پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

ارائه مدل برنامه‌ریزی تولید سبز در صنعت خودرو (مورد مطالعه: شرکت ایران خودرو)

محمود دهقان نیری[۱*]، محسن خدابخش[۲]، سید امیرحسین امامیان[۳]

۱- استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس،تهران، ایران.
۲- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۳- کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۶ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱

چکیده

جهان امروز با مسائلی چون گرم شدن زمین، انواع آلودگی‌ها، افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای و ... مواجه است که این مسائل می‌تواند منجر به تهدید حیات بشر شود. بنابراین استراتژی‌های مربوط به حفظ محیط زیست به عنوان یکی از مهم‌ترین اولویت‌های سازمان مد نظر قرار گرفته است. در این راستا سازمان‌ها علاوه بر سودآوری و کسب مزیت رقابتی، در جهت از بین بردن ضایعات، کاهش انرژی مصرفی، تولید گازهای گلخانه‌ای، مواد شیمیایی خطرناک و یا به عبارت دیگر تولید سبز تلاش می‌کنند.

مقاله حاضر با هدف ارائه یک مدل ریاضی تولید سبز، پس از تشریح مدل به منظور تصمیم‌گیری و انتخاب استراتژی مناسب تولید سبز برای محصولات منتخب شرکت ایران خودرو به کار گرفته شده است. در این مدل تمامی ابعاد تولید سبز اعم از کاهش مصرف انرژی، مواد آلاینده محیط زیستی و آلودگی ناشی از بهره‌برداری محصول در قالب یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی درهم آمیخته شده‌اند. نتایج حاصل از اجرای مدل در افق برنامه‌ریزی ۵ ساله، تولید محصولات سبزتر مانند پژو ۲۰۶ و پارس با حداکثر ظرفیت و تولید سایرمحصولات را با حجم کمتر حاصل نموده است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، مدلسازی آرمانی، تولید سبز، محیط زیست.

---

* نویسنده مسئول مقاله: E-mail: Mdnayeri@modares.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از ارزش‌های محیطی در صحنه رقابت بین‌الملل، توانایی خلق مزیت نسبی و رقابتی در محیط پویا و پرتحول و پیوستن به جمع دوست‌داران محیط زیست در صنعت امروزی است. امروزه یکی از پارامترهای مهم فرایندهای صنعتی، تولید سبز است. الحاق برند سبز به تولیدکننده‌ها موجب ایجاد توان رقابتی در سطح سازمان‌های معتبر جهانی می‌شود. دغدغه‌های محیط زیستی به یک توجه قابل قبولی نیاز دارد که تحت نام توسعه پایدار به آن پرداخته می‌شود. با افزایش آگاهی حفاظت از محیط زیست، سازمان‌ها موظف به شیوه‌های زیست محیطی مشخصی همراه با نیت واقعی از حفاظت از محیط زیست خود و در جهت تولید محصولات سبز در سازمان خود هستند [۱، ص ۲۵۶؛ ۲، ص۴۸۹۴ ؛۳، ص ۱۰ ؛ ۴، ص ۳۲]. پیمان کیوتو قراردادی است که در سال ۱۹۹۷ در کنفرانس سازمان ملل در شهر کیوتوی ژاپن مورد توافق دولت‌ها قرار گرفت. هدف این پیمان آنست که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط کشورهای توسعه یافته، از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به دست کم پنج درصد کمتر از سطح این گازها در سال ۱۹۹۰ برسد. دولت‌ها در سال ۱۹۹۲در «اجلاس زمین» در شهر «ریودوژانیرو» برزیل توافق کردند که با مسئلله تغییرات آب و هوایی مقابله کنند. پیمان کیوتو به دنبال این نشست مورد توافق قرار گرفت [۵، ص ۱۰]. در این راستا، شرکت‌های صنعتی نیز ملزم به رعایت تعداد بیشتری از استانداردها و الزام‌های زیست محیطی در فعالیت‌هایی مانند استخراج مواد خام، فرایند تولید و دفع پسماندها به عنوان یک موضوع بسیار مهم در برنامه‌ریزی کسب و کار خود شده‌اند [۶، ص ۲۹۹]. توسعه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته[1] نیز در راستای رعایت ملاحظات زیست محیطی شامل استفاده از کالاهای سازگار با محیط زیست، مواد اولیه قابل بازیابی و نوسازی در فرایند تولید انجام شده است، به عبارت دیگر در فرایند طراحی کالا، ایجاد تعادل بین به حداکثر رساندن سود و به حداکثر رساندن سبزی به دلایل مختلف از جمله الزام‌های قانونی، مسئولیت شرکت و ضرورت حفظ تصویر و موقعیت شرکت در جامعه ضروری است [۷، ص ۷۶]. در این

راستا است که امروزه مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته به طور فزاینده به مقوله‌ای مهم و الزامی تبدیل شده است [۸، ص ۸۸].

این یک واقعیت است که شرکت‌ها در کشورهای در حال توسعه، در مقایسه با کشورهای توسعه یافته، در حال برداشتن اولین گام عملی از شیوه‌های تولید سبز در زنجیره تأمین عملیات‌های خود هستند [۹، ص ۴۹۵؛ ۱۰، ص ۸۹۸؛ ۱۱، ص ۲۵۵]. علاوه بر آن، امروزه مصرف‌کنندگان به محیط زیست اهمیت بیشتری می‌دهند و به دنبال مقررات زیست محیطی سخت برای تولیدکنندگان در جهت کاهش نگرانی‌های زیست محیطی در شیوه‌های تولید می‌باشند [۹، ص ۴۹۵؛ ۱۲، ص ۱۶؛ ۱۳، ص ۸۵۰]. به عنوان مثال، آی بی ام و زیراکس تأمین‌کننده چینی خود را برای توسعه سیستم‌های مدیریت زیست محیطی مطابق با ISO۱۴۰۰۱ و فورد، جنرال موتورز و تویوتا تأمین‌کننده چینی خود را برای به دست آوردن گواهینامه (ISO۱۴۰۰۱ ، ۲۰۰۱ GEMI،) تشویق می‌کنند [۱۴، ص ۴۴۹].

رویکرد سیستماتیک و یکپارچه مدیریت زنجیره تأمین سبز (GSCM) با به‌کارگیری برنامه‌ریزی تولید سبز به عنوان یک نوآوری گسترده به سازمان‌ها در توسعه استراتژی‌های «برد – برد» برای دستیابی همزمان به اهداف سود و سهم بازار و کاهش خطرات زیست محیطی کمک می‌کند [۱۵، ص ۱۹]. ایران نیز به عنوان یک کشور در حال توسعه، بر توسعه اقتصادی در عین افزایش آگاهی و اعمال آن در حفاظت از محیط زیست و در نتیجه، استفاده از تولید سبز در مدیریت زنجیره تأمین سبز را در اولویت صنایع تولیدی خود قرار داده است.

برپایه ضرورت‌های اشاره شده در بالا هدف از مقاله حاضر علاوه بر مطالعه در پارادایم تولید سبز، توسعه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید سبز شرکت ایران خودرو در جهت کاهش آلودگی زیست محیطی فرایند تولید در کنار رعایت نمودن سایر محدودیت‌های موجود در برنامه‌ریزی تولید این شرکت می‌باشد. در این مدل استفاده از مواد اولیه، محصولات و فرایندهای تولیدی سبزتر به منظور دستیابی به تولید پاک مد قرار گرفته است. در توسعه مدل ریاضی پیشنهادی اصل قابلیت تعمیم مدل به سایر سیستم‌های تولیدی نیز رعایت شده است.

در ادامه در بخش دوم به بررسی ادبیات موضوع و سپس در بخش روش پژوهش به تشریح نحوه مدلسازی شامل اهداف، محدودیت‌ها و متغیرهای مدل پرداخته

می‌شود. درنهایت بخش یافته‌های پژوهش به تشریح نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل پیشنهادی در شرکت ایران خودرو پرداخته و در ادامه علاوه بر ارائه پیشنهادهای اجرایی برای متخصصان، پیشنهادهای روش شناسانه برای سایر محققان نیز بررسی خواهد شد.

۲- ادبیات موضوع

برپایه گزارش سازمان بهداشت جهانی یک چهارم از بیماری‌ها، ناشی از آلودگی محیط زیست است. مرگ میر سالیانه ۱۳ میلیون نفر در جهان بر اثر ابتلا به بیماری‌های ناشی از عوامل زیست‌محیطی است. امروزه در صنعت به دلیل کاهش دوره عمر محصول (از زمان طراحی کالا تا فروش آن) و افزایش تنوع محصولات، تصمیم‌گیری در طول مدیریت زنجیره تأمین از حساسیت خاصی برخوردار شده است. تصمیم‌گیری درباره مسائل زیست محیطی در زنجیره تأمین تصمیم‌های متعددی همچون منبع‌یابی و تولید را متأثر خواهد ساخت [۱۶، ص ۱۲۱].

مدیریت تولید سبز توسط انجمن پژوهش صنعتی دانشگاه ایالتی میشیگان در سال ۱۹۹۶ معرفی شد که در واقع مدل مدیریت نوینی برای حفاظت از محیط زیست است. مدیریت تولید سبز از منظر چرخه عمر کالا شامل تمامی مراحل تأمین مواد اولیه، طراحی و تولید، فروش، حمل و نقل، بهره‌برداری و بازیافت کالا می‌باشد. با به کارگیری مدیریت سبز، شرکت می‌تواند تأثیرات منفی زیست محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی در فرایند تولید دست پیدا کند [۱۷، ص ۸۵]، به عبارت دیگر سبز کردن فرایند تولید، در نظر گرفتن معیارها یا ملاحظات زیست محیطی در طول فرایند تأمین، تولید کالا و درنهایت در زمان بهره‌برداری از کالا تعریف می‌شود. تولید سبز و یا تولید پاک با هدف بهبود مستمر فرایندهای صنعتی و محصولات به منظور کاهش و یا جلوگیری از آلودگی هوا، آب، زمین و حداقل رساندن خطرات آن برای انسان و سایر گونه‌ها شکل می‌گیرد [۱۸، ص ۱۴]. علاوه بر آن تولید سبز می‌تواند منجر به کاهش هزینه مواد اولیه، افزایش بهره‌وری تولید و کاهش هزینه‌های ایمنی شغلی و زیست محیطی و حتی گاهی اوقات هزینه‌های خدمات پس از فروش شود [۱۹، ص ۷۷]. در تولید سبز از آثار زیست محیطی در تمام مراحل فرایند تولید کالا ممانعت می‌شود [۲۰، ص ۵۸؛ ۲۱ ص ۷۰]. بنابراین به منظور کاهش

آثار زیست محیطی کالا، الزامی است سازمان‌ها فرایندهای تولیدی خود را به سمت سبز شدن محصولات هدایت کنند [۲۲، ص۳۳۰؛ ۲۳، ص ۱؛ ۲۴، ص۲۰؛ ۲۵، ص ۴۱].

از جمله ابعاد و روش‌های تولید سبز می‌توان به استفاده از منابع جایگزین انرژی، بهبود پایان عمر کالاها، استفاده از ضایعات شرکت‌های دیگر، داشتن بسته‌بندی، سازگار با محیط زیست، استفاده از تأمین‌کنندگان با معیارهای زیست محیطی و جایگزینی مواد مشکوک زیست محیطی، به مواد اولیه سازگار با محیط زیست، استفاده از فرایندهای فناوری پاک‌کننده و صرفه‌جویی (انرژی، آب، مواد زاید) ترغیب و اعمال فشار بر تولیدکنندگان در جهت اقدام‌های زیست محیطی، بهینه‌سازی فرایندهای به منظور کاهش مصرف آب، کاهش سر و صدا، بهینه‌سازی فرایندهای به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بازیافت داخلی آن، طراحی، محصولات سازگار با محیط زیست و یا روش‌های تولید سبز، استفاده از فناوری سازگار با محیط زیست، استفاده از مواد سازگار با محیط زیست، آموزش زیست محیطی کارکنان اشاره شود [۲۶، ص۱۷۰؛ ۲۷، ص ۵۵].

بنابراین ما باید به‌سرعت به سمت پیاده‌سازی مدیریت تولید سبز برای به دست آوردن فرصت و مقابله با چالش‌ها و موفقیت حرکت کنیم. بسیاری از شرکت‌های بزرگ از جمله جنرال موتورز، پراکتر و کمپل، نایک و بسیاری از شرکت‌های دیگر، شهرت و تصویر نام تجاری خوبی برای کالاهای سبز از طریق پژوهش و پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین سبز به دست آورده‌اند [۲۸، ص ۲۰]. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که از بین عوامل مدیریت سبز، دو عامل تعهد مدیریت ارشد و تعهد مدیران میانی به‌ترتیب در اولویت نخست هستند و این نشان می‌دهد که مدیران ارشد و میانی نقش به‌سزایی در مدیریت سبز بازی می‌کنند [۲۹، ص ۵۶]. اهداف سازمانی محیط زیست سبز در مدیریت زنجیره تأمین پایدار به عنوان یک فلسفه سازمانی تعریف شده است. افزایش سود و سهم از بازار به همراه کاهش خطرات زیست محیطی و آثار آن از اهداف این‌گونه سازمان‌ها و شرکای آنها است [۳۰، ص ۲۶۱؛ ۱۰، ص ۸۹۹].

تغییرات در سیاست‌های دولت، مانند تولید برق از ضایعات و بخشنامه زباله تجهیزات الکترونیکی در اتحادیه اروپا صنایع را مجبور به اجرای عملیات پایدار در سراسر عرضه زنجیره کرده است. در همین حال، افزایش فشار جامعه و

مصرف‌کنندگان آگاه به مسائل محیط زیست بـه طـور مـؤثر و یکپارچـه نگرانـی‌هـای زیست محیطی را در مورد شیوه‌های مدیریت تولیـدکننـدگان افـزایش داده اسـت [۳۰، ص ۲۶۱]. چنان‌که اشاره شد، تولید سبز به عنوان تولید پاک نیز شناخته شـده اسـت. در مراحل مختلف شکل‌گیری و در کشورهای مختلف، نام‌هـای متفـاوتی بـرای تولیـد سبز به کار گرفته شده است. اما معنـای اصـلی آن واحـد اسـت و شـامل اسـتفاده از استراتژی‌های کاهش آلودگی و با دیدگاه افزایشی راندمان تولید و کـاهش مخـاطرات انسانی و زیست محیطی است [۲۸، ص ۲۰].

در راستای مدیریت تولید سبز پژوهش‌های متعددی انجام شده است کـه در ادامـه به شرح مختصری از آن پرداخته شده است.

الهاجا و همکاران (۲۰۱۶) به مسـئله محـل موجـودی مشـترک و توسـعه آن بـرای کاهش انتشار کربن در زنجیـره تـأمینی متشـکل از یـک کارخانـه، توزیـع کننـدگان و فروشندگان متعدد و خرده‌فروشان پرداختند و درنهایت طرح فروش اعتباری کربن را پیشنهاد دادند [۳۱، ص ۸۲]. یک نظرسنجی که به منظـور تجزیـه و تحلیـل رابطـه بـین آموزش سبز و زنجیره تأمین سبز از شرکت‌هـای برزیلـی بـا گواهینامـه ISO ۱۴۰۰۱ انجام شد، نشان داد که آموزش سبز بـا رویـه‌هـای زنجیـره تـأمین در خریـد سـبز و همکاری با مشتریان و دستیابی به پیشرفت‌های زیست محیطـی خـارجی (از جملـه از طریق داشتن تأمین‌کننده سبز) همبسـتگی مثبـت دارد [۳۱، ص ۸۲]. لـوترا و همکـاران (۲۰۱۶) در تجزیه و تحلیل داده‌های ۱۲۳ شرکت فعال در صـنعت خـودرو در هنـد بـا به‌کارگیری تحلیل رگرسیون چندگانـه، اهمیـت عوامـل بحرانـی موفقیـت (CSFهـا) در اجرای مدیریت تولید سبز نسبت به پایداری مصرف مورد بررسی قرار گرفتـه اسـت. این یافته‌ها اشاره می‌کنند که مدیریت داخلـی و رقابـت، نقـش حیـاتی در دسـتیابی بـه نتایج عملکرد مورد انتظار دارند [۳۲، ص ۱۴۲].

طلایی و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل برای بررسـی محـل تسـهیلات و تخصـیص چند محصول حلقه بسته شبکه زنجیره تأمین سبز متشـکل از تولیـد، بازسـازی و مراکـز جمـع آوری و بازرسـی و همچنـین مرکـز دفـع و بـازار ارائـه شـد. مـدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح برای کاهش هزینه کل شبکه پیشـنهاد شـده است. مدل با در نظر گرفتن اهداف زیست محیطـی ماننـد کـاهش نـرخ انتشـار دی اکسید کربن در محیط زیست در سراسر شبکه توسعه یافته است. علاوه بـر ایـن،

مدل با به‌کارگیری یک روش برنامه‌ریزی فازی قوی برای بررسی آثار عدم قطعیت هزینه‌های متغیر و همچنین نرخ تقاضا، در طراحی شبکه توسعه داده شده است. برای حل این مدل برنامه‌نویسی دو هدفه، از روش ε محدودیت استفاده شده است. یک مثال موردی در صنعت دستگاه‌های کپی برای نشان دادن انطباق مدل بهینه‌سازی ارائه شد [۳۳، ص ۶۶۲].

تروچیو و همکاران (۲۰۱۵) نیز مسئله برنامه‌ریزی تولید تحت مقررات زیست محیطی در یک سازمان مورد مطالعه قرار دادند. ایشان یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP) با توجه به تصمیم‌گیری‌های تاکتیکی تولید تحت مقررات جبرانی معرفی کردند. مدل ارائه شده اجازه می‌دهد تا از فناوری تولید پاک برای تولید یک خانواده کالا بر پایه دو نسخه از صورتحساب مواد (BOM): استاندارد و سبز استفاده شود. شرکت برای کالاهایی که با وزن بیش از حد فروخته شده در بازار جریمه می‌شود و به این منظور باید با این نسخه سبز از مواد سبک‌تر استفاده شود. کاهش کل هزینه تولید از طریق توسعه طراحی محصولات سازگار با محیط زیست و استفاده از فناوری‌های پاک به دست می‌آید و کاهش قابل توجهی در هزینه‌های جریمه به دست آمده و شرکت رقابتی باقی می‌ماند [۳۴، ص ۳۶۲].

ووا و بارنز (۲۰۱۶) در مقاله‌ای مدل انتخاب شریک زندگی سبز و ساخت زنجیره تأمین با ترکیب فرایند شبکه تحلیلی (ANP) و برنامه‌ریزی چند هدفه (MOP) را ارائه کردند. این مدل یک راه جدید برای انتخاب شریک و ساخت زنجیره تأمین مؤثر و کارامد برای حداقل رساندن تأثیر منفی زیست محیطی زنجیره تأمین و به حداکثر رساندن عملکرد کسب و کار ارائه داده است [۳۵، ص ۲۱۱۴].

کونگ (۲۰۱۵) مدل سبز عدد صحیح مختلط برنامه‌ریزی تولید خطی (MILP) برای بهینه‌سازی گازهای جانبی به منظور کاهش هزینه کل، یعنی هم هزینه بهره‌برداری و هم هزینه‌های زیست‌محیطی صنعت آهن و فولاد را توسعه داد. گاز فرعی انرژی ثانویه مهم در صنعت آهن و فولاد است و بهینه‌سازی آن در کاهش هزینه حیاتی است. برای توسعه صنعت آهن و فولاد سازگارتر با محیط زیست، لازم است یک سیستم بهینه شده یکپارچه، با در نظر گرفتن اقتصاد، مصرف انرژی و محیط زیست ایجاد شود. بنابراین هزینه‌های زیست محیطی ناشی از آلاینده‌های تخلیه شده باید در هزینه کل مد نظر قرار گیرد. در مدل وی هزینه عملیات شامل جریمه انحراف گاز،

هزینه‌های مصرف سوخت و آب، جریمه تقویت‌کننده و غیره بوده؛ در حالی که هزینه‌های زیست محیطی شامل جریمه تخلیه آلاینده‌های مستقیم و غیر مستقیم بوده است. مطالعه موردی نشان داد که مدل پیشنهادی یک راه‌حل بهینه داشته و ۲/۲ درصد از کل هزینه در مقایسه با قبل کاهش یافت [۳۶، ص ۶۸۱].

۳- روش پژوهش

چنانکه اشاره شد، مقاله حاضر به ارائه یک مدل ریاضی تولید سبز به منظور برنامه‌ریزی تولید شرکت ایران خودرو پرداخته است. روش‌شناسی این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، از نوع مدلسازی ریاضی به منظور توسعه رویکرد تولید سبز در برنامه‌ریزی تولید شرکت‌های صنعتی می‌باشد. به این منظور از مدلسازی آرمانی خطی عدد صحیح استفاده شده است. در این مدل اولویت‌های تولید سبز چنان‌که در ادبیات پژوهش مورد توجه قرار گرفته‌اند، به عنوان اولویت‌های اصلی در قالب آرمان‌های مدل برنامه‌ریزی ریاضی مد نظر قرار می‌گیرند. تابع هدف مدل نیز به کمینه کردن انحرافات نامطلوب از این آرمان‌ها شامل انحرافات نامطلوب در مقدار مصرف انرژی، انحرافات نامطلوب در آلودگی‌های زیست محیطی مواد اولیه، انحرافات نامطلوب مربوط به آلاینده‌هایی که زمان بهره‌برداری محصول تولید می‌شوند و انحراف نامطلوب از تقاضای بازار در قالب آرمان چهارم می‌پردازد. گفتنی است اوزان اهمیت آرمان‌ها در مطالعه موردی این مقاله یکسان نبوده و با به‌کارگیری تکنیک تحلیل سلسله مراتبی از خبرگان حاصل می‌شود. این مدل قابلیت تعمیم به چندین دوره برنامه‌ریزی به همراه مجموعه‌ای از محصولات و مواد اولیه متنوع را داشته است، اما در حالت تک محصولی و تک دوره حداقل دارای یک تابع هدف، چهار محدودیت آرمانی و نه محدودیت سیستمی می‌باشد. تعداد محدودیت‌های مدل به ازای افزایش دوره‌های زمانی تولید و همچنین تنوع محصولات و تعدد انواع مواد اولیه به مراتب افزایش پیدا می‌کند. بازیاف ضایعات در فرایند تولید از جمله دیگر نکات تولید سبز است که در این مدل در نظر گرفته شده است. در ادامه به تشریح مدل توسعه داده شده پرداخته می‌شود.

۴- مدلسازی ریاضی

در این قسمت به ارائه مدل پیشنهادی برای سیستم‌های تولیدی سبز پرداخته شده است. مفروضات مدل با توجه به صنعت مورد مطالعه به شرح ذیل بوده است که با توجه به نحوه مدلسازی و قابلیت تعمیم سایر صنایع تولیدی را دارا می‌باشد.

۱. تمام توابع اعم از تابع هدف و محدودیت‌ها با در نظر گرفتن فرض روابط خطی بین متغیرها (مدل برنامه‌ریزی خطی) در نظر گرفته شده‌اند؛

۲. تعدادی از متغیرهای مدل به صورت عدد صحیح بوده و در کل مدل از نوع عدد صحیح می‌باشد؛

۳. فرض قابلیت جایگزینی بین گزینه‌های تولیدی مد نظر قرار گرفته است.

اندیس‌های مدل ریاضی توسعه داده شده در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱ اندیس‌های به کار گرفته شده در مدل

اندیس	توضیحات
$i = (1,2,....I)$	محصول نوع iام
$t = (1,2,....T)$	دوره زمانی تولید کالا
$j = (1,2,....J)$	انواع مواد اولیه مورد استفاده
$m = (1,2,3,.4)$	آرمان نوع m ام

در جدول ۲ به تشریح تمامی متغیرهای مورد استفاده در مدل پرداخته شده است.

جدول ۲ متغیرهای مدل

متغیرها	شرح
λ_i	نفر ساعت مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول i ام
L_t	ماکزیمم تعداد نیروی کار موجود در دوره t ام
H_t	ساعت کار عادی برای هر یک از نیروی کار تولید در دوره t ام
C_i	حداکثر ظرفیت تولید محصول i ام در ساعت کار عادی
C_i'	حداکثر ظرفیت تولید محصول i ام در ساعت اضافه کاری
e	میزان راندمان نیروی کار تولیدی

متغیرها	شرح
PQ_i	آلودگی تولید شده در زمان تولید محصول i ام
PU_i	آلودگی تولید شده در زمان بهره‌برداری محصول i ام (آلودگی زیست محیطی موتور خودرو)
U_i	مقدار انرژی مصرفی در زمان تولید محصول i ام
X_{ij}	مواد اولیه بازیافتی j ام برای محصول i ام.
Y_{ij}	مواد اولیه غیربازیافتی j ام برای محصول i ام
ψ_{ij}	ضریب مصرف ماده اولیه j ام در محصول i ام
E_t	حداقل انرژی مصرفی برای تولید محصولات
A_t	حداقل آلودگی که در زمان بهره‌برداری محصولات
D_t	حداقل آلودگی که در زمان تولید محصولات
N_i	حداقل تولید مجاز محصول i ام
d_m^+	انحراف مثبت از آرمان m ام
d_m^-	انحراف منفی از آرمان m ام
w_m	ضریب اهمیت آرمان m ام
ε_{ij}	درصد ضایعات مواد اولیه j در محصول i ام
φ_{ij}	درصد بازکاری و بازیافت ضایعات مواد اولیه j در محصول i ام
p_{it}	تولید محصول i ام در دوره t در شرایط کار عادی
O_{it}	تولید محصول i ام در دوره t در شرایط کار اضافه کار
b_i	حداقل استانداردهای لازم برای تولید محصول i ام
G_t	حداقل ظرفیت تولید بودجه شده در دوره t ام

چنان‌که اشاره شد در مدل ریاضی سبز توسعه داده شده فرض بر در نظر گرفتن $i=1,2,3,...I$ محصول با ویژگی‌های زیست محیطی مختلف در زمان تولید و بهره‌برداری می باشد که با توجه به امکانات موجود و به منظور تولید سبزتر و دوست‌دار طبیعت، قابلیت جایگزینی با هم را دارا می‌باشند. از این رو برپایه متغیرهای جدول ۲ به تشریح ابعاد مدل برنامه‌ریزی تولید سبز توسعه یافته در قالب ۱۴ رابطه زیر پرداخته می‌شود.

$$Minz = w_1 \cdot d_1^+ + w_2 \cdot d_2^+ + w_3 \cdot d_3^+ + w_4 \cdot d_4^- \quad (۱$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} U_i \times (P_{it} + O_{it}) + d_1^- - d_1^+ = \sum_{t=1}^{T} E_t \quad (۲$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} Pu_i \times (P_{it} + O_{it}) + d_2^- - d_2^+ = \sum_{t=1}^{T} A_t \quad (۳$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} PO_i \times (P_{it} + O_{it}) + d_3^- - d_3^+ = \sum_{t=1}^{T} D_t \quad (۴$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I} (P_{it} + O_{it}) + d_4^- - d_4^+ = \sum_{i=1}^{I} N_i \quad (۵$$

$$\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{P_{it} + O_{it}}{1-\varepsilon_{ij}}\right) = \psi_{ij}(X_{ji} + Y_{ji}) \qquad \forall ij \quad (۶$$

$$\varphi_{ij} \times \left(\sum_{t=1}^{T} \left(\frac{P_{it} + O_{it}}{1-\varepsilon_{ij}}\right) - \sum_{t=1}^{T} (P_{it} + O_{it})\right) = X_{ji} \qquad \forall ij \quad (۷$$

$$\sum_{i=1}^{I} \lambda_i P_{it} \le e \ .H_t.L_t \qquad \forall t \quad (۸$$

$$\sum_{i=1}^{I} \lambda_i O_{it} \le e \ .H_t.L_t \qquad \forall t \quad (۹$$

$$\sum_{i=1}^{I} P_{it} \le C_{it} \qquad \forall t \quad (۱۰$$

$$\sum_{i=1}^{I} O_{it} \le C'_{it} \qquad \forall t \quad (۱۱$$

$$\sum_{i=1}^{I} (P_{it} + O_{it}) \ge G_t \qquad \forall t \quad (۱۲$$

$$PU_i \le b \qquad \forall i \quad (۱۳$$

$$All\ Variable \qquad Int \quad (۱۴$$

در ادامه به تشریح هریک از روابط ارائه شده در مدل ریاضی پیشنهادی پرداخته شده است.

(۱) رابطه یک بیانگر تابع هدف مدل که به کمینه کردن انحرافات نامساعد از آرمان‌های اول، دوم و سوم (انحراف مثبت)، و آرمان چهارم (انحراف منفی) می‌باشد. ضریب w_i نشان‌دهنده میزان اهمیت هر آرمان می‌باشد.

(۲) رابطه دو بیانگر آرمان مصرف انرژی در فرایند تولید خودرو است. این آرمان تمام فعالیت‌هایی که دوستدار محیط زیست نیست، شامل تولید گازهای گلخانه‌ای در مجموع دوره‌های زمانی تولید را به حداقل می‌رساند.

(۳) آرمان حداقل آلودگی در زمان بهره‌برداری خودرو است (آلودگی موتور خودرو در زمان رانندگی).

(۴) آرمان استفاده حداقل از مواد اولیه مضر برای محیط زیست و فرایندهای مضر زیست محیطی است. در این آرمان علاوه بر حداقل شدن مواد اولیه زیانبار، آلودگی زیست محیطی ناشی از عملیات تولیدی برای محصول نیز کمترین می‌شود.

(۵) آرمان رعایت حداقل ظرفیت تولیدی بودجه شده شرکت در کل دوره تولید

(۶) محدودیت مواد اولیه است. این محدودیت به تأمین مواد اولیه jام مورد نیاز برای محصولiام که می‌تواند از مواد اولیه بازیافتی و غیربازیافتی تأمین شود، با در نظر گرفتن ضریب مصرف هریک از موارد اولیه در نظر می‌گیرد.

(۷) محدودیت ۷ مقادیر مواد اولیه بازیافت شده jام از محصول iام که قابل برگشت به دوره تولید می‌باشند، را مد نظر قرار می‌دهد. این محدودیت به ازای انواع مواد اولیه (j) و به تنوع محصولات تولیدی (i) مورد نیاز است.

(۸) محدودیت میزان ظرفیت تولید و نیروی کار در دسترس در ساعت‌های کار عادی است.

(۹) محدودیت میزان ظرفیت تولید و نیروی کار در دسترس در ساعت‌های اضافه کاری است.

(۱۰) محدودیت میزان تولید و ظرفیت خطوط تولیدی در ساعت عادی می‌باشد.

(۱۱) محدودیت میزان تولید و ظرفیت خطوط تولیدی در ساعت اضافه کار می‌باشد.

(۱۲) حداقل تولید قابل قبول در هر دوره تولید است که منجر به استفاده بهینه از ظرفیت تولید سازمان می‌شود.

(۱۳) حداقل استاندارد زیست محیطی برای موتور محصول iام بر پایه الزام‌های قانونی است.

(۱۴) تمامی متغیرها از نوع عدد صحیح می‌باشند.

۵- ضرایب اهمیت آرمان‌ها

در پژوهش حاضر از تکنیک AHP برای تعیین اولویت آرمان‌ها استفاده شده است. به این منظور پرسشنامه‌ای برای ۱۰ نفر از مدیران و خبرگان شرکت ارسال و پس از جمع‌آوری داده‌ها، به کمک نرم‌افزار Expert choice با اکتساب نرخ سازگاری ۰,۰۴ اوزان اهمیت آرمان (w_m) جدول ۳ برای هریک از آرمان‌ها حاصل شد.

جدول ۳ اوزان اهمیت آرمان‌ها

آرمان	اول	دوم	سوم	چهارم
اوزان	۰,۲۲	۰,۱۹	۰,۱۸	۰,۴۱

۶- یافته‌های پژوهش

روش‌های مختلفی برای حل مدل تصمیم‌گیری چند هدفه موجود است. یکی از پرکاربردترین این روش‌ها، روش معیار جامع بوده که از رویکرد آن در توسعه و حل مدل آرمانی این مقاله استفاده شده است. رویکرد این روش کمینه کردن انحراف توابع هدف موجود در یک مدل چند هدفه نسبت به جواب ایده‌آل هریک از اهداف به طور مستقل است. در این رویکرد از آنجا که ممکن است هیچ جواب بهینه منحصر به فردی برای تمامی توابع هدف وجود نداشته باشد، لذا هر تابع هدف به طور مستقل از سایر اهداف بهینه‌سازی شده و سپس در قالب یک تابع هدف جدید، به کمینه‌سازی هریک از توابع هدف مدل از جواب ایده‌آل خود پرداخته می‌شود [۳۷، ص ۱۰۳]. روشن است که در مدل توسعه داده شده در این مقاله نیز مقادیر ایده‌آل هیچ یک از آرمان‌ها از قبل تعیین نشده است. لذا برای توسعه مدل آرمانی فوق با رویکرد روش معیار جامع هریک از آرمان‌ها در قالب یک مدل مستقل (رابطه ۱۵) با در نظر گرفتن سایر محدودیت‌های مدل حل شده و جواب حاصل به عنوان مقدار ایده‌آل آن آرمان در نظر گرفته شده است. بنابراین توسعه مدل آرمانی عدد صحیح فوق با رویکرد معیار جامع در ابتدای امر مستلزم حل ۴ مدل مستقل با توابع هدف رابطه ۱۵ بوده است:

$$
\begin{aligned}
&Min = \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} Pu_i \times (P_{it} + O_{it}) && \text{a}\\
&Max = \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} (P_{it} + O_{it}) && \text{b}\\
&Min = \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} PO_i \times (P_{it} + O_{it}) && \text{c}\\
&Max = \sum_{i=1}^{I}\sum_{t=1}^{T} (P_{it} + O_{it}) && \text{d}
\end{aligned}
\qquad (۱۵)
$$

در رابطه ۱۵ از تابع هدف (a) مقدارحداقل U_i و یا همان E و از تابع هدف (b) مقدار حداقلی PU_i و یا همان A و از تابع هدف (c)مقدار حداقلی PO_iو یا همان D و از تابع هدف (d) مقدار حداکثری تولید و یا همان N_i به دست می‌آید.

در جدول ۴ تمام مقادیر به دست آمده در پنج دوره تولیدی ناشی از کاربرد مدل پیشنهادی در شرکت ایران خودرو را نشان داده شده است. چنان‌که اشاره شد، از این مقادیر که ناشی از اجرای هریک از تابع هدف به صورت مستقل حاصل می‌شوند به منظور توسعه مدل برنامه‌ریزی چندهدفه سبز شرکت استفاده خواهد شد. از این رو یافته‌های این جدول به صورت پردازش اولیه به منظور تعیین مقادیر ایده‌آل هریک از آرمان‌ها صورت گرفته است.

جدول ۴ جواب بهینه هریک از آرمان ها به صورت مستقل

دوره تولید	حداقل میزان تولید (G_t)	تولید N_i	U (E)	PO (D)	PU (A)
۱	۸۰۰۰	۱۰۹۰۰	۶۸۱۱	۱۷۶۱۶	۱۴۶۸۰
۲	۸۵۰۰	۱۰۹۰۰	۷۲۸۹	۱۹۰۴۳	۱۶۰۲۵
۳	۹۰۰۰	۱۰۹۰۰	۷۷۸۹	۲۰۵۷۸	۱۷۷۶۳
۴	۹۵۰۰	۱۰۹۰۰	۸۲۸۹	۲۲۱۱۳	۱۹۷۶۳
۵	۱۰۰۰۰	۱۰۹۰۰	۸۲۸۹	۲۳۶۴۸,۵	۲۱۱۲۶

لازم به توضیح است که به منظور مدل کردن متغیرها در پاره‌ای از موارد به علت همگن نبودن ماهیت متغیرهای به کار گرفته شده از همگن‌سازی ضرایب استفاده شده است، برای مثال آرمان سه به دو بخش پایه‌ای تقسیم می‌شود که بخشی از

اطلاعات به‌دست آمده مربوط به آلودگی فرایندی تولید هستند، مانند فرایند نقطه جوش و جوشکاری CO_2 که آلودگی آن به صورت گازهای آلاینده است و بخش دیگر مواد اولیه آلاینده شامل سیلر، چسب، اسپری های مصرفی، رنگ خودرو و ... هستند. همچنین در آرمان دو با بسیاری از آلاینده‌های مختلف موتور خودرو مانند منو اکسید کربن(CO)، هیدرو کربن (HC)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، ترکیبات آلی فرار(VOCs) و آلاینده ازن که به‌وسیله واکنش‌های شیمیایی بین اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ترکیبات آلی فرار(VOCs) در حضور نور خورشید ایجاد می‌شود، سر و کار داریم،از این رو به منظور همگن شدن این موارد در قالب ضرایب مدل از بی‌مقیاس‌سازی خطی در قالب رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ استفاده شده است.

۱۶) متغیرهایی با ماهیت مثبت $\forall ij$ $$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{Max\ \ a_{ij}}$$

۱۷) متغیرهایی با ماهیت منفی $\forall ij$ $$n_{ij} = \frac{Min\ \ a_{ij}}{a_{ij}}$$

جدول ۵ مقادیر آلاینده‌های زیست محیطی که زمال بهره‌برداری از خودرو تولید می‌شود برای چهار محصول شرکت ایران خودرو، شامل منواکسیدکربن (CO)، هیدروکربن(HC) ، اکسیدهای نیتروژن(NOx)، ترکیبات آلی فرار (VOCs) و آلاینده ازن که به‌وسیله واکنش‌های شیمیایی بین اکسیدهای نیتروژن (NOx) و ترکیبات آلی فرار (VOCs) در حضور نور خورشید ایجاد می‌گردد و ذرات معلق p^{***} (Particulate number) را به همراه مقادیر بی‌مقیاس شده و مجموع آنها که (PU_i) را نمایش می‌دهد.

جدول ۵ مقادیر آلاینده‌های زیست محیطی

محصولات	مقادیر آلاینده‌ها					مقادیر بی مقیاس شده					
	CO	NOx	HC+NOx	PM	P***	CO	NOx	HC+NOx	PM	P***	PU
پژو ۴۰۵	۱	۰,۸	۰,۷	۰,۰۸	۲,۵۸	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۵,۰۰
سمند	۰,۶۴	۰,۵	۰,۵۶	۰,۰۵	۱,۷۵	۰,۶۴	۰,۵۰	۰,۸۰	۰,۶۳	۰,۶۸	۳,۲۴
پژو ۲۰۶	۰,۵	۰,۲۵	۰,۳	۰,۰۲۵	۱,۰۷۵	۰,۵۰	۰,۲۵	۰,۴۳	۰,۳۱	۰,۴۲	۱,۹۱
پارس	۰,۵	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۰۰۵	۰,۹۱۵	۰,۵۰	۰,۱۸	۰,۳۳	۰,۰۶	۰,۳۵	۱,۴۳

در جدول ۶ بی‌مقیاس‌سازی آلودگی‌های ناشی از فرایند تولید شامل فرایندهای نقطه جوش سیلر جوش co_2 نشان می‌دهد. ستون PO_i این جدول مجموع بی‌مقیاس‌سازی آلاینده‌ها را نمایش می‌دهد. همچنین مقادیر ریالی مصرف انرژی در زمان تولید برای هر واحد از محصول i ام (CE_i) به صورت بی مقیاس شده ستون U_i در این جدول نشان ارائه شده است.

جدول ۶ بی‌مقیاس‌سازی آلودگی ناشی از تولید محصول

محصولات	نقطه جوش	سیلر	جوش co2	POi	CEi	U_i
پژو ۴۰۵	۰,۴۸	۰,۷۸	۱,۰۰	۲,۲۶	۶۸۰۰۰۰	۰,۸۶
سمند	۰,۷۶	۰,۹۹	۰,۷۶	۲,۵۰	۶۳۰۰۰۰	۰,۷۹
پژو۲۰۶	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۵۳	۲,۵۳	۷۹۰۰۰۰	۱,۰۰
پارس	۰,۴۸	۰,۷۸	۱,۰۰	۲,۲۶	۷۰۰۰۰۰	۰,۸۹

۷- حل مدل و نتایج

با تکیه بر توضیحات ارائه شده در فوق و حل مدل آرمانی با رویکرد روش معیار جامع چنان‌که اشاره شد در ادامه به بررسی نتایج حاصل از حل مدل پرداخته می‌شود. گفتنی است مدل ارائه شده یک مدل تجویزی برای شرکت ایران خودرو بوده و با اندک تغییراتی قابلیت کاربرد برای هر صنعت دیگری را نیز دارد. این خاصیت می‌تواند مدل را به یک مدل جامع با نگرش جهانی تبدیل کند. نتایج حاصل از حل مدل با به‌کارگیری نرم‌افزار لینگو به دست آمده است که نشان از شدنی بودن مدل و اعتبار آن دارد. گفتنی است به منظور اجرای مدل در شرکت ایران خودرو تنها به ۵ دوره زمانی برنامه‌ریزی تولید و برای چهار محصول پر طرفدار شرکت (پژو ۴۰۵، پارس، پژو ۲۰۶ و سمند) اکتفا شده است. از این رو مدل حاصل دارای ۶۲ متغیر، ۶۷ محدودیت بوده و پس از ۱۲ تکرار در مدت یک ثانیه به جواب بهینه کلی که برابر ۳۰۹۷۹ (که انحراف نسبی تمام آرمان‌های سبز از مقدار بهینه بوده است) رسیده است. جدول ۷ برنامه تولید سبز در ساعت کار عادی و اضافه کار شرکت ناشی از اجرای مدل را ارائه کرده است.

جدول ۷ برنامه تولید محصولات در پنج دوره برنامه‌ریزی

دوره زمانی / نوع محصول	دوره اول	دوره دوم	دوره سوم	دوره چهارم	دوره پنجم
پژو پارس(کار عادی)	۲۷۵۰	۲۷۵۰	۲۷۵۰	۲۷۵۰	۲۷۵۰
پژو ۴۰۵(کار عادی)	۷۲۶	۳۰۰	۱۰۰۰	۱۱۴۵	۱۶۸۰
پژو ۲۰۶(کار عادی)	۲۲۵۰	۲۲۵۰	۲۲۵۰	۲۲۵۰	۲۲۵۰
سمند(کار عادی)	۹۱۹	۱۰۲۳	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۲۲۵۰
پژو پارس(اضافه کار)	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰	۵۵۰
پزو ۴۰۵(اضافه کار)	۰	۰	۳۰۰	۴۵۰	۴۲۰
پژو ۲۰۶(اضافه کار)	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۵۰
سمند(اضافه کار)	۰	۰	۴۰۰	۴۰۰	۲۰۰

جدول۷ بیان‌کننده آن است که محصولاتی با بیشترین سطح آلایندگی زیست محیطی به مقدار کمتر تولید شده و تمامی توان سازمان برای تولید محصولات سبزتر به مصرف رسیده است. پژو پارس و پژو ۲۰۶ بیشترین مقدار تولید را داشته به طوری که هم در ساعت کار عادی و هم در ساعت کار اضافه کار تمام توان سازمان برای تولید این دو محصول صرف شده است و محصول پژو ۴۰۵ به آلایندگی بیشتر کمترین مقدار تولید را داشته است. گفتنی است تعیین مقادیر تولید برای تمامی محصولات با در نظر گرفتن تقاضای تعهد شده شرکت و سایر عوامل مانند سودآوری و استفاده بهینه از ظرفیت تولید نیز تعدیل شده است.

گفتنی است در مدلسازی این مطالعه فقط به یک ماده اولیه (Polyacrylic acid) به عنوان نمونه پرداخته شده است. این ماده در قسمت پیش رنگ و برای رنگ آستر و در نهایت حوضچه رنگ مورد استفاده قرار گرفته و نقش مهمی در فرایند رنگ خودرو دارد. مقدار مصرف این ماده برای چهار محصول مورد مطالعه شامل مصرف اصلی (Y_i) و همچنین مقدار بازیافتی (X_i) در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸ مقدار مصرف مواد اولیه

نوع مواد اولیه	پژو ۴۰۵		سمند		پژو ۲۰۶		پارس	
	Y4	X4	Y3	X3	Y2	X2	Y1	X1
مقدار مصرف	۶۶۷۰	۴۲۸	۸۵۵۰	۹۰۰	۳۴۰۵	۲۲۰	۹۸۸۵	۵۲۰
نسبت مصرف	۰,۹۲	۰,۰۸	۰,۹۰۵	۰,۰۹۵	۰,۹۴	۰,۰۶	۰,۹۵	۰,۰۵

در جدول ۸ مقدار بازیافت مواد اولیه برای محصولات مورد مطالعه مشخص شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که درصد خیلی کمی از موارد اولیه بازیافت شده و این نسبت در قیاس با کشورهای پیشرفته بسیار پایین می‌باشد، از این رو ضروری است که به منظور تولید هرچه سبزتر برای بهبود این نقص در سازمان برنامه‌ریزی شود.

درنهایت میزان انحراف از هریک از آرمان‌های مدل در جدول ۹ ارائه شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود نتایج حل مدل بیانگر آن است که هیچ یک از آرمان‌های مدل به حد آرمانی خود نرسیده و انحرافات در آرمان‌ها همچنان باقی است، برای مثال در صورت عدم رعایت سبز بودن مقدار تولید شرکت در ۵ دوره برنامه‌ریزی می‌توانست به مقدار ۸۰۰۰ واحد بیشتر باشد. علاوه بر آن در مورد آرمان‌های مصرف انرژی و آلودگی محصول و فرایند نیز در مجموع انحرافات باقی مانده و مدل در یک حالت تعدلی بین آرمان‌ها به مقدار بهینه خود رسیده است.

جدول ۹ مقدار انحراف از آرمان‌های مدل

نوع آرمان	درجه اهمیت	مقدار انحراف نامطلوب
مصرف انرژی (d_1^+)	۰,۲۲	۵۳۱۸
آلودگی محصول (d_2^+)	۰,۱۹	۱۳۰۳۰
آلودگی فرآیند (d_3^+)	۰,۱۸	۱۲۶۳۱
تولید (d_4^-)	۰,۴۱	۸۰۰۰

علاوه بر آن در جدول ۹ مشاهده می‌شود که بیشترین انحراف نامساعد از آرمان‌ها مربوط به آرمان آلودگی محصول می‌باشد و کمترین انحراف نامطلوب در آرمان مصرف انرژی به‌ترتیب آرمان ۴و ۱ بوده است.

انحراف نامساعد بعدی مربوط به آرمان ۴، یعنی آرمان ظرفیت تولید است و نشان‌دهنده این موضوع است که مدل تلاش خود را در جهت تولید هرچه بهتر محصولات سبز کرده و با انتخاب محصولات سبزتر از بین سبد محصولات و اختصاص ظرفیت بیشتر تولید، کمترین انحراف را از آرمان‌های دیگر حاصل کرده است. لازم به یادآوریست که مفهوم توسعه محصول سبز از اواخر سال ۱۹۸۰ شکل گرفت و مبین محصولاتی است که عملکرد زیست محیطی و اجتماعی آن در تولید، بهره‌برداری و دفع در مقایسه با سایر کالاها بهبود یافته باشد و برای محیط زیست زیان نداشته باشد[۳۸].

با توجه به ضریب اهمیت حاصل شده از خبرگان شرکت (۰,۴۱) انحراف نامطلوب کمتر در این آرمان نسبت به آرمان‌های سبز بودن قابل پیش بینی بوده است. از این رو نتایج حاکی از آن است که به منظور سبزشدن هرچه بیشتر، شرکت ناگزیر از تحمل انحراف بیشتر از ظرفیت تولید فعلی خود می‌باشد.

۸- نتیجه‌گیری

پس از اجرای مدل توسعه داده شده به ازای یک ماده اولیه مهم و دوره زمانی ۵ ماهه در برنامه‌ریزی تولید شرکت مورد مطالعه چنان‌که در بخش قبلی اشاره شد، نکات ذیل قابل استخراج می‌باشند.

جدول ۴ نشان‌دهنده مقادیر مختلف آرمان‌ها به ازای دوره‌های مختلف برنامه‌ریزی کالا در صورت اجرای مستقل هریک از آرمان‌ها بوده است. همان طور که مشخص است، در این جدول در تمامی دوره‌ها مقدار مورد نیاز تولید (G_t) برآورده شده است و این در حالی است که در مدل نهایی وجود انحراف نامطلوب ۸۰۰۰ واحدی از ظرفیت تولید اشاره به تأثیر متغیرهای سبز بودن بر حجم تولید شرکت داشته است، به عبارت دیگر مورد مطالعه به منظور رسیدن به ایده‌آل خود در جنبه‌های تولید سبز ناگزیر از صرفنظر کردن از بخشی از ظرفیت تولیدی خود و تخصیص آن به محصولات سبزتر می‌باشد. این مهم بیانگر آن است که فشارهای اجتماعی و

الزام‌های قانونی برای تولید سبزتر در کوتاه‌مدت منجر به ناکارایی عملیاتی شرکت در استفاده از ظرفیت تولید شده است و این در حالی است که اقبال عمومی جامعه، ارزش برند و درنهایت پایداری تولید و بقا در بلندمدت ناشی از تولید سبز و رعایت الزام‌های اجتماعی و قانونی است.

لازم به یادآوری است که انحرافات نامطلوب در جدول ۹ با توجه به درجات اهمیت در نظر گرفته شده برای آرمان‌ها حاصل شده است، لذا می توان با تغییر درجات اهمیت محورهای سبز بودن (در قالب آرمان‌ها)، به تحلیل حساسیت نتایج مدل پرداخت. به عبارت دیگر می‌توان تغییر در سیاست‌های شرکت در خصوص میزان سبز شدن را از طریق تغییر در ضرایب اهمیت آرمان‌ها لحاظ و نتایج حاصل را بررسی کرد.

در بیشتر مدل‌های تولید سبز فقط به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است و اولویت سبز بودن از طریق کمینه کردن دی اکسید کربن در محیط زیست مد نظر قرار گرفته است. این نکته را می‌توان در پژوهش‌هایی چون مدل تولید طلایی و همکاران، ۲۰۱۶ ، سویسال و همکاران، ۲۰۱۶ و همچنین مدل تروچیو و همکاران، ۲۰۱۵ مشاهده نمود. در حالی که مدل ارائه شده در این پژوهش با توجه به چندهدفه بودن به طور همزمان سه بعد اصلی تولید سبز و همچنین الزام به تأمین ظرفیت تولید را مد نظر قرار می‌دهد. بنابراین تمامی ابعاد تولید سبز از جمله مصرف انرژی، تولید گازهای گلخانه‌ای در فرایند تولید، تولید کالاهای سبزتر و استفاده از مواد بازیافتی برای برنامه‌ریزی کالا در این مدل لحاظ شده و می‌تواند به عنوان عمده‌ترین نوآوری تحقیق حاضر مد نظر قرار گیرد. علاوه بر آن ارائه مدل ریاضی آرمانی عدد صحیح به منظور توسعه ابعاد تولید سبز در برنامه‌ریزی تولید و احصای سطح ایده‌آل آرمان‌های مدل چنان‌که اشاره شد، از جمله دیگر نوآوری‌های این تحقیق می‌باشند.

۸-۱- پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده

با توجه به ظرفیت مدل در پذیرش ضرایب اهمیت متفاوت برای آرمان‌ها می توان اشاره کرد که در مدل توسعه داده شده امکان ورود اولویت‌های متفاوت در برنامه‌ریزی تولید سازمان وجود دارد، از این رو با توجه به سیاست‌های سازمان و

به‌وسیله اوزان اهمیت آرمان‌ها می‌توان سایر شرایط و سیاست‌های تولیدی را بررسی کرد و بهترین برنامه تولید را حاصل نمود. علاوه بر آن از این مدل می‌توان در صنایع دیگر مانند صنعت پتروشیمی و فولاد استفاده کرد و دانش و فناوری تولید و همچنین روش‌های تولید را هم به مدل اضافه کرد تا مدل برنامه‌ریزی سبز علاوه بر انتخاب کالاهای سبز، سبزترین روش و تکنولوژی تولید را برنامه‌ریزی کند.

علاوه بر آن ظرفیت مدلسازی ریاضی امکان اضافه کردن سایر محدودیت‌ها از جمله سایر الزام‌های زیست محیطی و مقررات قانونی فراهم می‌کند.

۹- پی‌نوشت‌ها

1. Closed loop supply chain network

۱۰- منابع

[1] Yang M.G., Hong P., Modi S. B. (2011) "Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms", *Int. J. Prod. Econ*, 129: 251–261.

[2] Tseng M.L. A. (2011) "Green supply chain management with linguistic preferences and incomplete Information", Appl. *Soft Comput*, 11: 4894–4903.

[3] Tseng M.L., Chiu A.S.F. (2012) "Grey-entropy analytical network process for green innovation practices", Procedia Soc. Behav, Sci. 57: 10–21.

[4] Lin R.J. (2013) "Using fuzzy DEMATEL to evaluate the green supply chain management practices", *J. Cleaner Prod*, 40: 32–39.

[5] Afarinesh newspaper, What is the Kyoto Protocol http: //afarineshdai.ir /afarinesh / News. aspx NID = 24123.

[6] Vachon S., Klassen R.D. (2008) "Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain", *Int. J. Prod. Econ*, 111: 299–315.

[7] Ghayebloo S., Tarokh M. J., Venkatadri U., Diallo C. (2015) "Developing a bi-objective model of the closed-loop supply chain network with green supplier selection and disassembly of products: The impact of parts reliability and

product greenness on the recovery", *Journal of Manufacturing Systems,* 36: 76–86.

[8] Rahimpour Golroudbary S., Zahraee S. M. (2015), "System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain", *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53: 88–102.

[9] Eltayeb T.K., Zailani S., Ramayah T.(2011) "Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes", *Resour. Conserv. Recycl*, 55: 495–506.

[10] Rao P., Holt D. (2005) "Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?", *Int. J. Oper*. Prod. Manage, 25: 898-909.

[11] Hsu C.W., Hu A.H. (2009) "Applying hazardous substance management to supplier selection using analytic network process?" *J. Cleaner Prod*, 17: 255–264.

[12] Yang G., Wang Z., Li X. (2009) "The optimization of the closed-loop supply chain network", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1): 16–28.

[13] Azevedo S.G., Carvalho H., Cruz machado V. (2011) "The influence of green practices on supply chain performance: A case study Approach", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6): 850– 871.

[14] Zhu Q., Sarkis J., Geng Y. (2005) "Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance", *International Journal of Operations & Production Management*, 25: 449-468.

[15] Wang Z., Mathiyazhagan K., Xu L., Diabat A. " (2016) A decision making trial and evaluation laboratory approach to analyze the barriers to Green Supply Chain Management adoption in a food packaging Company", *J. Cleaner Prod*, 117: 19-28.

[16] Khodabakhshi M., Nasery S., Dehghan F.(1393) "Analyzing green supply chain Determinants in industrial organizations", *Amad Thought*, 49:121-138.

[17] Xiongyi L., Wang W. (2008) "Research on green supply chain management", *International conference on logistics engineering and supply chain management*, School of Management Zhongyuan University of Technology, P.R. China

[18] Johansson G., Winroth M. (2009) "Lean vs green manufacturing: Similarities and differences", *Proceedings of the 16th International Annual Euro MA conference, Implementation Realizing Operations Management Knowledge*, 14-17.

[19] Atlas M., Florida R. (1998) "Green manufacturing", in Richard Dorf (Editor), Handbook of Technology Management: 77-89.

[20] Srivastava S.K. (2007) "Green supply- chain management: A state-of-the-art literature review", *Int. J. Manage*. Rev. 9:53–80.

[21] Handfield R., Walton S.V., Sroufe R., Melnyk S.A. (2002) "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the analytical hierarchy process", *Eur. J. Oper*, Res. 141:70–87.

[22] Hervani A. A., Helms M. M., Sarkis J. (2005) "Performance measurement for green supply chain management", *Benchmarking Int. J*., 12: 330–353.

[23] Wei J., Lin X. (2008) "The multiple attribute decision-making VIKOR method and its application", *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, WiCOM '08. 4th *International Conference on*, IEEE 1–4.

[24] Wooi G.C., Zialani S. (2012) "Green supply initiatives: Investigation on the barriers in the context of SMEs in Malaysia", Int. Bus. Manage: 0–27.

[25] Richey R.G., Tokman M., Wright R.E., Harvey M.G. (2005) "Monitoring reverse logistics programs: A roadmap to sustainable development in emerging markets?", *Multinational Bus*, Rev: 41–65.

[26] Shen L., Olfat L., Govindan K., Khodaverdi R., Diabat A. (2013) "A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's performance in green supply chain with linguistic preferences", *Resour. Conserv. Recycl*, 74: 170–179.

[27] Yang C.S., Lu C.S., Haider J.J., Marlow P.B. (2013) "The effect of green supply chain management on green performance and firm competitiveness in

the context of container shipping in Taiwan", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 55: 55–73.

[28] Niknejad M., (1390) "Green supply chain (Case de studio) ", Industrial Management, 34: 20-27.

[29] Rusli K.A., Rahman A., Ho J. A. (2012) "Green supply chain management in developing countries: A study of factors and practices in Malaysia". *UMT 11th International Annual Symposium on Sustainability Science and Management Terengganu*, Malaysia.09th–11th July 2012: 56-69

[30] Zhu Q, Sarkis J., Lai K.H. B. (2008) "Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation", Int. J Prod. Econ. 111: 261– 273.

[31] Alhaja M. A., Svetinovicb D., Diabata A. (2016) "Carbon-sensitive two-echelon-inventory supply chain model with stochastic demand Resources", *Conservation and Recycling,* 108: 82–87.

[32] Luthra S., et al. (2016) "The impacts of critical success factors for implementing green supply chain management towards sustainability: An empirical investigation of Indian automobile industry", *Journal of Cleaner Production*, 121: 142-158.

[33] Talaei A., Moghaddam B., Pishvaee C., Bozorgi-Amiri A. D. (2016) "A robust fuzzy optimization model for carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: A numerical illustration in electronics industry Mohammad", *Journal of Cleaner Production,* 113: 662–673.

[34] Julien Trochu, Amin Chaabane, Mustapha Ouhimmou (2015) "Tactical planning model for procurement and manufacturing decisions under environmental regulations", IFAC-Papers On Line 48-3: 362–367.

[35] Chong Wua, David Barnes (2016) "An integrated model for green partner selection and supply chain construction", *Journal of Cleaner Production*, 112: 2114–2132.

[36] Hai-Ning K. (2015) "Green mixed integer linear programming model for optimization of byproduct Gases in Iron and Steel Industry", *Journal of Iron and steel Research,* 22(8): 681-685.

[37] Momeni M. (1391) *New topics in operations research*, Tehran, Iran.

[38] Keshavarz P., Endalib A.D. (2016), "Assessment the green product development and its impact on customer's mental image with structural equation modeling approach (case study: food industry in Yazd province)", *Modern Researches in Decision Making*, 1(3), 85-112.