تحقیق در عملیات لجستیک سبز؛ نگاهی به ابعاد و جوانب، مسائل، کمک‌ها و چالش‌ها

مقاله پژوهشی

کسری پورکرمانی*، استادیار، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
مصطفی نعمتی، دانش آموخته حمل و نقل دریایی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: pourkermani@kmsu.ac.ir

دریافت: ۹۹/۰۴/۲۸- پذیرش: ۹۹/۱۱/۰۵
صفحه ۱۱۴-۹۵

چکیده

رشد اقتصاد جهان در قرن اخیر، باعث مصرف کالاهای فراوان شده و از طرفی، پروسه‌ی جهانی‌سازی نیز منجر به شکل‌گیری جریانات عظیمی از کالاها در اقصی نقاط دنیا شده است؛ اما تولید، حمل‌ونقل، انبارداری و مصرف این کالاها، مشکلات زیست‌محیطی عدیده‌ای را پدید آورده است. امروزه، گرم شدن جهان در اثر تولید و انتشار گسترده‌ی گازهای گلخانه‌ای، اصلی‌ترین نگرانی زیست‌محیطی محسوب می‌شود. دولت‌ها، کارگروه‌ها و شرکت‌های بزرگ تجاری، در حال آماده شدن برای رویارویی با این تهدید هستند. رشته تحقیق در عملیات، سابقه‌ی دیرینه‌ای در بهبود روش‌های عملیاتی، به‌ویژه در کاهش هزینه‌ها دارد. نگارندگان در این پژوهش حاضر، خلاصه‌ای از کمک‌های بارز تحقیق در عملیات به لجستیک سبز را بازگو می‌کنند که شامل تلفیقی از ابعاد و جنبه‌های زیست‌محیطی در فرآیندهای تدارکاتی است. با تمرکز بر طراحی، برنامه‌ریزی و نظارت بر زنجیره‌ی تأمین ترابری، موجودی کالاها و تصمیمات اتخاذی درباره‌ی تسهیلات و امکانات، خلاصه‌ای از پیشرفت‌های فعلی و تحولاتی که ممکن است در آینده شاهد رخ دهید را بیان می‌کنند. در این مسیر، به تحقیقات مختلفی که مدل‌های OR برنامه‌های لجستیکی را از ابعاد زیست‌محیطی مورد مطالعه قرار داده‌اند نیز اشاره‌ای خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: محیط‌زیست، لجستیک، مدیریت زنجیره‌ی تأمین، حمل‌ونقل

۱- مقدمه

تحقیق در عملیات (OR)، به‌عنوان علم بهبودی تعریف شده است؛ چراکه بیشترین توجه آن به این مسئله است که هزینه‌ی فرآیندهای موجود را به کمترین حد ممکن برساند. با این حال، در جامعه‌ی امروز، صرفاً دستیابی به منافع مهم نیست؛ زیرا بسیاری از مردم، شرکت‌ها و دولت‌ها نگران حفظ و پایداری جامعه هستند(Barbosa-Póvoa, da Silva, & Carvalho, 2018). با این اوصاف، آیا می‌توان سهمی برای تحقیق در عملیات در راستای حرکت به سمت یک محیط‌زیست بهتر و سالم‌تر قائل شد؟ به نظر نگارندگان، نقش OR برای محیط‌زیست باید بیشتر مورد توجه قرار بگیرد. تحقیق در عملیات، منجر به مصرف کاراتر منابع می‌گردد؛ موضوعی که نه‌تنها از بابت صرفه‌جویی در هزینه‌ها که از منظر تولید کمتر گازهای گلخانه‌ای نیز حائز اهمیت است. علاوه بر این، تحقیق در عملیات، به شناسایی روابط جایگزین (تعادل‌های پایدار) میان محیط‌زیست و هزینه‌ها کمک می‌کند. بسیاری از اوقات، می‌توان با اندک هزینه‌ای، تولید گازهای گلخانه‌ای را کلی کاهش داد. به این دلیل، شگردهای تحقیق در عملیات، به‌ویژه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش‌های مهمی در این رابطه هستند.

نگارندگان، در این تحقیق به دنبال کمک‌های (احتمالی) OR به لجستیک سبز هستند؛ به‌عبارت دیگر، به مطالعه‌ی روش‌هایی می‌پردازند که از اثرات جانبی بر محیط‌زیست می‌کاهند؛ اثراتی که عمدتاً به انتشار گازهای گلخانه‌ای، سروصدا

و حوادث عملیات لجستیکی مربوط است و از این‌رو، کاهش این اثرات باعث ایجاد تعادل پایداری بین اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شوند.

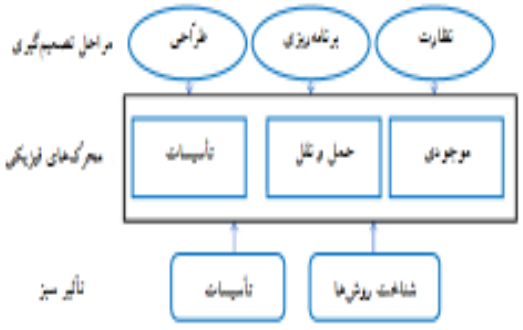
در این مقاله، کلیه‌ی ابعاد عملیات لجستیکی ازجمله حمل‌ونقل، انبارداری و فهرست موجودی، بررسی شده و به آثار زیست‌محیطی آن‌ها مثل انتشار گازهای گلخانه‌ای، سروصدا و استفاده از منابع کمیاب، رسیدگی می‌شود. در نظر نگارندگان، بین مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز و لجستیک سبز، تفاوتی وجود ندارد. درست است که بیشتر توجه آن‌ها بر روی موضوع حمل‌ونقل است؛ اما چشم‌انداز گسترده‌تری (زنجیره‌ی تأمین) را مورد مطالعه قرار می‌دهند. البته موضوعاتی مثل تولید آگاهانه‌ی زیست‌محیطی یا مدیریت زباله، در این چشم‌انداز قرار نمی‌گیرند. هدف از این تحقیق مروری، بیان خلاصه‌ای از تحولات کنونی و پیشرفت‌هایی است که ممکن است در آینده اتفاق افتد. از آنجایی که در حال حاضر مقالات زیادی در دست تألیف و نگارش است، ادعا نمی‌شود که در این مقاله به تمام جزئیات و جوانب پرداخته می‌شود؛ بلکه تمرکز نگارندگان، بر ساختار موضوع تحقیق در عملیات بوده و در این راستا تعدادی از مقالات این حوزه را مرور می‌کنند. انتخاب هرکدام از این مقالات، به طرز تفکر شخصی شما بستگی دارد. مقالات موردی دیگری نیز در این زمینه انجام شده‌اند؛ مانند تحقیقات Corbett & Kleindorfer (Kleindorfer, 2001 و Kleindorfer, Kleindorfer) (Singhal, & Van Wassenhove, 2005 با موضوع مدیریت عملیات پایدار و Sirvastana (Srivastava, 2007) و Sarkis (Sarkis, Zhu, & Lai, 2011) پیرامون مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز، Eglese & Sbihi (Sbihi & Eglese, 2010) در رابطه با بهینه‌سازی ترکیبی و لجستیک سبز؛ ولی تا به امروز، تحقیق حاضر، از همه جامع‌تر بوده و به جزئیات بیشتری از موضوع ترابری و حمل‌ونقل پرداخته است. از این منظر، پژوهش حاضر، پاسخی است به شکاف اکولوژی صنعتی که در تحقیق Sheu (Sheu, Chou, & Hu, 2005) به آن اشاره شده و پیرامون یکپارچه‌سازی فرآیندهای لجستیکی در قالب یک زنجیره‌ی تأمین سبز است.

کتاب جدید McKinnon (A. McKinnon, Browne, Whiteing, & Piecyk, 2015)، اشتراکاتی با تحقیق حاضر دارد؛ اما چشم‌انداز تحقیق حاضر گسترده‌تر است. لازم به ذکر است که روش ساختاربندی این تحقیق، با دیدگاه‌های کاری مشاوران Palanevelu و Dhawan (Palanivelu & Dhawan, 2011) همخوانی دارد.

در تحقیق حاضر، بیشتر از ساختار زنجیره‌ی تأمین Chopra و Meindl (Chopra, Meindl, & Kalra, 2013) پیروی می‌شود. نخست در رابطه با محرک‌های فیزیکی مهم نهفته در پس زنجیره‌ی تأمین صحبت شده و در بخش (۲)، به موضوع حمل‌ونقل پرداخته می‌شود؛ محصولات و فهرست اقلام در بخش (۳) و امکانات و تسهیلات در بخش (٤) مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این میان، گزینه‌های مهمی در این محرک‌ها که بر عملکرد محیط‌زیست تأثیرگذارند، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

این گزینه‌ها، در قالب ۳ فاز تصمیم‌گیری زنجیره‌ی تأمین با نام‌های طراحی، برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی می‌شوند. علاوه بر این، بحث، به سمت زنجیره‌های تأمین معکوس پیش می‌رود. در بخش (۵)، پیرامون طراحی یک زنجیره‌ی تأمین بحث شده و توضیح داده می‌شود که ترکیب محرک‌ها چه اثراتی روی محیط‌زیست دارد. در بخش (٦)، به تحقیق درباره‌ی زنجیره‌های تأمین معکوس و حلقه بسته پرداخته می‌شود. موضوع اصلی بخش (۷)، بررسی ۳ محرک با عملکرد متقابل یعنی منبع‌یابی، برنامه‌ریزی و قیمت‌گذاری (مدیریت درآمد) بوده و در بخش (۸)، نگاه دقیق‌تری به موضوع برنامه‌ریزی عملیاتی زنجیره‌های تأمین خواهد شد. معیارهای زنجیره‌ی تأمین سبز، در بخش (۹) بررسی می‌شوند و در بخش (۱۰)، به توضیح آن دسته از روش‌های تحقیق در عملیات پرداخته می‌شود که به شکل‌گیری روابط جایگزین در لجستیک سبز یا به‌عبارتی، به تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره کمک می‌کنند.

خلاصه‌ای از بخش‌های این مقاله را در تصویر (۱) می‌بینید.



تصویر ۱. چارچوب مقاله

۲- ترابری و حمل‌ونقل

مشهودترین و بارزترین جنبه‌ی زنجیره‌ی تأمین از نگاه زیست‌محیطی، مؤلفه‌ی حمل‌ونقل است. میزان انتشار CO_2 ناشی از حمل‌ونقل، چیزی در حدود ۱۴ درصد از کل تولید گازهای گلخانه‌ای –چه در سطح جهانی و چه در سطح اتحادیه‌ی اروپا– است. علاوه بر این، حمل‌ونقل، منشأ اصلی تولید گازهای NOX و SO_X و PM (ذرات معلق یا ریزذرات) است. (Woodburn & McKinnon (A. C. McKinnon & Woodburn, 1996) و (Piecyk & McKinnon (Piecyk & McKinnon, 2010)، تحقیقاتی با موضوع مهم‌ترین عوامل زمینه‌ساز انتشار CO_2 در حمل‌ونقل جاده‌ای انجام داده‌اند. نتیجه‌ی این تحقیقات، تهیه‌ی الگویی متشکل از ۵ نوع عامل بود که عبارت‌اند از:

(۱) عوامل ساختاری مؤثر بر تفکیک وسایل سفر

(۲) عوامل تجاری مؤثر بر فاکتورهای استفاده مؤثر از بار

(۳) عوامل عملیاتی

(۴) عوامل عملکردی

(۵) عوامل بیرونی اثرگذار بر غلظت کربن سوخت

از آنجایی که نگارندگان متن حاضر، در این مقاله شیوه‌های دیگری از حمل‌ونقل را نیز مورد بررسی قرار می‌دهند، این الگو را کمی تغییر می‌دهند. با توجه به الگوهای حمل‌ونقل اشاره‌شده در مدل‌های تحقیق در عملیات، ۴ گزینه را بررسی می‌کنیم که عبارت‌اند از:

(۱) تفکیک وسایل سفر (تعیین درصد استفاده افراد از وسایل عمومی و شخصی)

(۲) حمل‌ونقل با چند نوع وسیله‌ی نقلیه

(۳) نوع تجهیزات

(۴) نوع سوخت

۲-۱ - تفکیک وسایل سفر

یکی از گزینه‌های اصلی در حمل‌ونقل، انتخاب روش یا طریقه‌ی حمل‌ونقل است:

(۱) حمل‌ونقل با هواپیما

(۲) کشتی

(۳) کامیون

(۴) قطار

(۵) قایق

(۶) حمل‌ونقل کانالی

هرکدام از این روش‌ها از نظر هزینه، زمان انتقال، سهولت دسترسی و همین‌طور عملکرد زیست‌محیطی، ویژگی‌های خاص خود را دارند؛ ولی انتخاب‌ها در عمل محدود هستند؛ چون شیوه‌ی حمل‌ونقل غالباً متأثر از «نوع کالا» (آبکی، فله، یا بسته‌بندی) و «فاصله‌ای» است که باید پیموده شود. درخصوص زنجیره‌های تأمین بین‌قاره‌ای، انتخاب اصلی، یکی از دو گزینه‌ی ترابری هوایی یا دریایی است. در زنجیره‌های قاره‌ای، انتخاب عمدتاً یکی از میان کامیون‌های باری، هواپیما، قطار، یا کشتی‌های آب‌های غیرمتلاطم است. کالاهایی که زمان ترابری برای آن‌ها مهم محسوب می‌شود، عمدتاً از راه هوایی ارسال می‌شوند؛ اما کالاهای حجیم (زغال‌سنگ، سنگ آهن) به‌وسیله‌ی قطار، کشتی‌های باری درون‌مرزی، یا از طریق حمل‌ونقل کانالی منتقل می‌شوند. نوآوری‌های تکنولوژیک نظیر مخازن خنک‌کننده (کامیون‌های یخچال‌دار) و آنالیزگرهای ثبت دما، کمک کرده‌اند که به جای سامانه‌های سریع باربری، از روش‌های ترابری آهسته‌تری استفاده شود، مثل:

- حمل‌ونقل با ماشین‌ها
- واگن‌های باری
- کشتی‌های دریایی

تعداد مقالات در حوزه‌ی تحقیق در عملیات که تا به امروز پیرامون موضوعات فوق نوشته شده، انگشت‌شمار است. (Leal & D'Agosto, 2011). با در نظرگیری مسائل مالی و اجتماعی و زیست‌محیطی، از گزینه‌ی تفکیک وسایل سفر برای پیدا کردن روش‌های دیگری از حمل‌ونقل بیواتانول استفاده کردند. آن‌ها بهترین گزینه را در این دیدند که محموله با ترابری جاده‌ای محلی به ناوگان کانالی دوربرد رسانده شود تا بیواتانول از آنجا مستقیماً تحویل بنادر گردد. به نظر می‌رسد ترابری جاده‌ای طولانی، بدترین گزینه‌ی انتخابی باشد.

در حوزه‌ی حمل‌ونقل، مقالات متعددی با موضوع شناسایی اولویت‌های مؤسسه‌ی ترابری با در نظرگیری شاخص‌های مختلف ازجمله هزینه، کیفیت و سرعت، به رشته‌ی تحریر درآمده است. اگرچه باید به آمار و ارقام این حوزه به دیده‌ی احتیاط نگریست؛ چراکه روش محاسبه به‌شدت بر این آمار و ارقام تأثیر می‌گذارد. با این حال، تصمیم نگارندگان بر آن شد که در جدول (۱)، مقایسه‌ای داشته باشند از میزان تولید آلودگی

ناشی از تجهیزاتی که در روش‌های مختلف حمل‌ونقل استفاده می‌شوند.

TEU، معیاری استانداردی است که برای کانتینرها تعریف شده است؛ یک TEU، معادل با ۱۸ متر (۲۰ft) است. کانتینر و PM، نشانه‌ی ذرات معلق بوده که به آن‌ها ریزذرات هم گفته می‌شود. در اینجا بر روی بعضی از ارتباطات کلی مشاهده‌شده در این جدول تأکید می‌شود. نکته‌ی مهم‌تر، این است که در یک شیوه‌ی ترابری، هرچه واحد ترابر بزرگ‌تر باشد، تولید و انتشار هر گرم CO_2 در واحد زمان در هر کیلومتر (g/t/km) کمتر است (با فرض ثابت بودن بار برداشته‌شده). وقتی شیوه‌های حمل‌ونقل را با هم مقایسه می‌کنیم، درمی‌یابیم که با ترابری آبی می‌توان بارهای سنگین‌تری را جابجا کرد. پس در این روش، تولید و انتشار CO_2 کمتر است، حمل‌ونقل ریلی نسبت به ماشین‌های باری کارآمدتر بوده و یک بوئینگ ۷۴۷ علی‌رغم اینکه هواپیمای عظیم‌الجثه‌ای است، در قیاس با روش‌های دیگر به‌هیچ‌وجه صرفه‌ی CO_2 مطلوبی ندارد. این روش‌ها از نظر انتشار SO_X تفاوت چندانی با هم ندارند؛ به‌جز هواپیمای بوئینگ که قطعاً گازهای گوگرددار زیادی تولید می‌کند. تولید گازهای نیتروژنه (NO_X) در ترابری‌های کشتیرانی بالا است، در حالی که واگن‌های باری و مسیرهای ریلی سوخت دیزل از این نظر روش‌های ترابری نسبتاً پاک‌تری هستند و بالاخره اینکه تفاوت چندانی بین آمار ریزذرات (PM) در روش‌های مختلف دیده نمی‌شود؛ لذا این پارامتر به‌شدت به طراحی خاص موتور و استفاده کردن یا نکردن از فیلتر دوده‌گیر بستگی دارد. بدیهی است که از دیدگاه زیست‌محیطی، هیچ روشی به‌تنهایی روش برتر به‌حساب نمی‌آید و اینجاست که به‌کارگیری روش‌های تحقیق در عملیات (OR)، به تشخیص راهکارهای جایگزین در انتخاب روش‌های مختلف بسیار کمک می‌کند. در ذیل، به خلاصه‌ای از کمک‌های اخیر OR در این رابطه اشاره می‌شود.

جدول ۱. مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در یگان‌های ترابری متداول روش‌های مختلف(NTM, 2020)

مصرف انرژی/ انتشار(g/t/km)	کشتی‌هایی با مخازن نوع PS (11000 TEU)	کشتی‌هایی با مخازن نوع S (6600 TEU)	ریل برقی	ریل دیزل	کامیون‌های سنگین	بوئینگ ۷۴۷- ۴۰۰
KWh/t/km	0.014	0.018	0.043	0.067	0.18	2.00
CO_2	7.48	8.36	18	17	50	552
SO_X	0.19	0.21	0.44	0.35	0.31	5.69
NO_X	0.12	0.162	0.10	0.00005	0.00006	0.17
PM	0.008	0.009	n/a	0.008	0.005	n/a

Bloemhof و همکارانش (Fan, Behdani, Bloemhof-Ruwaard, & Zuidwijk, 2019)، برای مقایسه‌ی اثرات زیست‌محیطی ناشی از ناوبری داخلی (کشتی‌رانی در رودخانه‌ها) و ترابری ریلی و جاده‌ای، از نمودارهای رادار پایداری استفاده کردند. ترابری‌های جاده‌ای، بیشترین سهم را در تولید گازهای گلخانه‌ای دارند؛ به‌طوری که در سال‌های اخیر این میزان بسیار کمتر شده است. چنانچه حمل‌ونقل ریلی و ناوگان درون کشوری همچنان بخواهند از نوآوری‌ها دور بمانند، شکاف موجود از این هم بیشتر خواهد شد. چنین به نظر می‌آید که فقط نوآوری‌های پایدارند که علاوه بر کمک به سودآوری، در این زمینه نیز موفق خواهند بود. اتحادیه‌ی اروپا (EU)، استانداردهایی را برای سطح انتشار NO_X، SO_X و PM ماشین‌های باری مشخص کرده است. با توجه به این استانداردها، امروزه کامیون‌هایی با بالاترین سطح استاندارد (استاندارد Euro V)، سوخت بسیار پاک‌تری از اکثر کشتی‌ها و قطارها دارند. کشتی‌های اقیانوس‌پیما، مقادیر بسیار زیادی از گازهای NO_X را وارد محیط می‌کنند. تخمین زده شده که تا سال ۲۰۲۰، انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از ناوگان کشتیرانی از کل گازهای تولیدشده از منابع متحرک، ثابت و سایر منابع مستقر در خشکی پیشی بگیرد، مگر آنکه اقدام عاجلی در این زمینه به عمل آید(Ni, Wang, & Li, 2020).

۲-۲ – حمل‌ونقل با چند نوع وسیله‌ی نقلیه

هنگامی که فقط از یک واحد باربری استفاده می‌شود (مثل وقتی که بار فقط با کانتینر حمل می‌شود)، گزینه‌هایی (وسایل نقلیه) که برای حمل‌ونقل می‌توان در نظر گرفت، نزدیکی بیشتری به هم دارند تا زمانی که حمل‌ونقل به طرق مختلفی انجام می‌گیرد (ترابری اینترمودال). یکی از موانع کارایی و کفایت حمل بار، جابه‌جایی کالاها در مکان‌هایی است که قرار است به کشتی یا وسایط نقلیه دیگری انتقال داده شوند. ورود کانتینرها، تا حدود زیادی این ناکارآمدی را مرتفع کرده است. امروزه حمل بسیاری از کالاها از قاره‌ای به قاره دیگر به‌وسیله‌ی کانتینرها صورت می‌گیرد. در بخش زمینی، انتقال کالاها توسط کامیون‌ها، مسیرهای ریلی، یا به‌وسیله‌ی قایق‌های باری انجام می‌گیرد. افزایش ایستگاه‌های کانتینری جدید (داخلی یا درون کشوری) و کمک به تشکیل مسیر یکپارچه‌ای از ترابری آبی، ریلی، جاده‌ای، ماشین‌های باربری را از پیمودن هزاران هزار کیلومتر مسیر در مناطق پرازدحام بی‌نیاز کرده است و متعاقباً از اثرات سو حمل‌ونقل بر محیط‌زیست، خواهد کاست. این موضوع درخصوص زنجیره‌های قاره‌ای نیز صدق می‌کند؛ اما دردسر حمل‌ونقل با چند وسیله‌ی نقلیه نسبت به یک وسیله‌ی نقلیه، این است که باید هماهنگی‌های بیشتری صورت بگیرد. مقالاتی با موضوع اهمیت رؤیت‌پذیری در ترابری اینترمودال نوشته شده است. با این حال، تعداد مقالاتی که پیامدهای زیست‌محیطی این روش را مخاطب خود قرار داده‌اند، مانند تحقیق Bauer (Bauer, Bektaş, & Crainic, 2010)، بسیار کم است. Goel (Goel, 2010)، برای افزایش ضریب اطمینان تحویل به‌موقع کالا، مدلی از ترابری متشکل از انتخاب روش حمل‌ونقل و انتخاب مسیر حمل‌ونقل را پیشنهاد کرد. در این‌گونه مدل‌ها می‌توان معیارهای سبز نظیر انتشارات کربنی، انرژی مصرف‌شده و تباهی و اتلاف انرژی را به‌راحتی جای داد. Janic (Janic, 2011)، با اتصال یک فرودگاه بزرگ به یک شبکه‌ی ترابری ریلی پرسرعت، به بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از تبدیل این فرودگاه به یک گره حمل‌ونقل چندوجهی (مولتی مودال) پرداخت. Macharis و Bontekoning (Macharis & Bontekoning, 2004)، بیان داشتند که تحقیقات پیرامون موضوع ترابری بارها با چند وسیله‌ی نقلیه، رشته‌ی جدید و نوظهوری است که نیازمند مدل‌های ترابری متفاوتی از مدل‌های مورد استفاده در ترابری یونیمودال (حمل‌ونقل با یک وسیله) می‌باشد.

۲-۳ -انتخاب و کارایی تجهیزات

وقتی شیوه یا شیوه‌های حمل‌ونقل انتخاب گردید، نوبت به تصمیم‌گیری درباره‌ی نوع و اندازه‌ی واحد حمل می‌رسد. تصمیم‌گیری در این مورد بر ظرفیت، سرعت، پارامترهای اقتصادی و عملکرد زیست‌محیطی تأثیر خواهد داشت. همان‌طور که در مبحث (۲,۱) گفته شد، هرچه واحد ترابری بزرگ‌تر باشد، انتشار CO_2 باز هر کیلوگرم کالای حمل‌شده کمتر است؛ همین‌طور با توجه به جدول (۱)، انتشار گازهای دیگری چون NO_X، SO_X و PM نیز کمتر خواهد بود؛ اما این رابطه فقط در صورتی برقرار است که تغییری در ضریب بار یا ضریب بهره‌مندی ایجاد نشود. این یک نکته‌ی تاکتیکی/عملیاتی مهم قلمداد می‌شود. از طرفی، تجهیزات جدید نیز بهره‌وری انرژی بیشتری دارند. موضوعی که می‌توانیم مصداق آن را در هواپیماها ببینیم؛ به‌عبارتی هواپیماهای مدرنی مثل ایرباس ۳۸۰ یا بوئینگ ۷۷۷-۳۰۰، از نظر مصرف انرژی کارآمدتر از همتاهای قدیمی خود مثل بوئینگ ۷۴۷-۴۰۰ هستند؛ همین‌طور مصرف انرژی کشتی‌های کانتینری اقیانوس‌پیما نظیر Emma Maersk که قدرت حملی معادل 15000 TEU دارند نیز بسیار بیشتر از کشتی‌های نوع PS (جدول ۱) است؛ اما مشکل اینجاست که خرید تجهیزاتی که تا چندین دهه دوام می‌آورند، با هزینه‌های بالایی توأم بوده و لذا اعمال چنین تغییراتی مخارج سرسام‌آوری به دنبال خواهد داشت.

مقالات نوشته‌شده پیرامون این موضوعات عبارت‌اند از:

(۱) D'Agosto & Ribeiro,) D'Agosto & Riberio 2004)؛ درخصوص عملیات ناوگان جاده‌ای که با در نظر گرفتن کمترین مصرف سوخت و توجه به ابعاد گسترده‌تری از مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی است.

(۲) Vanek & Morlok, 2000) Vanek & Morlok)؛ پیرامون اقدامات صورت‌گرفته در راستای بهره‌وری انرژی در ماشین‌های باری و کامیون‌هایی که بیشترین استفاده را داشته و واگذاری بیشتر باربری به حمل‌ونقل ریلی با هدف کاهش مصرف انرژی است.

در این راستا، محققین مذکور با کمک روش‌هایی چون تحلیل چرخه‌ی عمر و تحلیل فضایی الگوهای باربری، نسبت مصرف انرژی بخش تولید به بخش ترابری را برای گروه

کالاهای عمده و اصلی آمریکا محاسبه کردند. آن‌ها ادعا می‌کنند که می‌توان با طراحی مجدد الگوهای روند کار و توجه به روش‌هایی از ترابری کالا که صرفه انرژی بیشتری دارند، مصرف انرژی را کاهش داد.

۲-٤ -انتخاب سوخت و غلظت کربن

انتخاب نوع سوخت، چهارمین بعد حمل‌ونقل سبز قلمداد می‌شود. بنزین‌های امروزی، نسبت به گذشته، سوخت پاک‌تری به‌حساب می‌آیند. در قرن ۱۹ و دهه‌ی نخست قرن ۲۱، تمرکز پالایشگاه‌ها بر حذف مواد سرب‌داری بود که به بنزین‌ها اضافه می‌شد تا با این کار، کیفیت هوا بهتر شود. سوخت‌های زیستی بر پایه‌ی ذرت یا زباله‌های آلی را به‌راحتی می‌توان با بنزین استاندارد مخلوط کرد؛ اما برای استفاده‌ی گسترده‌تر از چنین سوخت‌هایی باید موتور ماشین‌ها هم متناسب با این سوخت‌ها ساخته شود؛ کاری که بسیار گران‌قیمت و پرهزینه است. تا به امروز، مقالات OR کمی در این رابطه نگاشته شده است. با وجود این، مدل‌های تحقیق در عملیات، جایگاه مهمی در ارزیابی عملکرد سبز بیوسوخت‌های سازگار با محیط‌زیست دارند. در آمریکا، قریب به ۳۱ درصد از ذرت تولیدی تخمیر و به اتانول تبدیل می‌شود تا به‌عنوان سوخت خودروها استفاده شود. در فرآیند تولید بیوسوخت، کل مقدار سوخت‌های فسیلی مورد استفاده، تفاوت زیادی با کل مقدار بیوسوخت تولیدشده ندارد. Bai و همکارانش (Bai, Hwang, Kang, & Ouyang, 2011)، تحقیقی با موضوع به حداقل رساندن هزینه‌های سرمایه‌گذاری بر روی پالایشگاه، مواد تغذیه‌شونده، حمل‌ونقل محصول و مسافرت‌های عمومی انجام داده و برای یافتن راه‌حل‌های کاربردی از الگوریتم اکتشافی مبتنی بر آزادسازی لاگرانژ، استفاده نمودند. موضوع به حداقل رساندن مصرف سوخت‌های فسیلی را نیز می‌توان در سناریوی همین تحقیق مورد بحث و واکاوی قرار داد.

وسایل نقلیه‌ی الکتریکی یا برقی، وسایلی سازگار با محیط‌زیست به‌شمار می‌آیند؛ زیرا موتور این‌گونه وسایل تقریباً هیچ آلودگی نداشته و انتشارات ناشی از نیروگاه‌های برق قابل کنترل هستند؛ اما اشکال این وسایل این است که فقط در مسافت‌های کوتاه حرکت می‌کنند؛ بنابراین، برای حمل‌ونقل کالاها لازم است تغییری در عملیات صورت بگیرد؛ بدین ترتیب که کالاها از این وسایل به وسیله‌ی نقلیه دیگری منتقل شوند. به همین خاطر، این‌گونه وسایل فقط به‌عنوان ترابرهای شهری رایج هستند، آن هم در صورتی که با ایستگاه انتقال در داخل یا بیرون از شهر همراه باشند. این روش، از حمل‌ونقل با کامیون ارزان‌تر تمام می‌شود؛ اما لازم است به جبران مسافت‌های کوتاه حمل این وسایل، شبکه‌ی متراکمی برای برق‌رسانی مجدد به آن‌ها، مثلاً با عوض کردن باطری‌ها آماده شود. انتخاب نوع سوخت برای کشتی‌ها نیز مسئله‌ی مهمی است؛ چراکه کشورهای ساحلی محدودیت‌هایی را در این زمینه وضع می‌کنند. یکی از مؤلفه‌های انگیزشی در طراحی خطوط کشتیرانی، رفتن به بنادر برای سوخت‌گیری ارزان‌قیمت است.

۳- محصولات و فهرست موجودی‌ها؛ چرخه‌ی عمر

یکی دیگر از شاخصه‌های زنجیره‌ی تأمین، محصولاتی است که عرضه می‌کنند.Farahani و همکاران (Farahani, Shavandi, & Rahmani, 2017)، در تحقیق خود فقط به جنبه‌های موجودی محصولات پرداختند؛ ولی چشم‌انداز تحقیقاتی ما گسترده‌تر از این‌ها است. نکته‌ی مهم این است که بعضی از کالاها و محصولات نسبت به بقیه، سازگاری بیشتری با محیط‌زیست دارند. در این رابطه باید به سه جنبه‌ی محصول توجه داشت:

(۱) به روش تولید آن‌ها (آثار یا ردپای کربن آن‌ها)

(۲) به روش حمل‌ونقل و مدت‌زمان تولید تا مصرف آن‌ها (فهرست موجودی‌ها)

(۳) به مقدار ارزش قابل بازیابی از آن‌ها پس از اتمام دوره‌ی مصرفشان (تدارکات معکوس)

در پایان نیز مؤلفه‌های مربوط به بسته‌بندی کالاها و وضعیت حمل‌ونقل برگشتی آن‌ها بررسی می‌شود. عقیده‌ی کلی این است که جنبه‌های زیست‌محیطی را زمانی می‌توان مد نظر قرار داد که عمل انتخاب از میان گونه‌های مختلف یک کالا انجام شود، ولو اینکه این انتخاب مربوط به یک مشتری باشد. به‌علاوه، وقتی انتخاب کالاها با ارزیابی و آگاهی‌رسانی عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها صورت می‌گیرد، احتمال آنکه سازندگان به سمت تولید کالاهای سبزتر بروند، بیشتر است. اولین جنبه‌ی کالا یا به‌عبارتی تأثیر چرخه‌ی عمر، جنبه‌ی حائز اهمیتی است؛ چراکه حاکی از منابع مورد نیاز برای ساخت کالاست. این منبع می‌تواند انرژی باشد؛ ولی ممکن است منابع کمیاب دیگری مثل آب را هم شامل شود. بعضی از کمپانی‌ها نظیر Tesco، Walmart و Carrefour، اقدام به تعیین شاخص ردپای کربن (کل کربن

واردشده به محیط در فرآیند ساخت و حمل کالا) کالاهایشان کرده‌اند. این شاخص، به مصرف‌کننده‌ها در انتخاب کالا کمک می‌کند. به نظر می‌آید که برچسب زدن محصول، کار راحت‌تری باشد. کل زنجیره‌ای که به تولید محصول منتهی می‌شود، باید مورد ارزیابی قرار گرفته و به مسائل تخصیص رسیدگی شود(Lai, Cheng, & Tang, 2010). سؤالی که پیش می‌آید، این است که اگر چند محصول مختلف با هم در یک فرآیند تولید شوند، میزان کربنی که در اثر ساخت و تولید هر یک از این کالاها منتشر می‌شود، چقدر خواهد بود؟

از دیگر جوانب محصول که واجد آثار زیست‌محیطی است، نگهداری و انبارداری آن‌هاست؛ به‌طوری که اثرات زیست‌محیطی ناشی از این جنبه کمتر از اثرات ناشی از حمل‌ونقل به چشم می‌آید. هزینه‌های کنترل موجودی، بخش بزرگی از هزینه‌های طراحی زنجیره‌ی تأمین را شامل می‌شود؛ به‌طوری که هرچه روش انبارداری محصولات متمرکزتر باشد، هزینه‌های انبارداری کمتر خواهد بود. اثرات زیست‌محیطی انبارداری عبارت‌اند از:

(۱) انبار کردن مواد غذایی در سردخانه یا یخچال

(۲) انبارداری گرم (برای بعضی از مواد روغنی)

(۳) تبخیر در طول مدت انبارداری

تأمین گوجه‌فرنگی زمستانه در هلند، نمونه‌ی واضحی از این انتخاب‌ها است. شاید بتوان این گوجه‌فرنگی‌ها را از یک کشور گرمسیری دور به هلند وارد کرد؛ ولی این کار، سامانه‌ی ترابری دور و درازی می‌طلبد. از طرفی شاید بتوان آن‌ها را در سیستم‌های گلخانه‌ای خود هلند تولید کرد؛ اما این کار هم به انرژی گرمایشی زیادی احتیاج دارد. با سبک‌سنگین کردن چندین و چندباره‌ی این موضوع، می‌توان به بهترین انتخاب به لحاظ زیست‌محیطی دست پیدا کرد.

در چرخه‌ی عمر محصول، علاوه بر ساخت و تولید محصول، باید به نوع و نحوه‌ی مصرف آن نیز توجه شود. با این‌همه، آمار جامعی از اثرات زیست‌محیطی کلیه‌ی مراحل ساخت محصول بسیار اندک است. برای کاستن از تأثیر کلی ناشی از کربن یک محصول (کاهش ردپای کربنی یک محصول)، لازم است که حتماً «ردپای کربنی مواد مورد استفاده»، «انرژی مصرفی»، «فرآیند تولید»، «مصرف» و «حمل‌ونقل» یک‌به‌یک مشخص شود.

در بسیاری از محصولات، شاخص‌هایی به نام شاخص‌های مصرف انرژی تحت شرایط استاندارد معین شده‌اند؛ مثل یخچال‌ها، اتوموبیل‌ها و غیره؛ اما این تنها یک قطعه از کل پازل است. وقتی عمر یک محصول به پایان می‌رسد، به جای چال کردن یا سوزاندن باقیمانده‌ی آن برای بازیافت انرژی، می‌توان مابقی ارزشی را که هنوز در آن وجود دارد، بازیابی کرد. با این کار می‌توان بخشی از ردپای کربنی آن محصول را دوباره مورد استفاده قرار داد. معمولاً برای این نوع بازیابی، به فرآیند لجستیک یا تدارکات معکوس احتیاج است که در مبحث (٦) مفصلاً درخصوص آن صحبت می‌کنیم. لازم به ذکر است که این جنبه‌ی محصول، ارزیابی‌های چرخه‌ی عمر را پیچیده می‌کند.

در پایان این بخش، باید به بسته‌بندی محصولات و حمل اقلام بازگشتی نظیر پالت‌ها، مخازن و رول کیج‌ها نیز اشاره کنیم. به استناد گزارشاتی از Palanivelu & Dhawan (Palanivelu & Dhawan, 2011)، مواد بسته‌بندی چیزی در حدود ۲۳ درصد از کل وزن ضایعات را تشکیل می‌دهند. از آنجایی که همه‌ی بسته‌ها باید به محل خرده‌فروشان و مراکز فرآوری زباله حمل شوند، بی‌تردید هرچه کالاهای بسته‌بندی کمتر باشد، آلودگی محیط هم کمتر خواهد بود. روش دیگری که می‌توان به جای بسته‌بندی‌های یک‌بارمصرف انجام داد، استفاده از بسته‌بندی‌های قابل بازگشت است؛ مثل استفاده از بطری‌هایی که چندین‌بار پر و خالی می‌شوند، بشکه‌های نوشیدنی و مواردی از این قبیل. اما همه‌ی این‌ها مشکلات لجستیکی خاص خودشان را دارند؛ چون باید به محل مبدأ برگردانده و تمیز شوند. مشکل اصلی تمام اقلامی که قابلیت مصرف دوباره دارند، این است که همگی در قالب یک شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرند و لذا موجودی آن‌ها باید مرتباً ثبت و طبقه‌بندی شود. همین قضیه، موضوع چندین مدل تحقیق در عملیات (OR) قرار گرفته است.

٤- امکانات و تجهیزات (انبارها، بنادر و پایانه‌ها)

تسهیلات و امکانات، سومین عامل حرکت زنجیره‌های تأمین است. دیدگاهی که نگارندگان در تحقیق خود پیرامون امکانات زنجیره‌ی تأمین در نظر خواهند گرفت، کمی کامل‌تر از دیدگاه تحقیق Chopra & Meindl (سال ۲۰۱۰) بوده و تسهیلات ترابری را هم در برمی‌گیرد؛ بدین‌صورت که در کنار مراکز توزیع کالا، فرودگاه، ایستگاه‌های ریلی و بنادری با پایانه‌های کانتینری در نظر گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر، دو اصطلاح «تأسیسات

سبز» و «بناهای سبز رواج زیادی» پیدا کرده‌اند. در این بین، جنبه‌های زیست‌محیطی مختلفی مهم تلقی می‌شوند، ازجمله:

(۱) حمل‌ونقل داخلی و تولید گازهای گلخانه‌ای

(۲) مصرف انرژی تأسیسات

(۳) آلودگی‌زایی واحدهای ترابری مورد استفاده جهت حمل‌ونقل به داخل یا به خارج از اماکن تأسیساتی

(٤) تراکم و ازدحام جمعیت اطراف مراکز تأسیساتی

با توجه به کوتاه بودن مسافت‌ها و از آنجایی که تجهیزات و وسایل الکتریکی آلودگی‌زایی مستقیمی ندارند، مراکز توزیع اکثراً با تجهیزات برقی (مثل بالابرهای چنگکی) کار می‌کنند. با این حال، در پایانه‌های کانتینری که مسافت‌های آن طولانی است و تجهیزات باید در شرایط محیطی دشواری کار کنند (رفت‌وبرگشت‌های کوتاه، روشن- خاموش کردن‌های زیاد و ...)، عمدتاً از تجهیزاتی با سوخت دیزل استفاده می‌شود؛ بنابراین، حمل‌ونقل داخلی نیز یکی از عوامل مهم تولید آلودگی (گازهای گلخانه‌ای) بوده و لذا هرچه شدت این ترابری‌ها کمتر باشد، آسیب کمتری به محیط‌زیست وارد می‌شود. نمونه‌ای از تحقیقات انجام‌شده پیرامون مسافت‌های حمل‌ونقل در پایانه‌ی کانتینری و آلودگی‌زایی ناشی از آن، تحقیقی است که توسط Milošević و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شد. آن‌ها به‌منظور کاستن از حمل‌ونقل داخلی، به استفاده از تجهیزات فشرده (نزدیک به هم) روی آوردند. از طرفی، مسئولین بندری نیز فشار می‌آوردند که آلودگی کمتری تولید شود؛ به‌عنوان مثال، مقامات بندری روتردام، در صورتی با احداث و شروع به کار پایانه‌ی کانتینری جدید موافقت می‌کردند که سطح تولید گازهای گلخانه‌ای آن طبق قرارداد بسیار کم باشد. به‌علاوه، امروزه سازندگان تجهیزات حمل و جابه‌جایی کانتینرها به استفاده‌ی هرچه بیشتر از تجهیزاتی روی آورده‌اند که با نیروی برق کار می‌کند. روش‌های تحقیق در عملیات انبارها، از قدیم و به‌صورت سنتی به کاهش زمان‌های رفت‌وآمد توجه داشته‌اند؛ اما هدف اصلی این روش‌ها بهبود بهره‌وری است؛ هرچند کاهش دفعات رفت‌وآمد، بالقوه برای محیط‌زیست نیز سودمند است(Milošević et al., 2020). مصرف انرژی تجهیزات –نه فقط به خاطر دلایل هزینه‌ای- دغدغه‌ی بسیاری از شرکت‌ها و کمپانی‌ها بوده و هست. تا به امروز، انبارهای متعددی با سطح آلودگی‌زایی صفر ساخته شده‌اند، مثلاً:

(۱) نصب تأسیسات صرفه‌جویی در انرژی

(۲) بهره‌گیری از سیستم‌های نوری پیشرفته

(۳) استفاده از سلول‌های خورشیدی

«اما به‌سختی می‌توان مدلی از OR برای چنین اهدافی طراحی کرد».

سومین جنبه‌ی مهم زیست‌محیطی، آلودگی‌زایی ناشی از واحدها و وسایل ترابری در درون اماکن تأسیساتی یا در نزدیکی آن‌هاست. معمولاً کشتی‌ها وقتی لنگر می‌اندازند، موتور را روشن نگه می‌دارند. این کار، آلودگی زیادی تولید می‌کند؛ چون بازده کاری موتور کشتی در چنین حالتی کمتر می‌شود. لازم است بنادر الزاماتی را در رابطه با استفاده‌ی کشتی‌ها از انرژی الکتریکی تولیدشده از تأسیسات ساحلی وضع کنند (جریان برق دیواره‌ای یا تغذیه‌ی کشتی با مولد خشکی).

درنهایت اینکه اماکن تأسیساتی، نقاط گرهی (تجمیع) یک شبکه‌ی ترابری محسوب می‌شوند و لذا اغلب یک معضل هستند. استفاده از سیستم‌های VAIO برای ورود و خروج هواپیماها، وضع را از این هم بدتر می‌کند (در سیستم VAIO، پروازهای ورودی و خروجی با هم انجام می‌شوند). از سیستم‌های VAIO در مواقع انتقال کالاها یا مسافران در فواصل کوتاه استفاده می‌شود؛ اما در این سیستم، پروازهای ورودی به اوج خودش رسیده و در صورتی که این تراکم با بی‌نظمی و آشفتگی همراه شود، معطلی‌های طولانی‌مدتی در پی خواهد داشت. در کل، این معطلی‌ها پیامدهای زیست‌محیطی و اثر سوئی به دنبال دارند؛ مثل هواپیمایی‌هایی که قبل از برخاستن از زمین مدت طولانی در مسیرهای انتظار معطل می‌شوند. کشتی‌هایی که مجبور به توقف در ساحل هستند، می‌توانند لنگر بیندازند و آلودگی کمتری تولید کنند. همین‌طور کامیون‌هایی که منتظر رسیدن پایانه‌های کانتینری هستند نیز ممکن است همچنان موتور خود را روشن نگه دارند. معمولاً موتورهایی که این‌طور بدون استفاده کار می‌کنند، نسبت به حالت عادی آلودگی‌زایی بسیار بیشتری دارند. چندین و چند روش OR همانند تئوری صف‌بندی و شبیه‌سازی برای مطالعه‌ی این پدیده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ به‌طوری که انگیزه‌ی بیشتر این تحقیقات اقتصادی بوده است؛ زیرا معطلی نیز نوعی بی‌کفایتی و ناکارآمدی به‌حساب می‌آید؛ اما مسئله این است که تقاضای این سیستم‌ها اصلاً حالت ثابت و پایداری نداشته و در دوره‌های کوتاهی سرریز می‌کنند. این جنبه‌ها عموماً در مدل‌های صف‌بندی مغفول مانده‌اند. گذشته از این، امروزه سیستم‌های تعیین وقت

(نوبت‌گیری)، بیشتر و بیشتر شده‌اند؛ تا در جایی که امکان کنترل پروازهای ورودی وجود دارد تا از ازدحام و تولید آلودگی کاسته شود. با همه‌ی این‌ها، تعداد مقالات نوشته‌شده در رابطه با مدل‌های صف‌بندی همراه با تعیین وقت، انگشت‌شمار است.

۵- طراحی زنجیره‌ی تأمین و زنجیره‌ی ترابری

در این بخش، به تشریح این موضوع پرداخته می‌شود که چطور می‌توان محرک‌های ذکرشده در بخش‌های پیشین (حمل‌ونقل و تجهیزات) را طوری در یک زنجیره‌ی تأمین یا زنجیره‌ی حمل‌ونقل آرایش داد که اطمینان حاصل شود نیازهای مشتری برآورده می‌گردد. در اینجا، نحوه‌ی انتخاب هر محرک بررسی شده و به دنبال آن، درخصوص موارد ذیل بحث می‌شود:

- یافتن منابع؛ محصولات از کدام کشور به دست ما می‌رسد؟
- تعریف مفاهیم تولید و توزیع
- تعیین نوع، تعداد و محل تجهیزات و امکانات
- انتخاب روش حمل‌ونقل
- انتخاب سرعت حمل‌ونقل
- انتخاب مفهوم حمل‌ونقل

۵-۱ - منبع‌یابی یا یافتن منابع

با یافتن منابع محصولات، ضرورت حمل‌ونقل مطرح می‌شود. تهیه‌ی بسیاری از محصولات ارزان‌قیمت از آسیا، باعث شکل‌گیری مسیرهای ترابری طولانی از این قاره به اروپا و آمریکا شده است. برای تهیه‌ی این محصولات، از جایگزین‌های نزدیک‌تری مثل کشور مکزیک برای آمریکا و ترکیه برای اروپا نیز می‌توان استفاده کرد. اختلاف در میزان دستمزدها، از عوامل عمده‌ی تفاوت هزینه‌های کالاست؛ ولی عوامل متعدد دیگری نیز در این بین نقش دارند. انتخاب یکی از دو نوع برون‌سپاری که اصطلاحاً به برون‌سپاری دور (کشورهای دوردست) و برون‌سپاری هم‌جوار (کشورهای نزدیک) معروف هستند نیز ازجمله‌ی موضوعات دیگر است؛ زیرا کوتاه‌تر بودن زمان ترابری، باعث افزایش انعطاف‌پذیری می‌شود. Iacovou (Iacovou & 2009)، مدل تحلیلی مشتمل بر جواب‌های فرم بسته را برای ارزیابی هزینه‌ها و تأثیر زیست‌محیطی برون‌سپاری بخشی از فرآیندهای تولیدی به کشورهای نزدیک به بازارهای عرضه‌کننده‌ی خدمات، مطرح کرد.

۵-۲ - مفاهیم مرتبط با تولید

مفاهیم تولید، به نحوه‌ی نظام‌بندی و سازمان‌دهی فرآیند تولید اشاره دارند. یکی از مفاهیم معروف، مفهومی تحت عنوان Just-In-Time (JIT) (درست سر وقت) است؛ مفهومی که می‌گوید موجودی‌ها باید به حداقل رسیده و اقلام ارسالی فقط مربوط به نیازهای کوتاه‌مدت باشند. این به معنای کاهش ناکارآمدی و بی‌کفایتی در سازمان‌هاست؛ همین‌طور حاکی از تعدد وسایل نقلیه‌ی کوچک پرشتاب همراه با گزینه‌های معدودی برای مسیرهای بازگشت به‌دلیل کم بودن زمان برای برنامه‌ریزی است. این مسئله، در صورتی که فاصله‌ی زیادی بین تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان نباشد، مشکل حادی محسوب نمی‌شود؛ ولی شرایط همیشه این‌گونه نیست و در مواقعی که تأمین‌کنندگان بیش از ۱۰۰ کیلومتر با تولیدکنندگان فاصله دارند نیز از اصول JIT استفاده می‌شود.

شیوه‌ی گردآوری اجزاء محصولات و حمل‌ونقل آن‌ها نیز تبعات زیست‌محیطی خاص خودش را دارد؛ مثلاً ممکن است تصمیم بر این قرار بگیرد که یک ماشین تماماً ساخته‌شده (کالای نهایی) وارد شود، یا اجزاء و قطعات ماشین را انتقال داده و آن‌ها را در محل روی یکدیگر سوار کنیم. یکی دیگر از انتخاب‌ها، بسته‌بندی مجدد است؛ مثلاً می‌شود حجم‌های زیادی از نوشیدنی‌ها را حمل و در محل مورد نظر داخل بطری کرد. این شیوه‌ی گردآوری محصول، حمل‌ونقل را کاهش می‌دهد.

از مثال‌های دیگر می‌توان به پوشک بچه اشاره کرد که هوای داخل آن‌ها را خارج می‌کنند تا بتوان آن‌ها را بهتر و راحت‌تر بسته‌بندی کرد. در انتهای این مبحث، باید به مدل‌های OR اشاره شود که باعث بارگیری مطلوب کانتینرها و مخازن دیگر می‌شوند. برنامه‌ریزی بارگیری و طرح مخزن نیز راندمان ترابری را افزایش می‌دهد. در این رابطه، چندین مدل OR منتشر شده است؛ ولی اطلاعی از مقالات علمی مربوط به پیامدهای زیست‌محیطی، موجود نیست.

۵-۳ - محل امکانات و تجهیزات

در OR، تحقیقات مبسوط و کاملی درخصوص موضوع محل احداث تأسیسات انجام شده است که عمده‌ی آن‌ها به تعداد و محل قرارگیری مراکز توزیع (DC) پرداخته‌اند. از آنجایی که بیشتر جریانات واردشونده به مراکز توزیع به‌صورت یک‌جا با کامیون‌های پر وارد و جریانات خروجی با واحدهای کوچک‌تری به بیرون حمل می‌شوند، تعداد مراکز توزیع تأثیر

فوق‌العاده‌ای بر بازده انتقال دارد. اخیراً توجه زیادی به طراحی زنجیره‌ی تأمین و محل قرارگیری تجهیزات و امکانات شده است. در اینجا به مقالاتی در این‌خصوص اشاره می‌شود. Li و همکارانش (Zhang, Li, & Zhang, 2019)، با در نظرگیری هزینه‌های ترابری و انتشار کربن ناشی از فرآیندهای تولیدی/ترابری، برای تعیین مکان مطلوب مرکز توزیع از روشی به نام برنامه‌ریزی ریاضی دومنظوره (بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی تولید گازهای گلخانه‌ای) استفاده کردند. Mallidis و همکارانش (Dekker, Bloemhof, & Mallidis, 2012)، برای بررسی موقعیت مراکز توزیع (DC)، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندمنظوره (MIP) را مطرح کردند؛ زیرا اجاره یا برون‌سپاری حمل‌ونقل و تصمیم‌گیری عملیات انبارداری از نظر انتشار CO_2 تولیدی در فرآیند حمل‌ونقل (درون رونده و بیرون رونده) و PM (ذرات معلق)، بر عملکرد محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد. Gaoو Cao (Gao & Cao, 2020)، برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین، مدل بهینه‌سازی چندمنظوره را پیشنهاد کردند. آن‌ها هزینه‌هایی چون هزینه‌ی ترابری، جابه‌جایی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بعدی بر روی تکنولوژی و تجهیزات سبز را مورد مطالعه قرار دادند. سپس به ارزیابی انتشار CO_2 ناشی از تجهیزات تولید و توزیع پرداختند.

Diabat & Semchi-Levi نیز با فرض بیشینه‌ی مقدار CO_2 تولیدی، در طراحی زنجیره‌ی تأمین از مدلMIP استفاده کردند. منشأ انتشار CO_2، انبارها، نیروگاه‌ها و دی‌اکسید کربن تولیدشده در فرآیند حمل کالا تا رسیدن به دست مشتری است. این محققان، نشان دادند که اگر میزان تولید CO_2 بیشتر شود، هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین افزایش پیدا می‌کند(Memari, Ramudhin & .(Rahim, Ahmad, & Hassan, 2016 Chaabane (Chaabane, Ramudhin, & Paquet, 2012)، از اولین محققانی بودند که برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین پایدار، مدلی به نام مدل برنامه‌ریزی استراتژیکی حساس بازار کربن را در دستور کار خود قرار دادند. آن‌ها ثابت کردند که در طراحی زنجیره‌های تأمین پایدار، توجه به مکانیزم‌های نظارتی داخلی و خارجی اهمیت بالایی برای تصمیم‌گیرندگان دارد. Chaabane و همکارانش (Chaabane et al., 2012)، این روش را بسط دادند و برای اولین‌بار ساختاری مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط را برای طراحی زنجیره‌ی تأمین پایدار بیان کردند؛ ساختاری که در آن علاوه بر توجه به محدودیت‌های همیشگی تعادل مواد در هر یک از گره‌های زنجیره‌ی تأمین، اصول ارزیابی چرخه‌ی عمر (LCA) نیز مد نظر قرار می‌گیرد. آن‌ها این مدل را در صنعت آلومینیوم به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که باید طرح تجارت انشار فعلی تقویت شود. Harris و همکارانش (Harris, Naim, Palmer, Potter, & Mumford, 2011)، هم هزینه‌های لجستیکی و هم انتشار CO_2 را در روند بهینه‌سازی زنجیره‌ی تأمین مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، ساختار زنجیره‌ی تأمین (تعداد انبارها) و بهره‌برداری از درصدهای گوناگون وسایل نقلیه (۹۰٪، ۷۵٪ و ۶۰٪) بررسی شد. آن‌ها با استفاده از مدل شبیه‌سازی صنعت خودروسازی اروپا، به توضیح و تبیین این رویکرد پرداختند.

۴-۵ - حمل‌ونقل؛ روش و مسیر

وقتی تصمیم‌گیری درباره‌ی یافتن منابع انجام شد، نوبت به انتخاب طریقه و وسیله‌ی حمل‌ونقل است. در اینجا هم بده‌وبستانی بین مؤلفه‌های موجودی و حمل‌ونقل صورت می‌گیرد. برای حمل‌ونقل، چندین گزینه در دست است: مسیرهای مستقیم در برابر غیرمستقیم و انتخاب بندر ورودی به قاره. در عمده‌ی تحقیقات انجام‌شده، عموماً هزینه‌ها به‌عنوان معیار بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند؛ اما تحقیقاتی هم بوده‌اند که به ابعاد و جوانب زیست‌محیطی پرداخته‌اند؛ به‌عنوان مثال، در تحقیق انجام‌شده توسط Mallidis و همکارانش (Mallidis, Dekker, & Vlachos, 2012)، انتخاب بندر ورودی در مدل طراحی زنجیره‌ی تأمین، مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجایی که ترابری با کشتی سازگاری بیشتری با محیط‌زیست دارد، در حمل‌ونقل با این وسیله، انتخاب نزدیک‌ترین بندر به مشتری اهمیت زیادی ندارد. Blauwens (Blauwens, De Baere, & Van de Voorde, 2002) و Hoen (Hoen, Tan, Fransoo, & Van Houtum, 2014)، در تصمیم‌گیری روش حمل‌ونقل از منظر زیست‌محیطی و تعیین سقف مجاز انتشار کربن، به شرح و بسط جزئیات ابعاد و جنبه‌های مختلف موجودی پرداختند. Palmer (Palmer, 1988)، کسی بود که اولین‌بار این اهداف را در مدل‌های مسیریابی وسیله‌ی نقلیه بیان داشت. Hoen (Hoen, Tan, Fransoo, & Van Houtum, 2010)، به مطالعه‌ی طریقه‌های مختلف حمل‌ونقل تحت حالت‌های مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخت.

۵-۵ - سرعت حمل‌ونقل

در بحران اقتصادی سال ۲۰۰۹- ۲۰۰۸، کشتی‌های کانتینری بیش از حد نیاز، وارد بازار شده بودند؛ لذا یکی از ساده‌ترین راه‌حل‌های این مشکل، کاهش سرعت این کشتی‌ها از ۲۶ به ۲۱ گره در ساعت بود. با این کار، زمان‌بندی تغییر می‌کرد و از طرفی کاهش قابل توجهی در هزینه‌های سوخت و طبیعتاً انتشار گازهای گلخانه‌ای به وجود می‌آمد. به این فرآیند، «بخارزایی آهسته» گفته می‌شد. مدتی بعد، کشتی‌هایی با بخارزایی فوق‌آهسته نیز وارد بازار شد؛ کشتی‌هایی که تنها با سرعت ۱۸ گره در ساعت حرکت می‌کردند. در تحقیقاتی ازجمله تحقیقات Psaraftis (Psaraftis & Kontovas, 2014)و Corbett (Lack & Corbett, 2012)، تأثیر انتخاب سرعت، مورد آنالیز قرار گرفته است. همچنین در این تحقیقات، تأثیر تجهیزات بیشتر و طول مدت ترانزیت بر محموله نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در هواپیماها، برنامه‌ای موسوم به بهینه‌سازی سرعت عملیات اجرا می‌شود؛ برنامه‌ای که احتمالاً در آینده‌ای نزدیک برای کشتی‌های بزرگ نیز استفاده خواهد شد. این برنامه به تغییر به‌موقع سرعت تحت شرایط متغیری چون وضعیت آب‌وهوایی مربوط می‌شود. در این برنامه، نرم‌افزار پیشرفته‌ای جهات و سرعت‌های باد را بررسی کرده و مسیری با بهترین باد مساعد را انتخاب می‌کند. سرعت، با زمان ورود مطلوب تطبیق داده شده و بدین ترتیب، از مصرف بیش‌ازحد سوخت جلوگیری به عمل می‌آید. چگونگی استفاده از این برنامه در ترابری‌های دوره‌گرد را در تحقیق Fagerholt (Fagerholt, Gausel, Rakke, & Psaraftis, 2015) ببینید.

۵-۶ -مفاهیم حمل‌ونقل

یکی از مفاهیم مهم حمل‌ونقل، تلفیق است؛ به‌ویژه در سکتور Less-Than-Truckload(LTL) (کمتر از بار کامیون)؛ به عبارتی، برای صرفه‌ی کارایی ترابری در مسافت‌های طولانی، محموله‌های کوچک‌تر با محموله‌های بزرگ‌تر ترکیب می‌شوند. عیب این نوع حمل‌ونقل، این است که برنامه‌ریزی برای ادغام محموله‌ها کار دشوارتر و زمان‌بری است.

صرف نظر از انتخاب تجهیزات، زمان تحویل کالا نیز جزو انتخاب‌های استراتژیک است. این موضوعی است که در خدمات گوناگون حامل‌های اکسپرس مهم تلقی می‌شود؛ خدماتی نظیر FedEx، TNT وUPS . شرکت‌های حمل بار، گزینه‌های مختلفی برای حمل‌ونقل کالاهای کوچک و ارزشمند ارائه می‌کنند؛ مثل تحویل در همان روز، تحویل ۲۴ ساعته و یا تحویل معوق است. با داشتن وسیله‌ی حمل‌ونقل سریع‌تر (مثلاً انتقال هوایی به جای زمینی) و کاهش تلفیق کالاها (صبر کردن برای رسیدن محموله‌های دیگر) می‌توان به سریع‌ترین گزینه‌ی حمل‌ونقل دست پیدا کرد. درواقع، سریع‌ترین روش حمل، زمانی است که فقط از یک پیک و یک ناوگان ترابری استفاده می‌شود. البته چنین روشی از همه پرهزینه‌تر است و احتمال دارد گازهای گلخانه‌ای زیادی تولید کند. علاوه بر این، حامل‌های اکسپرس، زمان‌های ترابری مطمئنی دارند. تضمین زمان تحویل تنها با اجرای خدمات زمان‌بندی‌شده بر اساس یک جدول زمانی ثابت قابل حصول خواهد بود. تنوعات زیادی که امروزه در تقاضا دیده می‌شود، حاکی از این است که معمولاً بهره‌برداری‌ها و فاکتورهای مؤثر بار کم هستند؛ موضوعی که به‌ویژه در خطوط هوایی اکسپرس مشهود است. مسئله‌ای که در تفاوت مؤسسات ترابری مرسولات پستی و شرکت‌های بزرگ اکسپرس نیز به‌وضوح دیده می‌شود، مثل UPS و FedEx، شرکت UPS، به خاطر آنکه مدت بیشتری برای رسیدن محموله‌های دیگر صبر می‌کند، در ترابری کالاها کارایی بسیار بیشتری داشته و خدمات ارزان‌تری دارد؛ ولی در مؤسسات اکسپرس، تحویل مرسولات بر دو قسم متفاوت به نام‌های B2B و B2C است. منظور از B2C، مشتریان فردی (هر یک از مشتریان) هستند که رساندن مرسوله به دست آن‌ها کار دشوارتری است؛ چون شاید منزل نباشند و به همین خاطر پیدا کردن آدرسشان مشکل‌تر است.

Kull & Boyer (Kull, Boyer, & Calantone, 2007)، روی آخرین جزء زنجیره‌ی تأمین کار کردند؛ یعنی قسمتی که کالاها را مستقیماً به دست مشتری می‌رساند. برای مثال، در بند آخر زنجیره‌ی ترابری، منظور از تلفیق، رساندن بسته‌ها به مراکزی در شهرها (ادارات پست، خرده‌فروشی‌ها) است؛ جایی که مشتریان می‌توانند با استفاده از یک پین‌کد منحصربه‌فرد، بسته‌ی خود را پیدا کنند. با این کار از ارسال چندباره‌ی کالاها به خاطر عدم حضور مردم در منازل جلوگیری خواهد شد.

سومین مفهوم شایان ذکر، استفاده از گشت‌ها یا سفرهای مستقیم در برابر مأموریت‌های به‌اصطلاح عادی یا بی‌خطر است. گشت مستقیم، یعنی در یک مسیر به تعدادی مشتری سرویس‌دهی شود. معمولاً کارایی مأموریت‌های عادی زمانی بیشتر است که مرسوله‌ها برای مشتریانی نزدیک به هم ارسال می‌شوند. مرسوله‌ها را می‌توان با هم تلفیق و بزرگ‌تر کرد و

برای حمل آن‌ها از واحدهای ترابری مؤثر و کارآمدتری استفاده کرد؛ ولی شاید کمی هم باعث بی‌کفایتی کارها شود؛ چون معمولاً در این روش تا قبل از رسیدن به مقصد، محموله مسافت درازی را طی می‌کند. این قضیه را می‌توان در شبکه‌های ایرلاین به عینه مشاهده کرد. گاهی اوقات برای طی مسافت‌های طولانی، مسیرهای مثلثی انتخاب می‌شوند؛ اما در مواقع دیگر، حرکت فقط در مسیرهای مستقیم صورت می‌گیرد. در اغلب پروازهای کوتاه، اولویت با مسیرهای مستقیم است.

موضوع بعدی که بدان اشاره می‌شود، انتخاب یکی از دو روش ترابری مستقیم یا غیرمستقیم (ترابری گشت و واگشت) است. در ترابری دوم (غیرمستقیم یا گشت و واگشت)، کالاهای بیشتری در مراکز عملیاتی (هاب) جمع شده و بدین ترتیب، واحدهای ترابری مؤثرتری شکل می‌گیرد، در حالی که در حمل‌ونقل مستقیم برای سرعت بخشیدن به سرویس‌دهی از واحدهای ترابری کوچک‌تری استفاده می‌شود. برنامه‌ریزی ترابری‌های مستقیم، راحت‌تر از غیرمستقیم است؛ زیرا در حمل‌ونقل غیرمستقیم برای ایجاد ارتباطات یکپارچه باید جداول و برنامه‌های زمانی را با هم هماهنگ کرد. انتقال کالاها از یک وسیله‌ی ترابری به‌وسیله‌ی ترابری دیگر، اغلب کار حساسی است؛ چراکه معمولاً این کار با خطا و بی‌نظمی همراه بوده و یا چنین معضلاتی در نقطه‌ی انتقال مشاهده می‌شود. جابه‌جا کردن اکثر محموله‌های غیرکانتینری، نیازمند نیروی کارگری زیادی هستند و این کار نسبتاً پرهزینه تمام می‌شود؛ اما با نگاهی به مفاهیم حمل‌ونقل بینابینی در لجستیک شهری، متوجه چندین و چند مزیت آن‌ها می‌شویم. قبل از هر چیز، باید گفت از آنجایی که تولید CO_2 ماشین‌های سنگین بیشتر و صرفه‌ی هزینه‌ای آن‌ها بهتر است، وسایل نقلیه‌ی شهری (کوچک‌تر و با تولید آلودگی کمتر، مثل وسایل برقی) باید متفاوت از بزرگراه‌ها باشد. بر این اساس، در مفاهیم مختلف شهری، منظور از نقاط انتقال بین مسیر، مکان‌هایی برای انتقال کالا از ماشین‌های سنگین به کامیونت‌های شهری سازگار با محیط‌زیست و یا حتی به آب‌راه ناوها هستند. به‌علاوه، از آنجایی که در این نقاط بار تأمین‌کننده‌های مغازه‌ی هم‌جوار همه به یک وسیله‌ی نقلیه منتقل می‌شود، راندمان تلفیق نیز افزایش پیدا می‌کند.

آخرین مفهوم لجستیکی جدید، برج‌های کنترلی با زنجیره‌های ضربدری است؛ بدین معنی که چندین زنجیره‌ی تأمین برای دستیابی به بهره‌وری بیشتر با هم تلفیق می‌شوند؛ برای مثال، استفاده‌ی اشتراکی از تجهیزات ترابری، اثرات مثبت و مطلوبی روی محیط‌زیست دارد؛ چون در این روش به تجهیزات کمتری احتیاج است. بااینکه تمام این مفاهیم به محیط‌زیست مربوط بوده و هر یک جنبه‌های OR خاص خود را دارند، کمتر مقاله‌ای است که همه‌ی آن‌ها را با هم بررسی کرده باشد.

٦- بازیابی محصولات و زنجیره‌های تأمین حلقه بسته

بسیاری از محصولات و کالاها هستند که وقتی کار با آن‌ها تمام می‌شود، به‌طور کامل مصرف نشده‌اند و تقریباً همه‌ی آن‌ها مقداری ارزش باقیمانده دارند. لجستیک معکوس، به کلیه‌ی فعالیت‌های تدارکاتی ضروری در فرآیند بازیابی محصول برای بیرون کشیدن این ارزش باقیمانده اطلاق می‌شود. این فرآیند، عبارت است از جمع‌آوری کالاهای دورریخته، بررسی و بد و خوب کردن آن‌ها و سپس انجام اقداماتی برای بازیابی ارزش باقیمانده در محصول؛ این اقدامات یا می‌تواند یک تمیز کردن ساده باشد و یا جداسازی قطعات از هم، سر هم کردن دوباره‌ی آن‌ها و معرفی مجدد محصول به‌دست‌آمده به بازار باشد. اینکه عملیات بازیابی (استفاده مجدد مستقیم، ساخت مجدد، بازیابی اجزا و قطعات یا بازیافت) چگونه باشد، به حالت محصول (جامد، مایع، گازی شکل)، هزینه‌های مربوطه و میزان تقاضای محصول جدید به‌دست‌آمده بستگی دارد. وقتی لجستیک معکوس، بخش یکپارچه‌ای از زنجیره‌ی تأمین باشد، از اصطلاح زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته استفاده می‌شود. از آنجایی که بازده روش‌های مدیریتی به‌واسطه‌ی وجود مشکلات مختلف نامشخص است، مقالات زیادی در رابطه با لجستیک معکوس نوشته شده‌اند؛ به‌عنوان مثال، لازم است شبکه‌های جمع‌آوری تشکیل و عملیات بازیابی برنامه‌ریزی شود. اهمیتی که لجستیک معکوس برای محیط‌زیست دارد، این است که به جای ساخت محصولات جدید، محصولات یا قطعات آن‌ها را از بقایای دور ریخته یا بازیابی‌شده محصولات قدیمی تهیه می‌کند؛ اما شاید نتوان کیفیت محصولات بازیافت‌شده را تضمین کرد و از طرفی ممکن است فرآیندهایی که برای تمیز کردن قطعات بازیافتی استفاده می‌شوند، آلوده‌کننده باشند. گذشته از این‌ها، برای دستیابی به حجم قابل توجهی از مواد و قطعات لازم در فرآیندهای بازیافت یا دوباره‌سازی باید حمل‌ونقل‌های متعددی صورت بگیرد. با همه‌ی این تفاسیر، لجستیک معکوس و زنجیره‌های تأمین حلقه بسته، جزو فرآیندهای سازگار با محیط‌زیست تلقی می‌شوند. تحقیقات زیادی با موضوع زنجیره‌های تأمین حلقه بسته انجام شده است؛ اما موضوع

هیچ‌یک از مقالات مورد اشاره قرارگرفته در این تحقیقات، پیگیری شفاف اثرات زیست‌محیطی در زنجیره‌ی تأمین نیست، بلکه عمده‌ی بحثشان روی موضوعات دیگری مثل واحدهایی است که به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری تأثیر زیست‌محیطی استفاده شده‌اند. Quariguasi (Quariguasi Frota Neto, Walther, Bloemhof, Van Nunen, & Spengler, 2010)، در تحقیق خود به موضوع درست بودن فرضیه‌ی زنجیره‌ی تأمین حلقه بسته پایدار و اینکه این فرضیه در چه مواردی صادق می‌باشد، پرداخته شده است.

Barker & Zabinsky (Barker & Zabinsky, 2011)، با استفاده از فرآیند سلسله‌مراتب تحلیلی، مدلی به نام تصمیم‌گیری چندضابطه‌ای را برای طراحی شبکه‌های لجستیک معکوس معرفی کردند، از سویی دیگر، Alshamrani و همکارانش (Alshamrani, Mathur, & Ballou, 2007)، برای افزایش تعداد انتخاب‌ها در استراتژی‌های طراحی ریشه تحویل جهت بازگرداندن مواد، رویکردی اکتشافی را پیشنهاد کردند. علاوه بر این، چالش‌های بازیافت محصولات را نیز بررسی کردند. تحقیق Le Blanc و همکارانش (Bartolacci, LeBlanc, Kayikci, & Grossman, 2012)، آخرین تحقیقی است که در این رابطه بدان اشاره می‌شود. محققان در این تحقیق، پیرامون روش‌های احتمالی بهبود مسیریابی وسایل نقلیه برای تدارکات معکوس صحبت کرده‌اند.

۷- برنامه‌ریزی و نظارت بر زنجیره‌ی تأمین

از نقطه‌نظر تاکتیکی، در افق‌های زمانی سه‌ماهه تا یک‌ساله، باید تصمیمات کلیدی و مهمی گرفته شود، مثل:

- پیش‌بینی
- برنامه‌ریزی ظرفیت تولید
- کنترل موجودی
- عملیات بازاریابی نظیر استراتژی‌های قیمت‌گذاری

موضوع مورد توجه در این بخش، اثرات ناشی از قیمت‌گذاری، برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین و تدارکات بر محیط‌زیست است.

۷-۱ - قیمت‌گذاری و تجارت آلاینده‌ها

یکی از موفق‌ترین کاربردهای تحقیق در عملیات -از دهه گذشته تاکنون- مدیریت درآمد است. با آنکه این برنامه در ابتدا فقط برای ایرلاین‌ها طراحی شده بود؛ اما امروزه از آن برای هتل‌ها، راه‌آهن‌های سریع‌السیر و مواردی از این دست نیز استفاده می‌شود. هدف این برنامه، کسب بیشترین منافع از ظرفیت کمیاب است؛ به‌عبارتی، قیمت‌ها بسته به ظرفیتی که پس از تغییرات تقاضا به جای می‌ماند، تغییر می‌کنند. در مقایسه با قیمت ثابت در طول زمان، در این برنامه می‌توان قیمت‌های کمتر مرحله آغازین را با بالا بردن قیمت در مراحل بعد جبران کرد. به‌علاوه، آنجایی که ظرفیت تولیدی بیشتر و لذا قیمت‌ها پایین‌تر است، مشتریان بیشتر انگیزه‌ی پولی دارند؛ تأثیری که موجب گردیده است استفاده‌ی بسیار بهتری از ظرفیت تولیدی صورت گیرد؛ به‌عنوان مثال، ایرلاین‌های امروزی با تعداد بسیار بیشتری از فاکتورهای استفاده‌ی مؤثر از بار به نسبت دهه‌ی ۷۰ سروکار دارند. تحقیق Agatz و همکارانش (Agatz, Campbell, Fleischmann, Van Nunen, & Savelsbergh, 2013)، از معدود تحقیقاتی است که در آن به‌منظور کاهش کل مسافت (کیلومتر) پیموده‌شده، از روش مدیریت درآمد برای تحویل بسته استفاده شده است. این محققان، توضیح دادند که خرده‌فروشان اینترنتی می‌توانند با تشویق مشتریان به انتخاب پنجره‌های تحویل کالا به شکلی که دستور تحویل کالای مشتریان نزدیک به هم جلوتر قرار داشته باشد، روش قیمت‌گذاری را از خطوط هوایی یاد بگیرند. در گام بعدی مدیریت درآمد که درواقع نوعی ابزار تاکتیکی و عملیاتی است، باید به طرح تجارت انتشار کربن اشاره شود؛ طرحی که یکی از نتایج مهم «قرارداد کیوتو» بود. این طرح در سیستم تجارت انتشار اتحادیه‌ی اروپا (EU-ETS) ۲۵ کشور عضو نهادینه شده و طرح‌های مشابهی نیز در کشورهای دیگر به کار گرفته شده‌اند. در این طرح، سهمیه‌هایی برای انتشار کربن (گازهای گلخانه‌ای) کمپانی‌ها تعیین می‌شود؛ سهمیه‌ای که به وقت مقتضی کاهش می‌یابد. کمپانی‌هایی که می‌خواهند انتشار بیشتری داشته باشند، موظف‌اند حقوق تولید آلاینده‌های گلخانه‌ای آن بازار را خریداری کنند. این سیستم با چندین مشکل روبه‌رو بوده است. وقتی در سال ۲۰۰۷ دوره‌ی رکود از راه رسید و مشاهده شد که به بعضی از کشورها سهمیه‌های بسیار بالایی اختصاص داده شده است، قیمت‌های کربن نزول کرد و تقریباً به صفر رسید. با گذشت دوران رکود و بازگشت اقتصاد جهان به وضعیت سابق، نرخ کربن دوباره بالا رفته است. یکی از چالش‌های مهم، تعیین صنایع مشمول این طرح و میزان حقوقی است که رایگان در اختیارشان قرار داده می‌شود. تا به امروز، فقط صنایع کلان اجازه‌ی استفاده از این طرح را داشته‌اند؛ چون پروسه‌های اداری و اجرایب برای صنایع غیر، ممنوع است.

پژوهشگران متعددی به این قضیه پرداخته‌اند که کمپانی‌ها باید چه واکنشی به این محدودیت نشان دهند. به مقالاتی در این زمینه اشاره می‌شود؛ Benjaafar و همکارانش (Benjaafar & Savelsbergh, 2014)، این مسائل را در مدل‌های بسیار ساده نظارت بر موجودی ارزیابی کردند. دامنه‌ی این تحقیق توسط Hua (Hua, Cheng, & Wang, 2011)بسط داده شد. موضوع تحقیق Hoen (Hoen et al., 2014)، بررسی گزینه‌های مختلف حمل‌ونقل تحت محدودیت‌های سقف کربن بود.

۷-۲ - برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین

برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین، متشکل از برنامه‌های ظرفیت‌سازی در افق‌های زمانی میان‌مدت است. در این مرحله از حمل‌ونقل، پیرامون ظرفیت انبار، موجودی‌ها و... برنامه‌ریزی می‌شود. در کار با مدل‌های OR، تعداد سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم فراوان است که اغلب آن‌ها را با نام سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته (Advanced Planning Systems) می‌شناسیم. به‌ظاهر، توجه همه‌ی این سیستم‌ها به همان هدف سنتی یعنی هزینه معطوف است؛ اما از طرفی برنامه‌ریزی مطلوب و درست هم نیاز به اقدامات اصلاحی مثل بارگیری و ترابری‌های اضطراری را کاهش می‌دهد. معمولاً چنین اقداماتی اثرات زیست‌محیطی سوئی دارند؛ چون این‌گونه حمل‌ونقل‌ها بسیار ناکارآمد صورت می‌گیرند؛ مثل بارگیری حجم‌های کم با شیوه‌های انتقال شتاب‌زده. پس نتیجه گرفته می‌شود که OR به‌طور غیرمستقیم در شکل‌گیری یک محیط‌زیست بهتر نیز نقش دارد؛ گرچه هنوز ارزش این جایگاه به لحاظ عددی روشن نشده است.

۷-۳ - تدارکات

یکی از المان‌های مهم تشویق رفتار سبز، لحاظ کردن ابعاد زیست‌محیطی در روند تدارکات یا قراردادها است. بدین ترتیب، رفتار سبز، مورد توجه شرکت‌ها و کمپانی‌ها قرار می‌گیرد؛ اما نکته دیگری که باید بدان اشاره کرد، این است که چنین کاری باعث پیچیده شدن این روندها شده و برای عملی کردن آن باید به سراغ روش‌های تصمیم‌گیری چندضابطه‌ای رفت. Ates و همکارانش (Ateş, Bloemhof, Van Raaij, & Wynstra, 2012)، در تحقیقی به بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری‌های زیست‌محیطی بیرونی پرداختند؛ یعنی سرمایه‌گذاری روی همکاری با تأمین‌کنندگان و کارپردازان در زمینه‌های تولیدی و تدارکاتی است. این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها در قالب جلسات حل مشکلات مشترک، به اشتراک‌گذاری اطلاعات، تحقق اهداف مشترک و مواردی از این دست انجام می‌گیرند. عملکرد زیست‌محیطی تولیدکننده‌ها تأثیر مستقیمی روی تولیدات شرکت خریدار دارد، برخورداری دو طرف از سطح یکسانی از اطلاعات و آگاهی‌های زیست‌محیطی، بی‌نهایت مهم است.

۸- نظارت بر عملیات زنجیره‌های تأمین و ترابری

گرچه شاید این‌طور به نظر می‌رسد که بیشتر تأثیر انتخاب‌های استراتژیک بر روی محیط‌زیست است؛ ولی در عملیات روزمره هم جای کار برای ارتقا و بهبود محیط‌زیست زیاد است؛ به‌ویژه با روش‌های OR. در اینجا از گزینه‌هایی مثل «تخصیص تجهیزات»، «ناوبری مسیر و مسیریابی وسایط نقلیه» یاد می‌شود. نگارندگان متن حاضر، متذکر می‌شوند که تجمیع تجهیزات و بهینه‌سازی سرعت در هر دو سطح آمایشی و عملیاتی قابل اجراست. Bletran و همکارانش (Beltran, Carrese, Cipriani, & Petrelli, 2009)، نمونه‌ای از نحوه‌ی تخصیص مسیرهای حرکت وسایل نقلیه‌ی سبز (سازگار با محیط) را مورد بررسی قرار دادند. منظور از ناوبری مسیر، حرکت در مسیری بین دو نقطه‌ی معلوم و معین است. نرم‌افزار ناوبری خودروها، کامیون‌ها و هواپیماها با کمک گرفتن از الگوریتم‌های پیچیده کوتاه‌ترین مسیر، مسافت‌های پیمایشی (کیلومتر/مایل) را کاهش می‌دهند. بدین ترتیب، انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کمتر می‌شود. علاوه بر این، الگوهای مسیریابی وسیله‌ی نقلیه (VRP) با اتکا به روش‌های OR، کیلومترهای طی‌شده را کاهش می‌دهند. شرکت بازرگانی- ترابری NEA (در حال حاضر بخشی از شرکت ECORYS) هلند، در گزارشی مدعی شد که با استفاده از مجموعه‌ی طرح‌های VRP، چیزی در حدود ۳ الی ۵ درصد از هزینه‌ها کاسته می‌شود؛ چون در این طرح‌ها مسافت‌های رانندگی کمتر شده و فاکتورهای استفاده مؤثر از بار (ضریب بار) افزایش می‌یابد. در تحقیق PALMER، به مدل یکپارچه‌ای از مسیریابی و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره شده است که می‌توان در آن از سرعت‌های مختلفی استفاده کرد. یکی از نتایجی که PALMER بدان رسید، این بود که با این روش انتشار CO_2 تا سقف ۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. Maden (Maden, Eglese, & Black, 2010)، با اجرای یک مورد تحقیقی با موضوع خودروهای تحویل بار در انگلستان، تحقیق PALMER را در ابعاد بزرگ‌تری اجرا کرد. از دیگر تحقیقات

این حوزه می‌توان به مورد تحقیقی Abeda اشاره داشت(Mutopo, Haaland, Boamah, Widengård, & Skarstein, 2011). Bektas & Laporte (Demir, Bektaş, & Laporte, 2011)، یک گام بیشتر برداشتند؛ آن‌ها از مدل انتشار جامعی در مسئله‌ی مسیریابی- آلودگی‌زایی استفاده کردند که هم عامل بار و هم عامل سرعت وسیله‌ی نقلیه و هم تأثیر این دو بر روی تولید گازهای گلخانه‌ای را در مسیریابی مد نظر قرار می‌دهد. در انتهای این بخش، شایسته است که به موضوع تجمیع تجهیزات اشاره شود. Pan و همکارانش، در تحقیق خود که در حال آماده‌سازی است، حالتی را تشریح می‌کنند که چندین کمپانی برای افزایش ضریب استفاده‌ی مؤثر از بار (که گفته می‌شود فقط ۷۰ درصد است) تجهیزات ترابری خود را با هم تجمیع می‌کنند. آن‌ها تأثیر عددی این تجمیع بر انتشار CO_2 را محاسبه کرده‌اند(Mi, Pan, Yu, & Wei, 2015).

۹- معیارها یا سنجه‌ها

در هنگام بهینه‌سازی محیط‌زیست، یکی از عوامل مهم استفاده از معیارهای بهینه‌سازی است. بر اساس این معیارها است که می‌توان اثرات زیست‌محیطی را روشن کرد و راه‌حل‌های مختلف را با هم مقایسه کرد.

Brodin & Aronsson,) Aronsson & Huge - Brodin 2006)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را یکی از مهم‌ترین راه‌های برآورد اثرات زیست‌محیطی معرفی کردند. علاوه بر این، می‌توان از معیارها برای تشریح فرآیند حمل‌ونقل کالاها و خدمات در زنجیره‌ی تأمین استفاده کرد؛ چراکه این معیارها تأثیر زیست‌محیطی هر جزء زنجیره‌ی تأمین را نشان می‌دهند. یکی از مثال‌های مهم در این مورد، جدول محاسباتی CO_2 است، این معیار، برآوردی از مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در کلیه‌ی امور حمل‌ونقلی یک کمپانی است. امروزه برای تمام مشتریان و کمپانی‌ها معیارهای مختلفی وجود دارد. معیارها بر اساس فرمول‌های ساده و آمارهای میانگین هستند. یکی از آن اقدامات، تنظیم استاندارد بین‌المللی در راستای انجام محاسباتی است که بتوان با آن کمپانی‌ها را با هم مقایسه کرد. در این روش، «کل مسافت رانده‌شده»، «میانگین فاکتورهای ناشی از بار»، «میانگین تعداد تجهیزات» و «میانگین مصرف سوخت محاسبه» و بدین ترتیب برآوردی از کل مقدار گازهای گلخانه‌ای تولیدشده به دست می‌آید.

اما در روند محاسبه انتشارات ناشی از ترابری به شکل توضیح داده‌شده در بالا، چند مسئله‌ی مهم وجود دارد.

- سؤال اول این است که سفرهای برگشتی (پس از تحویل بار) را چقدر باید در محاسبات وارد کرد؟
- سؤال دوم این است که اگر قرار است چند محموله‌ی مختلف همه در یک سفر فرستاده شوند، انتشار آلودگی هر محموله را چقدر باید در نظر گرفت؟

این عدد را می‌توان بسته به حجم یا وزن هر محموله محاسبه کرد؛ اما بعید است که یک جواب واحد به دست آید. اینجاست که مؤلفه‌ای به نام رکن ذهنی مطرح می‌شود.

Hervani و همکارانش (Susilawati, Setyanto, Ariani, Hervani, & Inubushi, 2016)، فهرست منتخبی از معیارهای دیگر را نام می‌برند؛ معیارهایی که انتشارات جوی تا بازیابی انرژی را در برمی‌گیرند. این پژوهشگران، به بررسی بازیابی انرژی در داخل و خارج از محل عملیات، بازیافت و فرآوری، جلوگیری از نشت و هدرروی و پیشگیری از تولید آلودگی پرداختند. بسیاری از محققان در تحقیقات خود از معیار CED (Cumulative Energy Demand) (تقاضای انرژی تجمعی) برای اندازه‌گیری اثرات زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند. Helias & de Haes (de Haes, 2006)و Huijbregts & Rombout (Huijbregts, Rombouts, & Struijs, 2005)، به این نتیجه دست یافتند که CED و اکثر مقادیر اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده در تحلیل چرخه‌ی عمر، همبستگی بالایی با هم دارند. Sundarakani و همکارانش (Sundarakani, De Souza, Goh, Wagner, & Manikandan, 2010)نیز روشی را برای تعیین الگوی ردپای کربن در تمام قسمت‌های زنجیره‌ی تأمین معرفی کردند. برای این کار از معادله‌ی «اویلر و لاگرانژ» برای مسافت طولانی استفاده کردند. آخرین موردی که در این رابطه ذکر می‌شود، تحقیق Mierlo (Van Mierlo et al., 2004)است. وی اولین کسی بود که از دو الگوی امتیازبندی در ارزیابی آثار زیست‌محیطی ناشی از وسایل نقلیه استفاده کرد. محققان اخیر خودروهای برقی، هیبریدی و پیل سوختی را با روش ساده‌شده تحلیل چرخه‌ی عمر (LCA) ارزیابی کردند.

۱۰- روش‌های خاص OR؛ تصمیم‌گیری چندمعیاری

بیشتر کاربرد ابزارهای OR روی بازده و راندمان عملیات است؛ به عبارتی گویاتر، هدف، کاستن از فعالیت‌ها (حمل‌ونقل

و غیره) و به‌تبع آن کاهش تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای است؛ اما چنین کاری همیشه راحت نیست و لازمه‌ی آن ایجاد روابط جایگزینی مانند «روندی در تدارکات» است. معمولاً در چنین شرایطی، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) می‌توانند راهگشا باشند. گروهی از محققان، به استفاده از روش بهینه‌سازی چندمنظوره روی آورده‌اند؛ برای مثال، Mallidis و همکارانش (Mallidis et al., 2012)، الگوهایی از زنجیره‌ی تأمین را معرفی کردند که با در نظرگیری دو هدف طراحی شده بود. این دو هدف عبارت بودند از: به حداقل رساندن «CO_2» و «هزینه‌ها». طرح‌های زنجیره‌ی تأمین، تفاوت چندانی با هم ندارند. مضافاً، می‌توان به کمک روش‌های MCDM هم‌افزایی میان اهداف هزینه‌ای و زیست‌محیطی را تشخیص داد. با این‌همه، اما تعداد گزارشات تأییدکننده‌ی کاربرد MCDM در این زمینه، معدود است. تحقیق Macharis & (Macharis Bontekoning, 2004)با موضوع گزینه‌های استراتژیک در حوزه‌ی تدارکات و ترابری فنلاندرز و تحقیق Sasikumar (Sasikumar, Kannan, & Haq, 2010) با موضوع چالش‌های راهبردی لجستیک معکوس، از دیگر تحقیقاتی هستند که شایسته است به آن‌ها اشاره شود. در بخش‌های قبلی نیز به تحقیق Wang (Wang, Lai, & Shi, 2011)درخصوص طراحی زنجیره‌ی تأمین اشاره شد. گذشته از این‌ها، Azapagic & Clift (Azapagic & Clift, 1999)، موضوع بهینه‌سازی چندمنظوره را در ارزیابی چرخه‌ی عمر (LCA) مورد نقد و بحث قرار دادند. این محققان ارزش بهینه‌سازی چندمنظوره در تحلیل سیستم را ناشی از فراهم کردن تعدادی راهکار جایگزین در راستای بهبود سیستم به جای ارائه‌ی یک راه‌حل مفرد و مجزا عنوان کردند؛ لذا با این روش، بهترین راهکار زیست‌محیطی (BPEO) و بهترین شگرد بدون اضافه شدن هزینه‌ی بیشتری (BATNEEC) در اختیارمان خواهد بود.

یکی از مهم‌ترین موضوعات در لجستیک سبز، چگونگی شناسایی روش‌های برتر در راستای هم‌تراز کردن دغدغه‌های کاری و زیست‌محیطی است. بهبود کیفیت زیست‌محیطی، با هزینه توأم است. اکنون سؤال این است که بین آثار زیست‌محیطی ناشی از یک فعالیت اقتصادی و هزینه‌های آن چه بده‌وبستان‌هایی وجود داشته و بهترین روش‌ها برای متعادل‌سازی دغدغه‌های اقتصادی و اکولوژیکی کدام‌اند؟ هدف، رسیدن به راه‌حل‌هایی است که بتوان آثار مخرب زیست‌محیطی را صرفاً با افزایش هزینه‌ها کاهش داد. اصطلاحاً به این‌گونه راه‌حل‌ها، روش‌های سازگار با محیط‌زیست گفته می‌شود. ایده‌ی جستجوی بهترین راهکارها مبتنی بر مدل بهینه‌سازی پارتو است. علی‌رغم فراوانی منابع مربوط به برنامه‌ریزی چندمنظوره، تعیین مرزهای سازگار با محیط‌زیست به کمک مدل‌های چندمنظوره‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، موضوع پژوهشی کاملاً جدیدی به‌حساب می‌آید.

۱۱- نتیجه‌گیری

تحقیق در عملیات، اکثراً برای به حداقل رساندن هزینه‌هاست؛ اما تأثیر آن روی محیط‌زیست نیز قابل ملاحظه است؛ به‌طوری که این تأثیر بسیاری از اوقات دیده نمی‌شود. حامیان و طرفداران محیط‌زیست، عموماً خواهان تغییر تکنولوژی هستند؛ تغییراتی چون دست کشیدن از خودروهای بنزین‌سوز و رفتن به سمت خودروهای برقی؛ ولی فارغ از نوع سیستم، نحوه‌ی کار و فعالیت آن‌هاست که تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد محیط‌زیست دارد؛ به‌عنوان مثال، وقتی در کشتی‌های کانتینری باری، سرعت از ۲۶ به ۱۸ گره دریایی می‌رسد، مصرف سوخت تا ۳۰ درصد کاهش پیدا می‌کند. پس نتیجه گرفته می‌شود که OR تأثیرات مهمی بر روی محیط‌زیست داشته و خواهد داشت؛ ولی به استناد این تحقیق، این اثرات بیشتر مواقع به چشم نمی‌آیند. بهتر است ارزش و اهمیت OR برای محیط‌زیست، به همه گوشزد شود. برای ارزیابی بسیاری از تصمیمات ضروری در راستای بهبود محیط‌زیست، باید مدل‌های جدیدی طرحی شوند.

۱۲- مراجع

-Agatz, N., Campbell, A. M., Fleischmann, M., Van Nunen, J., & Savelsbergh, M., (2013), "Revenue management opportunities for Internet retailers" Journal of Revenue and Pricing Management, 12(2), pp.128-138.

-Alshamrani, A., Mathur, K., & Ballou, R. H. (2007),"Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies", Computers & Operations Research, 34(2), pp.595-619.

-Ateş, M. A., Bloemhof, J., Van Raaij, E. M., & Wynstra, F., (2012), "Proactive environmental strategy in a supply chain context: the mediating role of investments", International Journal of Production Research, 50(4), pp.1079-1095.

and Operations Management, 10(2), pp.107-111 .
-D'Agosto, M., & Ribeiro, S. K., (2004), "Eco-efficiency management program (EEMP)—a model for road fleet operation", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9(6), pp.497-511.
-de Haes, H. A. U., (2006), "Life cycle assessment and the use of broad indicators", Journal of Industrial Ecology, 10(3), pp.5-7.
-Dekker ,R., Bloemhof, J., & Mallidis, I., (2012), "Operations Research for green logistics–An overview of aspects, issues, contributions and challenges", European Journal of Operational Research, 219(3), pp.671-679 .
-Demir, E., Bektaş, T., & Laporte, G., (2011), "A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16(5), pp.347-357.
-Fagerholt, K., Gausel, N. T., Rakke, J. G., & Psaraftis, H. N., (2015), "Maritime routing and speed optimization with emission control areas", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 52, pp.57-73 .
-Fan, Y., Behdani, B., Bloemhof-Ruwaard, J., & Zuidwijk, R., (2019), "Flow consolidation in hinterland container transport: An analysis for perishable and dry cargo", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 130, pp.128-160.
-Farahani, M., Shavandi, H., & Rahmani, D., (2017), "A location-inventory model considering a strategy to mitigate disruption risk in supply chain by substitutable products", Computers & Industrial Engineering, 108, pp.213-224.
-Gao, X., & Cao, C., (2020), "A novel multi-objective scenario-based optimization model for sustainable reverse logistics supply chain network redesign considering facility reconstruction", Journal of Cleaner Production, 122405 .
-Goel, A., (2010), "The value of in-transit visibility for supply chains with multiple modes of transport", International Journal of logistics: research and Applications, 13(6), pp.475-492.
-Harris, I., Naim, M., Palmer, A., Potter, A., & Mumford, C., (2011), "Assessing the impact of cost optimization based on infrastructure modelling on CO2 emissions", International journal of production economics, 131(1), pp.313-321.
-Azapagic, A., & Clift, R., (1999), "The application of life cycle assessment to process optimisation". Computers & Chemical Engineering, 23(10), pp.1509-1526.
-Bai, Y., Hwang, T., Kang, S., & Ouyang, Y., (2011), "Biofuel refinery location and supply chain planning under traffic congestion", Transportation Research Part B: Methodological, 45(1), pp.162-175.
-Barbosa-Póvoa, A. P., da Silva, C., & Carvalho, A .(2018),"Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective", European Journal of Operational Research, 268(2), pp.399-431.
-Barker, T. J., & Zabinsky, Z. B., (2011), "A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process", Omega, 39(5), pp.558-573.
-Bartolacci, M. R., LeBlanc, L. J., Kayikci, Y., & Grossman, T. A., (2012), "Optimization modeling for logistics: options and implementations", Journal of Business Logistics, 33(2), pp.118-127.
-Bauer ,J., Bektaş, T., & Crainic, T. G., (2010), "Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design", Journal of the Operational Research Society, 61(3), pp.530-542.
-Beltran, B., Carrese, S., Cipriani, E., & Petrelli, M., (2009), "Transit network design with allocation of green vehicles: A genetic algorithm approach", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 17(5), pp.475-483 .
-Benjaafar, S., & Savelsbergh, M., (2014), "Carbon-aware transport and logistics", In: Springer.
-Blauwens, G., De Baere, P., & Van de Voorde, E., (2002), "Transport economics".
-Brodin, M. H., & Aronsson, H., (2006), "Purchasing environmental logistics".
-Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M., (2012), "Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme", International journal of production economics, 135(1), pp.37-49 .
-Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, D. V., (2013), "Supply chain management: strategy, planning, and operation",Vol. 232, Pearson Boston, MA.
-Corbett, C. J., & Kleindorfer, P. R., (2001), "Environmental management and operations management: Introduction to part 1, manufacturing and ecologistics", Production

transport research: A review", European Journal of Operational Research, 153(2), pp.400-416.
-Maden, W., Eglese, R., & Black, D., (2010), "Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study", Journal of the Operational Research Society, 61(3), pp.515-522.
-Mallidis, I., Dekker, R., & Vlachos, D., (2012), "The impact of greening on supply chain design and cost: a case for a developing region", Journal of Transport Geography, 22, pp.118-128.
-McKinnon, A., Browne, M ,.Whiteing, A., & Piecyk, M., (2015), "Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics: Kogan Page Publishers".
-McKinnon, A. C., & Woodburn, A., (1996), "Logistical restructuring and road freight traffic growth", Transportation, 23(2) ,pp.141-161.
-Memari, A., Rahim, A. R. A., Ahmad, R., & Hassan, A., (2016), "A literature review on green supply chain modelling for optimising CO2 emission", International Journal of Operational Research, 26(4), pp.509-525.
-Mi, Z.-F., Pan, S.-Y., Yu, H., & Wei, Y-.M., (2015), "Potential impacts of industrial structure on energy consumption and CO2 emission: a case study of Beijing", Journal of Cleaner Production, 103, pp.455-462.
-Milošević, T., Kranjčević, L., Piličić, S., Čavrak, M., Kegalj, I., & Traven, L., (2020), "Air Pollution Dispersion Modeling in Port Areas", Pomorski zbornik(3), pp.157-170.
-Mutopo, P., Haaland, H., Boamah, F., Widengård, M., & Skarstein, R., (2011), "Biofuels, land grabbing and food security in Africa: Zed Books Ltd".
-Ni, P., Wang, X., & Li, H., (2020)," A review on regulations, current status, effects and reduction strategies of emissions for marine diesel engines", Fuel, 279, 118477.
-NTM., (2020), "Network for Transport and the Environment", Retrieved from http: //ntmcalc.se/index.html.
-Palanivelu, P & ,.Dhawan, M., (2011), "Green Logistics",White Paper Tata Consulting Systems.
-Palmer, M. A., (1988), "Dispersal of marine meiofauna: a review and conceptual model explaining passive transport and active emergence with implications for recruitment", Marine ecology progress series. Oldendorf, 48(1), pp.81-91.
-Piecyk, M. I., & McKinnon, A. C., (2010), "Forecasting the carbon footprint of road freight
-Hoen, K., Tan, T., Fransoo, J., & Van Houtum, G.,(2010)," Effect of carbon emission regulations on transport mode selection in supply chains", Eindhoven University of Technology .
-Hoen, K., Tan, T., Fransoo, J., & Van Houtum, G., (2014), "Effect of carbon emission regulations on transport mode selection under stochastic demand", Flexible Services and Manufacturing Journal, 26 (1-2), pp.170-195 .
-Hua, G., Cheng, T., & Wang, S., (2011), "Managing carbon footprints in inventory management", International journal of production economics, 132(2), pp.178-185 .
-Huijbregts, M., Rombouts, L., & Struijs, J., (2005), "Predictive power of cumulative energy demand for life cycle impact indicators", Paper presented at the 15th Annual Meeting, SETAC Europe, pp.22-26.
-Iacovou, N., Robbie T, & , C. L., (2009), "A comparative study of important risk factors involved in offshore and domestic outsourcing of software development projects: A two-panel Delphi study", Information & management, 46(1), pp.57-68 .
-Janic, M., (2011), "Assessing some social and environmental effects of transforming an airport into a real multimodal transport node", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 16(2), pp.137-149 .
-Kleindorfer, P. R., Singhal, K., & Van Wassenhove, L. N., (2005), "Sustainable operations management. Production and Operations Management ,14(4) ,pp.482-492 .
-Kull, T. J., Boyer, K., & Calantone, R., (2007), Last, mile supply chain efficiency: an analysis of learning curves in online ordering. International Journal of Operations & Production Management".
-Lack, D., & Corbett, J., (2012), "Black carbon from ships: a review of the effects of ship speed, fuel quality and exhaust gas scrubbing", Atmospheric Chemistry & Physics, pp.12(9).
-Lai, K.-h., Cheng, T., & Tang, A. K., (2010), "Green retailing: factors for success", California Management Review, 52(2), pp. 6-31.
-Leal, I. C., & D'Agosto., (2011), "Modal choice for transportation of hazardous materials: the case of land modes of transport of bio-ethanol in Brazil", Journal of Cleaner Production, 19(2-3), pp.229-240.
-Macharis, C., & Bontekoning, Y. M., (2004), "Opportunities for OR in intermodal freight

-Sundarakani, B., De Souza, R., Goh, M., Wagner, S. M., & Manikandan, S., (2010), "Modeling carbon footprints across the supply chain", International journal of production economics, 128(1), pp.43-50.
-Susilawati, H. L., Setyanto, P., Ariani, M., Hervani, A., & Inubushi, K., (2016), "Influence of water depth and soil amelioration on greenhouse gas emissions from peat soil columns", Soil Science and Plant Nutrition, 62(1), pp.57-68.
-Van Mierlo, J., Timmermans, J.-M., Maggetto, G., Van den Bossche, P., Meyer, S., Hecq, W., . . . Verlaak, J., (2004), "Environmental rating of vehicles with different alternative fuels and drive trains: a comparison of two approaches", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9(5), pp.387-399.
-Vanek, F .M., & Morlok, E. K., (2000), "Improving the energy efficiency of freight in the United States through commodity-based analysis: justification and implementation", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 5(1), pp.11-29.
-Wang, F., Lai, X & ,.Shi, N., (2011), "A multi-objective optimization for green supply chain network design", Decision support systems, 51(2), pp.262-269.
-Zhang, X., Li, L., & Zhang, J., (2019), "An optimal service model for rail freight transportation: Pricing, planning, and emission reducing", Journal of Cleaner Production, 218, pp.565-574.
transport in 2020", International journal of production economics, 128(1), pp.31-42.
-Psaraftis, H. N., & Kontovas, C .A., (2014), "Ship speed optimization: Concepts, models and combined speed-routing scenarios", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 44, pp.52-69.
-Quariguasi Frota Neto, J., Walther, G., Bloemhof, J., Van Nunen, J., & Spengler, T., (2010), "From closed-loop to sustainable supply chains: the WEEE case", International Journal of Production Research, 48(15), pp.4463-4481.
-Sarkis, J., Zhu, Q., & Lai, K.-h. (2011). An organizational theoretic review of green supply chain management literature. International journal of production economics, 130(1), 1-15 .
Sasikumar, P., Kannan, G., & Haq, A. N., (2010), "A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 49(9-12), pp.1223-1234.
-Sbihi, A., & Eglese, R. W., (2010), "Combinatorial optimization and green logistics", Annals of Operations Research, 175(1), pp.159-175.
-Sheu, J.-B., Chou, Y.-H., & Hu, C.,C., (2005), "An integrated logistics operational model for green-supply chain management", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 41(4), pp.287-313.
-Srivastava, S. K., (2007), "Green supply chain management: a state of the art literature review", International journal of management reviews, 9(1), pp.53-80.

Research in Green Logistics Operations; Take a Look at the Dimensions and Aspects, Issues, Contributions and Challenges

Kasra Pourkermani, Assistant Professor, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.

Mostafa Nemati, Graduate of Marine Transport, Khorramshahr University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran.

E-mail: pourkermani@kmsu.ac.ir

Received: September 2020-Accepted: January 2021

ABSTRACT

The growth of the world economy in the last century has led to the consumption of many goods, and on the other hand, the process of globalization has led to the formation of huge flows of goods around the world; but the production, transportation, storage and consumption of these goods have created many environmental problems. Today, global warming due to the production and wide spread emission of greenhouse gases is a major environmental concern. Governments, working groups and large corporations are preparing to face this threat. The field of operations research has a long history of improving operational methods, especially in reducing costs. In this study, the authors summarize the significant contributions of operations research to green logistics, which includes a combination of environmental dimensions and aspects in procurement processes. By focusing on the design, planning, and oversight of the supply chain, inventory, and facility decisions provide a summary of current developments and developments that may occur in the future. In this direction, various researches that have studied OR models of logistics programs from environmental dimensions will also be mentioned.

Keywords: Environment, Logistics, Supply Chain Management, Transportation