

مدل سازی انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز در صنایع تولیدی با استفاده از تحلیل پویایی سیستم

مریم نایچی (کارشناس ارشد)

جعفر باقری نژاد* (دانشیار)

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه الزهراء

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۳۹۹)
دوری ۱-۲۶، شماره ۱/۱، ص ۱۸-۳

امروزه با وجود این که زنجیره‌ی تأمین سبز یکی از راهبردهای اساسی دولت‌ها و مزیتی رقابتی برای شرکت‌هاست، موانع و مشکلات فراوانی در انتشار و گسترش آن در میان صنایع تولیدی وجود دارد. وجود ذی‌نفعان مختلف با اهداف متفاوت و متناقض به همراه طیف گسترده‌یی از عوامل تأثیرگذار که دارای اثرات متقابل و غیرمستقیم‌اند، دو ویژگی اصلی این مسئله است. این پژوهش با استفاده از ابزارهای تحلیل پویایی سیستم، تعاملات میان ذی‌نفعان کلیدی شامل دولت، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان را به صورت کمتی و پویا مدل سازی کرده است و الگوی انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز را تشریح خواهد کرد. مدل پیشنهادی ضمن تجزیه و تحلیل انواع روابط بازخوردی و علی بین ذی‌نفعان کلیدی، روند انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز را در گذر زمان بررسی می‌کند. نتایج شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت مدل در صنعت خودروسازی ایران نشان می‌دهد که پارانه‌ی مصرف‌کننده و بهای تولید محصول سبز اثر به مراتب بالاتری نسبت به پارانه‌ی تولیدکننده و حساسیت ترجیح مصرف‌کننده در گسترش زنجیره‌ی تأمین سبز دارد.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز، تحلیل پویایی سیستم، مدل سازی انتشار، شبیه‌سازی زنجیره‌ی تأمین.

maryamnaeiji@yahoo.com
jbagheri@alzahra.ac.ir

۱. مقدمه

در چند دهه‌ی اخیر شرکت‌ها و سازمان‌ها تلاش کرده‌اند تا به منظور افزایش توان رقابتی و ارائه‌ی محصولاتی با کیفیت بهتر و هزینه‌ی کمتر، فرایندهای داخلی را استاندارد کنند و کارایی خود را افزایش دهند. در ادامه با افزایش انتظارات مشتریان، شرکت‌های تولیدی دریافته‌اند که مواد و خدمات دریافتی از تأمین‌کنندگان، تأثیر بسزایی در افزایش توانمندی‌های سازمان و تأمین نیازمندی‌های مشتریان دارد و این مهم منجر به ایجاد رویکردهای «مدیریت زنجیره‌ی تأمین» شد.^[۱] با گذشت زمان اما صنعتی شدن جوامع بشری منجر به بروز معضلات و مشکلاتی در زمینه‌ی محیط زیست، سلامت انسان‌ها، از بین رفتن منابع و آلودگی محیطی شد، تا آن جایی که این موضوع مانع اصلی و اساسی رشد و توسعه‌ی کشورها شناخته شده است و حتی به عنوان مانع توسعه یافتگی قلمداد می‌شود.^[۲] امروزه مدیریت محیطی با تأکید بر حفاظت از محیط زیست به یکی از مهم‌ترین مسائل مشتریان، سهامداران، دولت‌ها، کارکنان و رقبا تبدیل شده است و فشارهای جهانی سازمان‌ها را ملزم به تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط زیست

کرده است. حرکت به سمت مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز (GSCM)،^۱ باعث نیل به سطح بالاتری از بهره‌وری برای تأمین نیازهای جامعه شده است و هم‌زمان به سه موضوع اصلی محیط زیست، کیفیت و سودآوری توجه می‌کند.^[۳] با آشکار شدن ضرورت حفظ محیط زیست، فعالیت‌های مرتبط با GSCM در مناطق و صنایع مختلف انجام شده و در حال توسعه است که به آن انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز گفته می‌شود. به عبارت دیگر، انتشار GSCM فرایند گسترش آن در میان یک نوع خاص از صنایع تولیدی است که در گذر زمان و از طریق کانال‌های مشخص انجام می‌شود.^[۴،۵] دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی همواره تلاش کرده‌اند تا با سیاست‌گذاری‌های مختلف و تدوین راهبردهای گوناگون، شرایط لازم برای گسترش و انتشار GSCM در میان شرکت‌های تولیدی را تسهیل سازند؛ اما تجربه‌های آن‌ها در صنایع و کشورهای مختلف به نتایج متفاوتی منجر شده و در بسیاری از موارد به اهداف برنامه‌ریزی شده نرسیده است.^[۶،۷] پس این پژوهش تلاش دارد تا الگوی اجرا و انتشار GSCM در شرکت‌های تولیدی را به صورت کمتی و ریاضی مدل کند و تأثیر عوامل مختلف را اندازه‌گیری کند.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۱/۴/۱۳۹۷، اصلاحیه ۲۷/۱/۱۳۹۸، پذیرش ۲۹/۲/۱۳۹۸.

DOI:10.24200/J65.2019.50623.1873

بخش دوم این مقاله، با بیان پیشینه‌ی تحقیق، عوامل مؤثر در مدل را از پیشینه‌ی

موضوع استخراج می‌کند. در بخش سوم، نحوه‌ی مدل‌سازی مسئله و انتخاب راهبرد ذی‌نفعان تشریح خواهد شد. اعتبارسنجی مدل و چگونگی اجرای آن در میان شرکت‌های خودروسازی ایران به‌عنوان یک مطالعه موردی، در بخش ۴ ارائه خواهد شد. در بخش ۵ نیز حساسیت نتایج به متغیرهای مدل تحلیل خواهد شد.

۲. مرور پیشینه تحقیق

مرور پژوهش‌های پیشین در حوزه‌ی این موضوع نشان می‌دهد که همراه با افزایش نگرانی‌ها از محیط زیست، مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز به مسئله‌ی اساسی دولت‌ها و دستگاه‌های اقتصادی تبدیل شده و بر اساس تحقیقات انجام شده، تعداد مقالات منتشر شده در این حوزه نیز افزایش یافته و از ۵۰ مقاله در مجله‌های علمی در سال ۲۰۰۷ به ۲۱۲ مورد در سال ۲۰۱۲^[۳] و ۲۵۸ مورد در سال ۲۰۱۶ رسیده است. در سال‌های اخیر برخی از محققان با دسته‌بندی مقالات مطرح در این حوزه، پنج حوزه‌ی مطالعاتی GSCM را این‌گونه معرفی کردند: ۱. توسعه‌ی نظریه‌ها، تعاریف و مفاهیم، ۲. مطالعات تجربی و آزمون فرضیه‌ها، ۳. اندازه‌گیری و ارزیابی روندها، ۴. راهبردها، برنامه‌ها و موانع اجرایی و ۵. مدل‌سازی، بهینه‌یابی و حل مسائل عملیاتی.^[۴] بخش عمده‌یی از پژوهش‌های صورت گرفته در سه دسته‌ی اول بوده است و اگرچه در سال‌های اخیر مطالعات صورت گرفته پیرامون دو حوزه‌ی بعدی رشد قابل توجهی داشته‌اند، اما هم‌چنان خلأهای تحقیقاتی در آن مشاهده می‌شود؛ به گونه‌یی که سارکیس و همکاران^[۸] انتشار GSCM را به‌عنوان یک موضوع تحقیقاتی مفید در آینده معرفی کرده‌اند.

برخی از محققان با استفاده از ابزارهایی همچون تحلیل آماری، بازی‌های تکاملی و انتشار نوآوری، مطالعاتی را در این خصوص انجام دادند. جدول ۱ مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در حوزه‌ی انتشار GSCM را بیان می‌کند. نکته‌ی قابل دریافت از این مقالات آن است که انتشار GSCM و اجرای آن در میان تولیدکنندگان، طیف گسترده‌یی از ذی‌نفعان همچون دولت، صنایع تولیدی، تأمین‌کنندگان مواد اولیه، مصرف‌کنندگان و رسانه‌های ارتباطی را شامل می‌شود که هر یک از آن‌ها دارای اهداف متفاوت و گاهی متناقض هستند. مسلماً رفتار هر یک از این ذی‌نفعان تأثیر متفاوتی در میزان انتشار GSCM دارد.^[۹] جدول ۲ ذی‌نفعان را به همراه نحوه‌ی تأثیر آن‌ها در انتشار GSCM نشان می‌دهد.

بر اساس مرور پیشینه‌ی انجام شده، کمبود مدل‌های محاسباتی و کمی به‌منظور تجزیه و تحلیل رفتار تمام ذی‌نفعان و ارزیابی عوامل و پارامترهای تأثیرگذار در انتشار GSCM نمایان شد. ساز و همکاران^[۵] میزان تأثیر ذی‌نفعان مختلف را در اجرای GSCM با استفاده از اثر شلاق چرمی اندازه‌گیری کردند. برخی از محققان با انتخاب یک زوج از ذی‌نفعان و بهره‌گیری از نظریه‌ی بازی‌های تکاملی، شرایط اجرا و انتشار GSCM را بررسی کردند. زوو و دوو^[۶] تعامل میان دولت و شرکت‌های اصلی، براری و همکاران^[۷] تعامل بین تولیدکننده و خرده‌فروش و تیان و همکاران^[۴] تعامل میان دولت و تولیدکنندگان را مدل‌سازی کردند. علاوه بر این، تجربه‌های قبلی در کشورهای مختلف نشان داده است که میزان موفقیت در انتشار GSCM به شدت وابسته به محیط صنعتی، اقتصادی و اجتماعی کشورهاست.^[۹] تاکنون مطالعه‌ی مشابهی در ایران صورت نگرفته است. پس این پژوهش تلاش دارد تا با استخراج پارامترها و ویژگی‌های اصلی در موضوع انتشار GSCM و استفاده از ابزارهای مهندسی، تعاملات میان طیف گسترده‌تری از ذی‌نفعان کلیدی را به‌صورت کمی و پویا مدل‌سازی کند

و الگوی انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز را در محیط حاکم بر کشور ایران تشریح نماید.

۳. مدل‌سازی انتشار GSCM در صنایع تولیدی

۱.۳. مدل‌سازی مسئله با رویکرد تحلیل پویایی سیستم

طیف گسترده‌یی از ذی‌نفعان در اجرای زنجیره‌ی تأمین سبز تأثیرگذار هستند و رفتارها و ارتباطات میان آن‌ها تأثیر چشم‌گیری در موفقیت یا شکست این فرایند اجرایی دارد. در این قسمت تلاش شده است تا با ارائه‌ی یک سیستم کمی و پویا، تعاملات میان ذی‌نفعان کلیدی مدل شده و الگوی انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز تشریح شود.

همان‌گونه که در قسمت مرور پیشینه و جدول ۱ مطرح شد، تعداد متغیرهای تأثیرگذار در مسئله‌ی انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز زیاد هستند. جدول ۲ مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار (مشوق یا مانع) در انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز را نشان می‌دهد. عوامل ذکر شده در این جدول دارای همبستگی‌اند و به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند. در این شرایط سؤالی که در موضوع انتشار GSCM مطرح می‌شود آن است که با وجود این عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری شرکت‌های تولیدی، آیا آن‌ها به سمت پیاده‌سازی زنجیره‌ی تأمین سبز حرکت می‌کنند یا خیر؟ برای پاسخ‌گویی به این سؤال باید از رویکردی استفاده کنیم که توانایی‌های زیر را دارا باشد:

- توانایی مدل‌سازی ساختار پیچیده و بازخوردی: تعداد و تنوع عوامل تأثیرگذار در انتشار GSCM زیاد است و این عوامل به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم از یکدیگر تأثیر می‌پذیرند.
- لحاظ کردن عامل زمان در مدل: انتشار GSCM فرایندی زمان‌بر است. از این رو مدل پیشنهادی باید بتواند در گذر زمان، رفتارهای مختلف را حفظ و تحلیل کند.

پویایی‌شناسی به دلیل برخورداری از دو ویژگی اصلی، رویکرد مناسبی برای بررسی و مدل‌سازی این‌گونه ساختارهاست؛ آن‌ها تغییرات را در طول زمان بررسی می‌کنند و در ویژگی دوم، امکان بازخورد و دریافت اطلاعات را فراهم می‌کنند.^[۱۴] مدل‌های پویا به درک ساختارهای بازخوردی و ارتباط میان ذی‌نفعان کمک می‌کنند. گام‌های اصلی در استفاده از این رویکرد را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد.^[۱۵]

- تعریف مسئله
- توصیف سیستم
- ایجاد مدل
- اعتبارسنجی مدل
- استفاده از مدل برای تجزیه و تحلیل سیاست‌ها (شبیه‌سازی و محاسبات عددی در مورد مسئله‌ی مورد نظر).

در بخش اول مقاله، مسئله مورد بررسی تشریح شد. در ادامه با استخراج پارامترهای ضروری و ارتباطات میان اجزا، چارچوب مدل توصیف می‌شود و با بررسی رفتار ذی‌نفعان، مدل مورد نظر ایجاد و اعتبارسنجی خواهد شد.

جدول ۱. مهم ترین مطالعات صورت گرفته با موضوع انتشار GSCM.

نویسندگان	هدف مقاله	ابزار مورد استفاده	ذی نفعان درگیر	موضوع
Zhu and Sarkis [۱۰]	استخراج محرک ها	پرسش نامه و تحلیل ANOVA	-	با مطالعه ی صنایع کشور چین، ۵ محرک اصلی برای انتشار GSCM در شرکت ها را به صورت زیر بیان کردند: • قوانین و مقررات • رقبا • بازار و مصرف کنندگان • عوامل داخلی • تأمین کنندگان
Zhu et al [۱۱]	استخراج محرک ها	تحلیل ANOVA و آزمون t	-	با بررسی صنایع کشور چین و تحت تأثیر محرک های انتشار GSCM، ۴ راه اصلی برای انتقال GSCM به صورت زیر شناسایی شد: • مشارکت بخش خصوصی • سازمان های حرفه ای • تأمین کنندگان • سیاست های دولتی
Hezan et al [۱۲]	ارتباط مزیت رقابتی شرکت با GSCM	پرسش نامه و تحلیل ANOVA	-	به موضوع GSCM از منظر یک نوآوری نگاه کردند و ارتباط بین اقدامات زنجیره ی تأمین سبز (مانند بازیافت و تدارک سبز) را با مزیت های رقابتی از طریق تحلیل ANOVA بررسی کردند. آن ها در نهایت با استفاده از نظریه ی انتشار نوآوری به این نتیجه رسیدند که اجرای GSCM لزوماً منجر به ایجاد مزیت رقابتی نخواهد شد.
Zhu and Dou ^[۶]	بررسی شرایط اجرای GSCM	نظریه ی بازی های تکاملی	دولت و شرکت های بزرگ	با بهره گیری از بازی های تکاملی، مدلی را بین دولت و شرکت های اصلی طراحی کردند و هزینه ها و درآمدهای ناشی از اجرای GSCM را برآورد کردند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که انتشار GSCM، تحت تأثیر هزینه ها و منافع ناشی از اجرای آن مانند پارانها و جریمه های دولتی است.
Barari et al [۷]	بررسی منافع تولید و توزیع محصول سبز	نظریه ی بازی های تکاملی	تولید کنندگان و خرده فروشان	یک مدل بازی تکاملی را بین تولید کننده و خرده فروش ایجاد کردند و از این طریق، همگرایی بین منافع تجاری و زیست محیطی را تحلیل نمودند. طبق نتایج این تحقیق، گسترش فعالیت های سبز در شرایطی انجام می شود که تمرکز شرکت ها برای بیشینه کردن سود اقتصادی استفاده از محصول سبز باشد.
Xu et al [۱۳]	استخراج محرک ها	تحلیل ANOVA و آزمون Tukey	-	در این مقاله از طریق مرور پیشینه ی موضوع، ۳۲ عامل و محرک در انتشار GSCM معرفی شده و در ۵ دسته تقسیم شدند: • سیاست ها و قوانین دولتی • عوامل خارجی در زنجیره ی تأمین سبز • مقدار بازار محصول سبز • عوامل مالی و رقابت پذیری آن • عامل های عملیاتی و تولیدی
Tian et al [۲]	بررسی نحوه انتشار GSCM	بازی تکاملی و پویایی سیستم	دولت و تولید کنندگان	فرایند انتشار GSCM در میان صنایع خودروی چین بررسی شد. مدل مطرح شده در این مقاله با استفاده از یک ساختار بازی تکاملی، هزینه ها و عواید تولید کنندگان را در تعامل با دولت برآورد کرده و شرایط مختلف برای اجرا یا عدم اجرای GSCM در شرکت ها را بررسی کرده است.
Seles et al [۵]	تأثیر فشار ذی نفعان بر اجرای GSCM	اثر شلاق چرمی	مصرف کننده، تأمین کننده و دولت	اثر شلاق چرمی ناشی از فشارهای ذی نفعان بر اجرای مدیریت زنجیره ی تأمین سبز را بررسی کردند. برای مثال مصرف کنندگان نهایی فشارهای زیست محیطی را دریافت می کنند و از طرق مختلف مانند افزایش تقاضای محصول سبز، تحریم محصول مضر و تدوین قوانین و الزامات، تولید کننده و تأمین کنندگان را در جهت اجرای GSCM سوق می دهند. همچنین محققان نتایج مدل را بر روی یک شرکت ساخت باتری ماشین در برزیل بررسی کرده و به این نتیجه رسیده اند که اثر مصرف کنندگان بیشتر از سایرین است.

جدول ۲. متغیرهای تأثیرگذار و مرتبط با هر یک از ذی نفعان در مسئله ی انتشار GSCM.

نام ذی نفع	متغیر/ عامل تأثیرگذار	منبع
دولت مرکزی/ محلی	• یارانه ی پرداختی به تولیدکننده (مشوق تولید سبز) • یارانه ی پرداختی به مصرف کننده (مشوق مصرف سبز) • میزان جریمه کارخانجات آلاینده از سوی دولت	[۸-۶۴]
تولیدکنندگان	• بهای تولید و قیمت فروش محصولات سبز • درجه ی سبز بودن کالا نسبت به کالای معمولی • حجم سرمایه گذاری برای اجرای GSCM • تعداد تولیدکنندگان در صنعت مربوطه • سهم بازار محصول سبز و عادی	[۱۱۷-۵]
مصرف کنندگان	• اقبال عمومی به مصرف کالای سبز • تعداد کل مصرف کنندگان و نرخ رشد آن ها • میزان ترجیح مصرف کننده برای خرید محصول سبز	[۱۱۷، ۶۴]
تأمین کنندگان	• میزان همراهی تأمین کنندگان در تأمین مواد اولیه ی محصولات سبز • سطح توانایی تأمین کنندگان در تأمین ماده ی اولیه سبز و قیمت آن	[۱۳، ۱۰، ۸]
پیمان کاران	• سطح توانایی پیمانکاران در رعایت الزامات زیست محیطی • میزان انطباق تولیدات/ خدمات پیمانکاران با الزامات زیست محیطی	[۱۳، ۹]
رسانه های ارتباطی	• میزان تبلیغات رسانه ها در پوشش دهی خبرهای مربوطه • میزان تبلیغات رسانه یی در حفظ محیط زیست • میزان پیگیری تخلفات و اطلاع رسانی مربوطه	[۱۲، ۸]
عوامل داخلی شرکت ها	• احتمال اولیه برای اجرای GSCM • سطح تعهد شرکت به حفظ محیط زیست	[۱۳، ۶، ۵]
نهادهای مردمی و NGO ^۱	• میزان فشار و آگاهی افکار عمومی • شدت تأثیر خواسته ها و انتظارات نهادها	[۱۳، ۴]

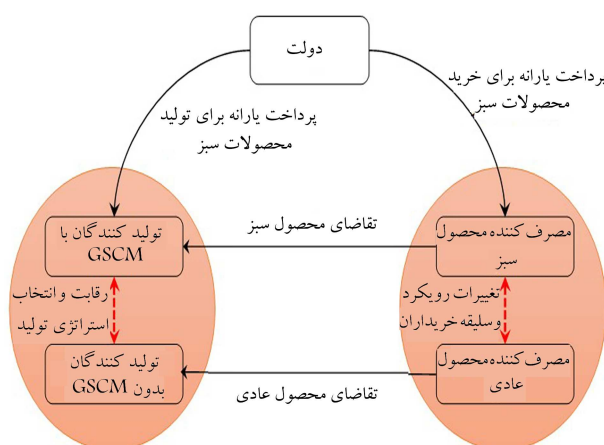
^۱ non – governmental organizations

۲.۳. چارچوب مدل و فرض های پویای مسئله

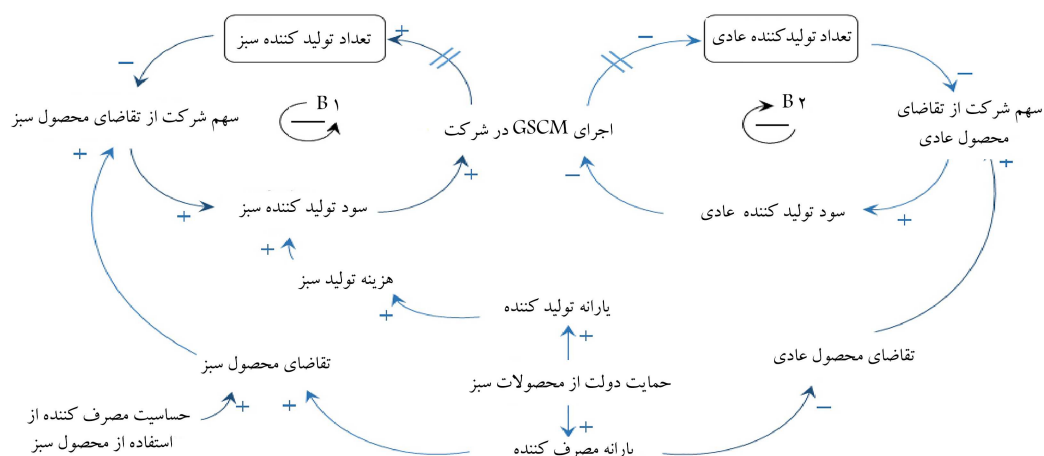
در هر صنعت تولیدی، تولیدکنندگان تصمیم گیرنده ی اصلی در اجرا یا عدم اجرای زنجیره ی تأمین سبز هستند که رویکرد آن ها به طور عمده تحت تأثیر ۳ عامل زیر قرار دارد. [۱۲، ۶، ۴] شکل ۱ ارتباط بین این عوامل را نشان می دهد.

• سیاست های دولت: پرداخت یارانه (یا کاهش مالیات و عوارض) برای محصولات سبز، ابزار اصلی دولت ها برای انتشار محصولات سبز است که عموماً به مصرف کنندگان نهایی یا تولیدکنندگان این کالاها اعطا می شود.

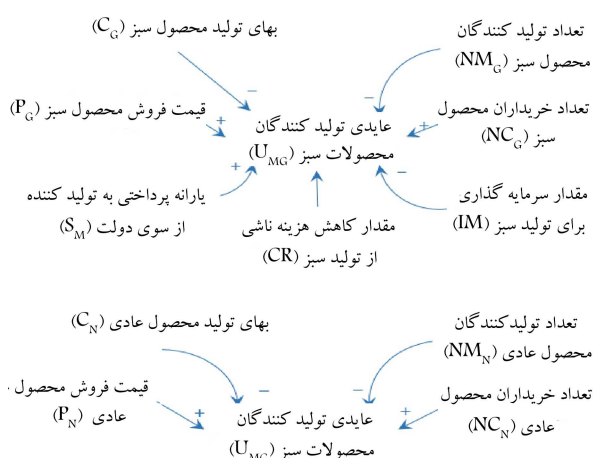
• گرایش مصرف کنندگان به انتخاب محصولات سبز: دیدگاه مصرف کنندگان نهایی در خصوص خرید و حمایت از محصولات سبز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در تصمیم نهایی تولیدکنندگان است. [۱۸، ۱۷] معمولاً بهای تمام شده و به تبع آن قیمت فروش محصولات سبز بالاتر از محصولات عادی است و میزان حساسیت مصرف کنندگان به این اختلاف قیمت، تأثیر زیادی بر انتشار GSCM دارد [۱۷] و



شکل ۱. چارچوب مدل و ارتباط میان ذی نفعان در انتشار GSCM.



شکل ۲. نمودار علت و معلولی از فرضیه پویایی مدل و رابطه‌ی بین اجزای آن.



شکل ۳. نمودار علت و معلولی از عایدی تولیدکنندگان سبز و عادی.

- شرایط تولیدکنندگان در تولید، فروش و سود هر یک از محصولات سبز یا عادی یکسان است. بدین معنا که بهای تولید، قیمت فروش و سود محصولات برای همه‌ی تولیدکنندگان یکسان است. بنابراین تعداد کل مشتریان در هر گروه، به نسبت مساوی در میان تولیدکنندگان آن گروه از محصول تقسیم می‌شود.

۳.۳. انتخاب راهبرد هر یک از ذی‌نفعان در GSCM

۱.۳.۳. انتخاب بهینه برای تولیدکننده

همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است، تولیدکنندگان دو راهبرد در قبال GSCM دارند. در راهبرد اول شرکت‌ها با طراحی محصولات سازگار با محیط زیست و استقرار فرایند تولید پاک، GSCM را اجرا می‌کنند که از این پس با حرف G نشان داده می‌شود. راهبرد دیگر تولیدکنندگان نیز آن است که الزامات GSCM را اجرا نکنند که در این مقاله به اختصار با حرف N نشان داده می‌شود. از میان این دو راهبرد، تولیدکننده گزینه‌ی را انتخاب خواهد کرد که عایدی بیشتری را برای او به همراه داشته باشد. اگر عایدی مورد انتظار از اجرای GSCM را با U_{MG} و عایدی مورد انتظار از عدم اجرا را با U_{MN} نشان دهیم، تولیدکننده آن راهبرد را انتخاب می‌کند که عایدی بیشتری را نصیب او سازد. شکل ۳ نمودار علت و معلولی عایدی تولیدکنندگان سبز و عادی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی عایدی انتظاری یک تولیدکننده‌ی سبز را می‌توان تحت تأثیر دو گروه از عوامل داخلی و خارجی تعیین کرد. عوامل داخلی عبارت‌اند

این مهم خود ناشی از سطح آگاهی و دانش مردم و عملکرد کمپین‌ها و تبلیغات عمومی است.

- رقابت بین تولیدکنندگان: با اجرای GSCM در میان برخی از تولیدکنندگان، رقابت میان این دو طیف ایجاد خواهد شد. بی‌شک اجرای GSCM بر نشان تجاری و اعتبار شرکت مؤثر است و از طرفی با توجه به تغییر بهای تمام شده‌ی محصولات، ممکن است سهم بازار آن را دچار تغییر سازد.^[۱۹]

پس از شناسایی متغیرهای اصلی مسئله، باید مدل پویای مسئله را به گونه‌ی بسازیم که رفتار سیستم را به خوبی نشان دهد. شکل ۲ این فرضیه‌ی پویایی را در قالب نمودار علت و معلولی نشان می‌دهد که شامل دو حلقه‌ی بازخوردی و بسته است. در حلقه‌ی B۱ با اجرای GSCM در یک شرکت، تعداد تولیدکنندگان محصول سبز افزایش می‌یابد و در صورت ثابت بودن تقاضا، سهم شرکت از بازار محصول سبز و به تبع آن سود انتظاری کاهش می‌یابد که عاملی بازدارنده در انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز است. در حلقه‌ی منفی B۲ نیز ملحق شدن یک تولیدکننده به شرکت‌های سبز، موجب افزایش فروش و سود سایر تولیدکنندگان عادی می‌شود. بنابراین دولت مجبور است با اعمال سیاست‌هایی، بخش تقاضا یا تولید محصول سبز را تحریک و تشویق کند. از یک سو پرداخت یارانه به تولیدکنندگان سبز موجب افزایش سود آن‌ها و تشویق سایر تولیدکنندگان می‌شود و از سوی دیگر، پرداخت مستقیم یارانه به مصرف‌کننده تقاضای محصول سبز را افزایش و تقاضای محصول عادی را کاهش می‌دهد. بدون شک هر دو سیاست تأثیر مستقیم بر انتشار GSCM دارد؛ اما شدت اثر آن‌ها قابل پیش‌بینی نیست.

هدف این پژوهش مدل‌سازی نحوه‌ی انتشار GSCM در میان تولیدکنندگان یک نوع از محصول است و تلاش دارد تا با تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر این سیستم، راه‌های گسترش این رویکرد را بررسی کند. به این منظور سناریوها و مفروضات زیر برای سهولت در امر مدل‌سازی در نظر گرفته شده است:

- تعداد کل تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان در طول دوره‌های زمانی ثابت است.
- هر تولیدکننده در هر دوره‌ی زمانی یک راهبرد خاص را انتخاب می‌کند و در انتهای هر دوره (یک سال کاری)، راهبرد خود را بازبینی می‌کند و در صورت نیاز راهبرد خود را برای دوره بعدی تغییر می‌دهد.
- تنوع محصولات تولید شده فقط در دو گروه سبز و عادی دسته‌بندی می‌شوند و محصولات تولیدکنندگان مختلف تفاوتی در ویژگی‌های ظاهری و کیفی ندارد.

از:

- قیمت فروش محصولات سبز (P_G) و قیمت فروش محصولات عادی (P_N)
- هزینه تولید محصولات سبز (C_G) و هزینه تولید محصولات عادی (C_N)
- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای اجرای GSCM (IM) مهم‌ترین عوامل خارجی نیز عبارت‌اند از:
- مقدار یارانه دولت به تولیدکننده (S_M)

• سهم بازار تولیدکننده: همان‌گونه که در مفروضات مدل ذکر شد، در این‌جا شرایط تمام تولیدکنندگان مشابه هم است و خریداران محصولات سبز به نسبت مساوی از تولیدکنندگان محصولات سبز خرید می‌کنند. بنابراین سهم بازار هر تولیدکننده از تقسیم تعداد خریداران محصول سبز (NC_G) به تعداد تولیدکنندگان محصولات سبز (NM_G) به دست خواهد آمد ($\frac{NC_G}{NM_G}$).

بنابراین عایدی مورد انتظار از اجرای GSCM برای یک تولیدکننده برابر است با:

$$U_{MG} = \frac{NC_G}{NM_G} (P_G - C_G + S_M) - IM \quad (1)$$

$$U_{MN} = \frac{NC_N}{NM_N} (P_N - C_N) \quad (2)$$

آنچه مسلم است این است که عایدی و سود یک تولیدکننده از اتخاذ یک راهبرد خاص، بر انتخاب راهبرد سایر تولیدکنندگان تأثیرگذار است و به این ترتیب تعداد تولیدکنندگان با یک راهبرد خاص در دوره‌های مختلف تغییر می‌کند. مثلاً اگر در یک دوره، تولیدکنندگان محصولات سبز سود بیشتری را نسبت به تولیدکنندگان محصولات عادی کسب کنند، در دوره‌ی بعد گرایش سایر تولیدکنندگان به اتخاذ راهبرد GSCM افزایش می‌یابد و تعداد تولیدکنندگان محصول سبز (NM_G) افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر اگر تعداد تولیدکنندگان محصول سبز افزایش یابد و با توجه به سیاست‌های تشویقی دولت و فرهنگ‌سازی عموم مردم، تعداد مصرف‌کنندگان متناسب با آن افزایش نیابد، سهم فروش تولیدکنندگان سبز و به تبع آن سود هر یک کاهش می‌یابد. در این شرایط گرایش تولیدکنندگان به اجرای GSCM کاهش خواهد یافت. این همان ویژگی پویایی سیستم است که در گذر زمان موجب تغییر راهبرد بهینه می‌شود و نیاز به مدل‌سازی از طریق پویایی‌شناسی سیستم را نمایان می‌سازد. بنابراین موضوع مورد بررسی در این قسمت، یک چرخه پویا^۲ است که در هر دوره‌ی زمانی تعداد تولیدکنندگان سبز متغیر خواهد بود. به بیان دیگر وقتی یک تولیدکننده راهبرد خود را تغییر می‌دهد، سایر تولیدکنندگان رفتار او را پایش و در گذر زمان راهبرد خود را روزآمد می‌کنند. بنابراین احتمال تغییر راهبرد یکی از تولیدکننده‌ها با توجه به عایدی به دست آمده از دو راهبرد مختلف به صورت زیر قابل تعریف است. رابطه‌ی ۳ ارزش انتظاری تغییر راهبرد تولیدکننده‌ی عادی به اجرای GSCM را بیان می‌کند و در صورتی مثبت است که اجرای GSCM عایدی بیشتری داشته باشد. به طور مشابه رابطه‌ی ۴ ارزش انتظاری تغییر راهبرد به تولید عادی محصولات است و فقط در شرایطی مثبت است که تولید محصولات عادی سود بیشتری را به همراه داشته باشد.

$$\phi(U_{MG} - U_{MN}) = \begin{cases} \frac{U_{MG} - U_{MN}}{U_{MN}} & U_{MG} \geq U_{MN} \\ 0 & U_{MG} < U_{MN} \end{cases} \quad (3)$$

$$\phi(U_{MN} - U_{MG}) = \begin{cases} \frac{U_{MN} - U_{MG}}{U_{MG}} & U_{MN} \geq U_{MG} \\ 0 & U_{MN} < U_{MG} \end{cases} \quad (4)$$

توضیحات و روابط بالا مشخص می‌کند که عایدی هر تولیدکننده با تعداد تولیدکنندگان در آن راهبرد ارتباط دارد. اگر نسبت تولیدکنندگان دارای راهبرد تولید سبز را با X_G و نسبت تولیدکنندگان عادی را با X_N نمایش دهیم ($X_G + X_N = 1$)، X_G و X_N تابعی از زمان (t) هستند. ویول^[۲] معادله‌ی یک رابطه‌ی پویای تکرار شونده را ارائه کرد که بر اساس آن نرخ تغییرات پویای نسبت تولیدکنندگان محصول سبز (\dot{X}_G) به صورت زیر قابل بیان است.

$$\dot{X}_G = X_G [\phi(U_{MG} - U_{MN}) - \phi(U_{MN} - U_{MG})] X_N \quad (5)$$

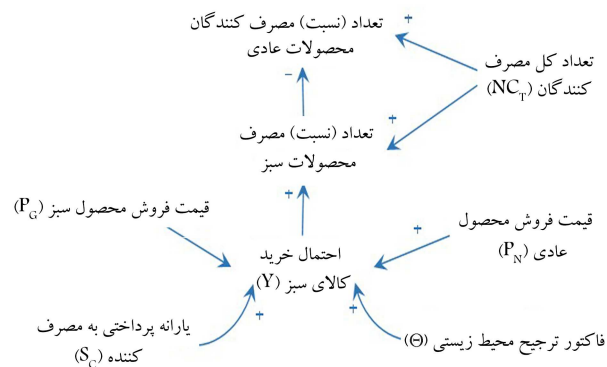
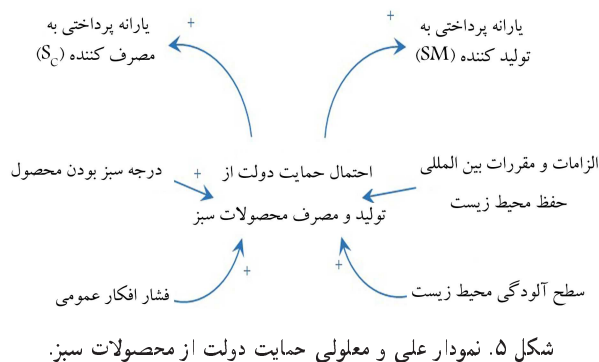
رابطه ۵ در واقع نرخ رشد نسبت تولیدکنندگان سبز را در طی دوره‌های زمانی نشان می‌دهد. اگر عایدی انتظاری تولید سبز بیش از محصول عادی باشد ($\phi(U_{MG} - U_{MN}) > 0$)، این نرخ رشد عددی مثبت است و متناسب با میزان اختلاف عایدی، نرخ رشد تغییر می‌کند. از طرف مقابل اگر عایدی تولید محصول عادی بیشتر باشد ($\phi(U_{MN} - U_{MG}) > 0$)، \dot{X}_G عددی منفی خواهد شد و تعداد تولیدکنندگان سبز کاهش خواهد یافت.

۲.۳.۳. انتخاب راهبرد بهینه برای مصرف‌کننده

همان‌گونه که در شکل ۱ ارائه شد، مصرف‌کنندگان با خریداران محصول با دو راهبرد مواجه هستند، خرید محصول سبز یا خرید محصول عادی. مسلماً آن‌ها نیز مشابه تولیدکنندگان، گزینه‌های ممکن را بررسی می‌کنند و با توجه به شاخص‌های مورد نظر خود، بهترین راهبرد را انتخاب می‌کنند. به طور کلی عایدی انتظاری مصرف‌کننده را می‌توان تحت تأثیر ۳ عامل زیر دانست:

- هزینه خرید محصول: اگر P_G و P_N به ترتیب قیمت فروش محصولات سبز و محصولات عادی باشد، مصرف‌کننده محصول ارزان‌تر را ترجیح خواهد داد.
- میزان ترجیح مصرف‌کننده به خرید محصول سبز: معمولاً قیمت محصولات سبز به دلیل به کارگیری مواد و تجهیزات خاص یا رعایت الزامات و استانداردهای بیشتر، بالاتر از محصولات عادی است. در این شرایط، ترجیحات زیست‌محیطی^۳ مصرف‌کنندگان در انتخاب نوع محصول نقش اساسی دارد و در این مدل به صورت یک توزیع یکنواخت با نماد $\theta \in [0, 1]$ نشان داده خواهد شد. برخی از مصرف‌کنندگان نگرانی‌ها و دغدغه‌های زیست‌محیطی بالایی دارند و حاضرند محصول سبز را با قیمت‌های بسیار بالاتر از محصول عادی خریداری کنند؛ برای این اشخاص عدد θ نزدیک به یک خواهد بود. از طرف دیگر اگر ملاحظات زیست‌محیطی اهمیت چندانی برای مصرف‌کننده نداشته باشد (θ) نزدیک به صفر، خرید او وابسته به نوع سبز یا عادی بودن محصول نیست و صرفاً قیمت خرید حائز اهمیت است. ذکر این نکته ضروری است که میزان ترجیح مصرف‌کنندگان به خرید کالای سبز، خود ناشی از فرهنگ عمومی جامعه، سطح آگاهی مردم و میزان تبلیغات صورت گرفته در این زمینه است. هرچه سطح آگاهی جامعه (تحصیلات، فرهنگ و آموزش) بالاتر باشد، رغبت مردم به خرید محصول سبز افزایش خواهد یافت.
- میزان یارانه‌ی دولت به مصرف‌کننده (S_G): با توجه به راهبردهای بلندمدت دولت‌ها، معمولاً برای خرید محصولات سبز یارانه (به شکل یارانه‌ی مستقیم، کاهش مالیات یا عوارض کم‌تر) تخصیص داده می‌شود که در انتخاب مصرف‌کننده مؤثر است.

از برآیند این ۳ عامل، نسبت و تعداد مصرف‌کنندگان محصولات سبز و عادی مشخص می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴. نمودار علی و معلولی تعداد نسبت مصرف کنندگان محصولات سبز و عادی.

در انتخاب این دو نوع محصول، نقطه سربه سر برای مصرف کننده جایی است که عایدی هر دو محصول یکسان باشد:

$$P_G = \frac{P_N + S_C}{(1 - \theta)} \quad (6)$$

در این رابطه اگر حساسیت (ترجیح) مشتری به استفاده از محصول سبز بالا باشد (θ نزدیک به یک)، مخارج کسر کوچک شده و خریدار، محصول سبز را با قیمت های بالاتر هم خواهد خرید. برعکس، اگر θ نزدیک به صفر باشد، اثر مخارج کسر کاهش می یابد و در شرایطی که مجموع قیمت کالای عادی و یارانه دولتی کم تر از قیمت محصول سبز باشد، خرید سبز برای مصرف کننده توجیه ندارد.

۳.۳.۳. سطح حمایت دولت از تولید و مصرف محصولات سبز

دولت نیز به عنوان یکی از ذی نفعان اصلی در انتشار GSCM، می تواند با اتخاذ سیاست های متنوع از تولید و مصرف محصولات سبز حمایت کند. حمایت از تولیدکنندگان می تواند به اشکال مختلف از جمله تخفیفات یا معافیت های مالیاتی، تأمین تسهیلات مالی مناسب، کاهش تعرفه های گمرکی مواد اولیه و تجهیزات تولید سبز و تسهیل تعاملات بین المللی با صنایع برتر خارجی بروز کند. از طرف دیگر برای تشویق تقاضا و خرید محصول سبز دولت می تواند با تقلیل بخشی از هزینه، تخفیف و معافیت عوارض و ارزش افزوده و سایر تشویق هایی که بسته به نوع محصول ارائه می کند، مردم را به خرید و مصرف محصولات سبز ترغیب کند. در این پژوهش انواع مختلف این سیاست ها جمع شده است و به دو شکل یارانه دولتی برای تولید و مصرف محصولات سبز وارد مدل خواهد شد.

شکل ۵ نمودار علی و معلولی از میزان حمایت و یارانه دولت به تولیدکننده (S_M) و مصرف کننده (S_C) سبز را نشان می دهد. الزامات و مقررات بین المللی، فشار افکار عمومی، سطح آلودگی های زیست محیطی و درجه سبز بودن محصول، همگی جزء عواملی هستند که به صورت مستقیم بر سطح حمایت دولت از محصولات سبز اثر می گذارند و با افزایش هر یک از این عوامل، میزان مشوق های دولتی افزایش خواهد یافت.

۴. شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل

بر اساس فرضیه ی پویای ارائه شده در بخش قبل، شکل ۶ مدل پویای مسئله ی انتشار GSCM در میان تولیدکنندگان محصولات را نشان می دهد. این نمودار جریان - حالت شامل دو متغیر حالت (تعداد تولیدکنندگان عادی و تعداد تولیدکنندگان سبز)، یک متغیر نرخ (نرخ انتشار GSCM در میان تولیدکنندگان) و تعدادی متغیر کمکی

و ثابت است که در یک افق زمانی ۵۰ ساله در نسخه ی DSS ۶/۴E نرم افزار Vensim PLE۳۲ شبیه سازی شده است. شبیه سازی مدل کمک می کند تا از طریق حل عددی معادلات، به رفتار ذی نفعان آگاه شویم. توضیحات مربوط به متغیرها، معادلات و واحدهای اندازه گیری بکار رفته در مدل نرم افزاری، در جدول A۱ پیوست شماره ۱ ارائه شده است. در واقع شکل ۶ بسط یافته ی مدل پویای ارائه شده در شکل ۲ است و جزئیات بیشتری از آن را نشان می دهد. همان گونه که در جدول ۲ بیان شد، عوامل متعددی در انتشار GSCM مؤثر هستند و مدل ارائه شده، مهم ترین عوامل مرتبط با ۳ ذی نفع اصلی را در درون مرز سیستم مدل می کند و سایر عوامل را در محیط خارج از سیستم قرار داده است. بنابراین متغیرهای اثرگذار بر حمایت دولت از تولید و مصرف محصول سبز مانند «سطح آلودگی محیط زیست»، «درجه سبز بودن محصول»، «الزامات و مقررات بین المللی» و «آگاهی افکار عمومی»، متغیرهای کیفی هستند که برای تکمیل مدل ذهنی در خارج از مرز مدل دیده شده اند و در چند مقیاس ترتیبی بر مدل تأثیر می گذارند.

در روابط ۶-۱ معادلات وارد شده برای زیرسیستم های مدل تشریح شد. همان گونه که در شکل ۶ دیده می شود، برای اجرای GSCM در شرکت های تولیدی، یک تابع تأخیر تعریف شده است که بیانگر زمان لازم برای استقرار تجهیزات و به کارگیری منابع و ظرفیت ها برای تولید سبز است.^[۹] در این مدل، این زمان طبق یک توزیع نرمال با میانگین ۲ سال، انحراف استاندارد ۰/۲ سال و حداکثر ۴ سال در نظر گرفته شده است. معادلات مربوط به متغیر جریان و دو متغیرهای حالت به صورت زیر است.

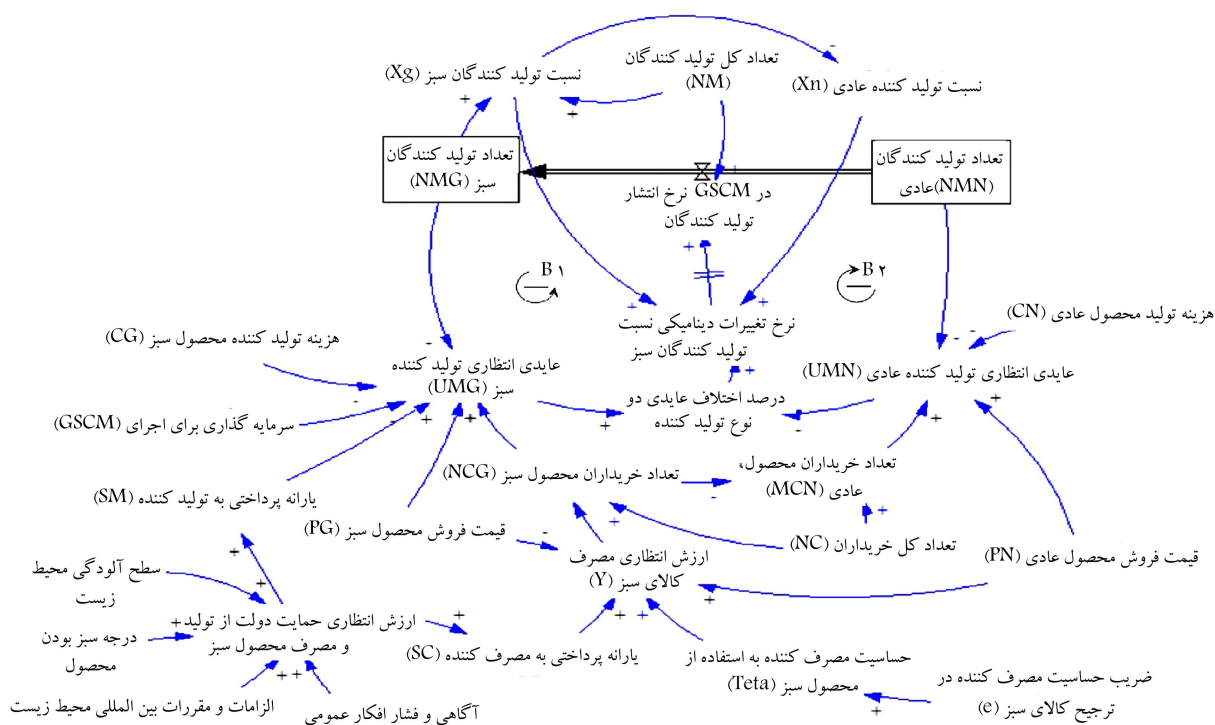
$$GSCM \text{ diffusion rate} = \text{DELAY FIXED}(NM \times \tilde{X}_G, \text{Random Normal}(0; 4; 2; 0.2; 0), NM \times \tilde{X}_G) \quad (7)$$

$$NMG = \text{Initial Value} + \text{INTEG}(GSCM \text{ diffusion rate}) \quad (8)$$

$$NMN = \text{Initial Value} - \text{INTEG}(GSCM \text{ diffusion rate}) \quad (9)$$

۱.۴. پیاده سازی مدل در صنعت خودروسازی ایران

از روزهای اولیه انقلاب صنعتی، مطالعه و مدیریت آلودگی در صنایع خودروسازی یک مسئله ی مهم برای جامعه و شرکت ها بوده است؛ زیرا دامنه ی آن بین المللی است.^[۲۱] شرکت های خودروسازی در سراسر جهان با فشارهای فزاینده یی در زمینه ی مسائل زیست محیطی مواجه هستند و صنایع خودروبی بر روی محیط طبیعی و انسانی در تمام مراحل چرخه ی عمر محصول تأثیر می گذارند.^[۲۲] بنابراین شرکت های خودروساز مجبور به کاهش آسیب های محیط زیست در کسب و کار خود هستند.



شکل ۶. نمودار جریان - حالت مدل انتشار GSCM در نرم افزار Vensim.

جدول ۳. مقادیر به کار رفته در شبیه سازی مسئله ی انتشار GSCM در یک گروه فرضی از صنایع خودروسازی.

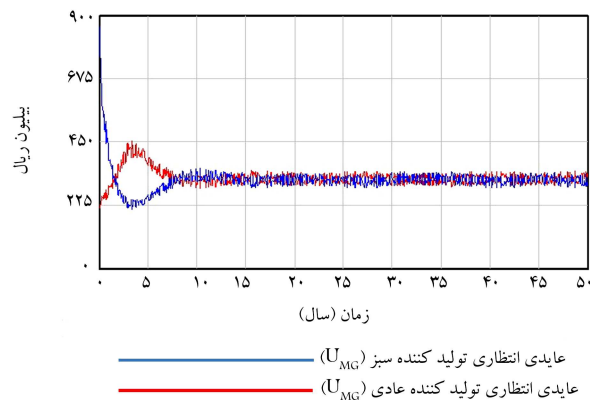
مقدار	نام متغیر
۲۶	تعداد کل تولیدکنندگان (MT)
۴	تعداد تولیدکنندگان سبز (NMG)
۲۲	تعداد تولیدکنندگان عادی (NMN)
یک میلیون نفر	تعداد کل خریداران در سال
۴۵ میلیون تومان	قیمت فروش محصول سبز (PG)
۴۰ میلیون تومان	بهای تولید محصول سبز (CG)
۴۰ میلیون تومان	قیمت فروش محصول عادی (PN)
۳۰ میلیون تومان	بهای تولید محصول عادی (CN)
۲۰۰۰ میلیون تومان	هزینه ی ثابت سرمایه گذاری سالانه برای اجرای GSCM
۳ از ۱۰	سطح آلودگی زیست محیطی
۳ از ۱۰	درجه ی سبز بودن محصولات سبز
۲ از ۱۰	الزامات و مقررات بین المللی
۲/۵ از ۱۰	آگاهی و فشار افکار عمومی
۱۰ میلیون تومان	بیشینه ی یارانه دولت برای تولیدکننده و مصرف کننده

حداقل باشد. با توجه به مقادیر اولیه ی وارد شده، شکل ۷ نتایج شبیه سازی مدل را به صورت تعداد تولیدکنندگان در گذر زمان نشان می دهد. نمودار بالا در این شکل، مربوط به میانگین تعداد تولیدکنندگان سبز و نمودار پایین میانگین تعداد تولیدکنندگان عادی است. ناحیه ی خاکستری رنگ نیز حدود بالا و پایین نتایج به دست آمده در ۱۰۰ بار شبیه سازی مدل را نشان می دهد. همان گونه که در این شکل مشخص است، در سال های اولیه با توجه به بالاتر بودن سود ناشی از تولید محصولات سبز،

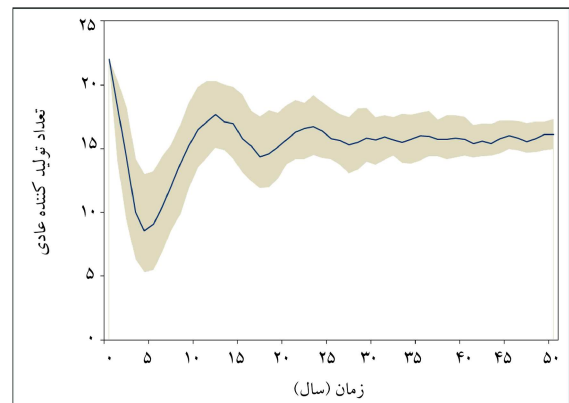
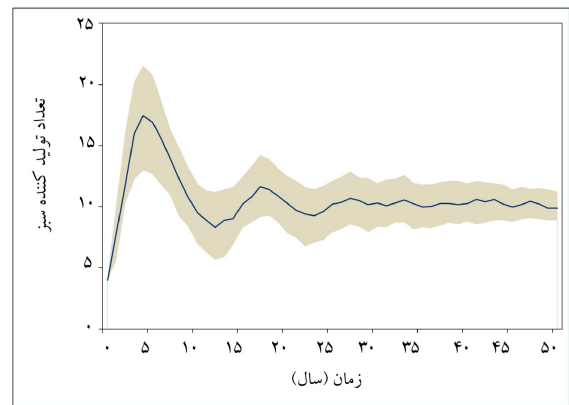
با افزایش آگاهی جهانی در ارتباط با نگرانی های زیست محیطی مانند گرمایش جهانی و مسائل مربوط به آن، صنعت تولید خودرو در ایران نیز تحت فشار گروه های حفاظت از محیط زیست، مؤسسات و در نتیجه قوانین زیست محیطی دولت است.^[۲۴،۲۳] پس شبیه سازی انجام شده در این قسمت تلاش دارد تا چگونگی انتشار GSCM را در میان شرکت های خودروسازی ایران تحلیل کند. صنعت خودروسازی ایران، پس از صنعت نفت بزرگترین صنعت در ایران است و هم اکنون با فعالیت ۲۶ شرکت خودروساز و تولید سالانه ی بیش از یک میلیون دستگاه خودرو، ایران بزرگترین خودروساز خاورمیانه است.

در این پژوهش از طریق مصاحبه با کارشناسان و خبرگان شرکت های ایران خودرو، سایپا و پارس خودرو، اطلاعات مورد نیاز استخراج شده و با مقداری ساده سازی مورد استفاده قرار گرفته است (قالب مصاحبه صورت گرفته در جدول A۲ و اطلاعات جمعیت شناختی مصاحبه شوندگان در اشکال B۲، C۲، A۲ و D۲ در پیوست شماره ۲ قابل مشاهده است). تعداد کل مصرف کنندگان خودرو در یک سال یک میلیون نفر برآورد شده است. با توجه به این که خودروهای سبز به طور متوسط ۳۰٪ مصرف انرژی را کاهش می دهند، درجه ی سبز بودن محصولات معادل آن در نظر گرفته شده است. هزینه ی تولید و فروش محصول سبز به ترتیب ۴۰ و ۴۵ میلیون تومان و هزینه ی تولید و فروش محصول عادی به ترتیب ۳۰ و ۴۰ میلیون تومان برآورد شده است. برای ضریب حساسیت مصرف کننده در ترجیح محصول سبز از توزیع یکنواخت در بازه [۰، ۱] استفاده شده است و فرض می شود که زمان مورد نیاز برای اعمال تغییرات در خط تولید و اجرای GSCM دارای توزیع نرمال با میانگین ۱ سال و انحراف استاندارد ۲/۰ سال باشد. سایر اطلاعات به کار رفته در این شبیه سازی در جدول ۳ ارائه شده است.

از آن جاکه در مدل پیشنهادی از توزیع های آماری استفاده شده است، شبیه سازی مدل به تعداد ۱۰۰ بار تکرار شد تا تأثیر متغیرهای تصادفی در نتایج به دست آمده



شکل ۸. میزان عایدی تولیدکننده سبز و عادی در گذر زمان.



شکل ۷. نتایج اولیه‌ی شبیه‌سازی مدل انتشار GSCM.

گرایش شرکت‌ها به اجرای GSCM افزایش و تعداد تولیدکنندگان سبز تا حدود ۱۷ شرکت افزایش می‌یابد. اما با گذشت زمان و افزایش تعداد شرکت‌های سبز، رقابت در این بازار افزایش می‌یابد و سهم هر یک از شرکت‌ها کاسته می‌شود. این موضوع سبب کاهش تعداد شرکت‌های سبز در چند سال می‌شود، به گونه‌ای که در سال ۱۲م اجرای مدل، این تعداد به ۸ شرکت کاهش می‌یابد. این رفتار نوسانی میرا ادامه پیدا می‌کند تا جایی که در نهایت تعداد شرکت‌های سبز در حدود ۱۰ شرکت ثابت می‌ماند. عکس این رفتار در مورد شرکت‌های عادی قابل بیان است که در شکل ۷ قابل مشاهده است. در واقع وجود حلقه‌های منفی B₁ و B₂ در نمودار جریان - حالت شکل ۲ مانع از شکل‌گیری روند مثبت یا منفی در این نمودارها می‌شود. همچنین تأخیر موجود در سیستم سبب بروز رفتار نوسانی می‌شود که با گذشت زمان شدت آن کاهش می‌یابد.

۲.۴. اعتبارسنجی مدل

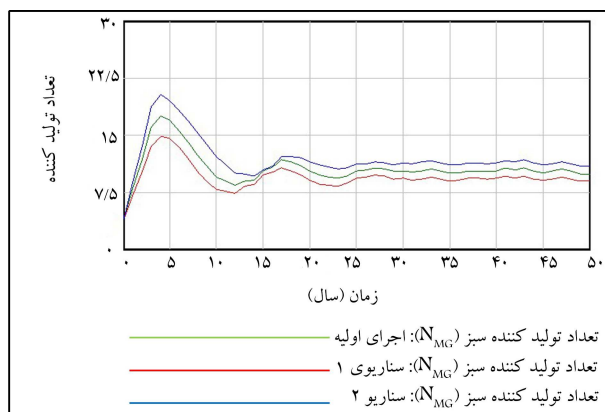
پژوهش‌گران معمولاً به منظور تحلیل سیستم‌های واقعی از مدل‌های شبیه‌سازی استفاده می‌کنند. ویژگی این مدل‌ها آن است که به مدل‌ساز این امکان را می‌دهد تا آزمایش‌های غیرممکن یا گران قیمت را بر آن‌ها انجام دهد. مدل‌های شبیه‌سازی باید بتوانند با بررسی مؤثرترین عوامل، رفتار سیستم واقعی را در ساده‌ترین حالت ارائه دهند. رایج‌ترین روش‌های اعتبارسنجی بکار رفته در ادبیات موضوع عبارتند از: [۲۵]

- روش کفایت مرزها: ^۴ متغیرهای تأثیرگذار در مسئله باید به صورت درون‌زا دیده شوند و محدوده‌ی زمانی به صورت مناسب در نظر گرفته شوند.

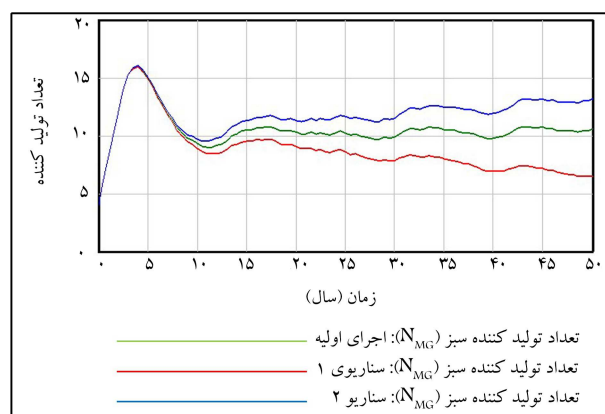
- روش ارزیابی ساختار: ^۵ ساختار مدل باید با قوانین و روندهای تصمیم‌گیری موجود در سیستم سازگاری داشته باشد.
- روش سازگاری ابعاد: ^۶ ابعاد معادلات مورد استفاده در مدل باید با یکدیگر سازگار باشند.
- روش ارزیابی پارامترها: ^۷ مقادیر عددی به کار رفته در پارامترهای مدل باید با داده‌های موجود در سیستم سازگار باشند.
- روش غایبی: ^۸ در صورتی که تغییرات ناگهانی و غیرمنتظره در برخی پارامترها ایجاد شود، مدل باید بتواند واکنش مناسب را نشان دهد.
- روش اعضای خانواده: ^۹ رفتار مدل باید با رفتارهای موجود در سایر سیستم‌ها مشابهت داشته باشد.
- روش تولید مجدد رفتار: ^{۱۰} مدل ایجاد شده باید بتواند داده‌های تاریخی را بازسازی و رفتار آن‌ها را تولید کند.
- روش تحلیل حساسیت: ^{۱۱} در صورتی که پارامترها، مرزها و بازه‌های زمانی تغییر کنند، مدل باید بتواند رفتار مناسب را نشان دهد.

در این پژوهش اعتبار ساختاری و ابعادی مدل با استفاده از نرم‌افزار Vensim بررسی شد که با تأیید نرم‌افزار همراه بود. همچنین به عنوان یک رفتار منطقی، انتظار می‌رود که در نقطه‌ی تعادلی سیستم، عایدی تولیدکننده‌ی سبز و عادی به یکدیگر نزدیک شود؛ زیرا در صورت ایجاد فاصله میان آن‌ها، تمایل تولیدکنندگان به حرکت در جهت سود بیشتر افزایش یابد. شکل ۸ میزان عایدی تولیدکننده‌ی سبز و عادی را در گذر زمان نشان می‌دهد. در چهار سال ابتدایی همراه با رشد تعداد تولیدکنندگان سبز، متوسط عایدی آنان کاهش می‌یابد و از طرف دیگر، سود شرکت‌های عادی افزایش پیدا می‌کند. رابطه‌ی عکس سود شرکت و تعداد تولیدکننده‌ی آن گروه تا انتهای دوره‌ی شبیه‌سازی ادامه پیدا می‌کند و به مرور زمان نوسانات میراتر می‌شود. نکته‌ی مهم آن است که در سال‌های آخر دوره سود شرکت‌ها به یکدیگر نزدیک و تعادل در سیستم برقرار می‌شود.

همچنین با تکرار فرایند شبیه‌سازی و تغییر ناگهانی مقادیر پارامترها، برخی دیگر از روش‌های اعتبارسنجی همچون روش غایبی بررسی شد که در شکل ۹ نتایج آن ارائه شده است. در شکل ۹ - الف افزایش قیمت فروش محصول سبز موجب افت شدید تعداد تولیدکنندگان سبز در نتایج شبیه‌سازی شده است و طبق انتظار پس از چند دوره در عدد صفر ثابت می‌شود. نتایج مشابه به دست آمده در شکل ۹ - ب و ۹ - ج، اعتبار مدل را در این روش تأیید می‌کند.



شکل ۱۰. شبیه سازی انتشار GSCM برای مقادیر مختلف یارانه ی تولیدکننده (S_M) .



شکل ۱۱. شبیه سازی انتشار GSCM برای تغییرات خطی یارانه ی تولیدکننده (S_M) .

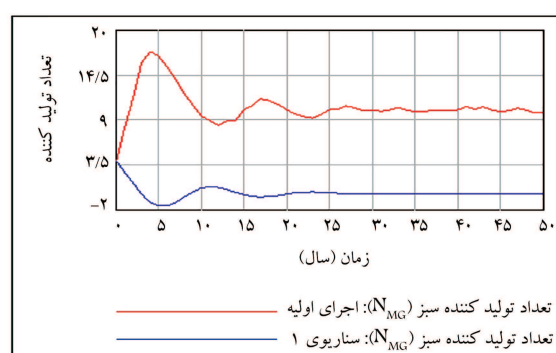
۱.۵. تحلیل حساسیت یارانه ی پرداختی به تولیدکننده (S_M)

همان گونه که در شکل ۶ مشخص است، مقدار یارانه ی پرداختی به تولیدکننده (S_M) وابسته به عوامل مختلفی در راهبرد دولت است. در این قسمت این عوامل به گونه یی تغییر یافته اند که مقدار S_M معادل ۲۰٪ پایین تر و ۲۰٪ بالاتر از مقدار اولیه باشد. شکل ۱۰ نتایج شبیه سازی ناشی از این دو سناریو را در مقایسه با حالت اولیه نشان می دهد (دو حالت به ترتیب با سناریوی ۱ و سناریوی ۲ نشان داده شده است). نتایج به دست آمده نشان می دهد که رفتار کلی مدل مشابه حالت اولیه است؛ با این تفاوت که در صورت کاهش ۲۰٪ یارانه ی پرداختی به تولیدکننده، تعداد نهایی تولیدکنندگان سبز حدود یک واحد کاهش می یابد و در صورت افزایش ۲۰٪ مقدار S_M ، این تعداد افزایش یک واحدی را شاهد خواهد بود.

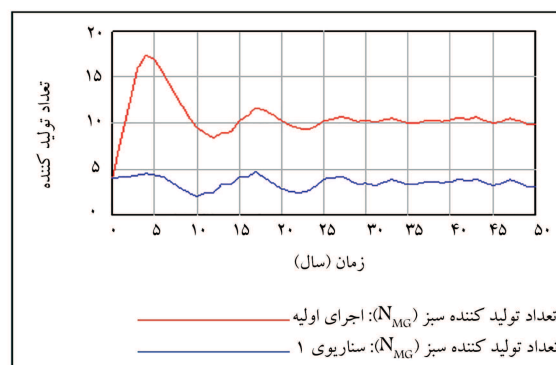
برای یارانه ی پرداختی به تولیدکننده، نوع دیگری از راهبرد نیز قابل تصور است؛ به این صورت که مقدار این یارانه به صورت خطی افزایش یا کاهش یابد. شکل ۱۱ نتایج اجرای مدل را در شرایطی که مقدار متوسط تغییرات این یارانه همان ۲۰٪ و روند آن به صورت خطی باشد، نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، متناسب با تغییرات میزان یارانه، تعداد نهایی تولیدکنندگان سبز تغییر می کند.

۲.۵. تحلیل حساسیت یارانه ی پرداختی به مصرف کننده (S_C)

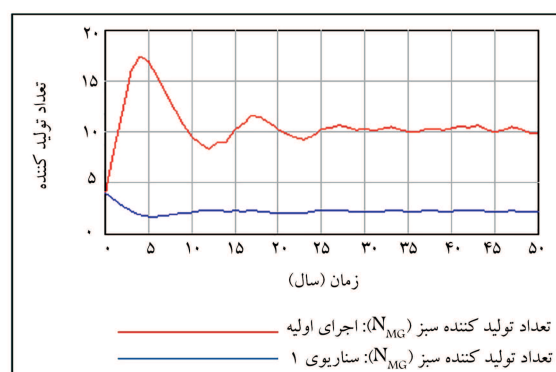
مشابه یارانه ی پرداختی به تولیدکننده، یارانه ی پرداختی به مصرف کننده (S_C) نیز



الف) افزایش ناگهانی قیمت فروش محصول سبز (P_G) ؛



ب) کاهش ناگهانی یارانه ی پرداختی به مصرف کننده ی محصول سبز (S_C) ؛



ج) کاهش ناگهانی بهای تمام شده ی محصول عادی (C_N) .

شکل ۹. نتایج اعتبارسنجی مدل به روش غایی.

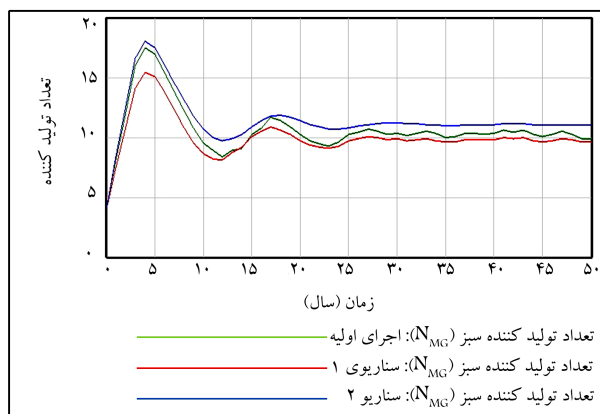
۵. تحلیل حساسیت و راهبرد ذی نفعان

در این قسمت سعی داریم تا با تغییر راهبرد ذی نفعان درگیر در مسئله، شرایط انتشار GSCM را در میان تولیدکنندگان ارزیابی کنیم. به این منظور متغیرهای یارانه ی پرداختی به تولیدکننده (S_M) ، یارانه ی پرداختی به مصرف کننده (S_C) ، حساسیت مصرف کننده در ترجیح کالای سبز (θ) و هزینه ی تولید محصول سبز (C_G) متغیرهای در نظر گرفته شده برای این موضوع هستند که در ادامه به آن ها اشاره خواهد شد. مشابه حالات قبلی، در هر سناریو شبیه سازی به تعداد ۱۰۰ بار تکرار شده و میانگین تعداد تولیدکنندگان سبز در هر سناریو ارائه شده است.

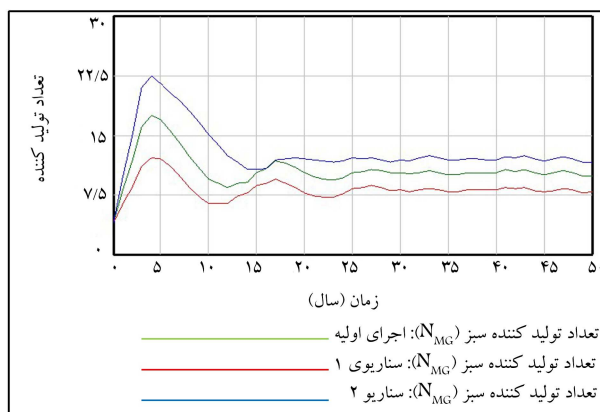
شکل ۱۴، رفتار مدل را در صورت تغییر بازه‌ی این متغیر به $[0, 0.5]$ و سناریوی ۲ رفتار مدل را در حالتی که بازه‌ی این متغیر به $[0.5, 1]$ تغییر کند، نشان می‌دهد. در مقایسه با سایر عوامل مطرح شده تغییر θ اثر زیادی بر رفتار مدل ندارد. دلیل احتمالی این رفتار آن است که با توجه به نوع مدل‌سازی مسئله، تغییر θ منجر به تغییرات چشم‌گیر تقاضا نمی‌شود.

۴.۵. تحلیل حساسیت هزینه‌ی تولید محصول سبز (C_G)

شکل ۱۵ نتایج شبیه‌سازی را برای حالتی که بهای تولید محصول سبز ۲ میلیون تومان افزایش یابد (سناریوی ۱) یا ۲ میلیون تومان کاهش یابد (سناریوی ۲) نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تغییر بهای تولید محصول سبز، تأثیر زیادی بر انتشار GSCM دارد؛ به گونه‌ی که با افزایش ۵٪ بهای تولید، نمودار تقریباً به سه سطح پایین‌تر منتقل می‌شود و با کاهش ۵٪ آن، رفتار مشابهی در جهت عکس اتفاق می‌افتد. این موضوع ثابت می‌کند که تولیدکنندگان در صورت ارتقای فناوری و کاهش هزینه‌های خود می‌توانند در انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز اثرگذار باشند. مسلماً با پیشرفت فناوری و استفاده از روش‌های نوین در تولید، هزینه‌ی تولید محصولات سبز کاهش خواهد یافت. در این شرایط شاید فرض تغییرات خطی در هزینه‌ی تولید، واقع‌بینانه‌تر از تغییرات پله‌یی باشد. شکل ۱۶ نتایج این نوع از شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. شبیه‌سازی انتشار GSCM برای مقادیر مختلف حساسیت مصرف‌کننده.



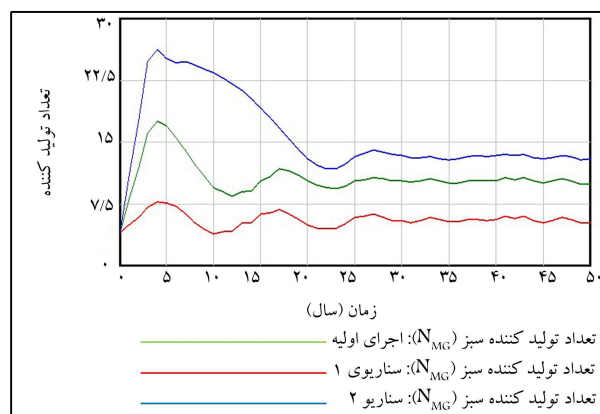
شکل ۱۵. شبیه‌سازی انتشار GSCM برای مقادیر مختلف هزینه‌ی تولید محصول سبز.

از راهبرد دولت نشأت می‌گیرد. شکل ۱۲ حساسیت نتایج مدل را برای کاهش یا افزایش ۲۰٪ مقدار (SC) (به ترتیب سناریوی ۱ و ۲) نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، حساسیت نتایج مدل به تغییرات پارانه‌ی مصرف‌کننده بالاست و کاهش یا افزایش آن تأثیر قابل توجهی در تعداد نهایی تولیدکنندگان سبز دارد، به گونه‌ی که با کاهش ۲۰٪ آن، تعداد نهایی تولیدکنندگان سبز حدود ۶ شرکت خواهد بود و در صورت افزایش ۲۰٪ آن، این تعداد به ۱۳ شرکت خواهد رسید. از طرف دیگر، رفتار مدل نیز تأثیر زیادی از این تغییرات می‌گیرد. کاهش پارانه‌ی مصرف‌کننده، رفتار نوسانی مدل را به شدت کم می‌کند (نمودار قرمز رنگ) و افزایش آن نوسان مدل را تا حد اشباع بالا می‌برد. این موضوع نشان می‌دهد که تحریک تقاضا اثر قابل توجهی بر انتشار GSCM دارد.

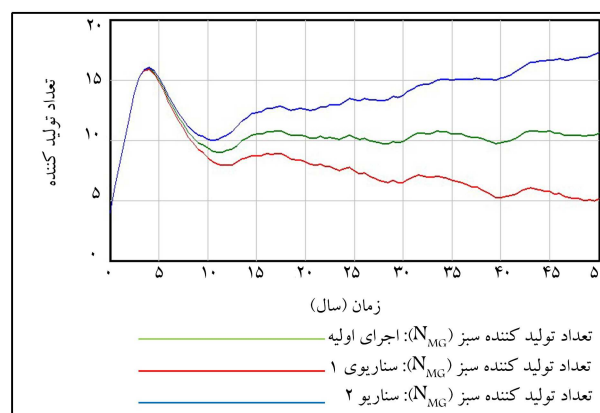
شکل ۱۳ نیز نتایج شبیه‌سازی مدل را در حالتی که تغییرات خطی در میزان پارانه مصرف‌کننده ایجاد شود، نشان می‌دهد. در سناریوی اول مقدار پارانه با شیب خطی و میانگین ۲۰٪ کاهش می‌یابد و در سناریوی دوم با شیب خطی افزایش ۲۰٪ پارانه اعمال شده است. مشابه حالت قبل و در مقایسه با تغییرات پارانه‌ی تولیدکننده، اثر ایجاد تغییرات در این پارانه بارزتر و بیشتر است.

۳.۵. تحلیل حساسیت ترجیح مصرف‌کننده (θ)

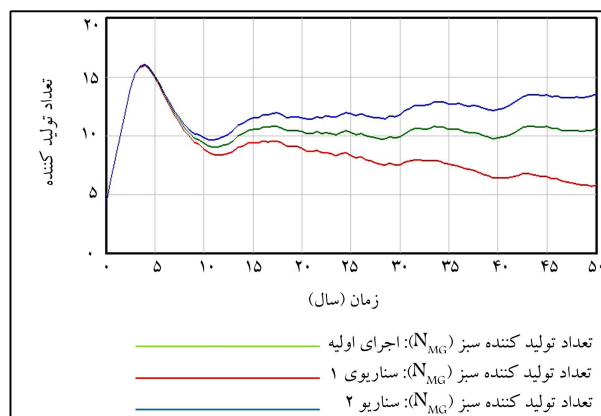
در شبیه‌سازی اولیه‌ی مدل، برای تعیین ضریب حساسیت مصرف‌کننده در ترجیح محصول سبز، از یک توزیع یکنواخت در بازه‌ی $[0, 1]$ استفاده شد. در این قسمت رفتار مدل را در قبال تغییر این متغیر شبیه‌سازی بررسی می‌کنیم. سناریوی ۱ در



شکل ۱۲. شبیه‌سازی انتشار GSCM برای مقادیر مختلف پارانه‌ی مصرف‌کننده.



شکل ۱۳. شبیه‌سازی انتشار GSCM برای تغییرات خطی پارانه‌ی مصرف‌کننده.



شکل ۱۶. شبیه سازی انتشار GSCM برای تغییرات خطی هزینه ی تولید محصول سبز.

۶. نتیجه گیری و پیشنهاد برای مطالعات آتی

امروزه شناسایی مزایای زیست محیطی در کسب و کار و انتشار چنین طرح هایی در شرکت های تولیدی، به یکی از شاخص های مهم عملکردی تبدیل شده است. مدیریت زنجیره ی تأمین سبز یکی از ایده های نوآورانه است که به توسعه ی عملکرد زیست محیطی توجه می کند؛ اما تجربه ی پیاده سازی آن در صنایع مختلف و کشورهای مختلف به نتایج متفاوتی منجر شده است. به عبارت دیگر، فرایند گسترش GSCM در میان صنایع تولیدی که از آن به «انتشار GSCM» یاد می شود، دارای ابعاد و ویژگی هایی است که نمی توان روجه یی ثابت را برای آن متصور بود.

انتشار GSCM و اجرای آن در میان تولیدکنندگان، طیف گسترده یی از ذی نفعان با اهداف متفاوت و تعداد زیادی از متغیرها با روابط پیچیده و بازخوردی را شامل می شود. در این پژوهش تلاش شد تا با ارائه ی یک مدل کمی و پویا، تعاملات میان دولت و تولیدکنندگان و مصرف کنندگان به عنوان ۳ گروه از ذی نفعان تأثیرگذار در اجرای زنجیره ی تأمین سبز مدل سازی شود و الگوی انتشار زنجیره ی تأمین سبز تشریح شود. در مدل پیشنهادی تعداد زیادی از عوامل مهم و مرتبط با ذی نفعان وجود دارد که یک سیستم پیچیده با روابط بازخوردی و چندلایه را تشکیل می دهند. با توجه به توانایی سیستم های پویا برای پوشش این ویژگی ها، این سیستم ها ابزار مناسبی برای مدل سازی و تجزیه و تحلیل موضوع هستند.

در ادامه جایگاه پارامترهای تعریف شده در مسئله به کمک نمودارهای علی و معلولی ترسیم و چگونگی ارتباط آن ها تبیین شد. همچنین به کمک نمودار جریان -

حالت، متغیرهای مسئله به نرم افزار Vensim وارد شد و امکان شبیه سازی فراهم گردید. به عنوان مطالعه ی موردی، مدل ارائه شده بر روی یک گروه فرضی از صنایع خودروسازی شبیه سازی و نتایج آن ارائه شد. در ادامه حساسیت نتایج مدل در ارتباط با تغییر راهبرد هر یک از ذی نفعان بررسی شد و میزان انتشار GSCM در شرایط مختلف تحلیل گردید. مهم ترین نتایج به دست آمده عبارتند از:

- رفتار انتشار GSCM در شرکت های تولیدی خودرو دارای الگوی نوسانی می راست و با گذشت زمان، عایدی دو گروه تولیدکنندگان سبز و تولیدکنندگان عادی به یکدیگر نزدیک می شود و در یک نسبت مشخص به تعادل می رسد.
- سطح یارانه ی پرداختی دولت به تولیدکنندگان و مصرف کنندگان محصولات سبز بر میزان انتشار GSCM تأثیرگذار است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که با وجود تغییرات یکسان در این دو پارامتر، شدت اثر یارانه ی مصرف کننده (SC) به مراتب بیشتر از اثر یارانه ی تولیدکننده (SM) است و چنانچه هدف دولت انتشار بیشتر تولید سبز باشد، پرداخت یارانه به مصرف کننده تأثیر بهتری دارد.

- در صورتی که تولیدکنندگان محصولات سبز بتوانند به روش های مختلف بهای تمام شده ی محصولات خود را کاهش دهند، سطح انتشار GSCM به صورت چشم گیری ارتقا خواهد یافت.

- حساسیت مصرف کنندگان در ترجیح محصول سبز به عادی نیز در انتشار GSCM مؤثر است؛ اما شدت اثر آن کم تر از سایر عوامل است.

نتایج این پژوهش می تواند یک بینش مدیریتی درخور برای تصمیم گیران دولتی ایجاد کند و آنان را در اتخاذ سیاست های مناسب در این زمینه یاری کند. دولت ها و سازمان های محیط زیست همواره به دنبال گسترش الگوی تولید و مصرف سبز در جامعه هستند و تلاش می کنند تا با سیاست های متنوع تشویقی و تنبیهی، گروه های مختلف صنایع را به رعایت استانداردها و الزامات زیست محیطی ترغیب کنند. نتایج این پژوهش می تواند میزان اثرگذاری این سیاست ها را نشان دهد و تصمیم گیران کلان را یاری کند.

مدل ارائه شده در این پژوهش، تنها ۳ دسته از ذی نفعان را بررسی کرده است؛ توسعه ی این مدل در اشکال بزرگ تر و با تعداد بیشتر ذی نفعان یک زمینه ی مناسب برای مطالعات آتی شناخته می شود. همچنین برخی مفروضات ساده ساز در مدل پیشنهادی استفاده شده (مانند یکسان بودن سهم بازار برای هر تولیدکننده و یکسان بودن کیفیت محصولات شرکت ها و درجه ی سبز بودن هر محصول) که مدل های آتی می توانند با آزادسازی این مفروضات، برداشت دقیق تری از فضای واقعی داشته باشند.

پانوشته ها

1. green supply chain management (GSCM)
2. replicator dynamics
3. environmental preference
4. boundary adequacy
5. structure assessment
6. dimensional consistency
7. parameter assessment
8. extreme condition
9. family member
10. reproduction
11. sensitivity analysis

منابع (References)

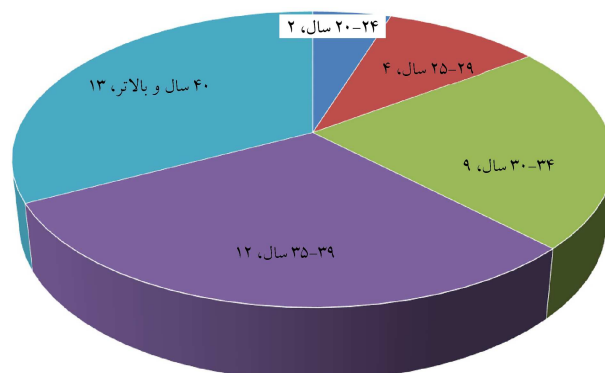
1. Svensson, G. "Just-in-time: the reincarnation of past theory and practice", *Management Decision*, **39**(10), pp. 866-879 (2001).
2. Dubey, R., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T. and et al. "Green supply chain management enablers: mixed methods research", *Sustainable Production and Consumption*, **4**, pp. 72-88 (2015).
3. Fahimnia, B., Sarkis, J. and Eshragh, A. "A trade off model for green supply chain planning: a leanness-versus-greenness analysis", *Omega*, **54**, pp. 173-190 (2015).
4. Tian, Y., Govindan, K. and Zhu, Q. "A system dynamics model based on evolutionary game theory for green supply chain management diffusion among Chinese manufacturers", *Journal of Cleaner Production*, **80**, pp. 96-105 (2014).
5. Seles, B.M.R.P., De Sousa Jabbour, A.B.L., Jabbour, C. J.C. and et al. "The green bullwhip effect, the diffusion of green supply chain practices, and institutional pressures: evidence from the automotive sector", *International Journal of Production Economics*, **182**, pp. 342-355 (2016).
6. Zhu, Q.H. and Dou, Y.J. "Evolutionary game model between governments and core enterprises in greening supply chains", *Systems Engineering-Theory, & Practice*, **27**(12), pp. 85-89 (2007).
7. Barari, S., Agarwal, G., Zhang, W.C. and et al. "A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach", *Expert Systems with Applications*, **39**(3), pp. 2965-2976 (2012).
8. Sarkis, J., Zhu, Q. and Lai, K.H. "An organizational theoretic review of green supply chain management literature", *International Journal of Production Economics*, **130**(1), pp. 1-15 (2011).
9. Meixell, M.J. and Luoma, P. "Stakeholder pressure in sustainable supply chain management: a systematic review", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **45**(1/2), pp. 69-89 (2015).
10. Zhu, Q. and Sarkis, J. "An inter-sectoral comparison of green supply chain management in China: drivers and practices", *Journal of Cleaner Production*, **14**(5), pp. 472-486 (2006).
11. Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.H. and et al. "The role of organizational size in the adoption of green supply chain management practices in China", *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, **15**(6), pp. 322-337 (2008).
12. Hazen, B.T., Cegielski, C. and Hanna, J.B. "Diffusion of green supply chain management: examining perceived quality of green reverse logistics", *The International Journal of Logistics Management*, **22**(3), pp. 373-389 (2011).
13. Xu, L., Mathiyazhagan, K., Govindan, K. and et al. "Multiple comparative studies of green supply chain management: pressures analysis", *Resources, Conservation and Recycling*, **78**, pp. 26-35 (2013).
14. Vennix, J., *Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics*, Wiley, New York, No. 658.4036 V4 (1996).
15. Richardson, G.P. and Pugh III, A.I. "Introduction to system dynamics modeling with dynamo", *Journal of the Operational Research Society*, **48**(11), pp. 1146-1146 (1997).
16. Stave, K.A. "A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada", *Journal of Environmental Management*, **67**(4), pp. 303-313 (2003).
17. Laari, S., Töyli, J., Solakivi, T. and et al. "Firm performance and customer-driven green supply chain management", *Journal of Cleaner Production*, **112**, pp. 1960-1970 (2016).
18. Ghosh, D. and Shah, J. "Supply chain analysis under green sensitive consumer demand and cost sharing contract", *International Journal of Production Economics*, **164**, pp. 319-329 (2015).
19. Zhu, Q., Sarkis, J. and Lai, K.H. "Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external green supply chain management practices", *Journal of Purchasing and Supply Management*, **19**(2), pp. 106-117 (2013).
20. Weibull, J.W. "Evolutionary game theory", MIT press, Cambridge, Massachusetts, London, England (1997).
21. Gonzalez, P., Sarkis, J. and Adenso-Diaz, B. "Environmental management system certification and its influence on corporate practices: evidence from the automotive industry", *International Journal of Operations & Production Management*, **28**(11), pp. 1021-1041 (2008).
22. Koplin, J., Seuring, S. and Mesterharm, M. "Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry-the case of the Volkswagen AG", *Journal of Cleaner Production*, **15**(11), pp. 1053-1062 (2007).
23. Zailani, S., Govindan, K., Iranmanesh, M. and et al. "Green innovation adoption in automotive supply chain: the Malaysian case", *Journal of Cleaner Production*, **108**, pp. 1115-1122 (2015).
24. Saraeenia, M., Iranzadeh, S., Taghizadeh, H. and et al. "Creating model for study impact of sustainable providence on supply chain strategic integration with value creation (case study in Iran Khodro CO.)" *Journal Management System*, **28**, pp. 25-39 (In Persian) (2017).
25. Sommer, M. "The econometric challenge to system dynamics and vice versa: some future perspectives", *Technological Forecasting and Social Change*, **25**(3), pp. 263-280 (1984).

پیوست

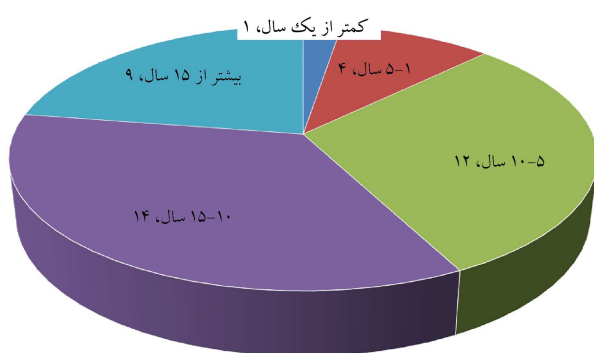
پیوست ۱: جدول متغیرها، معادلات و واحدهای اندازه‌گیری (جدول A۱)

پیوست ۲: اطلاعات مصاحبه با خبرگان

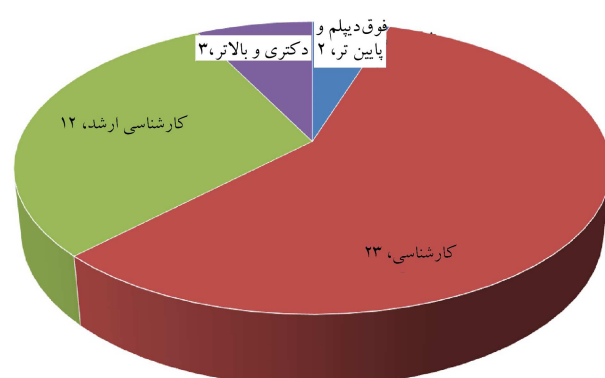
در این پژوهش از طریق مصاحبه با ۴۰ نفر از کارشناسان و خبرگان شرکت‌های ایران خودرو، سایا و پارس خودرو، اطلاعات مورد نیاز استخراج شد. اطلاعات جمعیت شناختی این خبرگان شامل سن، میزان تحصیلات، سابقه کار و پست سازمانی در شکل های A۲، B۲، C۲ و D۲ ارائه شده است.



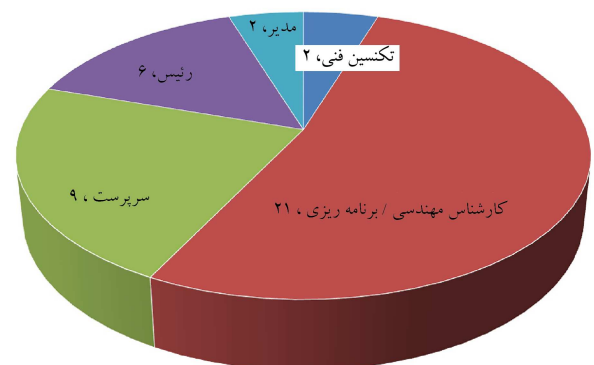
شکل A۲. آمار توصیفی خبرگان بر اساس سن.



شکل C۲. آمار توصیفی خبرگان بر اساس سابقه کار.



شکل B۲. آمار توصیفی خبرگان بر اساس تحصیلات.



شکل D۲. آمار توصیفی خبرگان بر اساس پست سازمانی.

جدول A۱. متغیرها، معادلات و واحدهای اندازه‌گیری بکار رفته در مدل نرم‌افزاری.

نام متغیر	علامت	نوع متغیر	واحد اندازه‌گیری	معادلات
تعداد کل تولیدکنندگان	MT	ثابت	تعداد	-
تعداد تولیدکنندگان سبز	NMG	حالت	تعداد	$NMG = Initial Value + INTEG(GSCM \text{ (نرخ انتشار) })$
تعداد تولیدکنندگان عادی	NMN	حالت	تعداد	$NMG = Initial Value - INTEG(GSCM \text{ (نرخ انتشار) })$
نرخ انتشار GSCM در تولیدکنندگان		نرخ	تعداد تولیدکننده	$GSCM \text{ diffusion rate} = DELAY \text{ FIXED}(NM \times \bar{X}_G, \text{Random Normal}(0; 4; 0.2; 0), NM \times \bar{X}_G)$
نسبت تولیدکننده سبز	X_G	حالت	درصد	NMG/MT
نسبت تولیدکننده عادی	X_N	حالت	درصد	NMN/MT
تعداد کل خریداران در سال	N_C	حالت	نفر	-
قیمت فروش محصول سبز	P_G	حالت	میلیون ریال	-
بهای تولید محصول سبز	C_G	حالت	میلیون ریال	-
قیمت فروش محصول عادی	P_N	حالت	میلیون ریال	-
بهای تولید محصول عادی	C_N	حالت	میلیون ریال	-
یارانه‌ی پرداختی به تولیدکننده محصول سبز	S_M	حالت	میلیون ریال	-
یارانه‌ی پرداختی به مصرف‌کننده محصول سبز	S_C	حالت	میلیون ریال	-

ادامه‌ی جدول A۱. متغیرها، معادلات و واحدهای اندازه‌گیری بکار رفته در مدل نرم‌افزاری.

نام متغیر	علامت	نوع متغیر	واحد اندازه‌گیری	معادلات
حساسیت مصرف‌کننده به استفاده از محصول سبز	θ	کمکی	میلیون ریال	-
احتمال مصرف کالای سبز	Y	نرخ	درصد	$Y = 1 - \frac{P_G - P_N - S_C}{\theta}$
تعداد خریدار محصول سبز	N_{MG}	حالت	نفر	$NC_G = NC \times Y$
تعداد خریدار محصول عادی	N_{MC}	حالت	نفر	$NC_N = NC - NC_G$
عایدی انتظاری تولیدکننده سبز	U_{MG}	حالت	میلیون ریال	$U_{MG} = \frac{NC_G}{N_{MG}} (P_G - C_G + S_M) - IM$
عایدی انتظاری تولیدکننده عادی	U_{MN}	حالت	میلیون ریال	$U_{MN} = \frac{NC_N}{N_{MN}} (P_N - C_N)$
درصد اختلاف عایدی دو نوع تولیدکننده		حالت	درصد	$(U_{MG}/U_{MN}) - 1$
نرخ تغییرات دینامیکی نسبت تولیدکنندگان سبز	\bar{X}_G	حالت	درصد	درصد اختلاف عایدی دو نوع تولیدکننده $\bar{X}_G = X_G \times X_N$
ارزش انتظاری مصرف کالای سبز	Y	حالت	میلیون ریال	
هزینه‌ی ثابت سرمایه‌گذاری سالانه برای اجرای GSCM	I_G	کمکی	میلیون ریال	-
سطح آلودگی زیست محیطی		کمکی	بین ۱-۱۰	-
درجه سبز بودن محصولات سبز		کمکی	بین ۱-۱۰	-
الزامات و مقررات بین‌المللی		کمکی	بین ۱-۱۰	-
آگاهی و فشار افکار عمومی		کمکی	بین ۱-۱۰	-

متن مصاحبه صورت گرفته، به این صورت است:

«امروزه با افزایش فعالیت‌های صنایع و بروز مسائلی همچون گرم شدن کره‌ی زمین، افزایش انواع آلودگی‌ها، افزایش مقدار گازهای گل‌خانه‌یی و ...، حفظ محیط زیست و راهبردهای مربوط به آن در اولویت برنامه سازمان‌ها و شرکت‌ها قرار گرفته است. از این رو، صنایع تولیدی با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی، مفهوم مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز (GSCM) را ارائه داده‌اند و تلاش دارند تا در تمام فرایندهای خود (اعم از طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد، ساخت، توزیع و انتقال و نهایتاً بازیافت) مفاهیم و مصادیق مربوطه را پیاده‌سازی کنند. با وجود این، تجربه‌ی سال‌های اخیر در سراسر دنیا و به خصوص ایران نشان می‌دهد که اجرایی کردن الزامات و ویژگی‌های زنجیره‌ی تأمین سبز در مقام عمل با چالش‌ها و موانع بسیاری روبروست. فرایند گسترش GSCM در میان صنایع تولیدی که از آن به «انتشار GSCM» یاد می‌شود، دارای ابعاد و ویژگی‌هایی است که نمی‌توان رویه‌ی ثابت را برای آن متصور بود.

با توجه به اهمیت انتشار مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز و وجود عوامل و موانع مختلف در راستای پیاده‌سازی این امر، این پژوهش تلاش دارد تا فرایند گسترش GSCM را در گذر زمان و از طریق کانال‌های مشخص در میان صنایع تولیدی تجزیه و تحلیل کند. فرایند این پژوهش به این گونه است که ابتدا با مطالعه‌ی متون علمی و بهره‌گیری از نظرات خبرگان، متغیرهای مهم میان دولت، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان به عنوان ۳ گروه از ذی‌نفعان تأثیرگذار استخراج و روابط بین آن‌ها را تعیین می‌شود. در ادامه با ارائه‌ی یک مدل کمی و پویا، این روابط بازخوردی و پیچیده مدل‌سازی و الگوی انتشار زنجیره‌ی تأمین سبز تشریح خواهد شد.

همچنین با توجه به وجود تدابیر مختلف زیست محیطی و رعایت استانداردهای مختلف در شرکت‌های سایا، ایران خودرو، و پارس خودرو، جامعه‌ی آماری این تحقیق از میان کارشناسان و مدیران این مجموعه‌ها انتخاب شده است. از این رو، خواهشمند است نسبت به موارد فهرست شده اظهار نظر نمایید. صمیمانه از همکاری شما در تکمیل این پرسش‌نامه سپاس‌گزاریم.»

جدول A۲. قالب و نتایج مصاحبه‌ی صورت گرفته با خبرگان صنعت خودروسازی ایران.

پست سازمانی:				
ایمیل:				
سن:				
۲۰-۲۴ سال	۲۵-۲۹ سال	۳۰-۳۴ سال	۳۵-۳۹ سال	۴۰ سال و بالاتر
جنسیت:				
زن <input type="checkbox"/> مرد <input type="checkbox"/>				
تحصیلات:				
کمتر از دیپلم و دیپلم <input type="checkbox"/> فوق دیپلم <input type="checkbox"/> لیسانس <input type="checkbox"/> فوق لیسانس <input type="checkbox"/> دکترا و بالاتر <input type="checkbox"/>				
سابقه:				
کمتر از ۱ سال <input type="checkbox"/> ۱ تا ۵ سال <input type="checkbox"/> ۵ تا ۱۰ سال <input type="checkbox"/> ۱۰ تا ۱۵ سال <input type="checkbox"/> بیشتر از ۱۵ سال <input type="checkbox"/>				
اگر خودروی سبز را محصولی در نظر بگیریم که دارای برخی از شرایط ذکر شده در ذیل باشد، خواهشمند است نسبت به گزینه‌های جدول زیر اظهار نظر فرمایید.				
<ul style="list-style-type: none"> • مصرف انرژی آن پایین‌تر از مدل مشابه عادی آن باشد. • سوخت مصرفی آن برق یا هیبریدی باشد. • مطابق استانداردهای بین‌المللی باشد. • آلودگی زیست‌محیطی آن کم‌تر از محصول مشابه خود باشد. 				
ردیف	شرح	نتایج مصاحبه		
		میانگین	انحراف معیار	
۱	به‌طور کلی اگر در شرکت شما توانایی تولید محصول سبز باشد، محصول تولید شده نسبت به محصول مشابه عادی چقدر سطح آلودگی را کاهش می‌دهد؟ (۱ = خیلی کم و ۱۰ = خیلی زیاد)	۴٫۳	۱٫۶	
۲	به‌طور کلی اگر در شرکت شما توانایی تولید محصول سبز باشد، محصول تولید شده با توجه به معیارهای ذکر شده چه نمره‌یی کسب می‌کند؟ (۱ = خیلی ضعیف و ۱۰ = خیلی خوب)	۳٫۸	۱٫۴	
۳	به‌طور تقریبی اگر در شرکت شما توانایی تولید محصول سبز باشد، متوسط هزینه‌ی ثابت سرمایه‌گذاری سالانه برای تولید چنین محصولی چقدر است؟ (به میلیون تومان)	۵۰۰۰۰	۱۵۱۲۴	
۴	به‌طور تقریبی اگر در شرکت شما توانایی تولید محصول سبز باشد، بهای تمام شده‌ی محصول سبز نسبت به محصول عادی چقدر بالاتر است؟ (به درصد)	٪۳۳	٪۷٫۳	
۵	به‌طور تقریبی اگر در شرکت شما توانایی تولید محصول سبز باشد، قیمت فروش محصول سبز نسبت به محصول عادی چقدر بالاتر است؟ (به درصد)	٪۱۲٫۵	٪۳٫۳	
۶	به نظر شما با توجه سیاست‌های تشویقی و تنبیهی دولت در خصوص تولید محصولات سبز، ارزش این سبد حمایتی دولت چند درصد از هزینه‌های یک خودرو خواهد بود؟ (به درصد)	٪۲۲	٪۷	
۷	به نظر شما با توجه به فرهنگ و دانش عموم مردم در خصوص محصولات سبز، به‌طور متوسط مردم حاضرند چند درصد بالاتر از قیمت فروش محصول عادی برای خرید و مصرف این محصول سبز هزینه کنند؟ (به درصد)	٪۱۰	٪۷	