.

۱- چالش‌های سیاست‌های جنایی تقنینی ایران از منظر حقوق محیط زیست

سیاست به‌طور کلی به مدیریت و هدایت امور جامعه اطلاق می‌شود. در این چارچوب، سیاست جنایی به فرآیند تحلیل و فهم پدیده‌های مجرمانه و تدوین استراتژی‌های مقابله با بزهکاری و انحرافات اجتماعی اشاره دارد. این سیاست با بررسی عمیق علل و پیامدهای جرایم در جامعه و تدوین راهکارهای اجرایی، هدف خود را در اجرای عدالت کیفری و پیشگیری از وقوع جرم دنبال می‌کند. اصطلاح "سیاست جنایی" نخستین بار توسط آنسیلم فون فوئرباخ در کتاب حقوق کیفری (۱۸۰۳) معرفی شد. به‌نظر وی، سیاست جنایی به مجموعه شیوه‌های سرکوبگرانه‌ای که دولت برای واکنش به جرم به کار می‌گیرد اطلاق می‌شود (Benjamin, 2021).

در نظام حقوقی ایران، سیاست جنایی غالباً با مدل اقتدارگرایانه همسو است که در آن برخورد با جرم اغلب بر مبنای اصول سخت‌گیرانه و سرکوبگرانه صورت می‌گیرد. این رویکرد در مواجهه با جرایم محیط زیستی، به‌ویژه تصرفات غیرقانونی در مناطق حفاظت‌شده، با چالش‌های متعددی روبروست. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، کاستی‌های ساختاری در نظام قضایی و عدم توجه کافی به ارزش‌های محیط‌زیستی در سیاست‌گذاری‌های جنایی است. این مسائل منجر به ناکارآمدی در رسیدگی به جرایم محیط زیستی و عدم تحقق اهداف پیشگیرانه در حوزه حفاظت از منابع طبیعی می‌شود.

در سال‌های اخیر، آگاهی عمومی نسبت به اهمیت حفاظت از محیط‌زیست در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. مردم، چه به‌طور فردی و چه از طریق سازمان‌های مردم‌نهاد، نقش فعال‌تری در حفاظت از محیط‌زیست و مقابله با فعالیت‌های مضر آن ایفا کرده‌اند (Izadikhah & Gorjifard, 2015). این تغییرات باعث شده است که سیاست‌گذاران جنایی تقنینی به سمت اتخاذ رویکردهای سخت‌گیرانه‌تر در قبال جرایم محیط زیستی حرکت کنند و مجازات‌های سنگین‌تری برای رفتارهای مغایر با قوانین محیط‌زیستی و تخریب منابع طبیعی پیش‌بینی کنند.

با این حال، برای ایجاد سیاست‌های جنایی کارآمد و مؤثر در حوزه محیط‌زیست، ضروری است که در چارچوب سیاست‌های جنایی تقنینی تجدیدنظر اساسی صورت گیرد (Panhandeh & Ranjbar, 2018). این تجدیدنظر باید به‌گونه‌ای باشد که با اصول و قواعد حقوق محیط‌زیست هماهنگ شده و بتواند به طور مؤثری از ارزش‌های محیط زیستی و منابع طبیعی کشور در برابر تهدیدات مختلف حفاظت نماید.

حمایت کیفری در حوزه محیط‌زیست عمدتاً به‌صورت واکنش پسینی ظاهر می‌شود؛ به این معنا که پس از وقوع جرم و تخریب محیط‌زیست، از طریق تعقیب قانونی مرتکب، به این اعمال واکنش نشان داده می‌شود (Shilton, 2016). در ایران، علی‌رغم نبود یک قانون جامع و مستقل در زمینه محیط‌زیست، این مسئله در مجموعه‌ای از قوانین و مقررات مختلف مورد توجه قرار گرفته است. قوانینی همچون قانون شکار و صید، قانون حفاظت و بهسازی محیط‌زیست، قانون هوای پاک، قانون حفاظت، احیاء و مدیریت تالاب‌های کشور، قانون مدیریت پسماندها، قانون مجازات اسلامی، قانون معادن، و مجموعه قوانین برنامه‌های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، به‌نوعی به حمایت از محیط‌زیست پرداخته‌اند. در این میان، پیشگیری کیفری نیز به‌عنوان بخشی از استراتژی‌های پیشگیرانه در برابر وقوع جرایم مطرح می‌شود. حقوق جزای اختصاصی با تقسیم‌بندی جرایم، امکان واکنش مؤثر و مناسب به انواع تخلفات را فراهم می‌آورد.

در بسیاری از نظام‌های قانونی، جرایم به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- جرایم علیه اشخاص

۲- جرایم علیه اموال

۳- جرایم علیه مصالح عمومی و امنیت کشور

۴- و جرایم علیه عفت و اخلاق عمومی (Mir Mohammad Sadeghi, 2023)

با این حال، عنوان جرایم محیط زیستی به‌طور مستقل در این دسته‌بندی‌ها غالباً مورد توجه قرار نمی‌گیرد و نیازمند توجه ویژه به‌عنوان یک دسته مجزا و تخصصی است.

گستره و تأثیرات خاص جرایم محیط زیستی که می‌توانند تهدیدات جدی برای سلامت اکوسیستم و نسل‌های آینده به شمار آیند، ایجاب می‌کند که این جرایم در قالب یک دسته‌بندی مستقل و ویژه شناسایی شوند (Kashkoulian & Sheikholeslami, 2022). ضرورت این استقلال در شمول جرایم محیط زیستی، اقتضا می‌کند که قانون‌گذار آن‌ها را به‌طور صریح و روشن در قوانین کیفری پیش‌بینی کند تا بدین ترتیب، خلأهای قانونی موجود در حمایت از محیط‌زیست کاهش یابد و به‌ویژه پیشگیری از وقوع این جرایم تقویت شود.

حمایت کیفری از محیط‌زیست تنها در صورتی مؤثر خواهد بود که تمامی مرتکبان جرایم محیط زیستی، به‌ویژه اشخاص حقوقی، تحت ضمانت‌های کیفری قرار گیرند. چرا که بخش عمده‌ای از جرایم محیط زیستی توسط اشخاص حقوقی، اعم از شرکت‌های بزرگ خصوصی یا مؤسسات دولتی، ارتکاب می‌یابند (Jahidmah, 2022). بنابراین، طراحی و استقرار یک چارچوب کیفری جامع و مؤثر برای حفاظت از محیط‌زیست، امری ضروری است. این چارچوب باید به‌گونه‌ای تنظیم گردد که به مقامات قضائی ابزارهای حقوقی لازم را برای اجرای احکام مؤثر در حوزه حفاظت از محیط‌زیست فراهم سازد. علاوه بر این، اثربخشی این چارچوب کیفری به انطباق آن با واقعیت‌های کنونی و شرایط اجتماعی موجود بستگی دارد.

با توجه به مبانی حقوق کیفری و حقوق محیط زیستی، ایجاد تناسب بین قواعد بنیادین حقوق بشر، از جمله حق بر محیط‌زیست سالم، و واکنش‌های کیفری متناسب با نقض این قواعد، امری ضروری و بدیهی است. این تناسب می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در جهت حمایت از حقوق بشر و حفاظت از محیط‌زیست عمل کند (Naderi, 2022). در این راستا، سؤال اصلی این است که آیا نظام کیفری فعلی کشور قادر است از تخریب محیط‌زیست، به‌ویژه تصرف مناطق اکولوژیکی حساس و تحت حفاظت، پیشگیری و حفاظت کند؟

هرچند در دهه‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای برای جلوگیری از تصرف و تخریب این مناطق صورت گرفته است، شواهد نشان می‌دهد که این اقدامات نتوانسته‌اند به نتایج مطلوبی دست یابند، چرا که این اراضی همچنان در معرض خطر دخل و تصرف غیرقانونی قرار دارند. تحلیل دقیق علل این ناکامی می‌تواند گامی اساسی در جهت اصلاح و تقویت چارچوب کیفری کشور برای حفاظت مؤثرتر از محیط‌زیست و مقابله با تهدیدات آن باشد.

با بررسی مقررات کیفری محیط زیستی در نظام حقوقی ایران، مشاهده می‌شود که برخی از جرم‌انگاری‌ها تنها به وقوع آسیب به‌عنوان نتیجه فعل مجرمانه وابسته هستند (Bazondi, 2023). این در حالی است که با توجه به ماهیت عمدتاً غیرقابل جبران جرایم محیط‌زیستی، ضرورت مداخله کیفری پیش از وقوع آسیب قطعی و به‌منظور پیشگیری از پیامدهای زیان‌بار، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آید. در این راستا، پیش‌بینی جرایم مطلق و وضع «جرایم مانع» می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در جلوگیری از وقوع جرایم وسیع‌تر و اثرات مخرب محیط زیستی مورد توجه قرار گیرد.

ارزیابی کارآمدی سیاست جنایی در حوزه محیط‌زیست مستلزم تدوین ضمانت‌های اجرایی مناسب و مؤثر و همچنین نظارت دقیق بر اجرای این ضمانت‌ها در برابر تخلفات محیط زیستی است (Smith & Doe, 2018). این نظارت، که از اهداف اساسی سیاست جنایی به‌شمار می‌آید، باید در دو سطح پیشگیری پیشینی و پسینی به پیشگیری از جرم توجه داشته باشد. به عبارت دیگر، سیاست جنایی باید از یک سو با اقدامات پیشگیرانه از وقوع جرم توسط مرتکبان جلوگیری کند و از سوی دیگر با تدابیر بازدارنده، از تکرار جرم توسط مجرمان جلوگیری نماید.

امروزه، نهادهای بین‌المللی الگوهای متعددی برای تدوین چارچوب حقوقی حمایت کیفری از محیط‌زیست ارائه کرده‌اند که مهم‌ترین ارکان آن‌ها بر اصول پیشگیری و مسئولیت مدنی و کیفری استوار است (Mistura, 2019). یکی از اجزای اساسی در طراحی این چارچوب، شناسایی مسئولیت کیفری اشخاص حقوقی است، زیرا بخش عمده‌ای از تخلفات و جرایم محیط زیستی، به‌ویژه جرایم عمده، توسط این اشخاص ارتکاب می‌یابد. بنابراین، ضروری است که در نظام حقوقی محیط زیستی، ضمانت‌های کیفری مناسب و متناسب با تأثیرات تخلفات اشخاص حقوقی بر محیط‌زیست پیش‌بینی شود.

تدوین یک چارچوب کیفری مؤثر برای حمایت از محیط‌زیست، بستگی به تقویت نهادهای نظارتی جامع و فراگیر دارد. این نهادها، اعم از دولتی و مردمی، باید با برخورداری از ظرفیت‌های اجرایی لازم، نظارت مؤثر و مستمری بر فعالیت‌های زیان‌بار محیط زیستی اعمال کنند (Abdullahi, 2021). این نهادها باید توانایی رصد دقیق فعالیت‌های پرخطر و انتقال اطلاعات به مراجع قضائی را داشته باشند تا امکان پیگیری قانونی و واکنش کیفری به‌موقع فراهم گردد.

۱-۱- چالش‌های ساختاری نظام حقوق کیفری محیط‌زیست

حقوق کیفری محیط‌زیست، با تأثیرپذیری از مطالعات جرم‌شناسی و آموزه‌های حقوق بشری، به‌طور قابل‌توجهی از رویکردهای سنتی حقوق کیفری فاصله گرفته است. در این چارچوب، نقش جرم‌شناسان انتقادی و مفاهیم نوین مرتبط با حقوق نسل‌های آینده و حق بر محیط‌زیست سالم که به‌عنوان بخشی از نسل سوم حقوق بشر شناخته می‌شود حائز اهمیت فراوان است (O'Gorman, 2017)، در این حوزه، تمرکز صرف بر جرم‌انگاری‌های مشخص جای خود را به تحلیل و بررسی توانمندی نظام عدالت کیفری در حفاظت از محیط‌زیست داده است. این تغییر نگرش، تعیین‌کننده کارآمدی و تأثیرگذاری سیاست‌های کیفری در حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد.

علاوه بر تحولات حقوق کیفری در سطح جهانی، سیاست‌گذاری کیفری ایران در زمینه جرایم محیط زیستی، به‌ویژه جرایم علیه اراضی ملی، عمدتاً از طریق تدوین مقررات و قوانین ملی صورت پذیرفته است. با این حال، این سیاست‌گذاری با چالش‌هایی مواجه است، از جمله نواقص قابل‌توجه در تعریف دقیق ارکان جرایم محیط زیستی و مشکلات عملی در شناسایی و اثبات این ارکان در محاکم قضائی.

علی‌رغم برخی پیشرفت‌ها در این زمینه، ابهاماتی همچنان در خصوص ارکان جرایمی چون تصرف غیرقانونی و تخریب اراضی تحت حفاظت وجود دارد. این ابهامات نیازمند بازنگری و اصلاحات قانونی است تا چارچوب‌های حقوقی به‌طور مؤثرتری قادر به برخورد با تخلفات محیط زیستی باشند. پژوهش‌های بیشتر در این زمینه می‌تواند به شفاف‌سازی این مسائل کمک کند و باعث تقویت کارآمدی نظام حقوقی در حمایت از محیط‌زیست و حفاظت از اراضی ملی شود.

از منظر حقوق محیط‌زیست، قوانین مرتبط با حفاظت از محیط‌زیست را می‌توان در سه دسته‌ی اصلی تقسیم‌بندی کرد: قوانین پیشگیری‌کننده، قوانین حمایتی و قوانین تضمینی. قوانین پیشگیری‌کننده شامل اصول کلی همچون قانون اساسی و سیاست‌های کلی نظام هستند که به‌عنوان چارچوب‌های اصلی برای حفظ محیط‌زیست عمل می‌کنند (Anne & Paoli, 2018). این قوانین هدفشان پیشگیری از تخریب محیط‌زیست از طریق تعیین اصول اساسی و اهداف بلندمدت است. قوانین حمایتی، از جمله مقررات کیفری و مالیاتی، به‌منظور ایجاد موانع و محدودیت‌های قانونی برای جلوگیری از فعالیت‌های زیان‌بار و تخریب محیط‌زیست وضع شده‌اند. در نهایت، قوانین تضمینی شامل مقررات خاص و ویژه‌ای هستند که با اتخاذ تدابیر اجرایی مشخص، به‌طور ویژه بر حفاظت از منابع طبیعی و اراضی ملی تمرکز دارند. هم‌افزایی و هماهنگی کارکردی این سه دسته قوانین، نقش محوری در پیشگیری از تخریب محیط‌زیست و مقابله با آن، به‌ویژه در خصوص حفاظت از مناطق تحت کنترل دولتی ایفا می‌کند.

تصرف غیرمجاز اراضی ملی، به‌ویژه اراضی تحت حفاظت، دارای پیامدهای گسترده و پیچیده‌ای در حوزه‌های اقتصادی، مسکن، کشاورزی و منابع طبیعی است. این تصرفات نه تنها موجب آسیب به اکوسیستم‌ها و تخریب منابع طبیعی می‌شود، بلکه موجب انتقال غیرقانونی و غارت ثروت‌های ملی به نفع گروه‌های خاص نیز می‌گردد. افزون بر این، تخریب اراضی جنگلی و حریم‌های طبیعی، نظیر حاشیه رودخانه‌ها و دریاها، به‌عنوان یکی از مسائل حائز اهمیت برای جامعه و دولت مطرح است. بنابراین، مقابله قاطع و پیشگیرانه با تصرفات غیرمجاز و تخریب‌های محیط زیستی یکی از وظایف اصلی و حیاتی حاکمیت به‌شمار می‌آید.

اگرچه در حال حاضر برخی از ابزارهای حقوقی برای حمایت از مناطق تحت حفاظت در دسترس قرار دارد، اما نیاز به تدوین و توسعه‌ی یک نظام کیفری جامع‌تر و کارآمدتر برای حفاظت از محیط‌زیست، با توجه به تحولات و چالش‌های کنونی، از هر زمان دیگری بیشتر احساس می‌شود (Ahmadi et al., 2018). طراحی یک چارچوب قانونی دقیق برای حمایت کیفری از محیط‌زیست، مستلزم توجه به

ویژگی‌های خاص این حوزه است. در تدوین چنین چارچوبی، عوامل کلیدی از جمله میزان سود اقتصادی ناشی از تخلفات محیط زیستی، احتمال شناسایی و کشف جرم، و تأثیر مجازات‌ها بر اعتبار اجتماعی و اقتصادی واحدهای آلاینده باید به‌دقت تحلیل و ارزیابی شوند. این رویکرد، نه تنها به تقویت اثرات بازدارندگی قوانین منجر خواهد شد، بلکه می‌تواند انگیزه‌های اقتصادی برای انجام تخلفات محیط زیستی را کاهش دهد و به افزایش تعهدات اخلاقی و قانونی شرکت‌ها و مؤسسات در زمینه‌ی حفاظت از محیط‌زیست کمک کند.

پذیرش ضمانت‌های کیفری برای رفتارهایی که امنیت و سلامت عمومی را تهدید می‌کنند، به‌عنوان یکی از اصول اساسی و بنیادین در نظام‌های حقوقی به شمار می‌رود. تخطی از منافع عمومی نه تنها به زیان کلیت جامعه می‌انجامد، بلکه در بسیاری از موارد تهدیدی جدی برای ساختار اجتماعی و اقتصادی به شمار می‌آید، از این رو همیشه مورد توجه قانون‌گذاران قرار گرفته است (Nelson et al., 2018). یکی از مهم‌ترین ابعاد منافع عمومی، برخورداری از محیط‌زیست سالم است که در چارچوب اصل توسعه پایدار، جایگاهی حیاتی و محوری دارد. بنابراین، اقداماتی که به این منافع عمومی آسیب می‌رسانند، به‌ویژه آن‌هایی که سلامت و رفاه انسان‌ها را تهدید می‌کنند، تحت عنوان "جرایم محیط زیستی" شناسایی شده و مشمول مجازات‌های کیفری قرار می‌گیرند.

ضرورت تعیین معیارهای دقیق و شفاف برای شناسایی جرایم محیط زیستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عدم ارائه تعاریف روشن و استاندارد برای این جرایم، به‌ویژه در ترکیب آن‌ها با سایر انواع جرایم، ممکن است منجر به سردرگمی و ابهام در سیاست‌گذاری کیفری و اجرایی شود. علاوه بر این، عنصر اخلاقی در تعیین ضوابط و ارکان جرایم محیط زیستی نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند. قانون‌گذار می‌تواند با توجه به ماهیت و قصد مرتکبان، شدت یا ضعف پاسخ‌های کیفری را تنظیم کند و در موارد خاص، سوءنیت یا بهره‌برداری شخصی از منابع محیط‌زیستی را به‌عنوان عامل تشدید مجازات‌ها در نظر گیرد. این رویکرد می‌تواند به تقویت اثرات بازدارندگی مجازات‌ها و ارتقای سطح مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قانونی در قبال محیط‌زیست کمک کند.

هدف حقوق کیفری محیط زیستی، پیشگیری از ارتکاب جرایم محیط زیستی است که توسط قانون‌گذار به‌عنوان جرم شناسایی و اعلام شده‌اند. این هدف، در مقایسه با سایر حوزه‌های حقوق کیفری که بیشتر با مجرمان عادی سروکار دارند، در حوزه محیط‌زیست نسبتاً دست‌یافتنی‌تر به نظر می‌رسد (Ali Melai, 2022). دلیل این امر آن است که بسیاری از جرایم محیط زیستی عمدتاً توسط اشخاص حقوقی و در قالب سازوکارهای از پیش تعیین‌شده، همراه با تصمیمات پیشین و محاسبات اقتصادی سود و زیان صورت می‌گیرند. بر این اساس، قانون‌گذار قادر است با شناسایی عوامل و بسترهای وقوع این جرایم، از طریق اتخاذ تدابیر پیشگیرانه مؤثر، به کاهش وقوع این جرایم و تحقق اهداف پیشگیرانه مجازات‌ها کمک کند. در شرایط اقتصادی و اجتماعی کنونی، حقوق کیفری محیط زیستی به تدریج از رویکرد صرفاً قانون‌گرایانه فاصله گرفته و نظرات جامعه‌شناختی و اقتصادی به‌طور فزاینده‌ای در آرای قضائی لحاظ می‌شود. این تحول نشان‌دهنده‌ی گرایش به در نظر گرفتن ملاحظات اجتماعی و اقتصادی در فرآیند صدور آرا و تصمیمات قضائی در خصوص جرایم محیط زیستی است.

عدم توجه کافی به پیشگیری مؤثر از جرایم محیط زیستی، منجر به رشد نگران‌کننده آمار این جرایم در سال‌های اخیر شده است. به‌ویژه، گزارش‌ها از سال ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۲ نشان‌دهنده‌ی افزایش سالانه متوسط ۱۳ درصدی تجاوز به اراضی ملی با قصد تصرف است، در حالی که تخریب و تجاوز به حریم دریاها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و تصرف اراضی ساحلی با رشد ۱۷ درصدی مواجه بوده است. این روند تأکید بر ضرورت اتخاذ تدابیر عاجل و مؤثر برای پیشگیری از این جرایم و کاهش میزان وقوع آن‌ها دارد (Bashirzadegan, 2019).

۲-۱- ضرورت استناد به ارزش‌های محیط زیستی در سیاست‌گذاری جنایی

سیاست‌گذاران کیفری و تقنینی باید توجه ویژه‌ای به ارزش‌های محیط زیستی داشته باشند، چرا که غفلت از این مقوله می‌تواند منجر به بروز بحران‌های محیط زیستی و پیامدهای فزاینده‌ای گردد. توجه به جرایم محیط زیستی در سطح جهانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا این جرایم از نظر فراوانی وقوع، پس از قاچاق مواد مخدر، جعل اسناد و قاچاق انسان، در ردیف چهارم فعالیت‌های مجرمان

بین‌المللی قرار دارند (UNEP, 2016). با این حال، علی‌رغم گسترش این نوع بزهکاری، به دلیل سیاست‌های کیفری اتخاذشده در بسیاری از کشورهای جهان، این جرایم غالباً با تعقیب، رسیدگی و مجازات اندکی مواجه می‌شوند.

از این‌رو، سیاست جنایی محیط زیستی باید هم‌راستا با منافع ملی و حقوق عمومی طراحی شود و از ظرفیت‌های پیشگیرانه برای مقابله مؤثر با تهدیدات محیط زیستی بهره‌برداری کند. این سیاست‌ها باید نه تنها بر پایه حفظ حقوق نسل‌های آینده و تعادل اکولوژیکی تدوین شوند، بلکه باید به گونه‌ای تنظیم گردند که از استمرار بحران‌های محیط زیستی جلوگیری کنند و به تقویت همکاری‌های بین‌المللی در مبارزه با تهدیدات محیط زیستی یاری رسانند.

پیشگیری کیفری از جرایم محیط زیستی را می‌توان از دو جنبه کلیدی بررسی کرد. نخست، انتخاب ضمانت‌اجراهای کیفری باید به‌طور دقیق با اصول حقوقی و شدت جرایم ارتکابی تناسب داشته باشد تا بتواند به‌طور مؤثر و بازدارنده عمل کند. دوم، برخورد قضات با مجازات‌های پیش‌بینی‌شده در قوانین کیفری باید مبتنی بر تخصص و آگاهی کامل آنان در رسیدگی به جرایم محیط زیستی باشد تا جنبه‌های پیشگیرانه و بازدارنده سیاست جنایی محیط زیستی تقویت گردد.

سیاست‌گذاری کیفری در ایران، به ویژه در زمینه جرایم محیط زیستی و اراضی مناطق تحت حفاظت، عمدتاً از طریق تصویب و تدوین قوانین صورت پذیرفته است. هرچند این قوانین در برخی موارد گام‌هایی مثبت در راستای حل مشکلات محیط زیستی برداشته‌اند، اما از جنبه‌های مختلف نیازمند تحلیل و بازنگری جدی می‌باشند (Mateen Parsa, 2013). یکی از مسائل کلیدی در این زمینه، به کمیت و کیفیت جرم‌انگاری‌ها و ارکان تشکیل‌دهنده این جرایم مربوط می‌شود. فقدان برنامه‌ریزی جامع و بلندمدت، ناکارآمدی قوانین و مقررات موجود، و عدم تناسب مجازات‌ها با نوع و شدت جرایم ارتکابی منجر به کاهش کارآیی سیاست‌های کیفری محیط زیستی در ایران گردیده است.

علاوه بر این، رویکرد غالب در سیاست جنایی محیط زیستی ایران بیشتر بر مجازات‌های قهری و اقدامات سلبی متمرکز است، در حالی که ظرفیت‌های پیشگیرانه و بازدارنده در این سیاست‌ها به‌طور مؤثر به کار گرفته نمی‌شود. این رویکرد نه‌تنها تأثیر چشمگیری در حل مشکلات محیط زیستی ندارد، بلکه می‌تواند موجب تشدید تنش‌ها و تضاد میان ذینفعان مختلف شده و مانع از مشارکت فعالانه جامعه در حفاظت از محیط زیست گردد. نتیجه این وضعیت، کاهش کارآیی سیاست‌های کیفری و تداوم بحران‌های محیط زیستی است که به پیچیدگی مشکلات محیط زیستی افزوده و باعث بروز چالش‌های بیشتر در این حوزه می‌شود. مجموع این عوامل سیاست جنایی ایران در زمینه جرایم محیط زیستی را به یک عامل واکنشی فاقد کارآیی تبدیل کرده است. در شرایط فعلی، به‌نظر می‌رسد سیاست‌های کیفری موجود بیشتر تحت تأثیر تحولات اجتماعی و شرایط محیطی قرار دارند و فاقد انسجام و برنامه‌ریزی مشخص برای مقابله مؤثر با تهدیدات محیط زیستی هستند.

۲- چالش‌های جبران خسارت وارده به محیط زیست

یکی از معیارهای اصلی ارزیابی کارآمدی ضمانت‌های اجرایی کیفری، اثربخشی آن‌ها در ایجاد بازدارندگی عمومی و اختصاصی است. این امر ایجاب می‌کند که از یک سو، مرتکبان جرایم با آگاهی از خطرات و پیامدهای کیفری، از ارتکاب مجدد جرم بازداشته شوند و از سوی دیگر، سایر اعضای جامعه نیز با مشاهده اعمال مجازات، از ارتکاب جرم خودداری کنند (Nagin, 2018). در حوزه جرایم محیط‌زیستی، این ضرورت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که بسیاری از این جرایم توسط افراد آگاه و با انگیزه‌های سودجویانه و سوءنیت ارتکاب می‌یابند. از این رو، اگر سازوکارهای کیفری به‌گونه‌ای تنظیم شوند که منفعت ناشی از ارتکاب جرم بر مخاطرات آن غالب باشد، نه تنها بازدارندگی ایجاد نخواهد شد، بلکه احتمال افزایش این جرایم نیز افزایش خواهد یافت.

از سوی دیگر، در چارچوب مسؤولیت مدنی، بدون الزام به جبران خسارت، مفهوم مسؤولیت عملاً بی‌اثر خواهد بود. مسؤولیت مدنی در جرایم محیط زیستی به دلیل آسیب به کارکرد طبیعی محیط‌زیست و برهم زدن تعادل اکوسیستم ایجاد می‌شود و به همین دلیل،

آلوده‌کنندگان موظف به جبران و اصلاح خسارات وارده هستند. حقوق مسؤولیت مدنی به‌عنوان ابزاری مکمل، نقشی اساسی در الزام آلوده‌کنندگان به جبران زیان‌ها و پیشگیری از تخریب بیشتر محیط‌زیست، به‌ویژه در مناطق حفاظت‌شده، ایفا می‌کند. این الزام قانونی می‌تواند به‌عنوان عاملی بازدارنده در کاهش تخریب‌های محیط زیستی مؤثر واقع شود و به تقویت نظام حفاظت از منابع طبیعی کمک کند.

در گذشته، جبران خسارت ناشی از مسؤولیت مدنی تنها به‌عنوان یکی از مسائل فرعی در حقوق مدنی مورد توجه قرار می‌گرفت. اما امروزه این حوزه به یکی از ارکان اساسی حقوق تعهدات تبدیل شده است و دعاوی مرتبط با مسؤولیت مدنی بخش عمده‌ای از دعاوی حقوقی را در سیستم‌های قضائی به خود اختصاص داده است. در این زمینه، افزایش چشمگیر دعاوی مرتبط با خسارات محیط زیستی به دلیل گستردگی و پیچیدگی زیان‌های واردشده به محیط‌زیست در دوران معاصر است.

رشد قابل توجه دعاوی محیط زیستی نشان‌دهنده تحول اساسی در نگرش جوامع به اهمیت حفاظت از محیط‌زیست و ضرورت صیانت از آن در برابر تهدیدات فزاینده است. در نظام‌های حقوقی معاصر، جبران خسارات محیط زیستی به‌منظور حمایت از حقوق زیان‌دیدگان، حفظ نظم عمومی و امنیت اجتماعی، و تحقق اهداف توسعه پایدار به‌عنوان یک اصل اساسی و غیرقابل انکار در حقوق شناخته می‌شود. این اصل، علاوه بر تأمین حقوق فردی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تقویت حس مسؤولیت‌پذیری افراد و نهادها نسبت به حفاظت از محیط‌زیست ایفا می‌کند.

در این راستا، ضروری است توجه شود که حقوق محیط زیستی به‌طور عام و حقوق کیفری محیط زیستی به‌طور خاص، رشته‌ای نوظهور و در عین حال با پیچیدگی‌های خاص خود همراه است. در زمینه محیط زیست، جرایم به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. جرایم اولیه، که به‌طور مستقیم از اقدامات تخریبی علیه منابع طبیعی ناشی می‌شوند، از جمله آلوده‌سازی منابع آبی یا سوزاندن جنگل‌ها و مراتع. این‌گونه جرایم، مشابه بسیاری از جرایم سنتی، ریشه در گذشته‌های دور دارند (Salehi Moghadam et al., 2020).

از سوی دیگر، جرایم ثانویه که بخش عمده‌ای از جرایم محیط زیستی معاصر را شامل می‌شوند، ناشی از نقض قوانین و مقررات محیط‌زیستی هستند. به‌عنوان مثال، عدم رعایت موازین قانونی در دفع زباله‌های خطرناک از جمله این دسته از جرایم به شمار می‌آید. با این حال، اثبات وقوع این نوع جرایم به دلیل پیچیدگی‌های ذاتی آن‌ها و همچنین ماهیت فنی و تخصصی مسائل محیط زیستی، معمولاً دشوار است و این امر تأثیر مستقیم و منفی بر فرآیند جبران خسارت دارد.

با توجه به مطالب مذکور، حقوق محیط زیست در حفظ منابع طبیعی و حفاظت از محیط زیست بر رویکردی همکاری‌محور با اشخاص حقوقی آلاینده استوار است. این رویکرد مبتنی بر این باور است که علاوه بر نظارت بر فعالیت‌های خطرناک شرکت‌های آلاینده، می‌توان از طریق مذاکره، همفکری، آموزش و بهره‌گیری از مشوق‌ها، حفاظت پیشگیرانه از محیط زیست را به روشی سریع‌تر، کارآمدتر و کم‌هزینه‌تر تحقق بخشید.

رویکرد همکاری‌محور بر این تأکید دارد که با تذکر و یادآوری قوانین و مقررات محیط زیستی به شرکت‌های آلاینده، می‌توان تا حد ممکن از رجوع به مراجع قضائی و طرح شکایات کیفری در خصوص جرایم محیط زیستی اجتناب کرد. طرفداران این رویکرد مزایایی همچون کاهش هزینه‌ها، تسریع در دستیابی به نتایج، و رویکرد سازنده آن را در مقایسه با سازوکارهای حقوق کیفری و حقوق مسؤولیت مدنی بر می‌شمارند.

با این حال، در ارزیابی کارآمدی و کفایت این رویکرد در حفاظت از محیط زیست، باید به چالش‌های موجود توجه کرد. اگرچه به دلایل هنجاری، از جمله ترویج فرهنگ احترام به محیط زیست و ایجاد پایداری اجتماعی، رویکرد اداری و همکاری‌محور برای هر جامعه‌ای ضروری است، اما این رویکرد به‌تنهایی قادر به پاسخگویی به تمامی شرایط و وضعیت‌ها نیست.

بنابراین، اتکای صرف به این رویکرد، به‌ویژه در مواردی که آلاینده‌ها به‌طور سیستماتیک و عامدانه قوانین محیط زیستی را نقض می‌کنند، کافی نخواهد بود. در چنین شرایطی، نیاز به ترکیبی از راهبردهای همکاری‌محور و ضمانت اجراهای قهری، از جمله حقوق کیفری و

مسؤولیت مدنی، احساس می‌شود. این ترکیب می‌تواند به تقویت توان نظام‌های حقوقی در حفاظت مؤثر از محیط زیست و مقابله با تهدیدات محیط زیستی منجر شود.

یکی از ابزارهای مؤثر در حقوق محیط‌زیست، اعطای حق دادخواهی به تشکل‌های مردم‌نهاد در دعاوی محیط زیستی، به‌ویژه از منظر مسؤولیت مدنی است. این حق در ماده ۶۶ قانون آیین دادرسی کیفری به رسمیت شناخته شده است؛ طبق این ماده، سازمان‌های مردم‌نهاد که اساسنامه آن‌ها به حمایت از محیط‌زیست، منابع طبیعی، میراث فرهنگی، بهداشت عمومی و حقوق شهروندی اختصاص دارد، می‌توانند در صورت وقوع جرایم مرتبط با این حوزه‌ها، اقدام به اعلام جرم کرده و در تمامی مراحل دادرسی مشارکت نمایند.

علاوه بر این، ماده ۶۴ این قانون جهات قانونی آغاز تعقیب کیفری توسط دادستان را مشخص کرده است و بر اساس آن، می‌توان نتیجه گرفت که افراد حقیقی نیز قادر به گزارش جرایم محیط زیستی به مراجع قضائی هستند و دادستان به‌عنوان مدعی‌العموم می‌تواند تعقیب کیفری را آغاز نماید. با این حال، نقش تشکل‌های مردم‌نهاد در دعاوی محیط زیستی از منظر مسؤولیت مدنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این سازمان‌ها به‌عنوان نمایندگان ذینفعان می‌توانند در دعاوی مربوط به خسارات محیط زیستی ناشی از تخلفات، اقامه دعوی کرده و خواهان جبران خسارات وارده به محیط‌زیست شوند.

ضمانت‌های مدنی الزام‌آور، مرتکبان تخریب محیط‌زیست را ملزم به جبران خسارات وارده می‌کنند. این جبران ممکن است به اشکال مختلفی از جمله بازگرداندن وضعیت محیط‌زیست به حالت اولیه، پرداخت هزینه‌های ترمیم و اصلاح خسارات وارده، و سایر تدابیر اصلاحی باشد. با این حال، اجرای ناقص قانون انتشار و دسترسی آزاد به اطلاعات، مانعی جدی در برابر دسترسی به داده‌های شفاف و دقیق در خصوص نحوه اجرای این قانون و نتایج آن ایجاد کرده است (Firouzabadi, 2019).

در حال حاضر، اطلاعات دقیقی درباره میزان تصرفات در مناطق تحت حفاظت در دسترس نیست و تنها آماری که موجود است، مبتنی بر شکایات ثبت‌شده سازمان حفاظت محیط‌زیست در مراجع قضائی است. با این وجود، باید توجه داشت که به دلایل مختلف، در بسیاری از موارد تصرفات بدون طرح شکایت رسمی انجام می‌شود؛ این امر نه تنها به پیچیدگی مسئله می‌افزاید، بلکه ضرورت اجرای کامل و مؤثر قوانین مرتبط با حفاظت از محیط‌زیست را بیش از پیش نمایان می‌کند.

بحث و نتیجه گیری

گستردگی و تنوع موضوعات محیط زیستی موجب تکثر جرایم مرتبط با این حوزه و در نتیجه، گوناگونی مجرمان و اشکال مشارکت آنان در این جرایم شده است. این پیچیدگی‌ها موجب دشواری در تعیین دقیق سهم هر یک از مرتکبان در ارتکاب جرایم محیط‌زیستی می‌شود. بررسی مقررات کیفری در زمینه محیط‌زیست نشان می‌دهد که علی‌رغم تدوین و اجرای برخی مجازات‌ها، این اقدامات در تأمین بازدارندگی مؤثر و پیشگیری از جرایم محیط زیستی کافی نبوده است. دلایل اصلی این ناکامی‌ها به شرح زیر است:

۱- عدم تناسب مجازات با سود حاصل از جرم: در بسیاری از موارد، سود مالی ناشی از ارتکاب جرایم محیط زیستی به‌مراتب بیشتر از جزای نقدی مقرر است، به‌گونه‌ای که این مجازات‌ها قادر به از بین بردن انگیزه ارتکاب جرم نیستند. به عبارت دیگر، مجازات‌ها به‌طور مؤثر بازدارنده نیستند چراکه نتایج اقتصادی حاصل از این جرایم همچنان جذابیت دارد.

۲- پایین بودن احتمال کشف جرم: بسیاری از جرایم محیط زیستی به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند تخریب منابع طبیعی و آلودگی‌ها ماهیت پنهان و پیچیده‌ای دارند که کشف آن‌ها را دشوار می‌سازد. این ویژگی باعث افزایش جسارت مرتکبان و تداوم این‌گونه جرایم می‌شود.

۳- عدم تناسب مجازات با پیامدهای جرم: پیامدهای ویرانگر این جرایم بر محیط‌زیست، به‌ویژه بر سلامت عمومی و نسل‌های آینده، به‌مراتب بیشتر از مجازات‌های پیش‌بینی‌شده در قوانین است. این عدم تناسب موجب می‌شود که مجازات‌ها نتوانند اثرات زیان‌بار جرم را به‌طور مؤثر جبران کنند.

۴- رویکرد پساواقعه‌ای: در نظام حقوقی کنونی ایران، پیشگیری کیفری از جرایم محیط زیستی جایگاه مناسبی ندارد و مجازات‌ها تنها پس از وقوع و اثبات جرم اعمال می‌شوند. در حالی که در بسیاری از موارد، اقدامات پیشگیرانه می‌توانند از وقوع این جرایم جلوگیری کنند، قوانین موجود غالباً بر واکنش‌های پس از وقوع جرم متمرکز هستند و تدابیر پیشگیرانه مؤثر را در بر نمی‌گیرند.

یکی از چالش‌های اساسی در مواجهه با جرایم محیط زیستی، فقدان رویکردی قاطع و بازدارنده در نظام قضائی است. هرچند برخی از قضات به اهمیت حفظ محیط‌زیست آگاه هستند و احکام بازدارنده‌ای صادر می‌کنند، این نگرش در میان تمامی قضات به‌طور یکسان عمومیت ندارد. رویکرد غالب در دستگاه قضائی، استفاده از نهادهای تخفیفی نظیر عفو، تعلیق و کاهش مجازات برای مرتکبان جرایم محیط زیستی است. این وضعیت ناشی از عوامل مختلفی است:

۱- پراکندگی جرم‌انگاری محیط زیستی در قوانین کیفری: قوانین مرتبط با محیط‌زیست به‌طور پراکنده در دستگاه حقوقی وجود دارند که منجر به عدم انسجام و ضعف در اجرای این قوانین می‌شود.

۲- فقدان سیاست کیفری واحد و منسجم در این حوزه: سیاست کیفری در زمینه محیط‌زیست فاقد هماهنگی و انسجام لازم است و این موضوع باعث ایجاد شکاف‌های عملیاتی و قانونی در برخورد با جرایم محیط زیستی می‌شود.

۳- وجود نواقص، ابهامات و تعارضات در قوانین مرتبط: قوانین محیط‌زیستی اغلب با نواقص، ابهامات و تعارضات مواجه هستند که موجب اختلال در اجرای مؤثر این قوانین می‌شود.

علاوه بر این، مشکلات فرهنگی و عدم درک عمومی از اهمیت حفاظت از محیط‌زیست نیز به‌عنوان یک مانع جدی در تحقق اهداف سیاست جنایی در این زمینه عمل می‌کند. بسیاری از افراد و نهادها هنوز اهمیت و ضرورت حفظ محیط‌زیست را به‌طور کامل درک نکرده‌اند، که این امر باعث کاهش همکاری اجتماعی و تأثیر منفی بر اثربخشی قوانین محیط زیستی می‌شود.

برای تقویت حفاظت از محیط زیست و ارتقای اثربخشی سیاست‌های کیفری در این حوزه، مجموعه‌ای از اقدامات کلیدی می‌تواند به‌طور مؤثر در کاهش جرایم محیط زیستی و بهبود اجرای قوانین محیط زیستی موثر باشد. این اقدامات به شرح زیر پیشنهاد می‌شوند:

۱- ارتقای آگاهی عمومی: ترویج فرهنگ آگاهی در میان عموم مردم در خصوص فجایع محیط زیستی و پیامدهای مخرب آن، به‌ویژه در زمینه تغییرات اقلیمی، آلودگی‌ها و تخریب منابع طبیعی، می‌تواند تأثیرات مثبتی بر رفتارهای محیط زیستی افراد و نهادها داشته باشد. ارتقای آگاهی عمومی می‌تواند از طریق برنامه‌های آموزشی، رسانه‌ها و کمپین‌های اطلاع‌رسانی انجام شود و به شکل‌گیری رویکردی مسئولانه‌تر در قبال حفاظت از محیط زیست کمک کند.

۲- جلب مشارکت مردمی: تشویق و ترغیب شهروندان به مشارکت فعال در حفظ محیط زیست از طریق پیگیری حقوق خود در داشتن محیطی سالم و مشارکت در پیشگیری از جرایم محیط زیستی ضروری است. این مشارکت می‌تواند از طریق گسترش نقش نهادهای مردمی، نظارت اجتماعی و تقویت همکاری میان دولت و بخش خصوصی در راستای انجام مسئولیت‌های محیط زیستی شکل بگیرد.

۳- بازنگری در قوانین کیفری: تدوین و اصلاح قوانین کیفری محیط‌زیست با بهره‌گیری از رویکردهای مدرن و مؤثر که قادر به مواجهه با چالش‌های جدید در حوزه حفاظت از محیط زیست باشند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. این اصلاحات باید شامل تعیین مجازات‌های متناسب و بازدارنده، شفاف‌سازی جرایم محیط زیستی و ارتقای معیارهای دقیق برای تشخیص و اثبات این‌گونه جرایم باشد.

۴- تقویت نهادهای مردمی: حمایت از تشکل‌های مردم‌نهاد در راستای ایفای نقش فعال در حفاظت از محیط زیست باید به‌عنوان یکی از اولویت‌های اساسی در سیاست‌های محیط زیستی کشور قرار گیرد. این نهادها با برخورداری از صلاحیت‌های لازم می‌توانند در ایفای نقش نظارتی، اطلاع‌رسانی، آموزش و حتی اقامه دعوی برای جبران خسارات محیط زیستی فعالیت کنند و به تقویت حاکمیت قانون در این حوزه کمک نمایند.

۵- تأکید بر پیشگیری کیفری: طراحی و اجرای تدابیر پیشگیرانه کیفری، به‌ویژه از طریق نظارت پیشگیرانه، کنترل فعالیت‌های آسیب‌زا و ارتقای ظرفیت‌های مؤسسات دولتی و خصوصی در شناسایی و پیشگیری از جرایم محیط زیستی، می‌تواند به‌طور مؤثری از وقوع این

جرایم جلوگیری کند. در کنار این اقدامات، اعمال مجازات‌های متناسب با شدت و نوع جرم، به‌ویژه در مواردی که پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی گسترده‌ای دارند، می‌تواند موجب ایجاد بازدارندگی واقعی و جلوگیری از تکرار جرایم محیط زیستی شود.

این رویکردها می‌توانند در ایجاد یک چارچوب جامع و مؤثر برای سیاست‌های کیفری در زمینه محیط زیست، نقشی اساسی ایفا کنند و به‌طور همزمان حفاظت از محیط زیست و تقویت نظام حقوقی کشور را در این حوزه بهبود بخشند.

References

Abdullahi, A. (2021). Analysis of environmental protection in Iran's criminal laws. the second international conference and the fifth national conference on protection of natural resources and environment. [In Persian]

Abtahi, S., & najafi tavana, A. (2018). Study of Factors Contributing to the Ineffectiveness of the Environment protection and Its Legal System in Iran and the Comparison of It with Some World Hallmarks. *Treaty Legal Research, 2*(AUTUMN), 241-267. [In Persian]

Ahmadi, M., & colleagues. (2018). Analysis of Iran's criminal law in environmental protection: challenges and solutions. *Environmental Law Quarterly*, 12(3), 45-62. [In Persian]

Ali Melai, P. (2022). Preventing the occurrence of crimes against the environment. *legal researches of Kanon Yar*, 5, 17. [In Persian]

Anne, L., & Paoli, D. (2018). *The Prevention Principle in International Environmental Law*. Cambridge University Press.

Bashirzadegan, F. (2019). Iran's environment and the crime of trespassing on national lands (case study: protected areas). *Research report of the General Inspection Organization of the country*. 130, 85. [In Persian]

Bazondi, M. H. (2023). Elements of crimes related to the environment in Iranian criminal law. *Political Science, Law and Jurisprudence Quarterly*. 10, 1.

Benjamin, V. (2021). *The Limits of Criminal Law*, Cambridge University Press

Firouzabadi, H. (2019). Civil liability due to environmental damages. *Research and Development Quarterly in Comparative Law*, 2, 3. [In Persian]

Hajivand, A., Mirkamali, A., Safari, F., & Sarvai Sarmidani, O. (2018). Government criminal responsibility for environmental crimes in Iran: necessities and challenges. *Environmental Sciences*, *16*(2), 65-82. [In Persian]

Izadikhah, N., & Gorjifard, H. (2015). The Role of Legal and Criminal Sanction in Protect of Environment with Emphasis on Forests and Pastures Act of 1346. *Judgment*, *15*(82), 97-126. [In Persian]

Jahidmah, G. (2022). A look at the criminal liability of public legal entities in environmental crimes in Iran. the second national conference on healthy environment and sustainable development, 9. [In Persian]

Kashkoulian, E., & Sheikholeslami, A. (2022). Judicial Challenges in Combating Environmental Crimes in Iranian Criminal Law. *Fares Law Research*, *5*(10), 115-135. [In Persian]

Mateen Parsa, M. (2013). The challenges of Iran's criminal law in the direction of environmental protection, the second national and specialized conference on environmental research in Iran. [In Persian]

Mir Mohammad Sadeghi, H. (2023). *Crimes against the public interests of the country*. Mizan, 78. [In Persian]

Mistura, A. (2019). Is There Space for Environmental Crimes Under International Criminal Law?, *Columbia Journal of Environmental Law*, 43, 1.

Naderi, S. (2022). *Criminal protection of the right to the environment*, Legal Civilization, 5, 10. [In Persian]

Nagin, D. S. (2018). *Deterrence in the Twenty-First Century*. Annual Review of Criminology. [In Persian]

Nelson, C., Lurie, N., Wasserman, J., & Zakowski, S. (2018). Conceptualizing and Defining Public Health Emergency Preparedness. *American Journal of Public Health*, 97, 9–11.

O'Gorman, R. (2017). *Environmental Constitutionalism: A Comparative Study*. Transnational Environmental Law, 6(3), 435–462.

Panhandeh, S. B., & Ranjbar, M. R. (2018). Examining the foundations and legal documentation of damage related to the environment in Iranian law. *International Legal Resarch*. 12. 44. [In Persian]

salehi moghadam, A., bahramineZhad, A., & darvishi hoveyda, Y. (2020). Criminal liability of environmental destroyers in the shadow of environmental security. *Holy Defense Studies*, *5*(4), 47-65. [In Persian]

Shilton, D., & Case, A. (2016). *Judicial manual of environmental law*. Legal Deputy of Judiciary, 92.

Smith, J., & Doe, A. (2018). Assessing the effectiveness of criminal policy in the field of environmental law: The need for proper enforcement guarantees. *Environmental Law Journal*, 34(2), 101-115

United Nations Environment Programme (UNEP) and INTERPOL, (2016). The Rise of Environmental Crime: A Growing Threat to Natural Resources, Peace, Development and Security

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۷۵-۶۴
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 69-80

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Analysis of the Impact of Physical Land Use Parameters on the Dispersion of Air Pollution Case Study: Sirjan Steel Industrial Area

Maryam Nasri Nasrabadi [1], Reza Peykanpour Fard [2*]

[1] *Department of environmental Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Isfahan, Isfahan, Iran.*
[2] *Department of Natural Resources Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.*

**Corresponding Author: r.peykanpour@na.iut.ac.ir*

Original Paper

Received: 4.27.2024
Accepted: 11.21.2024

Keywords:
Physical parameters of land,
albedo,
surface roughness,
pollutant dispersion,
AERMOD modeling.

Abstract

Air pollution in industrial areas is recognized as one of the major environmental challenges, and land use and its physical characteristics play a key role in the dispersion of pollutants. The present study was aimed at investigating the impact of physical land use parameters such as albedo, surface roughness, and surface moisture on the dispersion of air pollutants in the Sirjan industrial area. The AERMOD model, a validated dispersion model, was employed to model the dispersion of pollutants using five years of meteorological data and relevant land use physical parameters as input. Based on the results, albedo and surface roughness significantly affected the dispersion of pollutants such as NOx, CO, and PM_{10}. Areas with lower albedo (such as barren and industrial zones) exhibited greater pollutant dispersion due to higher solar energy absorption and the creation of air currents. In contrast, regions with higher surface roughness (areas with vegetation cover) demonstrated increased accumulation of pollutants, as the wind speed was reduced. Besides, the concentration levels of pollutants in the study area were found to be within environmental standards. This study revealed that the physical parameters of land use may effectively influence pollutant dispersion and can serve as useful tools in environmental management and air pollution reduction. Finally, it is recommended that greater attention be given to these parameters in the design and development of industrial areas in order to improve air quality and decline the negative effects of pollutants.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

تحلیل تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری‌های زمین بر پراکنش آلودگی هوا: مطالعه موردی منطقه صنعتی فولاد سیرجان

مریم نصری نصرآبادی[۱]، رضا پیکانپورفرد[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

[*] پست الکترونیکی نویسنده مسئول: r.peykanpour@na.iut.ac.ir

نوع مقاله:

علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:

ارسال: ۱۴۰۲/۰۴/۱۶

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۵

کلمات کلیدی:

پارامترهای فیزیکی زمین، آلبیدو، زبری سطح، پراکنش آلاینده‌ها، مدلسازی AERMOD.

چکیده

آلودگی هوا در مناطق صنعتی به‌عنوان یکی از معضلات مهم محیط زیستی شناخته می‌شود و کاربری زمین و ویژگی‌های فیزیکی آن نقشی کلیدی در پراکنش آلاینده‌ها ایفا می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی بر پراکنش آلاینده‌های هوا در منطقه صنعتی سیرجان انجام شده است. برای مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها از مدل معتبر AERMOD استفاده شده که داده‌های هواشناسی پنج ساله و اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکی زمین به‌عنوان ورودی در این مدل لحاظ گردید. نتایج نشان داد که آلبیدو و زبری سطح تأثیر قابل‌توجهی بر نحوه پراکنش آلاینده‌هایی همچون NOx، CO و PM_{10} دارند. مناطقی با آلبیدوی پایین (مانند مناطق بایر و صنعتی) به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و ایجاد جریان‌های هوایی، پراکنش بیشتری از آلاینده‌ها را نشان دادند درحالی‌که مناطق با زبری سطح بالاتر (نواحی با پوشش گیاهی) به دلیل کاهش سرعت باد، تجمع آلاینده‌ها را افزایش دادند. همچنین میزان غلظت آلاینده‌ها در منطقه موردمطالعه در محدوده استانداردهای محیط زیستی بود. این پژوهش نشان داد که پارامترهای فیزیکی کاربری زمین می‌توانند به طور مؤثری بر پراکنش آلاینده‌ها تأثیر بگذارند و به‌عنوان ابزاری مفید در مدیریت محیط‌زیست و کاهش آلودگی هوا مورد استفاده قرار گیرند. در نهایت پیشنهاد می‌شود در طراحی و توسعه مناطق صنعتی به این پارامترها توجه بیشتری شود تا کیفیت هوا بهبود یابد و اثرات منفی آلاینده‌ها کاهش یابد.

مقدمه

با گسترش شهرنشینی و توسعه صنعتی در سراسر جهان، تغییرات کاربری زمین به یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر محیط‌زیست تبدیل شده است. این تغییرات که شامل تبدیل اراضی کشاورزی و طبیعی به مناطق شهری و صنعتی است، تأثیرات گسترده‌ای بر کیفیت هوا و اکوسیستم‌های محلی دارد (Smith et al., 2019). توسعه شهرها و صنایع نه‌تنها موجب افزایش انتشار آلاینده‌های هوا می‌شود، بلکه باعث تغییر در الگوهای پراکنش این آلاینده‌ها نیز می‌گردد (Jones, 2018). یکی از پیامدهای اصلی این تغییرات، افزایش تراکم جمعیت و فعالیت‌های صنعتی در مناطق شهری است که به طور مستقیم با افزایش غلظت آلاینده‌های هوا مرتبط است. گسترش زیرساخت‌های شهری معمولا منجر به کاهش فضای سبز و مناطق باز می‌شود که نقش مهمی در کاهش و جذب آلاینده‌ها ایفا می‌کنند (Brown et al., 2020). این تغییرات می‌تواند بر سلامت عمومی، به‌ویژه در مناطق با تراکم بالای جمعیتی تأثیرات منفی داشته باشد (Taylor & Wilson, 2017). علاوه بر تغییر در میزان انتشار آلاینده‌ها، تغییرات کاربری زمین می‌تواند بر پارامترهای فیزیکی مؤثر بر پراکنش آلودگی، مانند زبری سطح و نوع پوشش زمین، اثر بگذارد. به‌عنوان‌مثال، مناطق با پوشش گیاهی زیاد دارای زبری سطح بیشتری هستند که می‌تواند باعث کاهش سرعت باد و تغییر مسیر حرکت آلاینده‌ها شود درحالی‌که مناطق شهری با سطوح صاف و کم زبری، آلاینده‌ها را به‌گونه‌ای متفاوت منتشر می‌کنند (Williams, 2021). تغییرات زبری سطح به عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین الگوی پراکنش آلاینده‌ها در مطالعات متعدد موردتوجه قرار گرفته است (Johnson & Lee, 2016). یکی دیگر از پارامترهای کلیدی در این زمینه آلبیدو یا ضریب بازتابش سطح است. سطوح با آلبیدوی کمتر مانند مناطق بایر یا ساخت‌وسازهای شهری گرمای بیشتری جذب می‌کنند که این امر می‌تواند باعث افزایش دما و در نتیجه تغییر در الگوهای جوی و پراکنش آلاینده‌ها شود (Miller et al., 2019). همچنین، رطوبت سطحی نیز نقش مهمی در کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها دارد؛ به‌ویژه در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم‌تر و سطح رطوبت بیشتری دارند، توانایی جذب و نگهداری آلاینده‌ها بیشتر است. (Taylor & Smith, 2020).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تحلیل تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری‌های زمین بر پراکنش آلودگی هوا در منطقه صنعتی سیرجان است. با توجه به رشد سریع صنعتی در این منطقه و اهمیت آن به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم صنعتی کشور شناسایی و مدلسازی عوامل تأثیرگذار بر کیفیت هوا از اهمیت بسزایی برخوردار است. این پژوهش قصد دارد با استفاده از مدل AERMOD که از معتبرترین مدل‌های ارزیابی و پیش‌بینی پراکنش آلاینده‌های هوا است، نقش پارامترهای فیزیکی نظیر آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی را در الگوهای انتشار آلاینده‌های مختلف هوا مورد ارزیابی قرار دهد (Smith et al., 2021). مدل AERMOD که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (EPA) توسعه‌یافته است، به دلیل دقت بالای آن در مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها تحت شرایط مختلف جوی و توپوگرافی در این مطالعه به کار گرفته می‌شود. این مدل توانایی تحلیل تأثیر شرایط فیزیکی مختلف را بر نحوه پراکنش و تراکم آلاینده‌ها دارد، به‌ویژه در مناطقی که ویژگی‌های کاربری زمین و تغییرات در پارامترهای فیزیکی مانند زبری سطح و آلبیدو بر جریان‌های جوی و الگوهای انتشار آلودگی تأثیر می‌گذارند (Peykanpour Fard et al., 2023). در این پژوهش، آلبیدو به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی مدنظر قرار می‌گیرد. سطوحی که دارای آلبیدوی بالا هستند (مانند مناطق با پوشش گیاهی یا سطوح آب) انرژی خورشیدی بیشتری را بازتاب می‌دهند درحالی‌که مناطق با آلبیدوی پایین (مانند مناطق صنعتی و بایر) انرژی بیشتری جذب می‌کنند که این امر می‌تواند منجر به افزایش دمای سطح و تغییر در الگوهای جریان هوا شود (Miller et al., 2019). این تغییرات می‌تواند تأثیر مستقیمی بر پراکنش آلاینده‌ها داشته باشد زیرا دما و جریانات حرارتی ناشی از آن از عوامل مؤثر در پراکندگی آلاینده‌ها هستند (Jones, 2018). زبری سطح نیز به‌عنوان یک پارامتر مهم دیگر در مدلسازی استفاده شده است. زبری سطح نشان‌دهنده میزان ناهمواری سطح زمین و تأثیر آن بر جریان‌های جوی نزدیک به سطح است. مناطقی با زبری سطح بالا (مانند

جنگل‌ها و مناطق با پوشش گیاهی متراکم) می‌توانند باعث کاهش سرعت باد و افزایش انباشت آلاینده‌ها شوند، درحالی‌که سطوح صاف و صنعتی، با زبری کمتر، می‌توانند جریان‌های بادی را تقویت کرده و پراکندگی آلاینده‌ها را تسریع بخشند (Williams, 2021).

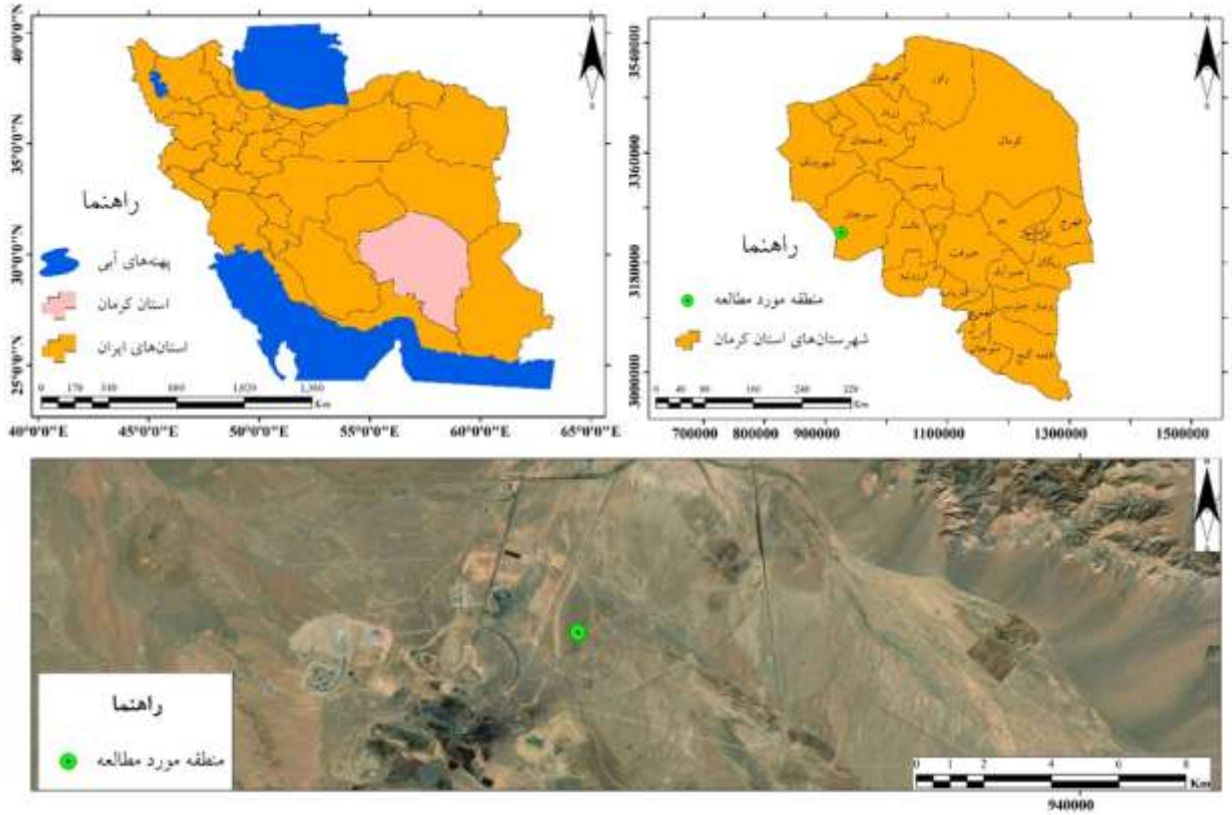
این پژوهش با تمرکز بر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و تأثیر آن‌ها بر پراکنش آلاینده‌های هوا، رویکرد جدیدی را در مدلسازی محیط زیستی ارائه داده است. نوآوری اصلی این پژوهش استفاده از مدل AERMOD با ترکیب پارامترهای فیزیکی مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی است. این ترکیب، برخلاف روش‌های قبلی که عمدتاً به داده‌های هواشناسی و منابع آلاینده محدود بودند بر تأثیر مستقیم ویژگی‌های فیزیکی زمین بر الگوهای پراکنش آلاینده‌ها تأکید دارد (Williams, 2021). آلبیدو به‌عنوان معیاری برای بازتاب سطحی و زبری سطح به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر جریان‌های هوایی و سرعت پراکنش آلاینده‌ها، به‌صورت دقیق‌تر در مدلسازی‌ها مورداستفاده قرار گرفتند. این مطالعه با توجه به کاربری‌های مختلف زمین و تأثیر این پارامترها بر پراکندگی آلاینده‌ها، موفق به ارائه تحلیل‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های رایج در ارزیابی‌های محیط زیستی شده است (Smith et al., 2019). رطوبت سطحی نیز به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر کاهش یا افزایش غلظت آلاینده‌ها در مناطق مختلف، به مدل اضافه شد. مناطقی با رطوبت بالاتر مانند فضاهای سبز و مناطق کشاورزی، توانستند تجمع آلاینده‌ها را کاهش دهند، درحالی‌که مناطق خشک و صنعتی تأثیر کمتری در جذب آلاینده‌ها داشتند (Johnson & Lee, 2016). به‌طورکلی این پژوهش نوآوری‌هایی را در ادغام پارامترهای فیزیکی کاربری زمین با مدل‌های پراکنش آلودگی ارائه داد و بهبود دقت مدلسازی را از طریق درنظرگرفتن ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافیک ممکن ساخت. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود سه ضریب یاد شده در محل ایستگاه سینوپتیک و دودکش‌ها بسیار متفاوت است که دلیل آن تفاوت کاربری‌های اطراف منطقه مورد پژوهش و محل ایستگاه سینوپتیک است.

در نهایت هدف این پژوهش مدلسازی و پیش‌بینی میزان پراکنش آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان با درنظرگرفتن پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و ارائه راهکارهای بهینه برای کاهش اثرات منفی این پارامترها بر کیفیت هوا است. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های محیط زیستی و مدیریتی به‌منظور کاهش آلودگی هوا در مناطق صنعتی مشابه به کار گرفته شود Taylor (& Smith, 2020).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مطالعه بر روی منطقه صنعتی سیرجان واقع در جنوب غربی این شهر انجام شده است. این منطقه به دلیل وجود منابع آلاینده متعدد از جمله شرکت جهان فولاد سیرجان و صنایع وابسته برای مدلسازی پراکنش آلودگی هوا انتخاب شد. محدوده تحت مطالعه حدود ۵۹۴ هکتار بوده و شامل تأسیسات صنعتی مختلفی است که به عنوان منابع انتشار آلاینده‌ها عمل می‌کنند.



شکل ۱ – تقسیمات سیاسی

Fig. 1- Political divisions

شکل۲ – سکتور بندی ایستگاه سینوپتیک سیرجان

Fig. 2- Sectorization of the Sirjan Synoptic Station

جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی ۵ ساله (از مهر ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۴۰۲) از ایستگاه سینوپتیک سیرجان استخراج و با نرم‌افزار AERMET پردازش شدند. این داده‌ها شامل سرعت و جهت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی و میزان ابرناکی بودند که برای مدلسازی به فرمت SAMSON برای استفاده در مدل AERMOD تبدیل گردیدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه سینوپتیک سیرجان

Table 1- Characteristics of the Sirjan Synoptic Station

نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	سال تأسیس	ارتفاع از سطح دریا
سیرجان	طول جغرافیایی ′۴۱ °۵۵ و عرض جغرافیایی ′۲۸ °۲۹	۱۳۶۳	۱۷۳۹/۴

پارامترهای فیزیکی زمین

پارامترهای فیزیکی مانند آلبیدو، زبری سطح و رطوبت سطحی که در نزدیکی ایستگاه سینوپتیک و دودکش‌ها محاسبه شدند به‌عنوان داده‌های ورودی به مدل AERMOD استفاده شد. این پارامترها بر اساس نوع کاربری زمین و موقعیت جغرافیایی محاسبه گردیدند. آلبیدو که نشان‌دهنده بازتاب سطحی است، بسته به نوع پوشش زمین متغیر است؛ به طور مثال، در مناطق پوشیده از گیاه ۱۰ تا ۱۵ درصد و در نواحی بیابانی بیش از ۲۵ درصد است (Williams, 2021). زبری سطح نیز بر اساس نوع زمین و ساختارهای موجود محاسبه شد. این داده‌ها به‌عنوان ورودی‌های کلیدی به مدل AERMOD وارد شدند تا اثرات فیزیکی کاربری زمین بر پراکنش آلاینده‌ها تحلیل شود (Smith et al., 2019).

آلبیدو: آلبیدو یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر پراکنش آلاینده‌ها است. در این پژوهش آلبیدو بر اساس نوع کاربری زمین محاسبه شد. مناطق با پوشش گیاهی بالاتر دارای آلبیدوی پایین‌تر (۱۰-۱۵٪) بودند در حالی که مناطق بایر و صنعتی آلبیدوی بالاتری داشتند (بیش از ۲۵٪).

زبری سطح: زبری سطح به عنوان یک پارامتر کلیدی دیگر در مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها استفاده شد. در مناطق صنعتی با سطوح صاف، زبری کمتر و پراکندگی آلاینده‌ها سریع‌تر بود در حالی که مناطق با پوشش گیاهی متراکم و زبری بالا باعث کاهش سرعت باد و افزایش تجمع آلاینده‌ها شدند.

رطوبت سطحی: رطوبت سطحی نیز در مدل لحاظ شد، زیرا مناطق با پوشش گیاهی بیشتر توانایی جذب و کاهش غلظت آلاینده‌ها را داشتند.

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی سطح کاربری های مختلف

Table 2- Physical Characteristics of Different User Interfaces

نوع کاربری	مقدار بازتاب نور به تابش	سطح دارای رطوبت	زبری سطح
کشاورزی	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵
شهری	۰/۲۰۷۵	۱/۶۲۵	۱
بیابانی و بوته‌زار	۰/۳۲۷۵	۴/۷۵	۰/۲۶۲۵

مدلسازی آلودگی هوا با AERMOD

مدل AERMOD برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های NOx، CO و PM_{10} از منابع آلاینده منطقه صنعتی سیرجان استفاده شد. داده‌های هواشناسی و پارامترهای فیزیکی زمین به عنوان ورودی‌های مدل وارد شدند. این مدلسازی برای محدوده ۲۷۰۰

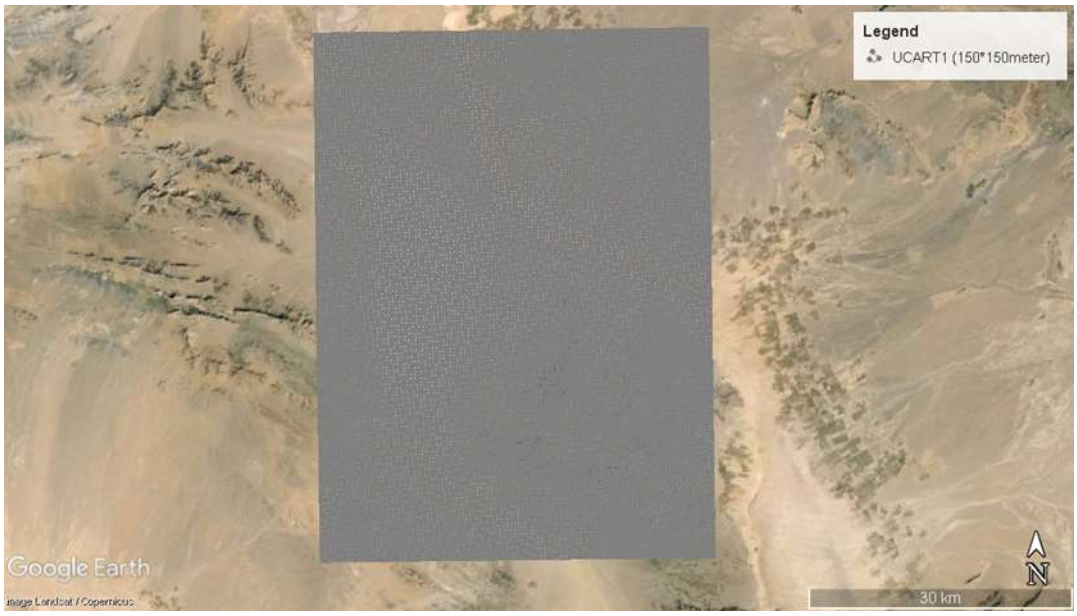
کیلومترمربعی منطقه انجام شد و شبکه‌بندی با سلول‌های ۱۵۰ در ۱۵۰ متر به منظور تعیین غلظت‌های آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها در این منطقه به کار رفت (Johnson & Lee, 2020).

نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات جغرافیایی

برای افزایش دقت مدلسازی، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با اندازه پیکسل ۹۰ متر استفاده شد. این نقشه‌های توپوگرافی به تعیین دقیق‌تر مسیر و سرعت جریان آلاینده‌ها در منطقه کمک کردند. اطلاعات جغرافیایی و توپوگرافیک منطقه نیز در نرم‌افزار AERMOD وارد شدند تا تأثیر عوارض زمین بر پراکنش آلاینده‌ها به‌درستی تحلیل گردد (Smith et al., 2020).

شکل ۳- محدوده مدلسازی آلودگی هوا برای شبکه‌بندی (۲۰km*۲۲)

Fig. 3- Air pollution modeling domain for grid generation (20 km x 22 km)



شکل ۴- شبکه بندی منطقه مورد مطالعه برای شهر سیرجان

Figure 4- Zoning of the study area for Sirjan City

خروجی مدل و تحلیل نتایج

پس از اجرای مدل AERMOD، نقشه‌های پراکنش آلاینده‌ها برای محدوده مطالعه به مساحت ۲۷۰۰ کیلومترمربع تولید شدند. این نقشه‌ها غلظت‌های ساعتی، روزانه و سالانه آلاینده‌های NO_x، CO و PM_{10} را در نقاط مختلف منطقه نشان دادند. بیشترین غلظت آلاینده‌ها در مناطق نزدیک به منابع آلاینده، به‌ویژه دودکش‌های صنعتی و تأسیسات تولیدی، مشاهده شد. تحلیل این نتایج نشان داد که پراکنش آلاینده‌ها به‌شدت تحت تأثیر پارامترهای فیزیکی زمین از جمله زبری سطح و آلبیدو و همچنین جریان‌های هوا در منطقه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت NO_x و CO در محدوده نزدیک به منابع صنعتی بود، اما با افزایش فاصله از منابع آلاینده، غلظت این آلاینده‌ها به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. همچنین، ذرات PM_{10} به دلیل ویژگی‌های خاص خود، تمایل به تجمع در مناطق با سرعت باد کمتر و سطوح صاف داشتند.غلظت‌های حداکثری ثبت‌شده در مناطق مختلف با استانداردهای محیط زیستی EPA و استانداردهای ملی ایران مقایسه شدند. برای NO_x، حداکثر غلظت ثبت‌شده کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (استاندارد ۱ ساعته EPA بود. همچنین، غلظت‌های CO و PM_{10} نیز به ترتیب زیر حدود مجاز ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب قرار داشتند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده تأثیرات محیطی پروژه‌های صنعتی در منطقه سیرجان با توجه به این غلظت‌ها قابل‌قبول ارزیابی شد و تمامی مقادیر زیر حد مجاز استانداردهای محیط زیستی قرار گرفتند. همچنین پیشنهاد می‌شود در برنامه‌ریزی‌های آتی، اقدامات کاهش آلودگی و توسعه فضاهای سبز به‌عنوان راه‌حل‌های پایدار برای کنترل بیشتر آلودگی هوا در این منطقه مدنظر قرار گیرد. این نتایج، همراه با تحلیل‌های دقیق‌تر مربوط به زبری سطح و آلبیدو، می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی مشابه و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی در کنترل آلودگی کمک کند (Brown et al., 2020).

نتایج

پراکنش آلاینده NO_x

نتایج مدلسازی نشان داد که حداکثر غلظت یک ساعته آلاینده NO_x در منطقه صنعتی سیرجان در حدود ۱۱/۲ میکروگرم بر مترمکعب است که کمتر از حد استاندارد ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است. این غلظت مربوط به مناطق نزدیک به دودکش‌های صنعتی است و با فاصله گرفتن از منابع آلاینده، به دلیل کاهش تأثیر جریان باد و تغییرات زبری سطح، میزان پراکنش به تدریج کاهش می‌یابد (Brown et al., 2020). در بخش‌های دورتر از منبع آلاینده، غلظت سالانه NO_x به کمتر از ۰/۲ میکروگرم بر مترمکعب کاهش یافت، که باز هم بسیار کمتر از حد مجاز ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بود (Smith et al., 2019).

پراکنش آلاینده CO

حداکثر غلظت یک‌ساعته CO در منطقه صنعتی به میزان ۲۱/۵ میکروگرم بر مترمکعب گزارش شد که در مقایسه با حد مجاز ۴۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب بسیار پایین‌تر است. همچنین، غلظت ۸ ساعته این آلاینده نیز به ۱۷/۴ میکروگرم بر مترمکعب رسید، که کمتر از استانداردهای محیط زیستی جهانی (۱۰۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب) است. نتایج نشان داد که در بخش‌های با زبری سطح بالاتر، سرعت کاهش غلظت CO بیشتر بود، زیرا زبری سطح مانع حرکت سریع آلاینده‌ها شد و توزیع یکنواخت‌تری ایجاد کرد (Johnson & Lee, 2016).

پراکنش آلاینده PM_{10}

غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق (PM_{10}) در این منطقه حداکثر به ۱۵/۸ میکروگرم بر مترمکعب رسید که از حد مجاز ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب بسیار پایین‌تر بود. مدلسازی نشان داد که مناطق نزدیک به منابع آلاینده، به دلیل سطوح صاف و زبری کم، تحت تأثیر بیشتری از این آلاینده قرار دارند. در مقابل، مناطق با پوشش گیاهی یا سطوح با زبری بیشتر توانایی کاهش غلظت این آلاینده را داشتند (Taylor & Smith, 2020).

اثر پارامترهای فیزیکی زمین بر پراکنش

تحلیل داده‌ها نشان داد که آلبیدو و زبری سطح به طور قابل‌توجهی بر الگوی پراکنش آلاینده‌ها تأثیر گذاشتند. مناطقی با آلبیدوی بالاتر (نواحی بایر و صنعتی) باعث افزایش گرمایش سطحی شده و جریان‌های صعودی گرما ایجاد کردند که موجب افزایش پراکندگی آلاینده‌ها شد. از طرف دیگر، مناطق با زبری سطح بالاتر (مانند نواحی با پوشش گیاهی) باعث کاهش سرعت باد شده و تجمع آلاینده‌ها را افزایش دادند (Williams, 2021).

مقایسه با استانداردهای محیط زیستی

بر اساس نتایج مدلسازی و مقایسه با استانداردهای ملی و بین‌المللی، غلظت‌های اندازه‌گیری شده برای هر سه آلاینده NO_x، CO، PM_{10} در محدوده استانداردهای مجاز بودند و هیچ‌گونه تهدید فوری برای سلامت عمومی در این منطقه تشخیص داده نشد. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت پارامترهای فیزیکی زمین در کنترل آلودگی هوا در منطقه صنعتی سیرجان است (Smith et al., 2019).

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت بالای پارامترهای فیزیکی کاربری زمین در الگوی پراکنش آلاینده‌های هوا است. به‌ویژه، تأثیر آلبیدو و زبری سطح در مناطق صنعتی و شهری که منابع آلاینده عمده‌ای در آن‌ها وجود دارد، به‌خوبی مشهود است. مناطق با آلبیدوی پایین، به‌خصوص سطوح صنعتی و بایر، به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و ایجاد جریان‌های صعودی گرمایی، الگوی پراکنش آلاینده‌ها را تقویت کرده‌اند. این امر مطابق با یافته‌های Williams (۲۰۲۱) و Johnson & Lee (۲۰۱۶) است که تأثیر آلبیدو بر گرمایش محلی و افزایش پراکندگی آلاینده‌ها در مناطقی با جذب انرژی بالا را تأیید کرده‌اند (Johnson & Lee, 2016).

در این راستا، زبری سطح نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش آلاینده‌ها ایفا می‌کند. زبری سطح در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم، مانند جنگل‌ها یا فضاهای سبز، باعث کاهش سرعت باد و در نتیجه افزایش تجمع آلاینده‌ها شده است. این امر نشان‌دهنده آن است که ویژگی‌های فیزیکی زمین، علاوه بر تأثیر مستقیم بر جریان‌های هوایی، بر تراکم و میزان غلظت آلاینده‌ها نیز تأثیرگذار هستند. مطالعات قبلی نیز مشابه این نتایج را تأیید کرده‌اند؛ به‌ویژه یافته‌های .Smith et al (۲۰۱۹) که نشان می‌دهد زبری سطح بالاتر منجر به تغییرات در سرعت باد و انباشت آلاینده‌ها می‌شود.

با وجود این که منطقه صنعتی سیرجان به‌عنوان یک مرکز تولیدی با فعالیت‌های گسترده صنعتی شناخته می‌شود، نتایج مدلسازی نشان داد که غلظت آلاینده‌های NO_x، CO و PM_{10} در محدوده استانداردهای محیط زیستی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که ترکیب پارامترهای فیزیکی کاربری زمین و الگوهای جوی محلی به‌طور مؤثری پراکنش آلاینده‌ها را کنترل کرده‌اند. Brown (۲۰۲۰) نیز به تأثیر پارامترهای فیزیکی زمین و استفاده از مدل AERMOD در کنترل و پیش‌بینی الگوهای پراکنش آلاینده‌ها اشاره کرده‌اند.

یکی از یافته‌های مهم این مطالعه، نقش رطوبت سطحی در کاهش غلظت آلاینده‌ها بود. نتایج نشان داد که مناطق با رطوبت سطحی بالا، به‌ویژه نواحی با پوشش گیاهی، توانسته‌اند مقادیر بیشتری از آلاینده‌ها را جذب کنند. این پدیده به‌دلیل افزایش تعرق و تبخیر در این مناطق است که به کنترل میزان آلاینده‌های معلق در هوا کمک کرده است. نتایج مشابهی در تحقیقات Taylor & Smith (۲۰۲۰) گزارش شده است که رطوبت بالای سطح زمین، به‌ویژه در فضاهای سبز، نقش مهمی در کاهش غلظت آلاینده‌ها ایفا می‌کند.

این یافته‌ها می‌تواند تأثیر مهمی در طراحی و مدیریت محیط زیستی مناطق صنعتی داشته باشد. یکی از پیشنهادهای اصلی این مطالعه توجه به فضاهای سبز و کاربری زمین در مجاورت صنایع است. توسعه فضاهای سبز و در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی مانند زبری سطح و رطوبت سطحی می‌تواند به‌طور مستقیم به کاهش میزان آلودگی هوا کمک کند. همچنین، بهبود ویژگی‌های فیزیکی کاربری زمین، مانند افزایش آلبیدو در مناطق صنعتی و جلوگیری از تجمع گرمایی، از دیگر راهکارهای مؤثر در کاهش آلودگی هوا است.

این پژوهش بر اهمیت استفاده از مدل‌های پراکنش آلودگی هوا مانند AERMOD تأکید می‌کند. این مدل نه تنها امکان پیش‌بینی دقیق پراکندگی آلاینده‌ها را فراهم می‌کند، بلکه به کمک آن می‌توان تأثیر عوامل فیزیکی زمین و شرایط جوی را در محیط‌های صنعتی ارزیابی کرد. مدلسازی انجام‌شده در این پژوهش نشان داد که استفاده از پارامترهای جغرافیایی و جوی می‌تواند به برنامه‌ریزی مؤثرتر و ارائه راهکارهای عملی برای کنترل آلودگی هوا کمک کند.

یکی دیگر از یافته‌های قابل‌توجه این پژوهش نقش پارامترهای فیزیکی کاربری زمین مانند آلبیدو و زبری سطح در تأثیرگذاری بر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی است. به‌طور خاص، همان‌طور که نتایج مدلسازی AERMOD نشان می‌دهد، مناطقی با آلبیدوی پایین‌تر به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و ایجاد جریان‌های صعودی گرما، پراکنش بیشتری از آلاینده‌ها را نشان داده‌اند. این

نتایج هم‌راستا با پژوهش‌های انجام‌شده توسط Williams (۲۰۲۱) است که تأثیر آلبیدو بر پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی را مورد تأکید قرار داده است او نشان داد که مناطق با سطوح بازتاب کم‌تر انرژی، گرمایش موضعی بیشتری را تجربه می‌کنند که موجب تقویت پراکنش آلاینده‌ها می‌شود.

در رابطه با زبری سطح نتایج این پژوهش نیز نشان می‌دهد که مناطق با زبری سطح بالاتر مانند مناطق دارای پوشش گیاهی یا فضاهای سبز، به دلیل کاهش سرعت باد، تجمع بیشتری از آلاینده‌ها را تجربه کرده‌اند. این یافته نیز با نتایج پژوهش Johnson & Lee (۲۰۱۶) که تأثیر زبری سطح بر کاهش سرعت باد و در نتیجه تجمع آلاینده‌ها را تأیید می‌کند، همخوانی دارد. در این مناطق، جریان‌های باد آهسته‌تر می‌شوند و آلاینده‌ها فرصت بیشتری برای انباشت و تجمع پیدا می‌کنند.

نقش رطوبت سطحی نیز در این پژوهش به‌خوبی مورد توجه قرار گرفته است. مناطق با رطوبت سطحی بالاتر، مانند نواحی با پوشش گیاهی متراکم، توانسته‌اند آلاینده‌ها را به‌طور مؤثری جذب کرده و غلظت آن‌ها را کاهش دهند. این نتایج هم‌سو با یافته‌های Taylor & Smith (۲۰۲۰) است که نشان می‌دهند رطوبت سطحی بالا می‌تواند نقش مهمی در کاهش غلظت آلاینده‌های هوا ایفا کند، به‌ویژه در مناطقی که تبخیر و تعرق بیشتری رخ می‌دهد.

از دیگر نکات مهم در این پژوهش، بررسی نتایج غلظت آلاینده‌های مختلف مانند NO_x، CO و PM_{10} است که همگی در محدوده استانداردهای محیط زیستی قرار دارند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که با وجود فعالیت‌های صنعتی گسترده در منطقه سیرجان، ترکیب پارامترهای فیزیکی زمین و الگوهای جوی محلی به‌طور مؤثری پراکنش آلاینده‌ها را کنترل کرده‌اند. پژوهش‌های قبلی نیز بر اهمیت استفاده از مدل AERMOD در پیش‌بینی الگوهای پراکنش آلاینده‌ها در مناطق صنعتی تأکید کرده‌اند، مانند مطالعات .Brown et al (۲۰۲۰) که به کارگیری این مدل در مناطق صنعتی را به عنوان یک ابزار مفید در مدیریت آلودگی هوا معرفی کرده‌اند.

در نهایت این پژوهش بر اهمیت توجه به پارامترهای فیزیکی زمین در کنار پارامترهای هواشناسی در طراحی و مدیریت محیط زیستی تأکید دارد.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌تواند شامل آن تحقیقات پیگیرانه‌ای باشند که با استفاده از پردازش داده‌ها توسط نرم‌افزار AirQ خطر نسبی آلاینده‌های مختلف را بر سلامت افراد جامعه محاسبه نموده و حاصل کار را به صورت کمی نمایش دهد. همچنین مدل AirQ یکی از معتبرترین روش‌ها جهت کمی سازی اثرات آلودگی هوا بر مبنای روش ارزیابی خطر است که بیشتر از نوع آماری همه‌گیرشناسی بوده و توسط WHO در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است. این مدل کاربر را قادر می‌سازد که اثرات بالقوه ناشی از تماس با یک آلاینده مشخص بر انسان را در یک ناحیه معین و طی دوره زمانی خاص ارزیابی نماید و یک ابزار معتبر و قابل اعتماد به منظور برآورد اثرات کوتاه مدت آلاینده‌های هوا است.

نتایج حاصل از این پژوهش به‌خوبی نشان داد که تأثیر پارامترهای فیزیکی کاربری زمین بر پراکنش آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان قابل‌توجه است. به‌ویژه آلبیدو و زبری سطح به‌عنوان عوامل مؤثر در تعیین الگوی پراکنش و غلظت آلاینده‌ها شناخته شدند. مدلسازی انجام شده با استفاده از AERMOD، دقت و کارآیی قابل‌توجهی در پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها ارائه داد و نشان داد که پارامترهای فیزیکی زمین، علاوه بر شرایط هواشناسی، نقش بسیار مهمی در کنترل و جهت‌دهی پراکنش آلاینده‌ها دارند.

از طریق تحلیل داده‌ها مشخص شد که مناطقی با آلبیدوی پایین (مانند مناطق صنعتی و بایر) به دلیل جذب بیشتر انرژی خورشیدی و گرمایش موضعی، موجب افزایش جریان‌های هوایی و در نتیجه پراکنش بیشتر آلاینده‌ها شدند. در مقابل، مناطقی با زبری سطح بالا (نواحی دارای پوشش گیاهی) تجمع بیشتری از آلاینده‌ها را به دلیل کاهش سرعت جریان باد نشان دادند. این نتایج تأکید می‌کند که ویژگی‌های فیزیکی زمین می‌تواند به طور مؤثری الگوی پراکندگی آلاینده‌ها را تغییر دهد.

این پژوهش همچنین نشان داد که غالب غلظت‌های آلاینده‌ها در منطقه صنعتی سیرجان شامل (NO_x، CO و PM_{10}) پایین‌تر از حد استانداردهای ملی و بین‌المللی است. بااین‌حال، تفاوت در میزان پراکنش آلاینده‌ها در مناطق مختلف با ویژگی‌های فیزیکی زمین، نشان‌دهنده آن است که کاربری‌های زمین و ویژگی‌های سطحی مانند زبری و آلبیدو، باید در برنامه‌ریزی‌های محیط زیستی و طراحی مناطق صنعتی به‌طورجدی مدنظر قرار گیرند.

در نهایت این پژوهش تأکید می‌کند که پارامترهای فیزیکی کاربری زمین، به‌ویژه زبری سطح و آلبیدو، می‌توانند به‌عنوان ابزارهایی مؤثر در مدیریت و کاهش آلودگی هوا مورداستفاده قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود که در توسعه مناطق صنعتی، برنامه‌ریزی برای افزایش فضای سبز و استفاده از پوشش‌های با آلبیدوی بالا به‌عنوان راهکارهای عملی برای کنترل پراکنش آلاینده‌ها در نظر گرفته شود. این اقدامات می‌توانند به کاهش آلودگی هوا و بهبود کیفیت زندگی در مناطق اطراف صنایع کمک کنند.

References

Brown, A. J., Smith, R. T., & Taylor, P. (2020). Modeling pollutant dispersion in industrial zones using AERMOD: A case study of urban planning. *Journal of Environmental Management*, 245, 110-120.

Johnson, L. P., & Lee, H. (2016). The impact of surface roughness and albedo on pollutant dispersion: An integrated approach. *Atmospheric Environment*, 132, 234-242.

Johnson, L. P., & Lee, H. (2020). Advances in Renewable Energy Technologies: A Review. *Energy Science Journal*, 32(4), 150-165.

Jones, M. (2018). The Evolution of Urban Mobility in the 21st Century. *Transportation Research Journal*, 39(2), 120-135.

Miller, D. F., Taylor, K. P., & Williams, J. T. (2019). Albedo effects on air quality: The role of surface reflectivity in controlling urban heat and pollution. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4112-4120.

Peykanpour Fard, R., Moradi, H., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Bihamta Toost, N. (2023). Advancing the mapping of optimal land use structure in industrialized areas: incorporating AERMOD modeling and MCE approach. *GeoJournal*, 88, 1979–1995. [In Persian]

Smith, J. (2020). The Impact of Climate Change on Urban Ecosystems. *Environmental Research Journal*, 45(3), 210-225.

Smith, R. T. (2021). Exploring the Future of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Medical Technology*, 58(2), 85-101.

Smith, R. T., Brown, A. J., & Williams, J. T. (2019). Application of AERMOD in assessing the influence of land-use characteristics on pollutant dispersion. *Journal of Atmospheric Pollution*, 156, 210-222.

Taylor, P. A., & Smith, R. T. (2020). Land cover and air pollution: The role of surface moisture in controlling pollutant levels. *Environmental Pollution*, 263, 114-122.

Taylor, P., & Wilson, R. (2017). Exploring New Frontiers in Space Exploration. *Journal of Astrophysics*, 44(1), 22-35.

Williams, J. T. (2021). Urban albedo and its implications for air pollution control: A comprehensive review. *Urban Climate*, 39, 100946.

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۲): تابستان ۱۴۰۳: ۸۹-۷۶
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 2, 81-94

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Analyzing most obvious factors of invalidation of climate change treaties, an approach to facilitating obtaining of the right to climate sustainability

Shabab Jahanbin[1], Ali Faghih Habibi[2*], Ali Mohammadi[3], Shirin Shirazian[4], Hadi Kiadeliri[5]

[1] *Ph.D. student, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Associate Professor, Department of Law, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[3] *Assistant Professor, Environmental Management Department, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[4] *Assistant Professor, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[5] *Associate Professor, Department of Environmental and Forest Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

**Corresponding Author: a_faghih@azad.ac.ir*

Original Paper

Received: 6.4.2024
Accepted: 12.17.2024

Keywords:
Climate treaties, Climate change, Environmental rights, Right to climate sustainability.

Abstract

In recent years, Invalidation to fulfill obligations under climate change treaties has become a significant issue in international law in dealing with the climate change crisis. For this purpose, this study aims to investigate the most prominent factors behind the Invalidation to fulfill the obligations of climate treaties in the series of United Nations climate change meetings. This assessment is carried out with the approach of facilitating the restoration of the right to a sustainable climate. In organizing this research were conducted an examination of international legal documents related to climate change and the use of an expert survey. This study concluded that the issuance of non-punitive rulings by international courts despite proven non-compliance with the provisions of the agreements and pollution production, the lack of transparency in the distribution of benefits of international cooperation, and the lack of stability in the commitment of developed countries, including the US government, are among the obvious factors affecting the ineffectiveness of climate change treaties. This trend has led to the unwillingness of governments to implement climate justice and realize the right to climate sustainability for societies. Therefore, aligning the series of international meetings with the issue of climate justice will be able to commit the international community to achieving the right to a sustainable climate.

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

واکاوی بارزترین عوامل بطلان معاهدات تغییرات آب و هوایی، رهیافتی بر تسهیل اعاده حق بر پایداری اقلیمی

شباب جهانبین[۱]، علی فقیه حبیبی[۲*]، علی محمدی[۳]، شیرین شیرازیان[۴]، هادی کیادلیری[۵]

۱- دانشجوی دکتری حقوق محیط زیست، گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه حقوق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- دانشیار گروه علوم محیط زیست و جنگل، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a_faghih@azad.ac.ir

نوع مقاله:

علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:

ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

پذیرش:۱۴۰۲/۰۹/۲۷

کلمات کلیدی:

معاهدات اقلیمی، تغییرات آب و هوایی، حقوق محیط زیست، حق بر پایداری اقلیمی.

چکیده

بطلان تکالیف معاهدات تغییرات آب و هوایی، مسئله قابل توجه سال‌های اخیر در ناکارامدی نظام حقوق بین‌الملل در مقابله با بحران تغییرات اقلیمی محسوب می‌شود. به همین منظور، این مطالعه با هدف واکاوی بارزترین عوامل بطلان تکالیف معاهدات آب و هوایی در سلسله نشست‌های تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد با رویکرد تسهیل در اعاده حق بر داشتن اقلیم پایدار به انجام رسیده است. در سازماندهی این تحقیق، بررسی اسناد و متون حقوق بین‌الملل ذیربط با پدیده تغییرات آب و هوایی و نیز بهره‌گیری از نظرسنجی خبرگان صورت پذیرفته است. نتایج تحقیق نشان داد، که صدور آرای غیر تنبیهی از سوی محاکم بین‌المللی با وجود اثبات عدم پایبندی به مفاد توافقنامه‌ها و تولید آلایندگی، عدم شفاف سازی توزیع منافع همکاری‌های بین‌المللی و کم ثباتی تعهد کشورهای توسعه یافته، از جمله عوامل بارز تاثیرگذار در بطلان تکالیف معاهدات تغییرات آب و هوایی و عدم تمایل دولت‌ها و تابعان حقوق بین‌الملل نسبت به مقوله پیاده سازی عدالت اقلیمی و احقاق حق بر پایداری اقلیمی برای جوامع هستند. از اینرو، همسوسازی سلسله نشست‌های بین المللی با مقوله عدالت اقلیمی، می‌تواند جامعه بین‌الملل را در اکتساب به حق بر داشتن اقلیم پایدار، التزام نماید.

مقدمه

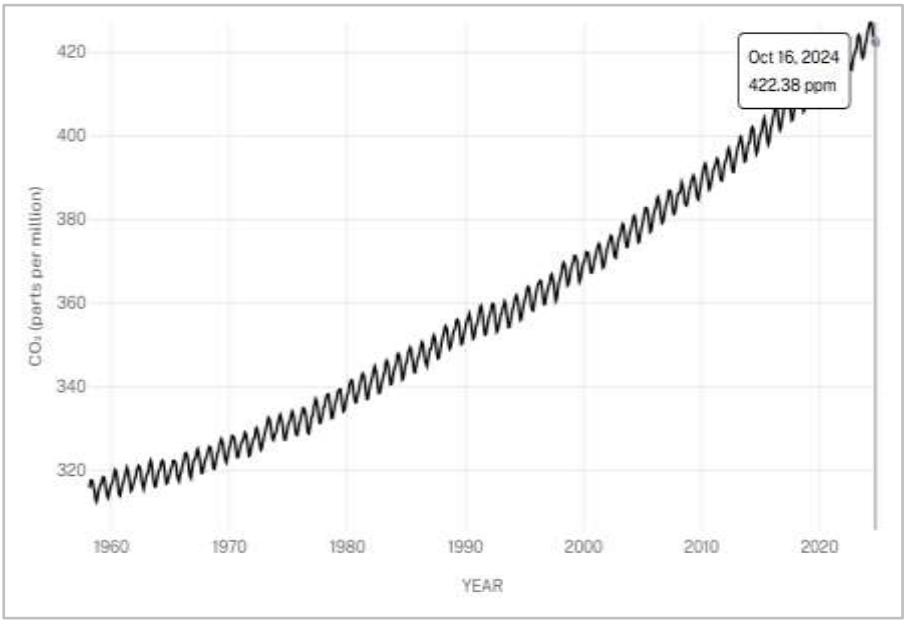
حیات بر روی این کره خاکی به طور برگشت ناپذیری در حال دگرگونی است. تغییرات اقلیمی بی‌سابقه‌ای در سطح گسترده در نقاط مختلف کره زمین در حال وقوع است. اقلیم زمین در طول هزاران تا میلیون‌ها سال قبل، تغییراتی به همراه داشته است. این تغییرات، تدریجی و طبیعی بوده است. اما شواهد علمی نشان می‌هد، که در طی چند دهه اخیر، انتشار نابخردانه و بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای بر مشددسازی تغییرات آب و هوایی تاثیر قابل توجهی گذاشته است. بدین طریق که، این انتشار منجر به افزایش دمای جو می‌شود، و افزایش بیش از دو درجه سانتیگراد دمای جو، تبعات جدی از حیث پدیده‌هایی مانند ذوب شدن یخ‌ها، بالا آمدن سطح دریا، خشکسالی، سیل و طوفان دارد. در ادامه، این رخدادها خواهند توانست منتهی به از بین رفتن حیات، اراضی، تنوع زیستی، و بروز مشکلاتی برای سلامت شود. در نگاهی دیگر، به طور قطع تغییرات اقلیمی، یک چالش اساسی در اختلال معیشت پایدار و امینت غذایی برای جامعه جهانی محسوب می‌شود (Bhatnagar et al., 2024)، و به این ترتیب حقوق بشر را به شکل مخربی تحت تاثیر خود قرار دهد، قابل توضیح است، که مقدار کل دی اکسید کربن محاسبه شده در اتمسفر و مقدار غلظت آن، قابل اطمینان‌ترین اندازه‌گیری‌ها در نشان دادن پیشرفت گرم شدن کره زمین است. تکرر این رخدادها موجبات نگرانی‌های متخصصان اقلیمی در سرتاسر جهان را به همراه داشته است (Ortner et al., 2024).

در حال حاضر، برای مقابله با بحران‌های محیط زیستی با دامنه وقوع جهانی، یکی از سازوکارهایی که مورد اهتمام جامعه بین الملل واقع شده است، اصل همکاری است، که برخی معاهدات حقوق بشر و حقوق بین الملل محیط زیستی از آن استقبال کرده‌اند. این اصل در حقوق بین المللی محیط زیستی از مقبولیت قابل توجهی برخوردار شده است. به طوری‌که در معاهدات اقلیمی نیز برای مقابله با پیامدهای ناگوار بحران تغییرات آب و هوایی مورد اهتمام واقع گردیده است. به طور کلی مفاهیم و اصول حقوق بین الملل محیط زیست و اصول حقوق بشر همواره دستیابی به یک زندگی متعالی را هدف گذاری نموده است. اصول حقوق بشر، یک ارزش پذیرفته شده جهانی است، که می‌بایست مورد توجه همه جوامع بشری واقع گردد. ارتقای حقوق بشر و احقاق حقوق داشتن یک زندگی سالم، تعهد مشترک همه بشریت محسوب می‌شود. گسترش حقوق بشر با پیشرفت زمان تکامل یافته است، در حالی که ماهیت حقوق بشر همیشه بر حق داشتن یک زندگی بهتر متمرکز است، و برون رفت از پیامد بحران‌های محیط زیستی جهانی، نیازمند توجه و همکاری همه تابعان حقوق بین الملل است (Chang & Zhao, 2024).

برای برون رفت از بحران تغییرات آب و هوایی، علیرغم اهتمام و تلاش‌های نظام حقوق بین الملل برای ضابطه‌مند نمودن رفتار کلیه بازیگران بین المللی، در جاری‌سازی تعهدات اقلیمی و همسوسازی فعالیت‌های توسعه با ضوابط معاهدات آب و هوایی، اما این کانون توجهات از خلاء و قصور بسیار قابل توجهی برخوردار است. این تعلل و اهمال از سوی تابعان بین الملل، موجبات بطلان تکالیف معاهدات آب و هوایی و افزایش اختلال در پایداری بوم سازگان‌های حیات و اجتماعات زیستی نقاط مختلف کره زمین شده است. مشاهدات ابزاری و آماری اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده امریکا یا NOAA[1] اعلان می‌نماید، که روند گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن در جو در کمتر از ۲۰۰ سال، ۵۰ درصد افزایش داشته است. شکل شماره ۱ نشان می‌دهد، که تا تاریخ شانزدهم اکتبر سال ۲۰۲۴ میزان انتشار گاز دی اکسید کربن همچنان از روند رو به رشدی برخوردار است (NOAA, 2024). همچنین، بر اساس مشاهدات ثبت شده، موسسه مطالعات فضایی گودارد ناسا یا GISS[2] شاخص تغییر دمای سطح جهانی از سال ۱۹۵۱ تاکنون روند صعودی داشته است (NASA, 2023).

[1] National Oceanic and Atmospheric Administration
[2] Goddard Institute for Space Studies

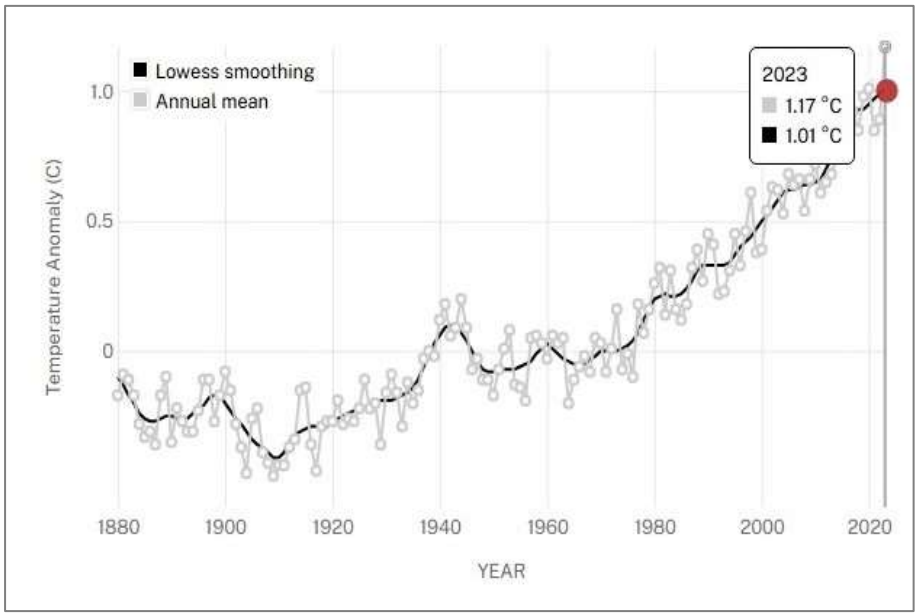
از همین منظر این سوال قابل طرح است که بارزترین عوامل بطلان تکالیف معاهدات آب و هوایی در سلسله نشست‌های اقلیمی سازمان ملل متحد چیست؟ و در همین راستا، این مطالعه با هدف واکاوی بارزترین عوامل بطلان تکالیف معاهدات آب و هوایی در سلسله نشست‌های تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد با رویکرد تسهیل در اعاده حق بر داشتن اقلیم پایدار برای دستیابی به پاسخ و نتایج تحقیق، به انجام رسیده است. در جهان امروز، تغییرات اقلیمی یکی از مهمترین تهدیدها برای پایداری محیط زیست محسوب می‌شود. در واقع حمایت و احقاق حق بر پایداری اقلیمی[1]، خواهد توانست اشخاص را در برابر انتشار بیش از اندازه گازهای گلخانه‌ای در جو، مسئول قرار داد، و از وقوع نابرابری‌های اقلیمی [2]منغص کننده، ممانعت به عمل آید. به طور کلی، در حال حاضر پرداختن به مسئله عدالت اقلیمی [3]و احقاق حق بر داشتن یک اقلیم پایدار، برای پایان دادن به نابرابری‌های بزرگ در حوزه منابع انرژی بین کشورها، پربحث‌ترین مسئله جهان امروز در راهبری معاهدات آب و هوایی برای مقابله با پیامدهای ناگوار و منغص کننده بحران تغییرات آب و هوایی محسوب می‌شود (Hopkins et al., 2024).



شکل شماره ۱- روند تصاعدی انتشار گاز دی اکسید کربن در جو منتهی شده به اکتبر سال ۲۰۲۴ (NOAA, 2024)

Fig. 1- The upward trend of atmospheric carbon dioxide emissions leading up to October 2024 (NOAA, 2024).

[1] The right to climate sustainability
[2] Climate inequality
[3] Climate justice



شکل شماره ۲- روند تصاعدی شاخص گرمایش جهانی منتهی شده به سال ۲۰۲۳ (NASA, 2023)

Fig. 2- The upward trend of the global warming index leading up to 2023 (NASA, 2023).

از جمله سوابق پژوهشی در خصوص اهمیت تغییرات آب و هوایی در سطح بین المللی، می‌توان به تحقیق صورت گرفته توسط دانشگاه ایالتی واشنگتن ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۲۳ در بررسی درک سازگاری با تغییرات اقلیمی و گزارش‌های هیئت بین الدولتی تغییرات آب و هوایی یا IPCC[1]، اشاره کرد. این تحقیق بیان می‌دارد، که سازگاری با تغییرات اقلیمی شامل مدیریت خطرات مرتبط با آب و هوا[2] است، و هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی نیز اعلام می‌دارد، که ما باید سازگاری را فوراً در اولویت قرار دهیم. در این خصوص ذکر این نکته حایز اهمیت است، که محققان و سیاست‌گذاران خواستار درک سیستماتیک کمی سازگاری‌ها در کاهش خطرات ذیربط با شرایط مختلف آب و هوایی، دارند. با ادامه سیر صعودی تغییرات اقلیمی، جوامع در خط مقدم به طور فزاینده‌ای تحت تأثیر رویدادهای آب و هوایی ترکیبی قرار گرفته‌اند. به همین منظور زندگی، منابع، رفاه و معیشت مردم نیز متاثر از آن خواهد شد. در تدوین برنامه‌های سازگاری با تغییرات آب و هوایی در سطح داخل و بین‌المللی، ضروری است، که سازگاری به طور گسترده به مدیریت خطرات مرتبط با تغییرات آب و هوایی مانند خطرات برای خانه‌ها، معیشت، سلامت، زیرساخت‌ها همسو شود. هیئت بین دولتی تغییرات آب و هوایی یا IPCC سازگاری در سیستم‌های انسانی را به عنوان فرایند تطبیق با اقلیم واقعی یا مورد انتظار با اثرات آن مطرح می‌نماید. در خصوص سازگاری‌های فرهنگی[3] می‌توان به انطباق‌های رفتاری مثل کاهش مصرف آب، کاشت زودتر محصولات به عنوان مصادیق فرهنگی اشاره کرد (Pisor et al., 2023).

در حوزه عدالت اقلیمی، در سال ۲۰۲۳ موسسه بهداشت جهانی وابسته به دانشگاه لندن انگلستان بیان می‌دارد، که عدالت اقلیمی و آموزش بهداشت[4] می‌تواند با ارائه چارچوب‌هایی برای ایجاد آگاهی و تحریک اقدام در مورد نابرابری‌های بهداشتی مرتبط با آب و هوا، تأثیرات نامتناسب تغییرات آب و هوایی بر روی جوامع بین المللی را برطرف کند. چنین ابتکارات آموزشی با تحقق برنامه‌های اقدام تغییرات آب و هوایی در امتداد خطوط نژادی، قومی و هویتی ضروری هستند. این تحقیق اعلان می‌نماید، تدوین راهنمای آموزش عدالت زیست محیطی در جهت ایجاد عدالت اقلیمی و سلامت چارچوبی می بایست به صورت

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change
[2] Management of climate-related risks
[3] Behavioral adaptations
[4] Health education

یکپارچه برای مربیان، فعالان و متخصصان بهداشتی فراهم شود، تا درس‌هایی را در مورد سلامت و عدالت آب و هوا ارائه کنند، که گسترش تجربیات افراد را در زمینه تغییرات آب و هوایی متمرکز کند. این راهنما می‌تواند به عنوان یک چارچوب درسی تو صیه شده متنا سب با مفاهیم، مثال‌ها و فعالیت‌ها برای مربیانی مطرح گردد، که در محیط‌های یادگیری ابتدایی و متو سطه تدریس می‌کنند. این یک منبع آموزشی نوآورانه در زمینه آب و هوا و عدالت سلامت جامعه است، که از اصول ضد استعماری، تفکر انتقادی و آگاهی و تعلیم و تربیت متعهدانه استفاده می‌کند (Huq et al., 2023).

دانشکده محیط زیست، دانشگاه اوکلند، نیوزلند در سال ۲۰۲۴ تحقیقی را در خصوص عدالت اقلیمی به انجام رسانده است. این مطالعه بیان می‌دارد، که در طول سه دهه گذشته، موضوع عدالت اقلیمی در فضاها و قالب‌های مختلفی مطرح شده است. فعالان آب و هوا از اصطلاح عدالت اقلیمی به عنوان فراخوانی برای انجام برنامه‌های اقدام جهانی استفاده می‌کنند. همچنین رهبران سیاسی جهان، چگونگی عدالت اقلیمی را اغلب از طریق سلسله نشست‌های مختلف تغییرات آب و هوایی اعلان نموده‌اند. دانشمندان علوم اجتماعی مفهوم عدالت اقلیمی را از منظر چگونگی مواجه شدن افراد و جوامع با تأثیرات تغییرات آب و هوایی و همچنین اقداماتی برای رسیدگی به این تغییرات بررسی می‌نمایند. علاوه بر آن، از عدالت اقلیمی به عنوان معیاری برای ارزیابی موفقیت پروژه‌های کاهش و سازگاری آب و هوایی، استفاده می‌کنند (Parsons et al., 2024).

مبانی نظری

مقابله با بحران تغییرات آب و هوایی بوا سطه فعالیت‌های نابخردانه جامعه بشری در روند تو سعه و بعد از شتاب فراوان صنعتی شدن، در کنفرانس استکهلم در سال ۱۹۷۲ و در پی آن در سال ۱۹۹۲ در اعلامیه ریو به صورت صریح و مشخص شده، مورد اهتمام جامعه بین المللی واقع شد. در اجلاس‌های بین المللی برگزار شده، در حوزه حقوق بین الملل محیط زیست، بر مفهوم توسعه پایدار و توجه به حقوق نسل‌های حاضر و نسل‌های آینده در بهره‌برداری خردمندانه از منابع طبیعی، اهتمام قابل توجهی به عمل آمد. این تجلی تحولات پیش‌رو در حقوق بین الملل، تاثیرگرفته از اقسام گوناگون تهدیدهای محیط زیستی و رویدادهای حقوقی و سیاسی می‌باشند. در این میان، نگرانی‌های عمده جامعه بشری، متشکل از پیامدهای بی‌وقفه بحران تغییرات آب و هوایی بر پیکره محیط زیست جهان و نقش تبعی و گاه دارای همپو شانی آلودگی در تهدید حیات جوامع بشری خواهد بود. زیرا که، تغییرات اقلیمی، ماحصل دگرگونی عمیق در شرایط اقلیمی زمین، مظهر تاثیر پیچیده تقابل نیروهای انسانی و طبیعی است، که اختلال در الگوهای اقلیمی را ایجاد می‌نماید (Khalil et al., 2025).

توفیق یا شکست‌پذیری موافقتنامه‌های بین المللی چند جانبه ذیربط با بحران تغییرات آب و هوایی، بر مقوله حیات میلیاردها انسان نسل حاضر و نسل‌های آینده در سراسر جهان در برخورداری از حق بر داشتن اقلیم پایدار تاثیر خواهد گذاشت. از اینرو، حقوق بین الملل محیط زیست، تجمیعی از اسناد و قوانین متشکل از معاهدات، ضوابط، مقررات و چشم اندازهایی با رویکرد حفاظت از محیط زیست و منابع طبیعی در مقابله پتانسیل‌های آسیب رسان ناشی از فعالیت‌های انسان ساخت[1]، است. برای گذار و برون رفت از چالش‌های اساسی ناشی از بحران تغییرات آب و هوایی، جامعه نیازمند همسوسازی ساختارهای حاکمیتی با سیاست‌های آب و هوایی می‌باشد. در نظام حقوقی جامعه بین الملل، اهمیت حقوق بین الملل محیط زیست در تکوین و برقرار ساختن انعطاف پذیری عملیاتی برای احقاق برنامه‌های عملیاتی توسعه پایدار در مقابله با تغییرات آب و هوایی کاملاً مشهود است (Othman et al., 2025).

از طرفی، در دهه هفتاد میلادی، حقوق بین الملل محیط زیست به عنوان یک مکانیسم پیشرو در حوزه حفاظت محیط زیست، تشکیل یافته از یکسری قوانین محدود به مسئولیت دولت‌ها برای آسیب فرامرزی، تخصیص منابع و پرداختن به مطالبات رقابتی در مناطق فراتر از صلاحیت ملی از جمله اقیانوس‌ها و دریاهای آزاد بود. در حال حاضر، تمرکززایی حقوق بین الملل محیط زیست، مبتنی بر اصل پیشگیری[2] و اصل احتیاطی[3] در مدیریت مخاطرات محیط زیستی و مقوله حفاظت از محیط‌زیست در

[1] Man-made
[2] Prevention Principle
[3] Precautionary Principle

سطح گسترده جهانی است. این مقوله‌ها، کمک‌های مهمی در حمایت از تصمیم‌گیری‌های مطلوب برای جامعه بین الملل به ارمغان داشته است (Mu et al., 2024).

در سال‌های دهه هشتاد میلادی، مصادیق مطالعات و متون علمی نشان داد، که انتشار گازهای آلاینده گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسان ساخت، مخاطراتی برای شرایط پایدار آب و هوای جهان ایجاد می‌کند، و به این ترتیب، افکار و عرف جامعه التزام به ایجاد کنفرانس‌های بین المللی منظم و تکوین پیمان‌نامه‌ای برای حل این مسئله را تصدیق نمود. در همین راستا، کلیه تابعان حقوق بین الملل بلاخص دولت‌ها برای انعکاس افکار عمومی، سلسله نشسته‌ای بین المللی برگزار نمودند، و برای تجزیه و تحلیل این مسئله خواستار تنظیم قراردادی بین المللی شدند، و در پی آن، مجمع عمومی سازمان ملل متحد در ابتدای دهه نود میلادی، کمیته مذاکرات بین الدول را برای تدوین معاهده تغییرات آب و هوایی تشکیل داد. در سال ۱۹۹۲ در مقر سازمان ملل متحد در نیویورک، پیش نویس معاهده توسط کمیته مذاکرات تهیه و تصویب شد، و در اجلاس زمین در ماه ژوئن ۱۹۹۲ در شهر ریودوژانیرو برزیل، جهت امضا مهیا گردید، معاهده چارچوبی سازمان ملل متحد درباره تغییرات آب و هوایی در سازمان ملل یا UNFCCC[1]، در طول نشست‌های ریو توسط سران تابعان حقوق بین الملل و مقامات ارشد ۱۵۴ کشور دنیا امضا شد، و در نهایت در مارس ۱۹۹۴ لازم الاجرا اعلان گردید. خط مشی حایز اهمیت معاهده اقلیمی و نشست‌های بین المللی آب و هوایی، محدود کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای و پایدارسازی مقدار این کاهش برای کاهش پیامدهای منغص کننده، تغییرات آب و هوایی است (Hughes et al., 2021). این معاهده، نگرشی پایدار در تابعان حقوق بین الملل محیط زیست، از طریق هم‌افزایی نسبت به ملاحظات تغییرات آب و هوایی در سیاست‌ها، اعمال اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی تکوین شده است.

یکی از ارکان معاهده تغییرات آب و هوایی، کنفرانس اعضاء یا COP[2] است، که سالی یکبار برگزار می‌گردد. رویدادهای موسوم به کنفرانس‌های اعضاء برای دستیابی به تصمیم‌گیری نهایی رهبران جهان صورت می‌پذیرد. فهرست خلاصه‌ای از نشست‌های آب و هوایی اخیر کنفرانس اعضا هیئت بین الدولتی سازمان ملل متحد در مقابله با بحران تغییرات آب و هوایی و تجزیه و تحلیل پیامدهای برخواسته از آن، در جدول شماره ۱ قابل ملاحظه است.

جدول شماره ۱- مهمترین سلسله نشست‌های بین المللی تغییرات آب و هوایی

Table 1- Key International Climate Change Conference Series

ردیف	جلسه	محل برگزاری	سال برگزاری	موضوع
۱	COP 29	باکو- آذربایجان	۲۰۲۴	تاکید بر افزایش بودجه اقلیمی برای کشورهای در حال توسعه
۲	COP 28	دبی-امارات	۲۰۲۳	اهتمام به رویکرد عدالت اقلیمی از منظر پیشبرد اهداف UNFCCC و توافقنامه پاریس
۳	COP 27	شرم الشیخ-مصر	۲۰۲۲	حذف تدریجی سوخت‌های فسیلی و گرایش به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر
۴	COP 26	گلاسکو-اسکاتلند	۲۰۲۱	هدف مهم کنفرانس نگهداشتن افزایش دمای ۱/۵ درجه سانتیگراد

به‌طور کلی، در طول چند دهه گذشته، موافقتنامه‌های بین المللی ذیربط با حفاظت از محیط زیست در سطوح مختلف منطقه‌ای و جهانی، گسترش قابل توجه داشته است. اما، همچنان این روابط و نشست‌های بین المللی از نواقص و خلاءهایی برخوردار

[1] United Nations Framework Convention on Climate Change
[2] Conference of the Parties

هستند. از خلاءهای موجود در نظام حقوق بین الملل محیط زیست این است، که معاهدات کلیدی و بنیادین حقوق بشری، یک حق مستقل برای داشتن محیط زیست سالم و پاک را مورد اهتمام و تدقیق شده، واقع نکرده است. با این حال، وضعیت نابسامان فاکتورهای حیاتی اکوسیستم‌های زمین، التزام به برخورداری از بسیاری حقوق از جمله حق بر زندگی، حق بر سلامتی، حق بر داشتن آب و غذای سالم برای جامعه بین الملل را حایز اهمیت متجلی می‌نماید. در حوزه حقوق بشر نیز در طول یک دهه گذشته، اکثر نهادهای حقوق بشر در سطح دنیا به طور فزاینده بر تغییرات آب و هوایی متمرکزشده‌اند، و مکرراً در مورد پیامدهای تغییرات آب و هوایی و لزوم حمایت از حقوق بشر و تاکید بر سیاست‌گذاری بین المللی مشترک تلاش کرده‌اند. اما، این در حالی است، که در بین اسناد و معاهدات حقوق بشری سازمان ملل متحد، میثاق بین المللی حقوق فرهنگی اجتماعی و اقتصادی جز معدود اسناد حقوق بشری است، که به اجرای اقداماتی اصلاحی و بهبود برای بهبود جنبه‌های سلامت حوزه صنایع و محیط زیست و درک حق بر سلامت اهتمام داشته است (Mayrhofer, 2024).

همان‌طور که تصریح شد، هم‌اکنون بحران تغییرات آب و هوایی از تحقق طیف وسیعی از مقوله‌های ذیربط و مورد حمایت با حقوق بشر ممانعت نموده است. از مصادیق آن اختلال در احقاق حق بر آب، حق بر غذای سالم، حق داشتن معیارهای سلامتی و حق مالکیت، حق معیشت پایدار است. در حال حاضر، در نقشه راه تحقق حقوق بشر متذکر شده، منابع الزام‌آور حقوق بشر متشکل از حقوق مدنی و سیاسی، میثاق بین المللی حقوق اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، نشات گرفته از سند اعلامیه جهانی حقوق بشر در سال ۱۹۴۸ هستند. علاوه بر آن، موافقتنامه‌های الزام‌آور منطقه‌ای حامی حقوق بشر در اروپا، آمریکا و آفریقا وجود دارند. این اسناد بین المللی عمدتاً آسیب‌های قدیمی حقوق بشر را پوشش داده‌اند، و به‌طور صریح به پتانسیل‌های آسیب‌رسان به محیط زیست ناشی از بحران‌های محیط زیستی و بالاخص بحران تغییرات آب و هوایی نپرداخته‌اند. بشریت برای رویارویی با بحران تغییرات آب و هوایی نیازمند اهتمام به دو حوزه گسترده از راهکارها به شرح، التزام به مقوله کاهش، که شامل اقداماتی برای ایجاد ثبات و یا کاهش گازهای گلخانه‌ای است، و جاری‌سازی سازوکارهای سازگاری، که متشکل از مجموعه اقداماتی برای کاهش پیامدهای تغییرات آب و هوایی است. در این خصوص تمرکز بر مقوله عدالت اقلیمی، سازوکاری قابل توجه در احقاق حق بر داشتن اقلیم پایدار خواهد بود.

مواد و روش‌ها

برای دستیابی به نتایج تحقیق در مقوله شناسایی و تجزیه و تحلیل بارزترین عوامل بطلان تکالیف معاهدات آب و هوایی در سلسله نشست‌های کنفرانس اعضا هیئت بین الدولتی آب و هوایی سازمان ملل متحد با رویکرد تسهیل در اعاده حق بر داشتن اقلیم پایدار، دو گام تحقیقاتی و عملیاتی در نظر گرفته شد.

تشریح اجمالی فازهای تحقیق

۱- در گام نخست به بررسی اسناد و متون حقوق بین المللی ذیربط با پدیده تغییرات آب و هوایی پرداخته شده است.

۲- و در گام دوم، از نظرسنجی خبرگان و ساز و کار امتیازدهی مطابق جدول شماره ۲ استفاده شده است. امتیازدهی نسبت به عوامل شناسایی، ماهیت هر عامل را جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های بهبودیافته، تسهیل می‌نماید. قابل‌ذکر است، که در فرایندهای تحقیق در حوزه علوم انسانی، جستجو و تحلیل نظام‌مند منابع و اسناد، در جهت افزایش آگاهی تیم تحقیق نسبت به موضوع و مسئله مطالعاتی کمک موثری خواهد نمود. همچنین، در نظرسنجی خبرگان برای دریافت پاسخ‌های ذیربط با سوال مطرح شده این تحقیق، از طیف لیکرت[1] در پرسشنامه بهره‌برداری به عمل آمده است.

جدول شماره ۲- طیف لیکرت در پرسشنامه تحقیق

Table 2- Likert Scale in Research Questionnaire

[1] Likert scale

ردیف	مقدار کیفی	مقدار کمی
۱	کاملاً موافق هستم	۵
۲	موافق هستم	۴
۳	ممتنع	۳
۴	مخالف هستم	۲
۵	کاملاً مخالف هستم	۱

روش پژوهش

ارزشمندی بهره‌برداری از فعالیت‌ها و فرایندهای مبتنی بر تفحص و جستجو کتابخانه‌ای در واکاوی متون و سوابق تحقیقاتی، موجبات افزایش تمرکز و حساسیت‌زایی در اکتساب به اطلاعات و دانسته‌ها با ویژگی بالاتر، برای تسلط تعمیق یافته تیم مطالعاتی بر مؤلفه تحقیق را امکان‌پذیر می‌نماید (Dorl and et al., 2023). همچنین، مقیاس لیکرت، به‌طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری متغیرهای پنهان در علوم اجتماعی استفاده شده است. مقیاس‌های لیکرت به پردازش داده‌هایی می‌پردازد، که منجر به تحریف اطلاعات در طول برنامه‌های مدیریتی می‌شود (Memmedova & Ertuna, 2024). طیف لیکرت ابزاری جهت تأویل و تعیین نگرش و رویکرد افراد است، و برای تهیه پرسشنامه‌های سنجش و تأویل نگرش در علوم انسانی کاربرد دارد. مرسوم‌ترین شکل طیف لیکرت، به صورت پنج درجه است. همچنین از این مقیاس می‌توان برای بیان توافق یا سنجش اهمیت یا وضعیت استفاده کرد. مقیاس لیکرت برای اولین بار توسط لیکرت در سال ۱۹۳۲ معرفی شد، به طور گسترده و متداول در دانشگاه مورد بهره‌برداری قرار گرفت، زیرا که مقیاسی، کاربرپسند، آسان برای توسعه و مدیریت آسان محسوب می‌شود (Biasetton et al., 2023).

نتایج

مطابق بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه، استنتاج شد، که در حال حاضر معاهدات آب و هوایی از کفایت لازم برای مقابله با بحران تغییرات آب و هوایی در سطح جامعه بین الملل برخوردار نیستند، و همواره انجام تعهدات سلسله نشست‌های آب و هوایی با بی‌میلی و بی‌اعتنایی اکثر تابعان حقوق بین الملل مواجه بوده است، و از روح همکاری تعمیق یافته و تاثیرگذار بهره‌مند نبوده است.

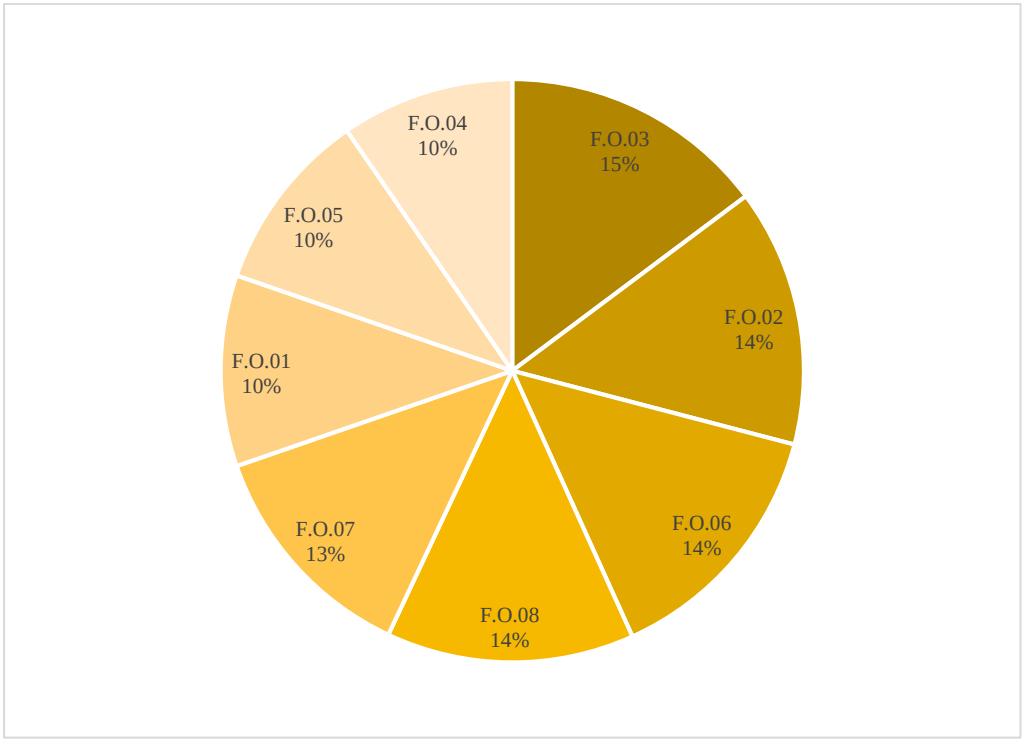
از منظر این مطالعه، بارزترین عوامل بطلان و عدم توفیق تکالیف برخواسته از سلسله نشست‌های بحران تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد، به شرح جدول شماره ۳ مشخص گردید. همچنین مطابق نظرسنجی به عمل آمده در این مطالعه ماهیت و میزان تاثیرگذاری هر کدام از عوامل شناسایی شده در بطلان تکالیف بین المللی آب و هوایی مطابق شکل شماره ۳ تعیین شد.

در همین خصوص قابل اذعان است، که موارد صدور آرای غیر تنبیهی از سوی محاکم بین المللی با وجود اثبات عدم پایبندی به مفاد توافقنامه‌ها و عدم شفاف‌سازی توزیع منافع همکاری‌های بین المللی و کم ثباتی تعهد کشورهای توسعه یافته از جمله دولت آمریکا بیشترین تاثیرگذاری را در عدم توفیق تکالیف سلسله نشست های آب و هوایی و عدم احقاق حق بر داشتن اقلیم پایدار برای جامعه بین الملل ایجاد نموده است.

جدول شماره ۳- بارزترین عوامل بطلان تکالیف سلسله نشست‌های تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد

Table 3- The Most obvious Factors of Invalidation of the United Nations Climate Change Conference Series

ردیف	عوامل	کد ردیابی
۱	عدم تمرکززایی بر مولفه رشد اقتصادی کشورها	F.O.01
۲	عدم شفاف‌سازی توزیع منافع همکاری‌های بین المللی	F.O.02
۳	صدور آرای غیر تنبیهی از سوی محاکم بین المللی با وجود اثبات عدم پایبندی به مفاد توافقنامه‌ها	F.O.03
۴	اثربخشی پایین مکانسیم‌های ارزیابی برنامه‌های توافقنامه‌های منطقه‌ای و بین المللی	F.O.04
۵	عدم همسوسازی مفهوم عدالت با رژیم حقوقی بین المللی در تغییرات آب و هوایی	F.O.05
۶	کم ثباتی تعهد کشورهای توسعه یافته از جمله دولت آمریکا	F.O.06
۷	نبود مکانسیم نظام‌مند در قطعیت رابطه سببیت فی‌مابین انتشار گازهای گلخانه‌ای دولت‌ها و تغییرات آب و هوایی منطقه‌ای	F.O.07
۸	عدم پیاده‌سازی اثرگذار مسئولیت مشترک ولی متفاوت بازیگران بین الملل در حوزه آب و هوایی	F.O.08



شکل شماره ۳- میزان تاثیرگذاری عوامل شناسایی شده در بطلان تکالیف نشست‌های تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد

Fig. 3- The Extent of Influence of Identified Factors on the Invalidity of Obligations from United Nations Climate Change Conferences

۱- صدور آرای غیر تنبیهی از سوی محاکم بین المللی با وجود اثبات عدم پایبندی به مفاد توافقنامه‌ها و تولید آلایندگی

عدم اهتمام به تکوین شیوه‌نامه‌های انضباطی مستدل و مستمر از سوی معاهده آب و هوایی و سلسله نشست‌های بین المللی سازمان ملل متحد، همواره به عنوان عاملی در کم ثباتی مقوله عملیاتی شدن برنامه‌های اقدام آب و هوایی محسوب می‌شود. در این خصوص قابل تذکر است، که می‌بایست کلیه تابعان حقوق بین الملل نسبت به فعالیت‌هایی که در داخل قلمرو خود انجام می‌دهند، متعهد باشند، تا از وقوع پتانسیل‌های آسیب به محیط زیست ناشی از پیامدهای تغییرات آب و هوایی جلوگیری شود. ضوابط حقوق بین الملل تصریح می‌نماید، که کلیه تابعان حقوق بین الملل به منظور حفظ سلامت بشریت و موجودات زنده و منابع غیرزنده می‌بایست اقدامات مناسبی را برنامه‌ریزی و اتخاذ نمایند. رهبران جهان در بیست و هشتمین کنفرانس اعضا سازمان ملل متحد یا COP28[1] در سال ۲۰۲۳ برای مقابله با بحران تغییرات آب و هوایی، تنها بر نیاز به تغییر سریع از منابع انرژی تجدیدناپذیر به منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه بکارگیری منابع انرژی سبز[2] تأکید کرده‌اند. بهره‌برداری از منابع انرژی سبز خواهد توانست یک محیط پایدار بلندمدت[3] را برای جامعه بین الملل به همراه داشته باشد، زیرا باعث ثبات و حفظ منابع طبیعی می‌شود (Asif et al., 2024). این در حالی است که نبود سازوکار ارزیابی و شیوه‌نامه‌های انضباطی و گاهاً صدور آرای غیر تنبیهی با تاثیرگذاری بسیار پایین از سوی محاکم حقوقی بین الملل برای ناقضان تعهدات بین المللی، مسیر تحقق چنین برنامه‌هایی را در حوزه مقابله با تغییرات آب و هوایی و جاری‌سازی عدالت اقلیمی، طولانی و بعضاً غیرممکن خواهد نمود.

۲- عدم شفاف‌سازی توزیع منافع همکاری‌های بین المللی

اصل همکاری تابعان حقوق بین الملل را برای دستیابی به عدالت اقلیمی و حق بر پایداری اقلیمی، تحریص و ترغیب می‌نماید، تا با حسن نیت با یکدیگر همکاری نمایند، تا در چارچوب اهتمام به همکاری، از مخاطرات محیط زیستی ناشی از بحران تغییرات آب و هوایی پیشگیری عادله صورت پذیرد. روح همکاری می‌بایست از درک عمیق و تدقیق یافته حفاظت از محیط‌زیست به عنوان مشترکات بشری برخوردار گردد. در این خصوص می‌بایست منافع و ضرر همه تابعان به صورت عادله لحاظ گردد، و همین راستا، توجه به ساز و کار عدالت اقلیمی، مقوله‌ای برای تعهد به ترسیم و اجرای کارراهه‌های عادله برای جلوگیری از بی‌ثباتی بوم‌سازگان‌های حیات برای جوامع بشری است.

در حقوق بین الملل محیط زیست، آغازگر پرداختن به مقوله همکاری بین المللی در مفهوم شناسی حقوقی، اصل ۲۴ اعلامیه استکهلم در سال ۱۹۷۲ است. در مقوله تغییرات آب و هوایی، کشورهای بسیاری نسبت به پیامدهای مخرب این بحران، آسیب‌پذیر هستند. ماده چهار معاهده تغییرات آب و هوایی نیز به اهتمام همکاری بین الملل فی‌مابین کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته به صورت کلی اشاره می‌نماید. درنهایت قابل اذعان است، که توفیق مقوله همکاری بین الملل نیازمند لحاظ کلیه مقوله‌های منافع اقتصادی و محیط زیستی کشورها و کلیه تابعان حقوق بین الملل در قالب تعریف و برنامه‌ریزی کارراهه‌های عادله برای برون رفت از پیامدهای مختل کننده پایداری اقلیمی در نقاط مختلف کره زمین هستند، زیرا که تهدیدهای محیط زیستی با پیامدهای مخرب، مرزبندی و دامنه محدودی ندارد، و در بسیاری از موارد، مقابله با آن‌ها نیازمند اهتمام به ترسیم راه‌حل‌های فرامرزی است. همکاری بین المللی شفاف با توزیع عادله منافع حاصله، نیاز اساسی جامعه جهانی در توفیق سلسله نشست‌های اقلیمی سازمان ملل متحد برای برون رفت از بحران تغییرات آب و هوایی است.

۳- کم ثباتی تعهد کشورهای توسعه یافته از جمله دولت آمریکا

تشدید بی ثباتی بوم‌سازگان‌های حیاتی کره زمین به‌واسطه عدم اهتمام کشورهای توسعه یافته از جمله دولت آمریکا در ترسیم کارراهه‌های عادله برای مقابله با تغییرات اقلیمی هستند. در همین راستا، ذکر این نکته قابل اذعان است، که انتشار بی‌رویه گازهای گلخانه‌ای به عنوان مسببین تشدید بی ثباتی اقلیمی ناشی از عملکرد توسعه صنعتی نابخردانه کشورهای توسعه یافته، طی دهه‌های گذشته بوده است. از طرفی، تشدید این بی ثباتی در اکوسیستم‌های زیستی، موجبات ناپایداری اقلیمی و آشفتگی

[1] 28th Conference of Parties
[2] Green energy sources
[3] Long-term sustainable environment

اقتصادی کلیه کشورها و بالاخص کشورهای در حال توسعه شده است. سیاست‌گذاران در سراسر جهان نیز بر این عقیده توافق واحد دارند، که بطلان تکالیف سلسله نشست‌های بین المللی تغییرات آب و هوایی، بر تشدید ناپایداری اقلیمی و شکست‌پذیری اقتصاد کشورهای در حال توسعه و فقیر، تأثیر مخربی به همراه داشته است (Le et al., 2023).

به‌طور کلی، در عرصه حقوق بین الملل به واسطه ماهیت روابط بین الملل از یک سو و اصل اختیاری بودن پذیرش معاهدات بین المللی از سوی دیگر باعث گردیده، تا اهتمام و رعایت التزامات مقابله با بحران تغییرات آب و هوایی، بیشتر به اراده دولت‌ها متکی باشد، و از طرفی، در صورت ترک فعل اقدامات پیش بینی شده از سوی دولت‌ها، تقریباً هیچ‌گونه عواقبی متوجه آن کشور نگردد. این موضوع، موقعیت قواعد حقوق بین الملل را پیش آنکه حقوقی تدقیق نماید، تنها به صورت یک قاعده اخلاقی باقی گذارده است. لذا، این مقوله موجبات کم ثباتی تعهد تابعان حقوق بین الملل را نسبت به انجام تکالیف سلسله نشست‌های بین المللی تغییرات آب و هوایی مسجل و مشهود نموده است.

۴- عدم پیاده‌سازی تأثیرگذار مسئولیت مشترک ولی متفاوت بازیگران بین الملل در حوزه تغییرات آب و هوایی

دیدگاه کلی و مفهومی که بر مبنای آن همه دولت‌ها به‌ویژه در زمینه جلوگیری و رفع آلودگی محیط زیست مسئولیت مشترک دارند، ولی مسئولیت آن‌ها با توجه به تعهداتی که بر عهده دارند، و شرایط و امکاناتی که از آن برخوردار هستند، متفاوت است. معاهده سال ۱۹۹۲ تغییرات آب و هوایی، مسئولیت متفاوت در مقابله با تغییرات آب و هوایی را بین سه گروه از کشورها به شرح دسته اول کشورهای توسعه یافته و صنعتی، دسته دوم کشوهای در حال گذار به اقتصاد بازار آزاد و دسته سوم کشورهای در حال توسعه مشخص کرده است.

در همین خصوص، دولت‌ها و کلیه تابعان حقوق بین الملل می‌بایست در جهت مسئولیت مشترک برای مقابله با پیامدهای منفص کننده بحران تغییرات آب و هوایی توافق نمایند، از طرفی در این توافق، سهم دولت‌های توسعه یافته می‌بایست از کشورهای در حال توسعه به مراتب بیشتر باشد. مطابق اجماع نظر دکترین حقوقی، التزام به بهره‌برداری از این اصل، بدون شک از ساز و کارهای برخواسته از قاعده انصاف تدقیق و مستحدث می‌شود. در حال حاضر، میان تابعان حقوق بین الملل در اهتمام به این اصل، روح همکاری مساعدت یافته‌ای ایجاد نشده است، و هیچ‌گونه توافق عملی در این مقوله وجود ندارد. مسئولیت‌پذیری در سطح چشم‌انداز با اهداف مسئولیت مشترک اما متمایز، خواهد توانست ارزش‌های پایداری جهانی ذیربط با حوزه‌های اقتصاد، اجتماع و حفاظت از محیط زیست را برای جامعه بین الملل به ارمغان داشته باشد (Leimona et al., 2024). قابل تصریح است، که از منظر عدالت اقلیمی ضروری و ایجاب می‌نماید، که مسئولیت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را کسانی بپذیرند، که سالیان طولانی، از توسعه اقتصادی سود برده‌اند. عدالت اقلیمی، عدالتی است که توسعه و حقوق بشر را با رویکردی انسان محور جهت رسیدگی به تغییرات آب و هوایی و حفاظت از حقوق آسیب‌پذیرترین اشخاص، نهادینه‌سازی می‌نماید.

بحث و نتیجه‌گیری

در حال حاضر، چشم‌انداز عدالت اقلیمی در جهان امروز و سطح بین الملل، فقط در حد یک ارتباط شبکه‌ای ساده مابین مذاکره‌کنندگان محیط زیستی و اقلیمی سازمان ملل باقی‌مانده است. این مقوله، نیازمند تجدید نظرخواهی جدی و بنیادین در کلیه سطوح است. در همین خصوص، با تأکید مقوله تشدید نابرابری، به‌واسطه پیامدهای برخواسته از تغییرات آب و هوایی، التزام به نقش عدالت در اکتساب حق بر اقلیم پایدار و برون رفت از بحران تغییرات آب و هوایی، حایز اهمیت است.

۱- همسوسازی مفهوم عدالت با رژیم حقوقی بین المللی در تغییرات آب و هوایی: کوشش‌ها برای بهره‌برداری از حقوق بین الملل محیط زیست، حقوق منطقه‌ای برای اکتساب عدالت اقلیمی از کارراهه‌های متنوعی برخوردار است. از مصادیق پیاده‌سازی برنامه‌های اقدام آب و هوایی، می‌توان به مقوله‌های کاهش، سازگاری و نیز تجارت انتشار برای دستیابی به پایداری اقلیمی اشاره

نمود. عدالت اقلیمی می‌بایست با نگرش اعمال عدالت توزیعی[1] برنامه‌های اقدام با حفظ تمامیت منافع کلیه تابعان حقوق بین الملل، نسبت به پیاده‌سازی استانداردهای حقوق بشری جاری‌سازی شود. اهتمام و التزام این رویکرد در سلسله نشست‌های بین المللی تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد، برای بقا نسل حاضر و تأمین حقوق نسل‌های آینده می‌بایست مورد حمایت واقع گردد.

۲- حق بر پایداری اقلیمی و عدالت اقلیمی، التزامی بر تکالیف معاهدات آب و هوایی: همان‌طور که تصریح شد، کلیه تابعان حقوق بین الملل، به‌واسطه بحران تغییرات آب و هوایی، در معرض تهدید جدی قرارگرفته‌اند، و روزانه پیامدهای منغص کننده و ناگوار برخواسته از این بحران در وضعیت نامطلوب‌تری، در حال رخ دادن است. از این منظر مقتضی است، مقوله عدالت اقلیمی برای تأمین حق بر داشتن اقلیم پایدار، یکی از اولویت‌های بنیادین حقوق بشر و جامعه بین الملل باشد.

تمرکززایی بر مقوله عدالت اقلیمی و احقاق حق بر داشتن اقلیم پایدار مزایای بسیاری برای جامعه بین الملل به همراه خواهد داشت. از جمله:

۱- یک ساز و کار متمرکز و یکپارچه برای حل و فصل اختلافات را برای کلیه تابعان حقوق بین الملل مهیا می‌نماید.

۲- بستری مشترک و تجمیع یافته برای متخصصان علمی و حقوقی را ایجاد می‌نماید.

۳- تلاشی است، برای تبیین تعهدات قانونی و یکنواخت کردن تکالیف حقوقی تغییرات آب و هوایی.

۴- تکوین ساز و کارهای پیشگیرانه تشویقی در حوزه تغییرات آب و هوایی، برای مهار پتانسیل‌های آسیب به محیط‌زیست.

۵- و در نهایت، افزایش مقوله اعتماد میان تابعان حقوق بین الملل در انجام کارراهه های عادله را جاری‌سازی خواهد نمود.

References

Asif, M., Amin, N., Shabbir, M.S., & Song, H. (2024). Balancing growth and sustainability: COP 28 policy implications of green energy, industrialization, foreign direct investment, and globalization in South Asia. *Journal of Environmental Management*, 369(6).

Bhatnagar, S., Chaudhary, R., Sharma, S., Janjhua, Y., Thakur, P., Sharma, S., & Keprate , A. (2024). Exploring the dynamics of climate-smart agricultural practices for sustainable resilience in a changing climate. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24.

Biasetton, N., Disegna, M., Barzizza, E., & Salmaso, L. (2023). A new adaptive membership function with CUB uncertainty with application to cluster analysis of Likert-type data. *Expert Systems with Applications*, 213(4).

Chang, Y.C., & Zhao, X. (2024). Addressing Japan’s disposal of nuclear-contaminated water from the perspective of international human rights law. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 22(1). 1-9.

Dorl, S., Winkler, S., Mechtler, K., & Dorfer, V. (2023). MS Ana: Improving Sensitivity in Peptide Identification with Spectral Library Search. *Journal of Proteome Research*, 22(2). 462-470.

Hopkins, J.M., Saheb, Y., & Hickel, J. (2024). Large inequalities in climate mitigation scenarios are not supported by theories of distributive justice. *Energy research & social science*, 118.

Hughes, K.A., Convey, P., & Turner, J. (2021). Developing resilience to climate change impacts in Antarctica: An evaluation of Antarctic Treaty System protected area policy. *Environmental Science & Policy*, 124. 12-22.

Huq, M., English, S,. Nagginda, H.P., Bonifacio, J,. Deivanayagam, T.A., Issa, R., Chobhthaigh, S.N., Morais Sato, P.D., Mulindwa, H., & Devakumar, D. (2023). Developing a guide to climate & health justice education: Process and content. *The Journal of Climate Change and Health*, 9(1).

[1] Distributive justice

Khalil, M.I.M., Shaala, R.S., Mousa, E.F.S., Zoromba, M.A, &. Atta, M.H.R. (2025). Examining the associations between emotionally charged reactions toward climate change and self-care, quality of life among older adults, coping mechanisms, and pro-environmental practices. *Geriatric Nursing*, 61. 353-363.

Mayrhofer, M. (2024).International human rights and climate change (policies): Challenging the concept of vulnerability. *Environmental Science & Policy*, 160.

Memmedova, K., & Ertuna, B. (2024). Development of a fuzzy Likert scales to measure variables in social sciences. *Information Sciences*, 654(12).

Mu, Y., Liu, D., & Liu, K. (2024). A sequential three-way risk sorting model with the cautionary principle under probabilistic linguistic environment. *Computers & Industrial Engineering*, 191(1).

NASA's Goddard Institute for Space Studies. (2023) GLOBAL LAND-OCEAN TEMPERATURE INDEX, NASA. at:https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=111

NOAA.(2024).Trends in atmospheric Carbon Dioxide(CO2), At:https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/?intent=111

Othman, M.E.F., Sidek, L.M., Basri, H., El-Shafie, A., & Ahmed, A.N. (2025).Climate challenges for sustainable hydropower development and operational resilience: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 209.

Ortner, G., Michel, A., Spieler, M. B., Christen, M., Bühler, Y., Bründl, M., & Bresch, D. N. (2025). A novel approach for bridging the gap between climate change scenarios and avalanche hazard indication mapping. *Cold Regions Science and Technology*, *230*, 104355..

Le, A.H., Tran, T.Ph., & Mishra, A.V. (2023). Climate risk and bank stability: International evidence. *Journal of Multinational Financial Management*, 70.

Leimona, B., Mithofer, D., Wibawa, G., & Noordwijk, M.N. (2024). Sustainability certification: multiple values of nature coexist in value chain transformations toward a common but differentiated responsibility. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 66(2).

Parsons, M., Asena , Q., Johnson, D., & Nalau, J. (2024). A bibliometric and topic analysis of climate justice: Mapping trends, voices, and the way forward. *Climate Risk Management*, 44.

Pisor, A.C., Touma, D., Singh, D., & Jones, J.H. (2023). To understand climate change adaptation, we must characterize climate variability: Here's how. *One earth*, 6(12), 1665-1676.

Journal of Environmental Management and Law

Waste and wastewater research center

Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan)Branch

Journal of Environmental Management and Law

Vol. 2, Issue 2, 2024

Title **Page**

1-An Examination of Aesthetic Components in Urban Green Spaces and Their Educational Role in Environmental Conservation: A Case Study of Shahinshahr City (Hadis Masumi, Mohammad Ali Nadi).....1

2- A Novel GIS-MCDA and Artificial Intelligence Approach for Optimal Site Selection of CSP Plants with Emphasis on Comprehensive Economic Analyses (Case Study: Bushehr Province) (Meisam Jafari, Delaram Sikarudi, Sahar Ghiyas).....21

3- Extraction of total precipitable water and the effect of fine dust on its retrieval in the atmosphere of Mehrabad (Seyed Mahdi Pazhuhan) 42

4- Legal criminal policies of the environment, a case study of the destruction of protected areas (Farshad Bashirzadegan, Parvin Farshch, Bita Azad Bakht, Mustafa Panahi).....51

5- Analysis of the Impact of Physical Land Use Parameters on the Dispersion of Air Pollution Case Study: Sirjan Steel Industrial Area (Maryam Nasri Nasrabadi, Reza Peykanpour Fard) 64

6- Analyzing most obvious factors of invalidation of climate change treaties, an approach to facilitating obtaining of the right to climate sustainability (Shabab Jahanbin, Ali Faghih Habibi, Ali Mohammadi, Shirin Shirazian, Hadi Kiadeliri).....76

https://sanad.iau.ir/journal/jeml

ISSN: 3041-8577