



تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک: از بحران تا تاب‌آوری

مجید رحیمی

پژوهشگر، مؤسسه کسب و کار اجتماعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

رایانامه نویسنده: rahimi74@ut.ac.ir

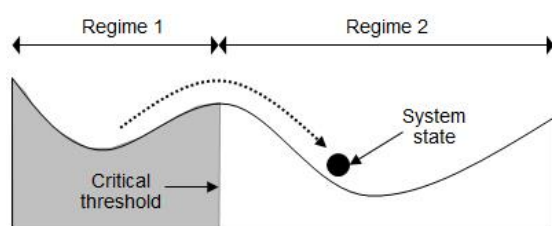
چکیده

تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک (SES) به‌عنوان تغییرات عمده و ناگهانی در ساختار و عملکرد این سیستم‌های به‌هم‌پیوسته تعریف می‌شوند که می‌توانند پیامدهای عمیقی برای خدمات اکوسیستمی و بهزیستی انسانی داشته باشند. این تغییرات ناشی از تعاملات پیچیده بین عوامل مختلف، از جمله فشارهای محیطی و هنجارهای اجتماعی است. حلقه‌های بازخورد در این فرآیند نقش حیاتی دارند و می‌توانند به تثبیت یا بی‌ثباتی سیستم کمک کنند. نقاط بحرانی، آستانه‌هایی هستند که عبور از آن‌ها منجر به تغییر به یک رژیم جدید می‌شود و شناسایی سیگنال‌های هشدار اولیه برای مدیریت پیشگیرانه ضروری است. تغییرات رژیم می‌توانند در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف، از اکوسیستم‌های محلی تا بیوم‌های جهانی و از اختلالات کوتاه‌مدت تا روندهای بلندمدت اتفاق بیفتند. این تغییرات معمولاً ناشی از ترکیبی از فشارهای تدریجی مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی یا تخریب زیستگاه و شوک‌های ناگهانی، از جمله مخاطرات طبیعی یا رویدادهای قابل توجه انسانی هستند. درک فرآیندهای در پس این تغییرات برای توسعه راهبردهای مدیریت مؤثر و افزایش تاب‌آوری ضروری است. با شناسایی عوامل، فرآیندها و پیامدهای این تغییرات، محققان و سیاست‌گذاران می‌توانند برای پیشگیری از تغییرات ناخواسته و ترویج استفاده پایدار از منابع طبیعی کار کنند. این مطالعه بر اهمیت رویکردهای یکپارچه تأکید دارد که ابعاد اجتماعی و اکولوژیک را در نظر می‌گیرد تا تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک را افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: پویایی‌های اکولوژیک، حالت‌های پایدار جایگزین، سیگنال‌های هشدار اولیه، نقاط بحرانی، حلقه‌های بازخورد

مقدمه

(Crépin et al., 2012; Rahimi et al., 2023a). این تغییرات معمولاً منجر به ظهور حالت‌های پایدار^۵ جدیدی می‌شوند که ممکن است نسبت به رژیم قبلی عملکردی متفاوت داشته باشند و بازگشت به حالت قبلی را دشوار کنند (Andersen et al., 2009; Rahimi et al., 2024a). در شکل ۱ مدل گوی و فنجان و نحوه وقوع تغییر رژیم ارائه گردیده است.



شکل ۱- تغییر رژیم در مدل گوی و فنجان (Rocha et al., 2015)

از این‌رو مطالعه تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک برای توسعه راهبردهای مدیریت مؤثر و افزایش تاب‌آوری^۶ ضروری است (Wang et al., 2024). با درک عوامل، فرایندها و پیامدهای این تغییرات، محققان و سیاست‌گذاران می‌توانند برای جلوگیری از تغییرات ناخواسته، کاهش تأثیرات آن‌ها و ترویج استفاده پایدار از منابع طبیعی کار کنند (Cooper et al., 2020). این پژوهش به بررسی مفاهیم کلیدی و مطالعات موردی مرتبط با تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک می‌پردازد و پایه‌ای برای درک پویایی‌های پیچیده‌ای که این سیستم‌های بهم‌پیوسته را شکل می‌دهند، فراهم می‌کند.

تعریف تغییرات رژیم

تغییرات رژیم به عنوان تغییرات بزرگ و پایدار که ماهیت بنیادی یک اکوسیستم را تغییر می‌دهند، تعریف می‌شوند

تغییرات رژیم^۱ در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک (SES)^۲ نمایانگر تغییرات قابل توجه و غالباً ناگهانی در ساختار و عملکرد این سیستم‌های بهم‌پیوسته هستند (Biggs et al., 2015; Rahimi et al., 2024a). این تغییرات می‌توانند پیامدهای عمیقی برای خدمات اکوسیستمی^۳ و بهزیستی انسانی^۴ داشته باشند و روابط پیچیده بین پویایی‌های اکولوژیک و فعالیت‌های انسانی را برجسته کنند (Rocha et al., 2015; Zhao et al., 2023). درک تغییرات رژیم شامل بررسی تعاملات بین عوامل مختلف، از جمله فشارهای محیطی، هنجارهای اجتماعی و فرایندهای بازخورد است که می‌توانند به تثبیت یا بی‌ثباتی یک سیستم کمک کنند (Pereira et al., 2020).

نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک، سیستم‌های پیچیده و سازگاری هستند که با چندین حالت پایدار، پویایی‌های غیرخطی و بازخوردها بین اجزای اجتماعی و اکولوژیک مشخص می‌شوند (Biggs et al., 2021). این سیستم‌ها تحت تأثیر تعاملات بین جوامع انسانی و محیط‌های اطراف خود شکل می‌گیرند، به طوری که هر جزء بر دیگری تأثیر می‌گذارد و تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد (Nagel & Partelow, 2022). این رابطه متقابل برای درک فرایندهای پشت تغییرات رژیم و پیامدهای آن‌ها برای پایداری، حیاتی است. تغییرات رژیم می‌توانند در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف، از اکوسیستم‌های محلی تا بیوم‌های جهانی و از اختلالات کوتاه مدت تا روندهای بلندمدت اتفاق بیفتند. این تغییرات غالباً ناشی از ترکیبی از فشارهای تدریجی (مانند تغییرات اقلیمی، آلودگی یا تخریب زیستگاه) و شوک‌های ناگهانی، از جمله مخاطرات طبیعی یا رویدادهای قابل توجه انسانی هستند

¹. Regime shifts

². Social-Ecological systems

³. Ecosystem services

⁴. Human wellbieng

⁵. Stable states

⁶. Resilience

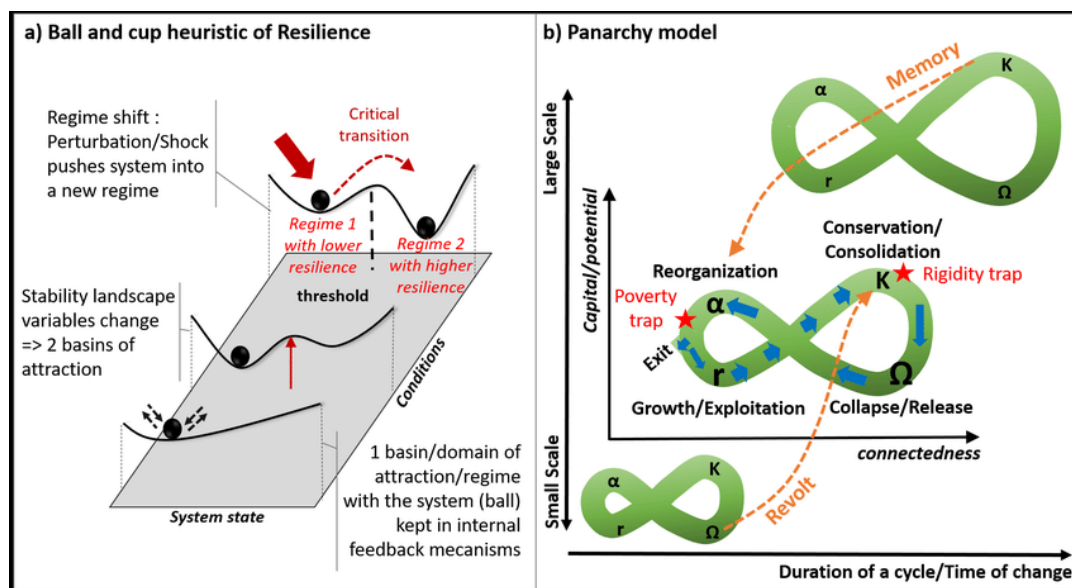
چندین تعادل وجود داشته باشند (Chaparro-Pedraza, 2021). این حالت‌های جایگزین توسط بازخوردهای تقویت‌کننده حفظ می‌شوند و ممکن است به‌طور قابل توجهی در ویژگی‌های اکولوژیک، خدمات اکوسیستمی و استفاده‌های انسانی متفاوت باشند (Rahimi et al., 2023a). به‌عنوان مثال، اکوسیستم یک دریاچه می‌تواند در یک حالت (رژیم) آب شفاف که گیاهان آبی زیر آب در آن غالبیت دارد یا در یک حالت (رژیم) کدر که فیتوپلانکتون و رسوبات معلق در آن غالبیت دارند، وجود داشته باشد. در شکل ۲ فرآیند وقوع تغییرات رژیم و ارتباط آن با تئوری پانارشی آورده شده است.

(Gilarranz et al., 2022). این تغییرات می‌توانند به‌عنوان تغییرات قابل توجه و بلندمدتی در ساختار و عملکرد یک نظام اجتماعی-اکولوژیک تعریف شوند که در یک دوره زمانی نسبتاً کوتاه نسبت به پویایی‌های معمول سیستم رخ می‌دهند. این تغییرات معمولاً شامل بازسازی اجزای سیستم و ظهور بازخوردهای جدید هستند که منجر به یک حالت پایدار جدید می‌شوند که ممکن است از رژیم قبلی عملکردی متفاوت داشته باشد (Damalas et al., 2021). مفهوم تغییرات رژیم به‌طور نزدیکی با ایده حالت‌های پایدار جایگزین^۱ مرتبط است که پیشنهاد می‌کند اکوسیستم‌ها می‌توانند تحت شرایط محیطی یکسان در



خوزستان، ایران، بهار ۱۳۹۹، عکاس: محمد اسدی

¹. Alternative stable states



شکل ۲- فرآیند وقوع تغییر رژیم، نمایش تاب‌آوری و مدل پانارشی (Ollivier et al., 2018)

فرآیندهای تغییرات رژیم

حلقه‌های بازخورد^۱

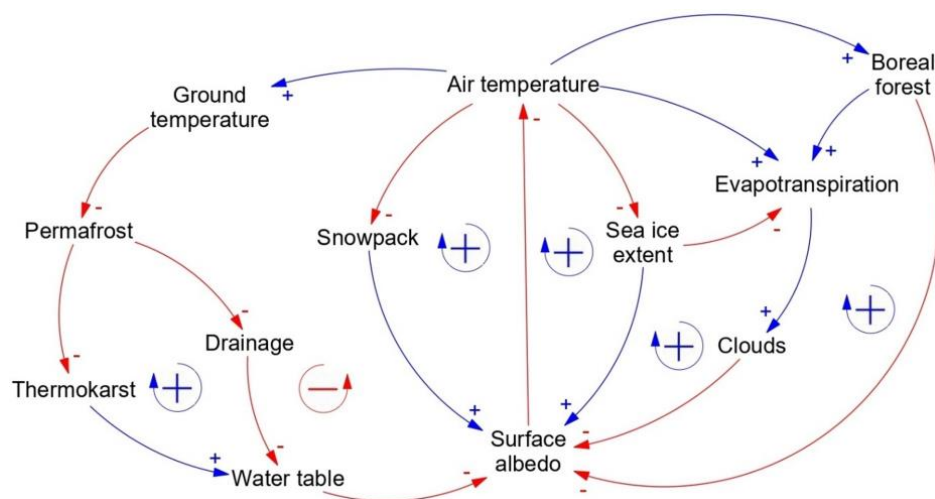
مرکزی‌ترین مفهوم در تغییرات رژیم، حلقه‌های بازخورد هستند که می‌توانند به دو نوع حلقه‌های بازخورد متعادل‌کننده^۲ و حلقه‌های بازخورد تقویت‌کننده^۳ تقسیم شوند (Sardanyés et al., 2024). بازخوردهای متعادل‌کننده به حفظ وضعیت کنونی یک سیستم کمک می‌کنند و تغییرات را خنثی می‌سازند و تاب‌آوری را ترویج می‌دهند (شکل ۳). به عنوان مثال، در یک منبع شیلانی، کاهش موجودی ماهی ممکن است منجر به کاهش تلاش‌های صید شود و به جمعیت ماهی‌ها اجازه دهد تا بهبود یابند. برعکس، بازخوردهای تقویت‌کننده می‌توانند تغییرات را تسریع کنند و سیستم را به سمت یک رژیم جدید سوق دهند. به عنوان مثال، زمانی که موجودی ماهی کاهش می‌یابد، ماهیگیران ممکن است تلاش‌های خود را افزایش دهند و این کاهش را تشدید کنند.

^۱ Feedback loops

^۲ Balancing feedback loops

^۳ Reinforcing feedback loops

تغییرات رژیم می‌توانند ناشی از ترکیبی از فشارهای تدریجی و اختلالات ناگهانی باشند (Turner & Seidl, 2023). فشارهای تدریجی، مانند تغییرات اقلیمی، تکه تکه شدن زیستگاه یا بارگذاری مواد مغذی، می‌توانند به تدریج تاب‌آوری یک سیستم را کاهش دهند و آن را در برابر تغییرات به یک حالت جایگزین، آسیب‌پذیرتر کنند (Palletier et al., 2020). اختلالات ناگهانی، مانند رویدادهای جوی شدید، شیوع بیماری یا تغییرات ناگهانی در شیوه‌های مدیریت، می‌توانند سیستم را به سمت یک نقطه بحرانی سوق دهند و منجر به انتقال سریع به یک رژیم جدید شوند. درک تعریف و ویژگی‌های تغییرات رژیم برای توسعه راهبردهای مدیریت مؤثر و افزایش تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک ضروری است. با شناسایی پتانسیل حالت‌های پایدار جایگزین و عواملی که می‌توانند تغییرات رژیم را تحریک کنند، گروداران می‌توانند برای جلوگیری از تغییرات ناخواسته، کاهش تأثیرات آن‌ها و ترویج استفاده پایدار از منابع طبیعی کار کنند (Rahimi et al., 2024b).



شکل ۳. تعاملات مثبت (آبی) و منفی (قرمز) بین پارامترهای محیطی مربوط به سیستم‌های تالاب قطب شمال و مربوط به آلودگی سطحی که مکانیسم‌های بازخورد مثبت و منفی (به ترتیب با علائم مثبت و منفی مشخص شده‌اند) ایجاد می‌کنند که می‌تواند گرمایش زمین را تقویت یا متعادل کند (Kreplin et al., 2021).

نقاط بحرانی (اوج)^۱

نقاط بحرانی آستانه‌های^۲ حیاتی درون یک سیستم هستند که با عبور از آن‌ها، منجر به تغییر به یک رژیم متفاوت می‌شوند (Ritchie et al., 2021). پیش‌بینی این نقاط غالباً دشوار است و می‌توانند تحت تأثیر تغییرات تدریجی و اختلالات ناگهانی قرار گیرند. به عنوان مثال، یک دریاچه آب شیرین ممکن است با وجود افزایش آلودگی، همچنان شفاف بماند تا زمانی که به یک نقطه بحرانی برسد، پس از آن ممکن است به یک حالت غالبیت یافته توسط جلبک‌ها تغییر کند که تأثیرات شدیدی بر زندگی آبریان و خدمات اکوسیستمی دارد. نقاط بحرانی می‌توانند ناشی از انباشت فشارهای تدریجی باشند که به تدریج تاب‌آوری یک سیستم را کاهش می‌دهند یا به دلیل تأثیر ناگهانی یک اختلال که سیستم را به یک آستانه بحرانی می‌کشاند، ایجاد شوند (Liu et al., 2022). در برخی موارد، یک سیستم ممکن است چندین نقطه بحرانی داشته باشد که هر نقطه بحرانی، به یک حالت پایدار جایگزین متفاوت منجر شود (Cooper et al., 2020). درک مکان و ماهیت

حلقه‌های بازخورد می‌توانند در مقیاس‌های مختلف درون یک نظام اجتماعی-اکولوژیک، از رفتارهای فردی تا سیاست‌های نهادی عمل کنند. در سطح فردی، تصمیم یک کشاورز برای پذیرش شیوه‌های پایدار ممکن است با بهبود تولیدات زراعی و کاهش هزینه‌های ورودی تقویت شود و یک حلقه بازخورد مثبت ایجاد کند که تاب‌آوری سیستم کشاورزی را ترویج می‌دهد. در سطح نهادی، سیاست‌هایی که حفظ منابع طبیعی را تشویق می‌کنند، می‌توانند بازخوردهای متعادل‌کننده‌ای ایجاد کنند که سلامت اکوسیستم‌ها و بهزیستی جوامع وابسته به آن‌ها را حفظ کند. درک نقش حلقه‌های بازخورد در شکل‌دهی به پویایی‌های نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک برای پیش‌بینی و مدیریت تغییرات رژیم ضروری است. با شناسایی فرآیندهای کلیدی بازخورد و عواملی که بر آن‌ها تأثیر می‌گذارند، محققان و سیاست‌گذاران می‌توانند مداخلات هدفمندی برای افزایش تاب‌آوری سیستم و جلوگیری از تغییرات ناخواسته توسعه دهند (Kanger et al., 2020). این ممکن است شامل تقویت بازخوردهای متعادل‌کننده، تضعیف بازخوردهای تقویت‌کننده یا ایجاد بازخوردهای جدیدی باشد که حالت مطلوب سیستم را ترویج دهند

(Rahimi et al., 2023b).

^۱. Tipping points

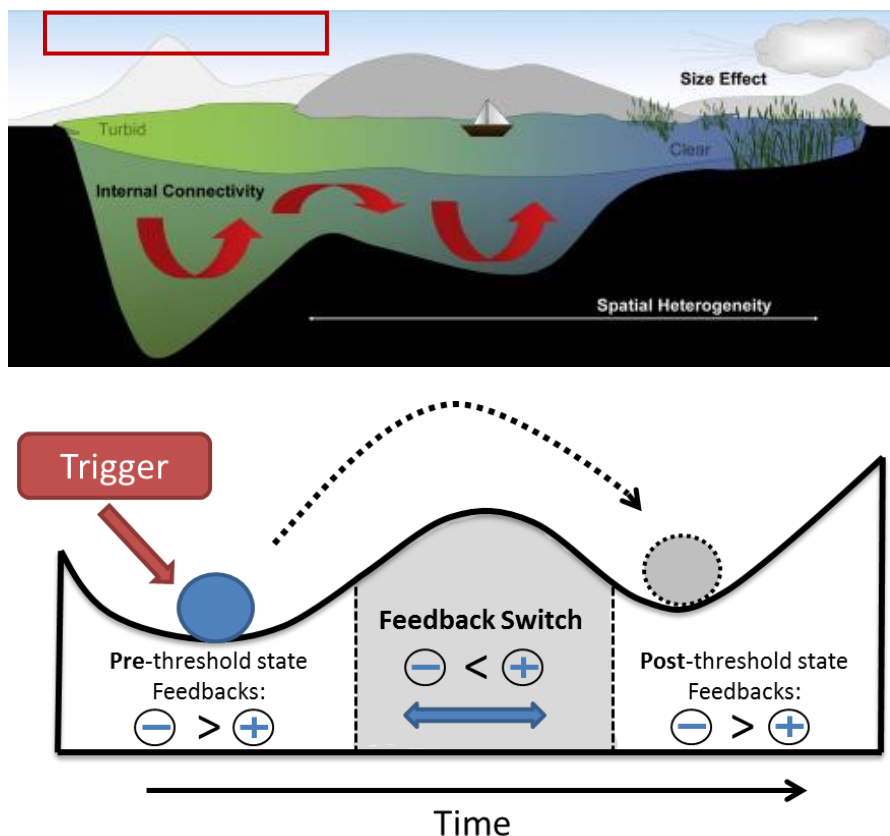
^۲. Thresholds

حالت‌های پایدار جایگزین

نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک می‌توانند در چندین حالت پایدار وجود داشته باشند که به آن‌ها حالت‌های جایگزین گفته می‌شود (Pereira et al., 2020). این حالت‌ها می‌توانند به طور قابل توجهی در ویژگی‌های اکولوژیک و خدماتی که ارائه می‌دهند متفاوت باشند (شکل ۴). به عنوان مثال، یک اکوسیستم جنگلی می‌تواند به یک حالت مرتع به دلیل چرای بیش از حد یا جنگل زدایی تغییر کند و به طور بنیادی ظرفیت آن برای حمایت از تنوع زیستی و تنظیم اقلیم را تغییر دهد. درک این حالت‌های جایگزین برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌ها و پیشگیری از تغییرات ناخواسته ضروری است.

این نقاط بحرانی برای مدیریت نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک و جلوگیری از تغییرات رژیم ناخواسته حیاتی است.

شکستن یک نقطه بحرانی می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای برای ساختار، عملکرد و خدمات ارائه‌شده توسط یک نظام اجتماعی-اکولوژیک داشته باشد (Rahimi et al., 2023a). پس از غالبیت یک رژیم جدید، ممکن است دشوار یا حتی غیرممکن باشد که تغییر به حالت قبلی را معکوس کرد؛ زیرا سیستم ممکن است توسط بازخوردهای تقویت‌کننده‌ای که حالت جدید را تثبیت می‌کنند، حفظ شود. این موضوع اهمیت راهبردهای مدیریت پیشگیرانه را که به دنبال پیشگیری از رسیدن سیستم‌ها به آستانه‌های بحرانی هستند، برجسته می‌کند.



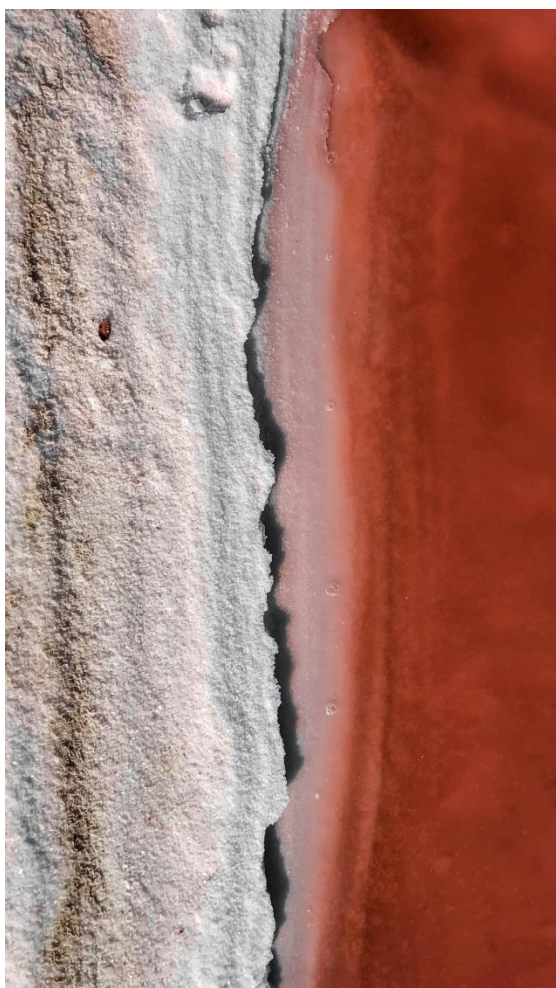
شکل ۴- حالت‌های پایدار جایگزین در دریاچه‌های کم‌عمق بزرگ (Janssen et al., 2014)

پی‌کرندی خاص تثبیت می‌کنند (Kuhmonen and , 2023). این بازخوردها می‌توانند شامل

حالت‌های پایدار جایگزین توسط بازخوردهای تقویت‌کننده‌ای حفظ می‌شوند که سیستم را در یک

سیگنال‌های هشدار اولیه^۱

شناسایی سیگنال‌های هشدار اولیه تغییرات رژیم برای مدیریت پیشگیرانه ضروری است (Stelzer et al., 2021). این سیگنال‌ها می‌توانند شامل تغییرات در تنوع زیستی، تغییرات در ترکیب گونه‌ها یا تغییرات در عملکردهای اکوسیستم باشند (Sardanyés et al., 2024). به عنوان مثال، کاهش گونه‌های کلیدی یا افزایش تغییرپذیری در فرآیندهای اکوسیستمی ممکن است نشان دهد که یک سیستم به سمت یک نقطه بحرانی نزدیک می‌شود. نظارت بر این شاخص‌ها می‌تواند بینش‌های ارزشمندی درباره تاب آوری یک سیستم و ظرفیت آن برای تحمل فشارها ارائه دهد (شکل ۵).

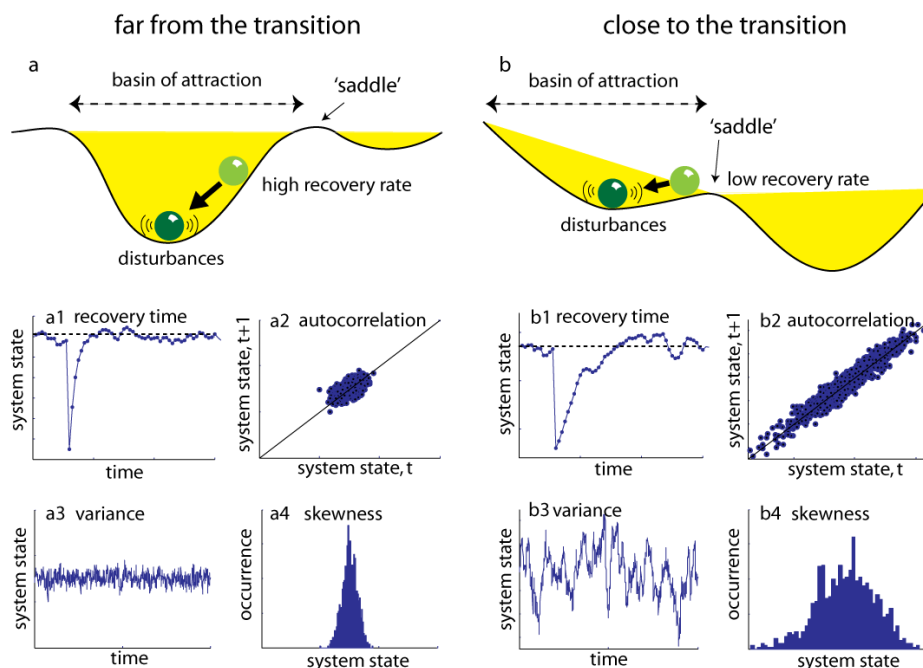


شکل ۵: تغییرات در ترکیب گونه‌های کلیدی و افزایش تغییرپذیری در فرآیندهای اکوسیستمی

تعاملات بین اجزای بیولوژیکی و غیربیولوژیکی اکوسیستم و همچنین بین عوامل اکولوژیک و اجتماعی باشند. به عنوان مثال، در یک سیستم صخره مرجانی، غالبیت رژیم مرجان‌ها ممکن است توسط یک حلقه بازخورد که شامل تولید اسکلت‌های کربنات کلسیم، تأمین زیستگاه برای سایر ارگانیسم‌ها و جذب گردشگران که مشوق‌های اقتصادی برای حفاظت فراهم می‌کنند، حفظ شود. مفهوم حالت‌های پایدار جایگزین پیامدهای مهمی برای مدیریت نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک دارد. این مفهوم پیشنهاد می‌کند که تنها کاهش شدت یک اختلال یا فشار ممکن است برای بازگرداندن یک سیستم به حالت قبلی خود کافی نباشد. در برخی موارد، مداخله فعال ممکن است برای شکستن بازخوردهای تقویت‌کننده‌ای که یک رژیم ناخواسته را حفظ می‌کنند و تسهیل انتقال به یک حالت مطلوب‌تر، ضروری باشد. این ممکن است شامل حذف یا کاهش عواملی باشد که سیستم را به سمت یک حالت جایگزین سوق می‌دهند، مانند کاهش ورودی‌های مواد مغذی یا کنترل گونه‌های مهاجم.

درک حالت‌های پایدار جایگزین همچنین اهمیت در نظر گرفتن مقیاس‌ها و سطوح مختلف سازمان را در هنگام مدیریت نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک برجسته می‌کند (Li et al., 2020). تغییرات در یک جزء از سیستم ممکن است تأثیرات زنجیره‌ای بر سایر اجزا داشته باشد و منجر به ظهور حالت‌های جایگزین جدید در مقیاس‌های مختلف شود. به عنوان مثال، از دست دادن یک گونه کلیدی در یک اکوسیستم دریایی ممکن است تغییراتی در ترکیب جامعه و عملکرد اکوسیستم را تحریک کند که پیامدهایی برای معیشت و بهزیستی جوامع ساحلی دارد.

¹. Early warning signals



شکل ۵- سیگنال‌های هشدار اولیه و نحوه شناسایی آن‌ها (Schwartz et al., 2016)

۴. چولگی: تغییرات در چولگی توزیع احتمال متغیرهای سیستم، مانند تغییر به سمت مقادیر افراطی‌تر، می‌تواند نشان دهد که سیستم به یک نقطه بحرانی نزدیک می‌شود.

۵. نوسان: تغییرات سریع و موقت بین حالت‌های جایگزین که به آن‌ها نوسان گفته می‌شود، می‌تواند یک سیگنال هشدار اولیه از یک تغییر رژیم قریب‌الوقوع باشد.

شناسایی این سیگنال‌های هشدار اولیه نیاز به نظارت و جمع‌آوری داده‌های بلندمدت، همچنین توسعه ابزارهای آماری و مدل‌سازی مناسب دارد. با سرمایه‌گذاری در برنامه‌های نظارتی و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه، گرداران می‌توانند بینش‌های ارزشمندی درباره تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک به دست آورند و اقداماتی پیشگیرانه برای پیشگیری از تغییرات رژیم ناخواسته انجام دهند.

سیگنال‌های هشدار اولیه می‌توانند اشکال مختلفی داشته باشند، بسته به ماهیت سیستم و نوع تغییر رژیمی که در نظر گرفته می‌شود (Su et al., 2021). برخی از شاخص‌های رایج شامل:

۱. افزایش تغییرپذیری: به عنوان یک سیستم که به یک نقطه بحرانی نزدیک می‌شود، پویایی‌های آن ممکن است متغیرتر و غیرقابل پیش‌بینی‌تر شود، با نوسانات بزرگ‌تر در متغیرهای کلیدی.

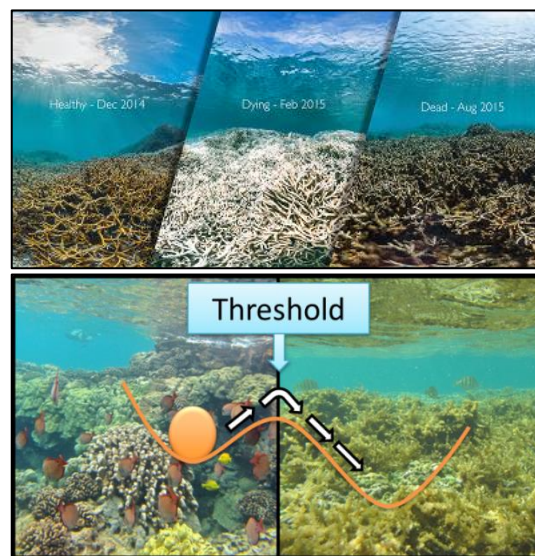
۲. بهبودی کندتر: سیستم‌های نزدیک به یک نقطه بحرانی ممکن است برای بهبودی از اختلالات کوچک زمان بیشتری نیاز داشته باشند؛ زیرا تاب‌آوری سیستم کاهش می‌یابد.

۳. الگوهای فضایی: تغییرات در توزیع فضایی و ارتباطات اجزای سیستم، مانند تشکیل خوشه‌های فضایی یا از دست دادن تنوع فضایی، می‌تواند سیگنال‌های هشدار اولیه تغییر رژیم باشد.

مطالعات موردی تغییرات رژیم

صخره‌های مرجانی

مرجان‌ها نمونه‌ای از نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک هستند که در برابر تغییرات رژیم آسیب‌پذیرند (White & Wulfin, 2024). صید بیش از حد، آلودگی و تغییرات اقلیمی منجر به کاهش قابل توجهی در سلامت مرجان‌ها شده و این اکوسیستم‌ها را به سمت غالبیت جلبک‌ها سوق داده‌است (شکل ۶). هنگامی که یک نقطه بحرانی به وجود می‌آید، بهبودی به‌طور فزاینده‌ای دشوار می‌شود و اکوسیستم ممکن است به طور دائمی به یک حالت کم‌بازده‌تر تغییر کند. انتقال از یک حالت با غالبیت مرجان‌ها به یک حالت تسلط یافته توسط جلبک‌ها تحت تأثیر یک تعامل پیچیده از عوامل قرار دارد، از جمله از دست دادن ماهی‌های علفخوار که جلبک‌ها را چرا می‌کنند، انباشت مواد مغذی و رسوبات و افزایش فراوانی و شدت رویدادهای سفید شدن مرجان‌ها^۱ به دلیل تغییرات اقلیمی. این فشارها می‌توانند تاب‌آوری مرجان‌ها را کاهش دهند و آن‌ها را در برابر تغییر به یک حالت جایگزین آسیب‌پذیرتر کنند.



شکل ۶- سفید شدن مرجان‌ها و سپس مرگ آن‌ها (Liu et al., 2022)

بازگرداندن مرجان‌ها پس از تغییر به یک حالت تسلط یافته توسط جلبک‌ها چالش برانگیز است و معمولاً نیاز به مداخله فعال دارد، مانند حذف جلبک‌ها، پیوند قطعات مرجان و افزایش جمعیت‌های علفخوار. با این حال، پیشگیری از تغییر اولیه به یک رژیم ناخواسته از نظر اقتصادی و اکولوژیک مؤثرتر و مفیدتر است. این نیازمند یک رویکرد چندجانبه است که به کاهش فشارهای محلی، مانند صید بیش از حد و آلودگی کمک کرده، همچنین منجر به کاهش فشارهای جهانی، مانند تغییرات اقلیمی می‌شود. مطالعه موردی مرجان‌ها اهمیت درک تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک و نیاز به راهبردهای مدیریت پیشگیرانه که تاب‌آوری این سیستم‌ها را افزایش دهد را نشان می‌دهد. با نظارت بر سیگنال‌های هشدار اولیه، شناسایی نقاط بحرانی بالقوه و اجرای اقداماتی برای حفظ ثبات حالت‌های تسلط یافته توسط مرجان‌ها، گروداران می‌توانند برای پیشگیری از تغییرات رژیم ناخواسته کار کنند و اطمینان حاصل کنند که این اکوسیستم‌های ارزشمند به‌طور پایدار حفظ شوند.

اکوسیستم کشاورزی مارادی^۲

منطقه مارادی در نیجر نمونه‌ای از این است که چگونه فعالیت‌های انسانی می‌توانند تغییرات رژیم را تسریع کنند (Adamou et al., 2021). این منطقه که به‌طور تاریخی با تعادل کشاورزی و پوشش گیاهی طبیعی مشخص می‌شد، با افزایش پاک‌سازی زمین و تشدید کشاورزی به بیابان‌زایی منجر شده‌است. این تغییر نه تنها بر تنوع زیستی محلی تأثیر می‌گذارد، بلکه معیشت جوامع وابسته به خدمات اکوسیستمی را نیز تضعیف می‌کند. تغییر رژیم در اکوسیستم کشاورزی مارادی ناشی از ترکیبی از عوامل است، از جمله رشد جمعیت، گسترش زمین‌های زراعی، چرا کردن بیش از حد و حذف پوشش‌های گیاهی چوبی برای سوخت و ساخت‌وساز. این فشارها منجر به کاهش باروری

². Maradi

¹. Coral bleaching

نتیجه‌گیری

تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک چالش‌های قابل توجهی برای پایداری و تاب‌آوری ایجاد می‌کنند. درک فرآیندهای پشت این تغییرات، از جمله حلقه‌های بازخورد، نقاط بحرانی و حالت‌های جایگزین، برای مدیریت مؤثر و سیاست‌گذاری ضروری است. با شناسایی سیگنال‌های هشدار اولیه و ترویج راهبردهای مدیریت سازگار، گرداران می‌توانند تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک را افزایش دهند و خطرات ناشی از تغییرات ناگهانی را کاهش دهند و اطمینان حاصل کنند که خدمات اکوسیستمی به‌طور مداوم تأمین می‌شوند.

پرداختن به تغییرات رژیم نیاز به رویکردی جامع دارد که تعاملات پیچیده بین عوامل اکولوژیک، اجتماعی و اقتصادی را در نظر بگیرد. این شامل توسعه چارچوب‌های بین‌رشته‌ای است که دانش را از زمینه‌های مختلف، از جمله اکولوژی، علوم اجتماعی، اقتصاد و سیاست، یکپارچه می‌کند. همچنین، نیاز به درگیر کردن گرداران در سطوح مختلف، از جوامع محلی تا دولت‌های ملی و سازمان‌های بین‌المللی، وجود دارد تا اطمینان حاصل شود که راهبردهای مدیریت به نیازها و اولویت‌های گروه‌های مختلف پاسخ می‌دهند. در نهایت، مطالعه تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک یک حوزه تحقیقاتی حیاتی است که به‌طور مداوم در حال تکامل است و درک ما از پایداری و تاب‌آوری در مواجهه با تغییرات جهانی را شکل می‌دهد. با پذیرش همکاری بین‌رشته‌ای، نوآوری‌های فناوری و درگیر کردن جوامع محلی، می‌توان راهبردهای مؤثرتری برای مدیریت این سیستم‌های پیچیده و ترویج آینده‌ای پایدارتر و عادلانه‌تر برای همه توسعه داد.

جهت‌گیری‌های آینده

تحقیقات در زمینه تغییرات رژیم باید به تکامل خود ادامه دهد و ابعاد اجتماعی را با پویایی‌های اکولوژیک یکپارچه

خاک، افزایش فرسایش و از دست رفتن تنوع زیستی شده و در نهایت سیستم را به سمت یک حالت پایدار جدید سوق داده‌است که با زمین‌های تخریب‌شده و کاهش بهره‌وری مشخص می‌شود.

پیامدهای این تغییر رژیم بسیار گسترده است و بر امنیت غذایی، معیشت و بهزیستی جوامع محلی تأثیر می‌گذارد. با کاهش تولید، کشاورزان مجبور به کشت در مناطق حاشیه‌ای یا مهاجرت به مراکز شهری می‌شوند که منجر به اختلالات اجتماعی و اقتصادی می‌گردد. همچنین، از دست رفتن تنوع زیستی و خدمات اکوسیستمی پیامدهای وسیع‌تری برای پایداری منطقه‌ای و جهانی دارد. بازگرداندن اکوسیستم کشاورزی مارادی به حالت قبلی خود چالش برانگیز است و نیاز به یک رویکرد بلندمدت و چندسطحی دارد که به عوامل پیشران بیابان‌زایی بپردازد. این ممکن است شامل اجرای شیوه‌های مدیریت پایدار زمین، مانند جنگل‌کاری، تکنیک‌های حفاظت از خاک و آب و ترویج معیشت‌های جایگزین باشد. همچنین، نیاز به پرداختن به عوامل اجتماعی و اقتصادی که به تخریب زمین کمک می‌کنند، از جمله فقر، عدم دسترسی به منابع و ضعف حکمرانی وجود دارد.

مطالعه موردی اکوسیستم کشاورزی مارادی اهمیت در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک را نشان می‌دهد. این موضوع نیاز به رویکردهای یکپارچه را که به عوامل اکولوژیک و اجتماعی می‌پردازند و اهمیت درگیر کردن جوامع محلی در توسعه و اجرای راهبردهای مدیریت را برجسته می‌کند. با همکاری برای افزایش تاب‌آوری اکوسیستم‌های کشاورزی، گرداران می‌توانند از تغییرات ناخواسته پیشگیری کرده و توسعه پایدار را در مواجهه با چالش‌های محیطی و اجتماعی ترویج دهند.



انسانی، معیشت و عدالت پردازد. این شامل بررسی توزیع هزینه‌ها و منافع مرتبط با تغییرات رژیم و توسعه راهبردهایی برای اطمینان از اینکه بارهای تغییر به طور نامتناسبی بر دوش جمعیت‌های آسیب‌پذیر قرار نگیرد، می‌شود. همچنین، نیاز به بررسی نقش سیستم‌های حکمرانی، نهادها و سیاست‌ها در شکل‌دهی به تاب‌آوری نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک و شناسایی فرصت‌هایی برای اصلاح و نوآوری وجود دارد.

در نتیجه، پژوهش‌های مرتبط با وقوع تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک که به‌طور مداوم در حال تکامل و شکل‌دهی به درک ما از پایداری و تاب‌آوری در مواجهه با تغییرات جهانی هستند، می‌توانند با ارائه همکاری‌های بین‌رشته‌ای، نوآوری‌های فناوری و درگیر کردن جوامع محلی، راهبردهای مؤثرتری برای مدیریت این سیستم‌های پیچیده و ترویج آینده‌ای پایدارتر و عادلانه‌تر برای همه جوامع ارائه دهند.

منابع

Adamou, R., Ibrahim, B., Bonkaney, A. L., Seyni, A. A., & Idrissa, M. (2021). Niger-Land, climate, energy, agriculture and development: A study in the Sudano-Sahel Initiative for Regional Development, Jobs, and Food Security.

Andersen, T., Carstensen, J., Hernández-García, E., & Duarte, C. M. (2009). Ecological thresholds and regime shifts: approaches to identification. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(1), 49-57.

Biggs, R., Clements, H., de Vos, A., Folke, C., Manyani, A., Maciejewski, K., ... & Schlüter, M. (2021). What are social-ecological systems and social-ecological systems research?. In *The Routledge handbook of research methods for social-ecological systems* (pp. 3-26). Routledge.

کند. این شامل بررسی روابط انسان-طبیعت و عوامل فرهنگی، اقتصادی و سیاسی است که بر تاب‌آوری سیستم تأثیر می‌گذارند. با شدت گرفتن چالش‌های جهانی مانند تغییرات اقلیمی، نیاز به چارچوب‌های جامع که به جنبه‌های اکولوژیک و اجتماعی تغییرات رژیم می‌پردازند، به‌طور فزاینده‌ای ضروری می‌شود. با ترویج همکاری‌های بین‌رشته‌ای و درگیر کردن جوامع محلی، می‌توان راهبردهای مؤثرتری برای مدیریت نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک در مواجهه با عدم قطعیت و تغییر توسعه داد. یکی از حوزه‌های امیدوارکننده تحقیق در آینده، کاربرد علم پیچیدگی و نظریه شبکه در مطالعه تغییرات رژیم در نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک است. این رویکردها می‌توانند به شناسایی پیوندها و بازخوردهای حیاتی درون و بین سیستم‌ها کمک کنند و مدل‌هایی را توسعه دهند که پویایی‌های غیرخطی و ویژگی‌های نوظهور این سیستم‌های پیچیده را در بر بگیرد. علاوه بر این، پیشرفت‌ها در سنجش‌ازدور، تحلیل داده‌های کلان و هوش مصنوعی می‌توانند ابزارهای جدیدی برای نظارت و پیش‌بینی تغییرات رژیم فراهم کنند و مداخلات مدیریتی هدفمند و پیشگیرانه‌تری را ممکن سازند.

جهت‌گیری مهم دیگر برای تحقیقات آینده، یکپارچه‌سازی دانش بومی (TEK)^۱ با درک علمی از تغییرات رژیم است (Gordon et al., 2023). جوامع بومی تاریخچه‌های طولانی از تعامل با محیط‌های محلی و مدیریت آن‌ها دارند و دانش آن‌ها می‌تواند بینش‌های ارزشمندی درباره پویایی‌های نظام‌های اجتماعی-اکولوژیک ارائه دهد. با همکاری با جوامع محلی و گنجاندن TEK در تحقیقات راهبردهای مدیریت، می‌توان رویکردهای جامع‌تر و فرهنگی‌تری برای پرداختن به تغییرات رژیم توسعه داد. در نهایت، تحقیقات آینده باید به بررسی ابعاد اجتماعی و اقتصادی تغییرات رژیم، ازجمله تأثیرات بر بهزیستی

¹. Traditional Ecological Knowledge

- Kanger, L., Sovacool, B. K., & Noorkõiv, M. (2020). Six policy intervention points for sustainability transitions: A conceptual framework and a systematic literature review. *Research Policy*, 49(7), 104072.
- Kreplin, H. N., Santos Ferreira, C. S., Destouni, G., Keesstra, S. D., Salvati, L., & Kalantari, Z. (2021). Arctic wetland system dynamics under climate warming. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8(4), e1526.
- Kuhmonen, I., & Kuhmonen, T. (2023). Transitions through the dynamics of adaptive cycles: Evolution of the Finnish agrifood system. *Agricultural Systems*, 206, 103604.
- Li, T., Dong, Y., & Liu, Z. (2020). A review of social-ecological system resilience: Mechanism, assessment and management. *Science of the Total Environment*, 723, 138113.
- Liu, X., Li, D., Ma, M., Szymanski, B. K., Stanley, H. E., & Gao, J. (2022). Network resilience. *Physics Reports*, 971, 1-108.
- Nagel, B., & Partelow, S. (2022). A methodological guide for applying the social-ecological system (SES) framework: a review of quantitative approaches. *Ecology and Society*, 27(4), 39.
- Ollivier, G., Magda, D., Mazé, A., Plumecocq, G., & Lamine, C. (2018). Agroecological transitions: what can sustainability transition frameworks teach us? An ontological and empirical analysis. *Ecology & Society*, 23(2).
- Pelletier, M. C., Ebersole, J., Mulvaney, K., Rashleigh, B., Gutierrez, M. N., Chintala, M., ... & Lane, C. (2020). Resilience of aquatic systems: review and management implications. *Aquatic sciences*, 82, 1-25.
- Pereira, L. M., Drimie, S., Maciejewski, K., Tonissen, P. B., & Biggs, R. (2020). Food system transformation: integrating a political-economy and social-ecological approach to regime shifts. *International journal of*
- Biggs, R., Peterson, G., & Rocha, J. C. (2015). The Regime Shifts Database: a framework for analyzing regime shifts in social-ecological systems. *bioRxiv*, 018473.
- Chaparro-Pedraza, P. C. (2021). Fast environmental change and eco-evolutionary feedbacks can drive regime shifts in ecosystems before tipping points are crossed. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1955), 20211192.
- Cooper, G. S., Willcock, S., & Dearing, J. A. (2020). Regime shifts occur disproportionately faster in larger ecosystems. *Nature Communications*, 11(1), 1175.
- Crépin, A. S., Biggs, R., Polasky, S., Troell, M., & De Zeeuw, A. (2012). Regime shifts and management. *Ecological Economics*, 84, 15-22.
- Damalas, D., Sgardeli, V., Vasilakopoulos, P., Tserpes, G., & Maravelias, C. (2021). Evidence of climate driven regime shifts in the Aegean Sea's demersal resources: A study spanning six decades. *Ecology and Evolution*, 11(23), 16951-16971.
- Gilarranz, L. J., Narwani, A., Odermatt, D., Siber, R., & Dakos, V. (2022). Regime shifts, trends, and variability of lake productivity at a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(35), e2116413119.
- Gordon, H. S. J., Ross, J. A., Bauer-Armstrong, C., Moreno, M., Byington, R., & Bowman, N. (2023). Integrating Indigenous Traditional Ecological Knowledge of land into land management through Indigenous-academic partnerships. *Land use policy*, 125, 106469.
- Janssen, A. B., Teurlincx, S., An, S., Janse, J. H., Paerl, H. W., & Mooij, W. M. (2014). Alternative stable states in large shallow lakes?. *Journal of Great Lakes Research*, 40(4), 813-826.

Stelzer, J. A. A., Mesman, J. P., Adrian, R., & Ibelings, B. W. (2021). Early warning signals of regime shifts for aquatic systems: Can experiments help to bridge the gap between theory and real-world application?. *Ecological Complexity*, 47, 100944.

Su, H., Wang, R., Feng, Y., Li, Y., Li, Y., Chen, J., ... & Xie, P. (2021). Long-term empirical evidence, early warning signals and multiple drivers of regime shifts in a lake ecosystem. *Journal of Ecology*, 109(9), 3182-3194.

Turner, M. G., & Seidl, R. (2023). Novel disturbance regimes and ecological responses. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 54(1), 63-83.

Wang, S., Xue, J., Zhang, Z., Sun, H., Li, X., Chang, J., ... & Yao, L. (2024). An adaptive cycle resilience perspective to understand the regime shifts of social-ecological system interactions over the past two millennia in the Tarim River Basin. *Heliyon*, 10(14).

White, E. R., & Wulfin, S. (2024). Extreme events and coupled socio-ecological systems. *Ecological Modelling*, 495, 110786.

Zhao, J., Li, J., Zuo, L., Liu, G., & Su, X. (2023). Interaction dynamics of multiple ecosystem services and abrupt changes of landscape patterns linked with watershed ecosystem regime shifts. *Ecological Indicators*, 150, 110263.

environmental research and public health, 17(4), 1313.

Rahimi, M., Ahmadaali, K., & Goli, A. M. (2023a). Revealing regime shifts and their impact on social-ecological systems: a case study on Iran. *Water Conservation Science and Engineering*, 8(1), 56.

Rahimi, M., Ghorbani, M., & Ahmadaali, K. (2024a). Exploring the influence of regime shifts on ecosystem services in Iran's Zayandeh-Rud river basin. *International Journal of River Basin Management*, 1-12.

Rahimi, M., Ghorbani, M., & Ahmadaali, K. (2024b). How to manage regime shifts: insights from a dryland social-ecological system. *International Journal of Water Resources Development*, 1-15.

Rahimi, M., Ghorbani, M., Ahmadaali, K., Salajeghe, A., & Azadi, H. (2023b). Dryland river regime shifts in Iran: Drivers and feedbacks. *River Research and Applications*, 39(6), 1173-1186.

Ritchie, P. D., Clarke, J. J., Cox, P. M., & Huntingford, C. (2021). Overshooting tipping point thresholds in a changing climate. *Nature*, 592(7855), 517-523.

Rocha, J., Yletyinen, J., Biggs, R., Blenckner, T., & Peterson, G. (2015). Marine regime shifts: drivers and impacts on ecosystems services. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1659), 20130273.

Sardanyés, J., Ivančić, F., & Vidiella, B. (2024). Identifying regime shifts, transients and late warning signals for proactive ecosystem management. *Biological Conservation*, 290, 110433.

Schwartz, C. E., Rapkin, B. D., & Healy, B. C. (2016). Reserve and reserve-building activities research: key challenges and future directions. *BMC neuroscience*, 17, 1-9.



Regime Shifts in Social-Ecological Systems: From Crisis to Resilience

Majid Rahimi

Researcher, Social Business Institute, University of Tehran, Tehran, Iran

Author's E-mail: rahimi74@ut.ac.ir

Abstract

Regime shifts in Social-Ecological Systems (SES) are defined as significant and abrupt changes in the structure and functioning of these interconnected systems, which can have profound implications for ecosystem services and human well-being. These shifts arise from complex interactions among various factors, including environmental pressures and social norms. Feedback loops play a crucial role in this process, either stabilizing or destabilizing the system. Tipping points are thresholds that, when crossed, lead to a transition to a new regime, and making the identification of early warning signals is essential for proactive management. Regime shifts can occur across different spatial and temporal scales, from local ecosystems to global biomes, and from short-term disturbances to long-term trends. They typically result from a combination of gradual pressures—such as climate changes, pollution, or habitat degradation, and sudden shocks, including natural disasters or significant human events. Understanding the processes behind these changes is vital for developing effective management strategies and enhancing resilience. By identifying the factors, processes, and consequences of these shifts, researchers and policymakers can work to prevent unwanted changes and promote sustainable natural resources use. This study emphasizes on the importance of integrated approaches that consider both social and ecological dimensions to enhance the resilience of social-ecological systems.

Keywords: Ecological dynamics, alternative stable states, early warning signals, tipping points, feedback loops

