FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHER)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 11, Number 1, Spring (2026)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Rangeland Restoration Strategies in Iran under Climate Change: A Comprehensive Three-Axis Adaptive Management Framework

Marzieh Alikhah Asl[1*]

[*]1. Assistant Professor, Department of Agriculture and Environment, Payame Noor University, Tehran, Iran
[*]Email Address: alikhahasl@pnu.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2026/02/17
Revised Date:
2026/04/19
Accepted Date:
2026/06/29
Published Date:
2026/07/01

Keywords:
Climate change,
Rangeland restoration,
Adaptive management,
Social–Ecological resilience,
Analytical framework

ABSTRACT

Iran’s rangelands, as sensitive ecosystems in arid and semi-arid regions, have been increasingly affected in recent decades by climate change, including rising temperatures, altered precipitation patterns, and intensified climatic variability. These changes have imposed considerable pressure on vegetation cover, biodiversity, and ecosystem functions. The aim of this study is to examine the impacts of climate change on the structure and functioning of Iran’s rangelands and to develop a coherent and operational analytical framework for their sustainable restoration under changing climatic conditions. This research was conducted using a systematic review and qualitative analysis of relevant national and international studies. The results indicate that traditional rangeland management approaches, due to their static and sectoral nature, are not capable of effectively addressing current challenges and climatic uncertainties. Consequently, rangeland management requires a dynamic and flexible framework with the capacity for continuous adaptation and revision. Based on the synthesis of existing evidence, this study proposes a three-axis framework under adaptive management, encompassing society, ecosystem, and technology. This framework enables the alignment of social actions, ecological interventions, and technological tools within a data-driven decision-making cycle. The proposed framework elevates rangeland restoration from fragmented and isolated measures to an integrated and holistic planning approach and, by reducing the risk of ecosystem degradation, conserving biodiversity, and enhancing ecological and social resilience, provides a foundation for sustainable rangeland restoration in Iran under conditions of climatic uncertainty.

Cite this article: Marzieh Alikhah Asl (2026) Rangeland Restoration Strategies in Iran under Climate Change: A Comprehensive Three-Axis Adaptive Management Framework. Journal of Environmental Sciences Studies, 11(1) , Pages 11057-11069.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Rangelands in Iran represent vital ecosystems within arid and semi-arid zones, supporting biodiversity, local livelihoods, and essential ecological processes. In recent decades, these ecosystems have increasingly been affected by climate variability, including rising temperatures, shifts in rainfall patterns, and extreme weather events. Such changes have amplified environmental pressures, intensified land degradation processes, and exposed the limitations of conventional management approaches. Reduced vegetation resilience, increased soil erosion, and altered phenological cycles illustrate how climatic stress interacts with existing land-use pressures. Despite accumulating research on climate impacts, most restoration strategies in Iran remain largely static, sector-based, and short-term, failing to account for the dynamic and uncertain nature of climate change. This study therefore seeks to consolidate scientific evidence on climate-driven transformations in Iranian rangelands and develop an adaptive, forward-looking restoration framework tailored to current and projected environmental conditions.

Materials and methods

A systematic review was performed, integrating qualitative analysis of national and international publications related to rangelands in Iran and comparable dryland systems. The literature examined included studies on vegetation trends, species composition, biodiversity responses, soil stability, carbon sequestration, water regulation, and management practices. Findings were analyzed thematically to identify recurring ecological patterns, key vulnerabilities, and structural weaknesses in existing restoration policies. Particular emphasis was placed on translating ecological insights into operational recommendations, enabling restoration strategies to respond to climatic uncertainty, socio-economic constraints, and evolving management priorities.

Results and discussion

Evidence indicates that climate change has led to declines in plant biomass, shifts toward drought- and heat-tolerant species, reductions in species diversity, and weakened ecosystem services such as carbon storage, soil protection, and hydrological regulation. These pressures are further compounded by overgrazing, fragmented governance, and limited monitoring capacity. Traditional restoration measures often assume environmental stability and therefore fail to accommodate fluctuating climatic conditions or feedback effects within ecosystems. In response, this study proposes a three-pronged framework emphasizing adaptive management, targeted ecological interventions, and data-informed decision-making. The framework encourages participatory governance, iterative evaluation, and the use of monitoring technologies to support learning-based management cycles. By prioritizing flexibility, ecological resilience, and functional recovery rather than strict historical restoration targets, the approach aims to improve long-term restoration effectiveness under uncertain climatic trajectories.

Conclusion

Successful restoration of Iranian rangelands under a changing climate requires moving away from rigid, prescriptive methods toward dynamic, responsive strategies capable of integrating ecological processes with social and technological dimensions. The proposed framework offers a context-sensitive pathway to strengthen ecosystem resilience, reduce degradation risks, and embed climate considerations into practical restoration planning. By linking scientific knowledge with adaptive governance and continuous monitoring, this approach provides actionable guidance for researchers, land managers, and policy makers, representing an important step toward sustainable and climate-resilient rangeland management in Iran. The study therefore underscores the need for restoration policies that remain flexible, evidence-based, and responsive to environmental feedback. Embedding adaptive learning mechanisms within management plans can significantly improve the durability of restoration outcomes. Such an approach positions climate-aware rangeland restoration as a key component of sustainable land governance in dryland regions.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۱، شماره ۱
Journal Homepage: www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHER)

راهکار احیای مراتع ایران در شرایط تغییرات اقلیمی: چارچوب سه‌محوری جامع مبتنی بر مدیریت انطباقی

مرضیه علی خواه اصل[۱*]

*۱- استادیار، گروه کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
*ایمیل نویسنده مسئول: alikhahasl@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۱۱/۲۸
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۵/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۵/۰۴/۰۸
تاریخ انتشار:
۱۴۰۵/۰۴/۱۰

کلید واژه ها:
تغییرات اقلیمی،
احیای مراتع،
مدیریت انطباقی،
تاب‌آوری اجتماعی-اکولوژیکی،
چارچوب تحلیلی

چکیده

مراتع ایران، به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های حساس مناطق خشک و نیمه‌خشک، در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای تحت تأثیر تغییرات اقلیمی از جمله افزایش دما، تغییر الگوهای بارش و تشدید نوسانات اقلیمی قرار گرفته‌اند؛ روندی که فشارهای قابل توجهی بر پوشش گیاهی، تنوع زیستی و کارکردهای اکوسیستمی این سامانه‌ها وارد کرده است. هدف این پژوهش، بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر ساختار و عملکرد مراتع ایران و دستیابی به یک چارچوب تحلیلی جامع و عملیاتی برای احیای پایدار آن‌ها متناسب با شرایط اقلیمی است. این مطالعه با بهره‌گیری از مرور نظام‌مند و تحلیل کیفی پژوهش‌های معتبر داخلی و بین‌المللی انجام شد. نتایج نشان داد که رویکردهای مدیریتی سنتی، به‌دلیل ماهیت ایستا و بخشی‌نگر، توان پاسخ‌گویی مؤثر به معضلات کنونی و عدم‌قطعیت‌های اقلیمی را ندارند و مدیریت مراتع نیازمند چارچوبی پویا، انعطاف‌پذیر با قابلیت انطباق و بازنگری مستمر می باشد. بر این اساس، این پژوهش با تلفیق شواهد موجود، به ارائه یک چارچوب سه‌محوری تحت مدیریت انطباقی شامل اجتماع، اکوسیستم و فناوری دست یافته است که امکان هم‌راستاسازی اقدامات اجتماعی، مداخلات اکولوژیک و ابزارهای فناورانه را در یک چرخه تصمیم‌گیری داده‌محور فراهم می‌کند. چارچوب پیشنهادی، احیای مراتع را از سطح اقدامات منفرد و پراکنده به سطح برنامه‌ریزی یکپارچه و کل‌نگر ارتقا داده و با کاهش ریسک تخریب اکوسیستم، حفظ تنوع زیستی و تقویت تاب‌آوری اکولوژیک و اجتماعی، زمینه احیای پایدار مراتع ایران را در شرایط عدم‌قطعیت اقلیمی فراهم می‌سازد.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/jess.2026.576148.2444

۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی، به‌ویژه در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک، الگوهای عملکردی و پویایی‌های اکولوژیک اکوسیستم‌های مرتعی را به‌طور ساختاری دگرگون کرده است. این اکوسیستم‌ها فراتر از کارکرد تولید علوفه، به‌عنوان تنظیم‌کننده چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، ذخیره‌کننده کربن خاک، کاهش‌دهنده فرسایش و حافظ تنوع زیستی عمل می‌کنند (Havstad et al., 2007; Conant et al., 2017). در دهه‌های اخیر، اهمیت مراتع در چارچوب کارکردهای اکوسیستمی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سلامت مراتع، ارتباط مستقیمی با تاب‌آوری اکوسیستم‌های خشکی در برابر تغییرات اقلیمی دارد (Reynolds et al., 2007).در مناطق خشک و نیمه‌خشک که نوسانات اقلیمی شدیدتر و منابع آب محدودتر است، مراتع، با وجود اهمیت حیاتی، سیستم‌هایی حساس به تغییرات محیطی هستند که عبور از مرزهای اکولوژیک می‌تواند پیامدهای برگشت‌ناپذیری ایجاد کند (Walker et al., 2004). از این منظر، تخریب مراتع نه فقط یک پدیده محلی، بلکه بخشی از بحران جهانی بیابان‌زایی و زوال سرزمین است (Reynolds et al., 2007).با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، اکوسیستم‌های مرتعی نقش حیاتی در تأمین نیازهای زیست‌محیطی و اقتصادی ایفا می‌کنند. تخمین‌ها نشان می‌دهد که مراتع، بیش از نیمی از سطح کشور را در بر می‌گیرند و به عنوان منابع کلیدی برای چرای دام و حفظ تنوع زیستی شناخته می‌شوند (Jafari & Zare Chahouki, 2018) و نقش کلیدی در کنترل فرسایش بادی و آبی، کاهش گرد و غبار، تغذیه آبخوان‌ها و حفظ تنوع زیستی ایفا می‌کنند. با این حال، فشارهای انسانی مداوم از جمله چرای مفرط، تغییر کاربری اراضی و ضعف نظام‌های مدیریتی، موجب کاهش شدید کیفیت و کارکرد این اکوسیستم‌ها گردیده است (Bagheri et al., 2019).مطالعات متعدد نشان می‌دهد که تخریب مراتع در ایران، نتیجه تعامل پیچیده عوامل انسانی و اقلیمی است. در حالی که فشار چرا و بهره‌برداری ناپایدار، از گذشته وجود داشته است، تغییر اقلیم به‌عنوان یک عامل تشدیدکننده، ظرفیت خود ترمیمی مراتع را به‌طور محسوسی کاهش داده است (Soussana et al., 2010). افزایش دما، کاهش بارش مؤثر و تغییر در الگوی توزیع زمانی بارندگی، رشد و زادآوری گونه‌های مرتعی را با اختلال مواجه کرده و اکوسیستم‌ها را به سمت ناپایداری سوق داده است (Alizadeh-Choobari et al., 2018).پیش‌تر، در حوزه احیای اکولوژیک، دیدگاه غالب بر این بود که اکوسیستم‌ها دارای یک وضعیت تعادلی ثابت هستند و با حذف عوامل تخریب و اعمال مداخلات مدیریتی می‌توان آن‌ها را به شرایط پیشین بازگرداند (Hobbs et al., 2006). این رویکرد که ریشه در اکولوژی تعادلی دارد، سال‌ها مبنای برنامه‌های احیای مراتع در بسیاری از کشورها از جمله ایران بوده است. با این حال، شواهد جدید علمی نشان می‌دهند که بسیاری از اکوسیستم‌های مرتعی به‌ویژه در مناطق خشک، ذاتاً غیرتعادلی، پویا و متاثر از شرایط محیطی هستند (Reynolds et al., 2007).در همین راستا، مفهوم آستانه‌های اکولوژیک و حالات پایدار متعدد[1] به عنوان چارچوبی کلیدی در فهم پویایی مراتع مطرح شده است. بر اساس این مفهوم، اکوسیستم می‌تواند پس از عبور از یک آستانه بحرانی، به وضعیتی جدید منتقل شود که بازگشت به حالت قبلی در آن، بسیار دشوار یا حتی غیرممکن است (Walker et al., 2004). تغییر اقلیم، با جابه‌جا کردن این آستانه‌ها یا کاهش فاصله اکوسیستم تا آن‌ها، ریسک شکست پروژه‌های احیای سنتی را افزایش داده است.در چنین شرایطی، رویکردهای نوین مدیریت به‌جای تمرکز بر بازسازی کامل گذشته، بر حفظ کارکردهای اکوسیستمی، افزایش تاب‌آوری و پذیرش ترکیب‌های گونه‌ای جدید تأکید دارند. این دیدگاه، اکوسیستم‌های نوظهور[2] را نه به‌عنوان انحراف از حالت مطلوب، بلکه به‌عنوان واقعیتی مدیریتی می‌بینند که نیازمند راهبردهای سازگارانه و آینده‌نگر است (Standish et al., 2013). اکوسیستم‌های نوظهور، به اکوسیستم‌هایی اطلاق می‌شوند که ترکیب گونه‌های آن‌ها پس از اختلال‌های انسانی یا تغییرات محیطی، به گونه‌ای تغییر یافته است که دیگر با وضعیت تاریخی یا مرجع خود مطابقت ندارند، اما همچنان قادر به ارائه کارکردهای اکوسیستمی کلیدی هستند. این اکوسیستم‌ها ممکن است شامل ترکیبی از گونه‌های بومی و غیر بومی باشند و تلاش برای بازگرداندن آن‌ها به حالت اولیه، اغلب غیرعملی یا حتی بالقوه مضر است. با این حال، آنها می‌توانند عملکردهایی مانند تولید علوفه، کنترل فرسایش، حفظ تنوع زیستی و ذخیره کربن را ادامه دهند و از این منظر، مدیریت آن‌ها به جای تمرکز صرف بر بازگشت به وضعیت تاریخی، بر تاب‌آوری و حفظ کارکردهای اکوسیستم معطوف می گردد (Hobbs et al., 2006).یکی از پیامدهای مهم تغییر اقلیم در مراتع، تغییر ساختار پوشش گیاهی و روابط رقابتی میان گونه‌هاست. افزایش دما و تغییر الگوی بارش، معمولاً به نفع گونه‌های یک‌ساله یا مقاوم به خشکی تمام می‌شود، در حالی که گونه‌های چندساله خوشخوراک که نقش اصلی در پایداری اکوسیستم دارند، کاهش می‌یابند (Polley et al., 2013). این تغییر ترکیب گونه‌ای، ظرفیت تولید مراتع و کیفیت کارکردهای اکوسیستمی آن‌ها را کاهش می‌دهد. پژوهش‌های انجام شده در ایران نیز نشان داده‌اند که هم‌زمانی فشار چرا و تغییر اقلیم، موجب ساده شدن ساختار پوشش گیاهی و کاهش تنوع زیستی مراتع

[1] Multiple Stable States
[2] Novel Ecosystems

گردیده اسـت (Ghahramany et al., 2019).در واکنش به این چالش‌ها، رویکردهای نوین احیای اکولوژیک، بر مفهوم تاب‌آوری اکولوژیک تأکید دارند. تاب‌آوری اکوسـیسـتم، به معنای ظرفیت یک اکوسـیسـتم برای مقاومت در برابر اختلال‌ها، سـازگاری با تغییرات محیطی و حفظ عملکردهای اساسی آن است (Folke et al., 2016). بر این اساس، هدف احیا، نه بازگرداندن دقیق وضعیت تاریخی، بلکه افزایش ظرفیت سازگاری اکوسیستم در مواجهه با شرایط متغیر اقلیمی است. تنوع گونه‌ای، تنوع ژنتیکی و مدیریت انطباقی، از عوامل کلیدی جهت افزایش تاب‌آوری مراتع به شـمار می‌روند (Briske et al., 2017).شـواهد تجربی نشـان می‌دهد که مراتعی که تحت چارچوب‌های مدیریت انطباقی مبتنی بر مشارکت بهره‌برداران و کاهش فشـار چرا قرار گرفته‌اند، واکنش بهتری به تنش‌های اقلیمی نشـان داده و از پایداری بلندمدت بیشتری برخوردار بوده‌اند (Folke et al., 2016). این یافته‌ها، اهمیت بازنگری در سیاست‌ها و برنامه‌های احیای مراتع، به ویژه در کشـورهایی مانند ایران را نشـان می دهد.در مجموع، احیای مراتع ایران در شـرایط تغییرات اقلیمی، بیش از هر زمان دیگری، نیازمند گذار از رویکردهای سـنتی و ایسـتا، به رویکردهای تاب‌آور، انطباقی و مبتنی بر پویایی اکولوژیک اسـت. هدف این پژوهش، بررسی و تحلیل راهکارهای احیای مراتع ایران با تمرکز بر افزایش تاب‌آوری اکولوژیک و سازگاری با تغییرات اقلیمی و دستیابی به یک چارچوب جامع، علمی و کاربردی مبتنی بر مدیریت انطباقی برای احیای پایدار مراتع است.

۲- روش انجام تحقیق

مطالعه حاضر با بهره‌گیری از روش مرور نظام‌مند و تحلیل توصیفی انجام شد تا رویکردهای نوین احیای مراتع در شرایط تغییرات اقلیمی شناسایی، دسته‌بندی و ارزیابی شوند. برای گردآوری داده‌ها، پایگاه‌های علمی بین‌المللی معتبر شامل: Scopus، Web of Science، ScienceDirect، SpringerLink و Google Scholar به طور سیستماتیک بررسی شدند. جست‌وجوها با عبارات کلیدی مـانـنـد: rangeland restoration، climate change adaptation، rangeland management, resilience و معادل‌های فارسی مرتبط با احیای مراتع و تغییرات اقلیمی انجام شد. محدوده زمانی جست‌وجوها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵ بود تا تحقیقات علمی مربوط به مدیریت اکوسیستم‌های مرتعی، در شرایط اقلیمی معاصر پوشش داده شوند.در مرحله غربالگری اولیه، تعداد قابل توجهی از مقالات مرتبط شـناسـایی شـد. سـپس عنوان و چکیده مقالات به‌منظور حذف منابع نامرتبط بررسـی گردید و در ادامه، بر اسـاس معیارهایی شـامل کیفیت علمی، ارتباط مسـتقیم با موضـوع احیای مراتع در شـرایط تغییرات اقلیمی و کفایت اطلاعات تحلیلی، مقالات واجد شـرایط برای تحلیل نهایی انتخاب شـدند. تحلیل داده‌ها با اسـتفاده از رویکرد تحلیل کیفی محتوا انجام گرفت. در این فرایند، مقالات منتخب بر اساس محورهای موضوعی مرتبط با ابعاد اکولوژیکی، اجتماعی و فناورانه احیای مراتع سازمان‌دهی شدند تا الگوها، چالش‌های مشترک و جهت‌گیری‌های غالب با تمرکز بر تاب‌آوری اکوسیستم و انطباق با تغییرات اقلیمی استخراج شود. بر مبنای سنتز تحلیلی این یافته‌ها و با تکیه بر مفاهیم مدیریت انطباقی و تاب‌آوری اکولوژیک، در نهایت یک چارچوب جامع سـه‌محوری برای احیا و مدیریت پایدار مراتع ایران پیشنهاد گردید.

۳- نتایج

۳-۱- تأثیر تغییرات اقلیمی بر مراتع

پیامدهای تغییرات اقلیمی بر مراتع، در چند سطح مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند که در ادامه تشریح می‌گردند.

- **تغییر الگوی بارش و پیامدهای اکولوژیک**

نتایج مطالعات جهانی نشان می‌دهد که تغییر الگوی بارش از نظر مقدار، توزیع زمانی و شدت رخدادها، یکی از اصلی‌ترین محرک‌های تغییر در اکوسیستم‌های مرتعی است. کاهش میزان بارش مؤثر سالانه به همراه افزایش دفعات بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت، نفوذ آب در خاک را محدود کرده و رواناب سطحی را افزایش می‌دهد، که در نهایت توانایی خاک در ذخیره رطوبت کاهش می‌یابد (Reynolds et al., 2007; Maestre et al., 2012) در مراتع استپی آمریکای شمالی، کاهش بارش به‌طور مستقیم بر افت تولید زیست‌توده و افزایش فراوانی گونه‌های یک‌ساله تاثیر گذاشته است (Polleyet al., 2013). در استرالیا نیز تغییر الگوی بارندگی، باعث ناپایداری چرخه‌های رویشی گونه‌های مرتعی و کاهش تولید چراگاه‌ها گردیده است (Hobbs et al., 2014). در ایران، مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاهش بارش به‌ویژه در فصل رشد، منجر به افت شدید کمیت و کیفیت پوشش گیاهی گردیده است. برای مثال، بررسی مراتع استان خراسان جنوبی نشان داد که کاهش بارش به میزان ۲۰ درصد، منجر به کاهش بیش از ۳۵ درصدی زیست‌توده مرتعی شده است (Jafari & Zare Chahouki, 2018). همچنین در مراتع زاگرس، کاهش بارندگی زمستانه باعث کاهش ذخیره رطوبت خاک و تضعیف جوانه‌زنی گونه‌های چندساله گردید (Bagheri et al., 2019).

• افزایش دما و تنش گرمایی گیاهان مرتعی

افزایش دمای میانگین سالانه، یکی دیگر از عوامل کلیدی تغییرات اقلیمی است که اثرات گسترده‌ای بر فیزیولوژی گیاهان مرتعی دارد. افزایش دما موجب افزایش تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت قابل دسترس خاک و افزایش وقوع تنش گرمایی در گیاهان می‌شود (Soussana et al., 2010). در آمریکای جنوبی، افزایش دما با کاهش توان فتوسنتز و افت تولید ماده خشک مرتبط بوده است (Maestre et al., 2012). در ایران، بررسی‌های اقلیمی نشان می‌دهد که میانگین دمای کشور طی پنج دهه اخیر بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. این افزایش دما، به ویژه در مناطق مرکزی و شرقی کشور، تأثیر مستقیم بر کاهش تولید مرتعی داشته است (Alizadeh-Choobari et al., 2018). در مراتع استان های یزد و کرمان، افزایش دما همراه با کاهش بارش، باعث افزایش غالب شدن گونه‌های شورپسند و مقاوم به خشکی گردیده است (Jafari and Zare Chahouki, 2018; Alizadeh-Choobari et al., 2018).

• تغییر ترکیب گونه‌ای

یکی از مهم‌ترین نتایج تغییر اقلیم، تغییر در ترکیب گونه‌ای پوشش گیاهی مراتع است. مطالعات جهانی نشان می‌دهد که در طول زمان، گونه‌های چندساله و ارزشمند مرتعی جای خود را به گونه‌های یک‌ساله، مهاجم یا با ارزش تغذیه‌ای پایین‌تر می‌دهند، که این تغییر ترکیب گونه‌ای موجب کاهش تنوع زیستی و کاهش کیفیت مراتع می‌شود (Polley et al., 2013; Briske et al., 2017).در مراتع اروپا، افزایش دما باعث گسترش گونه‌های گرماپسند و کاهش گونه‌های سرماپسند شده است (Havstad et al., 2007). در چین نیز تغییرات اقلیمی موجب غالب شدن گونه‌های C4 و کاهش گونه‌های C3 گردیده است (Havstad et al., 2007; Polley et al., 2013). نتایج تحقیقات در ایران نشان داده‌اند که ترکیب گونه‌ای مراتع، به سمت ساده شدن ساختاری پیش رفته است. به‌عنوان مثال، در مراتع شمال شرق ایران، کاهش بارندگی باعث کاهش فراوانی گونه‌های ارزشمند مرتعی مانند Stipa و Festuca و افزایش گونه‌های Artemisia گردیده است(Ghahramany et al., 2019).

• کاهش تنوع زیستی

کاهش تنوع زیستی، یکی از پیامدهای مستقیم تغییر اقلیم در مراتع است. تنوع زیستی نه تنها شاخص سلامت اکوسیستم است، بلکه نقش کلیدی در تاب‌آوری آن دارد (Folke et al., 2016). مطالعات در آمریکای شمالی نشان داده‌اند که کاهش تنوع گونه‌ای، باعث کاهش پایداری عملکرد اکوسیستم شده است (Wilmer et al., 2024) در آفریقا نیز کاهش تنوع زیستی، موجب افزایش حساسیت مراتع به خشکسالی شده است (Maestre et al., 2012; Folke et al., 2016). در ایران، پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تنوع گونه‌ای در مراتع تحت تأثیر وقوع هم‌زمان تغییر اقلیم و چرای ناپایدار، کاهش یافته است (Bagheri et al., 2019). این کاهش تنوع، باعث افت عملکرد اکوسیستم و افزایش خطر فروپاشی اکولوژیک شده است.

• کاهش کارکردهای اکوسیستمی

نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم، منجر به کاهش کارکردهای اکوسیستمی مراتع می‌شود. این کارکردها شامل: تولید علوفه، ذخیره کربن، کنترل فرسایش، تنظیم چرخه آب و حفظ تنوع زیستی است (Conant et al., 2017).مطالعات جهانی نشان می‌دهد که ظرفیت ذخیره کربن خاک در مراتع، تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش یافته است (Soussana et al., 2010). در ایران نیز کاهش ماده آلی خاک در مراتع خشک گزارش شده است (Jafari & Zare Chahouki, 2018).

• افزایش فرسایش خاک و بیابان‌زایی

تغییر اقلیم با افزایش شدت خشکسالی و کاهش پوشش گیاهی، باعث افزایش فرسایش خاک شده است. در بسیاری از مناطق جهان، مراتع تخریب‌شده، به کانون‌های گرد و غبار تبدیل شده‌اند (Reynolds et al., 2007). در ایران، نواحی مرکزی و شرقی کشور نمونه بارز این پدیده هستند و تخریب مراتع، موجب افزایش طوفان‌های گرد و غبار در آن مناطق گردیده است (Alizadeh-Choobari et al., 2018).

۳-۲- راهکار جامع احیای مراتع ایران در شرایط تغییرات اقلیمی

احیای پایدار مراتع در شرایط تغییر اقلیم، مستلزم گذار از مداخلات منفرد و کوتاه‌مدت به راهبردهایی جامع، چندسطحی و انطباق‌پذیر است. تغییر الگوی بارش، افزایش دما، تشدید خشکسالی‌ها و هم‌زمانی این روندها با فشارهای انسانی، موجب شده است که احیا دیگر صرفاً به معنای "بازگرداندن پوشش گیاهی" نباشد، بلکه به یک فرآیند مدیریتی–اکولوژیک برای افزایش تاب‌آوری، کاهش ریسک عبور از آستانه‌های بحرانی و حفظ کارکردهای اکوسیستمی تبدیل شود. تحولی که در مطالعات گذشته نیز مورد تأکید قرار گرفته است (Reynolds et al., 2007; Folke et al., 2016) با اتکا به این تحول مفهومی، در این پژوهش، یک چارچوب تحلیلی جامع برای احیای مراتع پیشنهاد می‌شود که فرآیند احیا را ذیل منطق مدیریت انطباقی و در قالب سه محور مکملِ اجتماع، اکوسیستم و فناوری سازمان‌دهی می‌کند. این چارچوب، حاصل تلفیق یافته‌های نظری و الزامات اجرایی احیای مراتع در شرایط تغییر اقلیم است و هدف آن، ایجاد انسجام میان ابعاد اجتماعی، اکولوژیک و فناورانه احیاست، نه بازتولید صرف مطالب موجود در تحقیقات گذشته. در چارچوب پیشنهادی حاضر، مدیریت انطباقی به‌عنوان منطق حاکم بر فرآیند احیای مراتع در نظر گرفته شده است.مدیریت انطباقی، بر پایش و ارزیابی مستمر، استفاده از بازخوردهای اکولوژیک و اجتماعی، و بازنگری تصمیم‌ها در مواجهه با عدم‌قطعیت‌های اقلیمی تأکید دارد (Folke et al., 2016). از این منظر، احیا یک وضعیت ایستا یا مجموعه‌ای از اقدامات ثابت نیست، بلکه چرخه‌ای پویا شامل برنامه‌ریزی، اجرا، پایش و اصلاح مستمر تلقی می‌شود؛ برداشتی که در مطالعات مرتبط با مدیریت سامانه‌های مرتعی نیز گزارش شده است (Briske et al., 2017). سه محور اجتماع–اکوسیستم–فناوری، به‌عنوان مؤلفه‌های عملیاتی این چرخه، به‌صورت درهم‌تنیده و غیرمجزا عمل کرده و هر یک بخشی از فرآیند مدیریت انطباقی را پشتیبانی می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که تصمیم‌های اجتماعی و معیشتی، مداخلات اکوسیستمی و ابزارهای فناورانه، در تعامل متقابل و تحت یک چارچوب واحد هدایت می‌شوند.

۳-۲-۱- محور اول: اجتماع

این محور بر ابعاد اجتماعی، نهادی و معیشتی احیای مراتع در شرایط تغییر اقلیم تمرکز دارد و هدف آن، افزایش ظرفیت تصمیم‌گیری، پذیرش اجتماعی و پایداری انسانی اقدامات احیا است. در شرایط عدم‌قطعیت اقلیمی، موفقیت احیا وابسته به هم‌راستایی سازوکارهای حکمرانی محلی، سیاست‌های پشتیبان و نظام‌های معیشتی بهره‌برداران با اهداف اکولوژیک است. از این‌رو، رویکردهای مشارکتی، تقویت سرمایه اجتماعی[۳] و ایجاد بسترهای اقتصادی پایدار، عناصر کلیدی این محور را تشکیل می‌دهند.

- **مشارکت ذی‌نفعان و تقویت حکمرانی محلی**

تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد که موفقیت برنامه‌های احیای اکوسیستم‌های مرتعی تا حد زیادی به میزان درگیرسازی بهره‌برداران محلی در فرایند تصمیم‌گیری وابسته است، زیرا مشارکت فعال آنان می‌تواند موجب بهبود انطباق مدیریتی، افزایش کارایی اقدامات حفاظتی و تقویت پایداری نهادی در بلندمدت شود. مطالعات حاکی از آن است که رویکردهای مشارکتی از طریق ایجاد حس مالکیت اجتماعی نسبت به منابع طبیعی، کاهش فشار بهره‌برداری و تسهیل اجرای سیاست‌های حفاظتی، نقش مهمی در ارتقای تاب‌آوری اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کنند (Reed, 2008). بررسی‌های تجربی در مراتع قشلاقی استان گلستان نشان می‌دهد که انسجام اجتماعی و تعامل مؤثر میان بهره‌برداران، تأثیر معناداری بر میزان مشارکت آنها در فعالیت‌های احیایی دارد؛ به‌گونه‌ای که جوامع محلی با سرمایه اجتماعی بالاتر، همکاری بیشتری در اجرای اقدامات اصلاحی از خود نشان داده‌اند و نتایج پایدارتری را رقم زده‌اند (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۸).

- **توسعه مشاغل مکمل و تقویت پایداری اقتصادی**

پایداری بلندمدت احیای مراتع، وابستگی مستقیمی به کاهش فشارهای معیشتی وارد بر اکوسیستم دارد. توسعه مشاغل مکمل در قالب تنوع‌بخشی منابع درآمد، ایجاد زنجیره ارزش محصولات مرتعی[۴] و استفاده از ظرفیت‌هایی مانند گردشگری طبیعت‌محور، می‌تواند میزان وابستگی مستقیم به بهره‌برداری علوفه از مراتع را کاهش دهد و از بازگشت تخریب جلوگیری نماید. همچنین طراحی مشوق‌های اقتصادی، حمایت‌های هدفمند و ایجاد سازوکارهای نهادی شفاف برای بهره‌برداری پایدار، نقش مهمی در تثبیت نتایج احیا و افزایش تاب‌آوری اجتماعی–اکولوژیک ایفا می‌کنند (Sommerville et al., 2018).

---

[۳] **این مفهوم به پیوندها و ارتباطات میان اعضای یک شبکه به عنوان منبعی با ارزش اشاره دارد که باخلق هنجارها و اعتماد متقابل، موجب تحقق اهداف اعضا می شود.**

[۴] **محصولات مراتع (مثل گیاهان دارویی، عسل، بذر، محصولات دامی) از مرحله تولید تا فرآوری، بسته‌بندی، بازاریابی و فروش، به‌صورت یک مسیر کامل، مدیریت می شود تا درآمد بهره‌برداران بیشتر و پایدارتر گردد .**

- **آموزش و ظرفیت‌سازی اجتماعی**

توانمندسازی بهره‌برداران و آموزش در زمینه مدیریت پایدار مراتع و تغییرات اقلیمی، باعث افزایش پذیرش اقدامات احیا و بهبود اثربخشی برنامه‌ها می‌شود. آموزش می‌تواند شامل ارتقای دانش در زمینه شیوه‌های حفاظت از خاک و آب، بهره‌برداری پایدار از پوشش گیاهی و استفاده از داده‌های فناورانه باشد (Sommerville et al., 2018).

- **هم‌راستاسازی سیاست‌ها و نهادهای پشتیبان با اهداف احیا**

یکی از چالش‌های اساسی احیای مراتع در ایران، ناهماهنگی میان سیاست‌های بخشی، ساختارهای نهادی و واقعیت‌های میدانی است. در بسیاری از موارد، تضاد میان سیاست‌های حمایتی، قوانین بهره‌برداری و برنامه‌های احیا، اثربخشی اقدامات اجرایی را کاهش داده است. هم‌راستاسازی سیاست‌های کلان با شرایط محلی، تفویض اختیار به نهادهای محلی و ایجاد پیوند مؤثر میان سطوح تصمیم‌گیری ملی و محلی، می‌تواند زمینه اجرای موفق و پایدار برنامه‌های احیا را فراهم سازد.در چارچوب مدیریت انطباقی، سیاست‌ها و نهادها باید قابلیت بازنگری و اصلاح مستمر بر اساس بازخوردهای اجتماعی و اکولوژیک را داشته باشند تا بتوانند در برابر تغییرات اقلیمی و اقتصادی، پاسخ‌گو و انعطاف‌پذیر باقی بمانند (Folke et al., 2016).

۳-۲-۲- محور دوم: اکوسیستم

این محور شامل مجموعه اقداماتی است که مستقیماً بر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی اثر می‌گذارند. هدف این اقدامات، افزایش تاب‌آوری اکوسیستم، حفظ و ارتقای کارکردهای اکوسیستمی و هدایت بهره‌برداری به سوی پایداری در شرایط تغییرات اقلیمی است. تمرکز اصلی این محور بر ارتقای پوشش گیاهی، حفظ و افزایش تنوع زیستی، مدیریت منابع آب و خاک، و کاهش ریسک تخریب ناشی از فشار چرای دام و نوسانات اقلیمی قرار دارد. انتخاب و ترکیب این اقدامات، متناسب با وضعیت اکولوژیک مرتع و در چارچوب منطق مدیریت انطباقی انجام می‌شود.

- **احیای مبتنی بر شدت تخریب از طریق تفکیک احیای فعال و غیرفعال**

یکی از گام‌های اساسی در احیای تاب‌آور مراتع، انتخاب نوع مداخله متناسب با شدت تخریب اکوسیستم است. در مراتع با تخریب خفیف تا متوسط که هنوز بانک بذر خاک، ساختار فیزیکی خاک و ظرفیت بازسازی طبیعی حفظ شده است، احیای غیرفعال از طریق کاهش فشار چرا، قرق دوره‌ای و مدیریت استراحت می‌تواند به بازگشت تدریجی پوشش گیاهی منجر شود. در مقابل، مراتع با تخریب شدید که در آن‌ها فرسایش فعال، کاهش شدید ماده آلی و از دست رفتن بانک بذر رخ داده است، نیازمند احیای فعال شامل بذرکاری، کپه‌کاری، اصلاح سطح خاک و اجرای عملیات آب و خاک هستند. مطالعات نشان می‌دهد که عدم تطابق شدت مداخله با شدت تخریب، یکی از عوامل اصلی ناکامی پروژه‌های احیای مراتع است (Maestre et al., 2012, Reynolds et al., 2007).

- **احیای مبتنی بر آستانه‌های اکولوژیک و چارچوب "حالت-گذار"**

رویکردهای نوین احیای مراتع، بر این فرض استوارند که اکوسیستم‌های مرتعی می‌توانند دارای چندین حالت پایدار باشند و عبور از آستانه‌های اکولوژیک، آن‌ها را وارد روند نزولی برگشت‌ناپذیر یا پرهزینه می کند. چارچوب "حالت–گذار" به‌عنوان یک ابزار مفهومی–کاربردی، امکان شناسایی وضعیت فعلی اکوسیستم، مسیرهای محتمل تغییر و انتخاب اقدامات مدیریتی متناسب با هر حالت را فراهم می‌سازد. به‌کارگیری این چارچوب، به‌ویژه در شرایط تغییر اقلیم، از اجرای نسخه‌های یکنواخت احیا جلوگیری کرده و تصمیم‌گیری را به‌سمت رویکردهای منعطف و مبتنی بر شواهد اکولوژیک سوق می‌دهد (Walker et al., 2004; Folke et al., 2016).

- **مدیریت یکپارچه آب، خاک و پوشش گیاهی**

در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، محدودیت منابع آب و تخریب خاک از عوامل کلیدی کاهش موفقیت طرح‌های احیا محسوب می‌شوند. از این‌رو، یکپارچه‌سازی عملیات آبخیزداری، مدیریت منابع خاک و احیای پوشش گیاهی، نقشی تعیین‌کننده در افزایش اثربخشی و پایداری اقدامات احیا دارد. اقداماتی نظیر کنترل رواناب، افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش فرسایش و توزیع یکنواخت سیلاب‌ها، موجب بهبود رطوبت خاک و فراهم‌شدن شرایط مناسب برای استقرار گونه‌های مرتعی می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهد که اجرای هم‌زمان این راهبردها، ضمن ارتقای تاب‌آوری اکوسیستم، فشار بهره‌برداری را کاهش داده و موفقیت بلندمدت احیای مراتع را افزایش می‌دهد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱).

- **تقویت تاب‌آوری از مسیر تنوع عملکردی و بازسازی پوشش گیاهی**

در شرایط تغییر اقلیم، هدف احیای مراتع نباید صرفاً افزایش سطح پوشش گیاهی باشد، بلکه تمرکز باید بر بازسازی ساختاری تاب‌آور و کارکردی پایدار معطوف شود. افزایش تنوع عملکردی[5] ـ به‌معنای حضور گروه‌های عملکردی مکمل مانند گونه‌های تثبیت‌کننده خاک، گونه‌های مقاوم به خشکی و گونه‌های مؤثر در چرخه مواد غذایی ـ می‌تواند پایداری عملکرد اکوسیستم را در برابر خشکسالی و نوسانات اقلیمی افزایش دهد.مطالعات نشان می‌دهد که افزایش تنوع عملکردی، توان اکوسیستم‌ها را در رویارویی با شوک‌های اقلیمی و تداوم کارکردهای اکوسیستمی تقویت می‌کند (Folke et al., 2016; Briske et al., 2017). بر این اساس، انتخاب گونه‌ها در پروژه‌های احیا باید فراتر از معیار خوش‌خوراکی، بر نقش اکولوژیک آن‌ها در تثبیت خاک، تنظیم چرخه آب و تقویت تاب‌آوری اکوسیستم استوار باشد.

- **چرای انطباقی و کاهش ریسک تخریب اقلیمی**

با توجه به اینکه دام‌ها از اجزای مهم و لاینفک اکوسیستم‌های مرتعی به‌شمار می‌روند و چرای دام پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است، مدیریت چرا باید به‌صورت اکولوژیک و انطباقی انجام شود. در این رویکرد، تنظیم فشار چرا بر اساس وضعیت پوشش گیاهی، ظرفیت تولید سالانه و شرایط اقلیمی صورت می‌گیرد تا از کاهش شدید زیست‌توده و عبور اکوسیستم از آستانه‌های بحرانی جلوگیری شود. در شرایط تغییر اقلیم، مدیریت چرا باید از الگوهای ثابت و تقویم‌محور فاصله گرفته و به‌صورت پویا و مبتنی بر پایش مستمر تنظیم گردد. راهبردهایی مانند چرای تناوبی، تأخیر در شروع چرا در سال‌های خشک، استراحت بحرانی در دوره‌های حساس رشد گیاهان و کاهش انطباقی ظرفیت دام، نقش مهمی در کاهش ریسک تخریب اقلیمی و افزایش تاب‌آوری اکوسیستم‌های مرتعی ایفا می‌کنند (Reynolds et al., 2007; Briske et al., 2017).

- **مدیریت ریسک آتش‌سوزی**

کنترل و پیشگیری از آتش‌سوزی به‌ویژه در مناطق خشک، بخشی از اقدامات انطباقی برای حفاظت از زیست‌توده و کاهش فشار اکولوژیک در اکوسیستم‌های مرتعی است (Fuhlendorf et al., 2012) .

۳-۲-۳- محور سوم: فناوری

این محور بر به‌کارگیری فناوری‌های نوین برای پایش، ارزیابی و هدایت فرآیندهای احیای مراتع تأکید دارد تا تصمیم‌گیری‌ها از حالت تجربی و واکنشی خارج شده و به‌صورت نظام‌مند و مبتنی بر شواهد عینی انجام شود. سنجش از دور (RS)، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شاخص‌های اکولوژیک، ابزارهای اصلی این رویکرد را تشکیل می‌دهند و نقش کلیدی در پیاده‌سازی مدیریت انطباقی در شرایط تغییر اقلیم ایفا می‌کنند.

- **پایش اکوسیستم با سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی**

فناوری‌های سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) امکان پایش گسترده، پیوسته و زمانمند وضعیت مراتع را فراهم کرده‌اند و به‌عنوان ابزارهای مؤثر در ارزیابی روندهای تخریب و اثربخشی اقدامات احیا شناخته می‌شوند. شاخص‌هایی مانند NDVI، SAVI و LAI که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند، قابلیت آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی، کاهش تولید زیست‌توده و الگوهای مکانی تخریب را دارند و در مدیریت انطباقی مراتع، می‌توانند به‌عنوان مبنای تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد مورد استفاده قرار گیرند (Jafari et al., 2017; Moazam et al., 2020) ترکیب داده‌های چندزمانه ماهواره‌ای با تحلیل‌های مکانی در محیط GIS، امکان بررسی روندهای زمانی و فضایی پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی را فراهم می‌کند. این رویکرد، علاوه بر شناسایی مناطق بحرانی، به ارزیابی میزان موفقیت اقدامات احیا در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای کمک می‌نماید. همچنین شاخص‌های اکولوژیک استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، مانند تراکم پوشش گیاهی و شاخص‌های خشکی، ابزار مناسبی برای شناسایی هم‌زمان مناطق حساس و مستعد تخریب فراهم می‌کنند (علی‌خواه اصل و رضوانی، ۱۳۹۷).

- **سامانه‌های هشدار سریع خشکسالی و مدیریت ریسک اقلیمی**

پژوهش‌های منتشرشده در منابع معتبر علمی نشان می‌دهد که سامانه‌های پایش و هشدار زودهنگام خشکسالی، زمانی بیشترین کارایی را دارند که داده‌های هواشناسی، شاخص‌های استاندارد خشکسالی و ارزیابی‌های پوشش گیاهی را به‌صورت یکپارچه ترکیب کنند. این سامانه‌ها امکان شناسایی تدریجی کاهش رطوبت خاک، افت تولید زیست‌توده و افزایش فشار چرا را پیش از بروز تخریب گسترده فراهم می‌سازند و

[5] Functional diversity

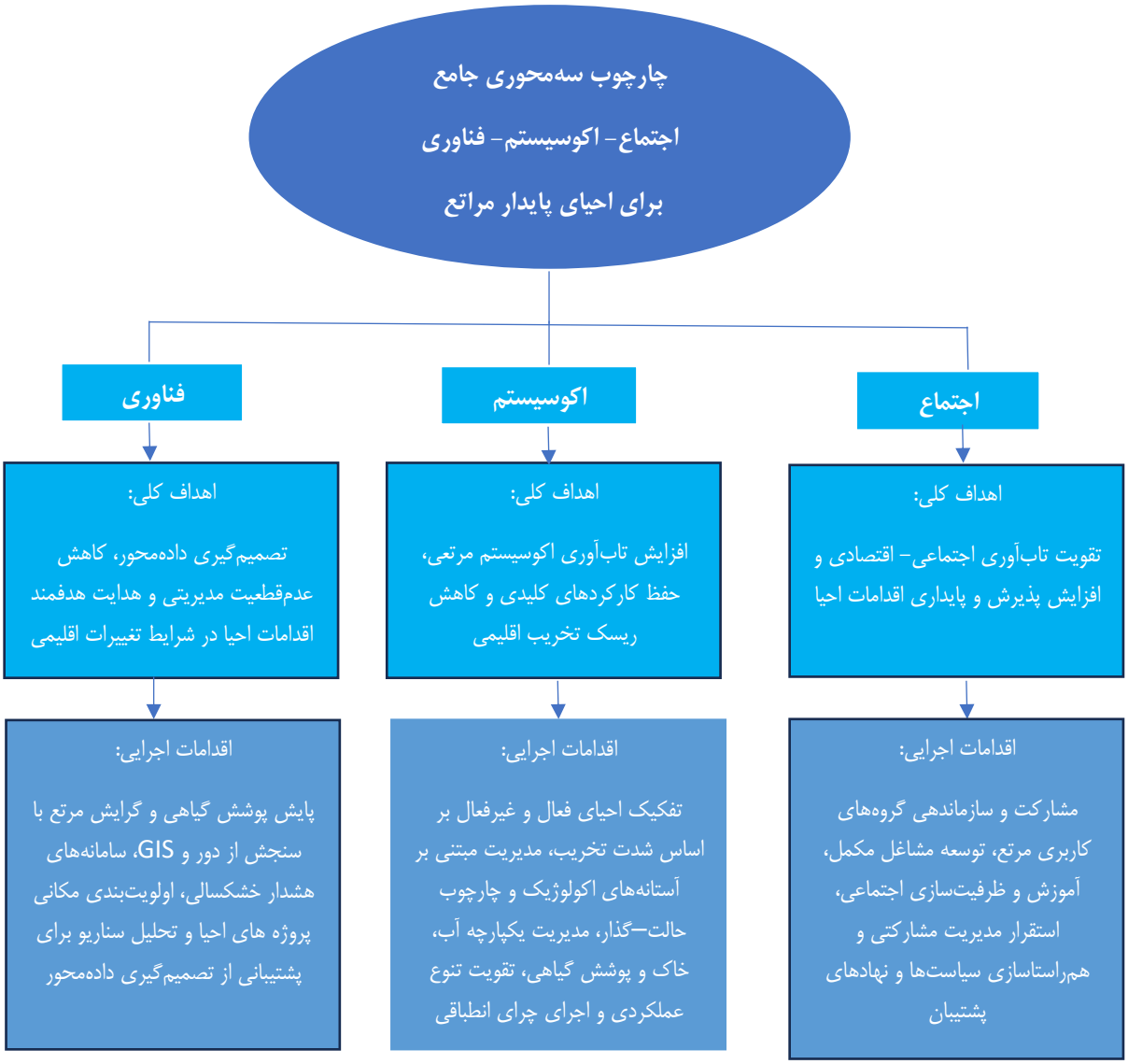
به مدیران اجازه می‌دهند اقدامات سازگارانه‌ای مانند تنظیم فشار چرای دام، تغییر زمان‌بندی بهره‌برداری و اجرای مدیریت تطبیقی را در زمان مناسب اعمال کنند. به همین دلیل، سامانه‌های هشدار خشکسالی به‌عنوان ابزار کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های مرتعی در برابر تغییرات اقلیمی شناخته می‌شوند (Svoboda et al., 2002).

- **اولویت‌بندی مکانی و تدوین نقشه راه احیا برای ایران**

در شرایط محدودیت منابع مالی و افزایش عدم‌قطعیت‌های اقلیمی، احیای موفق مراتع مستلزم اولویت‌بندی مکانی و هدفمند کردن مداخلات است. ترکیب داده‌های اقلیمی شامل روندهای دما و بارش، شاخص‌های پوشش گیاهی، حساسیت خاک به فرسایش و شدت فشار بهره‌برداری، امکان شناسایی مناطق با اولویت‌های متفاوت احیا را فراهم می‌کند. بر این اساس، مناطق دارای توان بازسازی طبیعی می‌توانند در اولویت احیای غیرفعال قرار گیرند، در حالی که مناطق بحرانی با ریسک بالای بیابان‌زایی نیازمند احیای فعال و مداخلات آب و خاک هستند. این رویکرد، چارچوبی عملی برای تدوین نقشه راه احیای مراتع در مقیاس ملی ارائه می‌دهد و پیوند مؤثری میان پایش فناورانه و تصمیم‌گیری انطباقی برقرار می‌سازد (Reynolds et al., 2007).

- **مدل‌سازی تصمیم و تحلیل سناریو**

ترکیب داده‌های سنجش از دور با مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی و شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی، امکان ارزیابی اثر اقدامات مختلف احیا و اتخاذ تصمیم‌های انطباقی مبتنی بر شواهد را فراهم می‌کند (Reynolds et al., 2007). خلاصه چارچوب سه محوری جامع احیای مراتع در شرایط تغییرات اقلیمی در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. چارچوب سه‌محوری جامع اجتماع- اکوسیستم- فناوری برای احیای پایدار مراتع در شرایط تغییرات اقلیمی

۴- بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی، از طریق دگرگونی الگوی بارش، افزایش دما و تشدید نوسانات اقلیمی (مانند خشکسالی‌های شدید و سیلاب‌های ناگهانی)، ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی را در ایران و سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور معناداری تحت تأثیر قرار داده است (Reynolds et al., 2007). در سطح اقلیمی، کاهش بارش مؤثر همراه با افزایش بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت، سبب کاهش نفوذپذیری و ذخیره رطوبت خاک شده و در نتیجه، تولید زیست‌توده و پایداری پوشش گیاهی کاهش یافته است(Maestre et al., 2012, Jafari and Zare Chahouki, 2018) . هم‌زمان، افزایش دما از طریق افزایش تبخیر و تعرق و کوتاه شدن دوره رشد، تنش گرمایی را تشدید کرده و ظرفیت بازسازی طبیعی گونه‌های مرتعی را محدود نموده است (Soussana et al., 2010, Alizadeh-Choobari et al., 2018). یکی از پیامدهای مستقیم این تغییرات، جایگزینی ترکیب گونه‌ای پوشش گیاهی است به نحوی که گونه‌های چندساله خوشخوراک و سازنده ساختار اکوسیستم، در بسیاری از مناطق جای خود را به گونه‌های یک‌ساله، کم‌ارزش یا مقاوم به خشکی می‌دهند (Polley et al., 2013; Briske et al., 2017) . شواهد داخلی نیز نشان می‌دهد که هم‌زمانی تغییر اقلیم و فشار چرای دام، موجب ساده‌شدن ساختار پوشش گیاهی و کاهش فراوانی گونه‌های کلیدی مرتعی گردیده است (Bagheri et al., 2019, Ghahramany et al., 2019). تغییرات ترکیب گونه‌ای، به‌طور مستقیم به کاهش تنوع زیستی منجر می‌شود و تنوع زیستی یکی از عناصر بنیادی تاب‌آوری اکوسیستم است که کاهش آن، حساسیت مراتع به خشکسالی‌های آینده را افزایش می‌دهد (Folke et al., 2016).در سطح کارکردی نیز نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم موجب افت کارکردهای اکوسیستمی مراتع از جمله تولید علوفه، ذخیره کربن خاک، تنظیم چرخه آب و کنترل فرسایش می‌شود (Conant et al., 2017, Soussana et al., 2010). کاهش پوشش گیاهی و افت ماده آلی خاک، توان اکوسیستم برای نگهداری آب و پایداری خاک را کاهش داده و در نهایت، ریسک فرسایش آبی و بادی را افزایش می‌دهد (Reynolds et al., 2007) . این روند در ایران، به‌ویژه در مناطق مرکزی و شرقی، با تقویت کانون‌های گرد و غبار و تشدید بیابان‌زایی همراه بوده است (Alizadeh-Choobari et al., 2018). بنابراین، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر اقلیم نه تنها کمیت و کیفیت پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد، بلکه از طریق زنجیره‌ای از اثرات ساختاری و عملکردی، اکوسیستم را به سمت ناپایداری و عبور از آستانه‌های بحرانی سوق می‌دهد. بر مبنای همین شواهد، روشن است که روش‌های سنتی احیای مراتع که عمدتاً به بازگرداندن شرایط تاریخی یا اقدامات منفرد مانند قرق یا بذرکاری متکی‌اند، در مواجهه با تغییرات اقلیمی، محدودیت‌های قابل توجهی دارند. از دیدگاه تاب‌آوری اکولوژیک، مراتع خشک و نیمه‌خشک می‌توانند پس از عبور از آستانه‌های اکولوژیک، وارد "حالات پایدار جدید" شوند و بازگشت کامل به وضعیت مرجع تاریخی در آنها دشوار یا حتی غیرممکن گردد (Walker et al., 2004, Folke et al., 2016). امروزه رویکرد احیا باید از تمرکز بر اهداف ایستا (بازسازی گذشته) به اهداف پویا و آینده‌نگر (حفظ کارکرد اکوسیستم، کاهش ریسک فروپاشی و تقویت توان سازگاری) تغییر کند. در پاسخ به چالش‌های مطرح شده در نتایج این پژوهش، چارچوبی عملیاتی برای احیای مراتع ایران در شرایط تغییرات اقلیمی ارائه شد که بر ادغام سه محور مکمل اجتماع–اکوسیستم–فناوری تحت منطق مدیریت انطباقی استوار است. این چارچوب تاکید می نماید که موفقیت احیای مراتع، نه در اجرای اقدامات منفرد، بلکه در هماهنگی هم‌زمان سازوکارهای اجتماعی، مداخلات اکولوژیک هدفمند و ابزارهای فناورانه تحقق می‌یابد و به مدیران منابع طبیعی کمک می‌کند تا اقدامات احیا را متناسب با شرایط اقلیمی، شدت تخریب و محدودیت منابع، طراحی و بازنگری کنند. به‌کارگیری این رویکرد می‌تواند ریسک شکست طرح‌های احیا را کاهش داده و زمینه تقویت تاب‌آوری اکولوژیک و اجتماعی مراتع را در مواجهه با تغییرات اقلیمی فراهم سازد. در محور اجتماع، مشارکت ذی‌نفعان، تقویت حکمرانی محلی، توسعه مشاغل مکمل و ظرفیت‌سازی اجتماعی، بستر لازم برای پذیرش و پایداری اقدامات احیا را فراهم می‌کند. در محور اکوسیستم، تفکیک احیای فعال و غیرفعال بر اساس شدت تخریب، توجه به آستانه‌های اکولوژیک، مدیریت یکپارچه آب، خاک و پوشش گیاهی، تقویت تنوع عملکردی و به‌کارگیری چرای انطباقی، به‌عنوان ابزارهایی برای افزایش تاب‌آوری اکوسیستم و کاهش ریسک عبور از وضعیت‌های بحرانی مطرح می‌شوند. محور فناوری نیز با تأکید بر پایش داده‌محور، هشدار زودهنگام خشکسالی و اولویت‌بندی مکانی، نقش پشتیبان تصمیم‌گیری انطباقی را ایفا می‌کند. اهمیت این چارچوب در آن است که فرآیند احیای مراتع را از سطح مجموعه‌ای از اقدامات پراکنده، به سطح یک نظام جامع برنامه‌ریزی، پایش و بازنگری مستمر ارتقا می‌دهد. اگرچه هر یک از مؤلفه‌های محورهای اجتماع، اکوسیستم و فناوری در مطالعات پیشین به‌طور پراکنده بررسی شده‌اند، نوآوری این پژوهش در ادغام سیستماتیک این سه محور تحت مدیریت انطباقی و ارائه یک چارچوب عملیاتی واحد برای احیای تاب‌آور و پایدار مراتع ایران است.به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که احیای مراتع ایران در شرایط تغییر اقلیم، مستلزم مواجهه هم‌زمان با مجموعه‌ای از عوامل به‌هم‌پیوسته شامل مدیریت منابع آب و خاک، ترکیب و تنوع پوشش گیاهی، فشار بهره‌برداری، پایش مستمر وضعیت مرتع و تقویت ظرفیت‌های نهادی و اجتماعی است. نادیده گرفتن هر یک از این مؤلفه‌ها می‌تواند اثربخشی سایر اقدامات را تضعیف کند. بر این اساس، چارچوب سه‌محوری پیشنهادی این

پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک نقشه راه علمی–اجرایی برای سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد؛ چارچوبی که با کاهش عدم‌قطعیت مدیریتی، افزایش هماهنگی بین سطوح تصمیم‌گیری و هدایت هدفمند اقدامات احیا، زمینه را برای احیای پایدار مراتع، کاهش ریسک بیابان‌زایی و تقویت تاب‌آوری اجتماعی–اکولوژیکی در ایران فراهم می‌سازد.

منابع

- Alizadeh-Choobari, O., Ghazanfari, H., & Najafi, M. R. 2018. Climate change impacts on rangeland vegetation in arid regions of Iran. Journal of Arid Environments, 156, 1–11.
- Bagheri, M., Jafari, A., & Zare Chahouki, M. A. 2019. Rangeland degradation under combined effects of overgrazing and climate change in Iran. Rangeland Ecology & Management, 72(2), 278–288.
- Briske, D. D., Fuhlendorf, S. D., & Smeins, F. E. 2017. Vegetation dynamics in rangelands: Implications for management. Journal of Applied Ecology, 54(1), 17–29.
- Conant, R. T., Ryan, M. G., Ågren, G. I., Birge, H. E., Davidson, E. A., Eliasson, P. E., ... & Bradford, M. A. 2017. Temperature and soil organic matter decomposition rates—Synthesis of current knowledge and a way forward. Global Change Biology, 23(1), 37–54.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. 2016. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. Ecology and Society, 21(4), 20.
- Fuhlendorf, S. D., Engle, D. M., Elmore, R. D., Limb, R. F., & Bidwell, T. G. 2012. Conservation of pattern and process: Developing an alternative paradigm of rangeland management. Rangeland Ecology & Management, 65(6), 579–589.
- Ghahramany, M., Jafari, A., & Zare Chahouki, M. A. 2019. Impacts of grazing and climate variability on plant diversity in northeastern Iranian rangelands. Journal of Arid Land, 11(3), 401–416.
- Havstad, K. M., Peters, D. P., Skaggs, R., Brown, J., Bestelmeyer, B., Fredrickson, E., ... & Wright, J. 2007. Ecological services to and from rangelands of the United States. Ecological Economics, 64(2), 261–268.
- Hobbs, R. J., Higgs, E., & Harris, J. A. 2006. Novel ecosystems: Implications for conservation and restoration. Trends in Ecology & Evolution, 21(11), 599–605.
- Hobbs, R. J., Yates, C. J., & Mooney, H. A. 2014. Restoring ecosystem function in rangelands under global change. Ecology, 95(5), 1109–1117.
- Jafari, A., & Zare Chahouki, M. A. (2018). Effects of climate change on rangeland productivity in Iran. Journal of Arid Environments, 157, 1–10.
- Jafari, A., Ghahramany, M., & Zare Chahouki, M. A. 2017. Monitoring vegetation changes in rangelands using NDVI and LFA methods. Rangeland Ecology & Management, 70(6), 695–703.
- Maestre, F. T., Salguero-Gómez, R., & Quero, J. L. 2012. It's getting hotter in here: Effects of global change on dryland ecosystems. Global Change Biology, 18(5), 1553–1562.
- Moazam, F., Jafari, A., & Zare Chahouki, M. A. 2020. Integration of field and remote sensing data for rangeland assessment in Iran. Ecological Indicators, 115, 106436.
- Polley, H. W., Briske, D. D., & Morgan, J. A. 2013. Climate change impacts on rangeland plant communities. Rangeland Ecology & Management, 66(6), 493–505.
- Reed, M. S. 2008. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. Biological Conservation, 141(10), 2417–2431.
- Reynolds, J. F., Stafford Smith, D. M., Lambin, E. F., Turner, B. L., Mortimore, M., Batterbury, S. P., ... & Walker, B. 2007. Global desertification: Building a science for dryland development. Science, 316(5826), 847-851.
- Sommerville, M., Jones, J., & Brown, K. 2018. Social-ecological resilience in rangeland management. Journal of Environmental Management, 217, 1–10.

- Soussana, J. F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C., ... & Jones, M. 2010. Ecosystem carbon storage in grasslands. Agriculture, Ecosystems & Environment, 139(1–2), 55–64.
- Standish, R. J., Hobbs, R. J., Mayfield, M. M., Bestelmeyer, B. T., Suding, K. N., Battaglia, L. L., … & Thomas, P. A. 2013. Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? Trends in Ecology & Evolution, 28(9), 547–553.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., … & Stephens, S. 2002. The drought monitor. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1181–1190.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., & Kinzig, A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. Ecology and Society, 9(2), 5.
- Wilmer, F., Smith, P., & Jones, A. 2024. Biodiversity loss and ecosystem stability in rangelands. Ecological Applications, 34(1), e2615.
- اسدی، م.، حسینی، س.، و مرادی، ر. ۱۳۹۱. بررسی روابط بین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با مؤلفه‌های پوشش گیاهی (مطالعه موردی: قره‌تپه ساوه).مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دوره ۱۹ ، شماره ۲، ص. ۱۹۹-۱۹۳.
- علی‌خواه اصل، م. و رضوانی، ف. ۱۳۹۷. پیش‌بینی تغییرات پوشش زمین در افق ۱۴۰۷ با استفاده از مدل تلفیقی زنجیره‌ای مارکوف و سلول خودکار؛ مطالعه موردی: حوزه آبخیز مشرف به دریاچه بزنگان. فصل نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۳، شماره ۲، ص. ۸۷—۷۳.
- مهدوی، م، غفوری، ف.، عابدی سوستانی، ع.، و شهرکی، ع. ۱۳۹۸. بررسی نقش انسجام اجتماعی بهره‌برداران در مشارکت آنان در فعالیت‌های احیایی و اصلاحی مراتع (مطالعه موردی: مراتع قشلاقی استان گلستان). پژوهش‌های مرتع و بیابان‌زدایی ایران، جلد ۲۶، شماره ۴، ص. ۸۸-۷۳.