



# Determining Environmental Policies by Closed Loop Supply Chain Network Design Based on Bi-Level Programming Approach

Jafar Bagherinejad\*, Mahdi Bashiri & Atefeh Hassanpour

*Jafar Bagherinejad, Associate Professor of Industrial Eng- Alzahra University*

*Mahdi Bashiri, Associate Professor of Industrial Eng- Shahed University*

*Atefeh Hassanpour, MSc. of Industrial Eng- Alzahra University*

## Keywords

**Bi-level programming,  
Closed-loop supply chain,  
Government regulations,  
Heuristic algorithm based  
on enumeration.**

## ABSTRACT

*In this paper, a bi-level mixed integer linear programming model is proposed, in which the government is considered as a leader with the aim of reducing environmental pollution in the first level and tends to collect more used products by determining collection ratio rule that ensures a minimum distribution ratio to satisfy a minimum proportion of customer demands, and in the second level, private sector is considered as a follower and tries to maximize its net profit by determining distribution and collection centers locations and designing its closed loop supply chain network, subject to the government collection policies. Of course government tends to determine the highest collection ratio of used products, and on the other hand distribution centers set their strategies by considering government policies. A heuristic algorithm based on enumeration is employed and its performance is evaluated in some computational experiments. The results of the study show that necessity of using bi-level approach when government has greater freedom and fluctuation in its decision making.*

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 3, All Rights Reserved



## تعیین سیاست‌های زیست محیطی با طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته بر پایه برنامه‌ریزی دوسطحی

جعفر باقری نژاد\*، مهدی بشیری و عاطفه حسن پور

### چکیده:

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی عدد صحیح مختلط پیشنهاد شده است که در سطح اول دولت به عنوان رهبر با هدف کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، با تنظیم قوانین دولتی به دنبال جمع‌آوری هر چه بیشتر محصولات توزیع شده توسط بخش خصوصی و همچنین تضمین تامین نسبت معینی از تقاضای مشتریان می‌باشد و در سطح دوم بخش خصوصی با توجه به تصمیمات دولت، با هدف بیشینه نمودن عایدی خود، به دنبال تعیین مکان مراکز توزیع و جمع‌آوری به منظور طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته خود است. به منظور حل مدل پیشنهادی، یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای شمارش پیشنهاد شده و با شبیه‌سازی مثال‌های عددی عملکرد مدل و حساسیت آن نسبت به پارامترهای کلیدی بررسی و تحلیل شده است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی در شرایطی که دولت آزادی عمل بیشتری در تصمیم‌گیری‌های خود داشته باشد، ضرورت بیشتری پیدا می‌کند.

### کلمات کلیدی

برنامه‌ریزی دوسطحی،  
زنجیره تأمین حلقه بسته،  
قوانین دولتی،  
الگوریتم ابتکاری مبتنی بر  
شمارش.

### ۱. مقدمه

با افزایش رو به رشد آلودگی‌های زیست محیطی، جمع‌آوری محصولات استفاده شده جهت استفاده مجدد و همچنین بازیافت و دفع صحیح محصولات و قطعات غیرقابل بازیابی، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۱]. البته با مروری بر مقالات منتشر شده در این حوزه دیده می‌شود که بیشتر مقالات به طراحی و مدلسازی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته از منظر شرکت‌های ذیربط پرداخته اند. در حالی که در سال‌های اخیر با توجه به عواقب ناشی از افزایش آلودگی‌های زیست محیطی، جمع‌آوری محصولات مرجوعی و بازگرداندن محصولات قابل بازیابی به چرخه تولید و یا بازیافت و دفع صحیح محصولات غیر قابل بازیابی به یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های دولت‌ها تبدیل شده است.

تاریخ وصول: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ تصویب: ۹۵/۱۰/۰۵

مهدی بشیری، دانشیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد.

[bashiri.m@gmail.com](mailto:bashiri.m@gmail.com)

عاطفه حسن پور، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه الزهرا، آدرس ایمیل

[a.hassanpour1319@gmail.com](mailto:a.hassanpour1319@gmail.com)

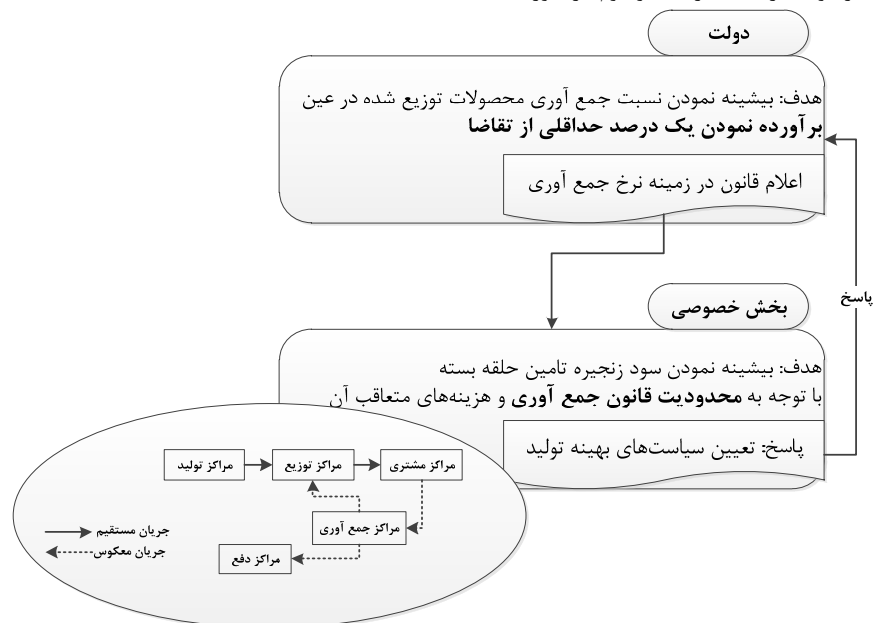
\*نویسنده مسئول مقاله: جعفر باقری نژاد، دانشیار دانشکده فنی مهندسی،

دانشگاه الزهرا، نویسنده مسئول: [jbagheri@Alzahra.ac.ir](mailto:jbagheri@Alzahra.ac.ir)

در واقع عدم وجود اجبار و یا تشویق برای مصرف کنندگان در بازگرداندن محصولات استفاده شده و همچنین بالا بودن عدم قطعیت در تعداد و کیفیت محصولات بازگشتی برای شرکت‌های توزیع کننده، باعث شده تمایلی برای ایجاد چرخه بازیابی وجود نداشته باشد و لذا چرخه بازیابی به خودی خود و بدون دخالت ارگان‌های بالادستی شکل نگیرد. در نتیجه مدلسازی و حل مسئله تنها از منظر بخش خصوصی با توجه به وجود تناقض در اهداف مورد نظر دولت و بخش خصوصی در جمع‌آوری محصولات بازگشتی بخصوص محصولات با صرفه جویی اقتصادی کم، ممکن است منجر به تولید جواب‌هایی شود که اهداف مورد نظر دولت را تأمین ننماید. لذا دیده می‌شود که دولت‌ها همواره با تنظیم قوانین دولتی و یا استفاده از سیستم‌های تشویقی همچون پرداخت کمک‌های مالی و یا اعطای امتیازاتی همچون تخفیف‌های مالیاتی به شرکت‌های جمع‌آوری کننده، سعی در هدایت شرکت‌ها به سمت و سوی اهداف مورد نظر خود داشته اند. از نمونه‌های بارز در این امر می‌توان به دستورالعمل جمع‌آوری تجهیزات الکترونیکی و الکترونیکی بی مصرف (WEEE) مصوب 2002/96/EC شورا و پارلمان اروپا اشاره نمود که در سال ۲۰۰۳ به عنوان یک قانون در اروپا اجرایی گردید. به موجب این قانون صنایع تولید کننده

محصولات با صرفه جویی اقتصادی اندک که شرکت‌های تولید موجود در عرصه تولید تمایلی نسبت به جمع آوری محصولات استفاده شده نشان نمی‌دهند. به عنوان مثال جمع آوری محصولات الکتریکی و یا الکترونیکی که در لبه تکنولوژی هستند و به صورت مداوم در حال به روزرسانی هستند می‌تواند مثالی از محصولات مورد بررسی باشد و یا صنایع کاغذسازی را می‌توان به عنوان یک زنجیره تأمین حلقه بسته مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، بر خلاف بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته که فرض مسئله بر این است که تنها یک تصمیم‌گیرنده بر کل شبکه احاطه دارد، تصمیم‌گیری به صورت متوالی و در دو سطح انجام می‌گیرد. به طوری که دولت به عنوان رهبر با تنظیم قوانین دولتی به دنبال جمع آوری هر چه بیشتر محصولات توزیع شده با هدف کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین تضمین تأمین نسبت معینی از تقاضای مشتریان می‌باشد و در سطح دوم، بخش خصوصی با توجه به تصمیمات دولت، با هدف بیشینه نمودن سود خود، به دنبال تعیین مکان مراکز توزیع و جمع آوری به منظور طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته خود می‌باشد. باید توجه داشت که بخش خصوصی با توجه به نرخ جمع آوری تعیین شده از سوی دولت و با هدف حداکثر نمودن عایدی خود، به بخشی از تقاضای مشتریان پاسخ خواهد داد. لذا ممکن است قسمتی از تقاضای مشتریان بی پاسخ بماند. در شکل (۱) چارچوب مفهومی مدل پیشنهادی ارائه شده است.

تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی ملزم به جمع آوری، بازیابی و بازیافت این تجهیزات با سقف مشخص سالانه گردیدند [۲]. به علاوه، دستورالعمل چارچوب ضایعات اتحادیه اروپا نیز در راستای جلوگیری از ایجاد ضایعات و ارتقای بازیابی در سال ۲۰۰۸ تدوین و تصویب گردید. به موجب این سند، تمامی بخش‌های صنعتی و تجاری در مقابل بازیابی محصولات استفاده شده مسئول شناخته شدند [۳]. همچنین، با توجه به آلودگی‌های زیست محیطی در نیجریه، آژانس فدرال حفاظت از محیط زیست، سیاست جمع آوری، تعمیر و دفع ضایعات خشک و خطرناک را در شهرداری و بخش‌های صنعتی در پیش گرفته و در این راستا قانون گذاری نمود [۴]. دولت آلمان نیز به عنوان اولین کشور در سال ۱۹۹۱، در زمینه بازیابی و بازیافت بسته‌های فروش که حاوی مواد کاغذی و یا مقوا هستند، قانونگذاری نمود. به موجب این قانون، صنایع موظف به جمع آوری درصد معینی از بسته‌های فروش کاغذی خود گشتند. در همین راستا، دولت ایتالیا نیز حمایت قدرتهای محلی از بازیابی کاغذ را به عنوان یکی از مهمترین عوامل در بهبود و افزایش بازیابی این محصولات مطرح نمود [۵]. به طور کلی، با توجه به اهمیت مسائل زیست محیطی در سالهای اخیر دولت به عنوان یک نهاد قانون گذار و قدرتمند، سعی در ایجاد رغبت و یا التزام در جمع آوری محصولات استفاده شده را داشته است اما در حالت کلی به نظر می‌رسد که ضرورت حضور دولت در این عرصه بیشتر در دو حوزه احساس می‌گردد. اول در حوزه جمع آوری محصولات با ضایعات خطرناک و یا غیر دوستدار محیط زیست و دوم در حوزه



شکل ۱. چارچوب مفهومی مدل پیشنهادی

توزیع به دست مشتریان می‌رسند و در جریان رو به عقب، محصولات بازگشتی پس از جمع آوری، در مراکز جمع آوری مورد بازرسی قرار گرفته و در رابطه با بازیابی و یا دفع آنها تصمیم‌گیری

لازم به ذکر است که در سطح پیرو برای بخش خصوصی، یک مدل حلقه بسته در نظر گرفته شده است. که در شبکه رو به جلو، محصولات پس از ساخته شدن در مراکز تولید، از طریق مراکز

می‌شود. محصولاتی که صدمه دیده‌اند و نیاز به تعمیر دارند در این مراکز بازیابی شده و به مراکز توزیع جهت ارائه به مشتریان منتقل می‌گردند و سایر محصولاتی که قابل تعمیر نیستند، برای دفع به مراکز دفع فرستاده می‌شوند. این مسئله در قالب یک مدل برنامه ریزی دوسطحی عددصحيح مختلط با هدف بیشینه سازی نسبت جمع آوری محصولات یازگشتی برای دولت و طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بخش خصوصی طراحی شده است. در ادامه و در بخش دوم به مرور ادبیات و پیشینه موضوع تحقیق پرداخته شده و در بخش سوم با تعریف مسئله و مفروضات مدل دو سطحی، مدل‌سازی ریاضی مسئله ارائه شده است و سپس در بخش چهارم یک روش حل ابتکاری برای حل مسئله معرفی شده و در بخش پنجم به منظور بررسی کارایی مدل پیشنهادی، به حل مثالهای عددی پرداخته شده و در بخش آخر نیز تحلیلی بر نتایج بدست آمده ارائه شده است.

۲. پیشینه تحقیق

ادبیات متنوعی در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته وجود دارد، در این بخش به گوشه‌ای از بررسی‌ها و نتایج منتشر شده در مقاله مروری اخیر گویندان و همکاران اشاره می‌گردد. و سپس با بررسی نتایج و اشاره به کاستی‌های آن، خلاهای تحقیقاتی در این حوزه ارائه شده و جایگاه تحقیق حاضر مشخص می‌گردد. گویندان و همکاران در مقاله خود یک مرور جامع بر روی مقالات منتشر شده در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ در زمینه زنجیره تأمین حلقه بسته و لجستیک معکوس انجام داده‌اند و بر همین اساس چندین مورد از خلاهای تحقیقاتی عمده در این حوزه را شناسایی و به عنوان پیشنهادات آتی ارائه نموده‌اند [۶]. آنها توجه کم به موضوعاتی همچون انتخاب طرف سوم، قیمت گذاری و برنامه‌ریزی سطوح تصمیم‌گیری را مطرح نمودند و به مغفول ماندن در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهایی نظیر نرخ بازگشت محصولات، زمان تأخیر، کیفیت محصولات بازگشتی، تمایل مشتری برای بازگرداندن محصولات و ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی اشاره نمودند. به علاوه آنها اذعان داشتند که سادگی مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و برنامه ریزی محدب در حل از یک سو و پیچیدگی مدل‌های غیر خطی و غیر محدب از سوی دیگر باعث شده تا بیشتر محققان به مدل‌سازی و حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی روی آورند، در حالی که مدل‌های دنیای واقعی بسیار پیچیده تر و سخت تر می باشند. آنها استفاده از الگوریتم‌های تقریبی و یا ترکیب روش‌های دقیق و ابتکاری برای حل مدل‌های زنجیره تأمین را پیشنهاد نمودند و خلا مقایسه تصمیم‌گیری بر مبنای چند هدف و تصمیم‌گیری تک هدفه را نیز با توجه به اهمیت مدل چند هدفه در دنیای واقعی مطرح نمودند. البته لازم به ذکر است در خلاهای شناسایی شده توسط گویندان و همکاران به اهمیت

تصمیم‌گیری در سطوح مختلف و متوالی اشاره نشده است، در حالی که به نظر می‌رسد تصمیم‌گیری‌های در سطوح بالای یک کشور می‌تواند در تصمیمات و سیاست‌های یک زنجیره تأمین بسیار تأثیرگذار و جهت دهنده باشد. با مطالعه خاص مقالات موجود در زمینه‌هایی همچون توجه به کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، دخالت قدرت‌های مرکزی در هدایت بخش‌های ذیربط به این سمت و سو، دیده می‌شود که از دیرباز محققان بسیار زیادی سعی داشته‌اند با استفاده از تکنیک‌های متنوع بهینه‌سازی همچون رویکردهای اقتصادی، تئوری بازی‌ها و برنامه‌ریزی چند سطحی این گونه مسائل را مدل‌سازی و مورد تحلیل قرار دهند. نیس برای اولین بار، لزوم برخورد با مدیریت آلودگی را به عنوان یک فرآیند اقتصادی مطرح نمود. وی استفاده از جریمه آلاینده‌ها را برای رسیدن به سطح مطلوبی از آلودگی‌ها پیشنهاد داد. و مطالعات خود را بر روی کنترل آلودگی آب انجام داد [۷]. هاس با استفاده از الگوریتم تجزیه دانتزیک ولف به یک ساختار بهینه تصفیه جهت رسیدن به استانداردهای کیفی آب در حوزه یک رودخانه و همچنین میزان مالیات‌های بهینه آلودگی دست یافت. او تحقیقات خود را بر روی داده‌های رودخانه میامی اوهایو مورد آزمایش قرار داد [۸]. هایمس و همکاران مدلی شامل سه سطح سازمان مرکزی، کارخانه تصفیه و آلوده کنندگان را برای مدیریت کیفیت آب منطقه‌ای پیشنهاد نمودند. در این مقاله سازمان مرکزی در سطح اول، مالیات بهینه آلاینده‌ها و ساختار بهینه تصفیه برای دستیابی به استانداردهای کیفی آب را تعیین نموده و در سطح دوم ساخت یک کارخانه تصفیه پیشنهاد شده است. به منظور حل، مسئله بهینه سازی به مجموعه‌ای از زیر مسائل سلسله مراتبی تجزیه شده و جواب این زیر مسائل به منظور محاسبه جواب بهینه اصلی ترکیب می‌شوند. این الگوریتم با استفاده از داده‌های رودخانه میامی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاکی از کارایی مناسب استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی چندسطحی بوده است [۹]. جاکوبسن در مقاله خود به بررسی برخی از مشکلات محاسباتی و تئوریک یافتن مالیات‌های بهینه جهت کنترل آلودگی‌های زیست محیطی پرداخت. وی برای نشان دادن این مشکلات، مسئله کنترل کیفی آب را مورد بررسی قرار داد. به منظور حل برنامه ریزی غیر محدب ارائه شده یک الگوریتم حل پیشنهاد و بر روی یک مثال آزمایش شده است [۱۰]. آموزگار و جاکوبسن، یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای برنامه‌ریزی ظرفیت تولید زباله‌های خطرناک و مکان یابی تسهیلات برای پاک سازی ارائه نمودند که در سطح اول قدرت مرکزی با هدف بیشینه سازی رفاه اجتماعی و در سطح دوم شرکت‌ها به عنوان هر سازمانی که از طریق فعالیت خود کالاهایی نه لزوما یکسان را با هدف بیشینه سازی سود تولید می‌کند، در نظر گرفته شده است. مدل ارائه شده برای مسئله زباله‌های خطرناک در خلیج سانفرانسیسکو حل شده است [۱۱].

حداقل میزان سوبسید به ازای جمع آوری هر محصول بازگشتی به شرکت های جمع آوری کننده می باشد و در سطح دوم شرکت‌های جمع آوری کننده به دنبال تعیین تعداد و قیمت خرید محصولات بازگشتی بر مبنای کیفیتشان از مشتریان با هدف بیشینه سازی سود خود می‌باشد [۱۴]. پلامبک و ونگ با استفاده از سیاست هزینه برای دفع، بازتولیدکنندگان را طراحی بازیافت ترغیب نمودند [۱۵]. شوو و چن یک مدل سه مرحله ای نظریه بازی ها برای تحلیل تأثیر مالیات سبز و بارانه به عنوان ابزارهای دولت بر روی سود زنجیره تامین سبز و سطح رفاه اجتماعی توسعه دادند. جواب بدست آمده از تعادل نش حاکی از عملکرد بهتر مدل مذکور در مقایسه با مدل بدون در نظر گرفتن ابزارهای دولت است [۱۶]. ونگ و همکاران، به بررسی تأثیر مکانیسم پاداش-جریمه دولت برای ایجاد انگیزه در صنعت بازیافت در شبکه‌های زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند [۱۷]. خلاصه مقالاتی که مرور گردید در جدول (۱) ارائه شده است.

وجانوسکی و همکاران در مقاله خود به بررسی اثرمتقابل میان شرکت‌های صنعتی و دولت پرداخته‌اند. تمرکز این تحقیق بر روی استفاده دولت از ابزار تشویقی بیعانه قابل برگشت در مواقعی که جمع آوری محصولات بازگشتی به میزان کافی و مطلوب صورت نگرفته است، می‌باشد. این مسئله به صورت یک مدل پیوسته با هدف بیشینه نمودن سود شرکت‌ها با در نظر گرفتن سیستم تشویقی مورد نظر دولت، طراحی شده است. نتایج محاسبات عددی نشان می‌دهند که ارزش محصولات بازگشتی عامل کلیدی در نرخ جمع آوری محصولات می‌باشد [۱۲]. میترا و وبستر به بررسی یک مدل دو دوره‌ای پرداختند. در این مدل تولیدکنندگان در دوره اول محصولات جدید را تولید و به فروش می‌رسانند و بازتولیدکنندگان در دوره دوم که پس از اتمام عمر محصول می‌باشد، به رقابت با تولید کنندگان می‌پردازند. در این مدل تأثیر پرداخت سوبسید دولتی برای ارتقای فعالیت‌های بازتولید در نظر گرفته شده است [۱۳]. آکسن و همکاران دو مدل برنامه ریزی دوسطحی ارائه نمودند که در سطح اول دولت به عنوان پیشرو به دنبال تعیین

#### جدول ۱. مرور ادبیات مقالات در حوزه مسائل زنجیره تامین و قانون گذاری با رویکرد کاهش آلودگی‌های زیست محیطی

عناصر	تعداد سطح (Echelon)			تعداد سطوح تصمیم گیری (level)			سیستم تشویقی	قانون گذاری	توجه به آلودگی	مطالعه موردی	تولید	توزیع	مشتری	جمع آوری	بازیافت	دفع	یک	دو	چند	یک	دو	چند	تعداد سطح (Echelon)
	یک	دو	چند	یک	دو	چند																	
[۲]	*			*	*		*	*	*	*													
[۳]				*	*		*	*	*	*													
[۴]				*	*	*	*	*	*	*													
[۵]				*	*	*	*	*	*	*													
[۶]				*	*	*	*	*	*	*													
[۷]				*	*	*	*	*	*	*													
[۸]				*	*	*	*	*	*	*													
[۹]				*	*	*	*	*	*	*													
[۱۰]				*	*	*	*	*	*	*													
[۱۱]				*	*	*	*	*	*	*													
[۱۲]				*	*	*	*	*	*	*													
مقاله حاضر	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

این موضوع در زنجیره تامین حلقه بسته جدید تلقی شده و ضرورت می‌یابد.

#### ۳. ارائه مدل پیشنهادی

در این بخش یک مدل برنامه‌ریزی دو سطحی عددصحیح مختلط به منظور تعیین قانون نرخ جمع آوری از سوی دولت در سطح اول و طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در سطح دوم ارائه شده

همان طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود بیشتر مقالات با رویکرد تعیین سیاست‌های زیست محیطی و کاهش آلودگی، به صورت تک سطحی در نظر گرفته شده‌اند و تنها تعداد کمی از مقالات تقابل تصمیم‌گیری دولت و بخش آلوده کننده را در یک برنامه‌ریزی دوسطحی بررسی نموده‌اند. به علاوه، از آنجایی که تعداد اندکی از مقالات از برنامه‌ریزی دوسطحی در زنجیره تامین به خصوص در مفهوم زنجیره حلقه بسته استفاده نموده‌اند، بررسی

است. فرضیات مسئله و همچنین مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مسئله پیشنهادی در ادامه ارائه گردیده است.

فرضیات مدل برنامه‌ریزی دوسطحی پیشنهادی:

- دولت به عنوان پیشرو قوانین دولتی را وضع نموده و بخش خصوصی متأثر از این قوانین به عنوان پیرو تصمیم‌گیری می‌نماید.
- دولت تصمیم خود را با توجه به تصمیم بخش خصوصی و به منظور تأمین نسبت معینی از تقاضای مشتریان تغییر می‌دهد.
- محصولات مرجوعی به مراکز جمع آوری ارسال شده و در این مراکز مورد بازرسی قرار می‌گیرند و با توجه به میزان سلامت قطعاتشان در ارتباط با بازیابی و یا دفع آنها تصمیم‌گیری می‌شود. محصولات قابل بازیابی و تعمیر به مراکز بازیابی منتقل شده و محصولات غیرقابل بازیابی برای دفع به مراکز دفع فرستاده می‌شوند.
- محصولات بازیابی شده دارای کیفیت یکسانی با محصولات تولیدی هستند و لذا با قیمت یکسان به مشتریان فروخته می‌شوند.

$\beta$ : متوسط نسبت بازیابی محصولات مرجوعی در مراکز جمع آوری

$Cap_i, Cap_j, Cap_l, Cap_m$ : حداکثر ظرفیت هر یک

از مراکز  $m, l, j, i$  و

$p$ : قیمت فروش هر واحد محصول به مشتری

$q$ : قیمت خرید هر واحد محصول مرجوعی از مشتری

#### متغیرهای تصمیم:

$A$ : نسبت محصولات توزیع شده که توسط بخش خصوصی باید جمع آوری گردد

$Xij_{ij}, Xjk_{jk}, Xkl_{kl}, Xlj_{lj}, Xlm_{lm}$ : تعداد محصول ارسال شده میان مراکز  $m, l, k, j, i$  و

$Yj_j$ : متغیر باینری که در صورت ۱ بودن مرکز توزیع در محل  $j$  احداث می‌شود.

$Yl_l$ : متغیر باینری که در صورت ۱ بودن مرکز جمع آوری در محل  $l$  احداث می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی دو سطحی پیشنهادی در ادامه ارائه شده است:

$$Z_1 = \max A \quad (1)$$

$$\sum_j \sum_k Xjk_{jk} \geq \alpha \sum_k d_k \quad (2)$$

$$0 \leq A \leq 1 \quad (3)$$

$$Z_2 = \max \sum_j \sum_k Xjk_{jk} \cdot p - \sum_k \sum_l Xkl_{kl} \cdot q -$$

$$\sum_i \sum_j (Ci_i + Cij_{ij}) Xij_{ij} - \sum_j \sum_k (Cj_j + Cjk_{jk}) Xjk_{jk} - \sum_l \sum_k (Cl_l + Ckl_{kl}) Xkl_{kl} - \sum_l \sum_m (Cm_m + Clm_{lm}) Xlm_{lm} \quad (4)$$

$$- \sum_l \sum_j (Clj_{lj} + Clr_l) Xlj_{lj} - \sum_j Fj_j Yj_j - \sum_l Fl_l Yl_l$$

s.t :

$$\sum_l Xkl_{kl} \geq A \sum_j Xjk_{jk} \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_i Xij_{ij} + \sum_l Xlj_{lj} = \sum_k Xjk_{jk} \quad \forall j \quad (6)$$

$$\sum_j Xlj_{lj} = \beta \sum_k Xkl_{kl} \quad \forall l \quad (7)$$

$$\sum_m Xlm_{lm} = (1 - \beta) \sum_k Xkl_{kl} \quad \forall l \quad (8)$$

#### مجموعه‌ها و اندیس‌ها:

$I$ : مجموعه نقاط ثابت مراکز تولید  $i = 1, \dots, I$

$J$ : مجموعه نقاط بالقوه مراکز توزیع  $j = 1, \dots, J$

$K$ : مجموعه نقاط ثابت مراکز تقاضا  $k = 1, \dots, K$

$L$ : مجموعه نقاط بالقوه مراکز جمع آوری  $l = 1, \dots, L$

$M$ : مجموعه نقاط ثابت مراکز دفع  $m = 1, \dots, M$

#### پارامترها:

$Fj_j$ : هزینه ثابت احداث مراکز توزیع  $j$

$Fl_l$ : هزینه ثابت احداث مراکز جمع آوری  $l$

$Ci_i$ : هزینه تولید هر واحد محصول در مرکز تولید  $i$

$Cj_j$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول در مرکز توزیع  $j$

$Cl_l$ : هزینه فرآیند جمع آوری هر واحد محصول در مرکز جمع آوری  $l$

$Clr_l$ : هزینه بازیابی هر واحد محصول در مرکز جمع آوری  $l$

$Cm_m$ : هزینه دفع هر واحد محصول در مرکز دفع  $m$

$Cij_{ij}, Cjk_{jk}, Ckl_{kl}, Clm_{lm}, Clj_{lj}$ : هزینه حمل و نقل هر واحد محصول بین هر جفت از مراکز  $m, l, k, j, i$  و

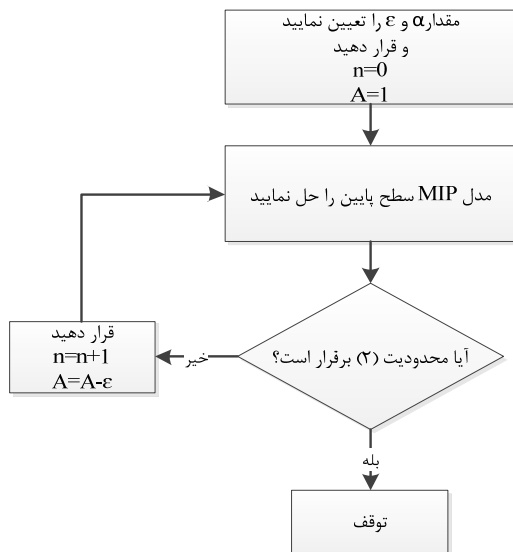
$d_k$ : تقاضای منطقه  $k$

$\alpha$ : حداقل نسبتی از تقاضای مشتریان که باید پاسخ داده شود

توجه به ویژگی‌های مسئله یک روش ابتکاری بر مبنای شمارش برای حل پیشنهاد شده است.

#### ۴-۱. حل به روش ابتکاری بر مبنای شمارش

در مسئله پیشنهادی، تک متغیره بودن مدل سطح بالا (دولت) موجب می‌شود که زنجیره حلقه بسته در سطح پایین (بخش خصوصی) برای حل تنها وابسته به یک پارامتر از مدل سطح بالا باشد و با تعیین هر مقدار نرخ جمع آوری  $A$  از سوی دولت می‌توان مقدار بهینه این سطح را محاسبه نمود. لذا با توجه به حالت خاص مدل سطح بالا که به صورت تک متغیره کران دار می‌باشد، این امکان فراهم می‌شود که بتوانیم مقدار بهینه سطح بالا را در یک رویه تکرار در دامنه  $A$  جستجو نماییم. بنابراین با توجه به اینکه دولت در سطح بالا درصد تعیین ماکسیمم مقدار  $A$  می‌باشد در ابتدا بیشترین مقدار ممکن برای  $A$  یعنی مقدار "یک" را برای شروع الگوریتم در نظر گرفته و مدل سطح پایین را به ازای آن حل می‌نماییم و در صورتی که تنها محدودیت سطح بالا، یعنی محدودیت (۲) که نمایانگر میزان تقاضای پاسخ داده شده است، برآورده شود مسئله برنامه ریزی دو سطحی حل شده و جواب بهینه تعیین گردیده است. در غیر این صورت با کاهش اندک مقدار  $A$  دوباره مسئله سطح پایین را حل می‌نماییم و این رویه تکرار با گام‌های  $\epsilon$  را تا زمان برقراری محدودیت (۲) ادامه می‌دهیم. نمای کلی الگوریتم در شکل (۲) ارائه شده است. همان طور که مشخص است دقت جواب به دست آمده به اندازه  $\epsilon$  می‌باشد.



شکل ۲. رویکرد حل روش ابتکاری

#### ۵. مثال عددی

به منظور ارزیابی عملکرد و تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی، در این بخش مثال‌های متفاوتی در ابعاد مختلف بررسی شده است.

$$\sum_j Xij_{ij} \leq Cap_i \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_k Xjk_{jk} \leq Y_j Cap_j \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_k Xkl_{kl} \leq Y_l Cap_l \quad \forall l \quad (11)$$

$$\sum_l Xlm_{lm} \leq Cap_m \quad \forall m \quad (12)$$

$$\sum_j Xjk_{jk} \leq d_k \quad \forall k \quad (13)$$

$$Xij_{ij}, Xjk_{jk}, Xkl_{kl}, Xlm_{lm}, Xlj_{lj} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, m \quad (14)$$

$$Y_j, Y_l \in \{0, 1\}$$

معادله (۱) نشان دهنده تابع هدف مسئله سطح اول است که دربرگیرنده حداکثرسازی نرخ جمع‌آوری محصولات توزیع شده می‌باشد. محدودیت (۲) تضمین کننده تامین نسبت معینی از تقاضا می‌باشد و محدودیت (۳) نیز محدودیت منطقی و مربوط به علامت متغیرتصمیم سطح اول می‌باشد. معادله (۴) نشان دهنده تابع هدف سطح دوم است که دربرگیرنده حداکثرسازی عایدی بخش خصوصی می‌باشد و عبارت‌های اول و دوم به ترتیب بیانگر درآمد حاصل از فروش محصولات به مشتریان و هزینه خرید محصولات استفاده شده از مشتریان می‌باشند. عبارت‌های سوم تا هفتم نشان دهنده هزینه‌های فرآیندی و حمل و نقل محصولات در میان مراکز مختلف می‌باشند و دو عبارت هشتم و نهم نیز به ترتیب نمایانگر هزینه‌های ثابت احداث مراکز توزیع و جمع‌آوری می‌باشند. محدودیت (۵) تضمین کننده جمع‌آوری نرخ قانونی محصولات توزیع شده می‌باشد و معادلات (۶) تا (۸) معادلات تعادلی گره‌ها هستند و محدودیت‌های (۹) تا (۱۲) محدودیت‌های مربوط به ظرفیت هر یک از مراکز می‌باشند و معادله (۱۳) تضمین کننده عدم ارسال محصول بیشتر از تقاضا به مراکز مشتریان می‌باشد و محدودیت‌های (۱۴) نیز بیانگر محدودیت منطقی و بدیهی برای متغیرهای تصمیم مدل سطح دوم می‌باشد.

#### ۴. روش حل پیشنهادی

در این پژوهش، یک مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوسطحی ارائه شده است. برای حل این مسئله، با توجه به غیر محدب بودن مدل سطح پایین به دلیل وجود متغیرهای عدد صحیح، شرایط کافی کاهن تاکر برقرار نمی‌باشد و نمی‌توان از طریق جایگزینی مسئله بهینه‌سازی سطح دوم با مجموعه معادلاتی که شرایط لازم بهینگی کاهن تاکر را ارضا می‌نمایند، مدل دوسطحی را به یک مدل تک سطحی تبدیل نمود. لذا در اینجا با

تولید پارامترهای مساله زنجیره تامین حلقه بسته سطح دوم به صورت تصادفی و مطابق جدول (۲) انجام شده است.

جدول ۲. پارامترهای مسئله

پارامتر	توزیع تصادفی	پارامتر	توزیع تصادفی
$d_k$	$\sim \text{Uniform}(300, 700)$	$C_j$	$\sim \text{Uniform}(300, 400)$
$C_{ab}$	$\sim \text{Uniform}(200, 3000)$	$C_l$	$\sim \text{Uniform}(200, 250)$
$F_j$	$\sim \text{Uniform}(50000, 200000)$	$C_f^l$	$\sim \text{Uniform}(250, 250)$
$F_l$	$\sim \text{Uniform}(50000, 200000)$	$C_m$	$\sim \text{Uniform}(200, 250)$
$C_i$	$\sim \text{Uniform}(500, 600)$	$\beta$	$= 0.7$

اندازه مسائل آزمایشی طراحی شده در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. اندازه مسئله آزمایشی تولید شده

تعداد تقاضا	تعداد دفع	تعداد جمع آوری	تعداد توزیع	تعداد تولید	آزمایش	
۱۰	۱	۵	۵	۲	۱	
۲۰	۲	۱۰	۱۰	۳	۲	مثال‌های کوچک
۴۰	۲	۱۵	۱۵	۳	۳	
۸۰	۳	۳۰	۳۰	۵	۱	
۱۵۰	۵	۵۰	۵۰	۱۰	۲	مثال‌های متوسط
۲۲۰	۵	۶۰	۶۰	۱۲	۳	
۳۲۰	۶	۸۰	۸۰	۱۵	۱	
۴۲۰	۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۷	۲	مثال‌های بزرگ
۵۲۰	۱۰	۱۲۰	۱۲۰	۲۰	۳	

به دست آمده از حل مثال‌های متنوع در سایز کوچک، متوسط و بزرگ به ازای مقادیر مختلف  $\alpha$ ، با الگوریتم ابتکاری معرفی شده در بخش پیش، با استفاده از نرم افزار GAMS 23.5 در جدول (۴) نمایش داده شده است.

به منظور تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی به ازای تغییر در مقدار پارامتر  $\alpha$ ، حداقل نسبت تقاضای پاسخ داده شده مطلوب دولت، مقادیر این پارامتر در بازه  $(0/8-0/2)$  تغییر داده شده است. نتایج

جدول ۴. نتایج به دست آمده از حل مدل دو سطحی با روش‌های ابتکاری برای مثال‌های متنوع

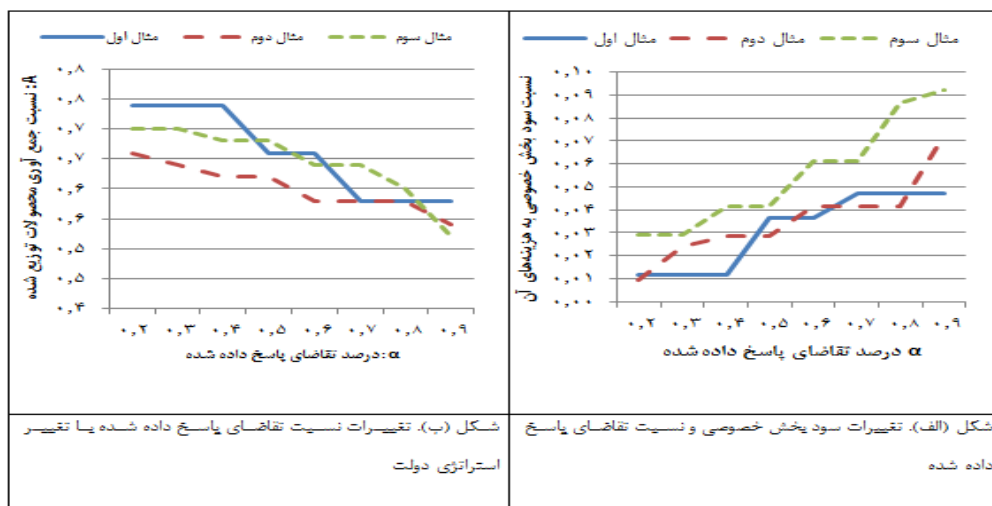
زمان حل	تابع هدف سطح دوم	تابع هدف سطح اول A	تعداد آزمایشی	زمان حل	تابع هدف سطح دوم	تابع هدف سطح اول A	تعداد آزمایشی	زمان حل	تابع هدف سطح دوم	تابع هدف سطح اول A	تعداد آزمایشی	$\alpha$	سایز مسئله
۲:۵۵:۵۶	۱۱۸۸۶۹۱۰۰	۰/۶	۰۰۰:۰۴۷	۱۹۱۹۰۲۴۰	۰/۵۸	۰۰۰:۰۰۵	۱۵۱۲۱۲۳/۹۳۵	۰/۵۸	۰/۸	۱			
۰:۵۹:۳۱	۷۱۹۱۲۲۸۰	۰/۶۴	۰۰۰:۰۴۷	۱۹۱۹۰۲۴۰	۰/۵۸	۰۰۰:۰۰۵	۱۵۱۲۱۲۳/۹۳۵	۰/۵۸	۰/۷	۱			
۰:۵۸:۴۰	۷۱۹۱۲۲۸۰	۰/۶۴	۰۰۰:۰۴۷	۱۹۱۹۰۲۴۰	۰/۵۸	۰۰۰:۰۰۵	۷۰۷۰۱۹/۷۷۸	۰/۶۶	۰/۶	۱			
۰:۱۰:۵۱	۳۱۵۵۲۵۷۰	۰/۶۸	۰۰۰:۰۴۲	۷۷۷۹۱۰۵/۱	۰/۶۲	۰۰۰:۰۰۵	۷۰۷۰۱۹/۷۷۸	۰/۶۶	۰/۵	۱		مثال‌های سایز کوچک	
۰:۱۰:۴۶	۳۱۵۵۲۵۷۰	۰/۶۸	۰۰۰:۰۳۸	۷۷۷۹۱۰۵/۱	۰/۶۲	۰۰۰:۰۰۴	۱۵۶۳۷۱/۰۶۱	۰/۷۴	۰/۴	۱			
۰:۰۶:۵۱	۱۵۷۳۴۶۲۹	۰/۷	۰۰۰:۰۳۰	۴۶۵۶۰۳۴/۹	۰/۶۴	۰۰۰:۰۰۴	۱۵۶۳۷۱/۰۶۱	۰/۷۴	۰/۳	۱			
۰:۰۶:۵۵	۱۵۷۳۴۶۲۹	۰/۷	۰۰۰:۰۲۶	۱۱۴۴۲۷۹/۳	۰/۶۶	۰۰۰:۰۰۴	۱۵۶۳۷۱/۰۶۱	۰/۷۴	۰/۲	۱			
۰:۴۵:۱۲	۱۱۳۶۸۳۳۰۰	۰/۶۴	۰:۰۱۴:۳۷	۱۰۰۳۳۶۸۰۰	۰/۴۶	۰:۰۰:۰۰۷	۷۶۸۱۹۴۶/۳۹۴	۰/۷۴	۰/۸	۲			
۰:۴۴:۳۹	۱۱۳۶۸۳۳۰۰	۰/۶۴	۰:۰۱۴:۳۹	۷۰۶۹۲۸۲۰	۰/۵	۰:۰۰:۰۰۵	۲۰۵۹۱۰۱/۹۸۸	۰/۸۴	۰/۷	۲			
۰:۳۸:۴۶	۷۶۰۱۷۵۷۰	۰/۶۶	۰:۰۱۴:۳۷	۵۷۸۵۰۱۳۰	۰/۵۲	۰:۰۰:۰۰۴	۱۰۰۶۰۰۰/۱۴۴	۰/۸۶	۰/۶	۲			



۰:۴۰:۱۴	۷۶۰۱۷۵۷۰	۰/۶۶	۰:۱۴:۰۳	۳۶۳۵۴۷۴۱	۰/۵۶	۰:۰۰:۰۴	۱۰۰۶۰۰۰/۱۴۴	۰/۸۶	۰/۵	۲
۰:۳۶:۰۵	۷۶۰۱۷۵۷۰	۰/۶۶	۰:۱۳:۴۴	۱۹۷۴۳۳۵۰	۰/۶	۰:۰۰:۰۵	۱۰۰۶۰۰۰/۱۴۴	۰/۸۶	۰/۴	۲
۰:۳۱:۰۳	۷۶۰۱۷۵۷۰	۰/۱۶۶	۰:۱۳:۲۴	۱۱۹۷۳۹۸۰	۰/۶۲	۰:۰۰:۰۵	۱۴۲۱۲۲/۷۵۵	۰/۸۸	۰/۳	۲
۰:۰۷:۴۲	۲۹۶۳۲۳۹۰	۰/۷	۰:۱۳:۳۶	۶۷۱۳۳۶۱۸	۰/۶۴	۰:۰۰:۰۵	۱۴۲۱۲۲/۷۵۵	۰/۸۸	۰/۲	۲
۲:۴۵:۱۴	۶۵۱۴۴۹۴۷	۰/۷۶	۰:۲۶:۰۴	۹۱۷۹۷۱۰۰	۰/۶۲	۰:۰۰:۰۸	۱۷۲۵۳۷۳۰	۰/۵۶	۰/۸	۳
۲:۴۵:۱۴	۶۵۱۴۴۹۴۷	۰/۷۶	۰:۱۹:۴۶	۵۵۴۵۷۸۶۰	۰/۶۶	۰:۰۰:۱۱	۱۳۷۰۲۱۰۰	۰/۵۸	۰/۷	۳
۲:۴۵:۱۴	۶۵۱۴۴۹۴۷	۰/۷۶	۰:۱۴:۲۶	۲۳۵۱۵۳۵۳	۰/۷	۰:۰۰:۱۱	۱۰۲۸۶۴۲۰	۰/۶	۰/۶	۳
۱:۰۴:۰۱	۲۷۸۳۵۷۲۰	۰/۷۸	۰:۱۳:۵۶	۲۳۵۱۵۳۵۳	۰/۷	۰:۰۰:۱۰	۵۹۱۶۱۷۷,۴۶۸	۰/۶۴	۰/۵	۳
۱:۰۴:۰۱	۲۷۸۳۵۷۲۰	۰/۷۸	۰:۰۸:۴۲	۱۲۸۷۶۹۸۰	۰/۷۲	۰:۰۰:۱۰	۲۷۵۰۱۲۰/۲۱۴	۰/۶۶	۰/۴	۳
۱:۰۴:۰۱	۲۷۸۳۵۷۲۰	۰/۷۸	۰:۰۸:۱۳	۱۲۸۷۶۹۸۰	۰/۷۲	۰:۰۰:۰۹	۲۷۵۰۱۲۰/۲۱۴	۰/۶۶	۰/۳	۳
۰:۲۶:۴۲	۷۵۵۸۵۷,۰	۰/۸	۰:۰۸:۲۳	۱۲۸۷۶۹۸۰	۰/۷۲	۰:۰۰:۰۷	۵۳۰۹۳/۴۱۰	۰/۷	۰/۲	۳

یافت، لذا ملاحظه می‌شود که اهداف دولت و بخش خصوصی در تضاد با یکدیگر می‌باشند. بنابراین دولت باید استراتژی خود را به گونه‌ای انتخاب نماید که بخش خصوصی حاضر به تولید و پاسخ گویی به سطح مطلوب تقاضا باشد. نتایج حاصل از این بررسی‌ها در نمودارهای شکل (۳) ارائه شده است.

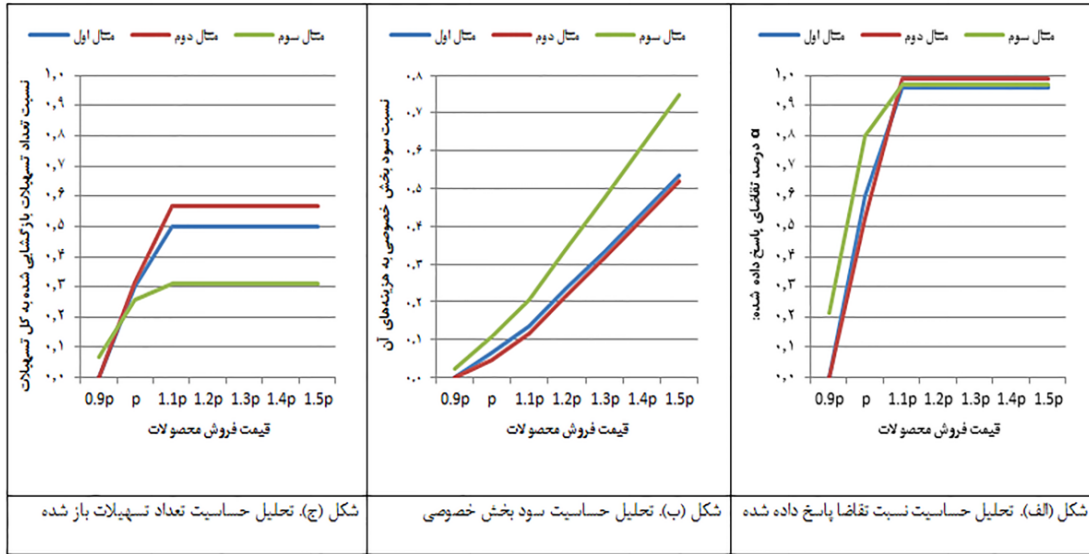
همان طور که در جدول (۴) دیده می‌شود هر چه دولت نسبت تقاضای پاسخ داده شده بیشتری را در نظر داشته باشد، باید نرخ جمع آوری پایین‌تری را به عنوان قانون تعیین نماید، زیرا هر چه دولت نرخ جمع آوری را بیشتر در نظر گیرد تولید و سود بخش خصوصی و در نتیجه میزان تقاضای پاسخ داده شده کاهش خواهند



شکل ۳. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی با تغییر در استراتژی دولت، نرخ جمع آوری A برای مثال‌های متنوع

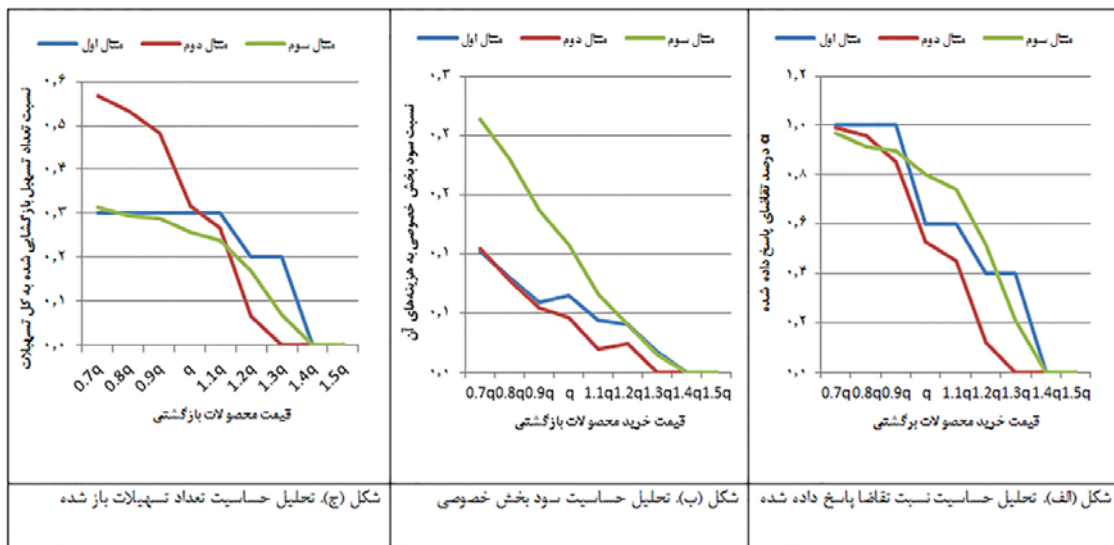
این بخش و نسبت تعداد تسهیلات بازگشایی شده به کل تسهیلات مدل به ازای تغییرات قیمت فروش محصولات در یک نرخ A مشخص، می‌باشند. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت فروش محصولات، تولید بخش خصوصی افزایش یافته و در نتیجه میزان تقاضای بیشتری پوشش داده شده است.

به منظور تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات در پارامتر قیمت فروش محصولات به مشتریان، مقادیر این پارامتر به صورت ضرایبی از این پارامتر در بازه (۰/۹-۱/۵) تغییر داده شده است. نمودارهای شکل (۴) به ترتیب نشان دهنده حساسیت درصد تقاضای پاسخ داده شده، نسبت سود بخش خصوصی به هزینه‌های

شکل ۴. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی با تغییر در پارامتر  $P$  در  $A = 0/6$  برای مثال‌های متنوع

شده، نسبت سود بخش خصوصی به هزینه‌هایش و نسبت تعداد تسهیلات بازگشایی شده به کل تسهیلات، به ازای افزایش قیمت خرید می‌باشند. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش قیمت خرید محصولات، تولید کاهش یافته و در نتیجه تقاضای کمتری پوشش داده می‌شود و تسهیلات کمتری بازگشایی می‌شوند.

همچنین به منظور تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات پارامتر قیمت خرید محصولات از مشتریان نیز مقادیر این پارامتر به صورت ضرایبی در بازه  $(0/5-1/5)$  تغییر داده شده است. نمودارهای شکل (۵) نشان دهنده حساسیت تقاضای پاسخ داده

شکل ۵. تحلیل حساسیت مدل پیشنهادی با تغییر در مقدار پارامتر  $q$  در  $A = 0/6$ 

سطحی در سه مثال عددی پرداخته شده است و عواقب مالی و اجتماعی تحمیل شده بر این دو بخش در صورت عدم استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی و تصمیم‌گیری بر مبنای سعی و خطا مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این بررسی‌ها بر روی آزمایش اول مثال‌های کوچک، متوسط و بزرگ در جدول (۵) آورده شده است.

۵-۱. ضرورت تصمیم‌گیری به صورت برنامه‌ریزی دو-سطحی

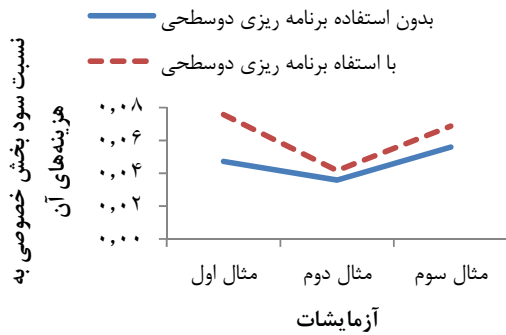
در این بخش به بررسی و مقایسه نتایج حاصل از حل مسئله قانون‌گذاری دولت و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته بخش خصوصی در صورت استفاده و عدم استفاده از برنامه‌ریزی دو

## جدول ۵. نتایج به دست آمده از تصمیم‌گیری دولت با استفاده و بدون استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی برای مثال‌های

منوع					
سود بخش خصوصی	عکس‌العمل بخش خصوصی		استراتژی دولت		
	تعداد مرکز جمع آوری بازگشایی شده	تعداد مرکز توزیع بازگشایی شده	نارضایتی عمومی	سطح تقاضای پاسخ داده شده	تصمیم دولت A
۰	۰	۰	۱	۰	۰/۱۸
۱۲۳۸۲۳۱/۱۴۳	۱	۲	۰/۴	۰/۶	۰/۱۶
۱۴۱۵۳۰۱/۸۲۱	۱	۲	۰/۴	۰/۶	۰/۱۵۸
۲۱۸۸۷۴۶/۴۹	۱	۳	۰/۲۱	۰/۷۹	۰/۱۵۲
۱۲۳۸۲۳۱/۱۴	۱	۲	۰/۴	۰/۶	۰/۱۶
۱۵۱۲۱۲۳/۹۳۵	۱	۲	۰	۱	۰/۱۵۸
۲۳۸۶۲۵۱/۶۵۳	۱	۲	۰	۱	۰/۱۵۲
۰	۰	۰	۱	۰	۰/۱۷
۴۶۵۶۰۳۴/۹	۳	۹	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۶۴
۳۶۳۹۰۳۵۰	۹	۲۲	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۱۵۴
۱۸۰۸۷۱۸۲	۹	۲۲	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۱۵۸
۴۶۵۶۰۳۴/۹	۵	۱۴	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۱۶
۱۹۱۹۰۲۴۰	۸	۲۰	۰/۱۵	۰/۱۸۵	۰/۱۵۸
۳۶۳۹۰۳۵۰	۹	۲۲	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۱۵۴
۰	۰	۰	۱	۰	۰/۱۸
۱۵۱۵۲۳۰۳/۵	۸	۱۲	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۱۷
۱۱۷۲۳۶۸۰۰	۱۵	۲۶	۰/۲۱	۰/۷۹	۰/۱۶
۶۴۲۵۷۹۰۰	۱۵	۱۵	۰/۲۱	۰/۷۹	۰/۱۶۴
۱۵۱۵۲۳۰۳/۵	۸	۱۲	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۱۷
۶۸۷۲۲۵۶۵/۰۲	۱۴	۲۳	۰/۳	۰/۷	۰/۱۶۴
۱۲۰۰۱۸۴۰۰	۱۵	۲۶	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۶

نتوانسته تضمین نماید و بیشترین میزان نارضایتی در نتیجه این تصمیم ایجاد می‌شود. لذا دولت با توجه به عکس‌العمل بخش خصوصی مجبور به کاهش نرخ جمع‌آوری است و اگر در تصمیم بعد، نرخ ۶۰ درصد را انتخاب نماید دیده می‌شود که بخش خصوصی در پاسخ، مراکز توزیع ۴ و ۱ مرکز جمع‌آوری ۱ را بازگشایی نموده و ۶۰ درصد از تقاضای مشتریان را پاسخ می‌دهد. در اینجا نیز دولت با توجه به عکس‌العمل بخش خصوصی و عدم پاسخ‌گویی تقاضای مطلوب، مجبور به تغییر استراتژی خود و کاهش نرخ تعیین شده می‌باشد اما باید توجه داشت که در تصمیم پیشین، بخش خصوصی مراکز را احداث نموده و حال با تغییر استراتژی دولت این بخش ناچار به استفاده از این مراکز می‌باشد و تصمیمات خود را در پاسخ به استراتژی جدید دولت با فرض باز بودن تسهیلات پیشین اخذ می‌نماید لذا در حل مدل اخیر این مراکز به صورت بازگشایی شده در نظر گرفته شده‌اند. در تصمیم

به عنوان مثال، در آزمایش اول از مسائل کوچک، اگر دولت به دنبال دستیابی به حداکثر نرخ جمع‌آوری محصولات توزیع شده و به طور همزمان تأمین حداقل ۷۰ درصد از تقاضای مشتریان باشد و بخواهد تصمیم خود یعنی نرخ جمع‌آوری محصولات را بدون استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی تعیین نماید احتمالاً با توجه به تابع هدف خود که حداکثرسازی است در ابتدا نرخ خود را عددی نزدیک به ۱ انتخاب نموده و امیدوار است بخش خصوصی در پاسخ به این نرخ، تقاضای مطلوب و مورد نظرش را پاسخ دهد. لذا در این مثال، این گونه در نظر گرفته شده است که دولت در ابتدا قانون جمع‌آوری ۸۰ درصد محصولات توزیع شده را لحاظ نماید اما همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود پاسخ بخش خصوصی به این تصمیم، عدم بازگشایی تسهیلات و عدم تولید محصول است، لذا دولت با این قانون هیچ‌یک از تقاضای مشتریان را



شکل ۶. مقایسه نسبت سود بخش خصوصی به هزینه‌های آن در صورت استفاده و عدم استفاده از برنامه ریزی

### دوسطحی

همان طور که از نتایج حاصل از سه مثال فوق دیده می‌شود، با توجه به این که مسئله مطرح شده ماهیتاً برنامه‌ریزی دوسطحی است و تصمیم‌گیری هر سطح بر عایدی و تصمیمات سطح دیگر اثرگذار است، تصمیم‌گیری دولت بدون استفاده از برنامه ریزی دوسطحی تبعات مالی و اجتماعی را برای دولت و بخش خصوصی در پی دارد. زیرا دولت بدون تحلیل و برنامه ریزی امکان بررسی همه حالت‌های ممکن را از دست داده و به احتمال بسیار زیاد از دستیابی به نرخ بهینه باز می‌ماند و بخش خصوصی نیز که به عنوان پیرو تصمیم‌گیری می‌نماید، تحت تاثیر تصمیمات دولت مجبور به تعویض استراتژی خود بوده و از آنجایی که بخشی از این تصمیمات استراتژیک می‌باشند و امکان تعویضشان وجود ندارد، غالباً بخش خصوصی متحمل هزینه‌های گزاف مالی می‌گردد. البته میزان نوسانات و آزادی عمل دولت در تصمیم‌گیری، بر روی نتایج حاصل از تصمیم‌گیری بدون استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی بسیار تاثیرگذار است. در جدول (۶) نتایج بررسی تاثیر نوسانات تصمیم‌گیری دولت بر روی سود بخش خصوصی روی آزمایش اول مسائل بزرگ، در سه حالت ارائه شده است.

بعد از دولت نرخ ۵۸ درصد را در نظر گیرد بخش خصوصی تسهیل جدیدی را بازگشایی ننموده و دوباره ۶۰ درصد تقاضا را پاسخ می‌دهد. لذا دولت باز هم مجبور به تعویض استراتژی خود بوده و اگر در این تکرار نرخ ۵۲ درصد را انتخاب نماید، بخش خصوصی با بازگشایی مرکز توزیع ۳ علاوه بر مراکز بازگشایی شده در مراحل پیشین، ۷۹ درصد تقاضا را پاسخ می‌دهد و به این ترتیب تقاضای مدنظر دولت تأمین می‌گردد. در نتیجه در تصمیم‌گیری بدون استفاده از برنامه ریزی دوسطحی، دولت پس از ۴ بار تغییر استراتژی و در نرخ ۵۲ درصد توانسته تقاضای مدنظر خود را تأمین نماید، که در مقایسه با نتایج حل مدل برنامه‌ریزی دوسطحی توسط دولت، دیده می‌شود که در نرخ‌های بیش از ۵۸ درصد، بخش خصوصی مراکز توزیع ۴ و ۱ و مرکز جمع آوری ۱ را بازگشایی نموده و حداکثر ۶۰ درصد تقاضا را برآورده می‌نماید اما در تصمیم ۵۸ درصد و یا کمتر بخش خصوصی با انتخاب مراکز توزیع ۴ و ۵ و مرکز جمع آوری ۱ تمامی تقاضا را پاسخ می‌دهد. همان طور که از مقایسه این دو رویکرد دیده می‌شود بهترین نرخ به دست آمده برای دولت در برنامه‌ریزی بدون استفاده از برنامه ریزی دوسطحی ۵۲/۰ بوده که در مقایسه با بهترین نرخ در برنامه‌ریزی با استفاده از برنامه ریزی دوسطحی ۵۸/۰، نرخ کمتری است به علاوه در نرخ ۵۲/۰ در برنامه‌ریزی بدون استفاده از برنامه ریزی دوسطحی بخش خصوصی تقاضای کمتری را پاسخ داده و عایدی کمتری را به دلیل بازگشایی مراکز غیر بهینه به دست آورده است. شکل (۶) نسبت سود بخش خصوصی به هزینه‌های این بخش را در دو رویکرد تصمیم‌گیری با استفاده و عدم استفاده از برنامه ریزی دو سطحی در مقدار A بهینه (که در جدول (۵) به رنگ قرمز نمایش داده شده است) ارائه می‌دهد.

جدول ۶. بررسی نوسانات تصمیم‌گیری دولت در تصمیم‌گیری با استفاده و بدون استفاده از برنامه ریزی دوسطحی

سود بخش خصوصی	عکس العمل بخش خصوصی		استراتژی دولت			بررسی حالات متعدد تصمیم‌گیری در مثال سوم
	تعداد مرکز جمع آوری بازگشایی شده	تعداد مرکز توزیع بازگشایی شده	نارضایتی عمومی	سطح تقاضای پاسخ داده شده	تصمیم دولت A	
۱۵۱۵۲۳۰۳/۵	۸	۱۲	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۷	تصمیم‌گیری با استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی
۶۸۷۲۲۵۶۵/۰۲	۱۴	۲۳	۰/۳	۰/۷	۰/۶۴	
۱۲۰۰۱۸۴۰۰	۱۵	۲۶	۰/۲	۰/۸	۰/۶	
.	.	.	۱	.	۰/۸	تصمیم‌گیری بدون استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی
۱۵۱۵۲۳۰۳/۵	۸	۱۲	۰/۶۴	۰/۳۶	۰/۷	
۱۱۷۲۳۶۸۰۰	۱۵	۲۶	۰/۲۱	۰/۷۹	۰/۶	
۶۴۲۵۷۹۰۰	۱۵	۱۵	۰/۲۱	۰/۷۹	۰/۶۴	

۵۳۲۴۷۷۹/۶۲۴	۴	۶	۰/۷۲	۰/۱۸	۰/۷۲
۲۵۹۸۷۲۵۰۰	۱۵	۳۰	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۵
۴۶۹۱۵۲۱۰	۱۹	۳۰	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۶۴
۵۳۲۴۷۷۹,۶۲۴	۴	۶	۰/۷۲	۰/۱۸	۰/۷۲
۵۸۶۵۹۷۶۰۰	۱۰	۳۲	۰	۱	۰/۳
۳۱۲۳۲۹۰۰	۲۰	۳۲	۰	۱	۰/۶۴

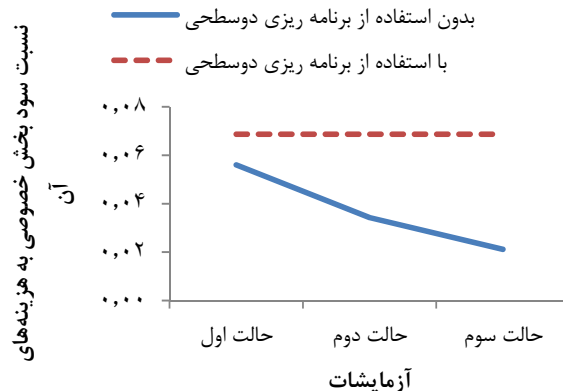
به دنبال جمع‌آوری هر چه بیشتر محصولات توزیع شده توسط بخش خصوصی و همچنین تضمین تأمین نسبت معینی از تقاضا می‌باشد و در سطح دوم بخش خصوصی با توجه به تصمیمات دولت، با هدف بیشینه نمودن عایدی خود، با تعیین مکان مراکز توزیع و جمع‌آوری و استراتژی تولید، به دنبال طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته خود است. به منظور حل مدل پیشنهادی، یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای شمارش پیشنهاد شد و سپس با حل مثال‌های عددی کارایی مدل و ضرورت استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی بررسی و تحلیل شد. نتایج عددی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی توانایی پاسخ‌گویی مناسب به اهداف متناقض دولت و بخش خصوصی را داراست، به طوری که با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی، دولت قادر خواهد بود استراتژی خود را به گونه‌ای انتخاب نماید که بخش خصوصی حاضر به تولید و پاسخ‌گویی به سطح مطلوب تقاضا باشد. همچنین نتایج حاصل ضرورت استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی را به دلیل دستیابی به نرخ بهینه دولتی و همچنین کاهش تبعات مالی و اجتماعی حاصل از نوسان و تغییر استراتژی دولت را نشان می‌دهد. به علاوه نشان داده شد که در صورت عدم استفاده دولت از برنامه‌ریزی دوسطحی، هر چه دولت در تصمیم‌گیری‌های خود استوارتر عمل نماید، بخش خصوصی متحمل ضرر کمتری خواهد شد.

در نظر گرفتن قوانین متعدد در سطح اول، بررسی تأثیر عدم قطعیت در تعداد و کیفیت محصولات مرجوعی در تصمیمات دولت و بخش خصوصی و همچنین به کارگیری روش‌های حل فرا-ابتکاری برای حل در ابعاد بزرگ‌تر به عنوان زمینه مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

### مراجع

- [1] Makui, A., Tavakoli-Moghadam, M., Ghomi-Avili, M, A Forward/Reverse Supply Chain Network Design Considering the Disruption Probability of Distribution and Collection /Inspection Centers, *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 2015.
- [2] Toffel, M. W., Strategic management of product recovery. *California management review*. Vol. 46, No.2, PP. 120-141, 2004.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر چه آزادی عمل دولت و اختلاف تصمیم‌گیری‌های متوالی آن زیاد باشد سود بخش خصوصی به مراتب کاهش می‌یابد. اما هرچه دولت استوارتر تصمیم‌گیری نماید، اختلاف نتایج حاصل از تصمیم‌گیری با استفاده و یا بدون استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی کمتر خواهد بود و در صورت عدم استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی در صورتی که دولت استوار تصمیم‌گیری نماید بخش خصوصی کمتر متضرر خواهد شد ولی در صورتی که نوسان تصمیم‌گیری در تصمیم‌گیریهای دولت زیاد باشد بهتر است از برنامه‌ریزی دوسطحی استفاده شود. نتایج حاصل از نسبت سود بخش خصوصی به هزینه‌های این بخش را در دو رویکرد تصمیم‌گیری با استفاده و عدم استفاده از برنامه‌ریزی دو سطحی در مقدار A بهینه (که در جدول (۶) به رنگ قرمز نمایش داده شده است) در نمودارهای شکل (۷) ارائه شده است.



شکل ۷. مقایسه نسبت سود بخش خصوصی در صورت استفاده و عدم استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی در مثال سوم

### ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مطالعه یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی عدد صحیح مختلط برای تعیین قانون گذاری دولت و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن اثر متقابل تصمیم‌گیری دولت و بخش خصوصی ارائه شد. که دولت در سطح اول با تنظیم قوانین دولتی

- [13] Mitra, S., & Webster, S., *Competition in remanufacturing and the effects of government subsidies*, International Journal of Production Economics, Vol. 111, No. 2, PP. 287-298, 2008.
- [14] Aksen, D., Aras, N., & Karaarslan, A. G., *Design and analysis of government subsidized collection systems for incentive-dependent returns*, International Journal of Production Economics, Vol. 119, No. 2, PP. 308-327, 2009.
- [15] Plambeck, E., & Wang, Q., *Effects of e-waste regulation on new product introduction*. Management Science, Vol. 55, No. 3, PP. 333-347, 2009.
- [16] Sheu, J. B., & Chen, Y. J., *Impact of government financial intervention on competition among green supply chains*. International Journal of Production Economics, Vol. 138, No. 1, PP. 201-213, 2012.
- [17] Wang, W., Zhang, Y., Zhang, K., Bai, T., & Shang, J., *Reward-penalty mechanism for closed-loop supply chains under responsibility-sharing and different power structures*. International Journal of Production Economics, Vol. 170, PP.178-190, 2015.
- [3] European Parliament and council. *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives*, 2008. ELI: <http://data.europa.eu/eli/2008/98/oj>.
- [4] Echefu, N., Akpofure, E., *Environmental impact Assessment in Nigeria: Regulatory Background and Procedural Framework*. EIA Training Resource Manual, 2002.
- [5] Economic Recovery Packages in EU Member States, *Policy Department Economic and Scientific Policy*, 2008.
- [6] Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D., *Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future*, European Journal of Operation Research, Vol. 240, No. 3, PP. 603-626, 2015.
- [7] Kneese, A. V., *Water pollution: economic aspects and research needs*, Resources for the future, 1962.
- [8] Hass, J.E., *Optimal taxing for the abatement of water pollution*, *Water Resources Research*, Vol. 6, No. 2, PP. 353-365, 1970.
- [9] Haimas, Y. Y., Kaplan, M. A., & Husar, M. A., *A multi-level approach to determining optimal taxation for the abatement of water pollution*, *Water Resources Research*, Vol. 8, No. 4, PP. 851-860, 1972.
- [10] Jacobsen, S. E., *Mathematical programming and the computation of optimal taxes for environmental pollution control*, Optimization Techniques Modeling and Optimization in the Service of Man part 2, Springer, PP. 337-352, 1976.
- [11] Amouzegar, M. A., & Jacobsen, S. E., *A decision support system for regional hazardous waste management alternatives*, *Advances in Decision Science*, Vol. 2, No. 1, PP. 23-50, 1998.
- [12] Wojanowski, R., Verter, V., & Boyaci, T., *Retail-collection network design under deposit- refund*, *Computers and Operations Research*, Vol. 34, No.2, PP. 324-345, 2007.