Systems Thinking in Practice
3rd International Conference on
سومین کنفرانس بین‌المللی
تفکر سیستمی در عمل

شبیه‌سازی پویایی روند بیابان‌زایی مبتنی بر تفکر سیستمی؛ مروری بر اصول و ساختار

مرتضی اکبری* دانشیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

محبوبه سربازی، دکترا، بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

علی سیبویه، دکترا، مدیریت صنعتی، عضو گروه پژوهشی تفکر سیستمی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

سمیه فدایی، دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

بیابان یک اکوسیستم پیچیده و بیابان‌زایی یک فرآیند پویا، همراه با تهدید و خطر جدی برای محیط‌زیست و انسان است. شبیه‌سازی سیستم‌های محیطی مبتنی بر فرآیند دو نظام طبیعی و انسانی، درک و شناخت عملکردی اکوسیستم‌ها را فراهم می‌سازد. پویایی سیستم SD (System Dynamic) به عنوان شاخه‌ای از تفکّر سیستمی است که به ارائه مدل مفهومی- ریاضی و شبیه‌سازی روند تغییرات، برای بررسی و مطالعه رفتار سیستم‌های پیچیده همچون بیابان‌زایی و تخریب سرزمین می‌پردازد. مدل‌سازی دینامیک بیابان‌زایی به عنوان تابعی از عوامل طبیعی همچون اقلیم، زمین‌شناسی، خاک و فعالیت‌های انسانی مانند؛ افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی، توسعه اراضی شهری، کشاورزی و دامداری برای پیش‌بینی خطر بیابان‌زایی و حمایت از سیاست‌گذاری احیاء اراضی تخریب شده لازم و ضروری است. پژوهش حاضر با رویکردی اکتشافی- مروری و با هدف شناسایی عوامل اصلی تأثیرگذار در گسترش بیابان‌زایی با استفاده از رویکردهای مفهومی DPSIR و معرفی روشی مناسب برای مدل‌سازی دینامیک تغییرات بیابان‌زایی بر اساس مدل‌سازی فضایی و مدل دینامیک سیستم فضایی SSD (Spatial System Dynamic) همراه با نمودارهای علّی-حلقوی ارائه شده است. در این پژوهش نمودار علّی-حلقوی دو زیر مجموعه از عوامل موثر در گسترش بیابان‌زایی همچون افزایش چرای دام و تغییر کاربری اراضی بر تخریب پوشش گیاهی و فرسایش خاک مورد بحث قرار گرفته است. امید است روش ارائه شده، امکان تغییر رویکرد مدیریت اراضی طبیعی مبتنی بر مدیریت ریسک را توسعه داده و توجه برنامه‌ریزان محیطی را در مدل‌سازی تغییرات و کاهش خسارت ناشی از آنها فراهم سازد.

واژگان کلیدی: تخریب سرزمین، فعالیت‌های انسانی، مدل‌سازی فضایی، پویایی سیستم

* - تلفن همراه نویسنده مسئول: ۰۹۸۹۱۵۵۱۸۳۰۵۵+ پست الکترونیکی: m-akbari@um.ac.ir

۱- مقدمه

بیابان‌زایی، تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب در نتیجه عوامل مختلف از جمله تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی تعریف می‌شود (کنوانسیون سازمان ملل مبارزه با بیابان‌زایی[1] ۱۹۹۴). تعامل نیروهای پیشران طبیعی و انسانی در مقیاس‌های فضایی-زمانی منجر به روند پیچیده بیابان‌زایی خواهد شد (پرینس[2]، ۲۰۰۲؛ پترس و هاستاد[3]، ۲۰۰۶). شهرنشینی سریع، تغییرات شدید کاربری اراضی، پروژه‌های بزرگ محیط‌زیستی و تغییرات اقلیمی، دینامیک بیابان‌زایی را به ویژه در ۳۰ سال گذشته پیچیده‌تر کرده است (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰a,b,c؛ جیانگ[4] و همکاران، ۲۰۱۹ و باستاز[5] و عبدالرحیم، ۲۰۱۹؛ اکبری و همکاران، ۲۰۲۲).

همه سیستم‌های پیچیده‌ای که بازخورد داشته باشند سیستم دینامیک هستند. بیابان‌زایی نیز یک پدیده دینامیک است. شبیه‌سازی نشان‌دهنده عملکرد سیستم در طول زمان است. عمل شبیه‌سازی ابتدا مستلزم آن است که یک مدل توسعه یابد، این مدل ویژگی‌های کلیدی، رفتارها و عملکرد سیستم یا فرآیند فیزیکی انتخاب شده را نشان می‌دهد. شبیه‌سازی سیستم‌های طبیعی یا انسانی با مدل علمی برای درک بینش در عملکرد آنها استفاده می‌شود. مدل، ابزاری برای تحلیل رفتار پدیده‌ها و ساده کردن پیچیدگی‌های جهان واقعی و افزایش دریافت ما درباره واقعیت‌ها و فرآیندهای آن است (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۸؛ اکبری، ۱۳۹۵؛ سربازی و همکاران، ۱۳۹۹). مدل‌سازی دینامیک بیابان‌زایی به عنوان تابع تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی برای پیش‌بینی خطر بیابان‌زایی و حمایت از سیاست‌گذاری احیاء بیابان‌زایی لازم است.

پویایی سیستم[6] (SD)، شاخه‌ای از تفکر سیستمی می‌باشد که به ارائه مدل مفهومی-ریاضی و شبیه‌سازی روند تغییرات، برای بررسی و مطالعه رفتار سیستم‌های پیچیده همچون منابع آب می‌پردازد. مدل‌های ساخته شده بر مبنای رویکرد سیستم دینامیک، ابزارهای قدرتمندی برای درک اثرات متقابل بین زیرسیستم‌های متفاوت و در عین‌حال، مرتبط به شمار میآیند که مجموع این اثرات متقابل، منشأ بروز رفتارهای پویا در یک سیستم بزرگتر می‌باشند. سیستم پویا می‌توانند با شناخت و تعریف رفتارهای مسئله دار و محرک‌های اصلی آنها در یک الگوی جامع، از جمله مدیریت اراضی را تسهیل نمایند (لیانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شاهرخی ساردو کمالی، ۱۴۰۰؛ مردانیان و همکاران، ۱۴۰۰؛ کماسی و همکاران، ۱۴۰۱).

سیستم‌های طبیعی به دلیل وجود عوامل مختلف تاثیرگذار، پیچیده بوده و دائماً در حال تغییر هستند (فارستر[7]، ۱۹۸۹). پویایی سیستم به کمک بازخوردها و اثرات ثانویه به مدیران کمک می‌کند که دریابند چه راهبردهایی قابل اجراست و چه نتیجه‌ای از راهبردهای مورد نظر استخراج خواهد گردید (وینز[8] و همکاران، ۲۰۰۹). در حال حاضر، مدل‌های پویایی سیستم علاوه بر بهبود مشکلات اقتصادی و مدیریت کسب و کار برای مطالعه فرآیندهای محیطی، به ویژه در زمینه هیدرولوژی و مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (به عنوان مثال احمد و سیمونویچ[9]

1 - United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD
2 - Prince
3- Peters and Havstad
4 - Jiang et al
5- Bastas and Abdelrahim
6- System Dynamic, SD
7 - Forrester
8- Winz
9- Ahmad and Simonovic

۲۰۰۰؛ گاستلوم[1] و همکاران، ۲۰۱۰؛ خان[2] و همکاران، ۲۰۰۹). هدف اصلی این مدل‌ها، ارائه بینش به سیستم‌های غیرخطی برای کمک به تصمیم‌گیری آگاهانه ذینفعان و سیاست‌گذاران است. با این حال، SD در اصل برای رویکرد مدل‌سازی سیستم‌های غیرفضایی توسعه یافته است. تلاش برای مقابله با کاستی‌های SD منجر به فرآیند مدل‌سازی فضایی و مدل دینامیک سیستم فضایی[3](SSD) گردید. در رویکرد SSD تغییرات مداوم فضایی در طول زمان بررسی می‌شود، بنابراین ممکن است واقع گرایانه‌تر باشد. یک مزیّت عمده برای استفاده از رویکردهای شبیه‌سازی دینامیکی نسبت به روش‌هایی نظیر مارکوف و یا رگرسیون، توانایی آنها برای نشان دادن فرآیندهای واقعی به جای رفتار مشاهده شده است. این بدان معنی است که مدل‌های شبیه‌سازی دینامیک قادر به پیش‌بینی واقعی هستند (بوسل[4]، ۲۰۰۷).

رویکرد SSD در واقع پیوند سیستم دینامیک (شبیه‌سازی زمانی) و نرم‌افزار GIS[5](تجزیه و تحلیل فضایی) است. در این زمینه می‌توان به مطالعات مرادی و همکاران (۲۰۲۰) و پاکر[6] و همکاران (۲۰۲۲) اشاره نمود. نرم‌افزارهای SSD برای بعضی از مطالعات در زمینه‌های مختلف مانند مدل‌سازی اکوسیستم، هیدرولوژی یا کنترل گونه‌های مهاجم توسعه یافته است (به عنوان مثال احمد و سیمونویچ، ۲۰۰۴؛ بندور و متکالف[7] ۲۰۰۶؛ ووینو[8] و همکاران، ۲۰۰۴). تمرکز اصلی این مدل‌ها بر روی شبیه‌سازی فرآیندهای فضایی است. اصل کلی این نوع مدل‌ها این است که عناصر از مناطق با غلظت بالاتر به مناطق با غلظت‌های کم‌تر منتشر می‌شوند. علیرغم تکامل گسترده شبیه‌سازی ساختارهای فضایی، توسعه SSD نادیده گرفته شده است. تا کنون این نوع سیستم، توسط چند مدل‌ساز در زمینه SSD بررسی شده است. زمینه مدل‌سازی SSD به یکپارچه‌سازی فضایی در مدل‌های SD می‌پردازد. نیاز به شبیه‌سازی دینامیک فضایی و زمانی، برای رفتار غیرخطی سیستم‌های بسیار پیچیده‌ای که نمی‌توانند به طور مستقیم پیش‌بینی شوند، وجود دارد. سیستم‌های دنیای واقعی در هر دو بعد زمان و فضا بسیار پویا و غیرمنتظره هستند، حتی رفتارهای غیرمعمول اغلب در سیستم‌های پیچیده به وجود می‌آید (فارستر، ۱۹۷۱). بنابراین، به منظور افزایش دقت رفتار شبیه‌سازی سیستم‌های دنیای واقعی، لازم است دینامیک کوتاه مدت و بلند مدت رفتار سیستم از جمله اثرات و تعاملات بین زمان و فضا در نظر گرفته شود. این در نهایت به ارزیابی اثربخشی تصمیمات سیاست و شناسایی اقدامات مورد نیاز، کمک می‌کند. اگر چه در این راستا تحقیقات SD دارای روند است، اما ابعاد فضایی در مدل‌سازی پویایی سیستم چندان مورد توجه قرار نگرفته است. این به دلیل محدودیت این روش نیست، بلکه به علت ماهیّت ابزار SD است (کلی[9] و همکاران، ۲۰۱۳). چگونگی نمایش فضای فیزیکی در یک مدل و نحوه ارتباط با مدل SD در زمینه مدل‌سازی SSD بسیار مهم است. مدل‌های داده‌های رستری یا برداری با سیستم اطلاعات جغرافیایی معمولاً برای محیط‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیوند متغیرهای SD به مدل داده‌های فضایی GIS شامل ارتباط داده‌ها و همچنین ارتباط معناشناختی (ژانگ، ۲۰۰۸) می‌شود. به عنوان مثال، GIS برای پیش‌پردازش ورودی‌های فضایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از آن به مدل SD و در نهایت برای تجسم و تجزیه و تحلیل بیشتر به GIS بازگردانده می‌شود. ارتباط بین SD و نرم افزار GIS معمولاً یک طرفه است، GIS معمولاً به عنوان یک ابزار برای خروجی SD استفاده می‌شود.

---

1 - Gastelum
2- Khan
3 - Spatial System Dynamic, SSD
4- Bossel
5 - Geographical Information Systems, GIS
6- Pakere
7- Bandor and Metcalf
8 - Voinov
9- Kelly

همان‌طور که اشاره شد برای بررسی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی و تخریب اراضی، مدل‌ها، شاخص‌ها و معیارهای زیادی ابداع شده است که به‌طور گسترده در جهان و به‌ویژه در کشورمان از آنها استفاده می‌شود. ولی هر کدام از این مدل‌ها دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر هستند و بسته به منطقه‌ای که این مدل‌ها در آن استفاده شده‌اند، عوامل و پارامترهای خاصی دخالت داده می‌شود (اکبری، ۱۳۹۵؛ سربازی و همکاران، ۱۳۹۹؛ طالبان فرد و همکاران، ۱۴۰۱). مدل‌هایی که تاکنون در زمینه ارزیابی بیابان‌زایی ارائه شده است، از نوع تجربی و ایستا، بر اساس دانش کارشناسی بوده و صرفاً ساختار توصیفی- عددی دارند. به طوری‌که اکثر مدل‌های ایرانی و غیر ایرانی از این نوع می‌باشند. تا به امروز در ایران در زمینه ارزیابی بیابان‌زایی، مدل‌های پویا (مبتنی بر فرآیند دینامیک) ارائه نشده است. شاید دلیل اصلی آن، غیر ملموس بودن فرآیند بیابان‌زایی باشد (اکبری و همکاران، ۲۰۱۶). هرچند اندازه‌گیری مقدار کمی تولید خالص اولیه (NPP)، به عنوان یک شاخص حساس به تغییرات عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، امکان شبیه‌سازی تغییرات زمانی-مکانی بیابان‌زایی در طول یک دوره سری آماری را فراهم خواهد نمود (دشتی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین، هدف این پژوهش توسعه یک مدل SSD برای شبیه‌سازی بیابان با ترکیب تعاملات چند سطحی بین عوامل طبیعی و نیروهای پیشران اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. سپس مدل در یک منطقه شاهد تحت تأثیر بیابان‌زایی برای شبیه‌سازی دینامیک بیابان‌زایی در دوره زمانی مشخصی اجرا می‌گردد. اگر بحث ارزیابی و پیش‌بینی بیابان‌زایی در گذشته و آینده نیز مطرح باشد، شاخص‌های پویا بیشتر خودنمایی می‌کنند که شاخص‌های گروه پوشش‌گیاهی از این شاخص‌ها به شمار می‌روند که معیار مناسبی برای برآورد گذشته و پیش‌بینی آینده محسوب می‌شوند. کمتر تحقیقی است که چرخه مدیریتی بیابان را یک‌جا انجام دهد، یعنی خطر و ریسک و برنامه با رعایت الزامات تغییر کاربری و ... با هم در نظر گیرد، در حالی‌که این تحقیق از طریق تحلیل عمودی همه مراحل چرخه مدیریت جامع آبخیز را در نظر می‌گیرد.

۲-مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱- مروری بر کاربرد پویایی سیستم در مدل‌سازی اکوسیستم در ایران و جهان

رویکرد پویایی سیستم، ابزاری مفید در مدیریت و برنامه‌ریزی است. مدل‌سازی پویایی سیستم به مجموعه‌ای از روش‌های عددی و مفهومی اشاره دارند که در فهم ساختار و رفتار سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شوند. طبق نظر ابداع‌کننده این سیستم‌ها فارستر (۱۹۷۱)، این روش بر سه اصل کلی تئوری کنترلی بازخوردی، فهم فرآیندهای تصمیم‌گیری و استفاده از فن‌آوری بر مبنای رایانه در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی استوار می‌باشد. کاربرد این مدل‌سازی عموماً در درک سیستم‌ها و یادگیری اجتماعی می‌باشد، اما می‌توان در زمینه تصمیم‌سازی هم از این رویکرد استفاده کرد. (کریمی‌سنگچینی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۹۶). سیستم‌های پویا، رفتارشان تابع زمان است و می‌توانند پدیده‌هایی را که در طی زمان پویا و فعال هستند را شبیه‌سازی کنند. پدیده‌های طبیعی از جمله بیابان‌زایی به‌دلیل فعال بودن و پویایی در طی زمان، نیازمند یک دید پویا می‌باشند. با توجه به این‌که فرایند بیابان‌زایی نتایج متعددی دارد، ارزیابی آن نیز باید جامع باشد. در ارزیابی خطر بیابان‌زایی عوامل زیادی موثرند و هر تغییری در هر یک از این عوامل، به وجود آورنده بازخوردهای دیگر در سیستم و موجب پیچیدگی هرچه بیشتر آن می‌گردد. از پویایی سیستم می‌توان برای بررسی تمام عوامل مؤثر در یک پدیده و بررسی نقش هر یک از عوامل و تأثیر هر یک از آنها بر روی هم و در نهایت بر روی بیابان‌زایی استفاده کرد (سربازی و همکاران، ۱۴۰۰).

لارن[1](۲۰۱۳)، مدل پویایی سیستم و هیدرولوژیکی را در منطقه‌ای با خشکسالی‌های مکرر هم‌مرز با کنیا، به‌علت دمای بالا و بارش توسعه داد. این مدل، رابطه درونی میان آب در دسترس، تأثیر سیاست‌های سازگار جدید و فرسایش خاک، رفاه اجتماعی و اقتصادی، مواد غذایی در دسترس را برای ۱۰ سال شبیه‌سازی کرد. نتایج حاکی از آن بود جبران کمبود آب (۱۰۰-۵۰ درصد) با ترکیب سیاست اقدامات کشاورزی نوآورانه و زیرساخت‌های هیدرولوژیکی قابل انجام است. ایبانز[2]و همکاران (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای با هدف ارزیابی یکپارچه تخریب سرزمین بوسیله فرسایش آبی در مراتع اسپانیا که از رویکرد پویایی سیستم بهره برده بودند به این نتیجه رسیدند که عوامل اقلیمی نسبت به عوامل و فعالیت‌های انسانی از اهمیت بیشتری در فرسایش خاک برخوردار بوده است. متس[3]و همکاران (۲۰۱۴)، با استفاده از روش DPSIR[4] به بررسی و ارزیابی مدیریت یکپارچه منابع آب زیرزمینی در حوضه رودخانه گالیکوس در شمال یونان پرداخته و با استفاده از این چهارچوب علل اصلی و ریشه‌های فشار برای بهینه‌سازی اقدامات مدیریت پایدار منابع آب را بررسی کردند. با توجه به این چهارچوب آنها نیروهای محرکه اصلی را در حوضه رودخانه گالیکوس، شهرنشینی، کشاورزی فشرده، صنعت و استراتژی‌های توسعه منطقه‌ای تشخیص دادند که باعث فشارهایی چون بهره‌برداری بیش از حد از سفره زیرزمینی، افت کیفیت آب می‌شود. زو[5]و همکاران (۲۰۱۶)، مدل دینامیک سیستم فضایی را برای شبیه‌سازی بیابان‌زایی منطقه‌ای در چین ارائه دادند. تولید خالص اولیه (NPP)[6]به عنوان متغیری برای اندازه‌گیری اثرات نیروهای پیشران و درجات بیابان‌زایی انتخاب گردید. برای شبیه‌سازی دینامیک بیابان‌زایی ۱۰ سناریو از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ طراحی گردید. نتایج آنان نشان داد، فاکتور اقلیم و استراتژی توسعه ناپایدار، گسترش بیابان‌زایی را سرعت می‌بخشد. والدرما[7]و همکاران (۲۰۱۶)، از مدل‌سازی پویایی سیستم جهت ادغام فاکتورهای بیوفیزیکی و اجتماعی- اقتصادی بیابان‌زایی در مناطق در حال تخریب اسپانیا برای اجرای یک سیستم پایش جهت جلوگیری از تخریب زمین استفاده نمودند. نتایج آنان نشان داد مراتع فرسایش یافته، در معرض بیشترین خطر تخریب بوده و همچنین عوامل اقلیمی در مقابل مسائل اجتماعی- اقتصادی نقش بیشتری در تخریب این مناطق داشته است. زو و ژانگ[8](۲۰۲۱)، نیز یک مدل پویایی سیستم فضایی را با ادغام عوامل طبیعی و انسانی برای شبیه‌سازی روند بیابان‌زایی جهت درک بهتر پویایی بیابان‌زایی آینده، در شمال چین در سال ۲۰۳۰ تحت ۹ سناریو تهیه کردند. نتایج آنان نشان داد این مدل از کاربرد مناسب و دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی بیابان‌زایی در مقیاس ملی برخوردار است، که در آن دما و بارندگی از حساس‌ترین عوامل محرک روند هستند. همچنین پروژه‌ها و سیاست‌های محیط زیستی فعلی برای کنترل بیابان‌زایی موثر بوده است.

در ارتباط با مطالعات انجام شده در ایران با رویکرد پویایی سیستم در مدل‌سازی اکوسیستم‌های طبیعی، می‌توان به نمونه‌های زیر اشاره نمود.

مرادی و همکاران (۱۳۹۴)، مدل پویایی سیستم با یک رویکرد سیستمی به پدیده بیابان‌زایی را برای شبیه‌سازی بیابان‌زایی منطقه لامرد (دشت فیدویه- گرمشت) ارائه نمودند. نتایج آنان نشان داد ادامه وضع موجود، افزایش فرسایش

1- Lauren
2 -Ibanez
3 -Mattas
4 -Driving force, Pressure, State, Impact, and Response
5 -Xu
6 -Net Primary Production
7 -Valderrama
8 -Xu & Zhang

بادی و سطح مراتع فقیر را به‌دنبال دارد. آبخوان و پوشش‌گیاهی منطقه نیز در اثر افزایش بهره‌برداری از آبخوان و چرای بیش از حد، تحت تأثیر قرار گرفته است. با برگشت وضعیت اقلیمی منطقه به شرایط مطلوب، عامل اصلی تخریب در منطقه افزایش بهره‌برداری و چرای مفرط خواهد بود. کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، مدل مشارکتی مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود را ارائه نمود. این مدل از زیرسیستم‌های بیوفیزیکی، اقتصادی و اجتماعی تشکیل شده است. نتایج مطالعات آنان نشان داد مدل مشارکتی پویایی سیستم به عنوان یکی از رویکردهای تلفیق در مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه کارایی دارد و برای افزایش ادراک ذینفعان از روابط علی و معلولی و بازخوردهای سیستم سودمند است. سلطانی و علیزاده (۱۳۹۶)، یک مدل جامع و پویا در محدوده مطالعاتی ورامین با استفاده از رویکرد پویایی سیستم‌ها برای ارزیابی سیاست‌های مدیریتی مختلف و کمک به تصمیم‌سازی در سطوح کلان مدیریت منابع آب توسعه دادند. نتایج نشان داد مدل قادر به شبیه‌سازی متغیرهای کلیدی عملکرد نسبی محصولات زراعی، سطح تراز آب زیرزمینی و شوری آب زیرزمینی با دقت مناسب است. با استفاده از این مدل می‌توان اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی بلندمدت طرح‌های توسعه منابع آب در سطح حوضه آبریز را مورد ارزیابی قرار داد. احمدی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، حساسیت اراضی به بیابان‌زایی در حوضه آبخیز جازموریان را ارزیابی نمودند. نتایج پژوهش آنها نشان داد عامل مؤثرترین عامل درگسترش بیابان‌زایی حوضه جازموریان بوده است.

سربازی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه سرخس را شبیه‌سازی نموده و برنامه مدیریتی منطقه را برای افق ۲۰۳۰ تدوین کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی آینده سرخس نشان داد، در هر یک از زیر سیستم‌ها در صورت ادامه وضع موجود، افزایش بیابان‌زایی رخ خواهد داد. برنامه‌های راهبردی منطقه با توجه به درجه ریسک بالای بیابان‌زایی، بر مبنای اولویت کلاس‌های ریسک و منطبق بر چارچوب مدیریتی DPSIR، حفاظت و جلوگیری از تخریب پوشش‌گیاهی، جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، اصلاح الگوی کشت، جلوگیری از برداشت کاه و کلش، احداث بادشکن، پروژه‌های اصلاحی و احیائی مراتع هم‌راستا با اهداف ZNLD[1] پیشنهاد شده است. بر مبنای تحلیل نتایج آینده تخریب منطقه سرخس، از طریق حفظ شرایط موجود و احیاء حداقل ۱۴ درصد از مناطق در سال ۲۰۳۰ بیلان صفر خواهد شد.

۳- روش‌شناسی تحقیق

۳-۱- ارائه چارچوب و رویکرد مفهومی DPSIR برای پویایی سیستم فضایی مدل ESAs

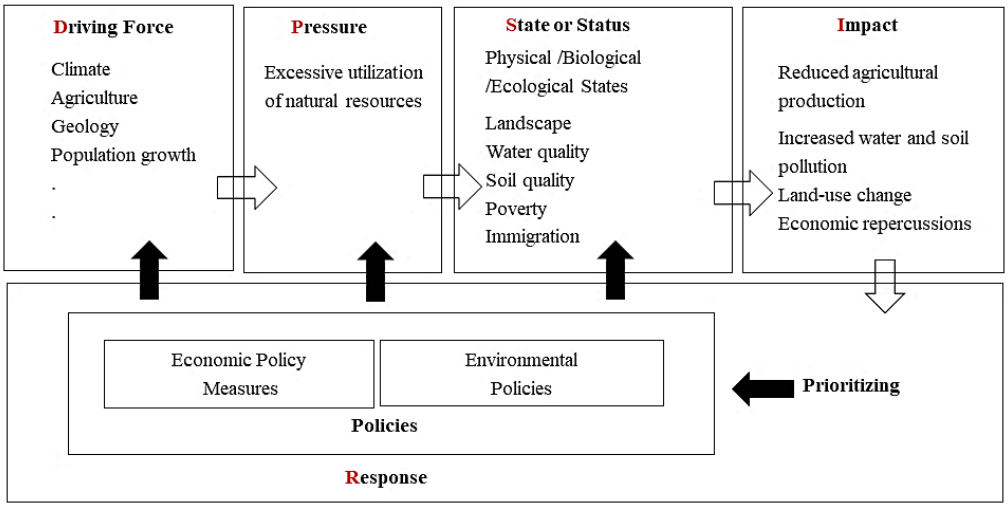
برای بررسی و تحلیل مسائل مربوط به سیستم‌های اکولوژیکی و اقتصادی- اجتماعی که در ارتباط با هم پدیده بیابان‌زایی را به وجود می‌آورند در درجه اول نیاز به یک چارچوب فکری است که مسائل و مشکلات را طبقه‌بندی کرده و در مراحل بعد بتوان مدل‌سازی را انجام داد. در این پژوهش برای تحلیل مسئله از چارچوب DPSIR استفاده می‌گردد. چارچوب نیروی محرکه، فشار، وضعیت، اثر، پاسخ (DPSIR) ساختاری سازمان‌یافته برای تحلیل دلایل، نتایج و پاسخ به تغییرات در اکوسیستم به دست می‌دهد و با استفاده از آن، می‌توان به ساختاردهی اطلاعات، تعیین ارتباطات مهم و درک همه جانبه از مسائل پرداخت (نِس[2] و همکاران ۲۰۱۰). چارچوب DPSIR از طریق تبیین روابط میان فعالیت‌های

1- Zero Net Land Degradation
2 -Ness

انسانی و محیط‌زیست، ابزاری بسیار کارآمد برای توصیف مشکلات محیط‌زیستی و سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در قالب پاسخ به دست می‌دهد (خطیبی و همکاران، ۱۳۹۴).

قبل از ارزیابی و شناسایی مشکلات مورد نظر ناشی از پدیده بیابان‌زایی، اقدام به شناسایی محرک‌های دینامیک بیابان‌زایی منطقه سرخس با استفاده از چارچوب DPSIR نموده و ارتباط بین این عوامل در قالب نیروهای محرک، فشارها، حالت‌ها مشخص می‌گردد. شاخص‌های ارزیابی در توسعه مدل از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند و باید بتوانند به نوعی معیارهای مورد نظر در ارزیابی هرگونه تغییر در وضعیت منابع و روندها را به طور مطلوبی بیان نمایند و در نهایت چارچوبی برای ساخت مدل دینامیک سیستم فضایی منطقه ایجاد گردد. در واقع مدل اولیه ارزیابی شدت بیابان‌زایی (ESAs[1]) که به نوعی پایه کار است فقط برای ارزیابی خطر و ریسک فعلی استفاده می‌گردد و در این مرحله پس از انتخاب محرک‌های دینامیک بیابان‌زایی به کمک DPSIR، خطر آتی به ازاء هر افق زمانی (هدف اصلی ۲۰۳۰) اقدام به مدل‌سازی مبتنی بر دینامیک سیستم فضایی برای منطقه سرخس می‌کنیم. سپس ریسک به ازاء هر افق زمانی برای پویایی تغییرات ارزیابی شده و برنامه نوشته می‌شود. هر برنامه در هر کلاس نوشته شده تا در نهایت بتواند افق صفر را ایجاد کند. در واقع خروجی DPSIR با سناریوهای جدیدتر در اختیار SSD قرار می‌گیرد. مدل دینامیک فضایی قابلیت سناریوسازی بین واحدهای ناهمگن منطقه را دارد.

ادغام مدل پویایی سیستم و چارچوب DPSIR تعامل و تنوع شاخص‌ها را بهتر می‌تواند توضیح دهد. در این راستا ژاو و بوترو (۲۰۱۰) با هدف شناسایی و محاسبه معیارهای کمی مناطق مسکونی شهری و ارائه پیشنهادات برای توسعه پایدار مناطق مسکونی شهری، مدل پویایی سیستم و چارچوب DPSIR را ادغام و ارزیابی نمودند. مدل پویایی سیستم برای بررسی روابط پیچیده بین شاخص‌های مختلف در محیط اجتماعی- اقتصادی و چارچوب DPSIR برای ساماندهی بهتر شاخص‌های پایداری استفاده گردید. نتایج نشان داد شاخص‌های "اثرات" در چارچوب DPSIR در مدل پویایی سیستم قرار ندارد و در این مدل پویایی سیستم، ایجاد معادلات برای توصیف شاخص‌های محیطی با اقتصاد شهری، توسعه اجتماعی و مسکن نیاز به کار بیشتر دارد.



شکل ۱- چارچوب DPSIR-M و جریان علل و راهکارها (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰b، اقتباس از کریستیانسن، ۲۰۰۴).

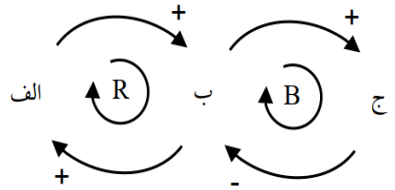
1- Sensitivity Areas Assessment of Desertification, ESAs

رویکرد نوین DPSIR یا همان DPSIR-M[1] به دلیل اتخاذ تصمیمات مهم اجرایی، مبتنی بر واقعیت میدانی و نظرات کارشناسی برای کاهش اثرات مخاطرات محیطی، امکان بهتر و عملیاتی شدن استراتژی‌ها و راهبردهای مدیریتی را فراهم می‌سازد (ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۶). بنابراین، به نظر می‌رسد برای کنترل، کاهش و به حداقل رساندن اثرات تخریبی، یک رویکرد و سیاست یکپارچه با اهداف روشن، در ارزیابی خطر بیابان‌زایی ضروری است.

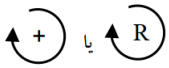
۳-۲- فرضیه پویا و نمودار علّی- حلقوی

به‌منظور درک بهتر ارتباطات علّی و معلولی بین متغیرها از نموداری با عنوان نمودار علّی- حلقوی استفاده می‌شود که ابزاری مهم برای نمایش ساختار بازخوردی سیستم‌ها محسوب می‌گردد. اجزای اصلی یک نمودار حلقوی، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این نمودار ارتباط بین متغیرها با استفاده از پیکانی از متغیر مستقل به متغیر وابسته نشان داده می‌شود. همچنین همواره علامت مثبت و منفی روی نوک پیکان وجود دارد که نشان دهنده جهت تغییرات متغیر وابسته در قبال تغییرات متغیر مستقل است. باید مراقب بود که علامت‌های موجود نمایانگر وجود رابطه مثبت و یا منفی بین متغیرها نیست. یک رابطه مثبت به این معناست که اگر علت افزایش یابد، معلول به میزانی بیش از آنچه در غیر این صورت می‌بود، افزایش می‌یابد و اگر علت، کاهش یابد معلول نیز به میزانی کمتر کاهش خواهد یافت.

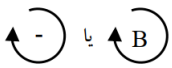
همچنین نوع حلقه‌های مدل علی و حلقوی به‌وسیله یک نشانگر حلقه نمایش داده می‌شوند و حاکی از مثبت بودن بازخورد حلقه یعنی تقویت‌کننده و یا منفی‌بودن آن یعنی متعادل‌ساز می‌باشد. در شکل زیر متغیر (الف) باعث افزایش متغیر (ب) و متغیر (ب) نیز باعث افزایش متغیر (الف) می‌شود و یک حلقه خود تقویت‌کننده را ایجاد کرده است. همچنین متغیر (ب) باعث افزایش متغیر (ج) می‌شود اما متغیر (ج)، متغیر (ب) را کاهش می‌دهد، لذا این یک حلقه تعادلی است.



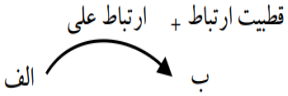
حلقه تعادلی (منفی) حلقه خودتقویت‌کننده (مثبت)



نشانگر حلقه بازخوردی خود تقویت‌کننده (مثبت)



نشانگر حلقه بازخوردی تعادلی (منفی)



شکل ۲- اجزای اصلی یک نمودار حلقوی (استرمن، ۲۰۰۰)

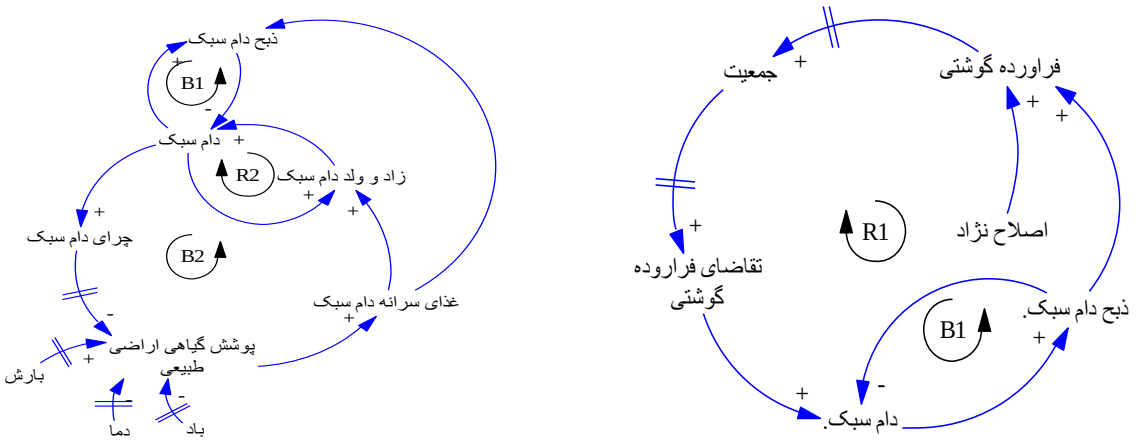
حلقه بازخوردی مثبت یا خود تقویت‌کننده، یعنی هرگاه از یک متغیر شروع کرده و حلقه را طی کنیم، آن متغیر تقویت می‌شود. به عبارتی، برآیند روابط مثبت است. در حلقه منفی یا تعادلی اگر حرکتی را از یک متغیر شروع کنیم، حلقه با افزایش آن متغیر مخالفت می‌کند. برآیند روابط منفی است.

1- Driver-Pressure-State-Impact-Response- Management Framework, DPSIR-M
2- Zhang

۳-۳-کاربرد روابط علّی- حلقوی در بررسی پویایی (دینامیک) بیابان‌زایی

در این پژوهش مروری برای نمونه، نمودار علّی- حلقوی بر اساس متغیرهای کلیدی عملکرد و عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی، برای دو زیر مجموعه اثرات افزایش دام در تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری ارضی در شدت فرسایش خاک مورد بحث قرار گرفته است.

در شکل۳ (الف) ارتباط بین افزایش تعداد دام سبک و جمعیت انسانی نشان داده شده است. به طوری‌که با افزایش جمعیت، تقاضای فرآورده گوشتی افزایش خواهد یافت و در نتیجه دامداران، اقدام به افزایش دام سبک می‌کنند. با افزایش دام سبک سبک، غذای تولیدی از دام سبک از طریق ذبح دام سبک افزایش می‌یابد. با افزایش عرضه غذای تولیدی از دام سبک با تأخیر جمعیت افزایش می‌یابد (حلقه R1). این حلقه، یک حلقه خود تقویت‌کننده است و انتظار می‌رود با افزایش جمعیت در طول زمان دام سبک نیز افزایش یابد، اما حلقه B1 نیز در کنار این حلقه فعال است. در این حلقه با افزایش دام سبک، ذبح دام سبک نیز بیشتر می‌شود. با افزایش ذبح دام سبک، دام سبک کاهش می‌یابد. لذا این حلقه تعادلی است و اثر حلقه R1 را تعدیل می‌کند. علاوه بر حلقه تعادلی B1، در شکل ۳ (ب) نیز در حلقه B2 با افزایش دام سبک، چرای دام سبک نیز افزایش می‌یابد و افزایش چرای دام سبک در طول زمان منجر به کاهش پوشش‌گیاهی اراضی طبیعی می‌شود. به‌تبع با کاهش پوشش‌گیاهی، غذای سرانه دام سبک نیز کاهش می‌یابد. با کاهش غذای سرانه، دام سبک از طریق کاهش زاد و ولد و افزایش ذبح دام سبک، کاهش خواهند یافت. حلقه R2 نیز حلقه خود تقویت‌کننده است هر چه دام سبک بیشتر باشد، زاد و ولد نیز بیشتر می‌شود؛ اما این حلقه نیز تحت تأثیر غذای سرانه دام سبک و جمعیت دام سبک سبک است و رشد تصاعدی آن توسط حلقه‌های B1 و B2 کنترل می‌شود. اثرات فرسایش خاک و گسترش بیابان‌زایی نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. به طوری‌که کاهش اراضی طبیعی موجب افزایش فرسایش خاک شده و فرسایش خاک منجر به تخریب اراضی طبیعی می‌شود و مجدد تخریب، زمینه فرسایش بیشتر را فراهم می‌کند (حلقه R3 یک حلقه منفی خود تقویت‌کننده است). تخریب اراضی طبیعی به مرور زمان موجب کاهش اراضی طبیعی و پوشش‌گیاهی می‌شود (حلقه R4). لذا مشاهده می‌شود این حلقه خود تقویت‌کننده است. اما عواملی مانند چرای دام سبک و تغییر کاربری اراضی طبیعی به مسکونی و کشاورزی منجر شده این حلقه در جهت منفی خود تقویت‌کننده باشد.

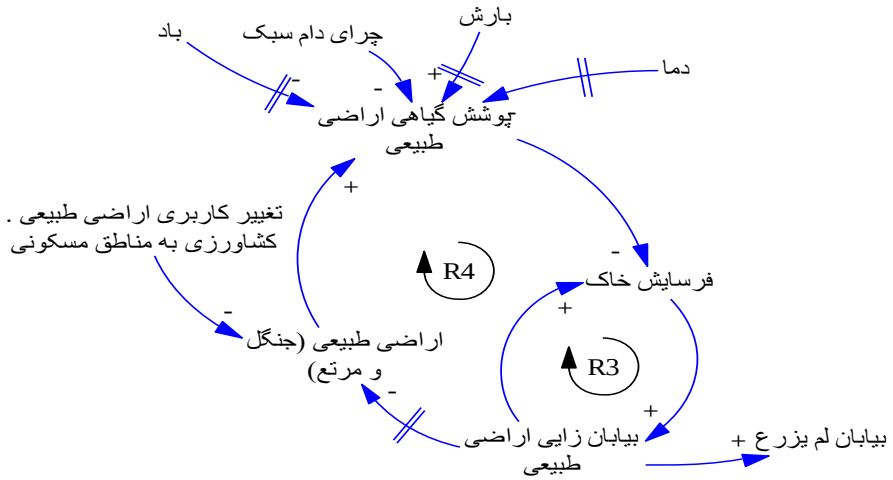


الف: ارتباط بین دام سبک سبک و جمعیت

ب: ارتباط بین دام سبک و سبک و پوشش گیاهی

شکل ۳- حلقه‌های دام سبک و تاثیر آن در گسترش بیابان‌زایی

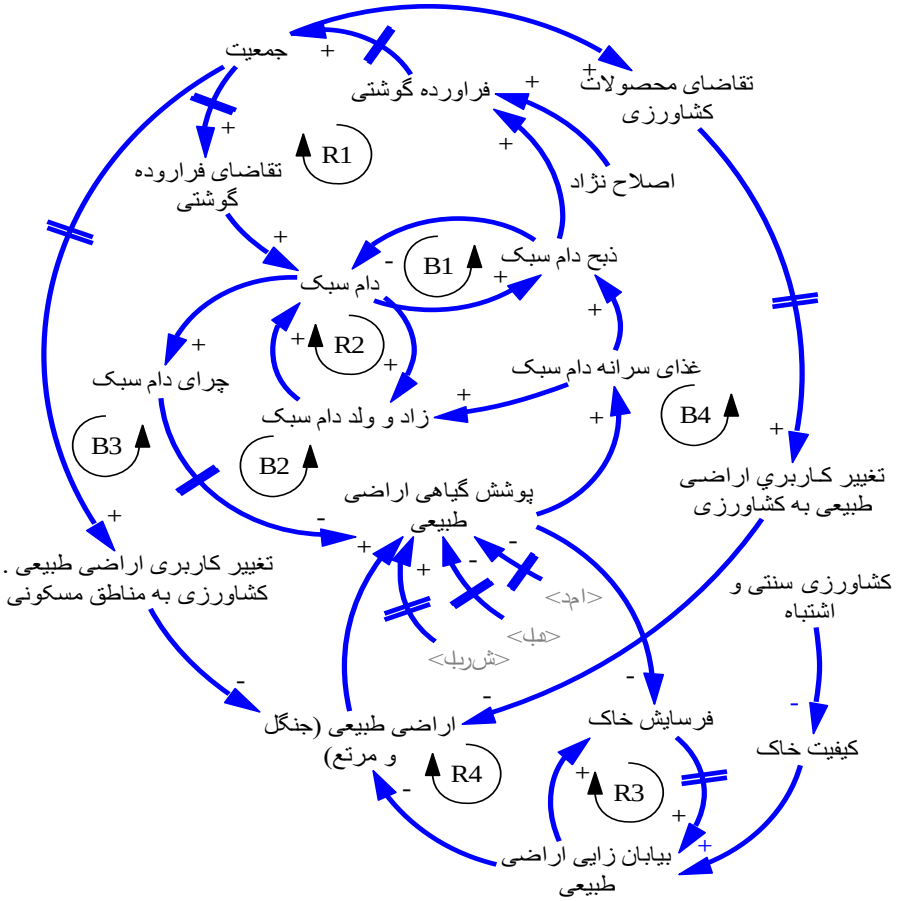
به طوریکه اکبری و همکاران (۲۰۲۲) و معماریان و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعات خود به نقش فرسایش خاک به عنوان یک عاملی که خود می‌تواند منشاء طبیعی و یا انسانی باشد، در گسترش بیابان‌زایی تاکید نموده‌اند. توسعه فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری (دامداری)، در مناطقی با اقلیم غالب و حاکم خشک و نیمه خشک و با پوشش گیاهی تنک و کم تراکم همچون ایران، اگر بدون مدیریت بهینه اراضی باشد، می‌تواند منجر به تخریب سرزمین و گسترش بیابان‌زایی شود (اکبری و همکاران، ۲۰۲۰a,b,c؛ سربازی و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۴- اثرات فرسایش خاک در گسترش بیابان‌زایی

۳-۴-اثرات متقابل افزایش دام و تغییر کاربری اراضی بر تخریب پوشش گیاهی و فرسایش خاک و در نتیجه گسترش بیابان‌زایی

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود و در بخش قبل نیز اشاره شد افزایش تعداد دام سبک موجب تخریب پوشش گیاهی می‌شود و با از بین رفتن پوشش گیاهی مراتع طبیعی و همچنین تغییر کاربری اراضی زمینه فرسایش خاک افزایش می‌یابد و این خود عاملی برای افزایش بیابان‌زایی است و در نتیجه موجب کاهش سطح اراضی مراتع می‌شود. از طرف دیگر فعالیت انسان در بخش کشاورزی با استفاده از روش‌های غیر بهینه در کشاورزی منجر به کاهش کیفیت خاک شده و زمینه بیابان‌زایی را افزایش می‌دهد (طالبان فرد و همکاران، ۱۴۰۱، معماریان و اکبری، ۱۴۰۰). همچنین به منظور پاسخگویی به تقاضای محصولات کشاورزی، زمین کشاورزی بهره‌برداری شده را کشاورزان افزایش می‌دهند و نتیجه آن کاهش حجم آب‌های زیرزمینی و سطحی است. از طرف دیگر افزایش جمعیت منجر کاهش حجم آب‌های زیرزمینی و سطحی از طریق مصرف آب شرب جمعیت نیز می‌شود. اثرات کاهش آب زیرزمینی، در ابتدا موجب افزایش زمین رها شده کشاورزی شده و سپس با افزایش اراضی بایر، بیابان‌زایی نیز گسترش می‌یابد. علاوه بر آن، کاهش حجم آب‌های زیرزمینی، فرونشست زمین، تخریب اراضی طبیعی و بیابان‌زایی را به همراه خواهد داشت.



شکل ۵- نمودار علی و حلقوی اثر متقابل افزایش دام و تغییر کاربری اراضی بر تخریب پوشش گیاهی و فرسایش خاک و گسترش بیابان‌زایی

۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اکوسیستم‌های طبیعی همچون مناطق بیابانی به طور ذاتی پیچیده‌اند و اگر قرار باشد یک اکوسیستم طبیعی مورد بررسی قرار گیرد، باید تمامی عوامل فیزیکی، بیولوژیکی، اکولوژیکی و اجتماعی- اقتصادی (نظام طبیعی و نظام انسانی) آن بررسی شود. امروزه، استراتژی‌هایی که برای مدیریت مناطق بیابانی و توسعه گسترش شرایط بیابانی در جهان استفاده می‌شود، بر مبنای پیش‌گیری به جای درمان (استراتژی های مبتنی بر مدیریت ریسک به جای مدیریت بحران) است.

با این وجود، روش SD هنوز برای شبیه‌سازی روند بیابان‌زایی با محدودیت‌هایی مواجه است. برای مثال، در برخی از مطالعات انجام شده با استفاده از مدل‌های ارزیابی و شبیه‌سازی بیابان‌زایی، نیروهای پیش‌ران اصلی (عوامل کلیدی و موثر) مانند خشکسالی، تغییر پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای نادیده گرفته شده است. علاوه بر این، درجه و میزان بیابان‌زایی (شدت بیابان‌زایی) در بیشتر شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته نشده است. تعیین درجه بیابان‌زایی در شناسایی تغییرات ساختاری اراضی بیابانی، به ارزیابی تأثیر سیاست‌ها و ایجاد برنامه‌ریزی دقیق‌تر فضایی برای کنترل بیابان‌زایی کمک می‌کند. در مقایسه با مدل‌های دینامیک کلاسیک، مدل سیستم فضایی دینامیک می‌تواند با ایجاد

ارتباط منطقی بین متغیرهای SD و سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند؛ ارتباط بین داده‌ها و همچنین ارتباط معنایی بین آنها پیش بینی مناسبی از روند گسترش بیابان‌زایی را نمایش دهد.

مدل‌هایی که تاکنون در زمینه ارزیابی شدت بیابان‌زایی ارائه شده است، از نوع تجربی و ایستا، بر اساس دانش کارشناسی بوده و صرفاً ساختار توصیفی-عددی دارند. به طوری‌که اکثر مدل‌های ایرانی و غیر ایرانی از این نوع می‌باشند. آنچه مهم و قابل ذکر بوده این است که تا به امروز در ایران در زمینه ارزیابی شدت و روند بیابان‌زایی، مدل‌های پویا (مبتنی بر فرآیند دینامیک) ارائه نشده است. شاید دلیل اصلی آن، غیر ملموس بودن فرآیند بیابان‌زایی باشد. بنابراین، هدف این پژوهش، معرفی و الزام استفاده از یک مدل SSD برای شبیه‌سازی روند بیابان‌زایی با ترکیب تعاملات چند سطحی بین عوامل طبیعی (نظام طبیعی) و نیروهای پیشران اجتماعی-اقتصادی (نظام انسانی) می‌باشد. رویکرد SSD در واقع پیوند سیستم دینامیک (شبیه‌سازی زمانی) و نرم‌افزار GIS (تجزیه و تحلیل فضایی) است. در این راستا نرم‌افزارهای SSD برای بعضی از مطالعات در زمینه‌های مختلف مانند؛ مدل‌سازی اکوسیستم، هیدرولوژی یا کنترل گونه‌های مهاجم نیز توسعه یافته‌اند. هرچند با برآورد مقدار کمی تولید خالص اولیه (NPP)، به عنوان یک شاخص حساس به تغییرات عوامل اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، امکان شبیه سازی تغییرات زمانی-مکانی بیابان‌زایی در طول یک دوره سری آماری قابل انجام است. بنابراین، اساس و شالوده‌ی مدیریت آگاهانه سرزمین، ایجاد برنامه‌ریزی مدوّن بر اساس اطلاعات مکانی- زمانی، پایش طولانی مدت پارامترهای کلیدی تأثیرگذار و بررسی کنش‌ها و واکنش‌های طبیعی است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش ارائه نتایج بخشی از طرح پژوهشی در گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد، با کد ۵۸۸۴۳ بوده است. لذا، صمیمانه از همکاری و حمایت تمام کسانیکه ما را در به سرانجام رساندن این پژوهش یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

منابع

احمدی، ح. ۱۳۹۸. رویکرد پویایی سیستم در ارزیابی بیابان‌زایی (مطالعه موردی: حوضه جازموریان). رساله دکتری. دانشگاه هرمزگان.

اختصاصی، م.ر.، سپهر، ع. ۱۳۸۸، روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی (مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابانی شدن اراضی)، انتشارات دانشگاه یزد، ۲۳۷ و ۲۸۶ص.

استرمن، ج. ۲۰۰۰. پویایی شناسی کسب وکار: تفکر سیستمی و مدلسازی برای جهانی پیچیده. ترجمه کورش برارپور، مرضیه امامی، پریسا موسوی اهرنجانی، بنفشه بهزاد، لاله رضایی عدل، حسن فغانی (۱۳۹۳)، چاپ اول

اکبری، م. ۱۳۹۵، ارائه سیستم پیش‌آگاهی خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: مناطق نیمه بیابانی غرب استان گلستان)، رساله دکتری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص ۴۰۳.

خطیبی، ع.، دانه‌کار، ا.، پورابراهیم، ش.، وحید، م. ۱۳۹۴، معرفی مدل DPSIR و قابلیت کاربرد آن در تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی، انسان و محیط‌زیست، ۱۳ (۴)، ۶۵-۷۹.

دشتی، ج.، نیکو، ش.، رحیمی، م.، اکبری، م. ۱۴۰۱، ارزیابی کمی گسترش بیابان‌زایی با بهره‌گیری از تغییرات زمانی- مکانی تولید خالص اوّلیه در مناطق خشک شمال شرق ایران. مدیریت بیابان. ۱۰(۴)، ۳۹-۵۴.

سربازی، م.، اونق، م.، محمدیان بهبهانی، ع.، اکبری، م. ۱۳۹۹، ارزیابی کمی شدت خطر و خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه سرخس). مهندسی اکوسیستم بیابان. ۱۰(۳۱)، ۱۵-۳۰.

سربازی، م.، اونق، م.، محمدیان بهبهانی، ع.، اکبری، م. ۱۴۰۰، شبیه‌سازی خطر و ریسک بیابان‌زایی و تدوین برنامه مدیریتی (افق ۲۰۳۰)، منطقه سرخس، خراسان‌رضوی، ایران. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ص ۲۵.

سلطانی، م. و علیزاده، ح.ع. ۱۳۹۶. مدیریت جامع آب کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز (IWMsim) با رویکرد پویایی سیستم. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۷ (۲)،۹۰-۶۹.

شاکریان، ن. ۱۳۹۶. طراحی یک مدل مدیریت بیابان با رویکرد سیستمی. رساله دکتری. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

شاهرخی ساردو، م؛ کمالی، ک. ۱۴۰۰، مدل پویایی سیستم مدیریت بهرهبرداری از آبهای زیرزمینی و عملکرد تغذیهٔ مصنوعی)مطالعهٔ موردی: دشت نسا بم،کرمان. مجله پژوهش آب ایران. (۲)،۱۰۹-۱۱۸.

طالبان‌فرد، ع.، اکبری، م.، اعظمی‌راد، م. ۱۴۰۱، ارزیابی حساسیت اراضی به بیابان‌زایی با بهره‌گیری از مدل ESAs و اولویّت‌بندی راهبردهای مدیریتی (مطالعه مورد: حوزه کویر نمک، استان خراسان رضوی). مدیریت بیابان.۱۰(۲)، ۱-۲۰.

کریمی‌سنگچینی، ا. ۱۳۹۵. ارائه مدل مشارکتی مدیریت جامع منابع آب و خاک حوضه رودخانه حبله‌رود با استفاده از رویکرد پویایی سیستم. رساله دکتری. دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

کماسی، م؛ قشلاقی،ن؛ شرقی، س. ۱۴۰۱. پیشبینی تراز سطح آب با استفاده از مدل ترکیبی پویایی سیستم و شبکه عصبی فازی موجکی. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، (۲)، ۱۱۲-۱۴۲.

لیانی، ق؛ بخشوده، م؛ زیبایی، م. ۱۳۹۸، کاربرد روش سیستم دینامیک در ارزیابی اثرات سیاستهای مدیریت تقاضای آب در حوضه آبریز رودخانه خیرآباد. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران،۲-۵۱ (۲)، ۱۹۷-۲۱۶.

مرادی، ا. خسروی، ح.، ۱۳۹۴، ارائه یک مدل پویایی سیستم برای شبیه‌سازی بیابان‌زایی (مطالعه موردی: دشت فیدویه- گرمشت)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران.

مردانیان، س؛ عبدالهی، خ؛ زارع بیدکی، ر؛ صالحی، ا. ۱۴۰۰. برنامهریزی پویایی تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی برای اهداف کشاورزی و محیط زیست در حوزه خانمیرزا. فصلنامه علمی- پژوهشی مهندسی منابع آب. ۱۵(۵)، ۷۳- ۹۳.

معماریان، ه.، اکبری، م.۱۴۰۰ ،پیش بینی اثر ترکیبی تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر فرسایش خاک در ایران با استفاده از داده‌های جهانی GloSEM. اکوهیدرولوژی. ۸(۲)، ۵۱۳-۵۳۴.

Ahmad, S., and Simonovic. S. P. 2000. System dynamics modeling of reservoir operations for flood management. J. Comput. Civ. Eng. 14 (3), 190-198

Akbari, M., Ownegh, M., Asgari, H.R., Sadoddin, A., and Khosravi, H. 2016. Desertification risk assessment and management program. Glob. J. Environ. Sci. Manag. 2(4), 365 -380.

Akbari, M., Jafari Shalamzari, M., Memarian, H., and Gholami, A. 2020a. Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. Ecol. Indic. 111, 106011. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106011

Akbari, M., Memarian, H., Neamatollahi, E., Jafari Shalamzari, M., Alizadeh Noughani, M., and Zakeri, D. 2020b. Prioritizing policies and strategies for desertification risk management using MCDM–DPSIR approach in northeastern Iran. Environ. Dev. Sustain. 23, 2503–2523. https://doi.org/10.1007/s10668-020-00684-3

Akbari, M., Feyzi Koushki, F., Memarian, H., Azamirad, M., and Noughani, M. 2020c. Prioritizing effective indicators of desertification hazard using factor-cluster analysis, in arid regions of Iran. Arab. J. Geosci. 13(8), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-020-05296-9

Akbari, M., Neamatollahi, E., Noughani, M.A., and Memarian, H. 2022. Spatial distribution of soil erosion risk and its economic impacts using an integrated CORINE-GIS approach. Environ. Earth Sci. 81, 287.

Bastas, M., Abdelrahim, A.A., 2019. Awareness of desertification of arable land among university students in Libya. Religación. Con.Rev.Huma.Cien.Socia. 4(14), 136–147.

BenDor, T.K., and Metcalf. S.S. 2006. The spatial dynamics of invasive species spread. Syst. Dyn. Rev. 22 (1), 27-50.

Bossel, H. 2007. Systems and models: complexity, dynamics, and evolution, sustainability: BoD-Books on Demand.

Ding, H.P., Chen, J.P. and Wang, G.W. 2009. A model for desertification evolution employing GIS with Cellular Automata. Int. Conf. Computer Model. Simul. IEEE 39, 324-327.

Forrester, J.W. 1971. Counterintuitive behavior of social systems. Theory Decis. 2, 109-140.

Forrester, J. W. l989. The beginning of system dynamics, at the international meeting of the System Dynamics Society Stuttgart, Germany.

Gastelum, J.R., Vald es, J.B. and Stewart, S.2010. A system dynamics model to evaluate temporary water transfers in the Mexican Conchos Basin. Water Resource Management. 24 (7), 1285-1311.

Ibanez, J., Lavado Contador, J, F., Schnabel, S., Pulido Fernandez, M., Martinez Valderrama, J. 2014. A model-based integrated assessment of land degradation by water erosion in a valuable Spanish rangeland. Environmental modeling & software. 55: 201-213.

Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Kurban, A., Guo, H., Zheng, G., and De Maeyer, P., 2019. Monitoring the long-term desertification process and assessing the relative roles of its drivers in Central Asia. Ecol. Indic. 195–208.

Kelly, R.A., Jakeman, A.J., Barreteau, O., Borsuk, M.E., Elsawah, S., Hamilton, S.H., Henriksen, H.J., Kuikka, S., Maier, H.R., Rizzoli, A.E., van Delden, H. and Voinov, A.A. 2013. Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management. Environ. Model. Softw. 47, 159-181.

Khan, S.J., Yufeng, L. and Ahmad, A.2009. Analysing complex behaviour of hydrological systems through a system dynamics approach. Environ. Model. Softw. 24 (12), 1363-1372.

Kristensen, P. 2004. The DPSIR Framework, Paper presented at the 27-29 September 2004 workshop on a comprehensive/ detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.

Lauren, G. 2013. Drought Policy Development and Assessment in East Africa Using Hydrologic and System Dynamics Modeling. M.Sc. Thesis, Purdue University.

Mattas, C., Voudouris, K. S. and Panagopoulos, A. 2014. Integrated Groundwater Resources Management Using the DPSIR Approach in a GIS Environment Context: A Case Study from the Gallikos River Basin, North Greece. Water, 6(4), 1043-1068.

Moradi, M., Kazeminezhad, M. H., and Kabiri, K. 2020. Integration of Geographic Information System and system dynamics for assessment of the impacts of storm damage on coastal Communities-Case study: Chabahar, Iran. International Journal of Disaster Risk Reduction, 49, 101665.

Ness, B., Anderberg, S., Olsson, L., 2010. Structuring problems in sustainability science: the multi-level DPSIR framework. Geoforum 41, 479– 488.

Pakere, I., Kacare, M., Grāvelsiņš, A., Freimanis, R., and Blumberga, A. 2022. Spatial analyses of smart energy system implementation through system dynamics and GIS modelling. Wind power case study in Latvia. Smart Energy, 7, 100081.

Prince, S.D. 2002. Spatial and temporal scales for detection of desertification. In: Reynolds, J.F., Stafford Smith, D.M. (Eds.), Global Desertification: Do Humans Cause Deserts? Dahlem University Press, Berlin, Germany.

Valderrama, J.M., Ibanez, J., Del Barrio, G., Sanjuan, M.E., Alcala, F.J., Martínez-Vicente, S., Ruiz, A., Puigdefabregas, J. 2016. Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation. Science of the Total Environment. 563–564: 169-178.

Voinov, A., Fitz, C., Boumans, R. and Costanza, R. 2004. Modular ecosystem modeling. Environment. Model. Softw. 19 (3), 285-304.

Winz, I., Brierley, G. and Trowsdale, S. 2009. The use of system dynamics simulation in water resources management. Water resources management, 23: 1301 -1323.

Xu, D., Zhang, X. 2021. Multi-scenario simulation of desertification in North China for 2030. Land Degradation & Development. 32(2): 1060-1074.

Xu, D.Y., Song, A., Tong, H., Ren, H., Hu, Y. and Shao, Q. 2016. A spatial system dynamic model for region al desertification simulation: A case study of Ordos, China. Environmental Modelling and Software 83, 179e192.

Xu, D.Y., Li, C.L., Song, X. and Ren, H.Y. 2014. The dynamics of desertification in the farming-pastoral region of North China over the past 10 years and their relationship to climate change and human activity. CATENA 123, 11-22.

Zhao, X., Bottero, M. 2010. Application of System Dynamics and DPSIR framework for sustainability assessment of urban residential areas. Environmental Science. approx. 14 p.

Zhang, F., Zhang, J., Wu, R., Ma, Q., and Yang, J. 2016. Ecosystem health assessment based on DPSIRM framework and health distance model in Nansi Lake, China. Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 30, 1235–1247.

Systems Thinking in Practice
3rd International Conference on
سومین کنفرانس بین‌المللی
تفکر سیستمی در عمل

Dynamic Simulation Model of Desertification Trend Using Systems Thinking: A Review of Principles and Structure

Morteza Akbari[1]*, Associate Professor, Department of Desert Areas Management, Faculty of Natural Resources and Environment. Ferdowsi University of Mashhad. Mashhad, Iran
Mahboobeh Sarbazi, Ph.D. of desertification, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mahboobeh_sarbazi@yahoo.com
Ali Sibevei, Ph.D. of Industrial Management, Member of System Thinking in Practice Research Group. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: alisibevei@modares.ac.ir
Somayeh Fadaie, Ph.D. Candidate of Industrial Management, Department of Management, Faculty of Economics and Administrative sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: somayehfadaei@um.ac.ir

Abstract

The desertification is a dynamic and complex process with the environmental and human threats. To properly understand the functioning of natural ecosystems, their processes can be simulated. System dynamics, which is a branch of the science of systems thinking, can simulate the behavior of complex systems such as the process of desertification. In simulating the process of desertification using systemic thinking, it is very important to pay attention to the main natural factors such as climate, geology, soil, and human activities. The current research was conducted in a review form with the aim of identifying the main and effective factors of desertification and with the DPSIR conceptual model approach. The logical relationship between different factors such as the impact of livestock and soil erosion in the reduction of vegetation and as a result the risk of desertification was drawn using causal-loop diagrams (CLD). The results showed that the increase in the number of livestock will reduce the vegetation and the decrease in vegetation will increase the intensity of soil erosion and also the intensity of desertification. Therefore, risk-based management can be very effective in reducing risks caused by environmental hazards such as desertification.

Keywords: Land degradation, Human activities, Spatial modeling, System dynamics

- Corresponding author: Tel: +989155183055 E-mail: m-akbari@um.ac.ir, desertology@gmail.com ۱