FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2, Summer,(2025)

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

Explanation of socio - ecological frameworks to understand the process of woody plant encroachment

Elham Ghehsareh Ardestani[1*]; Shahram Mansoori[2]; Hojatollah Khedri Gharibvand[1]; Mohsen Bahmani[3]

[*]1. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
2. Ph.D. Student, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
[*]Email Address: elham.ghehsareh@nres.sku.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/08/01
Revised Date:
2024/08/08
Accepted Date:
2024/11/18
Published Date:
2025/07/30

Keywords:
Woody plant encroachment,
Biophysical domain,
Feedback loops,
Social domain

ABSTRACT

Grasslands and rangelands are transitioning to areas dominated by woody plants, including shrubs, sub-shrubs, and trees. This phenomenon, often referred to as the woody plant encroachment (WPE), occurs globally. The theoretical and conceptual frameworks designed to understand the relationship between biophysical and social domains help elucidate the fundamental mechanisms of these transformations and develop strategies for the conservation and restoration of grasslands and open plains. This article aims to examine the ecological understanding of WPE alongside social domains within the framework of social-ecological systems to provide and develop a theoretical foundation related to this phenomenon. The study reviews recent and credible scientific articles to investigate the social-ecological frameworks of WPE. One of the fundamental aspects of the social-ecological systems approach is creating an appropriate framework for understanding the problem. The frameworks proposed so far assume that biophysical components are linked to social components through the provision of ecosystem services. The press-pulse framework, agent-based modeling, systems modeling, alternative stable state theory, and pyric- herbivory theory have been developed to establish connections between biophysical and social domains. Research based on these frameworks is expected to lead to a deeper understanding of social-ecological systems and create a sufficiently complex information base to address sustainable environmental challenges. In the adaptation and integration of frameworks, theories, and key ideas, both environmental and economic dimensions are embedded. Until this challenge is overcome, practical frameworks can be complexly intertwined with difficult analyses and consequently have limited use for developing and testing new theories.

Cite this article: Elham Ghehsareh Ardestani, Shahram Mansoori, Hojatollah Khedri Gharibvand, Mohsen Bahmani (2025). Explanation of socio-ecological frameworks to understand the process of woody plant encroachment,10(2) , Pages 10175-10190.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Grasslands and rangelands are transitioning to areas dominated by woody plants, including shrubs, sub-shrubs, and trees. This phenomenon, often referred to as the woody plant encroachment (WPE), occurs globally. The theoretical and conceptual frameworks designed to understand the relationship between biophysical and social domains help elucidate the fundamental mechanisms of these transformations and develop strategies for the conservation and restoration of grasslands and open plains. The process of WPE reflects a regime shift attributed to feedback loops linking vegetation with variables such as fire, grazing, and water availability. Numerous studies have explored the WPE concerning direct drivers of this process, such as the role of fire or grazing in either preventing or promoting this phenomenon, elucidating various aspects of this process. Given that the phenomenon of WPE is multifaceted and complex, attention to social issues is also crucial. This article aims to examine the ecological understanding of WPE alongside social domains within the framework of social-ecological systems to provide and develop a theoretical foundation related to this phenomenon.

Materials and methods

The study reviews recent and credible scientific articles to investigate the social-ecological frameworks of woody plant encroachment. One of the fundamental aspects of the social-ecological systems approach is creating an appropriate framework for understanding the problem. The frameworks proposed so far assume that biophysical components are linked to social components through the provision of ecosystem services.

Results and discussion

The press-pulse framework, agent-based modeling, systems modeling, alternative stable state theory, and pyric- herbivory theory have been developed to establish connections between biophysical and social domains. Research based on these frameworks is expected to lead to a deeper understanding of social-ecological systems and create a sufficiently complex information base to address sustainable environmental challenges. The dynamic press-pulse framework considers the press dynamics as widespread and gradual drivers, alongside pulse dynamics as sudden and periodic drivers. The agent-based modeling framework requires two main biophysical components capable of simulating changes in woody plant cover and socio-economic components that can simulate human decision-making processes justifying current conditions. The systems modeling framework conceptualizes grasslands as a social-ecological system by categorizing variables as either exogenous or endogenous. The alternative stable state theory is based on resilience and adaptive cycles, explaining why savanna landscapes can suddenly change in response to external disturbances beyond their historical range. In the pyric- herbivory framework, a key assumption is that the grassland/savanna landscape can be restored using fire and selective herbivory, provided both components are considered as endogenous drivers for the system.

Conclusion

In the adaptation and integration of frameworks, theories, and key ideas, both environmental and economic dimensions are embedded. Until this challenge is overcome, practical frameworks can be complexly intertwined with difficult analyses and consequently have limited use for developing and testing new theories. The language and methods of classical systems modeling facilitate effective collaboration among researchers in both fields, allowing for the sharing of frameworks, ideas, and theories, and providing strong insights into how social-ecological systems of woody plant expansion and dominance operate over long temporal and spatial scales.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی:2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company

تبیین چارچوب‌های اجتماعی - اکولوژیکی برای درک فرآیند گسترش و چیرگی گیاهان چوبی

الهام قهساره اردستانی [۱*]، شهرام منصوری [۲]، حجت الله خدری غریبوند [۱]، محسن بهمنی [۳]

[*]۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۲- دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
[*]ایمیل نویسنده مسئول: elham.ghehsareh@nres.sku.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۱۱
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۸/۲۸
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۸

کلیدواژه ها:
گسترش گیاهان چوبی، حوزه‌های بیوفیزیکی، حلقه‌های بازخوردی، حوزه‌های اجتماعی.

چکیده

علفزارها و مراتع در حال گذار به مناطق تحت غالبیت گیاهان چوبی اعم از گیاهان بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی هستند. این پدیده اغلب به گسترش و چیرگی گیاهان چوبی معروف است و در سطح جهانی رخ می‌دهد. چارچوب‌های نظری و مفهومی که برای درک ارتباط بین حوزه‌های بیوفیزیکی و اجتماعی طراحی شده‌اند کمک می‌کنند مکانیسم‌های اساسی این دگرگونی‌ها بهتر درک و راهبردهایی برای حفظ و احیای علفزارها و دشت‌های باز توسعه داده شود. این مقاله درنظر دارد درک اکولوژیکی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی توام با حوزه‌های اجتماعی را در قالب چارچوب‌های اجتماعی - اکولوژیکی برای ارایه و توسعه زیربنای نظری مرتبط با این پدیده مورد بررسی قرار دهد. این مطالعه با مرور مقالات علمی معتبر و جدید به بررسی چارچوب‌های اجتماعی – اکولوژیکی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی می‌پردازد. یکی از جنبه‌های اساسی رویکرد سیستم اجتماعی - اکولوژی، ایجاد یک چارچوب مناسب برای درک مشکل است، چارچوب‌هایی که تا به امروز پیشنهاد شده‌اند بر این فرض‌اند که مؤلفه‌های بیوفیزیکی از طریق ارائه خدمات اکوسیستمی با مؤلفه‌های اجتماعی مرتبط هستند. چارچوب‌های فشار – ضربان، مدل‌سازی عامل محور، مدل‌سازی سیستم‌ها، نظریه حالت پایدار جایگزین و نظریه علف‌خواری – آتش با هدف برقراری ارتباط میان حوزه‌های بیوفیزیکی و اجتماعی توسعه داده شده‌اند. انتظار می‌رود که تحقیقات بر محور این چارچوب‌ها منجر به درک عمیق‌تر سیستم‌های اجتماعی - اکولوژیکی شود و یک پایگاه اطلاعات به اندازه کافی پیچیده برای پرداختن به چالش‌های محیطی پایدار ایجاد کند. در تطبیق و ادغام چارچوب‌ها، نظریه‌ها و ایده‌های کلیدی، هر دو بعد محیط زیست و اقتصاد نهفته است. تا زمانی که بتوان بر این چالش غلبه کرد چارچوب‌های کاربردی می‌توانند به‌طور پیچیده با تجزیه و تحلیل دشوار و در نتیجه استفاده محدود به‌منظور توسعه و آزمایش نظریه‌های جدید مورد استفاده قرار گیرند.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/JESS.2024.471029.2285

۱- مقدمه

پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی در حقیقت تغییر علفزارها به مراتعی با پوشش گیاهان چوبی است. این پدیده ارائه خدمات اکوسیستمی همچون تولید غذا، آب و علوفه برای دام و زیستگاه برخی از آخرین علفخواران بزرگ باقی‌مانده در جهان را تهدید می‌کند. از لحاظ تاریخی، تلاش برای کنترل تکثیر گیاهان چوبی بر رویکردهای مختلفی استوار است که در مجموع به عنوان مدیریت گیاهان چوبی شناخته شده است که هدف آن ریشه‌کنی از طریق روش‌های مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بود. با این وجود، براساس نظریه تغییر حالت، این مدیریت دارای نتایج کوتاه مدت (۱۰-۵ سال) و بی‌اثر است . گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را می‌توان در دو مدل گلوگاه جمعیتی و رقابتی[1]مورد بررسی قرار داد. مدل‌های گلوگاه جمعیتی بر تأثیر آشفتگی (آتش و گیاه‌خواری) و دسترسی به آب بر استقرار و تداوم گیاهان چوبی تأکید دارند. مدل‌های رقابتی، بر تعامل رقابتی در تعیین هم‌زیستی بین گیاهان علفی و چوبی در مقیاس‌های مکانی یا زمانی مختلف متمرکز است . در حالی که حداکثر پوشش گیاهان چوبی در مقیاس منطقه‌ای و قاره‌ای با میانگین بارش سالانه تعیین می‌شود عوامل ژئومورفولوژی، خاک و آشفتگی‌ها (آتش و گیاه‌خواری) تحقق پتانسیل این پدیده را به طور عمده‌ای محدود می‌کنند (شکل ۱) . گیاه‌خواری و فراوانی و شدت آتش به ویژه در شکل‌دهی و ویژگی عملکردی مراتع اهمیت دارند. گیاه‌خواری تأثیر عمیقی بر علفزارها دارد و وابسته به شکل و شدت آن ممکن است به نفع (مصرف گیاهان علفی) یا سرکوب (از طریق سرشاخه‌خوران) رشد و تکثیر گیاهان چوبی عمل کند. به طور مشابه، آتش به ویژه در مناطقی که در آن عوامل آب و هوا و خاک قادر به حمایت از گیاهان چوبی هستند اهمیت دارد . آتش طبیعی و تجویز شده، دارای مزایای بالقوه زیست محیطی هستند. بااین وجود، شرایط کمبود منابع سوخت، خطرات دود حاصله، شرایط آب و هوایی و تهدید زیرساخت‌ها و زندگی ساکنین و حیات وحش ممکن است ساکنین استفاده از آتش‌های تجویز شده را محدود کنند و مانع آتش‌سوزی‌های طبیعی بدون کنترل شوند . در غیاب آتش، علفزارهای باقیمانده تقریباً مورد هجوم گیاهان چوبی قرار می‌گیرند و به مناطق تحت غالبیت آن‌ها تبدیل می‌شوند. اساساً، درک و پرداختن به گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به معنای مواجهه با پارادوکس این پدیده است؛ اگرچه بوم‌شناسان نقش حیاتی آتش را در حفظ بسیاری از علفزارها موثر می‌دانند، موانع اجتماعی، اقتصادی، قانونی و سیاستی جدی وجود دارد که باید تبیین و برای غلبه برآتش‌سوزی به عنوان ابزار مدیریتی قابل استفاده و پرکاربرد در قرن بیست و یکم درنظرگرفته شوند. یکی از راه‌های مقابله با این گسست علم – سیاست، مفهوم‌سازی گسترش گیاهان چوبی به عنوان یک سیستم اجتماعی – اکولوژیکی است. برای حفظ علفزارهای باقی‌مانده نیاز به الگوی جدید مدیریت گسترش و چیرگی گیاهان چوبی دارد که این پدیده را به عنوان یک سیستم اجتماعی–اکولوژیکی پیچیده به رسمیت شناسد که در آن فرآیندهای اکولوژی، اجتماعی و فرهنگی بطور توام عمل کنند و به صورت پویا در تعامل باشند. در نهایت، چنین الگویی می‌تواند به پارادایم جدیدی منجر شود که برای توسعه آن به چارچوب‌هایی نیاز است که به صراحت پاسخ‌های غیرخطی و حلقه‌های بازخورد، تأخیر زمانی، اثرات ماندگار[2]و ویژگی‌های اکوسیستمی را که می‌توانند انتقال به حالت‌های جایگزین ناشی از تعاملات بین عوامل طبیعی و انسانی را پیش‌بینی کنند مفهوم‌سازی کرده باشد. این تغییر و تبدیل (دگرگونی‌های گیاهان علفی) به گیاهان چوبی احتمالاً در رژیم‌های آب و هوایی آینده ادامه خواهند داشت .اگرچه تحقیقات قابل توجهی در زمینه گسترش گیاهان چوبی صورت گرفته است، عوامل محرک (ازجمله اثرات مستقیم، غیرمستقیم و متقابل مرتبط با تغییرات آب و هوا، رژیم‌های آتش‌سوزی و چرا، غنی‌سازی دی‌اکسیدکربن جو، رسوب نیتروژن) و مکانیسم‌های مرتبط با این پدیده اکولوژیکی جهانی همچنان موضوعات جدی قابل بحث هستند .اغلب تحقیقات در خصوص گسترش گیاهان چوبی بر محرک‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه تأثیر آشفتگی‌ها (مانند آتش‌سوزی و چرا) و دسترسی به آب بر استقرار و تداوم گیاهان چوبی متمرکز شده‌اند. تعداد اندکی از منابع علمی به صراحت نقش فرآیندهای اجتماعی در زمینه این تغییرات بوم‌شناختی و ارایه بازخوردی برای تاثیرگذاری تغییرات بر فرآیندهای اجتماعی اساسی را بررسی کرده‌اند . این مقاله درنظر دارد درک اکولوژیکی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی توام با حوزه‌های اجتماعی را در قالب چارچوب‌های اجتماعی – اکولوژیکی برای ارایه و توسعه زیربنای نظری مرتبط با این پدیده مورد بررسی قرار دهد.

۲- روش انجام تحقیق

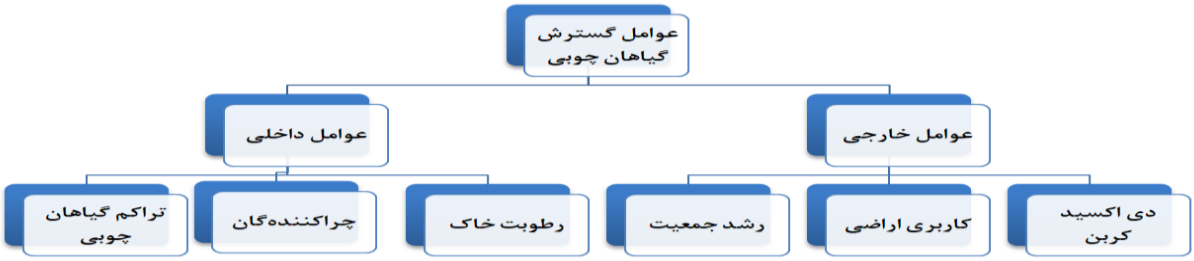
این مطالعه با مرور مقالات علمی معتبر و جدید به بررسی چارچوب‌های اجتماعی – اکولوژیکی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی می‌پردازد.

[1] Demographic bottleneck models and competition-based models

[2] Legacy

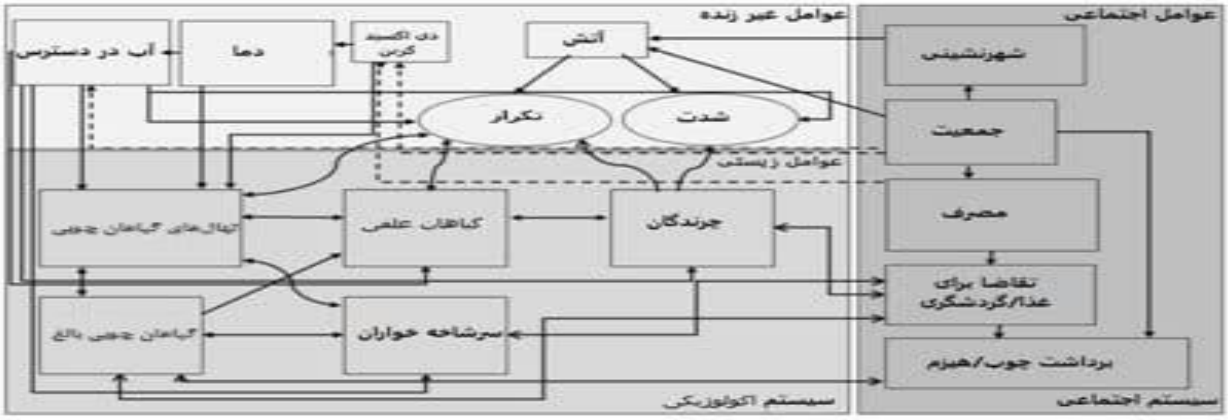
* چارچوب‌های اجتماعی – اکولوزیکی

اصطلاح سیستم اجتماعی – اکولوژیکی[3](SES) در اغلب منابع با اصطلاح سیستم‌های انسانی و طبیعی[4](CHANS) به کار برده شده است. Liu (۲۰۰۷) بیان داشتند که سیستم اجتماعی – اکولوژیکی سیستم‌های یکپارچه‌ای هستند که در آن افراد به طور متقابل با اجزای طبیعی در تعامل هستند و این تعاملات حلقه‌های بازخورد پیچیده‌ای را با تاخیر زمانی و اثرات ماندگار[5]ایجاد می‌کنند. در نتیجه، روابط در سیستم اجتماعی – اکولوژیکی اغلب غیرخطی هستند و رفتار آستانه‌ای را بین دو حالت پایدار دیگر نشان می‌دهند. از دست دادن حالت تاب‌آوری می‌تواند منجر به تغییرات سریعی شود که تاحدی غیرقابل برگشت است. جوهره تحقیقات سیستم اجتماعی – اکولوژیکی، گره‌گشایی از تعاملات پیچیده در مقیاس‌های زمانی و مکانی متعدد دارد و برای توسعه سیاست‌های مؤثر پایداری اجتماعی – اکولوژیکی ضروری به نظر می‌رسد . یکی از جنبه‌های اساسی اما چالش برانگیز رویکرد سیستم اجتماعی – اکولوژی، ایجاد یک چارچوب مناسب برای درک مشکل است، چارچوبی که می‌تواند ما را در شناسایی عوامل اجتماعی و زیست محیطی در نقش و تعیین نحوه تعامل آن‌ها راهنمایی کند. چارچوب‌هایی که تا به امروز پیشنهاد شده‌اند بر این فرض‌اند که مؤلفه‌های بیوفیزیکی از طریق ارائه خدمات اکوسیستمی با مؤلفه‌های اجتماعی مرتبط هستند. به عبارت دیگر، تصمیمات انسانی تحت تأثیر پیامدهایی است که انتظار می رود بر دریافت یا عدم دریافت خدمات کلیدی و ارزشمند اکوسیستم می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۱. عوامل یا محرک‌های گسترش و چیرگی گیاهان چوبی

یکی دیگر از راه‌های مفهوم‌سازی فرآیند گسترش گیاهان چوبی به رسمیت شناختن آن به عنوان یک تغییر رژیم (از گیاهان علفی به گیاهان چوبی) است. معکوس کردن یک تغییر رژیم (از گیاهان چوبی به گیاهان علفی) مستلزم داشتن درک کافی از سیستم است تا مشخص شود کدام بازخورد غالب است و چه اقدامات یا محرک‌هایی می‌توانند حلقه‌های بازخورد ناخواسته را بشکنند یا حلقه‌های بازخورد از دست رفته را دوباره ایجاد کنند. قدرت بازخورد غالب تعیین می‌کند تا چه حدی ممکن است یک تغییر رژیم خاص معکوس شود. از آنجایی که سطوح آستانه محرک‌هایی که باعث تغییر از یک رژیم به رژیم دیگر می‌شوند ممکن است با آستانه مورد نیاز برای برگشت سیستم به عقب متفاوت باشد (این موضوع به عنوان پسماند یا هیسترزیس شناخته می‌شود و مشخصه بسیاری از تغییر رژیم‌ها است) که توجه به این نکته اهمیت دارد (شکل ۲)



شکل ۲. یک مدل مفهومی ساده از فرآیندها و بازخوردهای اصلی که به عنوان زیربنای نظری تغییر رژیم از گیاهان علفی به گسترش گیاهان چوبی در یک سیستم اجتماعی – اکولوژیکی مطرح شده است

[3] Social–ecological system
[4] Coupled human and natural systems
[5] Time lags

۳- نتایج و بحث

* انواع چارچوب‌های اجتماعی - اکولوژیکی

* چارچوب فشار - ضربان[6] برای ارزیابی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی

چارچوب پویای‌های فشار - ضربان برای هدایت تحقیقات میان رشته‌ای یکپارچه و بلندمدت با هدف برقراری ارتباط میان حوزه‌های بیوفیزیکی و اجتماعی توسعه داده شده است . انتظار می‌رود که تحقیقات برمحور این چارچوب منجر به درک عمیق‌تر سیستم‌های اجتماعی - اکولوژیکی شود و یک پایگاه اطلاعات به اندازه کافی پیچیده برای پرداختن به چالش‌های محیطی پایدار ایجاد کند. Collins و همکاران (۲۰۱۱) پویای‌های فشار را به عنوان محرک‌های با تغییر گسترده و فراگیر (به طور مداوم در طول زمان رخ می‌دهند) همراه با پویای‌های ضربان به عنوان محرک‌های با تغییر ناگهانی و دوره‌ای (حاد و مجزا) تعریف کردند. نمونه‌هایی از اختلالات فشاری تغییرات تدریجی دما یا گازهای جوی هستند، در حالی که رویدادهای مجزا مانند آتش‌سوزی و خشکسالی نمونه‌ای از اختلالات ضربان می‌باشند. مسلماً، بسته به مقیاس زمانی و مکانی، خطوط بین پویای‌های فشار – ضربان می‌تواند محو شود. به عنوان مثال چرا می‌تواند یک اختلال فشار (در صورت بلندمدت، بیش از حد و مستمر) یا یک اختلال ضربان (در صورت چرای موقت، کوتاه مدت و با شدت بالا) باشد. با این وجود، مفهوم فشار - ضربان مفهومی کاربردی است که بررسی صریح زمان، تکرار و میزان اختلالات یا محرک‌های تغییر را تسهیل می‌کند. Wilcox و همکاران (۲۰۱۸) چارچوب گسترش گیاهان چوبی فشار – ضربان را برای منطقه دشت بزرگ جنوبی ایالت متحده ارائه دادند این چارچوب حوزه‌های اجتماعی و بیوفیزیکی را از طریق تأثیرات اختلالات فشار ویا ضربان بر ارائه خدمات اکوسیستم به هم مرتبط می‌کند. به طور خاص، چارچوب گسترش گیاهان چوبی فشار – ضربان، سیستمی را که توسط تعاملات بین تعدادی از متغیرهای خارجی هدایت می‌شود، مفهوم‌سازی می‌کند (به عنوان مثال اختلالات فشار مانند دما، الگوهای بارش، و چرای دستکاری شده و اختلالات ضربان مانند خشکسالی دوره‌ای، سیل، آتش‌سوزی و مدیریت گیاهان چوبی). بسیاری از این اختلالات ناشی از تصمیمات انسانی است که متعاقباً تأثیرات آنها را تقویت یا کاهش می‌دهد. این تصمیمات به نوبه خود تحت تأثیر خدمات اکوسیستمی ارائه شده توسط چشم انداز بیوفیزیکی و عوامل خارجی مانند گسترش شهرها، نوسان در ارزش اقتصادی و تقاضا برای کالاها و خدمات هستند. این چارچوب بیان می‌کند که مراتع سیستم‌های «باز» هستند، اما همچنین سیستم‌هایی هستند که در آن تصمیم‌گیری انسانی در متغیرهای درون‌زا ادغام می‌شود، به طوری که رفتار آن متغیرها را نمی‌توان به‌طور قابل اعتمادی بدون در نظر گرفتن بعد انسانی پیش‌بینی کرد (شکل ۳).

شکل ۳. چارچوب گسترش گیاهان چوبی فشار- ضربان، اقتباس از مدل مفهومی فشار – ضربان Collins و همکاران (۲۰۱۱). حوزه‌های اجتماعی و بیوفیزیکی هر کدام تحت‌تاثیر محرک‌های خارجی مختلف قرار دارند و با اختلال به واسطه‌ی انسان (مدیریت) و ارائه خدمات اکوسیستمی مرتبط هستند

فرضیه‌های یکپارچه (فرضیه‌های ۱ تا ۶) اجزای مختلف چارچوب را به یکدیگر متصل و به هدایت برنامه‌های تحقیقاتی بلندمدت کمک می‌کنند. فرمول‌بندی صریح این فرضیه‌ها نه تنها شناسایی دقیق‌تر شکاف‌های دانش را ممکن می‌سازند، بلکه به توسعه ابزارهای یکپارچه برای درک بهتر گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به عنوان یک سیستم تطبیقی پیچیده با حلقه‌های بازخورد، آستانه‌ها، رفتار غیرخطی و ویژگی‌های نوظهور کمک می‌کند (الف)، پیش‌بینی میزان و نرخ گسترش و چیرگی گیاهان چوبی تحت سناریوهای متضاد برآورد می‌کند (ب) و اینکه چگونه گزینه‌های مختلف سیاستی بر تمایل مالک زمین به استفاده از آتش‌سوزی به عنوان ابزار مدیریتی تأثیر می‌گذارد ارزیابی می‌کند (ج). اگرچه این فرضیه‌ها با استفاده ازمطالعات موردی توسعه یافته‌اند، با این وجود به سایر سیستم‌های مرتع و علفزارهایی با گسترش و چیرگی گیاهان چوبی مرتبط است (کاربرد چارچوب در مکان‌های دیگر بدیهی است که باید ویژگی‌های مربوط به مکان را در برگیرد). فرضیه‌های یکپارچه چارچوب گسترش گیاهان چوبی فشار – ضربان در زیر فهرست شده‌اند. این فهرست به معنای فهرست

[6] Press–pulse framework

جامعی نیست، بلکه نشان دهنده کاربرد چارچوب Collins و همکاران (۲۰۱۱) برای مفهوم‌سازی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به عنوان یک مشکل اجتماعی – اکولوژیکی است. فرضیه ۱: الگوهای کاربری زمین گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را تحریک و محدود می‌کند؛ فرضیه ۲: تغییرات در ساختار اکوسیستم فرآیندهای اکوسیستم را تغییر می‌دهد؛ فرضیه ۳: تغییرات ناشی از گسترش و چیرگی گیاهان چوبی در ساختار و عملکرد اکوسیستم، ارائه خدمات اکوسیستم را تغییر می‌دهد؛ فرضیه ۴: رفاه بهره‌برداران روستایی متاثر از تغییرات خدمات اکوسیستمی است؛ فرضیه ۵: رفتار فردی و جمعی با توجه به کاربری زمین با تأثیرات معیشت هدایت می‌شود؛ فرضیه ۶: الگوهای آشفتگی چشم انداز تحت تأثیر میزان پذیرش مالک زمین از آتش‌سوزی تجویز شده است.

* ارزیابی چارچوب فشار- ضربان برای ارزیابی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به عنوان یک سیستم اجتماعی – اکولوژیکی

چارچوب پویای‌های فشار – ضربان در شناسایی تعاملات اجتماعی – اکولوژیکی که محرک‌های کلیدی گسترش گیاهان چوبی هستند و در توسعه فرضیه‌های یکپارچه و شناسایی شکاف‌های دانش، نقش مهمی دارند. به عنوان مثال، استفاده از چارچوب گسترش و چیرگی گیاهان چوبی فشار – ضربان برای مشکل گسترش و چیرگی گیاهان چوبی ثابت کرده است که دانش و درک از حوزه اجتماعی تا حد زیادی از حوزه بیوفیزیکی عقب‌تر است. این موضوع برای کلیه مناطقی که تحت اثر پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی هستند نیز صادق است. موضوع چالش برانگیز در این زمینه، دشواری تشخیص پیوندهای واضح و مستقیم بین خدمات اکوسیستم و تصمیم‌گیری انسانی است که به چندین عامل وابسته است. به عنوان مثال، مراتع اغلب از نظر اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی، چشم انداز حاشیه‌ای نسبت به چشم انداز با مدیریت فشرده هستند. مراتع به عنوان چشم انداز حاشیه‌ای از نظر کالاها و خدمات سنتی نسبت به کالاها و خدمات غیرسنتی (مانند آب، تنوع زیستی، فضای باز و حیات وحش) کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. علاوه براین، از آنجایی که تعداد زیادی از مالکان برای درآمدزایی به زمین خود متکی نیستند، فاقد انگیزه اقتصادی سنتی کافی برای مدیریت گیاهان چوبی برای تولید علوفه دام هستند (شکل ۴) همچون سایر چارچوب‌های اجتماعی – اکولوژیکی این الگو دارای سه محدودیت است. اول اینکه، در شناسایی و شفاف‌سازی ماهیت و قدرت حلقه‌های بازخورد متقابل بین محرک‌های اجتماعی و اکولوژیکی مفید نیست. دوم اینکه، مکانیسمی برای ارزیابی تأثیر فرآیندهای اجتماعی و اکولوژیکی بر میزان و پیامدهای گسترش و چیرگی گیاهان چوبی یا اثربخشی و نتایج فعالیت‌های مدیریتی با هدف کاهش گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را در برنمی‌گیرد. سوم اینکه، ویژگی‌های اضطراری سیستم اجتماعی – اکولوژیکی را شناسایی نمی‌کند. برای غلبه براین محدودیت‌ها، رویکردهای تکمیلی که کمی و پویاتر باشند لازم است توسعه داده شوند.

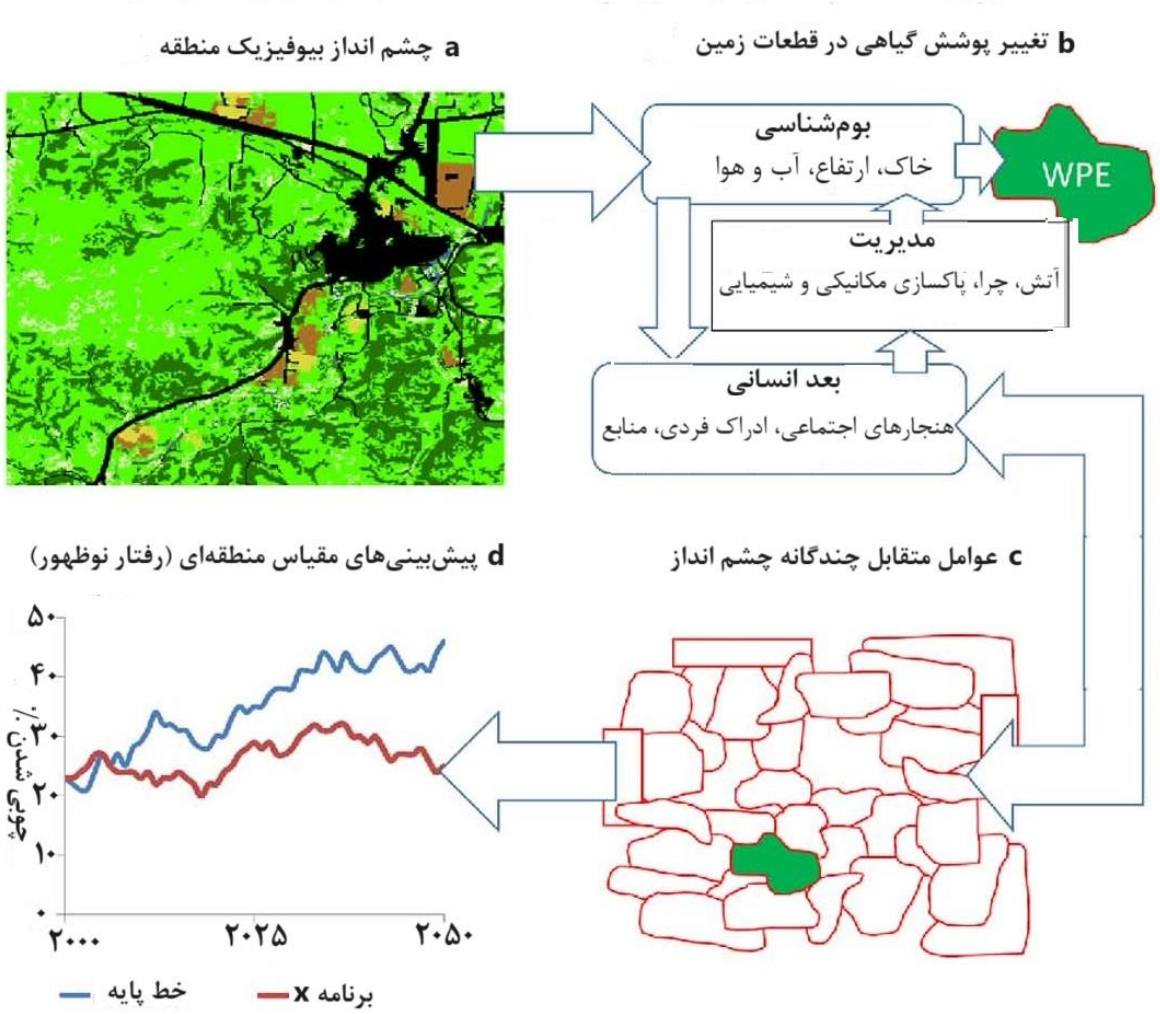
شکل ۴. پیوند بین خدمات اکوسیستم و تصمیم‌گیری انسانی در مراتع به عنوان چشم انداز حاشیه‌ای ضعیفتر از (الف) مناظر با مدیریت فشرده‌تر است که بازده اقتصادی بالایی ارائه می‌دهد یا (ب) مناظر طبیعی دولتی یا خصوصی که در آن جامعه برای خدمات اکوسیستم غیراقتصادی، مانند فضای باز، حفاظت از تنوع زیستی، حیات وحش، و عملکرد حوزه آبخیز ارزش بالایی قائل شده است.

* مدل‌سازی عامل محور (ABM)[7]

برای پیشبرد درک پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به عنوان یک مشکل اجتماعی – اکولوژیکی، باید توانایی پیوند کمی فرآیندهای اجتماعی و زیست محیطی با استفاده از مدل‌ها بهبود یابد. مدل‌سازی عامل محور، رویکردهای بالقوه‌ای برای دستیابی به این هدف است. مدل‌های عامل محور به طور مؤثر برای رسیدگی به طیف گسترده‌ای از مشکلات از نوع سیستم اجتماعی – اکولوژیکی استفاده شده‌اند. در دهه گذشته، مدل‌های عامل محور به طور فزاینده‌ای ثابت کرده‌اند که یک رویکرد قدرتمند برای مدل‌سازی تصمیم‌گیری انسانی، از طریق

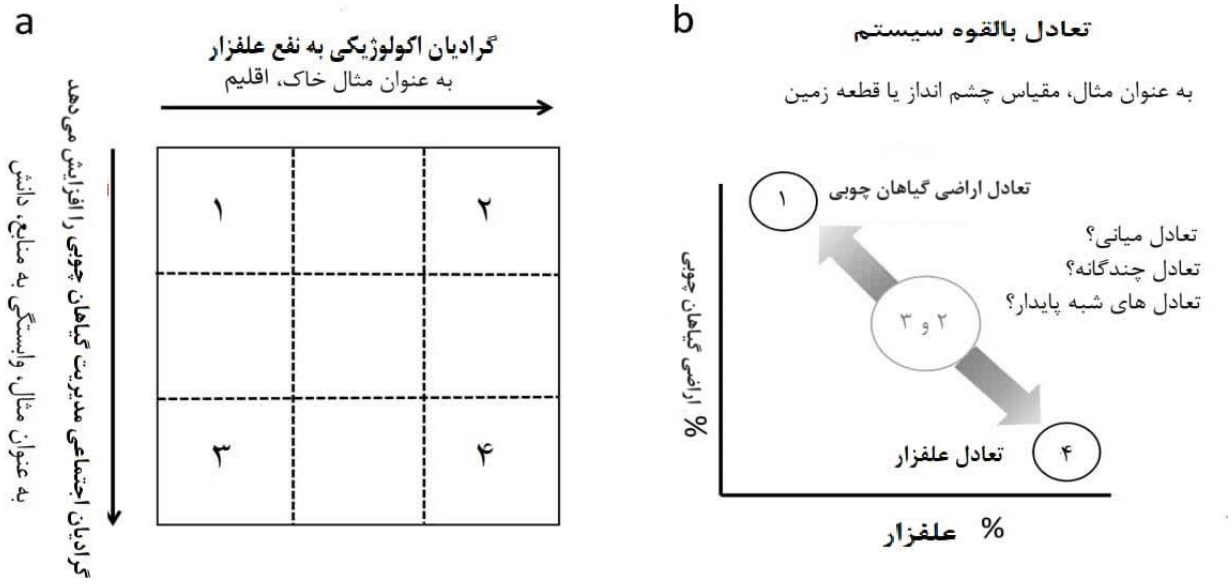
[7] Agent-Based Models

پیوند پویای فرآیندهای اجتماعی و محیطی هستند. آیا ممکن است یک مدل عامل محور بینش جدیدی را در خصوص پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی ارایه دهد؟ و اگرچنین است چگونه می‌توان پیکربندی و مفهوم‌سازی کرد؟ با توجه به مطالعات انجام شده، هنوز هیچ تلاشی برای توسعه مدل‌سازی عامل محور برای گسترش و چیرگی گیاهان چوبی صورت نگرفته است. چنین مدلی به دو مؤلفه اصلی نیاز دارد: (۱) یک مؤلفه بیوفیزیکی که قادر به شبیه‌سازی تغییرات در پوشش گیاهان چوبی است و (۲) یک مؤلفه اجتماعی – اقتصادی که بتواند فرآیندهای تصمیم‌گیری انسانی را به گونه‌ای شبیه‌سازی کند که شرایط فعلی را توجیه کند. ادراکات، باورها و منابع هر یک از مالکان به اقدامات مدیریتی بر متغیرهای بیوفیزیکی تأثیر می‌گذارد. با این رویکرد، مالکان قطعات زمین به طور فردی «عامل» منطقی خواهند بود (شکل ۵). به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری در مقیاس یک قطعه زمین منفرد خواهد بود و تعاملات بین عوامل، تصمیمات اکولوژیکی و ابعاد انسانی هر عامل را هدایت می‌کند. به این ترتیب، عوامل متقابل می‌توانند به طور بالقوه الگوهای نوظهور در مقیاس منطقه‌ای برای گیاهان چوبی ایجاد کنند.



شکل ۵. نمودار مفهومی مدل‌سازی عامل محور. (الف) مدل چشم انداز را در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از داده‌های کاربری زمین، خاک، ارتفاع و آب و هوا شبیه‌سازی می‌کند. (ب) مؤلفه‌های بیوفیزیکی و اجتماعی مدل با اقدامات مدیریتی (آتش‌سوزی، چرا، و ازبین بردن گیاهان چوبی) به هم مرتبط هستند. (ج) تعاملات بین عوامل، تصمیمات اکولوژیکی و اجتماعی – اقتصادی هر عامل را هدایت می‌کند. (د) عوامل متقابل چندگانه، الگوهای نوظهور را در مقیاس منطقه‌ای برای ویژگی‌های موردنظر (مانند گسترش گیاهان چوبی:WPE، کربن و هیدرولوژی) ایجاد می‌کنند. اثرات آشفتگی‌ها بر سیستم را می‌توان از طریق تحلیل سناریوها بررسی کرد .

یک چالش برجسته در توسعه یک مدل عامل محور معتبر برای درک پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی این است که چگونه تصمیم‌گیری انسانی مدل‌سازی می‌گردد. مولفه اجتماعی – اقتصادی باید ملاحظات عمده‌ای را مورد توجه قرار دهد. اول اینکه، اگر مالکان زمین نقش بوم‌شناختی آتش را در حفاظت از مراتع درک نکنند، این کمبود دانش می‌تواند منجر به تصمیماتی شود که پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را ترویج کنند. دوم اینکه، ادراک مدیران زمین و منابع اقتصادی آن‌ها تحت تأثیر فرآیندهای بازخورد مثبت و منفی، از جمله تجربه شخصی با آتش‌سوزی تجویز شده، هنجارهای اجتماعی منطقه‌ای، در دسترس بودن منابع اقتصادی برای آتش‌سوزی تجویز شده و حمایت قانونی برای سوزاندن است (شکل ۶).



۱- متغیرهای اکولوژیکی به نفع گسترش گیاهان چوبی هستند اما متغیرهای اجتماعی-اقتصادی مانع از مدیریت موثر گیاهان چوبی می‌شوند.

۲- متغیرهای اکولوژیکی گسترش گیاهان چوبی را مهار می‌کنند اما متغیرهای اجتماعی-اقتصادی به نفع مدیریت موثر گیاهان چوبی هستند.

۳- متغیرهای اکولوژیکی به نفع گسترش گیاهان چوبی و متغیرهای اجتماعی-اقتصادی به نفع مدیریت موثر گیاهان چوبی هستند.

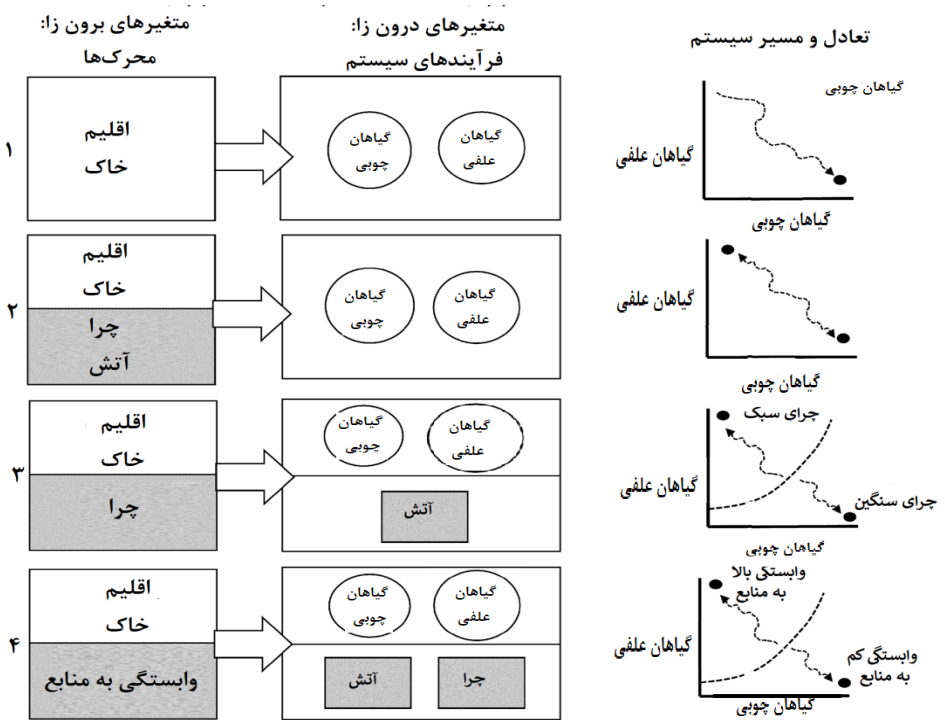
۴- متغیرهای اکولوژیکی گسترش گیاهان چوبی را مهار می‌کنند اما متغیرهای اجتماعی-اقتصادی به نفع مدیریت موثر گیاهان چوبی هستند.

شکل ۶. مراتع تحت تاثیر پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی سیستم‌های اجتماعی - اکولوژیکی هستند که در آن‌ها تعاملات بین متغیرهای اجتماعی و اکولوژیکی میزان پوشش گیاهی چوبی و وضعیت اکوسیستم را تعیین می‌کند. (الف) اعداد ۱ تا ۴ بیانگر حالت‌های اکولوژیکی بالقوه برای ترکیب‌های مختلف مدیریت و متغیرهای اکولوژیکی هستند که به نفع اراضی گیاهان چوبی یا علفزارها هستند. (ب) محدودیت‌های مدیریتی و اکولوژیکی ناشی از آن تعیین می‌کند که یک مرتع معین در کجای زنجیره علفزار یا اراضی گیاهان چوبی قرار گیرد .

سوم اینکه مردم براساس ادراکات و انگیزه‌ها و قابل مشاهده بودن اطلاعات تصمیم می‌گیرند. اطلاعاتی که برای مدیران زمین قابل مشاهده است، وضعیت اقتصادی و زیست محیطی فعلی عملیات آن‌هاست و این اطلاعات احتمالاً اکثر تصمیمات آن‌ها را حمایت خواهد کرد. با این حال، حلقه‌های بازخورد اطلاعاتی در مقیاس‌های مکانی و زمانی وسیع‌تر (که با انگیزه‌هایی مانند حفاظت از منابع اکوسیستم، پایداری یک عملیات و پایبندی به هنجارهای اجتماعی هدایت می‌شوند) نقش مهمی در تصمیم‌گیری ایفا می‌کنند. براین اساس رویکرد مدل عامل محور ممکن است برای دستیابی به بینش عمیق‌تر در مورد اینکه چگونه پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را می‌توان به عنوان یک سیستم اجتماعی – اکولوژیکی درک کرد، مفید باشد.

* مدل‌سازی سیستم‌ها

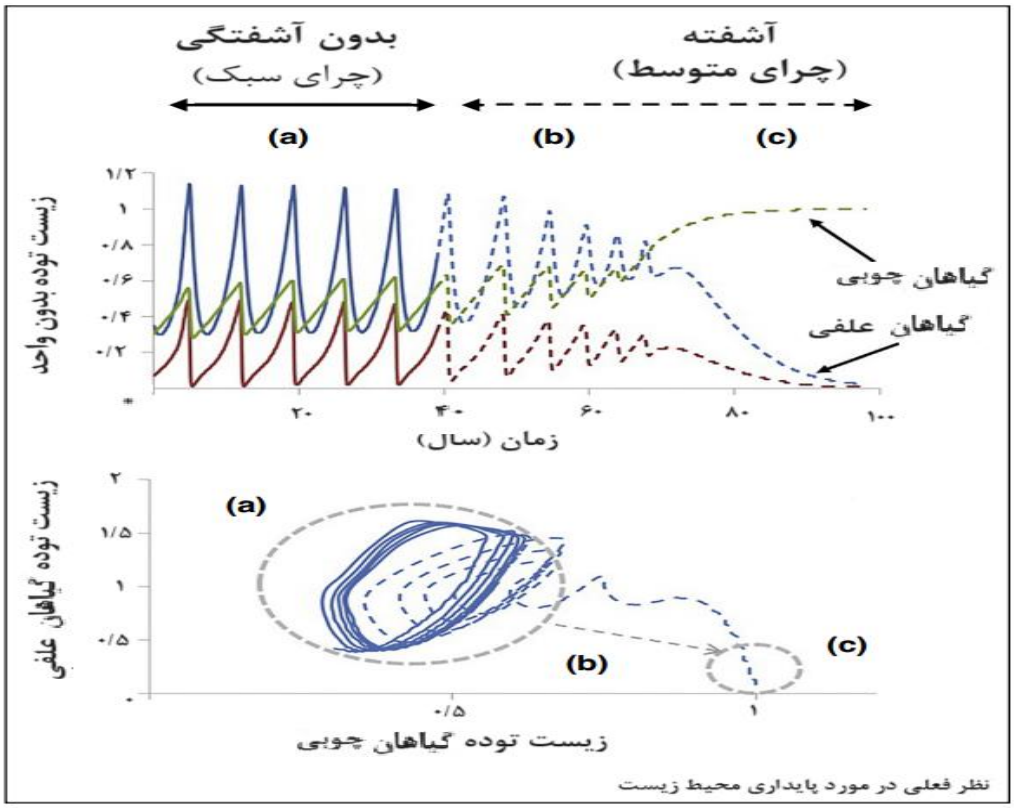
یک رویکرد جایگزین یا حتی مکمل برای پیوند دادن حوزه‌های اجتماعی و بیوفیزیکی، مدل‌سازی سیستم‌ها است که قابلیت ترکیب حلقه‌های بازخورد متقابل بین متغیرهای اکولوژیکی و تصمیم‌گیری انسانی را دارد. به عنوان مثال، همانگونه که در شکل ۶ مشخص شده است، وسعت پوشش گیاهان چوبی تابعی از ظرفیت اکولوژیکی برای حمایت از گیاهان چوبی و تمایل مدیران زمین برای ترویج مدیریت گیاهان چوبی است. به عبارت دیگر، هر دو تعادل و مسیر پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی توسط تعامل متقابل بین عوامل بیوفیزیکی و اجتماعی هدایت می‌شوند. دو سیستم از نظر پوشش گیاهی چوبی می‌توانند مشابه و به دلایل اجتماعی و اکولوژیکی کاملاً متفاوت باشند. مشکل فوری پیش روی تحقیقات اجتماعی – اکولوژی، ایجاد پل ارتباطی بین زمینه‌های اکولوژی، روانشناسی و اقتصاد است. پیشنهاد می‌شود که هدف فوری تحقیق سیستم اجتماعی – اکولوژی باید توسعه مدل‌هایی مبتنی بر نظریه‌های علمی معتبر است که مستقل از رشته‌های مختلف مشتق شده‌اند. تنها زمانی می‌توان پیشرفت کرد که این نظریه‌ها به سادگی و با کلیتی توصیف شوند که توسط همکاران در هر زمینه قابل درک باشد. کلید توسعه یک چارچوب پویا برای ارزیابی سیستم‌های اجتماعی –اکولوژی، فرمول‌بندی یک نمایش ساده از یک سیستم منظم اما جفت‌شده است. شکل ۷ روش‌های مختلفی را نشان می‌دهد که در آن مراتع می‌توانند از طریق یک رویکرد مدل‌سازی سیستمی مدل شوند. این فرآیند متشکل از شناسایی دقیق ویژگی‌های سیستمی مدنظر است– یعنی به عنوان متغیرهای حالت برون‌زا و درون‌زا – به طور مؤثر سیستم را بر اساس سؤالاتی که مدل برای دستیابی به آن‌ها طراحی شده است محدود می‌کند. مرحله بعدی تعیین این متغیرهای حالت به عنوان برون‌زا (متغیرهای ثابت و تغییرناپذیر که سیستم را به حرکت در می‌آورند اما تحت تأثیر آن قرار نمی‌گیرند) یا درون‌زا (متغیرهایی که درون سیستم هستند و متقابلاً با سایر متغیرهای درون‌زا و برون‌زا در تعامل دارند) می‌باشد.



شکل ۷. مراحل رویکرد مدل‌سازی سیستمی برای مفهوم‌سازی مراتع به عنوان یک سیستم اجتماعی- اکولوژیکی. این رویکرد متغیرها را به عنوان متغیرهای برون‌زا یا درون‌زا دسته‌بندی می‌کند. در فاز ۱، متغیرهای آب و هوا و خاک به عنوان ویژگی‌های برون‌زا (تغییرناپذیر) سیستم مدل‌سازی می‌شوند که تعامل یا رقابت بین گیاهان چوبی و گیاهان علفی را هدایت می‌کنند. در فاز ۲، چرا و آتش به عنوان محرک‌های برون زا اضافه می‌شوند. در فاز ۳، آتش به عنوان یک فرآیند درون‌زا مدل‌سازی می‌شود که توسط چرا هدایت می‌شود و بر تعامل یا رقابت بین گیاهان علفی و چوبی تأثیر می‌گذارد. فاز ۴ به یک سیستم اجتماعی - اکولوژی صریح اشاره دارد که در آن آتش و چرا به عنوان متغیرهای درون‌زا که توسط یک محرک اجتماعی برون‌زا به عنوان مثال وابستگی یک مدیر زمین به منابع زمین هدایت می‌شوند، مفهوم‌سازی می‌شوند .

در ابتدایی‌ترین سطح (مرحله ۱)، یک سیستم زیست محیطی را می‌توان بدون مولفه اجتماعی مدل کرد. صرفاً به‌عنوان تعاملات بین موجودات زیست‌محیطی و محرک‌های غیر زنده بیرونی مدل‌سازی و یا مفهوم‌سازی شده است. بنابراین هیچ پیوند متقابلی بین وضعیت سیستم و تصمیم‌گیری وجود ندارد. به طور سنتی، مفهوم‌سازی‌هایی از این دست توسط بوم‌شناسان برای درک یک سیستم به تنهایی در شرایط بیوفیزیکی استفاده می‌شد. به عنوان مثال، آب و هوا و خاک به عنوان عوامل برون زا (خواص تغییر ناپذیر سیستم) مدل‌سازی می‌شوند که رقابت بین گیاهان چوبی و پوشش گیاهان علفی را هدایت می‌کنند. محرک‌های برون‌زا «ثابت» هستند به این معنا که اگرچه ممکن است با زمان (به عنوان مثال، شرایط آب و هوایی ممکن است به صورت روزانه تغییر کند) یا با مکان تغییر کنند، فرمول مدل شامل هیچ مکانیزمی نیست که توسط آن بتوان آنها را با متغیرهای حالت درون‌زا تغییر داد (به عنوان مثال، گیاهان چوبی و پوشش گیاهان علفی). مدل‌سازی فاز ۱ برای درک اینکه چگونه رقابت بین پوشش گیاهان چوبی و علفی (پویایی سیستم) ممکن است تحت تأثیر خاک و/یا آب و هوا قرار گیرد مفید است. در مرحله ۲ (شکل ۷)، وضعیت اکولوژیکی سیستم ممکن است توسط عواملی که تحت کنترل انسان هستند، اما همچنان محرک‌های خارجی یا برون زا هستند، درک شود. این مرحله تعاملات متقابل بین حوزه‌های بیوفیزیکی و اجتماعی را در نظر نمی‌گیرد، اما تصدیق می‌کند که انسان‌ها می‌توانند اثرات مستقیمی بر وضعیت اکولوژیکی سیستم داشته باشند. به عنوان مثال، مرحله ۲ شامل چرا و آتش به عنوان دو محرک برون‌زا است، هر دو نتایج بالقوه تصمیم‌گیری انسانی هستند و به همین ترتیب بر پویایی سیستم تأثیر می‌گذارند. خروجی مدل ممکن است به وضوح نشان دهد که دستکاری چرا و آتش در سیستم می‌تواند به شدت بر پویایی بلندمدت آن (فراوانی نسبی گیاهان علفی و چوبی) تأثیر بگذارد. اما عقل سلیم نشان می‌دهد که مدل اگرچه عناصری را که تا حدی تحت تأثیر انسان قرار می‌دهند، ترکیب می‌کند، با این حال مدل‌سازی مرحله ۲ یک سیستم اجتماعی – اکولوژیکی واقعی را شبیه‌سازی نمی‌کند.

در مرحله ۳، سیستم به عنوان داشتن یک محرک انسانی برون‌زا تصور می‌شود. به عنوان مثال، چرای دام اثرات پیچیده و غیرمستقیم بر روی سیستم دارد و به عنوان یک فرآیند برون‌زا مدل می‌شود (فرایندی که می‌تواند توسط یک مدیر زمین تغییر یابد)، اما آتش به عنوان یک فرآیند درون‌زا مدل می‌شود که توسط چرا و برهمکنش متقابل بین گیاهان علفی و چوبی هدایت می‌شود. به عنوان مثال، Anderies و همکاران (۲۰۰۲)، یک مدل ساده از نوع مرحله ۳ ایجاد کرده‌اند که به موجب آن آتش توسط تجمع لاشبرگ مناسب که به نوبه خود توسط فراوانی نسبی گیاهان چوبی و علفی و شدت چرا در سیستم هدایت می‌شود ایجاد می‌شود (چرای شدید از این تجمع جلوگیری می‌کند). بنابراین، خروجی‌های مدل می‌توانند برای درک مسیر سیستم بر اساس یک عامل مدیریتی واحد، مانند شدت چرا استفاده شوند (شکل‌های ۷ و ۸).



شکل ۸. تحلیل مجدد مدل Anderies و همکاران (۲۰۰۲)، حالت‌های پایدار جایگزین برای یک سیستم ساوانا نشان می‌دهد. بخش بالایی تغییرات زمانی پیش‌بینی‌شده توسط مدل قبل از آشفتگی و پس از آشفتگی را نشان می‌دهد (به ترتیب خطوط یکپارچه و خط چین)، که اختلال افزایش چرا است. (a) وضعیت علفزار پویا؛ (b) انتقال ناشی از اختلال؛ (c) حالت اراضی گیاهان چوبی پایدار. بخش پایین یک نمودار صفحه فاز از همان داده‌ها را نشان می‌دهد.

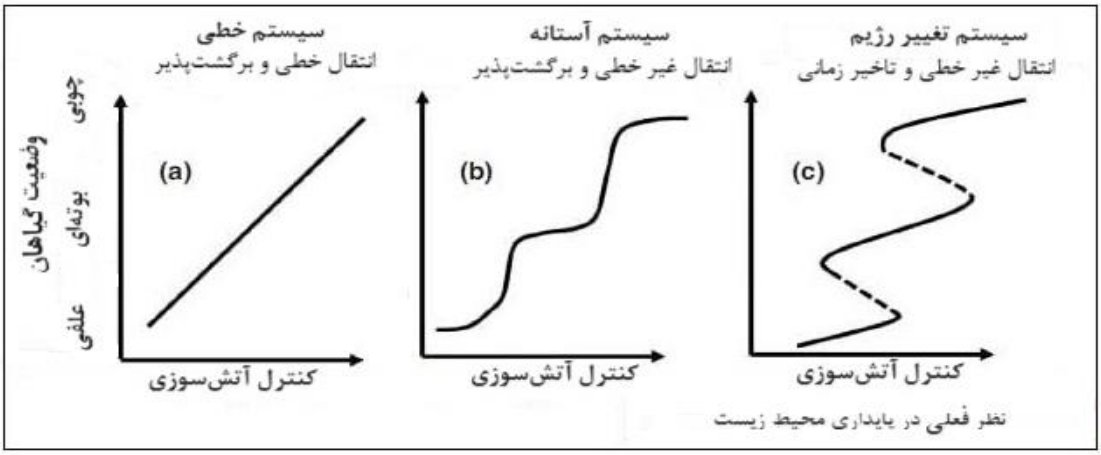
مراحل ۲ و ۳ را می‌توان برای درک اینکه چگونه انسان‌ها می‌توانند بر سیستم‌های اکولوژیکی تأثیر بگذارند استفاده می‌شود اما یک سیستم اجتماعی – اکولوژی صریح را نشان نمی‌دهند. مدلی که در آن آتش و چرا به عنوان متغیرهای درون‌زا که توسط یک محرک اجتماعی برون‌زا "ثابت" هدایت می‌شوند، مانند وابستگی یک مدیر زمین به منابع زمین، همانطور که نشان داده شده است، که نیاز به شبیه‌سازی یک سیستم مرتعی دارد مفهوم‌سازی می‌شوند. مرحله ۴ یکپارچه‌ترین حالت اجتماعی – اکولوژی را نشان می‌دهد، که در آن همان متغیرهای بیوفیزیکی سیستم را همراه با یک متغیر اجتماعی برون‌زای کلیدی (مثلاً وابستگی به منابع) هدایت می‌کنند. این محرک اجتماعی متغیرهای مدیریت درون‌زا و مرتبط با محیط زیست را تعیین می‌کند، مانند آتش‌سوزی و چرا، که متقابلاً با فراوانی گیاهان چوبی و علفی مرتبط هستند. تا به امروز چنین مدلی توسعه نیافته است، اما خروجی چنین مدلی می‌تواند کمک کند تا درک شود چگونه چرا، آتش، گیاهان چوبی و علفی به عنوان ویژگی‌های یک سیستم تحت شرایط مختلف وابستگی به منابع عمل می‌کنند.

* چارچوب نظریه حالت پایدار جایگزین[8]

نظریه حالت پایدار جایگزین، براساس تاب‌آوری[9](انعطاف‌پذیری) و چرخه‌های تطبیقی[10] است. این چارچوب در هر دو سیستم مدیریت شده و طبیعی برای تبیین تفاوت در نرخ و حساسیت به تغییر در ساختار و عملکرد اکوسیستم استفاده شده است. چارچوب نظریه حالت پایدار جایگزین برای تبیین اینکه چرا چشم اندازهای ساوانا می‌توانند به صورت ناگهانی در پاسخ به آشفتگی‌های برون‌زا خارج از محدوده تاریخی خود تغییر کنند، مؤثر بوده است و به طور فزاینده‌ای برای درک انتقال در چشم اندازهای ساوانا در مقیاس منطقه‌ای و جهانی استفاده می‌شود. مفاهیم کلیدی چارچوب نظریه حالت پایدار جایگزین عبارتند از (۱) حالت‌های جایگزین تحت کنترل بازخوردهای تثبیت کننده قوی ممکن است تحت شرایط محیطی برون‌زا وجود داشته باشند؛ (۲) اگر این بازخوردهای تثبیت کننده ضعیف شوند تغییرات ناگهانی حالت می‌تواند رخ دهد؛ (۳) از طرفی تغییر در حالت نشان دهنده یک تغییر فاجعه بار یا انتقال بحرانی است به طوری که معکوس کردن شرایط محیطی به سطوح قبل از انتقال که منجر به بازگرداندن حالت قبلی می‌شود که به دلیل هیسترزیس یا پسماند امکان‌پذیر نمی‌باشد. به عنوان مثال،بر اساس تقریبا ۳۰ سال داده، Ratajczak و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که انتقال از علفزارها به بوته‌زارها در

[8]. Alternative stable state theory
[9] . Resilience
[1] . Adaptive cycles [0]

دشت‌های بزرگ مرکزی آمریکای شمالی نشان‌دهنده گذار بین جاذبه‌های[1]جایگزین است که غیرخطی و مستعد هیسترزیس است (شکل ۹c)، به جای یک فرآیند خطی و برگشت‌پذیر (شکل ۹a) یا یک فرآیند با آستانه غیرخطی و برگشت‌پذیر (شکل ۹b) باشد. دراکوسیستم‌های علفزار و ساوانا رفتارآتش (فراوانی و شدت) و یا مهار آتش بازخوردهای منفی یا مثبت مرتبط با حفظ وضعیت علفزار را نشان می‌دهد. مهارآتش بازخورد مثبتی است که با حذف یک محدودیت کلیدی استقرار گیاهان چوبی و انتقال از علفزار به اراضی با گیاهان چوبی را امکان‌پذیر می‌کند. از طرف دیگرآتش‌سوزی‌های مکرر بازخوردهای منفی (تثبیت کننده) هستند که وضعیت علفزار را حفظ می‌کنند

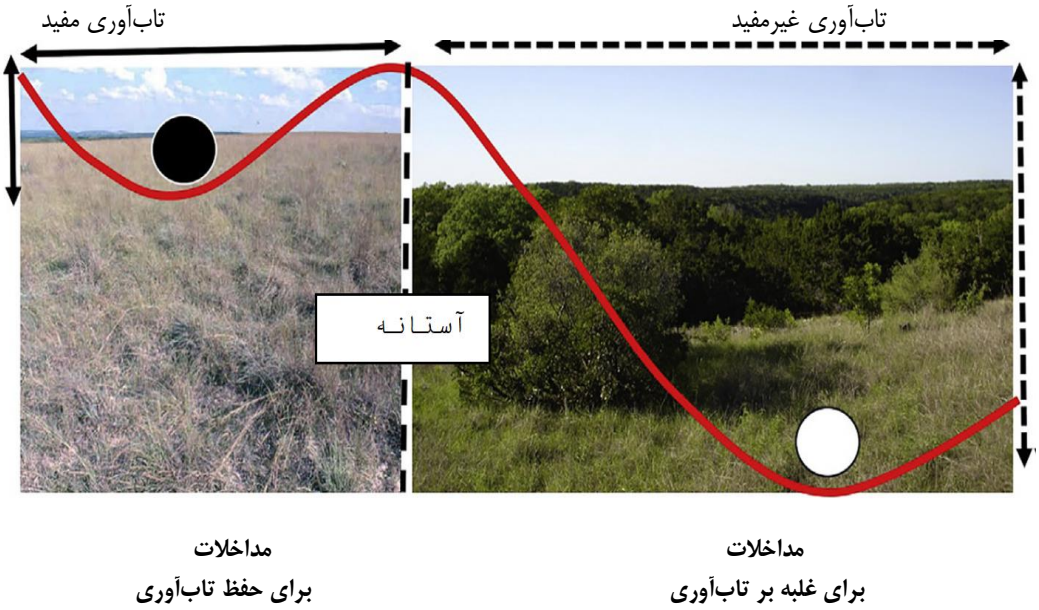


شکل ۹.. پاسخ‌های بالقوه مناظر ساوانا به تغییرات در رژیم‌های آتش‌سوزی در دشت‌های بزرگ. خطوط یکدست نشان دهنده تعادل پایدار است. خطوط خط چین (c) تعادل‌های ناپایدار را در مرز بین حوزه‌های جاذبه[2]برای حالت‌های پایدار جایگزین ترسیم می‌کنند

تعدادی از مدل‌های مفهومی چارچوب نظریه حالت پایدار جایگزین را توصیف کرده‌اند. یافته‌ها مانند مدل دینامیکی تعادل- تعادل ناپایدار (شکل ۸) و مدل توپ و فنجان (شکل ۹) معمولاً برای توصیف انتقال علفزار به اراضی گیاهان چوبی استفاده می‌شوند. یکی از مشکلات این یافته‌ها این است که آنها مستلزم ثباتی هستند که در واقع در سیستم‌های طبیعی از جمله ساوانا یافت نمی‌شود. Scheffer (۲۰۱۲) پیشنهاد می‌کند که هنگام برخورد با سیستم‌های واقعی، رژیم‌های دینامیکی جایگزین ممکن است توصیف‌کننده مناسب‌تری نسبت به حالت‌های پایدار جایگزین باشند و بسیاری از مدل‌های سیستم‌های دینامیکی به جای حالت پایدار به‌طور متناوب به یک چرخه یا رژیم دینامیکی پیچیده‌تر نزدیک می‌شوند. علاوه بر این، اگرچه از نظر مفهومی خوشایند است اما یافته‌ها به ویژه برای عملیاتی کردن تئوری تاب آوری مفید نیستند.رویکردهای نسبتا کمی وجود دارد که یک پایه ریاضی قوی برای عملیاتی کردن نظریه حالت پایدار جایگزین برای سیستم‌های ساوانا فراهم می‌کند. مدل Anderies و همکاران (۲۰۰۲) یک استثنا است و به طور بالقوه راهی به جلو ارائه م دهد. اگرچه کامل نیست، اما پایه ریاضی مورد نیاز برای ترجمه مدل‌های مفهومی نظریه حالت پایدار جایگزین و تاب‌آوری به یک چارچوب عملیاتی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای تولید و آزمایش فرضیه‌ها استفاده شود. این مدل از یک سری معادلات دیفرانسیل معمولی نسبتا ساده‌ی ریاضی استفاده می‌کند که تغییرات قطعی را در چهار متغیر حالت شاخه‌های گیاهان علفی، تاج پوشش گیاهان علفی و چوبی و لاشبرگ مناسب (سوخت) مورد نیاز برای اشتعال و گسترش آتش توصیف می‌کند. مدل Anderies و همکاران (۲۰۰۲) شامل پدیده‌هایی است که برای هر دو چارچوب نظریه حالت پایدار جایگزین و علف‌خواری- آتش مهم هستند. به عنوان مثال، شکل ۸ نمودارهای زمانی و صفحه فاز یک انتقال را نشان می دهد که توسط تغییر در شدت چرا انجام می‌شود. هنگامی که شدت چرا کم است، سیستم به طور متناوب به یک حالت علفزار پایدار پویا نزدیک می‌شود. این وضعیت پویا با چرخه‌های منظم مشخص می‌شود که توسط بازخوردهای بین فراوانی گیاهان علفی، توده لاشبرگ مناسب و آتش هدایت می‌شود. حوادث آتش‌سوزی درون‌زا، از تسلط گیاهان چوبی بر گیاهان علفی جلوگیری می‌کند. با این حال، با افزایش شدت چرا، رفتار مدل هم از نظر کیفی و هم از نظر کمی تغییر می‌کند: افزایش چرا، بازخوردهای داخلی بین رشد گیاهان علفی، تولید لاشبرگ و آتش‌سوزی را می‌شکند و باعث می‌شود سیستم به حالت گیاهان چوبی تبدیل شود که ماهیت این انتقال نیز مهم است. با توجه به این مدل قطعی، هنگامی که یک اختلال چرا تقویت شد (خطوط خط چین)، انتقال طولانی مدت یا متناوب به سمت یک حالت تسلط گیاهان چوبی از پیش تعیین شده است. انتقال از یک علفزار به یک حالت تحت سلطه گیاهان چوبی دارای یک فاز تاخیر طولانی مدت است. با این حال، زمانی که تغییرات کیفی در رفتار سیستم آشکار می‌شود، مسیر آن به سرعت به سمت تسلط گیاهان چوبی نزدیک می‌شود. تئوری حالت پایدار جایگزین نیز در توسعه راهبردهایی برای مدیریت، اصلاح و احیا[3]علفزار و مراتع مفید بوده است. Standish و همکاران (۲۰۱۴) مفهوم تاب آوری[4]مفید و غیرمفید را معرفی کردند. تاب آوری مفید به بهبود علفزار کمک می‌کند.

[1] Acttractors [1]
[2] Basins of attraction [1]
[3] Management and restoration [1]
[4] Resilience [1]

تاب‌آوری غیرمفید از طریق اثر پسماند یا هیسترزیس مانع از بهبود آن می‌شود (شکل ۹). چالش جامعه علوم زیست محیطی ارائه معیارهایی به مدیران برای شناسایی شرایطی است که تحت آن مداخله، بیشترین تاب‌آوری مفید را داشته و در نتیجه موثرترین باشد.



شکل ۱۰. اختلال در خارج از محدوده تاریخی سیستم ممکن است تغییر به حالت جایگزین وادار کند. توپ سیاه نمایانگر علفزاری است که یک رژیم آشفتگی تاریخی خاص (چرا، آتش سوزی و غیره) را تجربه می‌کند. توپ سفید نشان دهنده یک حالت اراضی گیاهان چوبی جایگزین است که با رژیم تاریخی تغییر یافته است

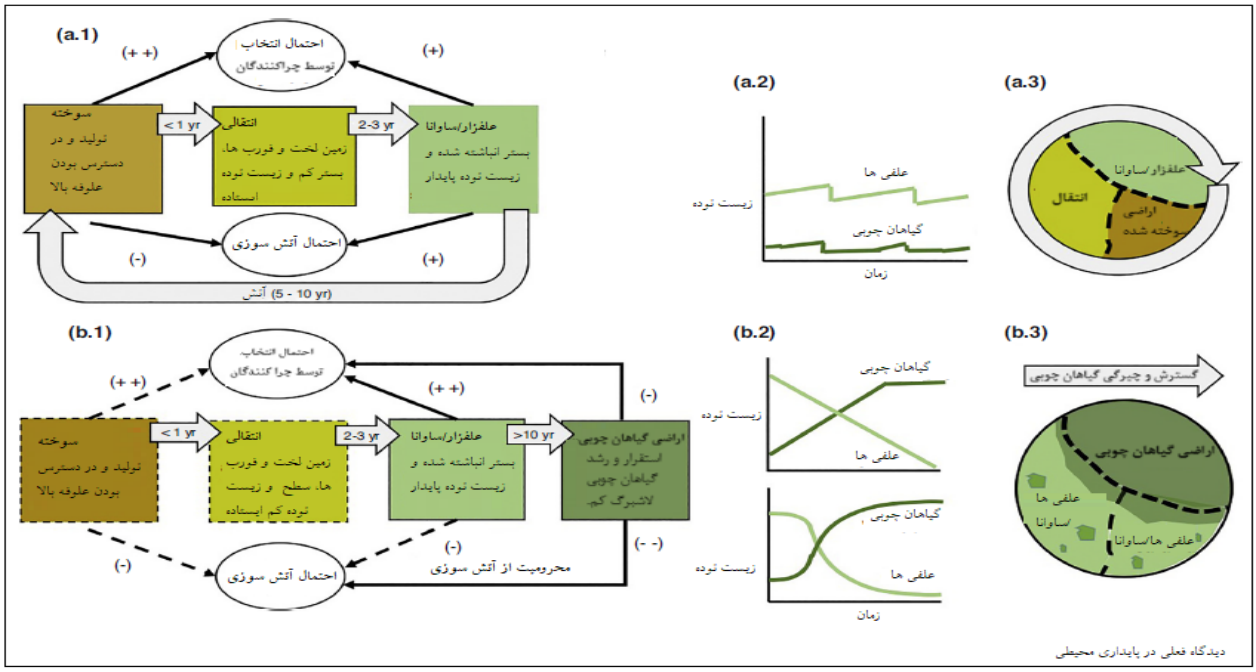
مدل Anderies و همکاران (۲۰۰۲) یک فرضیه است و یکی از بسیار توضیحات ممکن برای اینکه چگونه فرآیندهای اکولوژی قابل اندازه‌گیری، پویایی اکوسیستم ساوانا را هدایت می‌کند. به این ترتیب، این مدل دیدگاه قانع‌کننده‌ای از شرایطی ارائه می‌کند که تحت آن بازخوردهای بین چرا، انباشته شدن سوخت مناسب و آتش‌سوزی می‌تواند سیستمی با شکل دوگانه را باثبات یا بی‌ثبات کند و آن را به حالت جایگزین سوق دهد. بنابراین برای درک پویایی مکانی – زمانی چشم انداز ساوانا، کمی کردن این نوع بازخوردها و رفتارهای خطی یا غیرخطی که می‌توانند القا شوند ضروری است. سایر فرآیندهای اکولوژی (مانند سرشاخه‌خواری در مقابل چرا)، فصلی بودن بارندگی و اختلالات (مانند شکار بذر و نهال) ممکن است واسطه‌های مرتبط در موقعیت‌های خاص باشند. مدل‌های مناسب ریاضی، مانند مدل Anderies و همکاران (۲۰۰۲)، پیوندی اساسی بین دیدگاه‌های مفهومی غیرعملی نظریه حالت پایدار جایگزین و یک نظریه اکولوژی عملیاتی برای تفسیر و پیش‌بینی الگوهای مکانی– زمانی چشم انداز ساوانا و انتقال‌هایی از علفزار – ساوانا به اراضی گیاهان چوبی فراهم می‌کنند. از این دیدگاه، نظریه حالت پایدار جایگزین یک چارچوب نظری است که می‌تواند برای توسعه و تحلیل مدل‌های ریاضی استفاده شود که فرآیندهای زیستی و غیرزیستی وابسته به مقیاس مربوطه را به دینامیک دو حالت پایداری مشاهده شده در سیستم‌های ساوانا مرتبط می‌کند. این چارچوب نه تنها دیدگاهی را فراهم می‌کند که از طریق آن می‌توان دو حالت پایداری سیستم‌های ترکیبی شکل حیات (مانند گیاهان علفی – گیاهان چوبی) را بهتر درک کرد، بلکه می‌تواند برای توسعه و ارزیابی رویکردهایی برای مدیریت موثر این چشم اندازها در مواجهه با اختلالات انسانی ویا طبیعی بهتر استفاده نمود.

* علف‌خواری – آتش‌زای[1] احیای ساواناها

خشکسالی‌ها (که به طورانتخابی و شدید روی گیاهان چوبی تأثیر می‌گذارند) یا آتش (به عنوان محرک درون‌زا) در غیاب سرشاخه‌خواران باعث گسترش و چیرگی گیاهان چوبی می‌شوند که تهدیدی برای علفزارها و ساواناها هستند . در جاهایی که دو عامل اول وجود ندارد، اطفای آتش یا کاهش سوخت از طریق چرا، زمینه را برای تغییر رژیم به گسترش و چیرگی گیاهان چوبی فراهم می‌کند و هنگامی که این تغییر رژیم رخ می‌دهد برگشت آن دشوار و پرهزینه است. یک فرض کلیدی علف‌خواری – آتش این است که چشم انداز علفزار/ساوانا را می‌توان با استفاده از آتش و علف‌خواری انتخابی بازسازی کرد، این امر در صورتی رخ می‌دهد که هردو جزء به عنوان محرک‌های درون‌زا برای سیستم درنظرگرفته شوند (بازخوردهای داخلی). یک ارتباط آشکار بین علف‌خواری – آتش و نظریه حالت پایدار جایگزین این است که آتش (حفظ حالت‌های جایگزین نیاز به بازخوردهای تثبیت‌کننده دارند) و اثرمتقابل آتش و چرا بازخوردهای حیاتی هستند. محققان متعددی استدلال کرده‌اند که تاریخچه تکاملی بیشتر چشم انداز علفزار/ساوانا، به ویژه آن‌هایی که در آمریکای شمالی و آفریقا هستند به شدت با

[1] Pyric herbivory

اثرمتقابل علف‌خواران و آتش‌سوزی مرتبط هستند . این دو فرآیند بقدری به هم مرتبط هستند که به عنوان یک رژیم اختلال واحد علف‌خواری – آتش درنظرگرفته می‌شوند (شکل ۱۱). ایده این است که هنگامی که آتش با سوخت مناسب دردسترس رخ می‌دهد و علف‌خواران آزادانه پرسه می‌زنند، پدیده آتش و علف‌خواری از نظر مکانی و زمانی به یکدیگر وابسته می‌شوند. چشم انداز به شکل موزاییکی متحرک و ناهمگون از پوشش گیاهی چوبی و علفی تبدیل می‌شود. در مقابل، تلقی آتش و علف‌خواری به عنوان اختلالات مستقل منجر به پارادوکس سوخت در مقابل علوفه می‌شود (یعنی در یک زمان معین زیست توده گیاهان علفی می‌تواند یکی از آن دو –سوخت یا علوفه– باشد اما نه هر دو– هم سوخت و هم علوفه). جفت شدن این دو، به عنوان علف‌خواری – آتش، این پارادوکس را به حداقل می‌رساند، زیرا علف‌خواران جذب و تمرکز غذای خود را در مناطقی که اخیراً سوزانده شده‌اند، می‌کنند، بنابراین به مناطق دیگر اجازه می‌دهند تا توده سوخت مورد نیاز برای آتش‌سوزی‌های آینده را جمع کنند که گیاهان چوبی را تحت کنترل نگه می‌دارد. این فرآیند، زمانی که اجازه داده شود اجرا شود، تأثیر عمیقی بر عملکرد و ساختار اکوسیستم دارد. حیوانات، چرا را ترجیحاً در مناطق سوخته‌شده اخیر به دلیل ارزش غذایی بالاتر علوفه انتخاب می‌کنند. در حالی که مناطق سوخته‌شده به شدت چرا می‌شوند، مناطق نسوخته به آرامی چرا می‌شوند و بنابراین می‌توانند از چرای گذشته بهبود یافته و سوخت کافی برای آتش‌سوزی بعدی را تولید کنند. در نتیجه یک چشم‌انداز کاملاً کارآمد و انعطاف‌پذیر است که زیستگاهی را برای طیف گسترده‌ای از گونه‌های اجباری ساوانا که شرایط زیستگاهی متضادی دارند، فراهم می‌کنند (شکل ۱۱). از سوی دیگر، اگر فرآیندهای درون‌زای آتش‌سوزی و چرای انتخابی از سیستم حذف شوند، گیاهان چوبی به راحتی گسترش و چیره می‌شوند و سیستم به تدریج به گیاهان چوبی تبدیل می‌شود. این پارادایم نشان می‌دهد که کاهش توانایی علف‌خواران برای چرای انتخابی و سرکوب آتش به طور ذاتی با هم مرتبط هستند. به عنوان مثال، حذف آتش دسترسی به علوفه مغذی مرتبط با مناطق تازه سوخته را کاهش می‌دهد و به گیاهان چوبی اجازه گسترش می‌دهد (کاهش بیشتر دسترسی به علوفه برای علف‌خوار)، بنابراین بر توانایی علف‌خواران برای چرای انتخابی تأثیر می‌گذارد. به طور مشابه، محدود کردن حرکت علفخوار (و در نتیجه چرای انتخابی) منجر به چرای بیش از حد و در نهایت کاهش سوخت مناسب مورد نیاز برای اشتعال و گسترش آتش خواهد شد. با تعامل این پیوندهای حیاتی، سیستم به تدریج به یک رژیم گیاهان چوبی نسبتا همگن تبدیل می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. مدل مفهومی پویایی علفزار و اراضی واجد گونه‌های چوبی با فرض علف‌خواری – آتش (a) و بدون علف‌خواری – آتش (b). در بخش (a)، علف‌خواری – آتش منجر به بازخوردهایی بین تجمع لاشبرگ مناسب و زیست توده گیاهان علفی ایستاده می‌شود که آتش را در سیستم گسترش و انتقال می‌دهد (که با علامت + مشخص می‌شود). یک حلقه بازخورد مثبت اضافی با ارجحیت چرا برای مناطق اخیرا سوخته‌شده (که با علامت + مشخص می‌شود) ایجاد می‌شودکه فشار چرا را در علفزارهای مستقر شده کاهش می‌دهد و اجازه می‌دهد لاشبرگ و زیست توده ایستاده تجمع یابد. بخش‌های a2 و a3 اثرات مکانی و زمانی علف‌خواری – آتش را نشان می‌دهند – یک سیستم پویا، با حالت پایدار، تحت سلطه علفزار که توسط آتش و چرای انتخابی حفظ می‌شود. بخش (b) فرآیندها و اثرات حذف آتش و چرای انتخابی از سیستم را نشان می‌دهد. محرومیت از آتش از اثرات متقابل سرکوب و/یا چرای بیش از حد به واسطه انسان (که با علامت – مشخص می‌شود) نتیجه می‌شود. به نوبه خود، این امر دسترسی به علوفه چرای ترجیحی را کاهش می‌دهد (با کاهش رشد پس از آتش سوزی و گسترش گیاهان چوبی). تحت این شرایط، سیستم به تدریج (به صورت خطی) به اراضی واجد گیاهان چوبی تبدیل می‌شود

۴- نتیجه‌گیری

علفزارها و مراتع مناطق وسیعی از کره زمین را پوشانده‌اند. تعادل بین گیاهان علفی و چوبی در این سیستم‌ها توسط فعل و انفعالات پیچیده بین آب و هوا، شرایط جو، خصوصیات خاک، نوع گیاه‌خواری، فراوانی و شدت آتش تنظیم می‌شود. برای پیشبرد درک بهتر از پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی به عنوان یک مشکل اجتماعی – اکولوژیکی، باید توانایی‌ها را برای شناسایی پیوند کمی فرآیندهای اجتماعی و زیست محیطی با استفاده از مدل‌های گوناگون بهبود داد. براساس شناسایی کامل محرک‌های اجتماعی کلیدی (برون‌زا) که بر سیستم تأثیر می‌گذارند این پدیده در حال گسترش جهانی را مدیریت نمود. مطالعه و بررسی پدیده چوبی شدن از بعد اکولوژی اهمیت زیادی دارد و در این خصوص اطلاعات زیادی به دست آمده است. با توجه به گستردگی و چند وجهی بودن این پدیده و تاثیر بعد اجتماعی این موضوع می‌بایست از منظر اجتماعی نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. در این راستا، استفاده از مدل‌هایی که بتوانند دو بعد اکولوژیکی و اجتماعی را تلفیق نماید اهمیت زیادی دارند که در این مطالعه تعدادی از این مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش حاضر پیشنهاد می کند مدل‌های ارائه شده در این مطالعه و سایر مدل‌های موجود که کلیه ابعاد موثر بر پدیده گسترش و چیرگی گیاهان چوبی را مورد بررسی قرار می‌دهد برای هرمنطقه با توجه به شرایط زیست محیطی، اجتماعی، فرهنگی بومی‌سازی شوند و برای هرمنطقه مدل خاص و مرتبط مورد استفاده قرارگیرد. بین اقدامات مدیریتی و واکنش اکولوژیکی این واقعیت است که مراتع در پاسخ به متغیرهای کند تغییر می‌کنند، به این معنی که تاخیر زمانی ممکن است طولانی باشد، به خصوص اگر شرایط محیطی پس از یک روند بهبود (به عنوان مثال، بارندگی) نامطلوب باشد. در نتیجه، ممکن است سال‌ها طول بکشد تا مالکان اثرات اکولوژیکی (چه مثبت یا منفی) تصمیمات مدیریت زمین را تجربه کنند. ترکیبی از متغیرهای کند و فرآیندهای بازخورد تاخیری منجر به سیستمی می‌شود که ارزیابی با استفاده از چارچوب‌های غیردینامیک بسیار غیرخطی و چالش برانگیز است – حتی اگر این ویژگی‌ها این مراتع را به موضوع بسیار جالبی برای تحقیقات سیستم اجتماعی – اکولوژی تبدیل می‌کند. در تطبیق و ادغام چارچوب‌ها، نظریه‌ها و ایده‌های کلیدی هر دو بعد محیط زیست و اقتصاد نهفته است. زمانی که بتوان بر این چالش غلبه کرد چارچوب‌های کاربردی می‌توانند به‌طور پیچیده با تجزیه و تحلیل دشوار و در نتیجه استفاده محدود به‌منظور توسعه و آزمایش نظریه‌های جدید مورد استفاده قرار گیرند. زبان و روش‌های مدل‌سازی سیستم‌های کلاسیک، همکاری مؤثر بین محققان را در هر دو زمینه تسهیل می‌کند و امکان اشتراک چارچ.ب‌ها، ایده‌ها و نظریه‌ها را فراهم می‌کند و بینشی قوی در زمینه نحوه عملکرد سیستم‌های اجتماعی – اکولوژیکی گسترش و چیرگی گیاهان چوبی در مقیاس‌های زمانی و مکانی طولانی ارائه می‌دهد.

منابع

- Anderies, J.M., et al. 2002. Grazing management, resilience, and the dynamics of a fire-driven rangeland system. Ecosystems, Vol:5, P. 23–44.
- Archer, S.R,, Predick, K.I. 2014. An ecosystem services perspective on brush management: Research priorities for competing land-use objectives. Journal of Ecology, Vol: 102, P. 1394–1407.
- Archer, S.R., et al. 2017. Woody Plant Encroachment: Causes and Consequences; Rangeland Systems; Springer: Cham, Switzerland; ISBN 978-3-319-46707-8.
- Biggs, R., et al. 2018. The Regime Shifts Database: a framework for analyzing regime shifts in social-ecological systems. Ecology and Society, 23. 10.5751/ES-10264-230309.
- Bowman, D., et al. 2015. Feedbacks and landscape-level vegetation dynamics. Trends in Ecology and Evolution, Vol: 30, P. 255–260.
- Collins, S.L., et al. 2011. An integrated conceptual framework for long-term social–ecological research. Frontiers in Ecology and the Environment, Vol: 9, P. 351–357.
- Fuhlendorf, S.D., et al. 2010. Pyric-herbivory to promote rangeland heterogeneity: evidence from small mammal communities. Rangel Ecol Manag, Vol: 63, P. 670- 678.
- Groeneveld, J., et al. 2017. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models: A review. Environmental Modelling and Software, Vol: 87, P. 39–48.
- Holdo, R.M., et al. 2009. browsers, and fire influence the extent and spatial pattern of tree cover in the Serengeti. Ecol Appl, Vol: 19, P. 95-109.
- Hruska, T., et al. 2017. Rangelands as social–ecological systems. Pages 263–302 in Briske DD, ed. Rangeland Systems: Processes, Management, Challenges. Springer.
- Huang, J., et al. 2016. Accelerated dryland expansion under climate change. Nat Clim Change, Vol: 6, P. 166- 171.

- Hurst, K.F., et al. 2017. A life course approach to understanding social drivers of rangeland conversion. Ecology and Society, Vol: 22, P. 1–19.
- Liu, J. G. 2007. Complexity of coupled human and natural systems. Science, Vol. 317, P. 1513–1516.
- Luvuno, L., et al. 2018. Woodyencroachment as a social-ecological regime shift. Sustainability, Vol.10(7), P. 2221. https://doi.org/10.3390/su10072221.
- Sankaran, M., et al. 2005. Determinants of woody cover in African savannas. Nature, Vol: 438, P. 846-849.
- Standish, R.J., et al. 2014. Resilience in ecology: abstraction, distraction,or where the action is? Biological Conservation, Vol: 177, P. 43–51.
- Wilcox, B.P., et al. 2018. Emerging frameworks for understanding and mitigating woody plant encroachment in grassy biomes. Current Opinion in Environmental Sustainability, Vol: 32, P. 46–52.