



مروری جامع بر روش های نوین مقابله با بیابان زایی: معرفی بیابان زدایی هوشمند به عنوان مؤثرترین روش

حمزه سعیدیان^۱✉، کهزاد حیدری^۱، محمود نجفی زلیایی^۲، سعید مهرجو^۳، مهدی محمدی مقدم^۴

- ۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
- ۲- محقق بخش تحقیقات جنگل ها و مراتع، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
- ۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
- ۴- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	در این پژوهش، بیابان زایی به عنوان یکی از مهم ترین معضلات محیط زیستی ایران و جهان معرفی می شود که بر اثر شکنندگی اکوسیستم های خشک و نیمه خشک و فشار فعالیت های انسانی پدید می آید. این پدیده به فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی، افت سطح آب های زیرزمینی، نابودی پوشش گیاهی و افزایش گردوغبار منجر می شود و پیامدهای گسترده اقتصادی-اجتماعی مانند بیکاری، فقر، مهاجرت و کاهش امنیت غذایی در پی دارد. بیابان زایی تنها به عوامل اقلیمی محدود نیست و ساختار زمین شناسی، کیفیت آب و خاک و دخالت نادرست انسان نیز در تشدید آن نقش دارند. با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به مواد غذایی و منابع طبیعی، فشار بر اراضی بیشتر شده و تخریب آن ها شدت می گیرد؛ درحالی که تغییرات اقلیمی نیز وضعیت را بدتر می کند. این تحقیق با هدف بررسی و تحلیل روش های مختلف مقابله با بیابان زایی در ایران و جهان انجام شده و ۲۱ روش مؤثر شناسایی شده است. نتیجه پژوهش نشان داد که ترکیب روش های سنتی با رویکردهای نوین، به ویژه «بیابان زدایی هوشمند»، می تواند کارآمدترین راهکار باشد. استفاده از فناوری هایی مانند پهپادها و روبات ها برای پایش، نقشه برداری، بذرپاشی، بازسازی پوشش گیاهی و مدیریت مناطق آسیب دیده، ظرفیت بالایی برای کنترل پیشروی بیابان دارد. این فناوری ها ضمن افزایش دقت و سرعت عملیات، امکان دسترسی به مناطق دشوار و اجرای برنامه های حفاظتی هدفمند را فراهم می کنند. در نهایت، تحقیق تأکید می کند که حفظ آب و خاک در مناطق بیابانی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و اجرای علمی و دقیق روش های نوین و سنتی، متناسب با ویژگی های هر منطقه، می تواند به کاهش سرعت بیابان زایی و بازگرداندن ارزش طبیعی این اراضی کمک کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۵/۰۱/۱۹	
کلید واژه ها: بیابان، کنترل بیابان زایی، روش های نوین و هوشمند، حفظ آب و خاک	

استناد: مهرجو، سعید، سعیدیان، حمزه، حیدری، کهزاد، نجفی زلیایی، محمود، کیومرثی، حامد، و محمدی مقدم، مهدی. (۱۴۰۵). مروری جامع بر روش های نوین مقابله با بیابان زایی: معرفی کنترل بیابان زایی هوشمند به عنوان مؤثرترین روش. *مجله پژوهش و فناوری محیط زیست*، ۱۱(۱۹)، ۳۱-۱۹.

doi: 10.66224/jert.52094.11.19.19

✉ پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Hamzah.4900@yahoo.com





A Comprehensive Review of Modern Methods for Combating Desertification: Introducing Smart Desertification Control as the Most Effective Approach

Hamzeh Saeidian^{1✉}, Kohzad Heidary¹, Mahmoud Najafi-Zilaei², Saeed Mehrjou³, Mehdi Mohammadi Moghaddam⁴

- 1- Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
- 2- Researcher, Department of Forest and Rangeland Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
- 3- Assistant Professor, Economic, Social and Extension Research Social and Economic, Social and Extension Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
- 4- Department of Agronomic and Horticultural Sciences Research, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Semnan Province (Shahrour), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrour, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received:
2024/05/13

Accepted:
2025/12/21

Available online:
2026/04/08

Keywords:

Desert,
Desertification
Control,
Modern and Smart
Methods,
Water and Soil
Conservation

Abstract

This study introduces desertification as one of the most serious environmental challenges in Iran and worldwide, arising from the fragility of arid and semi-arid ecosystems and the pressures resulting from human activities. It causes soil erosion, reduced fertility, declining groundwater levels, loss of vegetation, and increased dust events, with far-reaching socioeconomic consequences including unemployment, poverty, migration, and reduced food security. Desertification is not driven solely by climatic factors; geological structure, water and soil quality, and inappropriate human interventions also intensify it. Population growth and rising demand for food and natural resources increase pressure on land and accelerate degradation, while climate change further aggravates these conditions. This study aimed to investigate and analyze various methods for combating desertification in Iran and worldwide and identified 21 effective approaches. The findings show that integrating traditional methods with modern approaches—particularly “smart desertification control”—can provide the most effective strategy. Technologies such as drones and robots offer substantial potential for monitoring, mapping, seed sowing, vegetation restoration, and management of affected areas. They improve operational accuracy and speed, enable access to difficult areas, and support targeted conservation programs. The study ultimately emphasizes that water and soil conservation in desert areas is of particular importance. Scientific and precise implementation of modern and traditional methods, tailored to the characteristics of each region, can slow desertification and help restore the natural value of these lands.

Cite this article: Mehrjou, S., Saeidian, H., Heidary, K., Najafi-Zilaei, M., Kioumars, H., & Mohammadi-Moghadam, M. (2026). A comprehensive review of modern methods for combating desertification: Introducing smart desertification control as the most effective approach. *Journal of Environmental Research and Technology*, 11(19), 19-31.
[doi: 10.66224/jert.52094.11.19.19](https://doi.org/10.66224/jert.52094.11.19.19)

✉ Corresponding author E-mail address: Hamzah.4900@yahoo.com



© The Author(s).

Publisher: Environmental Research Institute (ACECR)

مقدمه

در فرهنگ ایران، واژه بیابان به مناطق خشک و کم‌آب و علف‌اتلاق می‌شود. بیابان‌زایی پدیده‌ای ناشی از شکنندگی اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک و فشار ناشی از بهره‌برداری ناپایدار از اراضی است (عبدی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). این پدیده یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی جهان محسوب می‌شود و در بسیاری از مناطق موجب کاهش تولیدات کشاورزی و افت کیفیت اراضی شده است (عبدالرحمن^۲، ۲۰۲۳). گسترش بیابان‌ها در دهه‌های اخیر باعث شده است که بیابان‌زایی به یکی از موضوعات مهم در علوم محیط‌زیست و بوم‌شناسی تبدیل شود.

بیابان‌زایی فرآیندی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و مدیریت نامناسب منابع طبیعی قرار دارد و به تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب منجر می‌شود. بر اساس تعریف ارائه‌شده توسط برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد در سال ۱۹۷۷، بیابان‌زایی به زوال اکوسیستم‌هایی اطلاق می‌شود که در آن‌ها ظرفیت تولید زیست‌توده گیاهی کاهش یافته یا از بین رفته است. این وضعیت علاوه بر شرایط اقلیمی، تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر ویژگی‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، کمیت و کیفیت آب و خاک و مداخلات انسانی قرار دارد. امروزه بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، از جمله سامانه‌های هوشمند پایش و هوش مصنوعی، امکان ارزیابی و مدیریت دقیق‌تر این پدیده را فراهم کرده است.

بیابان‌زایی پدیده‌ای با ابعاد محیط زیستی، اقتصادی و اجتماعی است که آثار آن در مناطق خشک، نیمه‌خشک و حتی برخی مناطق مرطوب مشاهده می‌شود (فائو^۳، ۲۰۲۲). ظهور فرآیندهای تخریبی در اکوسیستم‌ها، کاهش توان تولیدی اراضی، افت پوشش گیاهی، فرسایش خاک و کاهش منابع آب از مهم‌ترین پیامدهای آن به شمار می‌روند. در مناطق گرم و خشک، این روند می‌تواند با سرعت بیشتری گسترش یابد و خسارت‌های گسترده‌ای ایجاد کند. از این‌رو، سازگاری با شرایط خشکسالی، مدیریت صحیح منابع و کنترل فعالیت‌های مخرب انسانی نقش مهمی در کاهش آثار بیابان‌زایی دارد (هندوست^۴، ۲۰۱۱).

تخریب سرزمین و بیابان‌زایی امروزه در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه نواحی نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب، به یک چالش جدی تبدیل شده است (افشارنیا^۵، ۲۰۲۰). این پدیده علاوه بر نابودی پوشش گیاهی، تشدید فرسایش خاک، افت سطح آب‌های زیرزمینی، افزایش گردوغبار و کاهش حاصلخیزی اراضی، پیامدهای اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای نظیر فقر، بیکاری، ناامنی غذایی و مهاجرت را نیز به همراه دارد (لوهمان و لختنفلد^۶، ۲۰۱۵). رشد جمعیت، شهرنشینی، افزایش تقاضا برای غذا و تغییرات اقلیمی نیز فشار بیشتری بر منابع طبیعی وارد کرده و روند تخریب سرزمین را تشدید کرده‌اند.

تجربه بسیاری از پروژه‌های بیابان‌زدایی نشان داده است که تمرکز صرف بر جنبه‌های فنی، بدون توجه به ابعاد اجتماعی و اقتصادی جوامع محلی، اثربخشی این برنامه‌ها را کاهش می‌دهد. در کنار روش‌های سنتی نظیر کاشت گونه‌های مقاوم به خشکی، فناوری‌های نوینی همچون پهپادها، روبات‌ها، سامانه‌های هوشمند پایش و هوش مصنوعی ظرفیت بالایی برای ارتقای کارایی برنامه‌های احیا و کنترل بیابان‌زایی ایجاد کرده‌اند (آنسین-مورگوزور^۷ و همکاران، ۲۰۱۹). این فناوری‌ها امکان پایش دقیق‌تر، مدیریت بهینه منابع و اجرای سریع‌تر عملیات احیایی را فراهم می‌کنند.

هدف این مقاله، بررسی و تحلیل مهم‌ترین روش‌های نوین مقابله با بیابان‌زایی هوشمند در ایران و جهان و ارائه

1- Abdi

2- AbdelRahman

3- Food and Agriculture Organization (FAO)

4- Honardoust

5- Afsharinia

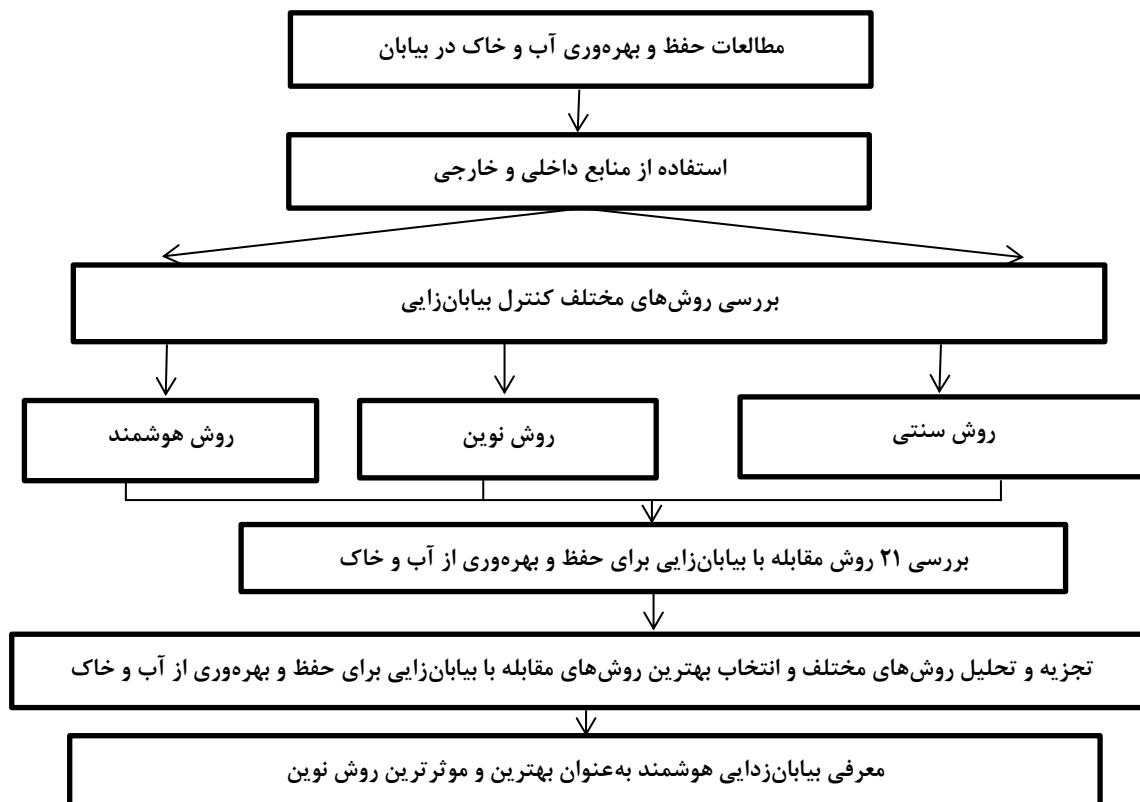
6- Lohmann & Lechtenfeld

7- Ancin-Murguzur

رویکردی جامع برای کنترل این پدیده با تأکید بر حفاظت از منابع آب و خاک است. همچنین، نقش فناوری‌های نوظهور از جمله هوش مصنوعی، پهپادها و روبات‌ها در مدیریت و احیای مناطق بیابانی مورد بررسی قرار می‌گیرد تا زمینه استفاده مؤثرتر از این ابزارها در برنامه‌های اجرایی کشور فراهم شود.

مواد و روش‌ها

شناخت روش‌های مختلف مقابله با بیابان‌زایی به منظور حفظ و بهره‌وری از آب و خاک در کشورهای مختلف، می‌تواند تجربه‌ای ارزشمند برای کشور ما با توجه به وسعت زیاد مناطق بیابانی باشد. در این تحقیق، به‌منظور شناسایی انواع روش‌های مقابله با بیابان‌زایی، از منابع داخلی و خارجی بهره‌گیری شده و در نهایت، ۲۱ روش مختلف شناسایی شد (جدول ۱). این تحقیق به بررسی و تحلیل روش‌های مختلف مقابله با بیابان‌زایی می‌پردازد و در نهایت بهترین روش‌ها را پیشنهاد می‌دهد. همچنین، تلاش شده است که تجزیه و تحلیل کاملی از تمامی روش‌های مورد مطالعه صورت گیرد و بر اساس تحلیل‌های علمی و داده محور، روش مناسب برای مقابله با بیابان‌زایی انتخاب شود. در این راستا، علاوه بر روش‌های سنتی و نوین، مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین و هوش مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی و شبیه‌سازی فرآیندهای بیابان‌زایی و انتخاب روش‌های مناسب برای هر منطقه به کار گرفته شده است. این مدل‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و نظارت هوشمند می‌توانند روند بیابان‌زایی را پیش‌بینی کنند و در مدیریت منابع طبیعی و آب در مناطق بیابانی مؤثر باشند. شکل (۱) نمودار مراحل انجام تحقیق را به‌صورت گام‌به‌گام نشان می‌دهد. همچنین، در این تحقیق به تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پهنه‌بندی‌های اقلیمی، مشاهدات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای پرداخته شده است که به انتخاب روش‌های مؤثر در مقابله با بیابان‌زایی کمک کرده است.



شکل (۱) نمودار مراحل انجام تحقیق

جدول (۱) تقسیم‌بندی ۲۱ روش سنتی، نوین و هوشمند مقابله با بیابان‌زدایی در ایران و دنیا

سنتی	نوین	هوشمند
کاهش سیل‌خیزی	استفاده از مالچ زیست‌شناختی	بیابان‌زدایی هوشمند
شناخت عوامل مؤثر در ایجاد بیابان‌زدایی	بهره‌گیری از انرژی‌های نوین	استفاده از فناوری‌های نوین
احداث بادشکن‌ها در مناطق حساس	اجرای عملیات آبخیزداری	استفاده از پهپادها و روبات‌ها
شناخت جوامع روستایی مرتبط با این پدیده	استفاده از فناوری گرواسیس	تحلیل داده‌های هوشمند
پیشگیری از این پدیده	استفاده از نانو رس مایع	مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی
بهبود وضعیت معیشت اقتصادی ساکنان	استفاده از تکنیک‌های نوین و مناسب برای کشاورزی	بررسی تأثیرات اجتماعی و اقتصادی
کنترل جمعیت و ایجاد اشتغال	توجه به کاربری و استعداد اراضی و آمایش سرزمین	مدیریت منابع با استفاده از هوش مصنوعی
بهره‌برداری معقول از منابع بیابانی	کشاورزی ارگانیک	بهره‌برداری بهینه از منابع طبیعی
تأمین منابع سوخت و انرژی	بازبینی در الگوی کشت در بخش کشاورزی	نظارت هوشمند و جمع‌آوری داده‌ها
استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی	-	سیستم‌های پیشرفته آبیاری هوشمند
تعدیل در برداشت از منابع آب زیرزمینی	-	-

یافته‌های پژوهش

امروزه استفاده از پهپادها و روبات‌ها به‌عنوان ابزارهای مؤثر در بیابان‌زدایی مورد توجه قرار گرفته است. این فناوری‌ها با بهبود پایش، جمع‌آوری داده‌ها و اجرای عملیات احیایی، امکان مدیریت دقیق‌تر مناطق آسیب‌دیده را فراهم می‌کنند (رجب^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). پهپادها در نقشه‌برداری، ارزیابی پوشش گیاهی، بذرپاشی، حفاظت خاک و شناسایی کانون‌های تولید ریزگرد کاربرد دارند (آنسین-مورگوزور و همکاران، ۲۰۱۹)، در حالی که روبات‌ها می‌توانند در کاشت بذر و بازسازی پوشش گیاهی مناطق صعب‌العبور نقش مؤثری ایفا کنند. ترکیب این فناوری‌ها با روش‌های سنتی، راهکاری جامع برای مقابله با بیابان‌زایی و احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده فراهم می‌سازد. در همین راستا، رابینسون^۲ و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی کاربرد پهپادها در اکولوژی احیا، ظرفیت بالای این فناوری را برای بهبود اهداف احیایی در سطوح مختلف تأیید کردند.

در سال‌های اخیر، پهپادها به‌ویژه در حوزه منابع طبیعی و کشاورزی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند و با کاهش هزینه‌ها و وابستگی به نیروی انسانی، امکان پایش مستمر مناطق بیابانی را فراهم کرده‌اند. این فناوری در مدیریت فرسایش، حفاظت خاک و پوشش گیاهی نقش مهمی دارد. با وجود هزینه اولیه نسبتاً بالا، توسعه تولید پهپادهای تجاری در کشور فرصت مناسبی برای پایش مناطق بیابانی فراهم کرده است. از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به نقشه‌برداری هوایی، نمونه‌برداری خاک، اندازه‌گیری رطوبت و پوشش گیاهی و پایش تغییرات زمانی در اکوسیستم‌های بیابانی اشاره کرد.

پهپادها و روبات‌ها امروزه با فناوری‌های هوش مصنوعی، سنجش‌ازدور و یادگیری ماشین تلفیق شده‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق در تحلیل داده‌های پهپادی، شناسایی مناطق بحرانی بیابان‌زایی و سرعت واکنش مدیریتی را بهبود داده است. همچنین، گزارش‌های منتشرشده از کشورهایی مانند چین نشان می‌دهد اجرای طرح‌های بیابان‌زدایی هوشمند مبتنی بر پهپاد، روبات و بذرهای پوشش‌دار، به احیای میلیون‌ها هکتار اراضی و

1- Rejeb

2- Robinson

کاهش چشمگیر ریزگردها منجر شده است؛ به گونه‌ای که در منطقه مغولستان داخلی بیش از ۳/۲۰ میلیون هکتار از اراضی بیابانی تا سال ۲۰۲۳ احیا شده است.

استفاده از پهنپاشها برای کاشت بذر و آبیاری هدفمند درختان، راهکاری سریع و کم‌هزینه برای توسعه پوشش گیاهی در مناطق بیابانی به شمار می‌رود. این سامانه‌ها با بهره‌گیری از حسگرهای مادون قرمز و سامانه‌های موقعیت‌یاب، نقاط بحرانی را شناسایی کرده و آب را به صورت دقیق و موضعی توزیع می‌کنند. در نتیجه، ضمن کاهش مصرف آب، بهره‌وری عملیات احیایی افزایش می‌یابد و امکان مدیریت مؤثرتر منابع محدود آبی در مناطق خشک فراهم می‌شود.

پهنپاشها با بهره‌گیری از سامانه‌های GPS می‌توانند نواحی هدف را شناسایی کرده و آب را به صورت قطره‌ای یا مه‌پاشی بر روی درختان توزیع کنند. این روش ضمن کاهش مصرف آب، موجب افزایش بهره‌وری و سلامت گیاهان می‌شود و هزینه‌های نیروی انسانی و زمان آبیاری را نیز کاهش می‌دهد. همچنین، این فناوری امکان جمع‌آوری داده‌های مربوط به رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی را فراهم می‌کند و به تصمیم‌گیری دقیق‌تر مدیریتی کمک می‌کند. در نتیجه، استفاده از پهنپاشها می‌تواند در توسعه پایدار کشاورزی مناطق بیابانی و افزایش تولید محصولات مؤثر باشد. علاوه بر این، از پهنپاشها می‌توان در سرشماری حیات وحش و حفاظت از گونه‌های در معرض خطر در مناطق بیابانی استفاده کرد.

بحران ریزگردها در سال‌های اخیر ضرورت بهره‌گیری از فناوری‌های نوین را بیش از پیش آشکار کرده است. پهنپاشهای مجهز به حسگرها و دوربین‌های پیشرفته می‌توانند با پایش دقیق شرایط محیطی و تغییرات سطح زمین، کانون‌های تولید ریزگرد را شناسایی کنند. داده‌های حاصل از این پایش‌ها به مدیران کمک می‌کند تا منابع تولید ریزگرد را شناسایی و اقدامات پیشگیرانه مناسب را اجرا کنند. این فناوری در مقایسه با روش‌های سنتی از سرعت و دقت بیشتری برخوردار است و نقش مهمی در بهبود کیفیت هوا و کاهش اثرات محیط زیستی ریزگردها ایفا می‌کند. شرایط سخت مناطق بیابانی، استفاده از سامانه‌های خودکار و رباتیک را ضروری ساخته است. روبات‌ها می‌توانند با کاهش هزینه‌ها، افزایش ایمنی و بهبود کارایی، در عملیات احیای سرزمین نقش مؤثری داشته باشند. این سامانه‌ها قادرند بذر و مواد مغذی را به طور هدفمند در خاک توزیع کرده و با استفاده از حسگرها و دوربین‌ها، بهترین زمان و مکان کاشت را تعیین کنند. همچنین، پایش مستمر گیاهان و انجام عملیات نگهداری و آبیاری از دیگر قابلیت‌های آن‌هاست. در نتیجه، روبات‌ها می‌توانند در احیای اکوسیستم‌های بیابانی و بهبود شرایط محیط زیستی مناطق خشک نقش مهمی ایفا کنند.

بیابان‌زدایی هوشمند مجموعه‌ای از راهبردهای نوآورانه برای جلوگیری از گسترش بیابان‌ها و بهبود شرایط محیط زیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. این رویکرد بر فناوری‌های نوین و مدیریت پایدار منابع طبیعی تأکید دارد و شامل روش‌هایی نظیر کاشت گونه‌های مقاوم به خشکی، سامانه‌های آبیاری هوشمند، بهبود خاک و بهره‌گیری از تحلیل داده‌ها و مدل‌سازی پیشرفته است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که ترکیب سنجش‌ازدور، داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی، فناوری‌های نوین را از ابزارهای کمکی به هسته اصلی عملیات احیای سرزمین تبدیل کرده است.

یکی از روش‌های مؤثر مقابله با بیابان‌زایی، استفاده از مالچ‌های زیست‌شناختی است که از بقایای گیاهی، مواد معدنی، پسماندهای صنعتی یا باکتری‌های تولیدکننده پلیمر ساخته می‌شوند. این مالچ‌ها با کاهش تبخیر و افزایش نفوذ آب، به بهبود شرایط خاک کمک می‌کنند (بوگونویچ و فیلیپوویچ^۱، ۲۰۲۳). همچنین مالچ‌های خاکی نظیر انواع گچی، آهکی و رسی در تثبیت خاک و کنترل ریزگردها کاربرد گسترده‌ای دارند (اصل^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) و با هزینه

1- Bogunović & Filipović

2- Asl

نسبتاً پایین می‌توانند سطح وسیعی از اراضی بیابانی را پوشش دهند (امامی^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در سال‌های اخیر، فناوری مالچ‌گذاری با استفاده از نانوذرات اصلاح‌شده و پوشش‌های میکروبی توسعه یافته است. نتایج مطالعات ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ نشان می‌دهد این فناوری‌ها می‌توانند جذب رطوبت را تا ۳۰ درصد افزایش و فرسایش بادی را تا ۲۰ درصد کاهش دهند. با این حال، ارزیابی اثرات بلندمدت محیط زیستی و اجتماعی آن‌ها ضروری است، زیرا برخی مطالعات نسبت به پیامدهای احتمالی این مواد بر پایداری اکوسیستم‌های بومی هشدار داده‌اند.

استفاده از نانو رس مایع نیز از دیگر روش‌های نوین مقابله با بیابان‌زایی است. این ماده که از آب و خاک رس تشکیل شده است، بر روی خاک‌های ماسه‌ای پاشیده می‌شود و با افزایش چسبندگی ذرات خاک، ظرفیت نگهداری آب و مواد مغذی را افزایش می‌دهد. در نتیجه، حاصلخیزی خاک بهبود یافته و مصرف آب بیش از ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. مطالعات جدید نشان می‌دهد که ترکیب نانو رس‌های زیستی با میکروارگانیسم‌های خاک‌زی، علاوه بر تثبیت خاک، فعالیت میکروبی را تا ۱۵ درصد افزایش داده و امکان استقرار گیاهان مقاوم به خشکی را در مناطق بسیار خشک فراهم می‌کند.

یکی از فناوری‌های نوین در کاهش مصرف آب و مقابله با بیابان‌زایی، فناوری گرواسیس است (کشاورز و دبیری^۲، ۱۴۰۰). این فناوری با الگوبرداری از سازوکارهای طبیعی، امکان استقرار نهال در اراضی خشک، بیابانی، سنگلاخی و کوهستانی را بدون نیاز به آبیاری متداول فراهم می‌کند (گروسیس^۳، ۲۰۱۷). در این روش، پس از بررسی ویژگی‌های اقلیمی و خاک منطقه، گونه‌های سازگار انتخاب می‌شوند. مهم‌ترین جزء این سامانه، واترباکس است که با ذخیره بارش‌ها و چگالش رطوبت هوا، آب موردنیاز نهال را تأمین کرده و از تبخیر آن جلوگیری می‌کند. پس از استقرار ریشه در اعماق خاک، گیاه قادر خواهد بود از منابع طبیعی رطوبتی بهره‌برداری کند.

فناوری گرواسیس در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان یکی از برترین نوآوری‌های فناوری سبز معرفی شد. سامانه واترباکس علاوه بر ذخیره نزولات جوی و رطوبت هوا، نقش محافظت‌کننده نهال در برابر باد را نیز ایفا می‌کند. این فناوری برای استقرار درختان مثمر، غیرمثمر و گونه‌های بوته‌ای کاربرد دارد (عابدی باباحیدری^۴ و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین، بهره‌گیری از حسگرها و داده‌های اقلیمی در این سامانه موجب افزایش بهره‌وری مصرف آب، بهبود کیفیت خاک و توسعه پایدار کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود.

یکی از راهکارهای مهم مقابله با بیابان‌زایی، احداث بادشکن در مناطق حساس و مستعد فرسایش بادی است (امیراسلانی^۵ و دراگوویچ^۶، ۲۰۱۱). بادشکن‌ها برای حفاظت از مزارع، باغ‌ها، دام‌ها و زیرساخت‌ها در برابر بادهای شدید به کار می‌روند و معمولاً عمود بر جهت باد غالب احداث می‌شوند تا سرعت باد و در نتیجه فرسایش خاک را کاهش دهند. این سازه‌ها می‌توانند به‌صورت طبیعی یا مصنوعی ایجاد شوند (پوده‌راسکا^۷ و همکاران، ۲۰۲۱). علاوه بر کاهش فرسایش و انتقال ذرات خاک، بادشکن‌ها در حفظ رطوبت خاک، بهبود شرایط رشد گیاهان، ایجاد زیستگاه برای حیات‌وحش و شکل‌گیری ریزاقلیم‌های مناسب نقش دارند؛ از این‌رو، به‌عنوان یکی از پایدارترین روش‌های مدیریت و کنترل بیابان‌زایی شناخته می‌شوند.

استفاده از گیاهان مقاوم به خشکی و شوری از دیگر راهکارهای مؤثر در کنترل بیابان‌زایی است (حسینی^۷ و همکاران، ۱۴۰۰؛ کنشلو^۸، ۱۳۸۰). گونه‌هایی مانند پاسپالوم، برموداگرس و سالیکورنیا با سازگاری بالا نسبت به شرایط

1- Emami

2- Keshavarz & Dabiri

3- Groasis

4- Abedi Babaheydari

5- Amiraslani & Dragovich

6- Podhrázka

7- Hosseini

8- Keneshloo

نامساعد محیطی، ضمن تثبیت خاک، در کاهش شوری و بهبود شرایط اکولوژیک مناطق خشک نقش مهمی ایفا می‌کنند.

یکی از راهکارهای مهم مقابله با بیابان‌زایی، به‌کارگیری روش‌های نوین کشاورزی در مناطق خشک و بیابانی است (شعاعی^۱ و همکاران، ۱۴۰۲). دو چالش اصلی این مناطق، کمبود منابع آب و تبخیر شدید ناشی از تابش خورشید است. در بسیاری از مناطق بیابانی، علاوه بر محدودیت منابع آبی، شوری آب نیز مشکلات فراوانی برای کشاورزی ایجاد می‌کند و استفاده از روش‌های سنتی آبیاری همچنان موجب تشدید این شرایط می‌شود. تبخیر شدید و تجمع نمک در سطح خاک، به کاهش حاصلخیزی و افت عملکرد محصولات منجر می‌شود. در چنین شرایطی، توسعه سامانه‌های نوین تولید، به‌ویژه کشت گلخانه‌ای، می‌تواند با افزایش بهره‌وری آب و تولید محصول در واحد سطح، نقش مؤثری در کاهش روند بیابان‌زایی داشته باشد (اسدی^۲ و همکاران، ۱۳۸۸).

کشاورزی ارگانیک نیز یکی از راهبردهای مؤثر در مدیریت پایدار سرزمین و مقابله با بیابان‌زایی است. این شیوه با حذف نهاده‌های شیمیایی، استفاده از کودهای آلی و روش‌های زیستی، موجب بهبود ساختار خاک، افزایش تنوع زیستی و تقویت ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. در نتیجه، فرسایش خاک کاهش می‌یابد، شوری کنترل می‌شود و بهره‌وری منابع آب افزایش می‌یابد. افزون بر مزایای محیط زیستی، تولید محصولات سالم‌تر و ارتقای معیشت جوامع محلی از دیگر دستاوردهای کشاورزی ارگانیک در مناطق خشک و بیابانی است.

کاهش سیل‌خیزی نیز از راهکارهای مهم مقابله با بیابان‌زایی محسوب می‌شود. افزایش وقوع سیلاب موجب جابه‌جایی خاک، کاهش پوشش گیاهی و تشدید تخریب سرزمین شده و روند بیابان‌زایی را تسریع می‌کند (کوندزویچ^۳ و همکاران، ۲۰۱۴؛ تیبو و براون^۴، ۲۰۰۸). از این‌رو، اجرای اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای کنترل سیلاب می‌تواند نقش مؤثری در کاهش گسترش بیابان‌ها داشته باشد.

اجرای عملیات آبخیزداری نیز از مؤثرترین ابزارهای مقابله با بیابان‌زایی به شمار می‌رود. این رویکرد با بهره‌گیری از اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای، در کنترل فرسایش، افزایش پوشش گیاهی و بهبود وضعیت منابع آب و خاک نقش مهمی دارد (رایش‌هوبر^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). تجربه اجرای طرح‌های آبخیزداری در مناطق مختلف ایران نشان داده است که این اقدامات می‌تواند علاوه بر بهبود شرایط محیط زیستی، زمینه توسعه اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی را نیز فراهم کند.

بحث و نتیجه‌گیری

آثار بیابان‌زایی از طریق بروز فرآیندهای تخریبی در اکوسیستم‌ها آشکار می‌شود و در مناطق گرم و خشک با سرعت بیشتری گسترش می‌یابد. با این حال، با به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی مناسب می‌توان از شدت و پیشروی این پدیده کاست. بیابان‌زایی حاصل عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی است و یکی از رویکردهای نوین برای مقابله با آن، بیابان‌زدایی هوشمند است. اگرچه روش‌های سنتی همچنان کاربرد دارند، اما به دلیل گستردگی اراضی بیابانی، کارایی آن‌ها محدود است و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین باید در اولویت برنامه‌های مدیریتی قرار گیرد.

شناخت عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی از الزامات مدیریت این پدیده است (گاتارا^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). در این میان، نقش انسان هم در تخریب و هم در احیای سرزمین بسیار تعیین‌کننده است. یکی از مهم‌ترین اقدامات مدیریتی، اصلاح

1- Shoaiei

2- Asadi

3- Kundzewicz

4- Thibault & Brown

5- Reichhuber

6- Gathara

الگوی کشت متناسب با ظرفیت اکولوژیک هر منطقه است. انتخاب محصولات سازگار با شرایط محیطی می‌تواند ضمن کاهش فشار بر منابع طبیعی، به کنترل روند بیابان‌زایی کمک کند (کرمیان و محمدیان^۱، ۱۳۹۱).

شناخت جوامع روستایی و شرایط اجتماعی - اقتصادی آن‌ها نیز از الزامات موفقیت برنامه‌های مقابله با بیابان‌زایی است (ساکانه^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). بیابان‌زایی صرفاً یک مسئله فنی نیست، بلکه ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی گسترده‌ای دارد (رضایی^۳ و همکاران، ۱۴۰۲). ساختارهای اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی روستاها تحت تأثیر شرایط محیطی هر منطقه شکل گرفته‌اند و بی‌توجهی به آن‌ها می‌تواند موجب شکست طرح‌های اجرایی و حتی ایجاد تعارض میان جوامع محلی و منابع طبیعی شود. تجربه طرح‌های گذشته نیز نشان داده است که نادیده گرفتن وضعیت معیشتی و اجتماعی مردم، مشارکت آن‌ها را کاهش داده و موفقیت برنامه‌های بیابان‌زدایی را محدود کرده است.

پیشگیری از بیابان‌زایی همواره مؤثرتر و کم‌هزینه‌تر از احیای اراضی تخریب‌شده است (ارزیابی هزاره اکوسیستم^۴، ۲۰۰۵). از این‌رو، حفاظت از اراضی در معرض خطر، توسعه سامانه‌های پایش و هشدار، ارتقای آگاهی عمومی و اجرای برنامه‌های کاهش فقر و بهبود معیشت جوامع محلی باید در اولویت قرار گیرد (رستگو و حسن‌فرد^۵، ۲۰۲۲). همچنین، گنجاندن برنامه‌های بیابان‌زدایی در طرح‌های توسعه ملی و تقویت آموزش‌های محیط زیستی نقش مهمی در کنترل این پدیده دارد (شعاعی و همکاران، ۱۴۰۲).

در سال‌های اخیر، مفاهیم نوینی مانند «خنثی‌سازی تخریب زمین» و تدوین خطوط پایه بیابان‌زایی برای پایش تغییرات سرزمین مورد توجه قرار گرفته‌اند. در کنار این رویکردها، بهبود وضعیت اقتصادی ساکنان مناطق خشک از مهم‌ترین راهبردهای مقابله با بیابان‌زایی محسوب می‌شود، زیرا فقر یکی از عوامل اصلی تشدید این پدیده است (رستگو و حسن‌فرد، ۲۰۲۲). توسعه فرصت‌های شغلی، ایجاد صنایع سازگار با شرایط محلی و کاهش وابستگی معیشت جوامع به بهره‌برداری مستقیم از منابع طبیعی می‌تواند فشار بر مراتع و اراضی شکننده را کاهش دهد. همچنین، مدیریت جمعیت و ارتقای کیفیت زندگی روستاییان از مهاجرت‌های گسترده و پیامدهای اجتماعی و محیط زیستی ناشی از آن جلوگیری می‌کند (ورون و همکاران، ۲۰۰۶).

بهره‌برداری اصولی و پایدار از منابع طبیعی نیز از ارکان اساسی مقابله با بیابان‌زایی به شمار می‌رود (دهمرده قلنو^۶ و همکاران، ۱۳۹۲). اگرچه اجرای طرح‌های احیایی ضروری است، اما حفاظت از منابع موجود و جلوگیری از تخریب بیشتر اراضی باید در اولویت قرار گیرد. مشارکت جوامع محلی و بهره‌برداری خردمندانه از منابع طبیعی می‌تواند با هزینه‌ای کمتر، نتایج پایدارتری در کنترل بیابان‌زایی به همراه داشته باشد.

تأمین منابع سوخت و انرژی در مناطق روستایی نیز از عوامل مؤثر در کاهش فشار بر اکوسیستم‌های بیابانی است (رودگرمی^۷ و همکاران، ۱۳۹۰). در بسیاری از مناطق، استفاده از هیزم و بوته‌کنی مراتع همچنان رایج است و به تخریب پوشش گیاهی منجر می‌شود. توسعه زیرساخت‌های انرژی و خدمات روستایی می‌تواند وابستگی به این منابع را کاهش دهد. علاوه بر این، کمبود نیروی متخصص یکی از چالش‌های مهم مدیریت بیابان‌زایی است. جذب دانشجویان در رشته‌های مرتبط، تربیت نیروهای متخصص و تأمین فرصت‌های شغلی مناسب می‌تواند به ارتقای ظرفیت علمی و اجرایی کشور در این حوزه کمک کند (رودگرمی و همکاران، ۱۳۹۰).

بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز یکی از راهبردهای مهم در مدیریت مناطق بیابانی است. استفاده از انرژی

1- Karamian & Mohammadian

2- Sacande

3- Rezaei

4- Millennium Ecosystem Assessment

5- Rastgoo & Hasanfard

6- Veron

7- Dahmardeh ghaleho

8- Roudgarmi

خورشیدی، بادی و زمین گرمایی ضمن کاهش فشار بر منابع طبیعی، می تواند زمینه توسعه پایدار این مناطق را فراهم کند (جیانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). ایران با برخورداری از تابش خورشیدی گسترده و مناطق مستعد انرژی بادی، ظرفیت بالایی برای توسعه این منابع دارد و می تواند از آن ها به عنوان فرصتی برای توسعه اقتصادی و محیط زیستی مناطق بیابانی بهره گیرد.

مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی نیز از الزامات مقابله با بیابانزایی محسوب می شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲). برداشت بی رویه از سفره های آب زیرزمینی باید کنترل شده و فرصت کافی برای احیای منابع آب فراهم شود. همچنین جلوگیری از تغییرات نامناسب کاربری اراضی و اعمال نظارت مؤثر بر توسعه های غیرمجاز می تواند از گسترش تخریب سرزمین جلوگیری کند. در کنار این اقدامات، ارتقای فرهنگ مصرف بهینه آب، به ویژه در بخش کشاورزی، اهمیت ویژه ای دارد و نیازمند برنامه های آموزشی و ترویجی گسترده است.

توجه به قابلیت ها و محدودیت های سرزمین و اجرای اصول آمایش سرزمین نیز نقش مهمی در کاهش بیابانزایی دارد (کرمیان و محمدیان، ۱۳۹۱). آمایش سرزمین با در نظر گرفتن ابعاد محیطی، اجتماعی، جمعیتی و اقتصادی، زمینه بهره برداری متناسب از منابع را فراهم کرده و از فشار بیش از ظرفیت بر اکوسیستم ها جلوگیری می کند. همچنین حفاظت از منابع آب و خاک از طریق اقدامات مهندسی و زیستی، از مهم ترین ابزارهای کنترل بیابانزایی به شمار می رود.

روش های کنترل بیابانزایی در سراسر جهان به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند و کشورهای مختلف از روش های سنتی و نوین برای مقابله با این پدیده بهره برداری می کنند. روش های سنتی مانند کاشت گیاهان مقاوم به خشکی، ایجاد بادشکن ها و استفاده از مالچ های زیست شناختی به عنوان میراث نسل های گذشته در برخی مناطق همچنان مورد استفاده قرار می گیرند، در حالی که روش های نوین و هوشمند، نظیر بیابانزدایی هوشمند، استفاده از پهپادها و روبات ها و مدیریت هوشمند منابع آبی به طور فزاینده ای در حال گسترش هستند. ترکیب این روش ها در هر منطقه می تواند در کنترل بیابانزایی مؤثر باشد، زیرا هیچ یک از این روش ها به تنهایی قادر به جلوگیری از روند بیابانزایی در سطح جهانی نیستند. نکته اساسی در این بخش، استفاده از یک رویکرد جامع است که ترکیبی از فناوری های نوین و روش های سنتی را در کنار یکدیگر قرار دهد تا به یک مدیریت مؤثر و پایدار منجر شود. نتایج تحقیق حاکی از آن است که بیابانزایی هوشمند باید به طور جدی مورد توجه محققان و مسئولان قرار گیرد. این رویکرد نوین، به ویژه با استفاده از فناوری های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، داده محور بودن و سیستم های نظارت هوشمند، می تواند به کاهش سرعت بیابانی شدن اراضی کمک کند و حتی باعث کاهش چشمگیر وسعت بیابان های جهانی شود. در این راستا، به کارگیری مدل های پیش بینی مبتنی بر یادگیری ماشین و داده های ماهواره ای می تواند روند بیابانزایی را پیش بینی کرده و در اجرای راهکارهای مؤثرتر در مقابله با این پدیده کمک کند.

با توجه به وسعت زیاد بیابان ها و دشواری های موجود، استفاده از بیابانزدایی هوشمند می تواند به کاهش سرعت گسترش بیابان ها در مناطق مختلف جهان کمک کند و از آسیب های بیشتر به محیط زیست جلوگیری کند. به این ترتیب، بیابان ها می توانند به عنوان یک پتانسیل ارزشمند و طبیعی به جایگاه واقعی خود در منابع طبیعی دنیا بازگردند و در جهت حفظ تنوع زیستی و توسعه پایدار بهره برداری شوند. این پتانسیل می تواند به توسعه کشاورزی پایدار و بهره برداری از منابع بیابانی برای تأمین مواد اولیه و انرژی های نوین، مانند انرژی خورشیدی و بادی، کمک کند. همچنین، در صورت استفاده صحیح از این منابع، مناطق بیابانی می توانند به عنوان کانون های اقتصادی و محیطی ارزشمند در فرآیندهای جهانی شناخته شوند.

1- Jiang

2- Wang

روش‌های مختلف ارائه شده در این تحقیق، با توجه به خصوصیات مناطق مورد مطالعه، می‌توانند در حفظ و بهره‌وری از آب و خاک در مناطق بیابانی مؤثر باشند. برای مثال، استفاده از پهنپایاها برای شبیه‌سازی وضعیت خاک و پوشش گیاهی و ربات‌ها برای کاشت و نگهداری درختان در مناطق سخت‌دسترس، از جمله تکنیک‌های نوآورانه‌ای هستند که می‌توانند مدیریت بیابان‌زایی را به شکلی دقیق و کارآمدتر انجام دهند. به علاوه، استفاده از مالچ‌های زیست‌شناختی و خاکی در تثبیت خاک و مقابله با ریزگردها به‌ویژه در مناطقی که به دلایل اقلیمی پوشش گیاهی ندارند، می‌تواند نقش کلیدی در کاهش اثرات منفی بیابان‌زایی ایفا کند.

در نتیجه، ضروری است که این روش‌ها به‌صورت علمی و دقیق و با توجه به شرایط خاص هر منطقه به کار گرفته شوند. علاوه بر این، روش‌های مختلف حفظ و بهره‌وری از آب و خاک در مناطق بیابانی باید به‌طور جدی و همراه با نوآوری‌های متنوع توسعه یابد تا از پتانسیل ارزشمند بیابان‌ها به بهترین شکل ممکن بهره‌برداری شود. در این راستا، توجه ویژه به توسعه زیرساخت‌های تحقیقاتی، استفاده از فناوری‌های نوین و توانمندسازی جوامع محلی برای مشارکت فعال در پروژه‌های بیابان‌زدایی از اهمیت بسیاری برخوردار است. بیابان‌ها باید به‌عنوان منابع طبیعی در نظر گرفته شوند که با مدیریت صحیح می‌توانند در کنار تأمین انرژی، مواد اولیه و افزایش تنوع زیستی، به محیطی پایدار برای جوامع محلی تبدیل شوند.

منابع

- اسدی، علی، حسینی، سید محمود، عبداله‌زاده، غلامحسین، و قره‌قانی، اردوان (۱۳۸۸). تحلیل عوامل بازدارنده توسعه کشت‌های گلخانه‌ای (مطالعه موردی استان اصفهان). *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی/ایران*، ۴۰ (۱)، ۹۵-۱۰۵.
doi:20.1001.1.20084838.1388.40.1.10.7
- حسینی، سید علی، توکلی، محسن، رستمی‌نیا، محمود، و فتحی‌زاد، حسن (۱۴۰۰). بررسی اثرات گونه علف‌مار بر خصوصیات خاک مناطق بیابانی (مطالعه موردی: منطقه عین‌خوش، دهلران). *مهندسی/اکوسیستم بیابان*، ۱۰ (۳۰)، ۳۱-۵۰.
doi:org/10.22052/deej.2021.10.30.21
- دهمرده قلعه‌نو، محمدرضا، شهریاری، علیرضا، صابری، مرتضی، و خطیبی، رسول (۱۳۹۲). بررسی چگونگی بهره‌برداری از منابع طبیعی و اثر آن بر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه هامون سیستان). *تحقیقات مرتع و بیابان/ایران*، ۲۰ (۴)، ۶۷۹-۶۸۵.
doi:org/10.22092/ijrdr.2014.5807
- رضایی، محمدعلی، نیکو، شیما، و کابلی، سید حسن (۱۴۰۲). بررسی اثرات بیابان‌زایی بر وضعیت اقتصادی-اجتماعی مناطق روستایی (مطالعه موردی: روستاهای کلاته‌های شرقی شهرستان میامی). *جغرافیا و روابط انسانی*، ۶ (۲)، ۲۳۰-۲۵۶.
doi:org/10.22034/gahr.2023.401706.1892
- رودگرمی، پژمان، انصاری، ناصر، و فراهانی، ابراهیم (۱۳۹۰). بررسی عوامل اجتماعی-اقتصادی مؤثر در تخریب منابع طبیعی استان تهران. *تحقیقات مرتع و بیابان/ایران*، ۱۸ (۱)، ۱۵۱-۱۷۱.
doi:org/10.22092/ijrdr.2011.102052
- شعاعی، ضیاءالدین، کاظمی، رحیم، پرهمت، جهانگیر، نوروزی، علی‌اکبر، پیروان، حمیدرضا، شادفر، صمد، و زارعی، مجید (۱۴۰۲). امکان‌سنجی توسعه مناطق بیابانی با استفاده از روش بیابان‌زدایی اقتصادی و رویکرد مدیریت جامع حوزه آبخیز و استفاده از الگوهای موفق دنیا، طرح پایلوت منطقه رضآباد شهر بیارجمند-شهرستان شاهرود. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۱۱ (۴۱)، ۱۳-۳۱.
www.wmji.ir/article_709574.html
- عابدی باباحیدری، حبیب، فتاحی، روح‌اله، نامدار خجسته، داوود، و صمیمی شلمزاری، زهرا (۱۳۹۶). فناوری گرواسیس، راه‌حلی هیدرولوژیکی در کنترل پدیده بیابان‌زایی و گردوغبار. *دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی/ایران*، شهرکرد، ایران.
Civilica.com/doc/661702
- کرمیان، رضا، و محمدیان، علی (۱۳۹۱). آمایش سرزمین، راهکاری مناسب برای مقابله با خطر بیابان‌زایی در حوزه‌های آبخیز. *سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران/اراک، ایران*.
Civilica.com/doc/222693/
- کشاوری، محمدصادق، و دبیری، دانیال (۱۴۰۰). تحلیلی بر امکان استفاده از آبدان در استقرار پوشش گیاهی برای امکان نظامی و

- امنیتی مناطق بیابانی. *آماد و فناوری دفاعی*، ۴ (۴)، ۳۳-۵۶. **doi:20.1001.1.28212606.1400.4.12.2.1**
- کنشلو، هاشم (۱۳۸۰). جنگل کاری در مناطق خشک (جلد اول). مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، ۵۲۸ صفحه.
- AbdelRahman, M.A.E. (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 34, 767–808. **doi:org/10.1007/s12210-023-01155-3**
- Abdi, O. A., Glover, E. K., & Luukkanen, O. (2013). Causes and Impacts of Land Degradation and Desertification: Case Study of the Sudan. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 3(2), 40-51. **doi:org/10.5923/j.ijaf.20130302.03**
- Afsharinia, M. (2020). *Dealing with desertification and land degradation "Spatial strategies using vegetation"*. Iranian Associates Publications, 100 pages.
- Amiraslani, F., & Dragovich, D. (2011). Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management*, 92(1), 1-13. **doi:org/10.1016/j.jenvman.2010.08.012**
- Ancin-Murguzur, F.J., Munoz, L., Monz, C., & Hausner, V.H. (2019). Drones as a tool to monitor human impacts and vegetation changes in parks and protected areas. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6, 105–113. **doi:org/10.1002/rse2.127**
- Asl, F.N., Asgari, H.R., Emami, H., & Jafari, M. (2017). Stabilization of drifting sands using micro silicalime-clay mixture as a mulch. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(24), 536-545. **doi:org/10.1007/s12517-017-3318-0**
- Bogunović, I., & Filipović, V. (2023). Mulch as a nature-based solution to halt and reverse land degradation in agricultural areas. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 34, 100488. **doi:org/10.3390/su152115200**
- Emami, H., Karimi, A., & Mina, M. (2020). Evaluation of the efficiency of different mulches to combat wind erosion of sandy soil. *Sustainable Earth Trends*, 1(1), 20-26. **doi:org/10.48308/sustaineearth.2021.98994**
- FAO. (2022). *Evaluation of the project "Action Against Desertification in support of the implementation of the Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative, the United Nations to Combat Desertification and Drought action plans in Fiji and Haiti, and South-South cooperation in the African, Caribbean and Pacific Group of States"*. Project Evaluation Series, 06/2022. Rome.
- Gathara, S. T., Gringof, L. G., Mersha, E., Sinha Ray, K. C., & Spasov, P. (2006). Impacts of desertification and drought and other extreme meteorological events. *CAGM Report*, 101.
- Groasis. (2017). *Explanation of the Groasis Technology*. https://www.groasis.com/images/scientific_results/Appendix
- Honardoust, F., Ownegh, M., & Sheikh, V. (2011). Assessing desertification sensitivity in the northern part of Gorgan Plain, southeast of the Caspian Sea, Iran. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(3), 205-220.
- Jiang, Z., Lian, Y., & Qin, X. (2014). Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration. *Earth-Science Reviews*, 132, 1–12. **doi:org/10.1016/j.earscirev.2014.01.005**
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., ... & Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28.
- Lohmann, S., & Lechtenfeld, T. (2015). The effect of drought on health outcomes and health expenditures in rural Vietnam. *World Development*, 72, 432–448. **doi:org/10.1016/j.worlddev.2015.03.003**
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Podhrázská, J., Kučera, J., Doubrava, D., & Doležal, P. (2021). Functions of windbreaks in the landscape ecological network and methods of their evaluation. *Forests*, 12, 67. **doi:org/10.3390/f12010067**
- Rastgoo, M., & Hasanfard, A. (2022). Desertification in Agricultural Lands: Approaches to Mitigation. *IntechOpen*. **doi:10.5772/intechopen.98795**
- Reichhuber, A., Gerber, N., Mirzabaev, A., Svoboda, M., López Santos, A., Graw, V., ... & Jia, X. (2019). *The land-drought nexus enhancing the role of land-based interventions in drought mitigation and risk management*. In United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn.
- Rejeb, A., Abdollahi, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2022). Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 198, 107017. **doi:org/10.1016/j.compag.2022.107017**

- Robinson, J. M., Harrison, P. A., Mavoa, S., & Breed, M. F. (2022). Existing and emerging uses of drones in restoration ecology. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(9), 1899–1911. **doi:org/10.1111/2041-210X.13912**
- Sacande, M., Parfondry, M., & Cicatiello, C. (2020). *Restoration in action against desertification: A manual for large-scale restoration to support rural communities' resilience in Africa's Great Green Wall*. FAO. **doi:org/10.4060/ca6932en**
- Thibault, K.M., & Brown, J.H. (2008). Impact of an extreme climatic event on community assembly. *PNAS*, 105 (9), 3410–3415. **doi:org/10.1073/pnas.0712282105**
- Veron, S. R., Paruelo, J. M., & Oesterheld, M. (2006). Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*, 66, 751-763. **doi:org/10.1016/j.jaridenv.2006.01.021**
- Wang, Y., Zhao, Y., Yan, L., Deng, W., Zhai, J., Chen, M., & Zhou, F. (2022). Groundwater regulation for coordinated mitigation of salinization and desertification in arid areas. *Agricultural Water Management*, 271, 107758. **doi:10.1016/j.agwat.2022.107758**