پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صص ۱۵۹-۱۸۷
نوع مقاله: پژوهشی

ارائه مدل توسعه صنعتی پایدار در منطقه آزاد ارس با رویکرد پویایی شناسی سیستم

بابک صارمی رسولی[۱]، علیرضا بافنده زنده [۲*]، آرزو نجائی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۲- دانشیار، گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
۳- استادیار، گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹

چکیده

بررسی و تحلیل روابط پویا میان متغیرهای اثرگذار بر توسعه صنعتی پایدار می‌تواند به شناخت رفتار اکوسیستم صنعتی منطقه آزاد ارس در قبال اتخاذ سیاست‌های توسعه‌ای کمک کند. هدف از این پژوهش ارائه مدل توسعه صنعتی پایدار در منطقه آزاد ارس با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم و ارزیابی سیاست‌های توسعه با استفاده از این مدل می‌باشد. در این پژوهش مطابق با متدولوژی استرمن تعاملات مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در چارچوب مدل پویایی شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. در مرحله بعد نسبت به اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های سال های ۱۳۸۷-۱۳۹۷ اقدام شده و سپس با توجه به رفتار متغیرهای کلیدی، چشم‌انداز آتی منطقه آزاد ارس در اثر اجرای سیاست‌های مختلف توسعه صنعتی شبیه‌سازی و ارزیابی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که توسعه صنایع تولیدی مطابق با مفاد منشور توسعه منطقه آزاد ارس، طی دو دهه باعث فروپاشی ظرفیت تحمل منطقه شده و اهداف توسعه پایدار محقق نخواهد شد. همچنین نتایج حاکی از آن است که رونق بخش خدمات کمترین تخریب را برای محیط زیست به همراه خواهد داشت. تدوین استراتژی‌های توسعه صنعتی با در نظر گرفتن ابعاد زیست محیطی و اجتماعی آن و هدایت سرمایه گذاری‌ها به سمت بخش خدمات می‌تواند به عنوان راهکارهایی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار منطقه آزاد ارس مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: توسعه صنعتی پایدار، سیاست‌های صنعتی سازی، رویکرد فراترکیب، پویایی شناسی سیستم، منطقه آزاد ارس

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: A.b.zendeh@gmail.com

۱- مقدمه

منطقه آزاد تجاری-صنعتی ارس در استان آذربایجان شرقی (شهرستان‌های جلفا، کلیبر خدا آفرین) و در منطقه شمال غرب ایران واقع شده است. بر اساس مصوبه هیأت وزیران در سال ۱۳۸۷ محدوده منطقه آزاد ارس شامل ۵۱ هزار هکتار از اراضی منطقه را شامل می‌شود. بررسی منشور "توسعه منطقه آزاد تجاری-صنعتی ارس"[۱]، نشان می‌دهد که توسعه صنعتی از رئوس اصلی اهداف این منطقه بوده و بر جذب سرمایه و افزایش تولیدات صنعتی در این منطقه تأکید شده است. در این منشور استراتژی‌های برتر منطقه آزاد ارس در ده بند دسته‌بندی شده‌اند. نگاه دقیق به این استراتژی‌ها مشخص می‌کند که تعامل سیاست‌های توسعه صنعتی و اقتصادی با ظرفیت‌های زیست محیطی و مؤلفه‌های اجتماعی مدنظر قرار نگرفته است. بین بندهای مختلف منشور هیچ ارتباط و تعاملی دیده نمی‌شود. بند چهارم به استراتژی توسعه صنعتی اشاره داشته و به‌صورت مجزا تدوین شده است و ارتباط آن با استراتژی‌های توسعه زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته نشده است. نه تنها هیچ بحثی از ظرفیت قابل تحمل منطقه به میان آورده نشده، بلکه ظرفیت منطقه همچون منابع آبی، نامحدود فرض شده است. بر این اساس به نظر می‌رسد که رویکرد منشور بیشتر منطبق بر تولید صنعتی است نه توسعه پایدار صنعتی.

منطقه آزاد ارس در طی سال‌های گذشته شاهد توسعه صنعتی، کشاورزی، اقتصادی و جمعیتی بوده است. اما این رشد با کاهش ظرفیت تحمل منطقه همراه بوده است. منابع آبی منطقه در سه بخش شرب و بهداشت، کشاورزی و صنعتی مصرف شده‌اند. بخش عمده منطقه آزاد ارس در جوار رودخانه ارس قرار گرفته و سه سد بزرگ روی این رودخانه (سد ارس، سد خدافرین و سد میل مغان) احداث گردیده است. بررسی روند تغییرات آورد رودخانه ارس در پایین دست منطقه آزاد ارس نشان دهنده کاهش منابع آب سطحی در منطقه می‌باشد. جریان متوسط سالانه ارس در طی ۱۰ سال اخیر حدود ۴۱ درصد کاهش یافته است[۲]. لذا بررسی‌ها و شواهد پیش گفته نشان می‌دهد که مسئله اصلی عدم وجود رویکرد جامع و سیستمی به موضوع توسعه صنعتی و عدم توجه به روابط میان ظرفیت‌های زیست‌محیطی و توسعه اقتصادی و اجتماعی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از این رو، اتخاذ رویکرد توسعه پایدار در منطقه به گونه‌ای که "ضمن برآوردن نیازهای زمان حال، توانایی‌های نسل آتی برای برآوردن نیازهای خود را نیز حفظ نماید"[۳]، اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. حرکت به سمت توسعه پایدار صنعتی لازمه تداوم مسیر توسعه در منطقه آزاد ارس است. توسعه پایدار صنعتی را می‌توان آن الگوهایی از صنعتی

شدن دانست که موجب ارتقاء منافع اقتصادی و اجتماعی دوره حال و آینده می‌گردد، بدون اینکه به فرآیندهای اکولوژیکی آسیب برساند. امروزه اتخاذ رویکرد نوین "سازمان توسعه صنعتی ملل متحد"[۱] با عنوان "توسعه فراگیر و پایدار صنعتی"[۲]، توجه کشورها را بیش از پیش به مقوله رشد صنعتی در پرتو ملاحظات زیست‌محیطی جلب کرده است [۴]. مجموعه‌ای از زمینه‌های تحقیقاتی و اجرایی مرتبط با این رویکرد مانند اکولوژی صنعتی [۵]، متابولیسم صنعتی [۶]، هم‌زیستی صنعتی [۷]، توسعه پارک‌های صنعتی اکولوژیک [۸]، اکوکارایی [۹]، ردپای اکولوژیک و ظرفیت تحمل [۱۰]، گسترش یافته است. در هر یک از این زمینه‌ها روابط میان توسعه صنعتی و پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به لزوم نگاه سیستمی و کل گرایانه به توسعه پایدار صنعتی، استفاده از روش‌هایی که امکان بررسی مسائل پیچیده را فرآهم می‌کنند، می‌تواند در تحلیل وضعیت فعلی و پیش‌بینی نتایج حاصل از اجرای استراتژی‌ها مؤثر باشد. در این راستا روش "پویایی شناسی سیستم"[۳]می‌تواند به‌عنوان یکی از متدولوژی‌های مناسب جهت بررسی تعامل و دینامیزم متغیرهای توسعه صنعتی پایدار به‌کار گرفته شود [۱۱].

بر این اساس در پژوهش حاضر سعی شده است ابتدا با استفاده از مفاهیم نظریه پویائی شناسی سیستم، فرضیه پویائی[۴] بر اساس متغیرهای اثر گذار بر توسعه پایدار صنعتی در منطقه آزاد ارس ارائه گردد. برای این منظور تعاملات و دیالکتیک مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد نسبت به اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های تاریخی اقدام شده و سپس میزان آسیب‌پذیری و ظرفیت قابل تحمل منطقه در صورت تحقق استراتژی‌ها و برنامه‌های توسعه صنعتی فعلی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در نهایت چشم‌انداز آتی منطقه آزاد ارس تحت تأثیر سیاست‌های مختلف توسعه صنعتی شبیه‌سازی و ارزیابی خواهد شد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مفهوم توسعه پایدار بر این واقعیت اشاره می‌کند که ملاحظات مربوط به اکولوژی می‌تواند و باید در فعالیت‌های اقتصادی به‌کار گرفته شود [۱۲]. در گزارشی تحت عنوان " آینده مشترک ما" در گروه جهانی توسعه و محیط زیست، مفهوم توسعه پایدار به این شرح آمده است: "نوعی از توسعه که نیازهای نسل حاضر را تأمین می‌کند بدون اینکه توانایی نسل‌های بعدی را

تضعیف کند" [۱۳]. پس از کنفرانس ریو در سال ۲۰۱۵ اهداف توسعه پایدار[۵] با عنوان "دگرگونی و تحول در جهان ما : دستور کار ۲۰۳۰ برای توسعه پایدار" در ۱۷ مورد پیشنهاد گردید. مطابق با هدف نهم این مجموعه با عنوان "زیرساخت‌های قابل احیاء، صنعتی شدن پایدار و پرورش نوآوری"، سازمان یونیدو موضوع "توسعه فراگیر و پایدار صنعتی"[۶] را برای کشورهای عضو خواستار شد. امروزه در چارچوب مفروضات پارادایم پایداری، ارزش‌گذاری بر فعالیت‌های صنعتی دچار تغییر شده است. اتخاذ استراتژی‌های مناسب توسعه صنعتی بر موضوعات مهمی چون کاهش آلودگی منابع طبیعی و زیستی، در نظر گرفتن ظرفیت تحمل اکولوژیکی منطقه، کاهش آلودگی‌های صوتی و جوی، افزایش مصرف انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، افزایش اکو-کارایی، توجه به تولید تمیزتر و گسترش زیرساخت‌های تاب‌آور متمرکز شده است. در چارچوب مفروضات پایداری و برای دستیابی به معرف‌های پایداری، نظریه‌ها و مدل های متعددی نیز شکل گرفته‌اند. یکی از این چارچوب‌های تئوریکی، اکولوژی صنعتی[۷] است. اکولوژی صنعتی نخستین بار در سال ۱۹۸۹ در مقاله‌ای که توسط رابرت فراچ و نیکلاس گالاپولوس نوشته شده بود، مطرح شد. اکولوژی صنعتی به‌دنبال آشتی بین دو حوزه به ظاهر متناقض از هم، یعنی صنعت و محیط زیست می‌باشد. برای کاهش اثرات زیست‌محیطی صنعت و افزایش کیفیت زندگی، اکولوژی صنعتی سعی می‌کند صنعت را همانند یک اکوسیستم در نظر بگیرد؛ به‌طوری که دقیقاً همانند اکوسیستم‌های طبیعی مواد، انرژی و اطلاعات جریان یابد [۵]. یکی از مفاهیم مهم در اکولوژی صنعتی، هم‌زیستی صنعتی[۸] است. در هم‌زیستی صنعتی سعی می‌شود سبدی از صنایع در کنار هم قرار گیرند که ضایعات یکی، مواد اولیه دیگری باشد. بدین صورت امکان تولید ضایعات مصرف نشده به حداقل برسد [۷].

در تحقیقی با عنوان "به‌کارگیری رویکرد کیفی فراترکیب جهت ارائه مدل جامع ارزیابی پایداری زنجیره تأمین" که در نشریه پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری منتشر شده است، مجموعه عوامل زیست‌محیطی، اجتماعی در کنار توجه به مسائل اقتصادی، برای ارائه مدلی کیفی از توسعه پایدار زنجیره تأمین صنایع پرخطر مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. در پژوهشی با عنوان " مدل‌سازی رشد صنعتی و اکولوژی منظر در مناطق صنعتی چین با رویکرد پویایی شناسی سیستم" تأثیر توسعه سریع صنعتی در چین بر چشم‌انداز محیط زیست و اقتصاد و فرهنگ کشور مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه، بر اساس مدل‌های پویایی شناسی سیستم، یک مدل به همراه تابع پیش‌بینی دینامیکی غیرخطی که تعادل رشد صنعتی و اکولوژی

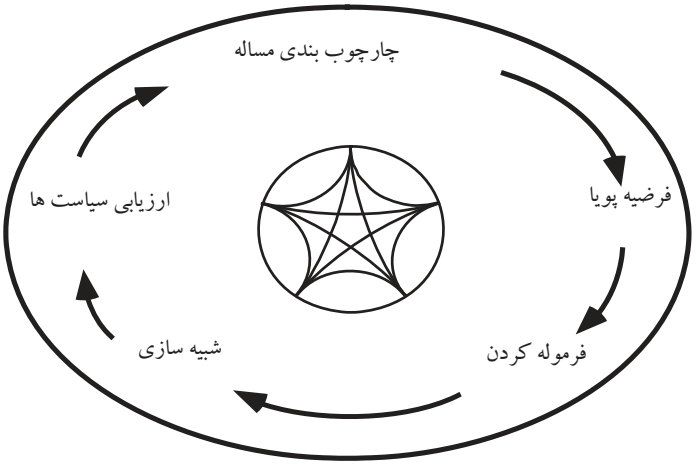
منظر را مدل می‌کند، ارائه شده است [۱۵]. در پژوهشی با عنوان "ارزیابی و محاسبه بهره‌وری گروه‌های صنعتی در افق ۱۴۰۴ با رویکرد پویای شناسی سیستمی"، با استفاده از روش پویایی شناسی سیستمی، بهره‌وری گروه‌های صنعتی در افق ۱۴۰۴ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بهره‌وری کل عوامل تولید و بهره‌وری انرژی در بخش صنعت از پایان سال ۱۳۹۶ شروع به رشد کرده و تا پایان سال ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت [۱۶]. در تحقیقی با عنوان "شبیه‌سازی و ارزیابی سیستم‌های اکو-صنعتی در منطقه اقتصادی چانگچون در کشور چین" با استفاده از روش پویایی شناسی سیستم نسبت به ارزیابی برنامه‌های توسعه اکو- صنعتی منطقه اقدام شده است. محققان در چهار زیر سیستم اقتصادی، اجتماعی، منابع آبی و معدنی، زیست‌محیطی اقدام به مدل‌سازی و ارائه فرضیه پویا کرده‌اند [۱۷]. در تحقیقی با عنوان "بررسی تأثیرات شکل‌گیری مؤسسات کوچک و متوسط بر رشد سرمایه‌گذاری"، با استفاده از پویایی شناسی سیستم از رویکردی کل‌نگرانه برای بررسی تأثیر شکل‌گیری مؤسسات کوچک و متوسط بر رشد سرمایه‌گذاری استفاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل طراحی شده نشان‌گر رابطه مستقیم و متعامل دو متغیر مؤسسات کوچک و متوسط و سرمایه‌گذاری است[۱۸]. در تحقیقی با عنوان"برنامه‌ریزی ظرفیت برای تولید و بازتولید در یک زنجیره تأمین حلقه بسته با توجه به رفتار مشتری با استفاده از رویکرد پویایی سیستم"، پیاده‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته مدل‌سازی شده است [۱۹].

با بررسی این تحقیقات باید گفت پژوهش‌های مختلفی در زمینه توسعه صنعتی و ارتباط آن با توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست ارائه شده است. اما استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم، به‌منظور تحلیل پویایی‌های توسعه صنعتی پایدار، می‌تواند نگرش سیستمی جامع‌تری نسبت به مطالعات پیشین در حوزه توسعه صنعتی ارائه دهد. بررسی پیشینه تحقیقات انجام یافته در خصوص توسعه پایدار صنعتی در ایران حاکی از فقدان مطالعه جدی و سیستماتیک در این زمینه می‌باشد. از سوی دیگر، مطالعه و پژوهشی در خصوص استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستم در مدل‌سازی توسعه پایدار صنعتی برای یک منطقه آزاد تجاری- صنعتی در ایران انجام نشده است. نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران در اتخاذ رویکرد سیستمی به مقوله توسعه صنعتی در منطقه مورد مطالعه کمک نماید.

۳- روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر از نظر روش از نوع روش آمیخته می‌باشد. همچنین از نظر هدف تحقیق

دردسته‌بندی‌های توصیفی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، از روش پویائی شناسی سیستم که توسط جان استرمن توسعه یافته استفاده شده است[۲۰].



شکل ۱. مدل کلی روش پویایی شناسی سیستم (استرمن،۲۰۰۰)

۴- مدل‌سازی پویایی شناسی سیستم

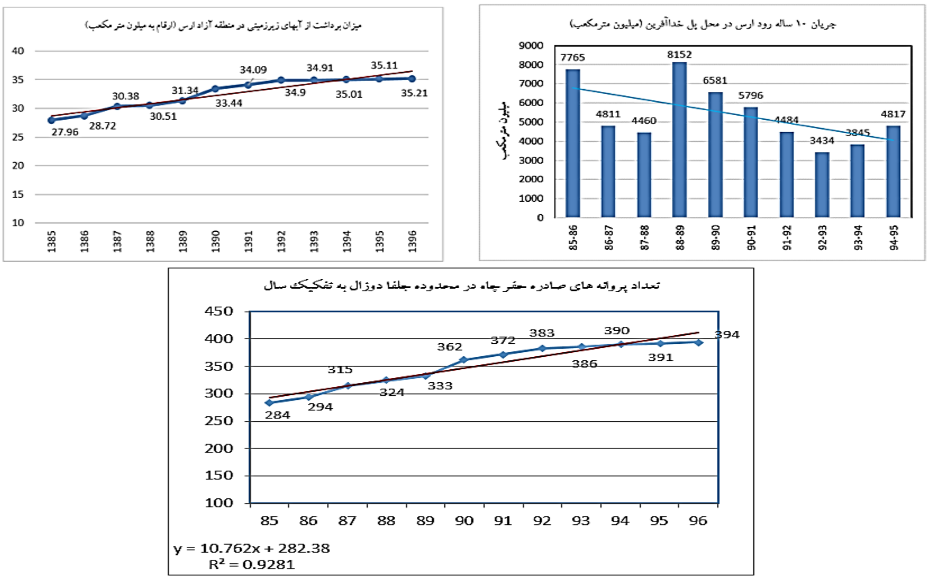
در این تحقیق برای پاسخ به سؤالات مطرح شده در بخش روش‌شناسی، گام‌های ۵ گانه تکرارشونده، به شرح زیر به اجرا درآمده است.

۴-۱- تعریف مسئله

هدف از این تحقیق، ارائه روشی برای ارزیابی سیاست‌های توسعه صنعتی در منطقه آزاد ارس می‌باشد. منطقه آزاد ارس تحت تأثیر اجرای سیاست‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی بخشی از توان جمعیت‌پذیری خود را در طول سال‌های گذشته از دست داده است. این امر به دلیل وجود پیچیدگی‌های روابط میان متغیرهای محیط زیست و توسعه اقتصادی و اجتماعی در منطقه اتفاق افتاده است. به‌عنوان مثال، در سال‌های گذشته منطقه آزاد ارس در زمینه صنعتی، کشاورزی و جمعیتی رشد داشته است. نمودارهای زیر این موضوع را نشان می‌دهند:

شکل ۲. نمودارهای رشد جمعیتی، اقتصادی و کشاورزی در منطقه آزاد ارس

هم‌زمان با افزایش تولیدات صنعتی و سطح زیر کشت در منطقه، منابع آبی زیادی مصرف شده‌اند. کل حجم آب تجدید پذیر در دسترس، در منطقه آزاد ارس به‌طور متوسط در هر سال برابر با ۲۰۰ میلیون متر مکعب می‌باشد[۲]. بررسی روند میزان آب رودخانه ارس در پایین دست منطقه آزاد ارس (ایستگاه اندازه‌گیری پل خدآفرین) نشان دهنده کاهش منابع آب سطحی در منطقه می‌باشد. جریان متوسط سالانه ارس در پل خداآفرین در طی ۱۰ سال از ۶۸۰۰ میلیون متر مکعب به ۴۰۰۰ میلیون متر مکعب یعنی حدود ۴۱ درصد کاهش یافته است [۲].



ماخذ: شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی

شکل۳. نمودارهای رشد برداشت و مصرف آب در منطقه آزاد ارس

در عرصه سیاست‌گذاری صنعتی نیز به استراتژی‌های توسعه صنعتی بدون توجه به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی پرداخته شده است. ظرفیت قابل تحمل منطقه مدنظر قرار نگرفته و ظرفیت زیست‌محیطی و اکولوژیک منطقه نامحدود فرض شده است. در این تحقیق با ارائه مدل پیشنهادی و شبیه‌سازی روابط زیرسیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست، می‌توان قبل از اجرای تصمیمات توسعه صنعتی در محیط واقعی، نسبت به پیامدهای آن آگاهی یافته و به تصمیم‌گیران در اتخاذ سیاست‌های توسعه پایدار در منطقه کمک نمود.

افق زمانی مسئله باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که اثرات تصمیمات و سیاست‌گذاری‌ها و تأخیرات زمانی سیستم را بتواند پوشش دهد [۲۰]. محدوده نهایی منطقه آزاد ارس در سال ۱۳۸۷ مصوب شده است و با توجه به تعیین محدوده نهایی منطقه آزاد ارس در این سال، افق زمانی این پژوهش از سال ۱۳۸۷ شروع می‌شود. با عنایت به در دسترس بودن داده‌های واقعی برای ۱۰ سال، در اعتبارسنجی مدل، داده‌های شبیه‌سازی شده تا سال ۱۳۹۷ با داده‌های واقعی مقایسه شده است. سپس با توجه به شناسایی رفتار متغیرها و تجربیات ناشی از برآورد سرانگشتی تأخیرات در مدل، عملیات شبیه‌سازی شده برای ۵۰ سال بعدی انجام می‌شود.

نمودار مرز مدل در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول ۱. نمودار مرز مدل

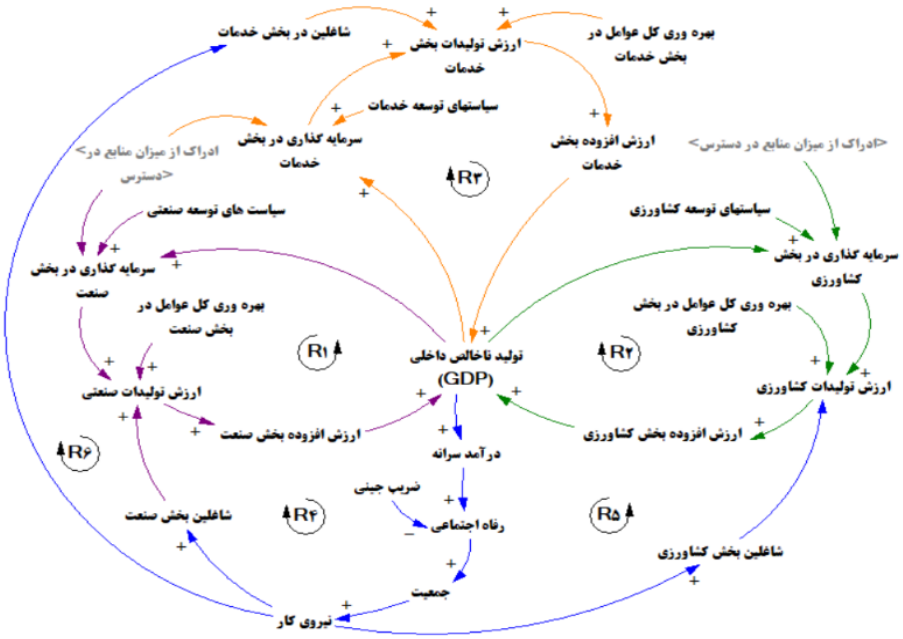
مؤلفه‌ها	متغیرهای درون‌زا	متغیرهای برون‌زا
محیط زیست	ظرفیت تحمل- میزان آلاینده‌های زیست محیطی- مصارف آب صنعتی، کشاورزی و شرب-میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای- شدت انتشار آلاینده‌های هوا- شدت مصرف آب در بخش‌های صنعت وکشاورزی و خدمات- مصارف انرژی- عرضه انرژی- شدت انرژی در بخش‌های صنعت، کشارزی و خدمات	متوسط بارش سالانه- میزان انتقال آب به منطقه- طول دوره عمر تجهیزات تولید انرژی - ضریب سرمایه‌گذاری در توسعه تجهیزات تولید انرژی- زمان تنظیم در تأخیرات ادراکی ظرفیت تحمل منطقه
اجتماعی	جمعیت- آموزش-رفاه اجتماعی- درآمد سرانه	ضریب جینی- حداکثر نرخ رشد نسبی خالص
اقتصادی	تولید ناخالص داخلی (GDP)- ارزش افزوده در بخش‌های صنعت و کشاورزی و خدمات- میزان اشتغال – میزان سرمایه در هر یک از بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خدمات-تعداد شاغلین در بخش‌های سه‌گانه اقتصادی	سیاست‌های توسعه بخش صنعت، کشاورزی و خدمات- متوسط هزینه تولید یک شغل در بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات- نسبت نیروی کار در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات-نسبت سرمایه‌گذاری در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خدمات

در این پژوهش به‌منظور شناسایی متغیرهای اثرگذار بر توسعه صنعتی پایدار و شناسایی روابط علی میان آن‌ها، از روش فراترکیب و مرور سیستماتیک ادبیات نظری استفاده شده است. در این تحقیق در بخش محیط زیست، متغیرهای مرتبط با منابع و مصارف آب، آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، مدیریت انرژی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در این بخش متغیر تخریب و فرسایش خاک وارد مدل نشده است. در بخش اقتصادی از تقسیم‌بندی کلاسیک فعالیت‌های اقتصادی به سه بخش صنعتی، کشاورزی و خدمات استفاده شده و متغیرهای دخیل در تولید ناخالص داخلی مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است در زیر سیستم اقتصادی، با توجه به اینکه هزینه تولید یک شغل در هر یک از بخش‌های اقتصادی به ساختار کلان اقتصادی، سطوح تکنولوژی و مدیریت اقتصاد کلان کشور وابسته است، به‌منظور جلوگیری از پیچیده شدن مدل به‌صورت برون‌زا درنظر گرفته شده است. در بخش اجتماعی پویایی‌های جمعیتی و رفاه اجتماعی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بخش نیز با توجه به اینکه ضریب جینی تحت تأثیر سیاست‌های مالی و پولی دولت در سطح کلان می‌باشد، از حلقه‌های بازخور مرتبط با متغیر ضریب جینی صرف نظر شده و به‌منظور

جلوگیری از پیچیده‌تر شدن مدل این متغیر به‌صورت برون‌زا در نظر گرفته شده است.

۲-۴- ارائه مدل پیشنهادی

بر اساس فرضیه پویای ارائه شده در این پژوهش، سه زیر سیستم زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی در تعامل پویا و دوطرفه با یکدیگر وضعیت آتی منطقه را به لحاظ پایداری در توسعه صنعتی تعیین می‌کنند. هر یک از این زیرسیستم‌ها متغیرهایی کلیدی دارند که از سایر متغیرها تأثیر می‌پذیرند. در زیرسیستم توسعه اقتصادی، متغیر کلیدی، تولید ناخالص داخلی (GDP) می‌باشد. بسته به اینکه سیاست‌های توسعه منطقه آزاد ارس بر کدام یک از بخش‌های سه‌گانه اقتصادی متمرکز باشد، شدت تغییر در تولید ناخالص داخلی متفاوت خواهد بود. مجموع ارزش افزوده در بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدمات میزان تولید ناخالص داخلی را مشخص می‌کند. توسعه صنعتی، کشاورزی و خدمات هرکدام با ضریب تأثیر متفاوت بر محیط زیست اثر می‌گذارند. متغیر کلیدی در بخش زیست محیطی، ظرفیت تحمل زیستی منطقه می‌باشد. ظرفیت تحمل منطقه متأثر از میزان تولید آلاینده‌ها و زباله‌ها، مقدار و نوع انرژی مصرفی و مقدار منابع و مصارف منابع طبیعی مانند آب می‌باشد. همچنین بر اساس این فرضیه پویا، توسعه هر کدام از بخش‌های صنعت، کشاورزی و خدماتی با شدت اثر متفاوتی میزان رفاه اجتماعی را نیز تحت تأثیر قرار داده و تعامل پویا و دو طرفه میان این عوامل بر تداوم رشد تولید ناخالص داخلی و توسعه اقتصادی منطقه تأثیر می‌گذارد. رفاه اجتماعی نیز خود تحت تأثیر سطح درآمد، میزان جمعیت و ضریب جینی می‌باشد. بر اساس فرضیه پویای ارائه شده در این تحقیق اکثر روابط میان متغیرهای توسعه اقتصادی و اجتماعی تقویت شونده است و افزایش تولید ناخالص داخلی و رفاه اجتماعی منجر به توسعه هر چه بیشتر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی در منطقه می‌شوند. برخی از روابط علی حلقوی در شکل زیر نشان داده شده است.

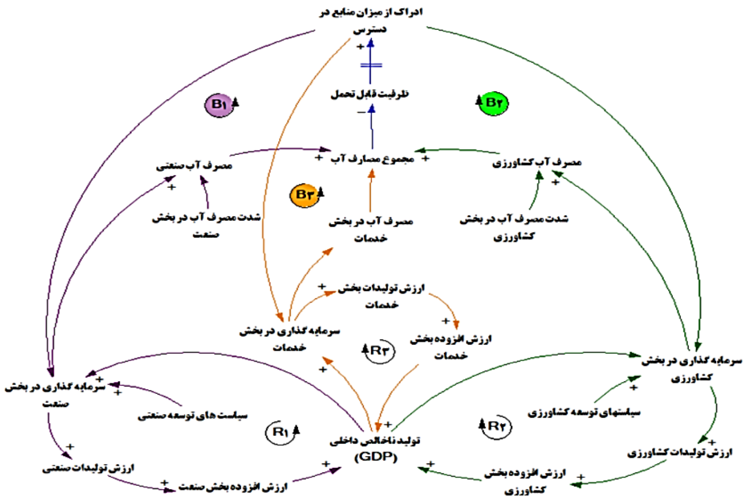


شکل ۴. برخی از حلقه‌های تقویت کننده در مدل توسعه صنعتی پایدار

افزایش تولید ناخالص داخلی باعث افزایش سرمایه‌گذاری در بخش صنعت، کشاورزی و خدمات شده و در نتیجه ارزش تولیدات بخش صنعت، کشاورزی و خدمات افزایش می‌یابد. این افزایش منجر به افزایش ارزش افزوده در هر بخش شده و در نهایت به افزایش تولید ناخالص داخلی منجر می‌گردد (حلقه های R1,R2,R3).

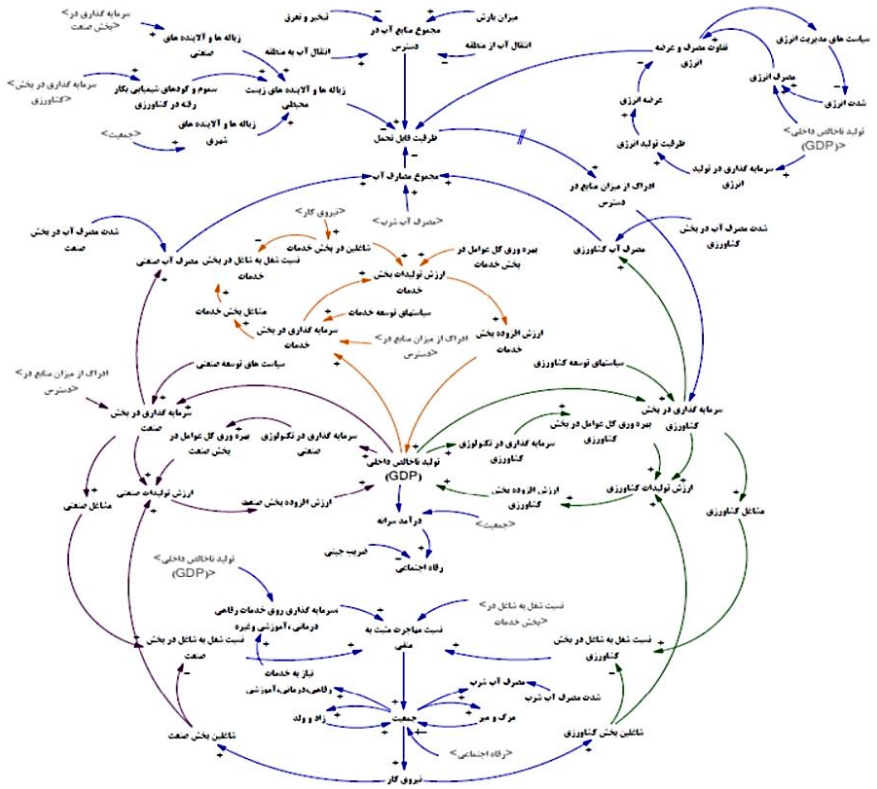
افزایش تولید ناخالص داخلی باعث افزایش درآمد سرانه می‌گردد. افزایش درآمد سرانه به شرط کاهش ضریب جینی و بهبود توزیع عادلانه ثروت در جامعه به افزایش رفاه اجتماعی منجر می‌شود. با افزایش رفاه اجتماعی، نرخ زادوولد بیشتر و نرخ مرگ‌ومیر کمتر می‌شود و جمعیت مهاجر به داخل منطقه نیز افزایش می‌یابد و لذا جمعیت کل ساکن در منطقه افزایش می‌یابد. این امر در بلندمدت سبب افزایش نیروی کار شده و شاغلین فعال در بخش‌های صنعت و کشاورزی و خدمات افزایش می‌یابد. با زیاد شدن شاغلین و افزایش ارزش تولیدات در بخش‌های اقتصادی مختلف، ارزش افزوده بیشتر شده و در نهایت منجر به افزایش تولید ناخالص داخلی می‌شود (حلقه های R4,R5,R6).

توسعه فزاینده اقتصادی و اجتماعی با ورود متغیرهای زیست‌محیطی محدود می‌گردد و محدود بودن ظرفیت تحمل زیست‌محیطی در منطقه منجر به ایجاد حلقه‌های علی و معلولی تعدیل کننده می‌گردد. بر اساس فرضیه پویای ارائه شده و مطابق با حلقه‌های علی تعدیل کننده که در شکل زیر نشان داده شده است، افزایش سطح فعالیت اقتصادی در بخش‌های سه‌گانه صنعت، کشاورزی و خدمات منجر به افزایش مصرف آب شده که این امر به کاهش ظرفیت تحمل زیست‌محیطی در منطقه منجر می‌شود.



شکل ۵. برخی از حلقه‌های تعدیل کننده در مدل توسعه صنعتی پایدار

در بلندمدت و پس از یک تأخیر ادراکی، فعالان بخش‌های اقتصادی و سرمایه‌گذاران متوجه کاهش معنی‌دار در میزان آب‌های در دسترس در منطقه شده و پیامد آن کاهش در میزان سرمایه‌گذاری در بخش‌های اقتصادی و کاهش تولید ناخالص داخلی خواهد بود (حلقه‌های B1,B2,B3). ساختار کلی پویایی‌های توسعه صنعتی پایدار در منطقه آزاد ارس در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل۶. نمودار علی حلقوی توسعه صنعتی پایدار در منطقه آزاد ارس

۳-۴- تدوین و تشریح مدل حالت و جریان

در این مرحله با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[۹]، برای فرضیه پویا نمودار "انباشت- جریان" ترسیم و روابط میان متغیرهای نرخ و حالت، فرمول‌بندی شده است. مقادیر اولیه متغیرهای انباشت، پارامترها و توابع ریاضی توصیف کننده روابط، با مرور سیستماتیک ادبیات نظری و مراجعه به اسناد و مدارک سازمان منطقه آزاد ارس، آمارهای بانک مرکزی و درگاه ملی آمار ایران برآورد گردیده است.

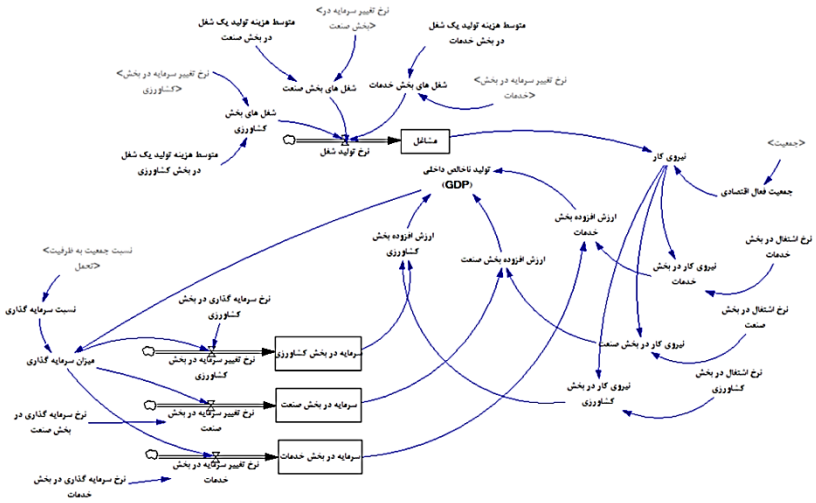
۱-۳-۴- زیرسیستم "اقتصادی"

در این زیر سیستم روابط میان متغیرهای دخیل در توسعه اقتصادی منطقه تبیین شده است. به‌منظور ترسیم نمودار انباشت جریان برای این زیر سیستم، از تقسیم‌بندی کلاسیک بخش‌های اقتصادی استفاده شده است. این بخش‌ها شامل موارد زیر است: بخش اول شامل کشاورزی، جنگلبانی، ماهی‌گیری و استخراج مواد اولیه معدنی است. بخش دوم شامل ساخت و تولید کالا می‌باشد. بخش سوم شامل فراهم آوردن خدمات به شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان مانند بازرگانی، بانکداری، بیمه، حمل‌ونقل، ارتباطات، فعالیت در دستگاه‌های خصوصی یا دولتی و فعالیت‌های فرهنگی است. متغیر کلیدی مورد مطالعه در این زیرسیستم میزان تولید ناخالص داخلی(GDP) است. بسته به اینکه سیاست‌های توسعه منطقه آزاد ارس بر کدام بخش اقتصادی متمرکز باشد، شدت تغییر در تولید ناخالص داخلی متفاوت بوده و میزان تخریب ظرفیت تحمل زیستی در منطقه، نرخ تغییر جمعیت و میزان بهره‌کشی از منابع طبیعی نیز متفاوت خواهد بود. برای تبیین روابط ریاضی میان متغیرها در این زیر سیستم از تابع تولید کاب- داگلاس بهره گرفته شده است. شکل عمومی تابع کاب داگلاس به شرح زیر ست:

$$Q = A \times K^{\alpha} \times L^{\beta}$$

در رابطه بالا Q تولید، A پارامتر بهره‌وری کل عوامل تولید، K سرمایه، L نیروی کار و α و β ضرایب کشش جزئی تولید نسبت به عوامل سرمایه و نیروی کار است [۲۱].

بر اثر افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در زمینه توسعه صنایع، از یک سو شاهد رشد تعداد صنایع تولیدی فعال در منطقه و افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی خواهیم بود و از سوی دیگر با افزایش سرمایه‌گذاری در زمینه تکنولوژی تولیدی شاهد افزایش بازده تولید خواهیم بود که این عوامل، رشد تعداد محصولات صنعتی را در پی خواهند داشت.



شکل۷. نمودار جریان- انباشت زیر سیستم اقتصادی

بدیهی است با رشد تعداد محصولات صنعتی، ارزش افزوده بخش صنعت در منطقه افزایش یافته و میزان تولید ناخالص داخلی (GDP) رشد می‌یابد. با رشد تولید ناخالص داخلی، جذابیت سرمایه‌گذاری صنعتی و سیاست‌های حمایتی از آن در منطقه افزایش یافته که در یک حلقه تقویت شونده شاهد رشد روزافزون بهره‌کشی از منابع طبیعی و توسعه نواحی و شهرک‌های صنعتی خواهیم بود.

۲-۳-۴- زیرسیستم "محیط زیست"

در این زیرسیستم تحولات و تغییرات محیط زیستی مورد بررسی و تشریح قرار گرفته است. شکل ۸، نمودار انباشت- جریان زیرسیستم " محیط زیست"را نشان می‌دهد.

دراین بخش، "ظرفیت تحمل" مهمترین متغیر مورد مطالعه می‌باشد. ظرفیت تحمل[۱۰] در محیط عبارت است از حداکثر جمعیتی که محیط می‌تواند به‌صورت نامحدود آن را پشتیبانی کند و غذا، آب، سکونتگاه و سایر نیازهای آن را تأمین نماید [۲۲]. ظرفیت تحمل زیست‌محیطی منطقه در این مدل متشکل از سه متغیر است: ۱- ظرفیت تحمل زیستی منطقه به لحاظ منابع آبی۲-

ظرفیت تحمل منطقه به لحاظ انتشار آلایندهای هوا وگازهای گلخانهای ۳- ظرفیت تحمل منطقه به لحاظ تولید انرژی میباشد.

بر اساس قانون حداقل لیبیگ[۱۱] از بین سه عامل تعیین کننده ظرفیت قابل تحمل منطقه، عاملی که کمترین مقدار را دارد، تعیین کننده ظرفیت تحمل خواهد بود[۲۳].

CC=MIN[WCC,ECC,ACC]

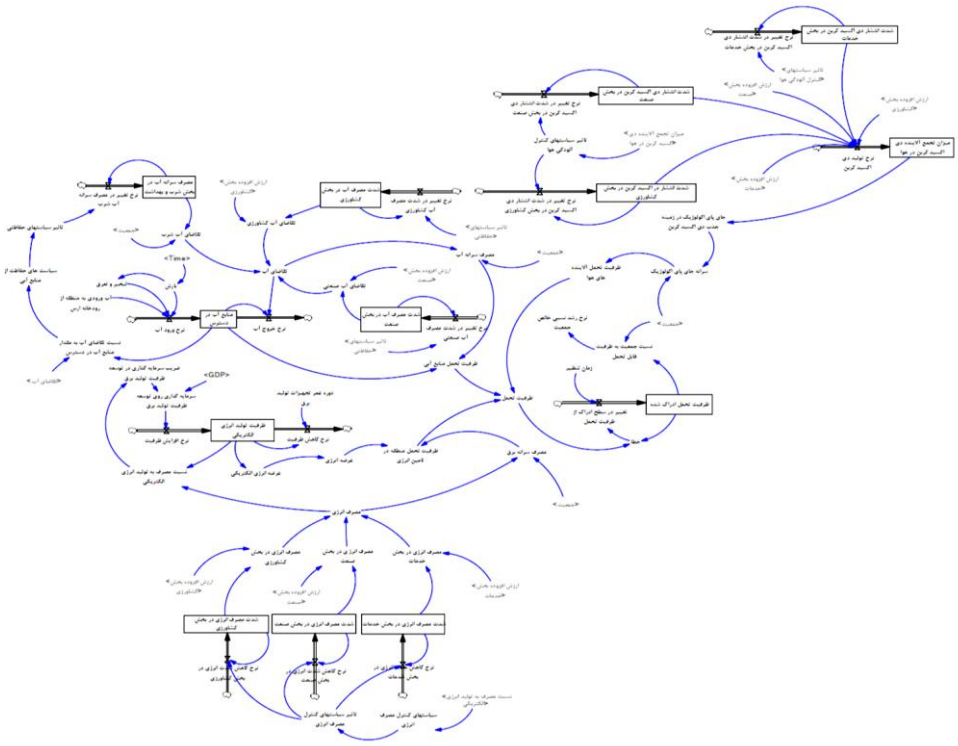
که در این عبارت CC ظرفیت تحمل منطقه مورد مطالعه، WCC ظرفیت تحمل آبی منطقه، ECC ظرفیت تحمل منطقه در تامین انرژی، ACC ظرفیت تحمل منطقه به لحاظ میزان انتشار آلایندههای هوا و گازهای گلخانهای میباشد.

جدول ۲. معادلات مرتبط با محاسبه ظرفیت قابل تحمل زیستمحیطی

معادله	توضیحات
$WCC = \frac{WR}{WC_P}$	WCC= ظرفیت قابل تحمل آبی منطقه آزاد ارس، WR =کل منابع آبی در دسترس در منطقه،WC_P = مصرف سرانه آب به ازاء یک نفر
$ECC = \frac{ES}{EC_P}$	ECC = ظرفیت قابل تحمل منطقه به لحاظ تأمین انرژی پایدار، ES = میزان کل عرضه انرژی، EC_P = سرانه مصرف انرژی
$ACC = \frac{TC}{\frac{\sum_{i=1}^{3}(EF_{n_i} \times \gamma_{n_i})}{POP}}$	ACC= ظرفیت قابل تحمل منطقه به لحاظ میزان انتشار گازهای گلخانهای، γ_{n_i} = ارزش افزوده هر یک از بخشهای صنعت،کشاورزی و خدمات، EF_{n_i}= فاکتور انتشار(شدت انتشار) گاز گلخانهای در هر یک از بخشهای اقتصادی، TC میزان ترسیب گازهای گلخانهای

در این پژوهش برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانهای از مفهوم فاکتور انتشار استفاده شده است. متغیر "فاکتور انتشار" رابطه سطح فعالیتهای هر یک از بخشهای اقتصادی را با میزان انتشار گازهای گلخانهای نشان میدهد. فاکتور انتشار گازهای گلخانهای، بیان کننده میزان انتشار آلایندههای هوا به ازاء تولید یک واحد ارزش افزوده در طول یک دوره زمانی مشخص (یکسال) میباشد. همچنین برای محاسبه میزان جذب گازهای گلخانهای از مفهوم ترسیب گازهای گلخانهای استفاده شده است. ترسیب گاز به روند ذخیره گاز موجود در هوا در خاک و گیاهان گفته میشود. میزان ترسیب با توجه به نوع کاربری اراضی متفاوت خواهد بود. به منظور محاسبه میزان ترسیب گازهای گلخانه ای در منطقه، مقدار ترسیب گازها در هر

یک از کاربری ها به‌طور میانگین به‌دست آمده و در مساحت کاربری ها ضرب شده است [۲۴]. در نهایت برای تخمین ظرفیت تحمل منطقه به لحاظ مقدار گازهای گلخانه‌ای، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به ازاء هر نفر (سرانه انتشار) محاسبه نموده و از تقسیم قدرت جذب گازهای گلخانه‌ای (میزان ترسیب گازهای گلخانه‌ای) بر میزان تولید سرانه گازها، ظرفیت تحمل منطقه تخمین زده می‌شود.



شکل۸. نمودار جریان- انباشت زیر سیستم محیط زیست

۱-۲-۳-۴- مدل‌سازی تأخیر ناشی از ادراک میزان ظرفیت تحمل در منطقه

با تغییر میزان ظرفیت تحمل زیست‌محیطی در منطقه آزاد ارس، فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تحت شعاع قرار گرفته و متغیرهایی مانند نرخ خالص رشد جمعیت، میزان تولید ناخالص داخلی، تعداد صنایع فعال، مساحت زمین‌های زیرکشت و تعداد مشاغل و سایر متغیرهای توسعه پایدار در منطقه دستخوش تغییر می‌شوند. اما پاسخ فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی به تغییرات محیط

زیست بلافاصله و در کوتاه‌مدت اتفاق نمی‌افتد. دلیل این امر تأخیرات ادراکی در این موضوع است. به عبارت دیگر، مدتی طول می‌کشد تا تغییرات زیست‌محیطی بر وضعیت کل سیستم تأثیر بگذارد. تطبیق ذهنیت با واقعیت تدریجاً اتفاق می‌افتد.

زمانی که مقدار واقعی کمیت‌ها متفاوت با مقدار درک شده آن‌ها باشد، خطا وجود دارد. هر چه خطا بزرگتر باشد، نرخ تطبیق ذهنیت باواقعیت نیز بزرگتر خواهد بود. سیستم در این حالت رفتاری مطابق با توزیع نمایی خواهد داشت لذا در این تحقیق به منظور مدل‌سازی تأخیرات ادراکی از روش هموارسازی نمایی درجه اول استفاده شده است. اگر مقدار ظرفیت تحمل ادراک شده را با C_P نشان دهیم و نرخ تغییر ذهنیت از میزان ظرفیت تحمل را با r_{cp} مشخص کنیم، آنگاه میزان ظرفیت تحمل ادارک شده برابر خواهد بود با:

$$C_P = \int_{t=1}^{n} r_{cp} + C_{P(0)}$$

$C_{P(0)}$ برابر با مقدار اولیه متغیر "ظرفیت تحمل ادارک شده" است. بر اساس رابطه فوق داریم:

$$r_{cp} = \frac{CC - C_P}{\text{زمان تنظیم}}$$

در این رابطه $CC - C_P$ به اختلاف ظرفیت تحمل واقعی و ظرفیت تحمل ادراک شده اشاره دارد. زمان تنظیم نشان دهنده زمان تطبیق کامل ادراکات با واقعیات است.

۳-۳-۴- زیرسیستم "توسعه اجتماعی"

در این زیرسیستم، پویایی‌های جمعیتی و تغییرات رفاه اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور فرمول‌بندی روابط میان متغیرهای دخیل در رفاه اجتماعی از تابع تعمیم یافته رفاه اجتماعی سِن یا همان شاخص سِن[۱۲] استفاده شده است. سِن در سال ۱۹۷۳ تابع زیر را به‌عنوان تابع رفاه اجتماعی پیشنهاد نمود [۲۵]:

$$W = \mu(1 - G)$$

μ برابر با میانگین درآمد سرانه جامعه و G برابر با ضریب جینی توزیع درآمد می‌باشد.

تابع رفاه تعمیم یافته سن بر اساس میانگین عبارت است از:

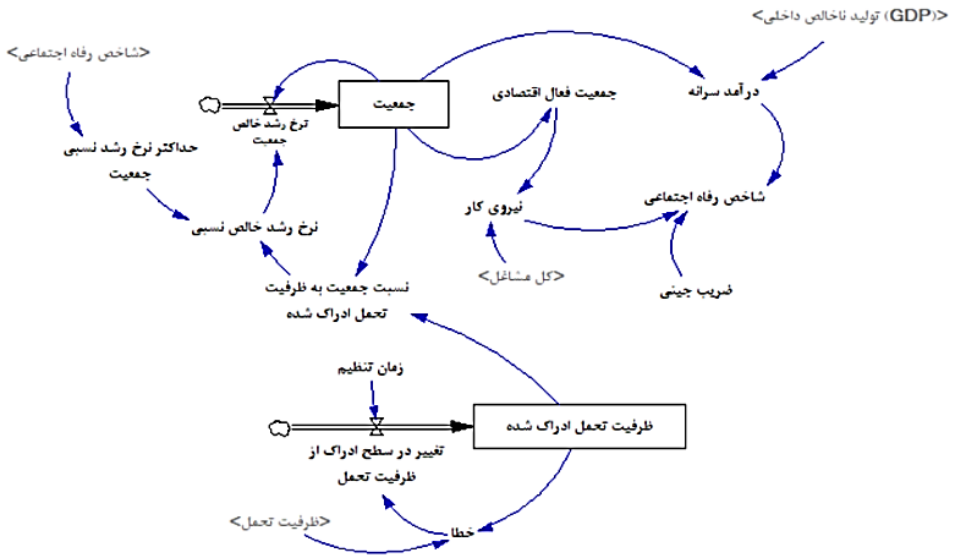
$$W = \mu^{\beta}(1 - G) \qquad 0 \leq \beta \leq 1$$

بر این اساس زمانی که محقق بخواهد اهمیت بیشتری به نابرابری در مقابل درآمد بدهد، مقدار

کمتری برای β انتخاب می‌کند و بر عکس مقادیر بالای β اهمیت بیشتری را به درآمد می‌دهد[۲۶]. در این تحقیق بر اساس تابع تعمیم یافته رفاه اجتماعی سن داریم:

$$SWI = \left(\frac{GDP}{POP}\right)^{\beta} * (1 - Gi)$$

SWI شاخص رفا اجتماعی، GDP تولید ناخالص داخلی،POP تعداد جمعیت و Gi برابر با ضریب جینی می‌باشد. شکل زیر نمودار انباشت جریان را در زیر سیستم توسعه اجتماعی نشان می‌دهد:



شکل ۹. نمودار جریان- انباشت زیرسیستم محیط زیست

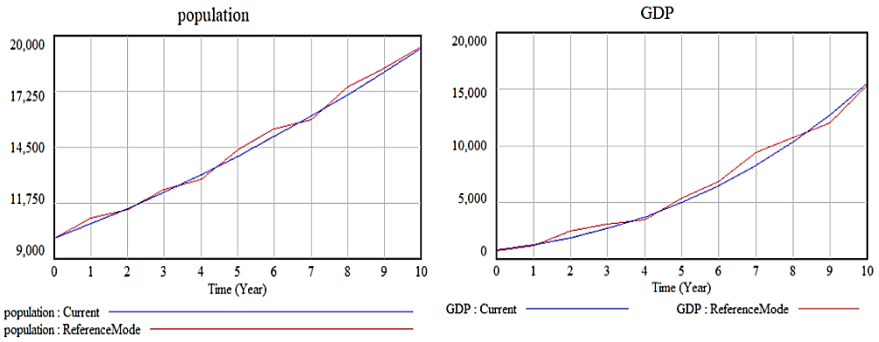
۴-۴- اعتبارسنجی مدل

پس از تعیین روابط میان متغیرها، اعتبار الگوی طراحی شده مورد ارزیابی قرار گرفت تا از عملکرد مطلوب آن اطمینان حاصل شود. به این منظور از آزمون رفتار مجدد و آزمون محاسبه میزان خطا استفاده شده است.

بابک صارمی رسولی و همکاران ـــ

۱-۴-۴- آزمون رفتار مجدد:

هدف از این آزمون مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی جهت اطمینان از صحت عملکرد رفتار الگو است. نمودارهای زیر اطلاعات واقعی و نتایج شبیه‌سازی شده را برای متغیرهای میزان تولید ناخالص داخلی، ظرفیت تحمل منطقه و تعداد جمعیت در منطقه نشان می‌دهند. نتایج حاکی از تطابق رفتار واقعی متغیرها با نتایج شبیه‌سازی شده می‌باشد.



شکل ۱۰. نمودارهای آزمون رفتار مجدد

۲-۴-۴- آزمون محاسبه میزان خطا:

به منظور اطمینان از نتایج شبیه‌سازی شده، خطای متغیرهای کلیدی و ریشه‌های خطا نیز به شرح زیر محاسبه شده است.

محاسبه درصد خطای مجذورات (RMSPE)[13]:

بر اساس این شاخص هرچه میزان تفاوت بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده کمتر باشد، به نتایج شبیه‌سازی بیشتر می‌توان اعتماد کرد. میزان خطا در این روش بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}\left(\frac{y_{T+i}^{s} - y_{T+i}^{a}}{y_{T+i}^{a}}\right)^{2}} * 100$$

$$U^{m} = (\bar{Y}^{s} - Y^{a})^{2} / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(y_{T+i}^{s} - y_{T+i}^{a})^{2}]$$

$$U^s = (SDS - SDA)^2 / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2]$$

$$U^c = [2 * (1 - r) * (SDS * SDA)] / [\frac{1}{\theta}\sum_{i=1}^{\theta}(y_{T+i}^s - y_{T+i}^a)^2]$$

داده‌های حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل و داده‌های واقعی مربوط به متغیرهای کلیدی به عنوان ورودی برای نرم افزار R در نظر گرفته شده و محاسبه درصد خطای مجذورات در این محیط نرم‌افزاری برنامه‌نویسی شده است.

شناسایی ریشه‌های خطا:

به‌منظور شناسایی ریشه‌های خطا از ضرایب نابرابری تیل استفاده شده است. این آزمون انحراف بین داده‌های واقعی با داده‌های شبیه‌سازی شده را به سه دسته تقسیم می‌کند: انحراف‌ها، واریانس‌های نابرابر و کواریانس‌های نابرابر [۲۷].

همواره مجموع این سه نوع انحراف برابر با ۱ است.

$$U^m + U^s + U^c = 1$$

نتایج حاصل از آزمون‌های محاسبه خطا برای متغیرهای مورد نظر در جدول زیر نشان داده شده است. مطابق اطلاعات مندرج در جدول، میزان خطا در کلیه متغیرهای مورد بررسی در سطح قابل قبولی است.

جدول ۳. نتایج آزمون محاسبه خطا برای متغیرها

	تولید ناخالص داخلی	ظرفیت تحمل	جمعیت
RMSPE	0.0163	0.0993	0.0672
U^m	۰.۲۷	۰.۲۳	۰.۳۶
U^s	۰.۱۸	۰.۲۰	۰.۱۵
U^c	۰.۵۵	۰.۵۷	۰.۴۹

۵-۴- طراحی و ارزیابی سیاست‌ها:

در این مرحله ابتدا به بررسی رفتار مدل در حالت پایه به منظور تجزیه‌وتحلیل وضع موجود پرداخته شده است. سپس رفتار مدل براساس سناریوهای پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. سناریوهای پیشنهادی در این پژوهش حاصل از نتایج مدل‌سازی جمعی و بررسی آن در جلسات مدل‌سازی گروهی می باشد. به عبارت دیگر، در گام مدل‌سازی جمعی بر اساس عوامل استخراج شده و نظر اعضا، راهکارها و سیاست‌های توسعه صنعتی منطقه آزاد ارس پیشنهاد شد.

بابک صارمی رسولی و همکاران ـــ
Selected Variables
6 M
400,000
4 M
300 M
0
0
0
0
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Time (Year)
Carrying Capacity : تداوم وضع موجود
GDP : تداوم وضع موجود
population : تداوم وضع موجود
Social Welfare Index : تداوم وضع موجود
شکل۱۱. نمودارهای بررسی سناریوی تداوم وضع موجود

جدول۴ . نتایج سناریوهای بررسی شده

نتایج شبیه‌سازی	سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
تولید ناخالص داخلی (میلیون دلار)	۹۷۸۰	۹۱۰۰	۸۲۰۰
حداکثر جمعیت	۲۶۳۰۰۰۰	۲۸۸۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰
ظرفیت تحمل منطقه بعد از ۵۰ سال	۲۵۴۸۱	۱۸۴۱۹۰	۴۴۱۱۰۱
حداکثر سطح رفاه اجتماعی (میلیارد ریال به ازاء یک نفر)	۱۱/۵	۱۰/۳	۹

۱-۵-۴- بررسی تداوم وضع موجود:

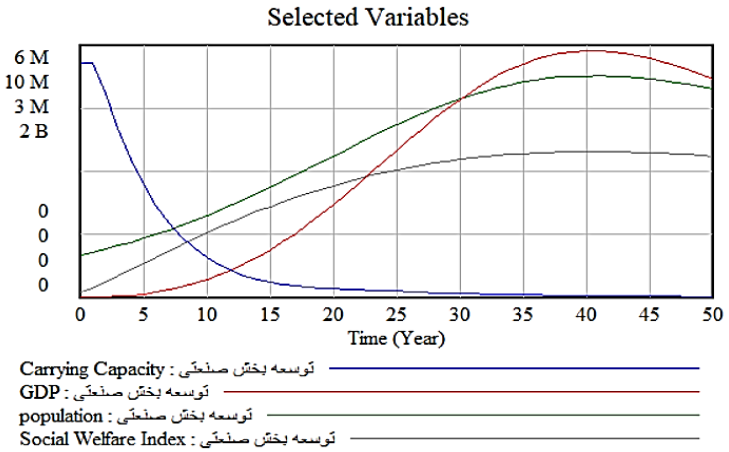
به منظور شبیه‌سازی رفتار منطقه آزاد ارس، در زمینه توسعه اقتصادی، اجتماعی و شرایط محیط زیست، در صورت تداوم وضع فعلی، تعداد کارگاه‌های صنعتی مستقر در منطقه آزاد ارس در سال ۱۳۹۷ استخراج شده و پارامترهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای آن‌ها مورد محاسبه قرار گرفته است. پس از این مرحله داده‌های حاصله به‌عنوان ورودی در مدل جای گذاری شده و نتایج شبیه‌سازی برای ۵۰ سال آتی به دست آمده است.

تحلیل این سناریو نشان می‌دهد که در طول دوره زمانی ۵۰ سال آتی در منطقه، رشد اقتصادی و اجتماعی از الگوی رفتار هدف جو پیروی می‌کند. البته در سال‌های آخر روند رشد برای تولید ناخالص داخلی، جمعیت و شاخص رفاه اجتماعی نزولی می‌شود اما نرخ کاهش بسیار کمتر از

سایر سناریوهای شبیه‌سازی شده در این پژوهش است. بر اساس اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی این سناریو، ظرفیت تحمل منطقه در ابتدا رو به افزایش گذاشته و به مرز ۶ میلیون نفر می‌رسد. اما پس از مدتی و بر اثر تداوم فعالیت‌های اقتصادی در بخش‌های صنعتی، کشاورزی و خدماتی، میزان ظرفیت تحمل منطقه کمتر می‌گردد. دوباره از سال سی‌ام رفته رفته ظرفیت تحمل منطقه احیا شده و این امر باعث تأخیر در فروپاشی اقتصادی و اجتماعی می‌گردد.

۲-۵-۴- سناریوی توسعه صنایع تولیدی:

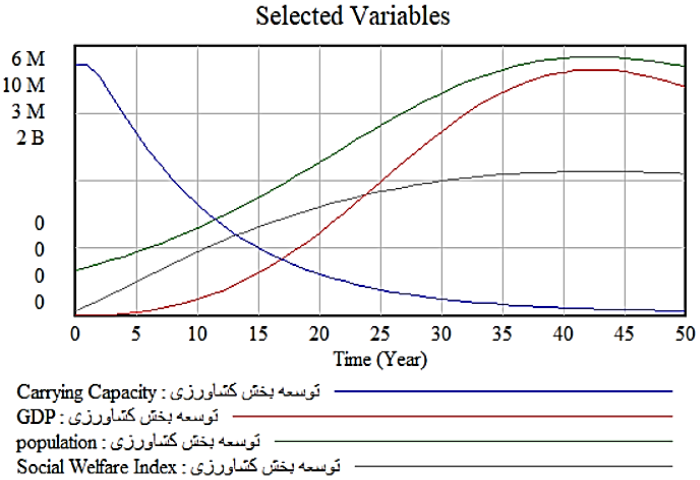
در این سناریو ۷۰ درصد سرمایه‌ها به بخش صنعت و ۳۰ درصد به بخش‌های کشاورزی و خدمات هدایت می‌شود. بر اساس، داده‌های شبیه‌سازی مطابق با نمودار زیر حداکثر ظرفیت تحمل منطقه برابر با ۵۵۷۰۰۰۰ نفر بوده درحالی که این رقم به ۲۵۴۸۱ نفر در طی ۵۰ سال می‌رسد. حداکثر جمعیت منطقه در سناریوی شبیه‌سازی شده تا سال ۱۴۲۵ به ۲۶۳۰۰۰۰ نفر خواهد رسید و پس از آن این تعداد دوباره کاهش می‌یابد. در اثر اجرای این سناریو میزان تولید ناخالص داخلی منطقه آزاد ارس طی ۴۰ سال به مرز ۹.۷۸ هزار میلیون دلار رسیده و سطح رفاه اجتماعی نیز از مرز یک میلیارد ریال برای هر فرد در هر سال عبور می‌کند. اما این رشد بر اثر فشار بر ظرفیت محیط زیستی منطقه رو به کاهش می‌گذارد.



شکل۱۲. نمودارهای بررسی سناریوی توسعه صنایع تولیدی

۳-۵-۴- سناریوی توسعه بخش کشاورزی:

در این سناریو ۷۰ درصد سرمایه‌ها به بخش کشاورزی و ۳۰ درصد به بخش‌های صنعت و خدمات هدایت می‌شود. نمودار زیر رفتار منطقه را در هر یک از متغیرهای کلیدی مرتبط با زیرسیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های شبیه‌سازی مطابق با جدول زیر حداکثر ظرفیت تحمل منطقه برابر با ۵۵۷۰۰۰۰ نفر بوده درحالی که این رقم به ۱۸۴۱۹۰ نفر در طی ۵۰ سال می‌رسد. حداکثر جمعیت منطقه در سناریوی شبیه‌سازی شده تا سال ۱۴۳۰ به ۲۸۸۰۰۰۰ نفر خواهد رسید و پس از آن این تعداد دوباره کاهش می‌یابد. در اثر اجرای این سناریو میزان تولید ناخالص داخلی منطقه آزاد ارس طی ۴۴ سال به ۹.۱ هزار میلیون دلار رسیده و سطح رفاه اجتماعی نیز از مرز یک میلیارد ریال برای هر فرد در هر سال عبور می‌کند. اما این رشد بر اثر فشار بر ظرفیت محیط زیستی منطقه رو به کاهش می‌گذارد.

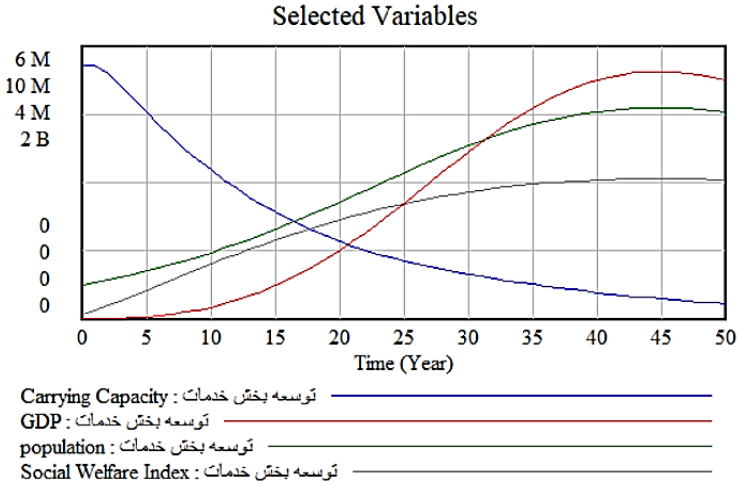


شکل۱۳. نمودارهای بررسی سناریوی توسعه بخش کشاورزی

۴-۵-۴- تحلیل سناریوی توسعه بخش خدمات:

در این سناریو ۷۰ درصد سرمایه‌ها به بخش خدمات و ۳۰ درصد به بخش‌های کشاورزی و صنعت هدایت می‌شود. نمودار زیر رفتار منطقه را در هر یک از متغیرهای کلیدی مرتبط با زیرسیستم‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نشان می‌دهد. بر اساس، داده‌های شبیه‌سازی مطابق با جدول زیر حداکثر ظرفیت تحمل منطقه برابر با ۵۵۷۰۰۰۰ نفر بوده

درحالی که این رقم به ۴۴۱۱۰۱ نفر در طی ۵۰ سال می‌رسد. حداکثر جمعیت منطقه در سناریوی شبیه‌سازی شده تا سال ۱۴۳۰ به ۳۰۰۰۰۰۰ نفر خواهد رسید و پس از آن این تعداد دوباره کاهش می‌یابد. در اثر اجرای این سناریو میزان تولید ناخالص داخلی منطقه آزاد ارس طی ۴۶ سال به ۸۲۰۰ میلیون دلار رسیده و سطح رفاه اجتماعی نیز به مرز ۹۰۰میلیون ریال برای هر فرد در هر سال می‌رسد. اما این رشد بر اثر فشار بر ظرفیت محیط زیستی منطقه رو به کاهش می‌گذارد.



شکل۱۴. نمودارهای بررسی سناریوی توسعه بخش خدمات

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس مدل توسعه صنعتی پایدار در منطقه آزاد ارس، سه زیرسیستم زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در تعامل پویا و دوطرفه با یکدیگر وضعیت آتی منطقه را به لحاظ پایداری در توسعه صنعتی تعیین می‌کنند.

* در بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوها مشاهده می‌گردد که فعالیت‌های بخش خدمات طی دوره شبیه‌سازی ۵۰ ساله، تولید ناخالص داخلی کمتر و سطح رفاهی کمتر اما پایدارتر به ارمغان می‌آورد. فعالیت‌های صنعتی در بلندمدت اگرچه میزان ثروت جامعه و سطح رفاه را بیش از سایر فعالیت‌های اقتصادی افزایش می‌دهد اما باعث تخریب سریع‌تر محیط زیست و ظرفیت برد اکولوژیک شده و لذا ظرفیت تحمل را نیز با نرخ بیشتری می‌کاهد.

* بررسی تغییرات جمعیتی نشان دهنده افزایش تعداد جمعیت در هر سناریو بوده و در عین

حال حاکی از افزایش کمتر تعداد جمعیت در توسعه صنعتی نسبت به توسعه کشاورزی و خدماتی می‌باشد. این امر ناشی از تاثیر تخریب محیط زیست بر نرخ رشد جمعیت است که در سناریوی توسعه صنعتی این تخریب بیشتر می‌باشد و لذا نرخ خالص رشد جمعیت کمتر خواهد بود.

*بررسی نمودار ظرفیت تحمل زیست‌محیطی منطقه نشان می‌دهد که نرخ کاهشی ظرفیت تحمل منطقه در صورت اجرای سیاست‌های توسعه صنعتی بیشتر از توسعه کشاورزی و خدماتی بوده و تأثیر تخریبی بیشتر بر محیط زیست دارد. توسعه بخش خدمات پایدارتر از سایر سناریوها بوده و ظرفیت تحمل منطقه را کمتر تحت الشعاع قرار می‌دهد.

* در همه سناریوهای بررسی شده، تأخیرهای اطلاعاتی و ادراکی باعث می‌شود کلیه بازیگران عرصه اقتصادی و اجتماعی، کاهش ظرفیت تحمل منطقه را دیرتر ادراک کنند و لذا با تأخیر به این مقوله پاسخ دهند. علاوه بر طولانی شدن زمان ادراک و فهم از مسئله، میزان تخریب ظرفیت تحمل زیست‌محیطی کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌گردد. لذا در بلندمدت این امر سبب گذر فعالیت‌های توسعه‌ای از ظرفیت تحمل منطقه شده و با تخریب و فروپاشی اقتصادی و اجتماعی در منطقه مواجه خواهیم شد.

بر اساس پژوهش انجام یافته و نتایج آن می‌توان پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه نمود:

* پیشنهاد می‌شود با استفاده از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در مدل ارائه شده نسبت به تنظیم مناسب سطح فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خدماتی و به‌کارگیری ترکیبی بهینه از فعالیت‌های اقتصادی در منطقه آزاد ارس اقدام گردد. طراحی و اجرای پارک‌های صنعتی اکولوژیک و سیاست‌گذاری در خصوص اجرای سناریوهای همزیستی صنعتی از دیگر مقولاتی است که می‌تواند در این مدل مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد.

* پیشنهاد می‌شود میزان آلودگی هوا در کاربری‌های مختلف صنعتی بررسی شده و تعیین ترکیب بهینه صنایع و انتخاب صنایعی که شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری دارند، جزء سیاست‌های توسعه صنعتی در منطقه قرار گیرد.

* پیشنهاد می‌شود اثر تصمیماتی که شدت مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در مدل وارد شده و تحلیل گردد. همچنین اثر تخریب خاک در مدل تبیین و فرمول‌بندی گردد.

* پیشنهاد می‌گردد تأثیر فعالیت کشورهای همجوار در تغییرات ظرفیت تحمل زیستی منطقه مورد مطالعه قرار گیرد و اثرات آن با استفاده از مدل پویایی شناسی سیستم مورد تحلیل قرار گیرد تا به غنای تحلیلی مدل کمک نماید.

* بررسی اثرات متغیرهایی مانند توسعه خوشه‌های صنعتی در مجاورت منطقه آزاد ارس

و تأمین آب شرب کلان شهر تبریز می‌تواند به ایجاد یک مدل جامع‌تر برای توسعه صنعتی منطقه آزاد ارس کمک نماید.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. UNIDO
2. Inclusive and Sustainable Industrial Development (ISID)
3. system dynamics
4. Dynamic hypothesis
5. Sustainable Development Goals (SDGs)
6. Inclusive and Sustainable Industrial Development (ISID)
7. Industrial Ecology
8. Industrial Symbiosis
9. vensim
10. carrying capacity
11. Liebig law of the minimum
12. Sen index
13. Root mean square percent error

۷- منابع

[1] Aras Free Zone Organization, (2010). "Charter of Aras Free Trade Zone development".

[2] Water resources statistics of East Azerbaijan province, (2019). "Regional water company of East Azerbaijan province".

[3] Brundtland, Gro Harlem and Mansour Khalid, (1987). "Report of the World Commission on Environment and Development, United Nations Document: A/42/427.

[4] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2014). "Annual Report", p.20. ISSN 1020-7651. Distribution: GENERAL IDB.43/2-PBC.31/2

[5] Frosch ,R.A. and N. E. Gallopoulos, (1989). "Strategies for manufacturing" ,Scientific American, 261(September): 144–152.

[6] Ayres, R. U , (1989). "Industrial metabolism. In Technology and the environment", edited by J. H. Ausubel and H. E. Sladovich. Washington: National Academy Press.

[7] Chertow, M. R, (2000). "Industrial symbiosis: Literature and taxonomy", Annual Review of Energy and the Environment, 25: 313–337.

[8] Ehrenfeld, J. R. and N. Gertler, (1997). "The evolution of interdependence at Kalundborg" Journal of Industrial Ecology , 1:67–80

[9] McIntyre, R.; Thornton, J. (1978). "On the environmental efficiency of economic systems". Soviet Studies. 30 (2): 173–192.

[10] Rees E.,W. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity:whaturban economics leaves out. Environment and UrbanizationVolume: 4 issue: 2, page 121.

[11] Radzicki, M & Taylor, R, (2008). "Origin Of System Dynamics :Jay W. Forrester And the History of System Dynamics", In US Department of Energy›s Introduction to System Dynamics, Retrieved 23 Octobr 2008.

[12] Zahedi S, Najafi G, (2006). "Sustainable Development ,A New Conceptual Framework", IQBQ.10(4):43-76 First Edition, Tehran, Organization for the Study and Compilation of Humanities Books of Universities.

[13] Cowell, S. J., & Parkinson, S, (2003). "Localisation of UK food production: an analysis using land area and energy as indicators. Agriculture", Ecosystems & Environment, 94(2): 221-236.

[14] Rayat Pisha, Saeed, Ahmadi Kahnali, Reza, Abbasnejad, Tayebeh, (2016). "Applying a hybrid qualitative approach to provide a comprehensive model for supply chain sustainability assessment", Modern Research in Decision Making, 1 (1), 139-166

[15] XuJ., Kang J., ShaoL., Zhao T, (2015). "System dynamic modelling of industrial growth and landscape ecology in China" , Journal of Environmental Management,161

[16] Rajabi.A, Moosavi.M, (2013). "Appraisal and calculate productivity of the industrial groups with applying of system dynamics approach in 1404 horizon", Management Research in Iran,Volume 17, Number 3, Pages 111

[17] ZhaoY., Shang J., ChenC., Wu H, (2008). "Simulation and evaluation on the eco industrial system of Changchun economic and technological development zone", China. Environmental Monitoring and Assessment , Dordrecht 139 , 339-49.

[18] Karami.H, Mohamadi.A, Ranaee.H, Abbasi.A, (2017). "Investigating Effects of

SMEs Formation on Investment Growth", Management Research in Iran, Volume 21, Number 2, Pages 89-112

[19]Salehi, Mojtaba, Atefi, Fereshteh, Ahmadian, Shabnam, (2020). "Capacity planning for production and reproduction in a closed loop supply chain according to customer behavior using the system dynamics approach", Modern Research in Decision Making, 5 (4), 20-38.

[20] Sterman, John D , (2000). " Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world". McGraw Hill, ISBN 0-70-231135-5.

[21] Cobb,C.W., Douglas, P. H, (1928). "A Theory of Production", American Economic Review , 18: 139–165. JSTOR 1811556. Retrieved 26 2016.

[22] Hui, C, (2006). "Carrying Capacity, Population Equilibrium, and Environment's Maximal Load". Ecological Modelling, 192, 317-320.

[23] Gorban, Alexander & Pokidysheva, Lyudmila & Smirnova, Elena & Tyukina, Tatiana, (2010). "Law of the Minimum Paradoxes", Bulletin of mathematical biology , 73. 2013-44.

[24] ZahediAmiri, G. H. & N. Zarghami, (2015). "Carbon sequestration in earthly ecosystems, Publication of Tehran University, Tehran, 524 p.

[25] Sen, Amartya, (1973). "On Economic Inequality (expanded ed.). Oxford New York: Clarendon Press Oxford UniversityPress.

[26] Shahiki Tash, M, (2013). "Cardinal Welfare Assessment and Evaluation of the Effect of Macro Variables on Welfare Changes in Iran Based on Fuzzy Regression", Research and Economic Policies Spring , No. 65, page(s): 165 to 182.

[27] Conceicao, Pedro NMI2; Ferreira, Pedro M, (2020). "The Young Person's Guide to the Theil Index: Suggesting Intuitive Interpretations and Exploring Analytical Applications",SSRN Electronic Journal, ISSN 1556-5068.