تالاب استیل، آستارا، شهریور ۱۴۰۱، عکاس: آرش رمضان‌پور

دیباچه‌ای بر سیستم‌های اجتماعی- اکولوژیک: چارچوب‌ها و مفاهیم کلیدی

غزاله هنرجو[۱]، افشین دانه‌کار[۲*]، داود مافی غلامی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- استاد، گروه محیط‌زیست طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانشیار گروه اندازه‌شناسی، پژوهشکده ارزیابی کیفیت و سامانه‌های مدیریت، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

* رایانامه نویسنده مسئول: danehkar@ut.ac.ir

چکیده

سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک، نشان‌دهنده تعامل پیچیده بین سیستم‌های انسانی و طبیعی هستند. آن‌ها دارای ویژگی‌های متعددی از جمله عدم‌قطعیت، بازخورد غیرخطی، برهم‌کنش فرایندها در مقیاس‌های مختلف، خودسازماندهی و پیدایش هستند. تغییرات براساس رفتار آشوب‌ناک و مدل فاجعه‌آمیز در آن‌ها رخ می‌دهد. ازاین‌رو، درک و شناسایی اجزا و تعاملات این سیستم‌ها برای مدیریت پایدار منابع طبیعی ضروری است. چارچوب‌های مختلفی برای شناسایی و تحلیل سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک توسعه یافته‌اند. در توصیف سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک، ساختار سلسله مراتبی و تودرتو هر دو زیرسیستم بسیار اهمیت دارد و ارتباط میان این دو زیرسیستم، از طریق دانش و درک انسان از زیرسیستم اکولوژیک و اقدامات مدیریتی که انجام می‌دهد، شکل می‌گیرد، رویکردهای تشخیصی در این زمینه از طریق شناسایی واحدها و مجموعه‌های انسانی و طبیعی در کنار تعاملات سیستم به درک پیچیدگی سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک کمک می‌کند و به مدیریت موثر منابع از جمله منابع مشترک منجر می‌شود. در سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک، متغیرهای کند و سریع و کنترل‌های برون‌زا بر ساختار و پویایی سیستم تأثیرگذارند و همچنین بازخوردهای تثبیت‌کننده و تقویت‌کننده تا حد زیادی نحوه پاسخ یک سیستم به تغییر را کنترل می‌کند، درک پیچیدگی و تعاملات سامانه‌های اجتماعی-اکولوژیک برای مدیریت مؤثر منابع طبیعی و ایجاد تاب‌آوری در برابر اختلالات و شوک‌ها ضروری است.

کلیدواژه‌ها: فرآیندهای اجتماعی-اکولوژیک، منابع مشترک، بازخوردهای تثبیت‌کننده، بازخوردهای تقویت‌کننده، متغیرهای کند و سریع، کنترل‌های برون‌زا

هنرجو، غ.، دانه‌کار، ا.، مافی غلامی، د. (۱۴۰۴). دیباچه‌ای بر سیستم‌های اجتماعی- اکولوژیک: چارچوب‌ها و مفاهیم کلیدی. *نشریه دانشجویی زیست سپهر*، ۱۸(۳)، ۵۷-۷۰.

مقدمه

سامانه اجتماعی-اکولوژیک (SES)[1] به‌عنوان سیستمی تعریف می‌شود که در آن زیرسیستم‌های اجتماعی (انسانی) و اکولوژیک (بیوفیزیکی) به صورت متقابل در تعامل با یکدیگر عمل می‌کنند (Gallopin, 1991) و اجزای اجتماعی، اقتصادی، بوم‌شناختی، فرهنگی، سیاسی، فناوری و حقوقی به‌شدت به‌هم مرتبط هستند (Petrosillo et al., 2015). چنین سیستمی می‌تواند پیوندهای پیچیده بین سیستم اکولوژیک و سیستم اجتماعی، همچنین نحوه تأثیرگذاری و شکل‌دادن آن‌ها را تعریف کند (Ostrom, 2009). ازاین‌رو، برای بررسی و حل مشکلاتی که به‌طور گسترده در کل جامعه مورد بحث قرار می‌گیرند، مفید هستند (Brown & Rounsevell, 2021). یک سامانه اجتماعی-اکولوژیک تمام فرایندهای درون‌زا و برون‌زای تأثیرگذار بر اکوسیستم‌ها و روابط اجتماعی-اقتصادی را بررسی می‌کند (Gunderson & Holling, 2003) و برای هر مقیاسی از جامعه و محیط اطراف آن می‌تواند در نظر گرفته شود، از محلی تا سیستم جهانی که توسط نوع بشر (آنتروپوسفر) و اکوسفر تشکیل شده‌است (Gallopín, 2006).

پایداری چنین روابطی، به شکل سیاست‌های ساختارمند، حاکمیت نهادی کارآمد و کاربران منابع مشترک، با هدف حفظ و تقویت ظرفیت عملکردی SES بستگی دارد (Holling, 2001). در یک سامانه اجتماعی-اکولوژیک علاوه‌بر اجزا، روابط و تعاملات بین اجزا نیز اهمیت دارند و بر نتیجه نهایی تاثیرگذار است. سیستم‌های پیچیده دارای ویژگی‌های متعددی از جمله عدم‌قطعیت[2]، بازخورد غیرخطی[3]، برهم‌کنش فرآیندهای اجرا شده در مقیاس‌های مختلف، خودسازماندهی[4] و پیدایش[5] هستند. هر دو سیستم اکولوژیک و اجتماعی رفتاری شبیه سیستم‌های پیچیده دارند و این ویژگی در سطح بعدی، یعنی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک، قابل تشخیص است. دو مدل، پتانسیل تغییر این سیستم‌ها را توصیف می‌کنند: رفتار آشوب‌ناک[6] و مدل فاجعه‌آمیز[7] (Bran, 2010).

ارتباط و پیوستگی اجتناب‌ناپذیر این دو سیستم امکان ارزیابی جداگانه آن‌ها را نمی‌دهد و بر انتخاب شاخص‌ها در پژوهش‌های مرتبط با هرکدام تاثیر می‌گذارد. توجه نکردن به ارتباط بین این دو زیرسیستم عدم‌قطعیت ذاتی سیستم را با یک قطعیت ساختگی جایگزین می‌کند. یک مثال می‌تواند فرسایش آهسته فرآیندهای کنترلی و کلیدی باشد که می‌تواند به‌طور ناگهانی یک SES را به حالت دیگری تبدیل کند که ممکن است غیرقابل‌برگشت باشد؛ مانند از بین رفتن تدریجی گونه‌های مهم برای گرده‌افشانی که می‌تواند باعث رکود اقتصاد مبتنی بر محصولات کشاورزی شود (Petrosillo et al., 2015). کلدینگ[8] و بارتل[9]، بیان می‌کنند در حالی که اکثر دانشمندان ممکن است درک نسبتاً خوبی از آنچه یک سیستم اجتماعی-اکولوژیک شامل می‌شود داشته باشند، اما همچنان ادبیات ما فاقد یک تعریف متحدکننده‌تر و دقیق‌تر برای برقراری ارتباط با مخاطبان چند رشته‌ای است (Colding & Barthel, 2019).

Anderies و همکاران (۲۰۰۴)، یک تعریف نسبتاً جامع از سیستم اجتماعی-اکولوژیک، ارائه می‌دهند: "یک سیستم اکولوژیک پیچیده مرتبط و تحت‌تأثیر یک یا چند سیستم اجتماعی". آن‌ها همچنین اشاره دارند که "یک سیستم اکولوژیک را می‌توان به‌عنوان یک مجموعه وابسته از ارگانیسم‌ها یا واحدهای بیولوژیک تعریف کرد". این پژوهشگران معتقدند واژه "اجتماعی" به سادگی قابل‌تعریف و به معنای "تمایل به تشکیل روابط همکاری

1- Social-Ecological System (SES)
2- Uncertainty
3- Non-linear feedback
4- Self-organization
5- Emergence

6- Chaos behavior
7- Catastrophic model
8- Colding
9- Barthel

و وابستگی متقابل با دیگران از نوع خود است". به‌طور کلی، سیستم‌های اجتماعی را می‌توان به‌عنوان سیستم‌هایی در نظر گرفت که به‌طور متقابل به ارگانیسم‌ها وابسته‌اند. بنابراین، هر دو سیستم اجتماعی و اکولوژیک حاوی واحدهایی هستند که به‌طور متقابل با هم تعامل دارند و هر کدام ممکن است حاوی زیرسیستم‌های تعاملی نیز باشند. اصطلاح "SES" برای اشاره به زیرمجموعه‌ای از سیستم‌های اجتماعی استفاده می‌شود که در آن بخشی از روابط متقابل میان انسان‌ها از طریق تعامل با واحدهای زیستی–فیزیکی و زیستی غیرانسانی برقرار می‌شود. یک مثال ساده زمانی است که فعالیت‌های یک ماهیگیر نتایج فعالیت‌های ماهیگیر دیگری را از طریق واحدهای زیستی غیرانسانی و بیوفیزیکی که ذخایر ماهی پویا و زنده را تشکیل می‌دهند، تغییر می‌دهد، به‌صورتی که برداشت بیش از حد یک ماهیگیر بر میزان برداشت ماهیگیر دیگر اثر می‌گذارد (Anderies et al., 2004).

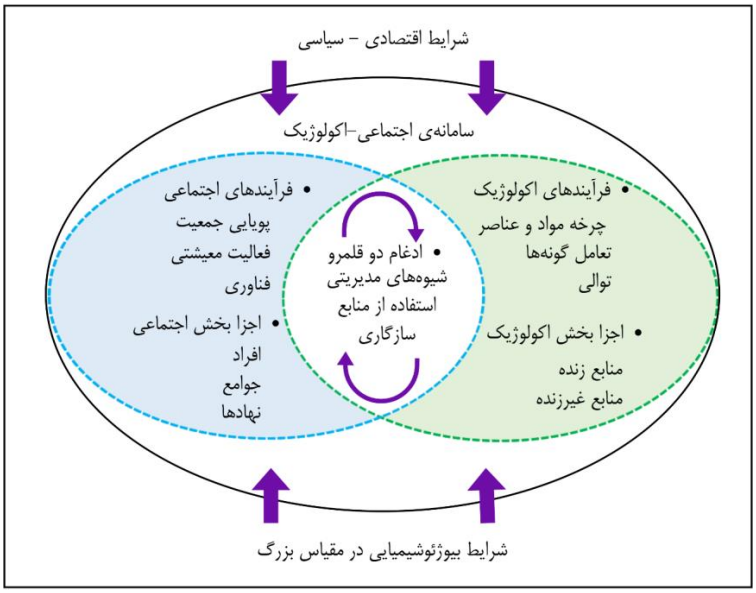
ساختار سیستم‌های اجتماعی–اکولوژیک

SESها به نام‌های مختلف سیستم‌های انسان–محیط[1]، سیستم‌های زوجی انسان–طبیعت[2] (Wang et al., 2018)، سیستم‌های اجتماعی–اکولوژیک پیچیده[3] (Gain et al., 2020) و سیستم‌های تطبیقی پیچیده[4] (Preiser et al., 2018) نیز شناخته می‌شود. برای معادل انگلیسی سیستم اجتماعی–اکولوژیک، بهتر است به جای "socio-ecological" از "social-ecological" استفاده شود، زیرا "socio " به‌عنوان یک پیشوند، برخلاف "social" که یک کلمه و صفت است، نمی‌تواند برابری بخش اجتماعی و اکولوژیک را به‌خوبی نشان دهد، و بخش اجتماعی را کمتر از حالت برابر با بخش اکولوژیک بیان می‌کند (Berkes, 2017). دانش SES روابط بین اجزای انسانی و اکولوژیک را به‌عنوان بخشی از یک سیستم پیچیده با بازخوردها و وابستگی‌های چندمقیاسی قاب‌بندی می‌کند (Berkes et al., 2003; Liu et al., 2007; Walker et al., 2006) و چارچوبی نظری ارائه می‌کند که محیط را به‌عنوان یک سیستم باز متشکل از فرآیندها و اجزای اکولوژیک و اجتماعی، از جمله زیست بوم‌ها، انسان‌ها و حیات جانوری، به تصویر می‌کشد. این فرآیندها از طریق تعاملاتی مانند شیوه‌های مدیریت، سازگاری و استفاده از منابع که در مقیاس‌های متعدد و از طریق چرخه‌ها رخ می‌دهند، ادغام می‌شوند. به‌عنوان یک سیستم باز، فرآیندها و تعاملات SES تحت‌تأثیر نیروهای مقیاس گسترده مانند شرایط سیاسی و اقتصادی و شرایط بیوژئوشیمیایی در مقیاس بزرگ قرار دارند (Chapin et al., 2009). در شکل ۱، سیستم اجتماعی به رنگ آبی و سیستم اکولوژیک به رنگ سبز نشان داده شده‌است.

اجزای سیستم در یک ساختار پویا و شبکه‌ای با هم تعامل دارند که ارتباطات متقابل و بازخوردهای متأثر را از طریق محرک‌های مستقیم و غیرمستقیم در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف تسهیل می‌کند (Berkes et al., 2003; Chapin et al., 2009; Liu et al., 2007; Walker et al., 2006). عوامل اقتصادی، سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و قانونی وجود دارد که عمدتاً در کنار یکدیگر به‌عنوان نیروی محرکه فعالیت‌های انسانی عمل می‌کنند. نیروهای محرک مستقیم، مانند فعالیت‌های معدنی یا کشاورزی، به‌راحتی قابل‌تشخیص هستند، زیرا اغلب تأثیرات بلافاصل و قابل‌تشخیص دارند. نیروهای محرک غیرمستقیم کمتر قابل‌شناسایی هستند. بااین‌حال، از آنجایی که بر اعمال افراد تأثیر می‌گذارند، تأثیر آن‌ها بر سیستم‌ها کمتر از نیروهای محرک مستقیم نیست. به‌عنوان مثال، قانون می‌تواند مردم را تشویق کند که به جای کشاورزی در یک منطقه معدنی، از آن سنگ معدن استخراج کنند و بر نحوه استخراج آن‌ها تأثیر بگذارد. این موضوع به درک منابع انسانی از تغییرات اکولوژیک مرتبط است. نیروهای محرکه

[1]- Human–environment systems (HES)
[2]- Coupled human–nature systems (CHANS)
[3]- Complex Social-Ecological Systems
[4]- Complex Adaptive Systems

می‌تواند توانایی اکوسیستم برای ارائه کالاها و خدمات را کاهش دهد (Petrosillo et al., 2015). براساس آن‌چه تاکنون گفته شد، نیاز به شناسایی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک برای درک تعاملات آن‌ها و برنامه‌ریزی جهت مدیریت مناسب آن‌ها احساس می‌شود، که در ادامه به چند رویکرد برای شناسایی اجزا و پیوندهای آن‌ها اشاره می‌شود.



شکل ۱- مدل گرافیکی یک سامانه اجتماعی-اکولوژیک (Virapongse et al., 2016)

چارچوب‌های شناسایی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک

چارچوب اصلی

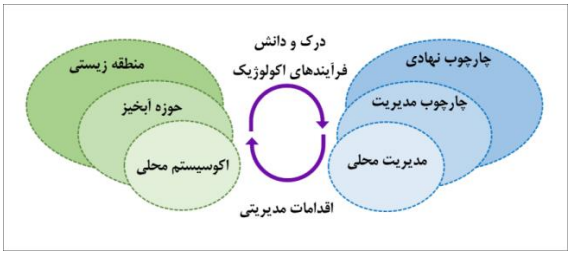
۱۰ سال طول کشید تا Folke و Berkes (۱۹۹۸) مفهوم سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک را به‌عنوان یک چارچوب تحلیلی برای مطالعه ارتباط بین اکوسیستم‌ها و نهادها توسعه دادند (Colding & Barthel, 2019). به‌طور خاص‌تر، آن‌ها از این چارچوب برای گسترش درک چگونگی ایجاد تاب‌آوری در سیستم‌های مدیریت منابع محلی استفاده کردند. آن‌ها معتقدند چالش این است که راه‌هایی برای تطبیق پویایی نهادها با پویایی اکوسیستم‌ها، برای تاب‌آوری متقابل اجتماعی-اکولوژیک و بهبود عملکرد آن‌ها، نیاز است (Folke, & Berkes, 1998). رویکردهای تطبیقی موفق برای مدیریت اکوسیستم در شرایط عدم‌قطعیت نیازمند موارد زیر است: ۱) ایجاد دانش و درک از پویایی منابع و اکوسیستم، ۲) توسعه رویه‌هایی که بازخورد اکولوژیک را تفسیر و به آن پاسخ می‌دهند و ۳) حمایت از نهادها و سازمان‌های انعطاف‌پذیر و فرآیندهای مدیریت سازشی (Olsson et al., 2004).

مطابق شکل ۲، در سمت چپ، سیستم طبیعی قرار دارد که ممکن است شامل اکوسیستم‌های تودرتو باشد، مانند یک اکوسیستم منطقه‌ای که حوضه زهکشی[1] یک رودخانه را تشکیل می‌دهد که به نوبه خود شامل تعدادی اکوسیستم حوزه آبخیز[2] و غیره است. در سمت راست، مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی جاری، قرار دارد. این شیوه‌ها در نهادها تعبیه شده‌اند و خود نهادها ممکن است یک مجموعه تودرتو باشند. فولک[3] و برکس[1] اذعان دارند که "نهادها

[1]- Drainage basin
[2]- Watershed
[3]- Folke

ساخته‌ای اجتماعی و برخوردار از ابعاد هنجاری[2] و شناختی[3] و همچنین نظارتی[4] هستند". آن‌ها نهادها را به‌عنوان "محدودیت‌های طراحی شده توسط انسان که تعاملات انسانی را ساختار می‌دهند" تعریف می‌کنند (Folke & Berkes, 2002). محدودیت‌ها به‌صورت رسمی (قوانین و قوانین اساسی)، یا غیررسمی (هنجارهای رفتاری، کنوانسیون‌ها و کدهای رفتاری خود تحمیلی) و ویژگی‌های اجرایی سیستم‌ها دیده می‌شوند (North, 1994; Swanson et al., 2007). تمایز مهمی که در این روش ایجاد شد این بود که پیوند بین اکوسیستم و شیوه‌های مدیریتی، توسط دانش و درک اکولوژیک کاربران منابع از اکوسیستم محلی یا پایگاه منابعی فراهم می‌شد که به آن وابسته بودند. این پیوند دانش، حیاتی تلقی می‌شد؛ زیرا بدون دانش و درک اکولوژیک از پویایی پایگاه منابع، احتمال استفاده پایدار به شدت کاهش می‌یابد (Folke & Berkes, 1998, 2002).

ازاین‌رو به‌طور فزاینده‌ای پیشنهاد می‌شود که تولید دانش اکوسیستم‌ها باید به‌طور صریح با رویه مدیریت ادغام شود و با جنبه‌های نهادی و سازمانی مدیریت تکامل یابد (Olsson et al., 2004) که سیستم‌های مدیریت مشترک سازشی شناخته می‌شود (Berkes et al., 2003). مدیریت مشترک سازشی (تطبیقی) به‌عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن ترتیبات نهادی و دانش اکولوژی در یک فرایند پویا، مداوم و خودسازمانده یادگیری از طریق اجرا، آزمایش و بازبینی می‌شوند (Folke et al., 2002). مدیریت مشترک سازشی به همکاری مجموعه‌ای متنوع از ذی‌نفعان متکی است که در سطوح مختلف، از کاربران محلی گرفته تا شهرداری‌ها، تا سازمان‌های منطقه‌ای و ملی و همچنین نهادهای بین‌المللی فعالیت می‌کنند (Olsson et al., 2004). یک SES، تحت تأثیر تعدادی از عوامل، مانند رشد جمعیت، تغییر تکنولوژیکی، تأثیرات بازارهای سرمایه و تجارت، تغییرات سیاسی و فشارهای جهانی‌سازی قرار دارد که دو مورد آخر به‌عنوان تأثیرات عمده بر سیستم در نظر گرفته می‌شوند (Colding & Barthel, 2019). اولسون[5] و همکاران مدیریت مشترک سازشی را با مثال‌هایی از سوئد و کانادا توضیح می‌دهند و به ویژگی‌های اجتماعی برای ایجاد چنین مدیریتی می‌پردازند (Olsson et al., 2004).



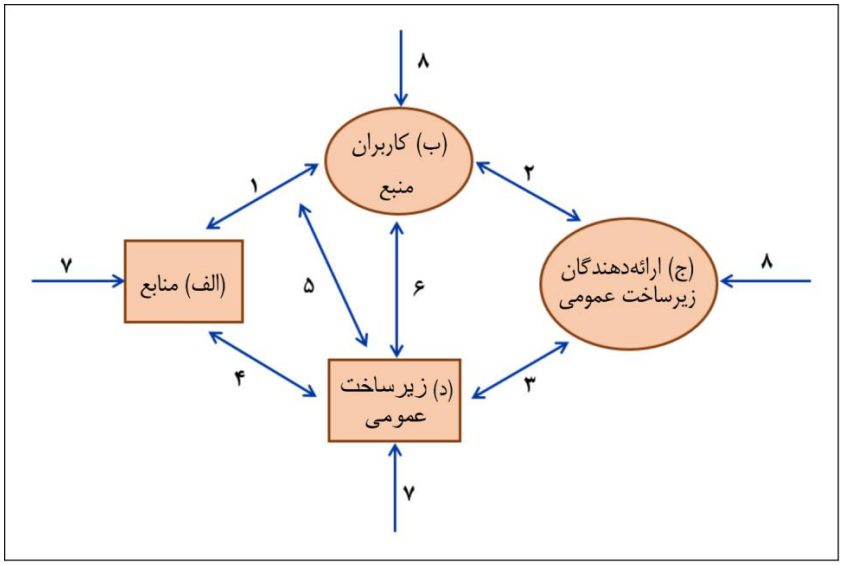
شکل ۲- یک نمایش بصری از مفهوم سیستم اجتماعی-اکولوژیک (Folke & Berkes, 1998, 2002)

چارچوب استحکام

Anderies و همکاران (۲۰۰۴)، همچنین مدلی را برای بررسی استحکام[6] SESها با هدف برجسته کردن تعاملات کلیدی در چنین سیستم‌هایی توس عه دادند. این پژوهشگران نشان می‌دهند چگونه این تعاملات و پیوندها در کنار اجزا سیستم می‌توانند تاب‌آوری را در برابر اختلالات و شوک‌ها افزایش دهند و یا نبود آن‌ها موجب افزایش آسیب‌پذیری شود. ازاین‌رو آن‌ها یک مدل مفهومی از یک SES توسعه دادند که شامل ۴ نهاد و ۸ پیوند است (شکل ۳).

[1]- Berkes
[2]- Normative dimension
[3]- Cognitive dimension
[4]- Regulative dimension

[5]- Olsson
[6]- Robustness



شکل ۳- ویژگی اساسی مدل سیستم اجتماعی-اکولوژیک (Anderies et al., 2004)

مطابق شکل ۳، منابع (الف)، توسط کاربران منبع (ب) و ارائه‌دهندگان زیرساخت عمومی (ج) استفاده می‌شود. بخش انسانی در (ب و ج) دیده می‌شود و ممکن است همپوشانی قابل‌توجهی بین افراد وجود داشته باشد یا ممکن است بسته به ساختار سیستم اجتماعی که SES را اداره و مدیریت می‌کند، افراد کاملاً متفاوتی باشند. زیرساخت‌های عمومی (د) دو شکل از دارایی ساخته شده توسط انسان را ترکیب می‌کند (فیزیکی و اجتماعی). دارایی فیزیکی[1] شامل هر گونه ساختار مهندسی و سازه‌ای مانند سدها، کانال‌های آبیاری باشد. قواعد اجتماعی[2] به معنای ضوابطی است که توسط کسانی که سیستم را اداره، مدیریت و استفاده می‌کنند، به‌کار گرفته می‌شود و عواملی که هزینه‌های معاملاتی مرتبط با نظارت و اجرای این قوانین را کاهش می‌دهند (Ostrom & Ahn, 2003). یک مثال از قانونی که در بسیاری از SESهای خودسازمانده استفاده می‌شود، چرخش نقش نظارت بین بهره‌برداران منابع است. در SES های تحت کنترل مرکزی، ناظران توسط یک سازمان دولتی استخدام و به‌کار گرفته می‌شوند (Anderies et al., 2004). در بررسی استحکام، اختلال خارجی می‌تواند به دو صورت، مورد بررسی قرارگیرد. اختلالات بیوفیزیکی (پیکان ۷) مانند انواع مخاطرات طبیعی (همچون سیل، زلزله، زمین لغزش و تغییرات اقلیمی) و همچنین تغییرات اجتماعی اقتصادی (پیکان ۸)، مانند افزایش جمعیت، تغییرات اقتصادی و سیاسی عمده که بر کاربران منابع (ب) و ارائه دهندگان زیرساخت عمومی (ج) تأثیر می‌گذارد. اختلالات داخلی نیز در این چارچوب بررسی می‌شود و به سازماندهی مجدد سریع سیستم اکولوژیک یا اجتماعی اشاره دارد که توسط زیرسیستم‌های اکولوژیک یا اجتماعی القا می‌شود.

چارچوب توسعه یافته توسط Anderies و همکاران (۲۰۰۴) به نوبه خود الهام‌بخش توسعه مدل استحکام شد. در این روش استحکام از طریق روابط نهادی تحلیل می‌شود. مطابق نظر آنان، استحکام یک سیستم به توانایی آن در سازگاری و پاسخ‌گویی به تغییرات، به‌ویژه در پی شکست یا اختلال در ارتباطات بین این مؤلفه‌ها، بستگی دارد. یک نکته کلیدی که در این مطالعه مطرح شد این است که رابطه بین کاربران منابع و ارائه‌دهندگان زیرساخت‌های عمومی، نقش کلیدی در استحکام سیستم دارد و غفلت از این ارتباط می‌تواند سیستم را آسیب‌پذیر کند. تعاملات بین اجزا در ادامه با شماره پیکان آمده‌است (شکل ۳) (Anderies et al., 2004):

1- Physical capital
2- Social capital

پیکان ۱: بین منبع و کاربران منبع (مثال: در دسترس بودن آب کافی برای کشاورزی، مشکلات بالقوه: بارش سنگین می‌تواند باعث سیل شود یا کمبود آب که می‌تواند باعث خشکسالی شود)؛

پیکان ۲: بین کاربران و ارائه دهندگان زیرساخت عمومی (مثال: کشاورزان ممکن است مبلغی را برای تعمیر کانال‌های آبیاری روستا پرداخت کنند، مشکلات بالقوه: ممکن است برخی کاربران بدون کمک کردن همچنان از مزایای زیرساخت بهره‌مند شوند)؛

پیکان ۳: بین ارائه‌دهندگان زیرساخت و زیرساخت عمومی (مثال: یک شرکت که مسئول ساخت و نگهداری سیستم آب‌رسانی عمومی است، مشکلات بالقوه: ممکن است پس از ساخت توجه کافی و لازم به تعمیر و نظارت بر آن بخش نداشته باشد که منجر به خسارت‌هایی مانند نشت لوله می‌شود)؛

پیکان ۴: بین زیرساخت عمومی و منابع (مثال: ساخت یک سد برای ذخیره آب و تولید برق، مشکلات بالقوه: اگر این سد به‌درستی طراحی نشده باشد، ممکن است، آب در دسترس کشاورزان به‌درستی توزیع نشود یا جریان طبیعی رودخانه را مختل کند و بر کیفیت آب تأثیر بگذارد)؛

پیکان ۵: بین زیرساخت عمومی و پویایی منبع (مثال: ساخت سدهایی که جریان طبیعی رودخانه را تغییر می‌دهند، می‌تواند بر الگوهای تولید مثل ماهی‌های محلی تأثیر بگذارد، مشکلات بالقوه: این تغییرات ممکن است جمعیت ماهی را کاهش دهد و بر معیشت ماهی‌گیران و اکوسیستم رودخانه تأثیر منفی بگذارد)؛

پیکان ۶: بین کاربران منبع و زیرساخت عمومی (مثال: کشاورزی که فکر می‌کند چون منابع آب فعلاً در دسترس است و مشکلی حس نمی‌شود، نیازی به صرف هزینه برای بهبود زیرساخت‌های تصفیه آب نمی‌بیند، مشکلات بالقوه: بدون پرداخت هزینه از آب با کیفیت استفاده می‌کند، اما با گذر زمان زیرساخت‌ها دچار خسارت می‌شوند)؛

پیکان ۷: نیروهای خارجی بر منبع و زیرساخت (مثال: تأثیر طوفان، سیل یا خشکسالی بر منابع آبی یا جاده‌ها و شبکه‌های برق، مشکلات بالقوه: تخریب)؛

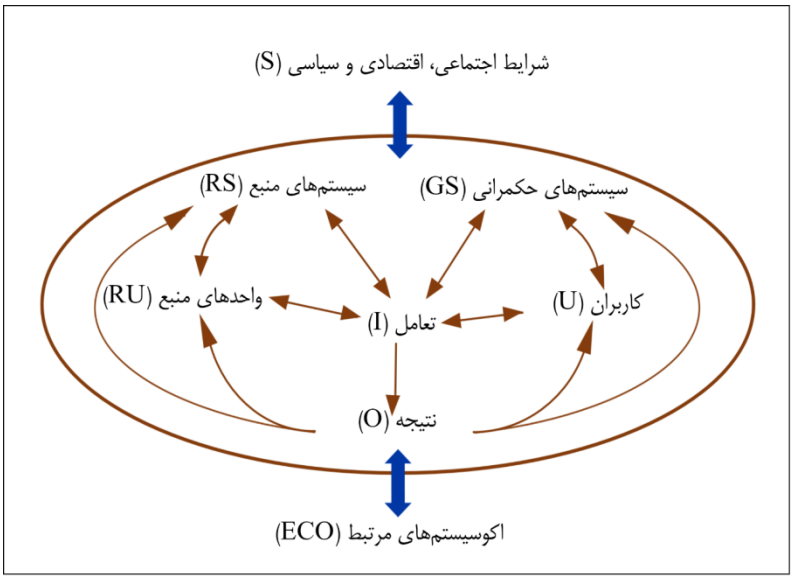
پیکان ۸: نیروهای خارجی بر بازیگ ران اجتماعی (مثال: زلزله می‌تواند باعث رانش زمین و تخریب سیستم‌های تصفیه آب شود، که منابع مالی زیادی برای دولت‌ها دارد. مشکلات بالقوه: افزایش تقاضا برای کالاهای ضروری و مسکن یا افزایش مهاجرت).

باید در نظر گرفته شود که همواره درجاتی از عدم‌قطعیت غیرقابل‌کاهش در مورد چگونگی تکامل پویایی فرآیندهای زوجی اجتماعی و اکولوژیک وجود دارد. این نشان می‌دهد که به جای پرسیدن اینکه چگونه جامعه می‌تواند منابع اکولوژیک را بهتر "مدیریت" کند، باید پرسیده شود: "چه چیزی باعث می‌شود سیستم‌های اجتماعی–اکولوژیک (SESs) مقاوم باشد؟" (Anderies et al., 2004). مقاله Naylor و همکاران، مثالی عملی برای استفاده از مدل استحکام برای شناسایی آسیب‌پذیری‌ها و مدیریت سازشی در سیستم اجتماعی–اکولوژیک ساحلی در کرنوال بریتانیا محسوب می‌شود (Naylor et al., 2019).

چارچوب چندسطحی

الینور آستروم چند سال بعد از مدل استحکام، اظهار داشت، نمی‌توان براساس مدل‌های ساده SES، برای مشکلات پیچیده‌ای چون استفاده بیش از حد یا تخریب منابع، یک راه‌حل جهانی و معجزه‌آسا، استنباط نمود (Ostrom, 2007, 2009; Pritchett & Woolcock, 2004). مشاهدات تجربی نشان می‌دهد که پویایی‌های خطی و کاهش‌گرایانه ساده، نمایش گمراه‌کننده‌ای از نحوه عملکرد SESها ارائه می‌دهند (Levin et al., 2013). درک یک کل پیچیده نیازمند دانش در مورد متغیرهای خاص و نحوه ارتباط اجزای آن است (Levin, 1992). بنابراین، باید تلاش نمود که چگونه پیچیدگی را تشریح و مهار کرد، نه اینکه آن را از چنین سیستم‌هایی حذف نمود (Axelrod &

Cohen, 2008). از این رو، آستروم با بسط روش آندریس، یک چارچوب جدید (شکل۴) برای شناسایی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک نمود (Ostrom, 2007, 2009).



شکل ٤- زیرسیستم‌های اصلی در چارچوبی برای تجزیه‌وتحلیل سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک (Ostrom, 2009)

آستروم به تعدد متغیرهایی اشاره کرد که در طول زمان توسط محققان مختلف مانند آگراوال، شناسایی شده‌است و بر الگوهای تعامل و نتایج در SESهای مورد مطالعه تجربی تأثیر می‌گذارد (Agrawal, 2001). از نظر آستروم در یک سیستم اجتماعی-اکولوژیک پیچیده، زیرسیستم‌هایی مانند یک سیستم منبع (مثلاً یک ماهیگیری ساحلی)، واحدهای منبع (خرچنگ‌های دریایی)، کاربران (ماهیگیران) و سیستم‌های حکمرانی (سازمان‌ها و قوانینی که ماهیگیری در آن ساحل را اداره می‌کنند) نسبتاً قابل‌جداسازی هستند، این اجزا برای تولید نتایج[1] در سطح سیستم زوجی با هم تعامل دارند که به نوبه خود بازخوردها را ایجاد می‌کنند. همچنین، بازخوردها بر زیرسیستم‌ها و اجزای آن‌ها و همچنین سایر SESهای بزرگ‌تر یا کوچک‌تر تأثیر دارند (Ostrom, 2009). شکل ۴ مروری بر چارچوب آستروم ارائه می‌دهد و روابط بین چهار زیرسیستم اصلی در سطح اول یک SES را نشان می‌دهد که بر یکدیگر و همچنین شرایط اجتماعی، اقتصادی و سیاسی مرتبط و اکوسیستم‌های مرتبط تأثیر می‌گذارند. زیرسیستم‌ها عبارتند از:

۱) سیستم‌های منبع[2]: مانند یک منطقه حفاظت شده مشخص با یک قلمرو معین، حاوی زیستگاه‌ها و اکوسیستم‌های مختلف و فرایندهای بوم‌شناختی جاری در سیستم؛

۲) واحدهای منبع[3]: مانند اجزا ساختاری سیستم مبنع همچون درختان، درختچه‌ها و گیاهان علفی، حیات وحش، منابع آب و اراضی؛

۳) سیستم‌های حکمرانی[4]: مانند سامانه مدیریت منطقه، شامل دولت یا دیگر سازمان‌هایی که منطقه را مدیریت می‌کنند یا در مدیریت آن مشارکت دارند (بخش خصوص و نهادهای مدنی)، قوانین و ضوابط مرتبط با استفاده از منطقه و قواعد بهره‌برداری؛

1- Outcomes

2- Resource systems
3- Resource units
4- Governance systems

۴) کاربران[1]: شامل افرادی که از منطقه به روش‌های مختلف برای آموزش، پژوهش، تفرج، امرار معاش یا دیگر اهداف استفاده می‌کنند.

Ostrom (۲۰۰۷، ۲۰۰۹) از اصطلاح کاربران برای استفاده‌کنندگان از منابع مشترک استفاده کرد، اما McGinnis و Ostrom (۲۰۱۴) آن را به کنشگران[2] تغییر دادند تا گستردگی مفهومی شامل سیاست‌گذاران و سازمان‌ها و جامعه مدنی را نشان دهند. تکامل متغیرهای استفاده شده در این روش را می‌توان در مقالات این پژوهشگر از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۴ مشاهده کرد. هر زیرسیستم اصلی از چندین متغیر سطح دوم (مثلاً اندازه یک سیستم منبع، تحرک یک واحد منبع، سطح حکمرانی، دانش کاربران از سیستم منبع) تشکیل شده‌است که بیشتر از متغیرهای سطح اول عمیق‌تر شده‌اند (Ostrom, 2009). این چارچوب ویژگی‌های دنیای فیزیکی (سیستم‌های منبع و واحدهای منبع) را با ویژگی‌های نهادها (سیستم‌های حاکمیت) که مجموعه‌ای از قوانین را برای کنشگران تعریف می‌کند، مرتبط می‌سازد. همه آن‌ها بر تعامل و نتیجه ناشی از آن تأثیر می‌گذارند و بازخورد ایجاد می‌کنند. این چارچوب اجزای سطح اول را باز می‌کند تا متغیرهای سطح دوم و سوم را در مقیاس‌های قابل‌ارتباط با عرصه‌های تصمیم‌گیری آشکار کند. سیستم‌های حکمرانی، شامل قوانین، هنجارها و استراتژی‌های در حال استفاده است که انگیزه‌ها و رفتار بازیگران را مشخص می‌کنند (Schmitt-Harsh & Mincey, 2020). درک عمیق از این تعاملات می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و قوت سیستم و ارائه راهکارهایی برای بهبود مدیریت منابع و همچنین کاهش آسیب‌پذیری منجر شود.

این چارچوب برای مدیریت منابع مشترک مانند آب، جنگل‌ها و دریاها کاربردی است و به توانایی خودسازماندهی سیستم‌ها به‌خصوص برای جلوگیری از فاجعه منابع مشترک[3] اشاره می‌کند (Ostrom, 2009). همان‌طور که Hardin (۱۹۶۸) بیان نمود، وقتی افراد یا گروه‌ها از یک منبع مشترک بهره‌برداری می‌کنند، هر کدام به‌طور انفرادی به سمت بهره‌برداری حداکثری پیش می‌روند، که این اقدام می‌تواند منجر به فاجعه و بحران شود (Ostrom, 2009). هاردین[4] راه‌حل این مسئله را یک اجبار توافقی به شکل قانون و به صورت محدودیت برداشت از منابع برای افراد م ختلف بیان نمود (Hardin, 1968). همچنین، روش آستروم با ارائه یک مجموعه مشترک از متغیرهای کلیدی می‌تواند بستری برای سازماندهی دانش به دست آمده از مطالعات سیستم‌های متنوع فراهم کند (Ostrom, 2009). این چارچوب تا اکنون توسط بسیاری به‌عنوان ابزاری برای تشخیص پایداری سیستم‌های اجتماعی–اکولوژیک استفاده شده‌است (Leslie et al., 2015; Partelow, 2018) و مجموعه متغیرهای آن برای استفاده در طراحی ابزارهای جمع‌آوری داده‌ها، انجام کار میدانی و تجزیه‌وتحلیل یافته‌ها در مورد پایداری SESهای پیچیده مفید است (Ostrom, 2009). در مقابل، پیچیدگی در پیاده‌سازی و جمع‌آوری داده‌های متعدد برای برخی جوامع یا محققان، عدم وجود همکاری بین رشته‌ای و تأثیرات متغیرهای خارجی مانند تغییرات اقلیمی، سیاست‌های دولتی و عوامل اجتماعی و اقتصادی می‌توانند برای موفقیت این چارچوب چالش‌آفرین باشند (Schmitt-Harsh & Mincey, 2020). می‌توان مدیریت منابع آب توسط مردم محلی در نپال را مثال زد، که افراد با تعامل و مذاکره، چارچوب‌های قانونی و سازمانی خود را برای مدیریت منابع آبی طراحی کردند (Lam & Ostrom, 2010; Ostrom, 1990, 2009). چارچوب اصلی به‌عنوان چارچوب توصیفی[5] و چارچوب استحکام[6] و

1- Users
2- Actors

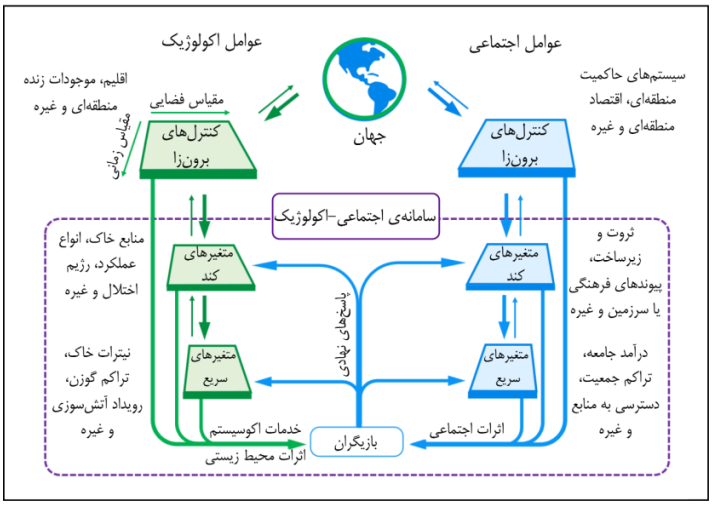
3- A tragedy of the commons
4- Hardin
5- Descriptive framework
6- Robustness frameworks

چارچوب چندسطحی[1] به عنوان چارچوب‌های تشخیصی[2] در نظر گرفته می‌شوند (Colding & Barthel, 2019).

تأثیر کنترل‌ها، متغیرهای کند و سریع بر تغییرات سیستم

مطابق شکل ۵، سیستم‌های اجتماعی و اکولوژیک به طیفی از کنترل‌ها پاسخ می‌دهند که در طیفی از مقیاس‌های زمانی و مکانی عمل می‌کنند و می‌توانند تقریباً به‌عنوان "کنترل‌های برون‌زا[3]" (که در ادبیات بوم‌شناختی عوامل حالت نامیده می‌شوند)، "متغیرهای کند[4]" و "متغیرهای سریع[5]" گروه‌بندی شوند (Amundson & Jenny, 1997; Straussfogel, 1997). در مقیاس منطقه‌ای، کنترل‌های برون‌زا به روندهای جهانی پاسخ می‌دهند و بر متغیرهای کند در مقیاس مدیریت تأثیر می‌گذارند، که به نوبه خود بر متغیرهای سریع که با شتاب بیشتر تغییر می‌کنند، تأثیر گذارند. هنگامی که تغییرات در متغیرهای سریع در بازه‌های زمانی طولانی و مناطق وسیع باقی می‌ماند، این اثرات به‌طور تجمعی به سمت بالا به متغیرهای آهسته، کنترل‌های منطقه‌ای و در نهایت در کل کره زمین منتشر می‌شوند. تغییرات در متغیرهای آهسته و سریع بر اثرات محیط‌زیستی، خدمات اکوسیستم و اثرات اجتماعی تأثیر می‌گذارند، که با هم، عواملی هستند که مستقیماً بر رفاه ذی‌مدخلان انسانی تأثیر می‌گذارند و ذی‌مدخلان انسانی سیستم‌های اکولوژیک و اجتماعی را از طریق نهادهای مختلف تغییر می‌دهند. صرف‌نظر از علل تغییرات، تغییرات جهت‌دار مداوم در کنترل‌های منطقه‌ای وسیع، مانند اقلیم و تنوع‌زیستی، ناگزیر باعث تغییرات جهت‌دار در متغیرهای کند بحرانی و در نتیجه تغییر ساختار و پویایی اکوسیستم‌ها از جمله متغیرهای سریع می‌شود. تغییرات در وضعیت یک سیستم به متغیرهایی بستگی دارد که به آرامی تغییر می‌کنند اما به‌شدت بر پویایی داخلی تأثیر می‌گذارند (Chapin et al., 2009). ازاین‌رو، متغیرهای برون‌زا و کند برای پایداری بلندمدت حیاتی هستند، اگرچه بیشتر مدیریت و توجه عمومی بر متغیرهای سریع تمرکز دارد، زیرا پویایی آن‌ها بیشتر قابل‌مشاهده است. کنترل‌های برون‌زا، متغیرهای آهسته و سریع در دو زیر سیستم اجتماعی و اکولوژیک قابل مشاهده هستند (Straussfogel, 1997; Walker et al., 2012).

1- Multitier frameworks
2- Diagnostic frameworks
3_ Exogenous controls
4_ Slow variables
5_ Fast variables



شکل ۵- نمایش متغیرهای کند و سریع و کنترل در یک سامانه‌ی اجتماعی-اکولوژیک (Chapin et al., 2009)

پاسخ نهادها در شکل ۵ به‌صورت قوانین در جامعه دیده می‌شود. این مفهوم همانند تعریف Folke و Berkes (۲۰۰۲) برای نهادها است. یعنی جامعه از قوانین رسمی و غیررسمی بی‌شماری تشکیل شده‌است که راه‌های تعامل مردم با اکوسیستم‌های اطراف خود را مشخص می‌کنند، آن‌ها به‌صورت نهادهای رسمی و غیررسمی در جامعه دیده می‌شوند. اتحادیه تاب‌آوری[1] در گزارشی نحوه رسیدن به چنین چارچوبی و تعیین متغیرهای سریع، کند و کنترل‌های برون‌زا را شرح داده‌است (Resilience Alliance, 2010). یزدانی و همکاران نیز برای ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک در برابر کاهش آب قابل‌دسترس در روستای هرچگان متغیرهای سریع، کند و کنترل‌های برون‌زا را مشخص کرده‌اند (یزدانی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین گروهی از محققین برای شناسایی بهتر اجزا و تعاملات سیستم، این روش را با روش آستروم ترکیب نموده‌اند (Dahdouh-Guebas et al., 2021).

فرایند و بازخوردهای سیستم اجتماعی-اکولوژیک

فرایندهای اجتماعی-اکولوژیک[2] پیوندهای بین اجزای یک سیستم هستند. در یک سیستم اجتماعی-اکولوژیک فرآیندها ممکن است عمدتاً اکولوژیک (به‌عنوان مثال، تولید گیاه، تجزیه، مهاجرت حیات‌وحش)، اقتصادی-اجتماعی (تولید کالا، آموزش، تقویت اعتماد بین گروه‌های اجتماعی) یا ترکیبی از فرآیندهای اکولوژیک و اجتماعی (شخم زدن، شکار، آلودگی) باشند. تعاملات بین چندین فرآیند، پویایی سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک را کنترل می‌کند. دو نوع از تعاملات بین اجزا در قالب بازخوردهای تقویت‌کننده و بازخوردهای تثبیت‌کننده، در تعریف پویایی داخلی سیستم بسیار مهم هستند زیرا به محققین امکان پیش‌بینی نتایج را می‌دهند (Chapin III et al., 1996; Chapin et al., 2009; DeAngelis & Post, 1991). قدرت و ماهیت بازخوردها تا حد زیادی نحوه پاسخ یک سیستم به تغییر را کنترل می‌کند (Chapin et al., 2009). یک سیستم بدون بازخوردهای قوی در پاسخ به یک آشفتگی تصادفی، رفتار آشوب‌ناک از خود نشان می‌دهد. یک رفتار آشوب‌ناک[3] غیرقابل‌پیش‌بینی است و کاملاً به ماهیت آشفتگی بستگی دارد (Chapin et al., 2009). یک مثال معروف برای رفتار آشوب‌ناک در سیستم‌های بدون بازخورد، رفتار شکار-شکارچی است. مانند تعاملات فیتوپلانکتون-زئوپلانکتون[4]، به‌صورتی که

1_ The Resilience Alliance

2- Social-ecological processes

3- Chaotic behavior

4- Phytoplankton-zooplankton (PZ)

مستقل از بازخوردهای سیستم، در اثر یک رویداد (مانند افزایش ورودی نیترات و فسفات)، جمعیت فیتوپلانکتون‌ها و در ادامه زئوپلانکتون‌ها افزایش می‌یابد (Örnólfsdóttir et al., 2004; Wijaya & Elfiansyah, 2022). رفتار آشوب‌ناک می‌تواند بدون اثرگذاری رویدادهای خارجی و براساس تعاملات درون سیستم نیز رخ دهد (Telesh et al., 2019). علاوه‌بر این، وقوع رفتارهای آشوب‌ناک بسیار شایع‌تر از آن چیزی است که معمولاً تصور می‌شود (Rogers et al., 2022). به همین دلیل، ضروری است که در مدیریت سیستم‌ها توجه ویژه‌ای به رفتارهای آشوب‌ناک شود، به‌ویژه در شرایطی که سیستم ممکن است در اثر رویدادهای مختلف دچار تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی شود. برای مثال، در سیستم‌های اجتماعی-اکولوژیک مانند جنگل‌های مدیترانه‌ای، خشکسالی و افزایش دما می‌توانند منجر به آتش‌سوزی‌های شدید (شکل ۶) شوند (Cetin et al., 2023)، که علاوه‌بر تخریب اکولوژیک، تأثیرات اجتماعی-اقتصادی نیز بر سیستم دارند. آتش‌سوزی می‌تواند، بخش‌های کشاورزی، جنگل‌داری و گردشگری را مختل کرده و آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای ایجاد کند. این مسائل، فشار روانی، مهاجرت اجباری و افزایش شکاف‌های اجتماعی-اقتصادی را تشدید می‌کند (Eberle & Higuera Roa, 2022).

شکل ٦ - آسیب شدید روستای کلملر در آنتالیا بر اثر آتش‌سوزی (Middle East Eye, 2021)

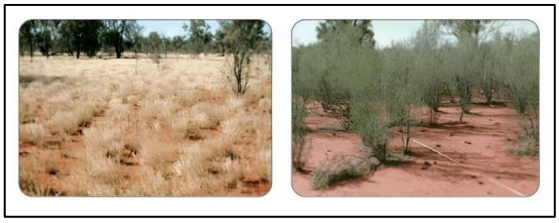
نتیجه‌گیری

انسان درحالی‌که با تخریب منابع می‌تواند باعث تغییرات فاجعه‌بار در سیستم شود، در مقابل می‌تواند با سرمایه‌گذاری در راه‌حل‌های مبتنی‌بر طبیعت[1]، افزایش آگاهی اجتماعی، مهارت‌های فنی و استفاده از سیاست‌های توسعه پایدار به بازیابی و حفظ منابع محیطی کمک و از تغییرات فاجعه‌بار جلوگیری کند (Ursino, 2019). تاب‌آوری یک SES ظرفیت آن برای جذب شوک‌ها یا آشفتگی‌ها و همچنان حفظ عملکرد، ساختار، هویت و بازخوردهای اساسی خود است که اغلب در نتیجه سازگاری با شرایط متغیر رخ می‌دهد (Chapin III et al., 2006). واژه پایدار در این حوزه به معنای ثابت و بدون‌تغییر نیست؛ به‌طور معمول، در درون یک محدوده نسبتاً پایدار، مقداری نوسان وجود دارد. بنابراین، همچنان می‌توان با اشاره به یک حالت پایدار، از پویایی‌های سیستم صحبت کرد. بسیاری از سیستم‌ها به خاطر ویژگی "چند وضعیتی[2]" می‌توانند در بیش از یک حالت پایدار وجود داشته باشند. برای مثال، ساوانا در استرالیا شمالی (شکل۷)، تحت تأثیر فشار چرا و آتش‌سوزی، دو وضعیت غالب علفزار و بوته‌زار را نشان

[1]- Nature-based Solutions (NBS)

[2]- Multiple states

مـی‌دهـد (Resilience Alliance, 2010). همچنـین، استواری و پویـایی یـک سیسـتم بـه تعـادل بازخوردهـای تقویت‌کننده و تثبیت‌کننده و انواع و دفعات وقوع آشفتگی‌ها بستگی دارد (Chapin et al., 2009). سیستم می‌توانـد از طریق عوامل مختلف مانند مقاومت و یا تاب‌آوری ، خود را در وضـعیت فعلـی یـا مسـیر اصـلی نگـه دارد (Van Meerbeek et al., 2021). چشم‌انداز اسـتواری[1] همیشـه در حال تکامل اسـت و پـیش‌بینـی دقیـق وضـعیت آینـده سیستم غیـرممکن خواهـد بـود. بنـابراین، توجـه بـه درک پویایی‌های تغییر و فرآیندهای انتقال، پایه‌ای برای مدیریت مؤثر سیستم‌ها فراهم می‌کند (Gunderson & Holling, 2002).



شکل ۷ - دو وضعیت غالب علفزار و بوته‌زار ساوانا در استرالیا شمالی تحت تأثیر فشار چرا و آتش‌سوزی (Resilience Alliance, 2010)

کمی کردن تاب‌آوری سیستم‌هـای اجتمـاعی-اکولوژیـک (SES)می‌تواند برای ترسیم استراتژی‌های مدیریت منـابع طبیعـی و کمـک بـه حـل تعارضـات اجتمـاعی-محیطـی ارزشـمند باشـد (Franco-Gaviria et al., 2022). Virapongse و همکـاران بـا ادغـام رویکـرد SES در شیوه‌های مدیریت محیطی، ارتباط بین نظریه‌هـای SES و عمل را به ما نشان داده‌اند (Virapongse et al., 2016).

منابع

یزدانی، م.، مهرابی، ش. و قربانی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی تاب‌آوری سیستم اجتماعی-اکولوژیک در برابر کاهش آب قابل دسترس (مطالعه موردی: روستای هرچگان)، مدیریت بحران، ۱۱(۱)، ۶۷-۸۰.

Agrawal, A. (2001). Common property institutions and sustainable governance of resources. World development, 29(10), 1649-1672.

Amundson, R., & Jenny, H. (1997). On a state factor model of ecosystems. BioScience, 47(8), 536-543.

Anderies, J. M., Janssen, M. A., & Ostrom, E. (2004). A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. Ecology and society, 9(1).

Axelrod, R., & Cohen, M. D. (2008). Harnessing complexity. Basic books.

Berkes, F. (2017). Environmental governance for the anthropocene? Social-ecological systems, resilience, and collaborative learning. Sustainability, 9(7), 1232.

Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2003). Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change. Cambridge university press.

Bran, F. (2010). Non-linear behavior of social-ecological systems. Aerul si Apa. Componente ale Mediului, 516 .

Brown, C., & Rounsevell, M. (2021). How can social–ecological system models simulate the emergence of social–ecological crises? People and Nature, 3(1), 88-103.

Cetin, M., Isik Pekkan, Ö., Ozenen Kavlak, M., Atmaca, I., Nasery, S., Derakhshandeh, M., & Cabuk, S. N. (2023). GIS-based forest fire risk determination for Milas district, Turkey. Natural Hazards, 119(3), 2299-2320.

Chapin III, F. S., Lovecraft, A. L., Zavaleta, E. S., Nelson, J., Robards, M. D., Kofinas, G. P., Trainor, S. F., Peterson, G. D., Huntington, H. P., & Naylor, R. L. (2006). Policy strategies to address sustainability of Alaskan boreal forests in response to a directionally changing climate. Proceedings of the national Academy of sciences, 103(45), 16637-16643.

Chapin III, F. S., Torn, M. S., & Tateno, M. (1996). Principles of ecosystem sustainability. The American Naturalist, 148(6), 1016-1037.

Chapin, F., Folke, C., & Kofinas, G. (2009). A framework for understanding change. Principles of ecosystem stewardship: resilience-based natural resource management in a changing world, 3-28.

Colding, J., & Barthel, S. (2019). Exploring the social-ecological systems discourse 20 years later. Ecology and Society, 24(1).

Dahdouh-Guebas, F., Hugé, J., Abuchahla, G. M., Cannicci, S., Jayatissa, L. P., Kairo, J. G.,

1- Stability landscape

Holling, C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. Ecosystems, 4, 390-405.
Lam, W. F., & Ostrom, E. (2010). Analyzing the dynamic complexity of development interventions: lessons from an irrigation experiment in Nepal. Policy Sciences, 43, 1-25.
Leslie, H. M., Basurto, X., Nenadovic, M., Sievanen, L., Cavanaugh, K. C., Cota-Nieto, J. J., Erisman, B. E., Finkbeiner, E., Hinojosa-Arango, G., & Moreno-Báez, M. (2015). Operationalizing the social-ecological systems framework to assess sustainability. Proceedings of the national Academy of sciences, 112(19), 5979-5984.
Levin, S. A. (1992). The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacA rthur Award Lecture. Ecology, 73(6), 1943-1967.
Levin, S., Xepapadeas, T., Crépin, A.-S., Norberg, J., De Zeeuw, A., Folke, C., Hughes, T., Arrow, K., Barrett, S., & Daily, G. (2013). Social-ecological systems as complex adaptive systems: modeling and policy implications. Environment and development economics, 18(2), 111-132.
Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Alberti, M., Folke, C., Moran, E., Pell, A. N., Deadman, P., Kratz, T., & Lubchenco, J. (2007). Complexity of coupled human and natural systems. Science, 317(5844), 1513-1516.
McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. Ecology and society, 19(2).
Middle East Eye. (2021). Middle East wildfires: Hundreds flee homes in Turkey as much of south continues to burn. https://www.middleeasteye.net.
Naylor, L. A., Brady, U., Quinn, T., Brown, K., & Anderies, J. M. (2019). A multiscale analysis of social-ecological system robustness and vulnerability in Cornwall, UK. Regional Environmental Change, 19, 1835-1848.
North, D. C. (1994). Economic performance through time. The American economic review, 84(3), 359-368 .
Olsson, P., Folke, C., & Berkes, F. (2004). Adaptive comanagement for building resilience in social–ecological systems. Environmental management, 34, 75-90.
Örnólfsdóttir, E. B., Lumsden, S. E., & Pinckney, J. L. (2004). Phytoplankton community growth-rate response to nutrient pulses in a shallow turbid estuary, Galveston Bay, Texas. Journal of Plankton Research, 26(3), 325-339.
Arachchilage, S. K., Koedam, N., Nijamdeen, T. W. M., & Mukherjee, N. (2021). Reconciling nature, people and policy in the mangrove social-ecological system through the adaptive cycle heuristic. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 248, 106942.
DeAngelis, D., & Post, W. (1991). Positive feedback and ecosystem organization. Theoretical studies of ecosystems: the network perspective. Cambridge (UK): Cambridge University Press. p, 155-178.
Eberle, C., & Higuera Roa, O. (2022). Technical Report: Mediterranean wildfires.
Folke, C., & Berkes, F. (1998). Understanding dynamics of ecosystem-institution linkages for building resilience.
Folke, C., & Berkes, F. (2002). Back to the future: ecosystem dynamics and local knowledge.
Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C. s., & Walker, B. (2002). Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. Ambio, 31, 437-440.
Franco-Gaviria, F., Amador-Jiménez, M., Millner, N., Durden, C., & Urrego, D. H. (2022). Quantifying resilience of socio-ecological systems through dynamic Bayesian networks. Frontiers in Forests and Global Change, 5, 889274.
Gain, A. K., Giupponi, C., Renaud, F. G., & Vafeidis, A. T. (2020). Sustainability of complex social-ecological systems: methods, tools, and approaches. In (Vol. 20, pp. 1-4): Springer.
Gallopin, G. C. (1991). Human dimensions of global change: linking the global and the local processes. International social science journal, 43(129).
Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global environmental change, 16(3), 293-303.
Gunderson, L., & Holling, C. (2002). Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems. In: Island press.
Gunderson, L., & Holling, C. (2003). Panarchy: Understanding Transformations In Human And Natural Systems. Bibliovault OAI Repository, the University of Chicago Press, 114.
Hardin, G. (1968). The tragedy of the commons: the population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality. Science, 162(3859), 1243-1248.

Ursino, N. (2019). Dynamic models of socio-ecological systems predict catastrophic shifts following unsustainable development. Science of The Total Environment, 654, 890-894.

Van Meerbeek, K., Jucker, T., & Svenning, J. C. (2021). Unifying the concepts of stability and resilience in ecology. Journal of Ecology, 109(9), 3114-3132.

Virapongse, A., Brooks, S., Metcalf, E. C., Zedalis, M., Gosz, J., Kliskey, A., & Alessa, L. (2016). A social-ecological systems approach for environmental management. Journal of Environmental Management, 178, 83-91.

Walker, B. H., Anderies, J. M., Kinzig, A. P., & Ryan, P. (2006). Exploring resilience in social-ecological systems through comparative studies and theory development: introduction to the special issue. Ecology and society, 11(1).

Walker, B., Carpenter, S., Rockstrom, J., Crépin, A.-S., & Peterson, G. (2012). Drivers, "Slow" Variables, "Fast" Variables, Shocks, and Resilience. Ecology and society, 17.

Wang, S., Fu, B., Zhao, W., Liu, Y., & Wei, F. (2018). Structure, function, and dynamic mechanisms of coupled human–natural systems. Current Opinion in Environmental Sustainability, 33, 87-91.

Wijaya, N. I., & Elfiansyah, M. (2022). The influence of nitrate and phosphate concentration on the abundance of plankton at the estuary of Bengawan Solo, Gresik, East Java. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation, 15(1), 83-95.

Ostrom, E. (1990). Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge university press.

Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. Proceedings of the national Academy of sciences, 104(39), 15181-15187.

Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. Science, 325, 419 – 422.

Ostrom, E., & Ahn, T. K. (2003). Foundations of Social Capital. Edward Elgar Publishing. https://EconPapers.repec.org/RePEc:elg:eebook:2537.

Partelow, S. (2018). A review of the social-ecological systems framework. Ecology and Society, 23(4).

Petrosillo, I., Aretano, R., & Zurlini, G. (2015). Socioecological Systems. In (pp. 1-7).

Preiser, R., Biggs, R., De Vos, A., & Folke, C. (2018). Social-ecological systems as complex adaptive systems: Organizing principles for advancing research methods and approaches. Ecology and society, 23.

Pritchett, L., & Woolcock, M. (2004). Solutions when the solution is the problem: Arraying the disarray in development. World development, 32(2), 191-212.

Resilience Alliance. (2010). Assessing resilience in social-ecological systems: workbook for practitioners.

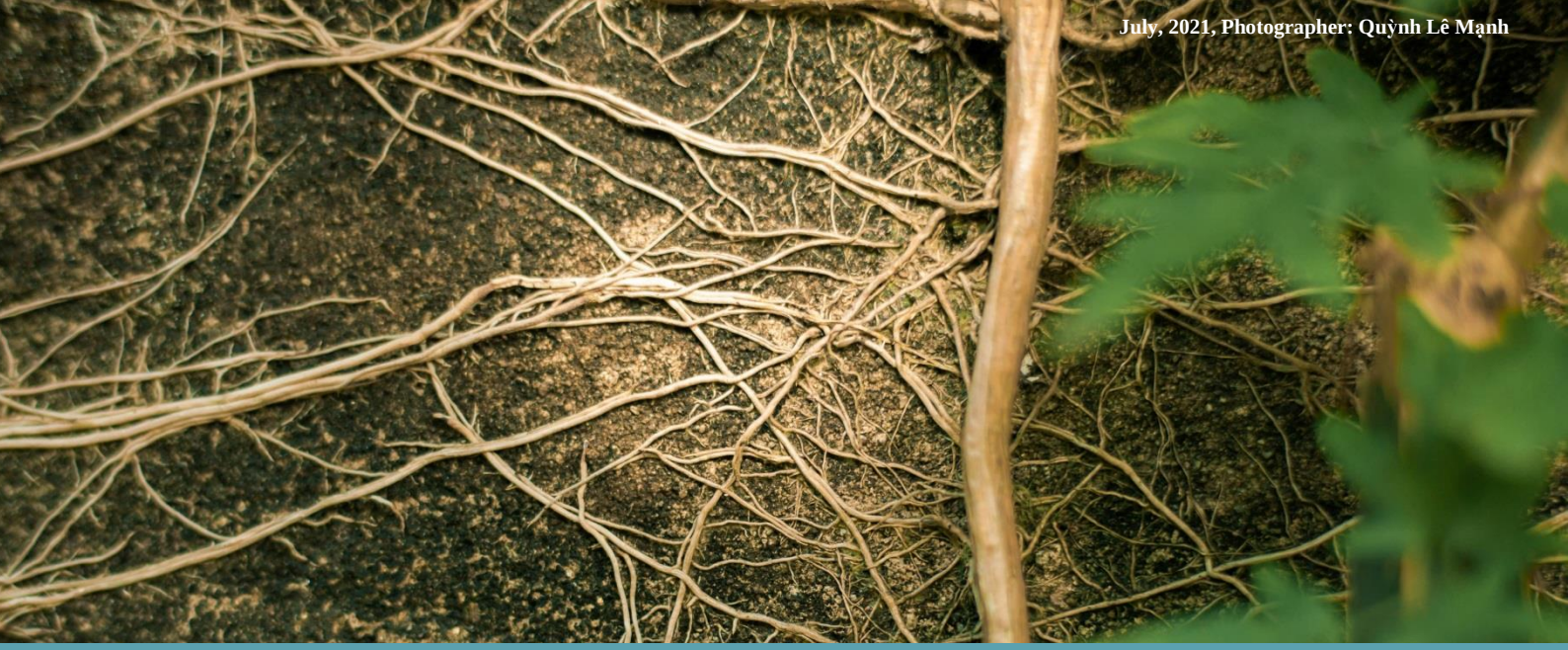
Rogers, T. L., Johnson, B. J., & Munch, S. B. (2022). Chaos is not rare in natural ecosystems. Nature ecology & evolution, 6(8), 1105-1111.

Schmitt-Harsh, M. L., & Mincey, S. K. (2020). Operationalizing the social-ecological system framework to assess residential forest structure: a case study in Bloomington, Indiana. Ecology & Society, 25(2).

Straussfogel, D. (1997). World-systems theory: Toward a heuristic and pedagogic conceptual tool. Economic Geography, 73(1), 118-130.

Swanson, D., Venema, H., Barg, S., Tyler, S., Drexhage, J., Bhandari, P., & Kelkar, U. (2007). Initial conceptual framework and literature review for understanding adaptive policies.

Telesh, I. V., Schubert, H., Joehnk, K. D., Heerkloss, R., Schumann, R., Feike, M., Schoor, A., & Skarlato, S. O. (2019). Chaos theory discloses triggers and drivers of plankton dynamics in stable environment. Scientific Reports, 9(1), 20351.



July, 2021, Photographer: Quỳnh Lê Mạnh

An Introduction to Social-Ecological Systems: Frameworks and Key Concepts

Ghazale Honarjoo[1], Afshin Danehkar[2*], Davood Mafi-Gholami[3]

1- M.Sc. student in environmental science and engineering, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor, Department of Natural Environment, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Metrology Research Group, Quality Assessment and Management Systems Research Center, Standard Research Institute, Karaj, Iran

* Corresponding Author's E-mail: danehkar@ut.ac.ir

Abstract

Socio-ecological systems (SESs) represent intricate interactions between human and natural systems. Characterized by uncertainty, non-linear feedbacks, cross-scale interactions, self-organization, and emergence. These systems exhibit behavior governed by chaotic and catastrophic models. Consequently, understanding and identifying the components and interactions within SES is crucial for sustainable natural resource management. Various frameworks have been developed to identify and analyz e SESs. When describing SESs, the hierarchical and nested structure of both subsystems is very important. The link between these two subsystems is established through human knowledge and understanding of the ecological subsystem, coupled with the management actions that humans take. Diagnostic approaches in this field, by identifying human and natural units and assemblages alongside system interactions, contribute to comprehending the complexity of SESs. And lead to effective management of resources, including commons. In social-ecological systems, slow and fast variables, and exogenous controls influence the structure and dynamics of the system. Also, stabilizing and reinforcing feedbacks largely control how a system responds to change. Understanding the complexity and interactions of social-ecological systems is essential for effective management of natural resources and building resilience to disturbances and shocks.

Keywords: Social-ecological processes, commons, stabilizing feedbacks, reinforcing feedbacks, slow and fast variables, exogenous controls

Honarjoo, Gh; Danehkar, A; Mafi-Gholami, D. (2025). An Introduction to Social-Ecological Systems: Frameworks and Key Concepts. *Zist Sepehr Student Magazine*, 18(3), 57-72.