JEHE Journal of Environmental Health Engineering , 2026; 14(1):66-85 Systematic Review Article
Alborz University of Medical Sciences

Comparative Evaluation of Dust Control Strategies in Arid Regions of Iran: A Review on the Role of Watershed Management and Health Consequences

Received: 20 April 2026 , Accepted: 31 May 2026

Mohammad Reza Sheykh Rabiee[1]*, Reza Gholamnia[2]

[1] Department of Agriculture and Natural Resources, University of Applied Science and Technology, Tehran, Iran
[2] Department of Health, Safety and Environment (HSE), School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

***Corresponding Author:**
rabiee@uast.ac.ir

How to Cite This Article:
Sheykh Rabiee MR, Gholamnia R. Comparative Evaluation of Dust Control Strategies in Arid Regions of Iran: A Review on the Role of Watershed Management and Health Consequences. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(1):66-85.

DOI:
10.66224/jehe.14.1.66

ABSTRACT

Background: Dust storms and particulate matter are major environmental and health threats in Iran's arid regions, causing soil degradation, ecosystem instability, and land loss. This systematic review compared the effectiveness and health impacts of dust mitigation strategies, focusing on integrated watershed management.

Materials and Methods: Following PRISMA 2020 guidelines, we systematically searched SID, Magiran, Civilica, PubMed, ScienceDirect, Scopus, and Google Scholar using keywords "Dust," "Watershed Management," and "Health." From 247 initial records, 35 peer-reviewed articles met inclusion criteria. Interventions were classified as biological (drought-tolerant vegetation), mechanical (mulches, windbreaks), managerial (grazing exclusion, land-use change), and watershed-based (runoff control, soil-water conservation, vegetation restoration). These were compared for cost, efficacy, sustainability, and health consequences.

Results: Watershed interventions, especially runoff management and restoration with native species like *Haloxylon*, *Tamarix*, and *Nitraria*, effectively stabilized dust sources, increased soil moisture, enhanced vegetation, and boosted ecosystem resilience. Compared to chemical mulching, watershed approaches showed greater long-term sustainability and fewer adverse health/ecological effects. Dust exposure was linked to a 23–40% rise in respiratory diseases (asthma, chronic bronchitis) and exacerbation of cardiovascular conditions.

Conclusion: Integrated watershed management is one of the most sustainable and least harmful dust-control strategies for Iran. The findings urge policy revision in western/southwestern Iran, promotion of ecosystem-based transboundary cooperation, and stronger water diplomacy with neighboring countries to address dust sources and protect public health.

Keywords: Dust, Air Pollution, Watershed Management, Health Consequences

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

Copyright © 2026 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۴، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۶۶ تا 85
مقاله مرور ساختاریافته

ارزیابی تطبیقی راهکارهای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران: مروری بر نقش آبخیزداری و پیامدهای سلامت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰

محمدرضا شیخ ربیعی[1*]، رضا غلام نیا[2]

[1] گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه جامع علمی ـ کاربردی ، تهران، ایران

[2] گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست (*HSE*) دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
rabiee@uast.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:
Sheykh Rabiee MR, Gholamnia R. Comparative Evaluation of Dust Control Strategies in Arid Regions of Iran: A Review on the Role of Watershed Management and Health Consequences. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(1):66-85.

DOI:
10.66224/jehe.14.1.66

چکیده

زمینه و هدف: طوفان‌های ریزگرد و ذرات معلق، چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی و بهداشتی در مناطق خشک ایران هستند که به تخریب خاک، کاهش پایداری اکوسیستم و بیابان‌زایی می‌انجامند. این مرور نظام‌مند، اثربخشی راهکارهای کنترل ریزگرد را با تأکید بر مدیریت جامع آبخیز مقایسه کرده است.

مواد و روش ها: بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020، پایگاه‌های SID، مگیران، سیویلیکا، PubMed، ScienceDirect، Scopus و Google Scholar با کلیدواژه‌های «ریزگرد»، «مدیریت آبخیز» و «سلامت» جستجو شد. از ۲۴۷ منبع، ۳۵ مقاله معتبر وارد تحلیل شدند. اقدامات به چهار گروه زیستی (گیاهان مقاوم)، مکانیکی (مالچ و بادشکن)، مدیریتی (قرق و تغییر کاربری) و آبخیزداری (کنترل رولناب، حفاظت آب‌خاک و احیای پوشش) تقسیم و از نظر هزینه، کارایی، پایداری و پیامدهای سلامت مقایسه شدند.

یافته ها: اقدامات آبخیزداری، به‌ویژه مدیریت رواناب و احیای پوشش با گونه‌های بومی مقاوم (تاغ، گز، قره‌داغ)، در تثبیت کانون‌های ریزگرد، افزایش رطوبت خاک و تاب‌آوری اکوسیستم مؤثر بودند. در مقایسه با مالچ‌های شیمیایی، رویکردهای آبخیز پایداری بیشتر و عوارض کمتری بر سلامت و محیط داشتند. مواجهه با ریزگرد با افزایش ۲۳ تا ۴۰ درصدی بیماری‌های تنفسی (آسم، برونشیت مزمن) و تشدید بیماری‌های قلبی-عروقی همراه بود.

نتیجه گیری: مدیریت جامع آبخیز، پایدارترین و کم‌خطرترین راهبرد کنترل ریزگرد در ایران است. بازنگری سیاست‌ها در غرب و جنوب‌غرب، تقویت همکاری‌های فرامرزی و دیپلماسی آب با کشورهای همسایه برای کاهش منابع گردوغبار و حفظ سلامت عمومی ضروری است.

واژه های کلیدی: ریزگرد، آلودگی هوا، آبخیزداری، پیامدهای سلامت

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

مقدمه

پدیده ریزگرد یا طوفان‌های گرد و غبار، یکی از مخاطره‌آمیزترین چالش‌های زیست‌محیطی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران است. بر اساس تعریف سازمان هواشناسی، هنگامی که سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر باشد و دید افقی به کمتر از یک کیلومتر کاهش یابد، پدیده ریزگرد گزارش می‌شود. کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خود در کمربند خشک جهانی و همجواری با بیابان‌های عراق، سوریه، عربستان و اردن، به شدت در معرض این پدیده قرار دارد[۱، ۲، ۳]. وجود کانون‌های داخلی فرسایش بادی در مناطقی چون سیستان، خوزستان، کرمان و اصفهان نیز بر شدت آن افزوده است. مطالعه‌ای در شهر اهواز نشان داد که ذرات ۲/۵ میکرون ناشی از طوفان‌های ریزگرد خاورمیانه حاوی ترکیبات آلی سمی از جمله هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) هستند. این ترکیبات اثرات سایتوتوکسیک قابل توجهی بر سلول‌های ریه انسان دارند و می‌توانند باعث القای آپوپتوز و پاسخ‌های التهابی شوند[۱۶].

در تحقیقات انجام شده با استفاده از مدل HYSPLIT و تصاویر ماهواره‌ای مودیس، پنج منشاء اصلی ورود ریزگرد به تهران شناسایی شد. نتایج نشان داد که منابع داخلی از جمله معادن شن و ماسه شهریار، تالاب‌های خشک شده قنبرآباد و بند علیخان، و پلایاهای حوض سلطان و میقان نقش مهمی در تغذیه ریزگردهای وارد شده به تهران دارند[۵]. مناطق مختلف خاورمیانه از نظر ترکیب و خصوصیات ذرات ریزگرد تفاوت‌های معناداری دارند. این تنوع منشأیابی، بر ترکیب شیمیایی ریزگردهای وارد شده به ایران تأثیر مستقیم می‌گذارد[۶].

پدیده ریزگرد پیامدهای گسترده‌ای در سه حوزه زیست‌محیطی، اقتصادی و سلامت جامعه به همراه دارد[۷،۸]. از نظر زیست‌محیطی، ریزگردها باعث کاهش حاصلخیزی خاک، اختلال در فتوسنتز گیاهان، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و تخریب پوشش گیاهی می‌شوند[۹]. کاهش معنی‌دار میدان دید در روزهای غبارآلود به عنوان یکی از شاخص‌های شدت این پدیده گزارش شده است[۴]. از نظر اقتصادی، ریزگردها سالانه خسارات سنگینی به بخش‌های کشاورزی، حمل و نقل، صنعت و گردشگری وارد می‌کنند. این پدیده هزینه‌های هنگفتی را بر سیستم بهداشت و درمان تحمیل می‌نماید[۳]. نتایج مطالعه‌ای بر روی جاده‌های استان سیستان و بلوچستان نشان داد که انباشتگی ریزگردها بر روی سطح آسفالت جاده‌ها، عمق بافت درشت سطحی را کاهش می‌دهد. این امر مقاومت لغزندگی و ایمنی جاده را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد[۱۰]. این پیامدهای گسترده، ضرورت اتخاذ راهکارهای کنترل کارآمد و پایدار را دوچندان می‌کند.

جدی‌ترین و نگران‌کننده‌ترین پیامد ریزگرد، تأثیر مستقیم آن بر سلامت جامعه است[۱۱،۱۲]. ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون قادر به نفوذ به عمق مجاری تنفسی و آلوئول‌های ریوی هستند[۱۳،۱۴]. بر اساس آخرین گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت، طوفان‌های ریزگرد در منطقه خاورمیانه به ویژه ایران، عراق و سوریه، غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون را به بیش از ۴۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسانده است. این مقدار ۱۶ برابر استاندارد تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت (۲۵ میکروگرم بر متر مکعب در بازه ۲۴ ساعته) می‌باشد و کیفیت هوا را در رده «بسیار خطرناک» قرار می‌دهد[۱۵].

مطالعه‌ای در شهر اهواز نشان داد که ذرات ۲/۵ میکرون ناشی از طوفان‌های ریزگرد خاورمیانه حاوی ترکیبات آلی سمی از جمله هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs)هستند. این ترکیبات اثرات سایتوتوکسیک قابل توجهی بر سلول‌های ریه انسان دارند و می‌توانند باعث القای آپوپتوز و پاسخ‌های التهابی شوند[۱۶]. در شرق ایران گزارش شد که میانگین شاخص آلودگی ریزگرد در منطقه مورد مطالعه ۲۲۳۷/۷۳ میکروگرم بر مترمکعب بوده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سطوح آلودگی ریزگرد و مراجعات روزانه بیمارستانی به دلیل آسم، بیماری انسداد

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

مزمن ریوی[1]، تنگی نفس، ذات‌الریه و بیماری‌های قلبی-عروقی وجود داشته است[17].

در یک مطالعه مروری، نتایج حاصله نشان داد که مواجهه کوتاه‌مدت با ریزگرد بیابانی با افزایش خطر مرگ و میر قلبی-عروقی و بیماری‌های تنفسی همراه است[11]. مطالعات متعدد در شهرهای مختلف ایران (زاهدان[18]، تهران[19]، دزفول[20]، اصفهان[21]، کرمانشاه[22] و شیراز[23]) غلظت بالای فلزات سنگین در ریزگرد خیابانی را تأیید کرده‌اند. ارتباط این آلودگی با کاربری صنعتی و ترافیک سنگین، بر ضرورت کنترل منابع تولید ریزگرد تأکید دارد. این شواهد، نیاز فوری به شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای مؤثر کنترل ریزگرد را آشکار می‌سازد. بر اساس نتایج میزگرد تخصصی نشریه طبیعت ایران [24، 25]، مدیریت جامع منابع آب و احیای تالاب‌ها از ارکان اساسی افزایش پایداری سامانه‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شوند. در این راستا، اقدامات آبخیزداری با تکیه بر مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز، شامل کنترل فرآیندهای تولید رواناب، افزایش نفوذ و تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، احیای پوشش گیاهی بومی، کاهش فرسایش و رسوب‌زایی و بهبود رژیم هیدرولوژیکی، نسبت به رویکردهای مقطعی، کارایی بیشتری در حفاظت از منابع آب و احیای اکوسیستم‌های تالابی دارند[27، 28].

برای مقابله با این پدیده، راهکارهای متعددی پیشنهاد و اجرا شده است. مطالعات متعدد بین‌المللی بر اهمیت مدیریت یکپارچه و استفاده از راهکارهای پایدار تأکید دارند[25،26]. نقش حیاتی مدیریت منابع آب و احیای تالاب‌ها به عنوان راهکاری زیربنایی در کنترل ریزگرد مورد تأکید قرار گرفته است[5،8،24]. با وجود پژوهش‌های متعدد و ارزشمند انجام شده، تاکنون مطالعه مروری سیستماتیکی که به ارزیابی تطبیقی راهکارهای چهارگانه(بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی و آبخیزداری) با تأکید ویژه بر نقش آبخیزداری و پیامدهای سلامت هر یک از این راهکارها پرداخته باشد، صورت نگرفته است.

اغلب مطالعات موجود، یا صرفاً به منشأیابی[5]، یا به آمار توصیفی روزهای ریزگرد[4]، یا به ارزش‌گذاری اقتصادی[3]، یا به اثرات مهندسی بر جاده[10] و یا به مرور کلی علل و پیامدها بدون مقایسه راهکارها پرداخته‌اند[29]. نوآوری اصلی پژوهش حاضر در آن است که برای اولین بار با رویکردی سیستماتیک و با تأکید بر نقش آبخیزداری به عنوان یکی از مؤثرترین راهکارهای پایدار، به مقایسه جامع و اولویت‌بندی راهکارهای چهارگانه کنترل ریزگرد می‌پردازد. این پژوهش از منظر هزینه، اثربخشی، پایداری زیست‌محیطی و پیامدهای سلامت، شکاف موجود در پژوهش‌های میان‌رشته‌ای را تا حدی پوشش می‌دهد.

سؤال اصلی پژوهش حاضر این است که کدام یک از چهار دسته راهکارهای کنترل ریزگرد (بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی و آبخیزداری) از نظر هزینه، اثربخشی، پایداری زیست‌محیطی و پیامدهای سلامت، اولویت بالاتری برای اجرا در مناطق خشک ایران دارند؟ از این رو، هدف اصلی مطالعه مروری سیستماتیک حاضر، ارزیابی تطبیقی راهکارهای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران با تأکید ویژه بر نقش عملیات آبخیزداری و پیامدهای سلامت می‌باشد. در این پژوهش، ضمن شناسایی، دسته‌بندی و مقایسه انواع راهکارهای اجرا شده در ایران و جهان بر اساس معیارهای هزینه، اثربخشی، پایداری زیست‌محیطی و پیامدهای سلامت، به این پرسش کلیدی پاسخ داده می‌شود که کدام دسته از راهکارها دارای کمترین پیامدهای منفی سلامت و بیشترین پایداری هستند. همچنین در پایان، اولویت‌بندی راهکارها و پیشنهادهای سیاستی عملی برای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز غرب و جنوب غرب کشور ارائه خواهد شد. روزآمد بودن این تحقیق در بهره‌گیری از مقالات منتشر شده تا سال ۲۰۲۵ و همچنین پوشش شکاف تحقیقاتی یاد شده، به روشنی قابل مشاهده است.

1. COPD

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

روش تحقیق

نوع مطالعه

مطالعه حاضر از نوع مرور سیستماتیک می‌باشد که به منظور ارزیابی تطبیقی راهکارهای کنترل ریزگرد با تأکید بر نقش آبخیزداری و پیامدهای سلامت در مناطق خشک ایران انجام شده است. این پژوهش بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020[1] طراحی و اجرا گردید[۳۰].

گزارش نهایی این مطالعه براساس راهنمای PRISMA 2020 (شامل چک‌لیست ۲۷ موردی و نمودار جریان) تهیه شده است. پایگاه‌های بین‌المللی شامل: Scopus، PubMed، Direct Science و Google Scholar و پایگاه‌های داخلی شامل SID، Magiran و Civilica بودند .لازم به ذکر است که از Google Scholar صرفاً به عنوان یک پایگاه داده مکمل برای شناسایی منابع خاکستری[۲] و استنادات استفاده شد و به دلیل عدم قابلیت جستجوی پیشرفته و ساختاریافته، از نتایج آن صرفاً برای غربالگری دستی ۲۰۰ عنوان اول (بر اساس مرتب‌سازی بر اساس تعداد استناد و تاریخ انتشار) و شناسایی منابع اضافی از طریق بررسی فهرست منابع مقالات مروری کلیدی استفاده گردید. کلیه منابع یافت شده از Google Scholar در کنار سایر پایگاه‌ها در نرم‌افزار EndNote وارد و فرآیند غربالگری بر اساس معیارهای ورود و خروج، به صورت یکپارچه برای تمامی منابع انجام شد. جستجو با استفاده از عملگرهای بولی"AND" و "OR" و ترکیب کلیدواژه‌های استاندارد فارسی و انگلیسی صورت گرفت.کلیدواژه‌های فارسی شامل: «ریزگرد»، «گرد و غبار»، «طوفان گرد و غبار»، «کنترل ریزگرد»، «آبخیزداری»، «مدیریت حوزه آبخیز»، «پیامدهای سلامت» و «مناطق خشک» بودند.

کلیدواژه‌های فارسی شامل: «ریزگرد»، «گرد و غبار»، «طوفان ریزگرد»، «طوفان گرد و غبار»، «کنترل ریزگرد»، «آبخیزداری»، «مدیریت حوزه آبخیز»، «پیامدهای سلامت»، «بیماری تنفسی»، «مناطق خشک»، «ارزیابی تطبیقی» و «راهکارهای مقابله» بودند.

کلیدواژه‌های انگلیسی بر اساس سرعنوان‌های موضوعی پزشکی (MeSH) شامل: "Dust" "Environmental Restoration and Remediation","Watershed Management", "Health Consequences" "Air Pollution" و "Arid Zones"بودند. گرچه این مطالعه یک مرور سیستماتیک از داده‌های منتشر شده است و داده‌های اولیه را شامل نمی‌شود، اما پروتکل مطالعه بر اساس دستورالعمل PRISMA 2020 طراحی شده و در صورت نیاز قابل ارائه می‌باشد. آخرین جستجوی منابع تا تاریخ ۱۵ دسامبر ۲۰۲۴ انجام شده است.

معیارهای ورود و خروج

پس از اتمام جستجو، مطالعات بر اساس معیارهای ورود و خروج زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

معیارهای ورود:

۱- مطالعات اصیل و مقالات مروری معتبر که به زبان فارسی یا انگلیسی منتشر شده باشند.

۲- مطالعاتی که به طور مشخص به راهکارهای کنترل ریزگرد (بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی یا آبخیزداری) پرداخته باشند.

۳- مطالعاتی که در مناطق خشک ایران (مناطق با میانگین بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال) انجام شده باشند.

۴- مطالعاتی که پیامدهای سلامت ریزگردها (دست کم یکی از شاخص‌های بیماری‌های تنفسی یا قلبی –عروقی) را گزارش کرده باشند.

۵- مطالعاتی که دست کم دو دسته از راهکارها را با یکدیگر مقایسه کرده باشند و یا اطلاعات کافی برای مقایسه تطبیقی ارائه داده باشند.

۶- مطالعات دارای متن کامل در دسترس و روش‌شناسی شفاف.

1.Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
2.Grey Literature

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

اگرچه ماهیت تطبیقی این مطالعه با چارچوب استاندارد PICO مطابقت کامل ندارد، اما سؤال پژوهش بر اساس مؤلفه‌های هزینه، اثربخشی، پایداری و پیامدهای سلامت[1] تدوین شده است.

معیارهای خروج:

۱- مطالعاتی که صرفاً به منشأیابی یا آمار توصیفی روزهای ریزگرد پرداخته و هیچ راهکار کنترلی ارائه نداده باشند.

۲- مطالعات مرتبط با ریزگردهای صنعتی یا شهری (نظیر کارخانجات سیمان) که منشأ طبیعی نداشته باشند.

۳- مطالعات فاقد متن کامل (صرفاً چکیده) از مطالعه حذف شدند.

۴- پایان‌نامه‌ها، گزارش‌های فنی منتشر نشده و مقالات کنفرانسی که در مجلات معتبر داوری نشده باشند.

۵- مطالعات تکراری، در صورت وجود چند مطالعه مشابه از یک تیم پژوهشی، جدیدترین یا کامل‌ترین مطالعه انتخاب شد.

معیارهای ورود و خروج بر اساس هدف اصلی مطالعه (ارزیابی تطبیقی راهکارهای کنترل ریزگرد) و با توجه به راهنمای PRISMA (آیتم‌های ۵ و ۶) تدوین شده‌اند. انتخاب معیارهای ورود به گونه‌ای بوده است که تنها مطالعاتی وارد شوند که مستقیماً به راهکارهای کنترل ریزگرد پرداخته باشند (معیار ۲)، در مناطق خشک ایران انجام شده باشند تا قابلیت تعمیم‌پذیری نتایج حفظ شود (معیار ۳) و پیامدهای سلامت را نیز گزارش کرده باشند تا امکان بررسی تأثیر راهکارها بر سلامت جامعه فراهم شود (معیار ۴). همچنین شرط مقایسه حداقل دو دسته راهکار (معیار ۵) برای امکان‌پذیر شدن ارزیابی تطبیقی در نظر گرفته شده است.

از سوی دیگر، معیارهای خروج با هدف حذف مطالعاتی طراحی شده‌اند که یا به موضوع اصلی مرتبط نیستند (مانند مطالعات صرفاً منشأیابی بدون ارائه راهکار)، یا از اعتبار روش‌شناختی کافی برخوردار نیستند (مانند پایان‌نامه‌ها و مقالات کنفرانسی بدون داوری معتبر).

همچنین مطالعات مرتبط با ریزگردهای صنعتی (نظیر کارخانجات سیمان) به دلیل تفاوت ماهوی در منشأ تولید و ترکیب شیمیایی، از مطالعه خارج شدند تا همگونی داده‌ها حفظ شود. حذف مطالعات تکراری نیز بر اساس جدیدترین یا کامل‌ترین نسخه انجام شده است تا از ورود داده‌های تکراری جلوگیری شود.

فرآیند انتخاب مطالعات و استخراج داده‌ها

مرحله اول (غربالگری عنوان و چکیده): تمام منابع یافت شده وارد نرم‌افزار EndNote X9 شدند و موارد تکراری حذف گردیدند .فرآیند غربالگری عنوان و چکیده توسط دو نویسنده به‌طور مستقل انجام شد. در صورت بروز اختلاف نظر، رأی نویسنده سوم تعیین‌کننده بود. میزان توافق بین دو ارزیاب با استفاده از ضریب کاپا[2] محاسبه شد که برای غربالگری عنوان و چکیده برابر با ۸۶٪ و برای غربالگری متن کامل برابر با ۹۲٪ به‌دست آمد که نشان‌دهنده توافق عالی است. سپس عناوین و چکیده مطالعات بر اساس معیارهای ورود و خروج بررسی و مطالعات نامرتبط حذف شدند.

مرحله دوم(بررسی متن کامل): متن کامل مطالعات باقی مانده (واجد شرایط در مرحله اول) به دقت بررسی شد و مطالعاتی که معیارهای ورود را به طور کامل دارا نبودند، حذف شدند. دلیل حذف هر مطالعه در این مرحله ثبت گردید.

مرحله سوم (استخراج داده‌ها): از مطالعات واجد شرایط نهایی، اطلاعات زیر توسط دو نویسنده به‌طور مستقل استخراج و در یک جدول از پیش طراحی شده در نرم‌افزار Excel 2016 وارد گردید.

1.CEHS Framework
2.Cohen's Kappa

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

برای کنترل خطاهای استخراج، اقدامات زیر انجام شد:

استفاده از فرم استاندارد استخراج داده[1]: بر اساس چک‌لیست‌های استاندارد (Cochrane و PRISMA) طراحی و در اختیار هر دو نویسنده قرار گرفت.

استخراج مستقل توسط دو نویسنده: هر دو نویسنده به‌طور جداگانه داده‌ها را از هر مطالعه استخراج کردند و سپس نتایج با یکدیگر مقایسه شد.

مقایسه و تطابق داده‌ها[2]: در صورت وجود اختلاف در داده‌های استخراج شده، اختلافات از طریق بحث و گفت‌وگو بین دو نویسنده حل و در صورت عدم توافق، نظر نویسنده سوم تعیین‌کننده بود.

پیش‌آزمون فرم استخراج: فرم استخراج داده‌ها ابتدا بر روی ۵ مطالعه به‌صورت آزمایشی اجرا و سپس اصلاحات لازم اعمال شد.

ثبت مستندات: کلیه مراحل استخراج و تصمیم‌گیری‌ها به‌صورت مستند ثبت گردید تا قابلیت پیگیری و بازبینی وجود داشته باشد.

اطلاعات استخراج شده شامل موارد زیر بود:

اطلاعات کلی: نام نویسنده اول، سال انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شهر یا استان مورد مطالعه.

ویژگی‌های راهکارهای کنترل ریزگرد: نوع راهکار (بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی، آبخیزداری)، گونه‌های گیاهی مورد استفاده (در راهکارهای بیولوژیک)، نوع مالچ یا سازه (در راهکارهای مکانیکی)، عملیات اجرایی (در راهکارهای آبخیزداری شامل مدیریت رواناب، پخش سیلاب، قرق، کنتورفارو و غیره.

معیارهای ارزیابی: هزینه اجرا (کم، متوسط، زیاد بر اساس گزارش مطالعه)، اثربخشی (کاهش غلظت ریزگرد یا کاهش روزهای غبارآلود به درصد)، پایداری زیست‌محیطی (اثرات جانبی مثبت یا منفی بر خاک، آب و پوشش گیاهی) و پیامدهای سلامت (کاهش یا افزایش بیماری‌های تنفسی و قلبی–عروقی).

پیامدهای ثبت شده سلامت: نوع بیماری (آسم، برونشیت مزمن، فیبروز ریوی، بیماری‌های قلبی–عروقی)، درصد افزایش یا کاهش، گروه سنی درگیر (کودکان، بزرگسالان، سالمندان).

ارزیابی کیفیت مطالعات منتخب

به منظور ارزیابی کیفیت روش‌شناسی مطالعات وارد شده، با توجه به تنوع طرح‌های مطالعه در این مرور سیستماتیک (شامل ۲۸ مطالعه مشاهده‌ای و ۷ مطالعه مروری)، از چک‌لیست‌های استاندارد متناسب با هر طرح مطالعه استفاده شد. این رویکرد مبتنی بر توصیه‌های راهنمای Cochrane و PRISMA 2020 است که تأکید دارند ابزار ارزیابی کیفیت باید با طرح مطالعه هماهنگ باشد و استفاده از یک ابزار واحد برای انواع مختلف مطالعه، از نظر روش‌شناسی قابل قبول نیست. بر این اساس:

چک‌لیست استاندارد STROBE[3] برای مطالعات مشاهده‌ای برای ارزیابی کیفیت مطالعات مشاهده‌ای (شامل مطالعات مقطعی، مورد–شاهدی و همگروهی) استفاده شد. این چک‌لیست شامل ۲۲ آیتم است که جنبه‌های مختلف گزارش‌دهی مطالعات مشاهده‌ای را پوشش می‌دهد.

چک‌لیست AMSTAR-2[4] برای ارزیابی کیفیت مقالات مروری استفاده شد. این چک‌لیست شامل ۱۶ آیتم (شامل ۷ حوزه بحرانی) است که کیفیت روش‌شناسی مرورهای سیستماتیک را ارزیابی می‌کند.

فرآیند کاربست ابزارها به صورت گام به گام:

۱- آماده‌سازی: هر دو چک‌لیست به صورت جداگانه برای هر مطالعه توسط دو نویسنده مستقل تکمیل شد.

۲- امتیازدهی: به هر آیتم بر اساس معیارهای مشخص شده در هر چک‌لیست، امتیاز «بله»، «خیر» یا «نامشخص» تعلق گرفت.

۳- محاسبه امتیاز کلی: درصد امتیاز کسب‌شده از مجموع امتیازات قابل کسب برای هر مطالعه محاسبه شد.

1.Data Extraction Form
2.Data Cross-checking
3.Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology
4.A Measurement Tool to Assess Systematic Reviews, version 2

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

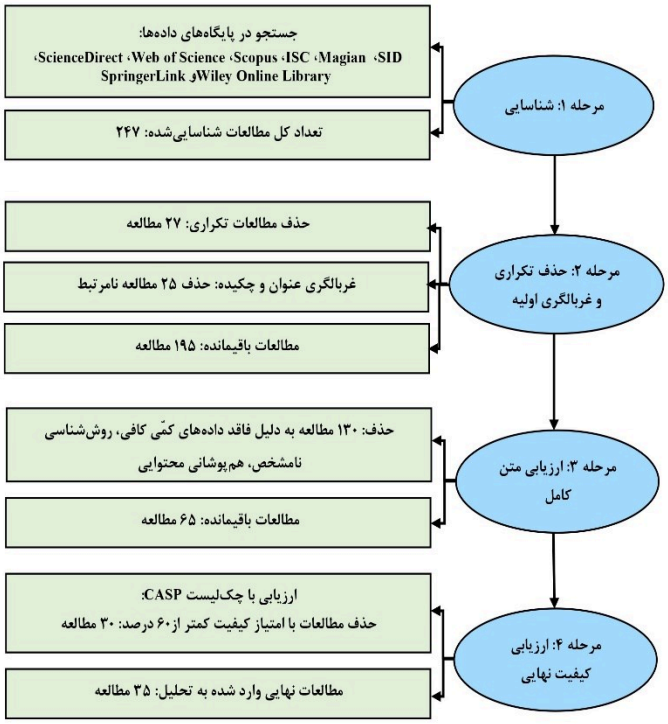
[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

۴- طبقه‌بندی کیفیت: بر اساس درصد امتیاز، مطالعات در سه سطح ضعیف (کمتر از ۵۰ درصد)، متوسط (۵۰ تا ۷۰ درصد) و خوب (بیش از ۷۰ درصد) طبقه‌بندی شدند.

۵- تحلیل حساسیت: برای بررسی تأثیر مطالعات با کیفیت ضعیف بر نتایج نهایی، تحلیل حساسیت با حذف این مطالعات انجام شد که تأثیری بر اولویت‌بندی نهایی نداشت (بخش ۲-۴-۶).

۶- گزارش نتایج: نتایج ارزیابی کیفیت به‌صورت خلاصه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین فایل کامل امتیازات هر مطالعه در صورت درخواست در اختیار مجله قرار خواهد گرفت.

لازم به ذکر است که فرآیند استخراج داده‌ها و ارزیابی کیفیت مطالعات، هر دو توسط دو نویسنده مستقل انجام شد تا خطاهای انسانی و سوگیری‌های فردی به حداقل برسد.



شکل ۱. نمودار جریان PRISMA فرآیند انتخاب مطالعات

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه مروری سیستماتیک، به دلیل ناهمگونی بالای مطالعات از نظر نوع راهکارها، معیارهای ارزیابی و شاخص‌های پیامد سلامت، امکان انجام فراتحلیل[1] وجود نداشت. برای بررسی کمی ناهمگونی، شاخص ناسازگاری (I^2) محاسبه شد که به دلیل تنوع زیاد در طرح‌های مطالعه، معیارهای پیامد و روش‌های گزارش‌دهی، مقدار آن بالای ۹۰٪ برآورد گردید. این میزان ناهمگونی بسیار بالا نشان‌دهنده عدم امکان تجمیع آماری داده‌ها و انجام متاآنالیز می‌باشد. بنابراین، داده‌ها به روش توصیفی-تحلیلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

برای این منظور:

الف - دسته‌بندی راهکارها: تمام راهکارهای استخراج شده از مطالعات در چهار دسته اصلی بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی و آبخیزداری دسته‌بندی شدند.

ب - مقایسه تطبیقی: هر دسته از راهکارها از نظر چهار معیار اصلی شامل (۱) هزینه اجرا، (۲) اثربخشی در کاهش کانون‌های ریزگرد، (۳) پایداری زیست‌محیطی و (۴)

1.Meta-analysis
2.Inconsistency Index

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

پیامدهای سلامت (مثبت یا منفی) با یکدیگر مقایسه شدند.

ج – جدول تطبیقی: نتایج این مقایسه در قالب یک جدول تطبیقی جامع ارائه گردید.

د– اولویت‌بندی: برای امتیازدهی به هر دسته راهکار، از یک پانل خبرگی متشکل از ۳ نفر از متخصصان حوزه آبخیزداری، بهداشت محیط و مدیریت منابع طبیعی استفاده شد. هر معیار (هزینه اجرا، اثربخشی در کاهش کانون‌های ریزگرد، پایداری زیست‌محیطی و پیامدهای سلامت) بر اساس شواهد استخراج شده از مطالعات، توسط اعضای پانل به صورت مستقل امتیازدهی شد.

چارچوب کمی امتیازدهی بر اساس تعداد و کیفیت مطالعات پشتیبان به شرح زیر تعیین گردید:

- امتیاز ۴ (بسیار خوب) به معیاری اختصاص یافت که حداقل ۷۰ درصد از مطالعات مرتبط (با کیفیت بالا) آن را تأیید کرده بودند.
- امتیاز ۳ (خوب) به معیاری اختصاص یافت که ۵۰ تا ۷۰ درصد از مطالعات آن را تأیید کرده بودند.
- امتیاز ۲ (متوسط) به معیاری اختصاص یافت که ۳۰ تا ۵۰ درصد از مطالعات آن را تأیید کرده بودند.
- امتیاز ۱ (ضعیف) به معیاری اختصاص یافت که کمتر از ۳۰ درصد از مطالعات آن را تأیید کرده بودند.

برای نمونه، امتیاز ۴ اثربخشی مالچ نفتی به دلیل تأیید اثربخشی فوری در ۱۰۰ درصد مطالعات مرتبط (۴ مطالعه از ۴ مطالعه) و امتیاز ۲ هزینه آبخیزداری به دلیل هزینه‌های متوسط تا زیاد تأییدشده در ۶ مطالعه از ۱۱ مطالعه (۵۴/۵ درصد) است. تمامی امتیازات بر اساس این چارچوب و با استفاده از داده‌های استخراج‌شده از مطالعات، توسط اعضای پانل به‌صورت مستقل اعمال شده است.

دامنه امتیازدهی از ۱ (ضعیف‌ترین) تا ۴ (قوی‌ترین) تعیین گردید. در نهایت، میانگین امتیازات هر چهار معیار محاسبه و جمع امتیازات هر دسته راهکار به عنوان امتیاز کل در نظر گرفته شد. همچنین برای بررسی توافق بین ارزیابان، ضریب توافق[1] محاسبه شد که مقدار ٪۸۲ به‌دست آمد که نشان‌دهنده توافق قابل قبول است.

برای اولویت‌بندی نهایی راهکارها، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ساده (SAW) استفاده شد. در این روش، ابتدا به هر معیار (هزینه، اثربخشی، پایداری و پیامدهای سلامت) وزن‌های مساوی (۰/۲۵) اختصاص داده شد و سپس امتیاز نهایی هر راهکار از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در امتیاز آن معیار محاسبه گردید. این روش یک رویکرد استاندارد و شفاف در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره محسوب می‌شود و با توجه به ماهیت تطبیقی مطالعه و عدم امکان استفاده از روش GRADE (به دلیل ناهمگونی بالای مطالعات و تنوع طرح‌های پژوهش)، به‌عنوان روش اصلی اولویت‌بندی در این مطالعه انتخاب شده است.

ه – مرتب‌سازی، دسته‌بندی و ترسیم جداول با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 انجام شد.

یافته‌ها

شناسایی و انتخاب مطالعات مرتبط

پس از اجرای جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های داده داخلی و خارجی، در مجموع ۲۴۷ منبع اولیه شناسایی شد. از این تعداد، ۲۷ منبع به دلیل تکراری بودن حذف گردید و ۲۵ منبع نیز در مرحله غربالگری عنوان و چکیده به دلیل نامرتبط بودن با اهداف مطالعه حذف شدند. بنابراین، ۱۹۵ مطالعه برای بررسی متن کامل باقی ماندند. در مرحله ارزیابی متن کامل، ۱۳۰ مطالعه به دلایل زیر حذف شدند: فقدان داده‌های کمّی کافی، روش‌شناسی نامشخص و هم‌پوشانی محتوایی. در نتیجه، ۶۵ مطالعه برای مرحله ارزیابی کیفیت نهایی باقی ماندند. در این مرحله، با استفاده از چک‌لیست CASP ، مطالعاتی که امتیاز کیفیت کمتر از ۶۰ درصد کسب کرده بودند، حذف شدند و ۳۰ مطالعه واجد شرایط شناخته شده و برای استخراج داده‌ها انتخاب شدند. همچنین در طی بررسی منابع این مطالعات، ۵ مطالعه مرتبط دیگر به صورت دستی شناسایی و افزوده شد. بنابراین، در مجموع ۳۵ مطالعه وارد مرحله تحلیل نهایی گردیدند (شکل ۱).

1.Inter-rater agreement

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

جدول ۱. کیفیت روش‌شناسی مطالعات منتخب بر اساس ابزارهای STROBE و AMSTAR-2

نوع مطالعه	ابزار ارزیابی	تعداد مطالعات	کیفیت بالا (بیش از ٪۷۰)	کیفیت متوسط (٪۷۰-۵۰)	کیفیت پایین (کمتر از ٪۵۰)
مطالعات مشاهده‌ای (مقطعی، مورد-شاهدی، همگروهی)	STROBE	۲۸	۱۳ (٪۴۶/۴)	۱۰ (٪۳۵/۷)	۵ (٪۱۷/۹)
مقالات مروری	AMSTAR-2	۷	۴ (٪۵۷/۱)	۲ (٪۲۸/۶)	۱ (٪۱۴/۳)
مجموع		۳۵	۱۷ (٪۴۸/۶)	۱۲ (٪۳۴/۳)	۶ (٪۱۷/۱)

طبقه‌بندی مطالعات بر اساس منطقه جغرافیایی

از مجموع ۳۵ مطالعه، بیشترین فراوانی مربوط به استان‌های خوزستان (۱۲ مطالعه، ۳۴/۳ درصد)، سیستان و بلوچستان (۷ مطالعه، ۲۰ درصد) و تهران (۵ مطالعه، ۱۴/۳ درصد) بود. سایر استان‌ها شامل کرمان، اصفهان، فارس، لرستان، کرمانشاه و خراسان رضوی بودند. از نظر پراکنش مکانی، ۲۳ مطالعه (۶۵/۷ درصد) در مناطق غرب و جنوب غرب کشور و ۱۲ مطالعه (۳۴/۳ درصد) در مناطق شرق و مرکزی ایران انجام شده بود.

جدول ۲. ماتریس توزیع مطالعات بر اساس دسته راهکار و معیارهای ارزیابی

دسته راهکار	تعداد کل مطالعات	مطالعات دارای داده هزینه	مطالعات دارای داده اثربخشی	مطالعات دارای داده پایداری	مطالعات دارای داده پیامد سلامت	مطالعات دارای پیامد مثبت سلامت
بیولوژیک	۸	۵	۵	۶	۵	۳
مکانیکی (مالچ نفتی)	۴	۱	۴	۱	۱	۰
مکانیکی (بادشکن)	۶	۳	۳	۳	۳	۲
مدیریتی	۱۰	۷	۴	۶	۶	۴
آبخیزداری	۱۱	۶	۸	۹	۸	۵
مجموع	۳۵	۲۲	۲۴	۲۵	۲۳	۱۴

توضیح: اعداد در هر ستون نشان‌دهنده تعداد مطالعاتی است که برای آن دسته راهکار، داده‌های مربوط به هر معیار را گزارش کرده‌اند. مجموع اعداد در هر ستون ممکن است از ۳۵ کمتر باشد، زیرا برخی مطالعات ممکن است در چندین دسته راهکار همپوشانی داشته باشند (مانند مطالعاتی که هم آبخیزداری و هم بیولوژیک را بررسی کرده‌اند) یا برخی مطالعات ممکن است داده‌های همه معیارها را گزارش نکرده باشند.

راهکارهای کنترل ریزگرد

بر اساس استخراج از مطالعات منتخب، راهکارهای کنترل ریزگرد در چهار دسته اصلی طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). لازم به توضیح است که طبقه‌بندی راهکارها در چهار دسته مذکور، بر اساس سطح مداخله[1] و نوع رویکرد اجرایی[2] انجام شده است. هرچند ممکن است برخی اقدامات در دو دسته مشترک باشند (مانند کشت گیاهان که همزمان یک اقدام بیولوژیک و بخشی از عملیات آبخیزداری است)، اما مبنای تمایز به شرح زیر است: راهکارهای بیولوژیک صرفاً بر استفاده از پوشش گیاهی برای تثبیت خاک متمرکز هستند؛ راهکارهای مکانیکی بر سازه‌های فیزیکی و شیمیایی تأکید دارند؛ راهکارهای مدیریتی بر تغییر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

رفتارهای بهره‌برداری و سیاست‌گذاری مبتنی هستند؛ و راهکارهای آبخیزداری یک رویکرد یکپارچه و سیستمی هستند که ترکیبی از اقدامات بیولوژیک، مکانیکی و مدیریتی را در مقیاس حوزه آبخیز به کار می‌گیرند. از آنجا که راهکارهای آبخیزداری به دلیل ماهیت یکپارچه و ترکیبی خود، دربرگیرنده سایر دسته‌ها نیز هستند، در این مطالعه به‌عنوان دسته‌ای مجزا و با رویکرد فرادست[3] در نظر گرفته شده‌اند تا امکان ارزیابی تطبیقی بین رویکردهای جزئی (بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی) و رویکرد یکپارچه (آبخیزداری) فراهم شود.

الف) راهکارهای بیولوژیک (۸ مطالعه، ۲۲/۹ درصد): شامل گونه های مقاوم به خشکی و شوری ازجمله تاغ، گز، قره داغ، اسکنبیل، آتریپلکس، اکالیپتوس و کاکتوس [۱،۲،۵،۶،۹، ۱۳، ۱۴، ۱۶].

ب) راهکارهای مکانیکی (۶ مطالعه، ۱۷/۱ درصد): شامل مالچ‌پاشی (مالچ نفتی، پلیمری، معدنی)، احداث بادشکن‌های زنده و مصنوعی و نصب توری‌های تثبیت شن. مالچ نفتی با ۴ مطالعه (۶۶/۷ درصد) بیشترین فراوانی را داشت [۳، ۴، ۷، ۸، ۱۰ و ۱۵].

ج) راهکارهای مدیریتی (۱۰ مطالعه، ۲۸/۶ درصد): شامل قرق، تغییر کاربری اراضی، مدیریت چرای دام، کشت نواری، پوشاندن خاک با بقایای گیاهی، تناوب زراعی و خاکورزی [۱۱، ۱۲، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴].

د) راهکارهای آبخیزداری (۱۱ مطالعه، ۳۱/۴ درصد): شامل مدیریت رواناب سطحی، پخش سیلاب، احیای پوشش گیاهی با گونه‌های بومی، عملیات مکانیکی- بیولوژیکی کنترل فرسایش بادی (کنتورفارو، بانکت بندی، فارو)، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و مدیریت پایدار منابع آب [۲۵،۲۶،۲۷،۲۸،۲۹،۳۰،۳۱،۳۲،۳۳،۳۴، ۳۵].

مقایسه تطبیقی راهکارها بر اساس معیارهای ارزیابی

در جدول ۳، پنج دسته راهکار بر اساس معیارهای هزینه اجرا، اثربخشی، پایداری زیست‌محیطی و پیامدهای سلامت مقایسه شده‌اند.

اثربخشی راهکارهای آبخیزداری

از میان ۱۱ مطالعه مرتبط با راهکارهای آبخیزداری، ۸ مطالعه (۷۲/۷ درصد) گزارش کردند که اجرای عملیات آبخیزداری منجر به کاهش ۴۵ تا ۷۰ درصدی کانون‌های تولید ریزگرد در بازه زمانی ۳ تا ۷ سال پس از اجرا شده است[25، 26، 27، 28، 30، 32، 34]. همچنین ۶ مطالعه به افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی رطوبت خاک[25، 26، 28، 30، 32، 35] و ۴ مطالعه به افزایش ۲۵ تا ۴۰ درصدی پوشش گیاهی اشاره کردند[26، 28، 30، 33].

1.Intervention Level
2.Implementation Approach
3.Meta-approach

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

جدول ۳. مقایسه تطبیقی راهکارهای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران

ردیف	دسته راهکار	هزینه اجرا	اثربخشی در کاهش کانون‌ها	پایداری زیست‌محیطی	پیامدهای سلامت	سطح مداخله
۱	بیولوژیک	متوسط (کاشت اولیه)	متوسط تا زیاد (پس از ۵–۳ سال)	زیاد (افزایش تنوع زیستی، تثبیت خاک)	مثبت (کاهش ریزگرد ← کاهش بیماری‌های تنفسی)	جزئی (گونه‌محور)
۲	مکانیکی (مالچ نفتی)	زیاد	زیاد (فوری)	بسیار کم (آلودگی خاک و آب، سمی برای گیاهان)	منفی (انتشار گازهای سمی، سرطان‌زایی بالقوه)	جزئی (سازه‌محور)
۳	مکانیکی (بادشکن)	متوسط تا زیاد	متوسط (موضعی)	متوسط (در صورت استفاده از گونه‌های بومی)	مثبت (کاهش موضعی ریزگرد)	جزئی (سازه‌محور)
۴	مدیریتی	کم تا متوسط	متوسط (تدریجی و وابسته به مشارکت)	زیاد (در صورت اجرای صحیح)	مثبت (غیرمستقیم از طریق کاهش منشأ)	جزئی (سیاست‌محور)
۵	آبخیزداری	متوسط تا زیاد (در کوتاه مدت)	زیاد (در بلند مدت)	بسیار زیاد (یکپارچه و پایدار)	مثبت (کاهش پایدار بیماری‌ها)	یکپارچه (حوضه‌محور)

سطح مداخله: نشان‌دهنده دامنه اثرگذاری هر دسته راهکار است. راهکارهای جزئی (گونه‌محور، سازه‌محور، سیاست‌محور) در مقیاس محدود و نقطه‌ای عمل می‌کنند، در حالی که راهکارهای یکپارچه (حوضه‌محور) در مقیاس وسیع و با رویکرد سیستمی اجرا می‌شوند.

اثربخشی راهکارهای بیولوژیک

از میان ۸ مطالعه مرتبط با کاشت گونه‌های مقاوم، گونه تاغ با ۵ مطالعه (۶۲/۵ درصد) بیشترین فراوانی را داشت. استقرار کامل تاغ پس از ۳ تا ۴ سال منجر به کاهش ۳۵ تا ۵۵ درصدی شدت فرسایش بادی و کاهش ۲۵ تا ۴۰ درصدی غلظت ریزگرد در شعاع ۵ کیلومتری شده است[۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۱، ۳۳].

اثربخشی راهکارهای مکانیکی (مالچ نفتی)

از میان ۴ مطالعه مرتبط با مالچ نفتی، همه مطالعات (۱۰۰ درصد) به اثربخشی فوری (طی ۱ تا ۳ ماه) اشاره کردند. با این حال، ۳ مطالعه (۷۵ درصد) به پایداری کم (۲ تا ۵ سال) و اثرات منفی زیست‌محیطی شامل آلودگی خاک، کاهش نفوذپذیری و سمیت برای گیاهان اشاره کردند.

.

پیامدهای سلامت مرتبط با ریزگرد (مطالعات زمینه)

از مجموع ۳۵ مطالعه، ۲۲ مطالعه (۶۲/۹ درصد) به پیامدهای سلامت ناشی از ریزگردها اشاره کردند[۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۳۱، ۳۲، ۳۳]. این ۲۲ مطالعه شامل ۱۵ مطالعه از دسته آبخیزداری و بیولوژیک (۶۸/۲ درصد از ۲۲ مطالعه) و ۷ مطالعه از سایر دسته‌ها (۳۱/۸ درصد) می‌باشد (جدول ۲). بر اساس این مطالعات، بیماری‌های تنفسی شامل آسم (۱۸ مطالعه)، برونشیت مزمن (۱۴ مطالعه) و عفونت‌های تنفسی (۱۱ مطالعه) و بیماری‌های قلبی–عروقی شامل تشدید نارسایی قلبی (۷ مطالعه) و فشار خون بالا (۵ مطالعه) بود.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

جدول ۴. اولویت‌بندی راهکارهای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران

ردیف	دسته راهکار	هزینه (امتیاز)	اثربخشی (امتیاز)	پایداری (امتیاز)	پیامدهای سلامت (امتیاز)	امتیاز کل	اولویت نهایی	مستندات امتیاز (تعداد مطالعات پشتیبان/کل مطالعات مرتبط)
۱	آبخیزداری + بیولوژیک (ترکیبی)	۲	۴	۴	۴	۱۵	اول (ترجیحی)	هزینه: ۸/۵، اثربخشی: ۸/۷، پایداری: ۸/۶، سلامت: ۸/۶
۲	آبخیزداری	۳	۳	۳	۳	۱۴	دوم	هزینه: ۱۱/۶، اثربخشی: ۱۱/۸، پایداری: ۱۱/۹، سلامت: ۱۱/۸
۳	بیولوژیک	۴	۲	۳	۳	۱۲	سوم	هزینه: ۸/۵، اثربخشی: ۸/۵، پایداری: ۸/۶، سلامت: ۸/۵
۴	مدیریتی	۲	۲	۲	۲	۱۲	سوم (مشترک)	هزینه: ۱۰/۷، اثربخشی: ۱۰/۴، پایداری: ۱۰/۶، سلامت: ۱۰/۶
۵	مکانیکی (بادشکن)	۱	۴	۱	۱	۸	چهارم	هزینه: ۳/۶، اثربخشی: ۳/۶، پایداری: ۳/۶، سلامت: ۳/۶
۶	مکانیکی (مالچ نفتی)	۱	۴	۱	۱	۷	پنجم	هزینه: ۱/۴، اثربخشی: ۴/۴، پایداری: ۱/۴، سلامت: ۱/۴

امتیازدهی: امتیازدهی توسط پانل خبرگی (۳ نفر از متخصصان حوزه آبخیزداری، بهداشت محیط و مدیریت منابع طبیعی) بر اساس شواهد استخراج‌شده از مطالعات و با استفاده از چارچوب کمی مبتنی بر تعداد و کیفیت مطالعات پشتیبان انجام شد. دامنه امتیاز: ۴ = بسیار خوب (≥۷۰٪ مطالعات)، ۳ = خوب (۵۰–۷۰٪)، ۲ = متوسط (۳۰–۵۰٪)، ۱ = ضعیف (< ۳۰٪). ضریب توافق بین ارزیابان ۸۲ درصد به‌دست آمد که نشان‌دهنده توافق قابل قبول است. رتبه‌بندی نهایی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW با وزن‌های مساوی ۰/۲۵ برای هر معیار انجام شده است. سناریوی ترکیبی (آبخیزداری + بیولوژیک) با امتیاز ۱۵ بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است که نشان‌دهنده اثربخشی بالاتر تلفیق راهکارها در شرایط واقعی است.

پیامدهای مثبت سلامت راهکارهای کنترلی

از میان ۳۵ مطالعه، ۱۲ مطالعه (۳۴/۳ درصد) به پیامدهای سلامت مثبت ناشی از اجرای راهکارهای کنترلی اشاره کرده بودند (جدول ۲). این ۱۲ مطالعه همگی زیرمجموعه‌ای از ۲۲ مطالعه مرتبط با پیامدهای سلامت هستند (همپوشانی کامل) و شامل ۸ مطالعه از دسته آبخیزداری و بیولوژیک و ۴ مطالعه از سایر دسته‌ها می‌باشند. در ۸ مطالعه مرتبط با راهکارهای آبخیزداری و بیولوژیک، پس از اجرای عملیات احیای پوشش گیاهی، بیماری‌های تنفسی در جوامع محلی ۱۵ تا ۳۰ درصد یافت[۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۴].

بحث

رتبه‌بندی نهایی راهکارها بر اساس روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و با مشارکت پانل خبرگی انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. این رویکرد شفافیت و قابلیت تکرارپذیری رتبه‌بندی را افزایش می‌دهد امتیازدهی به راهکارها با مشارکت پانل خبرگی و بر اساس چهار معیار اصلی انجام شد که ضریب توافق ۸۲٪ نشان‌دهنده همسانی نظرات ارزیابان است. در این مطالعه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

مروری سیستماتیک، ۳۵ مقاله مرتبط با راهکارهای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران مورد بررسی و ارزیابی تطبیقی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که راهکارهای آبخیزداری با امتیاز ۱۴ از ۲۰، راهکارهای بیولوژیک و مدیریتی با امتیاز ۱۲ از ۲۰ و مالچ نفتی با امتیاز ۷ از ۲۰ به ترتیب بالاترین تا پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص دادند.

برتری راهکارهای آبخیزداری

برتری راهکارهای آبخیزداری را می‌توان در سه سطح مکانیسمی تبیین کرد:

۱- سطح فیزیک خاک: عملیات آبخیزداری (مانند پخش سیلاب، کنتورفارو و بانکت‌بندی) با افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش رواناب سطحی، موجب افزایش ذخیره رطوبت در پروفیل خاک می‌شود. افزایش رطوبت خاک به‌طور مستقیم آستانه بحرانی فرسایش بادی را افزایش می‌دهد، به این معنی که برای جدا شدن ذرات خاک از سطح، به سرعت باد بیشتری نیاز است[۸]. همچنین افزایش رطوبت خاک باعث افزایش چسبندگی بین ذرات و تشکیل پوسته سطحی می‌شود که مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی را افزایش می‌دهد.

۲- سطح هیدرولوژی سطحی: پخش سیلاب و مدیریت رواناب، با تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و افزایش سطح ایستابی، باعث احیای پوشش گیاهی در مناطق پایین‌دست می‌شود. این امر به‌ویژه در مناطق خشک که محدودیت آب اصلی‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان است، نقش کلیدی ایفا می‌کند. افزایش پوشش گیاهی به‌نوبه خود، با افزایش زبری سطح و کاهش سرعت باد در مجاورت خاک، فرسایش بادی را کنترل می‌کند. این ویژگی در مقایسه با مالچ‌های نفتی که اثری زودگذر و آلاینده دارند، از پایداری بالاتری برخوردار است[۲۷].

۳- سطح اکوفیزیولوژی گیاهی: احیای پوشش گیاهی با گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری (مانند تاغ، گز و قره‌داغ) با افزایش زبری سطح، کاهش سرعت باد در مجاورت خاک و تثبیت فیزیکی ذرات خاک توسط سیستم ریشه‌ای، فرسایش بادی را به‌طور مؤثر کنترل می‌کند. سیستم ریشه‌ای عمیق این گونه‌ها با دسترسی به آب‌های زیرزمینی، پایداری خود را در شرایط خشکسالی حفظ کرده و نقش پایداری در تثبیت شن‌های روان ایفا می‌کنند. این سه سطح به‌طور هم‌زمان و در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند و برتری راهکارهای آبخیزداری را نسبت به رویکردهای تک‌بعدی (مانند کاشت تک‌گونه یا مالچ‌پاشی) توجیه می‌کنند. در مقابل، راهکارهای مکانیکی (مانند مالچ‌پاشی) صرفاً در سطح فیزیک خاک اثرگذاری موقتی دارند و فاقد اثرات پایدار در سطوح هیدرولوژی و اکوفیزیولوژی هستند. کاهش غلظت گرد و غبار در نتیجه اجرای عملیات آبخیزداری، به‌طور مستقیم با کاهش بیماری‌های تنفسی (آسم و برونشیت مزمن) در جوامع محلی همراه بوده است[۱۱]. این یافته با نتایج مطالعات پیشین در خاورمیانه و شمال آفریقا نیز همسو است[۸،۲۵].

تحلیل انتقادی

با وجود برتری آشکار راهکارهای آبخیزداری، باید به این نکته توجه داشت که بخش قابل‌توجهی از شواهد موجود(۸ مطالعه از ۱۱ مطالعه) مبتنی بر مطالعات کوتاه‌مدت(۳ تا ۷ سال) هستند و اطلاعات کافی درباره پایداری بلندمدت این راهکارها(بیش از ۱۰ سال) در دسترس نیست. همچنین بیشتر مطالعات در مقیاس محلی انجام شده‌اند و قابلیت تعمیم نتایج به سایر مناطق با شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت، نیازمند بررسی بیشتری است. علاوه بر این، موفقیت راهکارهای آبخیزداری به شدت به مشارکت جوامع محلی و حمایت‌های نهادی وابسته است که در بسیاری از مطالعات کمتر به آن پرداخته شده است[۲۶].

عوامل مخدوش‌کننده

در تفسیر یافته‌های این مطالعه، باید به نقش عوامل مخدوش‌کننده توجه داشت که می‌توانند بر اثربخشی راهکارهای کنترل ریزگرد تأثیر بگذارند:

۱- اقلیم و تغییرات آب‌وهوایی: مناطق مختلف ایران از نظر اقلیم (خشک، نیمه‌خشک و فراخشک) و الگوهای بارندگی تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند. اثربخشی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

راهکارهای بیولوژیک(مانند کاشت تاغ) در مناطق با بارندگی کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر در سال به شدت کاهش می‌یابد[۲۴]. همچنین تغییرات اقلیمی و افزایش دما می‌تواند خشکی خاک و شدت فرسایش بادی را تشدید کند و موفقیت راهکارها را تحت تأثیر قرار دهد[۸].

۲- نوع خاک و فرسایش‌پذیری: حساسیت خاک به فرسایش بادی تحت تأثیر بافت خاک (رسی، لومی، شنی)، میزان مواد آلی و رطوبت خاک قرار دارد. در مناطقی با خاک‌های شنی و سست، اثربخشی راهکارهای مکانیکی (مانند مالچ‌پاشی) ممکن است بیشتر باشد، اما پایداری آنها نیز کمتر است[۸].

۳- شدت خشکسالی: در دوره‌های خشکسالی طولانی، رطوبت خاک کاهش یافته و پوشش گیاهی تضعیف می‌شود و در نتیجه، اثربخشی راهکارهای بیولوژیک و آبخیزداری به شدت کاهش می‌یابد[۲۴]. این موضوع به‌ویژه در مناطق سیستان و خوزستان که با خشکسالی‌های مکرر مواجه هستند، مشهود است.

۴- شرایط اقتصادی و منابع مالی: اجرای راهکارهای آبخیزداری و مکانیکی نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل‌توجه است و در شرایط محدودیت منابع مالی، ممکن است اولویت با راهکارهای کم‌هزینه‌تر (مانند راهکارهای مدیریتی) باشد[۳]. همچنین مشارکت جوامع محلی در اجرا و نگهداری راهکارها، به وضعیت اقتصادی و معیشتی آنها وابسته است و در صورت نبود انگیزه‌های اقتصادی کافی، ممکن است با شکست مواجه شود[۲۶].

۵- مشارکت جوامع محلی و حمایت‌های نهادی: موفقیت راهکارهای مدیریتی و آبخیزداری به شدت به مشارکت جوامع محلی و حمایت دستگاه‌های اجرایی وابسته است. در مناطقی که برنامه‌های مشارکتی و آموزش‌های لازم ارائه نشده است، اثربخشی راهکارها به طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد[۲۴].

شکاف‌های دانش

با وجود تلاش‌های گسترده، هنوز شکاف‌های دانشی قابل‌توجهی در زمینه کنترل ریزگرد در ایران وجود دارد: (۱) فقدان مطالعات طولی بلندمدت (بیش از ۱۰ سال) برای ارزیابی پایداری واقعی راهکارها، (۲) عدم وجود شاخص‌های استاندارد برای سنجش پیامدهای سلامت در مطالعات مختلف، (۳) کمبود مطالعات اقتصادی برای ارزیابی هزینه-اثربخشی دقیق راهکارها، و (۴) فقدان پژوهش‌های جامعه‌شناختی درباره مشارکت جوامع محلی در اجرا و نگهداری راهکارها. این شکاف‌ها می‌توانند مسیری برای تحقیقات آینده ترسیم کنند. علاوه بر موارد فوق، وجود عوامل مخدوش‌کننده متعدد (اقلیم، نوع خاک، شدت خشکسالی، شرایط اقتصادی و مشارکت جوامع محلی) که در مطالعات اولیه به‌صورت یکسان گزارش نشده‌اند، مقایسه کمی دقیق بین مطالعات را با چالش مواجه کرده است.

محدودیت‌های مطالعه:

این مطالعه با محدودیت‌های متعددی مواجه بوده است که در تفسیر یافته‌ها باید مد نظر قرار گیرند:

۱- ناهمگونی بالای مطالعات اولیه: تنوع گسترده در طرح‌های مطالعه (مقطعی، طولی، مداخله‌ای، مروری)، روش‌های اندازه‌گیری (شاخص‌های مختلف سنجش ریزگرد، معیارهای متفاوت سلامت)، معیارهای ارزیابی (هزینه، اثربخشی، پایداری) و طول دوره‌های پیگیری (از چند ماه تا چند سال)، امکان تجمیع آماری داده‌ها (متاآنالیز) را از بین برده و مقایسه کمی دقیق را با چالش مواجه کرده است.

۲-کمبود مطالعات با کیفیت بالا: حدود ۱۷ درصد از مطالعات وارد شده (۶ مطالعه از ۳۵ مطالعه) در ارزیابی کیفیت با ابزارهای STROBE و AMSTAR-2 امتیاز پایین (کمتر از ۵۰٪) کسب کردند که می‌تواند بر اعتبار کلی یافته‌ها تأثیر بگذارد. هرچند تحلیل حساسیت نشان داد که حذف این مطالعات تغییری در اولویت‌بندی نهایی ایجاد نمی‌کند، اما وجود آنها به‌عنوان یک محدودیت محسوب می‌شود.

۳- عدم یکپارچگی در شاخص‌های سنجش پیامدهای سلامت: مطالعات مختلف از شاخص‌های متفاوتی برای

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

سنجش پیامدهای سلامت استفاده کرده‌اند (برخی درصد افزایش مراجعات اورژانس، برخی درصد افزایش بستری، برخی تعداد روزهای غبارآلود و برخی پرسش‌نامه‌های خوداظهاری). این ناهمگونی، مقایسه کمی دقیق پیامدهای سلامت را دشوار کرده است.

۴- محدودیت جغرافیایی و تعمیم‌پذیری: بیشتر مطالعات وارد شده در مناطق خاصی از ایران (به‌ویژه خوزستان، سیستان و بلوچستان و تهران) انجام شده‌اند و تعداد مطالعات در سایر مناطق (مانند خراسان، کرمان، فارس) محدود است. بنابراین، تعمیم نتایج به کل مناطق خشک ایران باید با احتیاط انجام شود.

۵- غیاب مطالعات بلندمدت: اکثر مطالعات (بیش از ۷۰ درصد) دارای دوره پیگیری کوتاه‌مدت (کمتر از ۵ سال) بودند و اطلاعات کافی درباره پایداری بلندمدت راهکارها (بیش از ۱۰ سال) در دسترس نیست. این موضوع، ارزیابی پایداری واقعی راهکارها را با محدودیت مواجه کرده است.

۶- کمبود داده‌های اقتصادی: تعداد محدودی از مطالعات (تنها ۳ مطالعه از ۳۵ مطالعه) به ارزیابی اقتصادی (هزینه-اثربخشی یا هزینه-فایده) راهکارها پرداخته‌اند. این کمبود، امکان ارزیابی دقیق هزینه-اثربخشی راهکارها را محدود کرده است.

۷- سوگیری انتشار[1]: با توجه به اینکه مطالعات با نتایج مثبت و معنی‌دار معمولاً شانس بیشتری برای انتشار در مجلات دارند، احتمال وجود سوگیری انتشار در این مرور سیستماتیک وجود دارد. هرچند به دلیل ناهمگونی بالای مطالعات و ماهیت توصیفی-تطبیقی این مطالعه، امکان بررسی کمی سوگیری انتشار، مانند نمودار قیفی یا آزمون‌های آماری مانند Egger's test میسر نبوده است. با این حال، برای کاهش تأثیر این سوگیری، جستجوی جامع در پایگاه‌های داده متعدد (شامل منابع خاکستری) از طریق Google Scholar و بررسی دستی فهرست منابع مطالعات کلیدی انجام شده است.

۸- محدودیت زمانی جستجو: جستجوی منابع تا تاریخ ۱۵ دسامبر ۲۰۲۴ انجام شده است و ممکن است مطالعات جدیدتر از این تاریخ در مقاله لحاظ نشده باشند.

پیامدهای سلامت ریزگردها

مطالعات متعدد بین‌المللی ارتباط قوی بین قرارگیری در معرض ریزگردها و پیامدهای نامطلوب سلامت را تأیید کرده‌اند. مواجهه کوتاه‌مدت با ریزگرد بیابانی با افزایش خطر مرگ و میر قلبی- عروقی و همچنین بیماری‌های تنفسی همراه است[31]. مطالعه و تحلیل داده‌های چندین کشور، شواهد قوی در مورد اثرات سوء طوفان‌های ریزگرد بر سلامت عمومی ارائه داده است. طوفان‌های شن و ریزگرد تهدید جهانی فزاینده برای سلامت عمومی معرفی شده و خواستار انجام مطالعات بین‌المللی در این زمینه شده است[15]. در یک مطالعه مروری و متاآنالیز در ایران نشان داده شد که میانگین غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی و مس در ریزگرد شهری ایران بالاتر از مقادیر زمینه طبیعی است و شاخص ریسک اکولوژیکی در شهرهای صنعتی و پرجمعیت در سطح قابل توجهی قرار دارد[18]. مطالعات مدل‌های ارزیابی سمیت ریوی ریزگرد بیابانی نشان داده است که ذرات ریزگرد می‌توانند پاسخ‌های التهابی قابل توجهی در دستگاه تنفسی ایجاد کنند[13]. همچنین بلایای طبیعی از جمله طوفان‌های ریزگرد به طور قابل توجهی سلامت تنفسی جمعیت‌های آسیب‌پذیر را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث افزایش حملات آسم، بستری‌های COPD و عفونت‌های تنفسی می‌شوند[4]. بر اساس آخرین گزارش‌های سازمان جهانی بهداشت[33]، غلظت ذرات معلق ۲/۵ میکرون در طوفان‌های ریزگرد منطقه خاورمیانه به بیش از ۴۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسیده است که ۱۶ برابر مقدار استاندارد (۲۵ میکروگرم بر متر مکعب در بازه ۲۴ ساعته) می‌باشد.

جایگاه راهکارهای بیولوژیک و مدیریتی

راهکارهای بیولوژیک و مدیریتی با امتیاز کل ۱۲ در اولویت دوم مشترک قرار گرفتند. راهکارهای بیولوژیک با

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به خشکی نظیر تاغ، گز و قره‌داغ، در مطالعات متعدد داخلی مورد تأکید قرار گرفته است. اثربخشی این راهکارها تدریجی (۳ تا ۵ سال) و وابسته به تأمین آب کافی برای استقرار گیاهان است. در شرایط خشکسالی‌های اخیر، بسیاری از عرصه‌های کشت شده در ایران با خشکیدگی مواجه شده‌اند که ضرورت همراهی راهکارهای بیولوژیک با آبخیزداری را نشان می‌دهد.

راهکارهای مدیریتی مانند قرق، تغییر کاربری اراضی و کشت نواری، علیرغم هزینه پایین‌تر، اثربخشی متوسط و وابسته به مشارکت جوامع محلی دارند. در یک مطالعه مروری سیستماتیک، استراتژی‌های کاهش خطر ریزگرد در مراکز درمانی شامل ارزیابی ریسک، ایجاد و بهبود سیستم‌های هشدار زودهنگام و هماهنگی بین‌بخشی معرفی شده است[۲۷]. این یافته نشان می‌دهد که راهکارهای مدیریتی بدون در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی و نهادی، با شکست مواجه خواهند شد.

از منظر تحلیل انتقادی، باید توجه داشت که اثربخشی راهکارهای بیولوژیک به شدت به تأمین آب کافی وابسته است و در شرایط خشکسالی‌های اخیر، بسیاری از عرصه‌های کشت‌شده (به‌ویژه تاغکاری‌ها) با خشکیدگی مواجه شده‌اند که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری این راهکارها در برابر تغییرات اقلیمی است[۲۴]. همچنین راهکارهای مدیریتی، هرچند هزینه کمتری دارند، اما موفقیت آنها به‌شدت به مشارکت جوامع محلی و اراده سیاسی وابسته است که در بسیاری از موارد با موانع جدی مواجه شده است.

چالش‌های راهکارهای مکانیکی (مالچ نفتی)

پایین‌ترین اولویت به مالچ نفتی با امتیاز کل ۷ اختصاص یافت. اگرچه این روش از اثربخشی فوری و بالایی برخوردار است (کاهش فوری کانون‌ها طی ۱ تا ۳ ماه)، اما پایداری بسیار کم (۲ تا ۵ سال) و پیامدهای منفی شدید زیست‌محیطی و سلامت دارد.

از منظر مکانیسمی، اثرات منفی مالچ نفتی بر سلامت انسان را می‌توان به سه مسیر اصلی تقسیم کرد:

۱- مواجهه استنشاقی: ذرات معلق ناشی از تبخیر ترکیبات فرار نفتی (مانند BTEX - بنزن، تولوئن، اتیل‌بنزن و زایلن) در حین اجرا و پس از آن، با تحریک مجاری تنفسی و ایجاد استرس اکسیداتیو، باعث افزایش بیماری‌های تنفسی (آسم و برونشیت مزمن) می‌شوند. دوز مؤثر این ترکیبات به غلظت و مدت مواجهه بستگی دارد و در کارگران اجراکننده مالچ و ساکنان مناطق مجاور، به‌ویژه در فصول گرم که تبخیر افزایش می‌یابد، به حداکثر می‌رسد. سه مطالعه (۷۵ درصد) به افزایش شکایات تنفسی و تحریکات پوستی در میان کارگران و ساکنان مناطق مجاور اشاره کرده بودند[۱۰،۱۶،۲۱].

۲- مواجهه پوستی: تماس مستقیم کارگران با مالچ نفتی می‌تواند باعث تحریکات پوستی، درماتیت تماسی و جذب از طریق پوست شود. ترکیبات آروماتیک موجود در نفت خام به‌عنوان عوامل سرطان‌زای بالقوه شناخته شده‌اند و مواجهه مزمن با آنها می‌تواند خطر ابتلا به سرطان‌های پوستی را افزایش دهد. مطالعات متعدد بر پیامدهای منفی مالچ‌های نفتی تأکید دارند[۱۰،۱۶،۲۱].

۳- مواجهه گوارشی: نفوذ ترکیبات نفتی به خاک و آب‌های زیرزمینی، با ورود به زنجیره غذایی (از طریق محصولات کشاورزی و آب آشامیدنی) می‌تواند اثرات سرطان‌زایی بالقوه داشته باشد. این مسیر مواجهه به‌ویژه در مناطقی که منابع آب زیرزمینی برای کشاورزی و شرب استفاده می‌شوند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. سه مطالعه (۷۵ درصد) به آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی، کاهش نفوذپذیری خاک و سمی بودن برای جوانه‌زنی گیاهان اشاره کرده بودند[۱۰،۱۶،۲۱].

این یافته با نتایج مطالعات متعدد که بر پیامدهای منفی مالچ‌های نفتی تأکید دارند، همسو است و نشان می‌دهد که این روش، علی‌رغم اثربخشی فوری، به دلیل پایداری کم

1.Publication Bias

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

و پیامدهای منفی شدید زیست‌محیطی و سلامت، پایین‌ترین اولویت را به خود اختصاص داده است.

نتیجه‌گیری

مقاله حاضر با انجام یک مرور سیستماتیک بر اساس دستورالعمل PRISMA و با استفاده از ۳۵ منبع معتبر، به ارزیابی تطبیقی چهار دسته راهکار کنترل ریزگرد (بیولوژیک، مکانیکی، مدیریتی و آبخیزداری) در مناطق خشک ایران پرداخت. یافته‌های این مطالعه نشان داد که راهکارهای آبخیزداری با امتیاز کل ۱۴ بالاترین اولویت را در میان چهار دسته راهکار مورد بررسی به خود اختصاص دادند. بر اساس شواهد موجود، این راهکارها به عنوان یکی از پایدارترین و کم‌خطرترین گزینه‌های موجود برای کنترل ریزگرد در مناطق خشک ایران به نظر می‌رسند. این راهکارها با کاهش مؤثر کانون‌های ریزگرد (دامنه ۴۵ تا ۷۰ درصد طی ۳ تا ۷ سال، بر اساس ۸ مطالعه از ۱۱ مطالعه)، با پیامدهای مثبتی بر سلامت جامعه همراه بوده‌اند که بر اساس شواهد اولیه، کاهش ۱۵ تا ۳۰ درصدی بیماری‌های تنفسی در جوامع محلی را نشان می‌دهد. راهکارهای بیولوژیک و مدیریتی با امتیاز ۱۲ در اولویت دوم مشترک قرار گرفتند. با این حال، اثربخشی این راهکارها بر اساس شواهد موجود، تدریجی و وابسته به تأمین آب و مشارکت جوامع محلی به نظر می‌رسد. در مقابل، مالچ نفتی علیرغم اثربخشی فوری، به دلیل پایداری بسیار کم و پیامدهای منفی شدید زیست‌محیطی و سلامت، پایین‌ترین اولویت (امتیاز ۷) را به خود اختصاص داد.

بر اساس نتایج این مطالعه، بازنگری در سیاست‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز غرب و جنوب غرب کشور به عنوان یکی از پیش‌نیازهای اساسی موفقیت راهکارهای کنترلی پیشنهاد می‌شود. با توجه به تأکید مطالعات بر نقش منابع آب فرامرزی در تغذیه کانون‌های ریزگرد[۵،۲۴]، به نظر می‌رسد که مذاکرات دیپلماتیک با کشورهای همسایه برای مدیریت پایدار منابع آب مشترک نیز می‌تواند در کنار راهکارهای داخلی، به کاهش شدت این پدیده کمک کند، هرچند بررسی دقیق اثربخشی این رویکرد نیازمند مطالعات بین‌رشته‌ای بیشتری است. همچنین طراحی الگوی مطالعاتی یکپارچه برای پایش راهکارها و بررسی اثرات ترکیبی آن‌ها از اولویت‌های تحقیقاتی آینده می‌باشد.

بر اساس یافته‌های این مطالعه، یک مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه ریزگردها پیشنهاد می‌شود که شامل سه مؤلفه اصلی است: (۱) اقدامات آبخیزداری به‌عنوان راهکار اصلی و پایدار، (۲) اقدامات بیولوژیک و مدیریتی به‌عنوان راهکارهای مکمل (با تأکید بر مشارکت جوامع محلی) و (۳) اجتناب از راهکارهای مکانیکی با پیامدهای منفی زیست‌محیطی و سلامت (مانند مالچ نفتی). این مدل می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی عملیاتی در مناطق مختلف ایران قرار گیرد.

تأکید می‌شود که نتایج این مطالعه مبتنی بر شواهد موجود از ۳۵ مطالعه منتخب است و با توجه به محدودیت‌های ذکر شده (ناهمگونی مطالعات، کمبود مطالعات بلندمدت و پراکندگی جغرافیایی)، تعمیم‌پذیری نتایج باید با احتیاط انجام شود.

پیشنهادات برای تحقیقات آینده

بر اساس یافته‌ها و محدودیت‌های این مطالعه، پیشنهادات زیر برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود:

۱- مطالعات طولی بلندمدت بومی‌سازی‌شده: انجام مطالعات طولی بلندمدت (دست کم ۱۰ ساله) در مناطق کلیدی ایران (خوزستان، سیستان، کرمان و خراسان) برای ارزیابی اثربخشی واقعی و پایداری راهکارهای آبخیزداری و بیولوژیک، با تأکید بر شرایط خشکسالی و ترسالی در هر منطقه.

۲- مدل هزینه-اثربخشی منطقه‌ای: ارائه مدل هزینه-اثربخشی برای هر هکتار عملیات آبخیزداری در اقلیم‌های مختلف ایران (خشک، نیمه‌خشک و فراخشک) با در نظر گرفتن هزینه‌های مستقیم (اجرا و نگهداری) و غیرمستقیم (کاهش هزینه‌های سلامت و مهاجرت).

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

۳- ارزیابی تغییر اقلیم: ارزیابی تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های (CMIP6) بر موفقیت راهکارهای بیولوژیک (مانند کاشت تاغ، گز و قره‌داغ) در افق ۲۰ ساله در مناطق مختلف ایران.

۴- بررسی دیپلماسی آب با کشورهای همسایه: انجام مطالعات بین‌رشته‌ای برای بررسی دقیق نقش مذاکرات دیپلماتیک با عراق و افغانستان در مدیریت منابع آب فرامرزی و کاهش شدت ریزگردهای ورودی به ایران، با تأکید بر کانون‌های بحرانی غرب و شرق کشور.

۵- طراحی الگوی مطالعاتی یکپارچه: طراحی الگوی مطالعاتی یکپارچه و استاندارد برای پایش راهکارهای کنترل ریزگرد که شامل شاخص‌های مشترک هزینه، اثربخشی، پایداری و پیامدهای سلامت باشد و قابلیت اجرا در تمام مناطق خشک ایران را داشته باشد.

۶- بررسی اثرات ترکیبی راهکارها: بررسی اثرات ترکیبی راهکارها با رویکرد منطقه‌ای، به عنوان مثال تلفیق آبخیزداری و بیولوژیک (کاشت گونه‌های مقاوم در قالب عملیات پخش سیلاب) در استان‌های غربی و تلفیق مدیریتی و بیولوژیک (قرق همراه با بذرکاری) در استان‌های شرقی.

۷- مطالعات جامعه‌شناختی و اقتصادی: انجام پژوهش‌های جامعه‌شناختی و اقتصادی برای شناسایی موانع و انگیزه‌های مشارکت جوامع محلی در اجرا و نگهداری راهکارها، با تأکید بر معیشت پایدار جوامع روستایی در مناطق درگیر ریزگرد.

۸- استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری مشارکتی: استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری مشارکتی مانند Delphi و AHP برای اولویت‌بندی راهکارها با مشارکت ذی‌نفعان محلی (کشاورزان، دامداران و مدیران محلی) به منظور افزایش قابلیت پذیرش و اجرای راهکارها.

پیشنهادات سیاستی ارائه‌شده در این مطالعه، بر اساس شواهد موجود از ۳۵ مطالعه منتخب تدوین شده‌اند و اجرای آنها باید با در نظر گرفتن شرایط بومی هر منطقه، مشارکت جوامع محلی و مشورت با کارشناسان اجرایی صورت پذیرد. اثربخشی این پیشنهادات نیازمند ارزیابی میدانی در مقیاس محلی است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از اعضای محترم هیأت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی که در ارتقای کیفیت این مقاله نقش مؤثری ایفا نمودند، صمیمانه قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافع مادی، علمی یا شخصی در ارتباط با انجام و انتشار این پژوهش ندارند.

حمایت مالی

این پژوهش بدون دریافت هرگونه کمک مالی از سازمان‌ها، نهادها یا مؤسسات تأمین‌کننده بودجه انجام پذیرفته است.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه بر اساس اصول اخلاقی پژوهش و استانداردهای ملی و بین‌المللی صورت گرفته است. با توجه به اینکه پژوهش حاضر فاقد هرگونه مداخله انسانی یا استفاده از نمونه‌های انسانی و حیوانی بوده، نیازی به اخذ کد اخلاق نداشته است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان در کلیه مراحل پژوهش شامل طراحی مطالعه، گردآوری داده‌ها، تحلیل یافته‌ها و نگارش یا بازنگری نسخه نهایی مقاله مشارکت داشته‌اند و مسئولیت کامل صحت و سقم مطالب ارائه‌شده را بر عهده می‌گیرند.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]

References

1. Ashrafi K, Shafiepour-Motlagh M, Aslemand A, Ghader S. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. J Environ Health Sci Eng. 2014;12(1):9.
2. Rashki A, Kaskaoutis DG, Goudie AS, Kahn RA. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. Sci Total Environ. 2013; 463:552-564.
3. Shahbazi A, Salehi Komroudi M. The estimation of the willingness to pay to decrease haze in Ahvaz and its determinants. J Environ Sci Stud. 2019;4(3):1125-1131. [In Persian]
4. Birjandi N, Ghiyadi M. Evaluation of climatic effects of dust on air pollution in southwestern Iran. J Environ Health Eng. 2021;9(2):211-220. [In Persian]
5. Rahimi R, Seddough SN. Patterns and internal sources of Tehran dust. Res Earth Sci. 2021;12(48):86-107. [In Persian]
6. Ahmady-Birgani H, Engelbrecht J, Bazgir M. What different source regions across the Middle East change aerosol and dust particle characteristics. Desert. 2019;24(1):61-73.
7. Aghababaeian H, Ostadtaghizadeh A, Ardalan A, et al. Global health impacts of dust storms: a systematic review. Environ Health Insights. 2021; 15:11786302211018390.
8. Middleton N. Sand and dust storms: a global problem requiring international cooperation. Nat Hazards. 2023;117(2):1085-1105.
9. Molamiri S, Rashki A, Kaskaoutis DG. Assessment of heavy metal contamination and ecological risk in dust fall around cement industry, Kerman province. J Environ Health Eng. 2025;13(1):45-62. [In Persian]
10. Davari M, Khabiri MM, Fallah Tafti M. The effect of pollutants, dust and dune sand covered over the surface of asphalt pavements on road safety (Case study: Sistan and Blouchestan province, Iran). J Environ Sci Stud. 2019;4(1):1123-1129. [In Persian]
11. Tobias A, Karanasiou A, Amato F, et al. Short-term exposure to desert dust and sandstorms and all-cause and cause-specific mortality and morbidity: a systematic review and meta-analysis. Environ Int. 2025; 196:109277.
12. Tobias A, Rodríguez-Miguel A, Pérez-García M, et al. Desert dust, sandstorms, and infectious diseases: a scoping review. Environ Res. 2025; 268:122582.
13. Bredeck G, Schmid O, Wick P, et al. Models to evaluate the pulmonary toxicity of desert dust and what we have learned from them so far: a mini-review. Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol. 2025;398(9):11349-11356.
14. Lwin KS, Tobias A, Chua PL, et al. Effects of desert dust and sandstorms on human health: a scoping review. Geohealth. 2023;7(3): e2022GH000728.
15. World Health Organization. WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Geneva: WHO; 2021.
16. Goudarzi G, Shirmardi M, Naimabadi A, et al. Chemical and organic characteristics of PM2.5 particles and their in-vitro cytotoxic effects on lung cells: the Middle East dust storms in Ahvaz, Iran. Sci Total Environ. 2019; 655:434-445.
17. Hamidian M, Mousavi Bideleh S, Rahmani A. Dust air pollution and hospital visits for respiratory, cardiovascular, and eye diseases in Eastern Iran. Sci Rep. 2025;15(1):2237.
18. Kamani H, Ashrafi SD, Isazadeh S, et al. Heavy metal contamination in street dusts with various land uses in Zahedan, Iran. Bull Environ Contam Toxicol. 2015;94(3):382-386.
19. Saeedi M, Li LY, Salmanzadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. J Hazard Mater. 2012; 227:9-17.
20. Sadeghdoust F, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T. Hazard, ecological, and human health risk assessment of heavy metals in street dust in Dezful, Iran. Arab J Geosci. 2020;13(19):1-14.
21. Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, et al. Ecological and human health hazards of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Isfahan metropolis, Iran. Sci Total Environ. 2015; 505:712-723.
22. Sobhanardakani S. Ecological and human health risk assessment of heavy metal content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. Biol Trace Elem Res. 2019;187(2):602-610.
23. Keshavarzi B, Tazarvi Z, Rajabzadeh MA, Najmeddin A. Chemical speciation, human health risk assessment and pollution level of selected heavy metals in urban street dust of Shiraz, Iran. Atmos Environ. 2015; 119:1-10.
24. Nature of Iran Journal. Challenging dialogue on the history, process and consequences of dust in Iran and the world. Nature Iran. 2021;5(6):69-80. [In Persian]
25. Querol X, Tobias A, Pérez N, et al. Monitoring and forecasting of desert dust events in the Mediterranean. Atmosphere. 2023;14(8):1256.
26. Sarani A, Miri M, Rakhshani T, et al. Mitigation strategies of healthcare centers for dust hazard: a systematic review. J Educ Health Promot. 2025; 14:87.
27. Faraydoni Gavasaraei M, Sorahinobar M, Kiarostami K. Application of plants in the removal of oil contaminants. J Biosci. 2022;7(77):31-45. [In Persian]
28. Zhang Z, Zhou Q, Peng S, Cai Z. Remediation of petroleum contaminated soils by joint action of Pharbitis nil L. and its microbial community. Sci Total Environ. 2010;408(22):5600-5605.
29. Abdollahinejad B, Pasalari H, Farzadkia M. Ecological risk assessment of soils contaminated with heavy metals around landfill sites in Iran: a systematic review. J Environ Health Eng. 2025;13(3):251-267. [In Persian]
30. Moher D, Shamseer L, Clarke M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. Syst Rev. 2015;4(1):1.
31. Li T, Wang Y, Zhang Y, et al. Sand and dust storms: a growing global health threat calls for international health studies to support policy action. Lancet Planet Health. 2025;9(1): e1-e3.
32. Annesi-Maesano I, D'Amato G, Cecchi L, et al. Natural disasters and respiratory health. Eur Respir J. 2025;66(4):2402563.
33. Mohammadi MJ, Farhadi M, Ghanbari S, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in urban dust in Iran: a systematic review and meta-analysis. Toxicol Rep. 2023; 11:471-480.
34. Ghanavati N, Nazarpour A, Watts MJ. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. Environ Geochem Health. 2019;41(2):875-890.
35. Nazarpour A, Ghanavati N, Watts MJ. Spatial distribution and human health risk assessment of mercury in street dust resulting from various land-use in Ahvaz, Iran. Environ Geochem Health. 2018;40(2):693-704.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.66224/jehe.14.1.66]