یک الگوریتم ممتیک براي طراحي یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس در یک زنجیره تأمین

میر سامان پیشوایي[۱] و رضا زنجیراني فراهاني*[۲]
[۱] دانش آموخته کارشناسي ارشد دانشکده مهندسي صنایع - دانشگاه صنعتي امیرکبیر
[۲] دانشیار دانشکده مهندسي صنایع - دانشگاه صنعتي امیرکبیر
(تاریخ دریافت ۸۷/۷/۲۲ ، تاریخ تصویب ۸۷/۱۱/۱۲)

چکیده

مدیریت کاراي فعالیت‌هاي لجستیکي علاوه بر اینکه یک منبع مهم براي خلق مزیت‌هاي رقابتي است، مي‌تواند موجبات رضایت مشتریان و پاسخ گویي به نیازهاي خاص آنان را نیز فراهم آورد. یک پارچه سازي طراحي شبکه لجستیک نیز به همین دلیل از اهمیت بالایي برخوردار مي باشد. یکي از زمینه‌هاي مناسب براي یک پارچه سازي در شبکه‌هاي لجستیک، طراحي یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس است که مي‌تواند باعث جلوگیري از زیربهینگي ناشي از طراحي جدا از هم شبکه لجستیک مستقیم و معکوس شود. در این مقاله یک مدل برنامه-ریزي خطي عدد صحیح آمیخته براي طراحي شبکه یک پارچه لجستیک مستقیم و معکوس با هدف حداقل سازي هزینه‌ها ارائه شده است. با توجه به این که مدل ارائه شده به دسته NP-Hard تعلق دارد، یک الگوریتم ممتیک بر پایه استفاده از سه نوع جستجوي همسایگي به طور پویا براي حل مدل توسعه داده شده است. در پایان براي اثبات کارآیي الگوریتم پیشنهادي، نتایج محاسباتي به دست آمده از اجراي الگوریتم با جواب‌هاي دقیق مقایسه شده است.

واژه هاي کلیدي: شبکه لجستیک یکپارچه - طراحي شبکه‌هاي لجستیک – زنجیره تأمین - الگوریتم ممتیک

مقدمه

طراحي شبکه لجستیک بخشي از برنامه‌ریزي زنجیره تأمین است. ساختار شبکه توزیع و مکان‌یابي تسهیلات جزء موضوعاتي مي باشند که در سطح استراتژیک مورد توجه واقع مي‌شوند. این دو موضوع در واقع تشکیل دهنده شبکه لجستیک هستند. به طور کلي تصمیمات طراحي شبکه شامل تعیین مکان تسهیلات، نقش و ظرفیت آن‌ها و تخصیص آن‌ها به منابع و بازارهاي مختلف مي‌باشد. همه این موضوعات روي انعطاف‌پذیري، کارایي و در نتیجه عمل کرد زنجیره تأمین تاثیر به سزایي دارند.

در چند دهه اخیر بسیاري از شرکت‌ها تلاش‌هاي قابل توجهي را صرف طراحي و توسعه شبکه‌هاي لجستیک معکوس نموده‌اند. عوامل محرک شرکت‌ها براي توجه به برنامه‌ریزي، اجرا و کنترل لجستیک معکوس را مي‌توان در سه دسته اصلي الزامات قانوني، حساسیت‌هاي محیط زیستي و سودآوري اقتصادي احصاء نمود [۱].

در ادبیات دو برداشت از طراحي یک پارچه شبکه لجستیک وجود دارد. برداشت اول از واژه یک پارچه به معناي یک پارچه سازي تصمیمات در سطوح استراتژیک (بلند مدت)، تاکتیکي (میان مدت) و عملیاتي (کوتاه مدت) در طراحي شبکه است. همان طور که پیشتر اشاره شد طراحي شبکه لجستیک یک تصمیم استراتژیک است که به طور معمول شامل تعیین محل تسهیلات، ظرفیت آن‌ها، تعداد رده‌ها در زنجیره و نحوه ارتباط تسهیلات مي-باشد. لذا یک پارچه سازي تصمیمات استراتژیک طراحي شبکه با تصمیمات سطح تاکتیکي نظیر مدیریت موجودي و یا سطح عملیاتي مانند مسیریابي مي‌تواند از ایجاد زیر بهینگي[۱] جلوگیري نماید. از آن‌جا که مقصود در این تحقیق این معنا نمي‌باشد، خوانندگان را جهت مطالعه بیشتر به مقاله مروري [۲] که به طور مناسبي به این موضوع پرداخته است، ارجاع مي‌دهیم. اما برداشت دوم از واژه یک پارچه به معناي یک پارچه سازي تصمیات طراحي شبکه لجستیک مستقیم و معکوس است. در اغلب مقالات و کارهاي گذشته طراحي شبکه تنها براي لجستیک مستقیم یا لجستیک معکوس صورت گرفته و در مواردي هم براي هر دو، اما به صورت ترتیبي صورت گرفته است. تعدادي اندکي از مقالات نیز در سال هاي اخیر به طراحي یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس پرداخته‌اند. طراحي یک پارچه شبکه لجستیک

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۶۴۶۶۴۹۷ , فاکس : ٦٦٤١٣٠٣٤ , Email: farahan@aut.ac.ir

مي‌تواند موجب جلوگيري از زيربهينگي و در نتيجه صرفه-جويي اقتصادي گردد. ما اين نوع يک پارچ ه‌سازي را به دليل در نظر گرفتن همزمان لجستيک مستقيم و معکوس، "يک پارچه‌سازي افقي" مي‌ناميم. اما از آن جا که منظور از يک پارچه در اين تحقيق در تمام موارد مفهوم اخير مي باشد، در ادامه به اختصار از آن با عنوان يک پارچه ياد مي‌کنيم. اين نوع يک پارچگي (يک پارچه سازي افقي) نقشي اساسي در مديريت زنجيره تأمين دارد. به طور دقيق، تصميمات استراتژيک طراحي شبکه لجستيک در جريان مستقيم و معکوس مرتبط با تعيين نوع شبکه که شامل مکان‌يابي و تعيين ظرفيت تسهيلات توليد، ذخيره، هم زماني بارانداز[۲]، توزيع، جمع‌آوري، مرتب‌سازي، احيا، بازيافت و انهدام[۳] با توجه به ميزان موجودي‌هاي واسطه-اي، تعريف انواع اتصالات و ارتباطات حمل و نقل برحسب منبع‌يابي و مدها مي باشد. آنچه در اين مقاله مورد بررسي قرار گرفته است ارائه يک مدل برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته براي طراحي يک پارچه شبکه لجستيک مستقيم و معکوس که شامل مراکز توليد و احيا، مراکز توزيع، مراکز مشتريان جمع‌آوري/ بازرسي، و انهدام است، مي‌باشد. هم چنين در اين مقاله يک روش کارا با استفاده از الگوريتم ممتيک[٤] براي حل مدل ارائه شده است. در ادامه اين مقاله به مرور ادبيات موضوع، تعريف مسئله و مدل‌سازي رياضي، راه‌حل پيشنهادي و نتايج محاسباتي پرداخته مي شود. در پايان نتيجه‌گيري و پيشنهادهايي براي تحقيقات آتي ارائه گرديده اند.

مرور ادبيات

بيشتر ادبيات موجود در زمينه طراحي شبکه‌هاي لجستيک شامل مدل‌هاي مختلف مکان يابي تسهيلات بر پايه برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته است. اين مدل‌ها انواع مختلفي از مدل‌هاي ساده نظير مکان يابي تسهيلات با ظرفيت نامحدود تا مدل‌هاي پيچيده‌تر نظير مدل‌هاي چند رده اي با ظرفيت محدود و يا مدل‌هاي چند کالايي را شامل مي شوند. هم چنين الگوريتم هاي قدرتمندي بر پايه تئوري بهينه‌سازي ترکيباتي براي حل اين مدل‌ها ارائه گشته است.

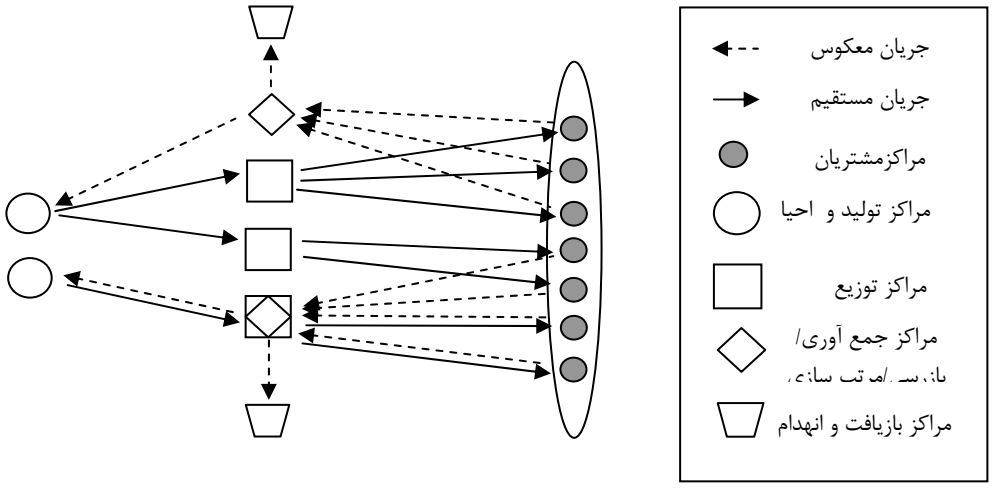
در زمينه طراحي شبکه لجستيک مستقيم ادبيات فربهي وجود دارد که ما در اين قسمت به برخي از مقالات مرتبط اشاره مي‌کنيم. [۳] به ارائه يک مدل برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته براي يک شبکه لجستيک چندکالايي و چهار رده‌اي پرداخته‌اند. اين مدل جزء معدود مدل‌هايي است که به تصميم‌گيري درباره رده تأمين-کنندگان مي‌پردازد. اين مقاله روشي ابتکاري بر مبناي روش لاگرانژ براي حل مسئله ارائه داده است [۴]. براي طراحي مجدد به ساختار شبکه انبارها به منظور کاهش هزينه‌ها از يک متدولوژي چند هدفه برنامه‌ريزي فيزيکي[٥] استفاده کرده‌اند. در اين روش براي هر يک از اهداف مقادير حداقل و حداکثري را به‌عنوان هدف تعريف شده و حداقل جمع وزني انحراف اهداف از اين مقادير محاسبه شده است [٥]. به ارائه يک مدل برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته براي طراحي شبکه لجستيک مستقيم، در يک زنجيره دو رده‌اي با هدف حداقل‌سازي هزينه پرداخته است. آن چه که اين مقاله را از ساير مقالات مشابه متمايز مي‌سازد حذف فرض‌هاي ساده سازي مانند ظرفيت نامحدود تسهيلات، تعداد معين تسهيلات و تک ظرفيتي بودن تسهيلات است [۶]. به ارائه يک مدل غيرخطي چند هدفه براي طراحي شبکه زنجيره تأمين چهار رده‌اي پرداخته است. اهداف مورد نظر حداقل‌سازي هزينه و حداکثرسازي سطح پاسخ گويي به مشتري مي باشد. سطح پاسخ گويي به مشتري به حداکثر زمان مجاز تحويل و نرخ بهره‌برداري از مراکز توزيع ترجمه شده است. در پايان به علت پيچيدگي بالا مسئله مورد بررسي راه حلي کارا با استفاده از الگوريتم ژنتيک اولويت محور[٦] ارائه گرديده است. در واقع اين مقاله توسعه يافته مقاله [۷] است.

در زمينه لجستيک معکوس نيز تلاش‌هاي قابل توجهي صورت گرفته که در اين قسمت به بررسي برخي از مقالات مرتبط مي‌پردازيم [۸]. يک مدل برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته براي طراحي شبکه لجستيک معکوس با هدف حداقل‌سازي هزينه ارائه داده اند. اين کار جزء معدود مقالاتي است که به طراحي يک سيستم کششي در لجستيک معکوس مبتني بر تقاضاي مشتريان براي محصولات احيا شده پرداخته است [۹]. با در نظر گرفتن اين موضوع در يک شبکه بازيافت سنگ به ارائه يک مدل برنامه ريزي عدد صحيح آميخته تصادفي با هدف حداکثرسازي سود پرداخته‌اند، و اين مدل را براي چند حالت و با در نظر گرفتن سناريوهاي مختلف توسعه داده‌اند. براي طراحي شبکه لجستيک حلقه بسته فراهم

آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم [۱۰] یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه‌ریزي عدد صحیح آمیخته با ادغام مراکز توزیع با مراکز جمع‌آوري و مراکز احیا ارائه کرده اند. البته از حالات مختلف احیا تنها جنبه تعمیرات را مورد توجه قرار داده است. اهداف این مدل شامل حداقل‌سازي هزینه و حداقل‌سازي زمان خدمت‌دهي به مشتري مي باشد. آن‌ها براي حل مدل ارائه شده، یک روش ترکیبي جستجوي پراکنده[۷] ارائه داده‌اند. اما مقالات اندکي نیز در سال‌هاي اخیر به طراحي شبکه توزیع به طور یک پارچه (شامل لجستیک مستقیم و معکوس به طور هم زمان) پرداخته‌اند. از آن جمله مي‌توان به [۱۱] اشاره کرد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزي غیرخطي عدد صحیح آمیخته براي طراحي شبکه لجستیک یک پارچه براي فراهم آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم ارائه شده است. براي از عهده برآمدن عدم قطعیت موجود در این شرایط مشخصه هاي مسئله براي هر دوره معین مي‌گردند، و در دوره بعد مدل به طور مجدد براي مشخصه هاي جدید حل مي‌شود. همان‌طور که از مرور ادبیات برمي‌آید عمده تمرکز مقالات به خصوص در سال-هاي دورتر بر طراحي شبکه لجستیک مستقیم و در مواردي هم لجستیک معکوس متمرکز بوده است. تعداد اندکي از مقالات در سال‌هاي اخیر (۲۰۰۷ و ۲۰۰۸) به طراحي یکپارچه شبکه توزیع لجستیک مستقیم و معکوس پرداخته‌اند که با وجود پیشتازي در طراحي یک پارچه داراي ضعف‌هایي نیز هستند. از جمله آن ها مي‌توان به در نظر گرفتن تعداد معیني از تسهیلات (مدل هاي برون زا) در رده‌هاي مختلف و عدم ذکر دلیل انتخاب این تعداد، عدم در نظر گرفتن ظرفیت‌هاي متنوع براي تسهیلات و انتخاب یک سطح ظرفیت، مبتني بر مورد بودن مدل‌هاي طراحي شده و عدم قابلیت تعمیم به سایر موارد و عدم در نظر گرفتن تمامي رده‌هاي لجستیک معکوس به خصوص مراکز بازیافت و انهدام اشاره نمود. لذا در این مقاله سعي شده به منظور رفع ضعف‌هاي مذکور مدلي براي طراحي یک پارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس ارائه گردد.

تعریف مسئله

شبکه مورد بررسي در این تحقیق یک شبکه لجستیک یک پارچه مستقیم و معکوس است. در مدل طراحي شده محصولات برگشتي بعد از جمع‌آوري و بازرسي به دو گروه محصولات قابل احیا[۸] و محصولات قراضه[۹] تقسیم مي‌شوند (شکل ۱). محصولات قابل احیا به مراکز احیا حمل شده و در آن جا بر حسب کیفیت یا عملیات ساخت مجدد[۱۰] (تعمیر) روي آن‌ها انجام گرفته و یا در غیر این صورت عملیات جداسازي[۱۱] روي محصولات برگشتي انجام شده و قطعات قابل استفاده آن‌ها در عملیات تولید محصول مورد استفاده قرار مي‌گیرند. محصولات قراضه نیز به مراکز بازیافت و انهدام حمل شده و در آن جا بر حسب کیفیت یا عملیات بازیافت[۱۲] جهت تهیه مواد خام روي آن‌ها صورت مي‌گیرد و یا در صورت عدم امکان بازیافت عملیات انهدام ایمن روي آن‌ها صورت مي‌پذیرد. این شبکه قابلیت حمایت از انواع صنایع مانند صنایع تولید تجهیزات الکترونیکي و دیجیتالي (مانند [۱۲] و [۱۳]) صنایع تولید وسایل نقلیه (مانند [۱۴]) و سایر صنایع مشابه را دارد.



شکل ۱: شبکه لجستیک مورد بررسي.

جدول ۱: نمادهاي مدل.

نماد	تعريف
I	انديس مجموعه نقاط بالقوه براي مراكز توليد و احيا $i \in I$.
J	انديس مجموعه نقاط بالقوه براي مراكز توزيع $j \in J$.
K	انديس مجموعه نقاط ثابت مراكز مشتريان $k \in K$.
L	انديس مجموعه نقاط بالقوه براي مراكز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي $l \in L$.
M	انديس مجموعه نقاط بالقوه مراكز بازيافت و انهدام $m \in M$.
N	انديس مجموعه سطوح ظرفيت براي تمامي تسهيلات $n, n' \in N$.
E	انديس مجموعه نقاط مشترک بين نقاط مراكز توزيعJ و نقاط مراكز جمع آوري/ بازرسي / مرتب سازيL. $e \in E, E \subset J, E \subset L$
d_k	تقاضاي مركز مشتري k.
r_k	متوسط كسر محصولات برگشتي از مركز مشتري k (درصد).
s	متوسط كسر محصولات قراضه در مراكز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي (درصد).
f_i^n	هزينه ثابت احداث مركز توليد و احياء (كارخانه) در محل i با ظرفيت سطح n..
g_j^n	هزينه ثابت احداث مركز توزيع در محل j با ظرفيت سطح n.
h_l^n	هزينه ثابت احداث مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي در محل l با ظرفيت سطح n.
b_m^n	هزينه ثابت احداث مركز بازيافت و انهدام در محل m با ظرفيت سطح n.
$f_e^{nn'}$	مقدار ثابت صرفه جويي حاصل از انطباق مركز توزيع با ظرفيت n و مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي با ظرفيت n' در مكان e .
cx_{ij}	كليه هزينه هاي حمل و نقل و جا به جايي يک واحد محصول از مركز توليد و احياء (كارخانه) i به مركز توزيع j.
cu_{jk}	كليه هزينه هاي حمل و نقل و جا به جايي يک واحد محصول از مركز توزيع j. به مركز مشتري k.
cq_{kl}	كليه هزينه هاي حمل و نقل و جا به جايي يک واحد محصول برگشتي از مركز مشتري k به مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي l .
cp_{li}	كليه هزينه هاي حمل و نقل و جا به جايي يک واحد محصول برگشتي از مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي l به مركز توليد و احياء (كارخانه)
ct_{lm}	كليه هزينه هاي حمل و نقل و جا به جايي يک واحد محصول برگشتي از مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي l به مركز بازيافت و انهدام m.
caw_i^n	ظرفيت سطح n براي مركز بالقوه توليد در محل i. (ظرفيت سطح n براي مركز i. در جريان مستقيم)
cay_j^n	ظرفيت سطح n براي مركز بالقوه توزيع در محل j.
caz_l^n	ظرفيت سطح n براي مركز بالقوه جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي در محل l.
cav_m^n	ظرفيت سطح n براي مركز مركز بازيافت و انهدام در محل m.
car_i^n	ظرفيت سطح n براي مركز بالقوه احياء در محل i. (ظرفيت سطح n براي مركز i. در جريان معكوس)

X_{ij}	مقدار جريان محصولات از مركز توليد و احياء (كارخانه) i به توزيع j.
U_{jk}	مقدار جريان محصولات از مركز توزيع j به مركز مشتريk
Q_{kl}	مقدار جريان محصولات از مركز مشتريk به مركز جمع آوري/ بازرسي / مرتب سازي l .
P_{li}	مقدار جريان محصولات جمع آوري/ بازرسي / مرتب سازي l به احياء i .
T_{lm}	مقدار جريان محصولات جمع آوري/ بازرسي / مرتب سازي l به مركز بازيافت و انهدام m.

W_i^n	$= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مركز توليد و احياء (كارخانه) با سطح ظرفيت n در محل i احداث گردد در غير اين صورت
Y_j^n	$= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مركز توزيع با سطح ظرفيت n در محل j احداث گردد در غير اين صورت
Z_l^n	$= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مركز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب سازي با سطح ظرفيت n در محل l احداث گردد در غير اين صورت
V_m^n	$= \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مركز بازيافت و انهدام با سطح ظرفيت n در محل m احداث گردد در غير اين صورت

كالاها ابتدا در مراكز توليد (كارخانه ها) توليد مي‌شوند سپس به مراكز توزيع يا انبارها حمل شده و در آن جا نگهداري مي‌شوند. سپس كالاها از انبارها به محل مصرف كنندگان حمل و تحويل داده مي‌شوند. در جريان معكوس كالاهاي مصرف شده از مناطق (مشتريان) به مراكز جمع-آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي و از آنجا پس از بازرسي بر حسب كيفيت به مراكز احياء و يا مراكز بازيافت و انهدام منتقل مي گردند. كالاهاي احياء شده مجدداً در چرخه

مستقیم به جریان در مي‌آیند. بدین ترتیب شبکه مورد بررسي یک شبکه لجستیک حلقه بسته خواهد بود (شکل ۱). نکته مهمي که باید در این جا مورد توجه قرار گیرد، این است که در شبکه مورد بررسي فرض شده که احیاء محصولات برگشتي در مراکز تولید صورت مي‌پذیرد. به دلیل این که محصولات در مراکز تولید، ساخته مي شوند احیاء آن‌ها نیز در همان مراکز امکان پذیر مي‌باشد. جریان در حالت مستقیم به صورت کششي و وابسته به تقاضاي مشتریان است، و در حالت معکوس به صورت فشاري بر مبناي درصدي از تقاضا در حالت مستقیم مي باشد. بدین معنا که درصدي ثابت از کالاها در کانال برگشت به جریان در مي‌آیند و به طور متوسط درصدي از آن‌ها بر حسب کیفیت قابل احیاء یا قراضه خواهند بود. از جمله نکات مهم در طراحي شبکه لجستیک یک پارچه نقش مهم مراکز توزیع در جریان مستقیم و مراکز جمع‌آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي در جریان معکوس مي باشد. این اهمیت زماني دو چندان مي‌شود که هنگام طراحي شبکه لجستیک به طور یک پارچه امکان مکان یابي مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوري/ بازرسي/مرتب‌سازي در محل مشترک و در نتیجه سود بردن از مزایاي صرفه جویي مالي حاصل از ادغام هزینه‌هاي احداث و نیروي انساني و سایر هزینه‌هاي تأثیر پذیر از ادغام، فراهم آید. همان طور که در شکل (۱) نمایش داده شده امکان انطباق محل احداث مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي که اولي در جریان مستقیم و دومي در جریان معکوس نقش ایفا مي‌کنند، به منظور امکان بهره‌گیري از صرفه‌جویي قابل توجه حاصل از این انطباق در شبکه مورد توجه قرار گرفته است. در مدل طراحي شده در این تحقیق انتخاب این که دو تسهیل فوق الذکر منطبق شوند، یا جدا از هم احداث و یا تعدادي در محل مشترک و تعدادي جدا از هم احداث گردند، بر خلاف مقالات گذشته به عنوان یک فرض مطرح نشده بلکه خود متغیر تصمیم مي‌باشد. همچنین در شبکه مورد طراحي به منظور تطابق بیشتر مدل با حالت واقعي علاوه بر موارد فوق، بر خلاف مقالات گذشته براي هر تسهیل چند نوع ظرفیت در نظر گرفته شده است. به طور خلاصه مسئله مورد بررسي طراحي یک شبکه لجستیک یک پارچه مستقیم و معکوس ترکیبي حلقه بسته، چند مرحله‌اي و تک کالایي است، که با توجه به تنوع تسهیلات و فرض‌هاي در نظر گرفته شده از خاصیت منحصر به فرد نبودن و قابلیت استفاده در شبکه‌هاي مختلف سود مي‌برد.

مدل سازي ریاضي

نمادهاي به کار گرفته شده در مدل ریاضي ارائه شده براي مسئله مورد بررسي در جدول (۱) تعریف شده‌اند. که با استفاده از آنها مدل برنامه ریزي غیر خطي عدد صحیح آمیخته براي طراحي شبکه لجستیک یک پارچه با هدف حداقل‌سازي هزینه‌ها به صورت ذیل ارائه مي‌گردد.

$$\begin{aligned}\textbf{Min } W = & \sum_{i\in I}\sum_{n\in N} f_i^n W_i^n + \sum_{j\in J}\sum_{n\in N} g_j^n Y_j^n + \\ & \sum_{l\in L}\sum_{n\in N} h_l^n Z_l^n + \sum_{m\in M}\sum_{n\in N} b_m^n V_m^n - \\ & \sum_{e\in E}\sum_{n'\in N}\sum_{n\in N} f_e^{nn'} Z_e^{n'} Y_e^n + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} cx_{ij} X_{ij} + \\ & \sum_{j\in J}\sum_{k\in K} cu_{jk} U_{jk} + \sum_{k\in K}\sum_{l\in L} cq_{kl} Q_{kl} + \\ & \sum_{l\in L}\sum_{m\in M} ct_{lm} T_{lm} + \sum_{l\in L}\sum_{i\in I} cp_{li} P_{li}\end{aligned} \quad (۱)$$

$$\sum_{j\in J} U_{jk} = d_k \quad \forall k \in K \quad (۲)$$

$$\sum_{l\in L} Q_{kl} = r_k d_k \quad \forall k \in K \quad (۳)$$

$$\sum_{i\in I} X_{ij} = \sum_{k\in K} U_{jk} \quad \forall j \in J \quad (۴)$$

$$\sum_{m\in M} T_{lm} = s\sum_{k\in K} Q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (۵)$$

$$\sum_{i\in I} P_{li} = (1-s)\sum_{k\in K} Q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in I} P_{li} = (1-s)\sum_{k\in K} Q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (۷)$$

$$\sum_{j\in J} X_{ij} \le \sum_{n\in N} W_i^n caw_i^n \quad \forall i \in I \quad (۸)$$

$$\sum_{i\in I} X_{ij} \le \sum_{n\in N} Y_j^n cay_j^n \quad \forall j \in J \quad (۹)$$

$$\sum_{k\in K} U_{jk} \le \sum_{n\in N} Y_j^n cay_j^n \quad \forall j \in J \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k\in K} Q_{kl} \le \sum_{n\in N} Z_l^n caz_l^n \quad \forall l \in L \quad (۱۱)$$

$$\sum_{l\in L} T_{lm} \le \sum_{n\in N} V_m^n cav_m^n \quad \forall m \in M \tag{۱۲}$$

$$\sum_{l\in L} P_{li} \le \sum_{n\in N} W_i^n car_i^n \quad \forall i \in I \tag{۱۳}$$

$$\sum_{m\in M} T_{lm} + \sum_{i\in I} P_{li} \le \sum_{n\in N} Z_l^n caz_l^n \quad \forall l \in L \tag{۱۴}$$

$$\sum_{l\in L} P_{li} \le B \sum_{j\in J} X_{ij} \quad \forall i \in I \tag{۱۵}$$

$$\sum_{n\in N} W_i^n \le 1 \quad \forall i \in I \tag{۱۶}$$

$$\sum_{n\in N} Y_j^n \le 1 \quad \forall j \in J \tag{۱۷}$$

$$\sum_{n\in N} Z_l^n \le 1 \quad \forall l \in L \tag{۱۸}$$

$$\sum_{n\in N} V_m^n \le 1 \quad \forall m \in M \tag{۱۹}$$

$$\begin{aligned} &W_i^n, Y_j^n, Z_l^n, V_m^n \in \{0,1\} \\ &\forall i \in I, \forall j \in J, \forall l \in L, \forall m \in M, \forall n \in N \\ &X_{ij}, U_{jk}, Q_{kl}, T_{lm}, P_{li} \ge 0 \\ &\forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M \end{aligned} \tag{۲۰}$$

$$Q_e^{nn'} = Z_e^{n'} * Y_e^n \tag{۲۱}$$

عبارت (۱) نشان دهنده تابع هدف مدل است، كه شامل حداقل‌سازي هزينه احداث تسهيلات، صرفه‌جويي حاصل از انطباق محل احداث مراكز توزيع با مراكز جمع-آوري/ بازرسي، و هزينه جا به جايي و حمل و نقل محصولات مي باشد. عبارات (۲) و (۳) تضمين مي‌كنند كه در جريان مستقيم به تمامي تقاضاي مراكز مشتريان پاسخ داده شود و در جريان برگشت تمامي كالاهاي برگشتي از مراكز مشتريان جمع‌آوري گردد. عبارات (٤) تا (٦) مربوط به محدوديت‌هاي تعادل جريان در گره‌ها مي-باشد. محدوديت‌هاي (۷) تا (١٤) تضمين مي‌كنند كه جريان تنها بين نقاطي در جريان باشد كه در آن‌ها تسهيلي احداث گرديده، هم چنين مجموع جريان در هر تسهيل از ظرفيت آن تجاوز ننمايد. محدوديت‌هاي (١٥) تا (١٨) تضمين مي‌كنند كه تنها يک سطح ظرفيت به هر تسهيل تخصيص پيدا كند. محدوديت هاي (١٩) و (٢٠) هم محدوديت‌هاي منطقي و بديهي مربوط به متغيرهاي تصميم مسئله مي باشند.

همان طور كه در مدل مشاهده مي‌شود، تابع هدف مدل داراي عبارت غير خطي بوده، كه بيان گر ميزان صرفه‌جويي حاصل از انطباق دو تسهيل مركز توزيع و مركز جمع‌آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي در يک مكان مشترک مي باشد كه وجود آن باعث غير خطي شدن مدل مي‌گردد، ضمن اين كه در اين عبارت دو متغير صفر و يک در يک ديگر ضرب شده اند. براي خطي كردن عبارت فوق يک متغير صفر و يک جديد كه برابر ضرب دو متغير صفر و يک پيشين است به شرح ذيل تعريف مي گردد.

در نتيجه تابع هدف غير خطي مدل به صورت زير خطي مي شود.

$$\begin{aligned} \textbf{Min } \boldsymbol{W} = &\sum_{i\in I}\sum_{n\in N} f_i^n W_i^n + \sum_{j\in J}\sum_{n\in N} g_j^n Y_j^n + \\ &\sum_{l\in L}\sum_{n\in N} h_l^n Z_l^n + \sum_{m\in M}\sum_{n\in N} b_m^n V_m^n - \\ &\sum_{e\in En'\in N}\sum_{n\in N} f_e^{nn'} Q_e^{nn'} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} cx_{ij} X_{ij} + \\ &\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} cu_{jk} U_{jk} + \sum_{k\in K}\sum_{l\in L} cq_{kl} Q_{kl} + \\ &\sum_{l\in L}\sum_{m\in M} ct_{lm} T_{lm} + \sum_{l\in L}\sum_{i\in I} cp_{li} P_{li} \end{aligned} \tag{۲۲}$$

همان طور كه در عبارت (۲۲) مشاهده مي‌شود از آن جا كه هدف حداقل‌سازي عبارت W1 است، و عبارت خطي‌سازي شده نيز با علامت منفي در تابع هدف وجود دارد، مدل به طور طبيعي تمايل به يک بودن متغير $Q_e^{nn'}$ دارد. لذا جهت صحيح بودن جاي گزيني $Q_e^{nn'}$ به جاي ضرب دو متغير $Z_e^{n'}$ و Y_e^n تنها كافي است با اضافه كردن قيد يا يودي به مدل از يک شدن متغير $Q_e^{nn'}$ در سه حالتي كه يكي از دو متغير $Z_e^{n'}$ و Y_e^n و يا هر دو صفر هستند جلوگيري نمود، لذا به اين منظور عبارت ذيل (۲۳) بايد به محدوديت‌هاي مدل اضافه گردد.

$$2Q_e^{nn'} \le Z_e^{n'} + Y_e^n \quad \forall e \in E, \forall n \in N, \forall n' \in N \tag{۲۳}$$

بدين ترتيب مدل ارائه شده يک مدل برنامه‌ريزي خطي عدد صحيح آميخته خواهد بود كه داراي

$$(IJ+JK+KL+LM+LI) \tag{۲۴}$$

متغير پيوسته،

$$N(I+J+L+M+EN) \tag{۲۵}$$

متغیر صفر و یک و

$$2(2I+2J+K+M)+5L+EN^2 \quad (۲۶)$$

محـدودیت، بـدون در نظـر گـرفتن محـدودیت‌هـاي منطقي (۱۹) و (۲۰) است.

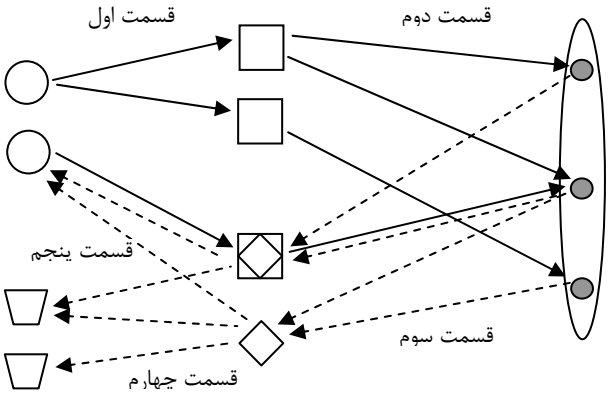
الگوریتم ممتیک پیشنهادي

مسئله مورد بررسي در اين تحقيق قابل كاهش به مسئله مكان يابي تسهيلات با ظرفيت محدود است. مسئله مكان يابي تسهيلات با ظرفيت محدود در دسته NP-complete قرار دارد [۱۵]. در نتيجه مسائل طراحي شبكه لجستيک مورد بررسي در اين تحقيق به دسته NP-Hard تعلق دارد. براي حل اين گونه مسائل نمي توان از روش‌هاي دقيق استفاده كرد. ما در اين تحقيق به ارائه يک الگوريتم ممتيک براي حل مسئله مورد بررسي بر پايه روش كدينگ اولويت محور مي‌پردازيم. الگوريتم ارائه شده در اين تحقيق براي حل مسئله مورد بررسي، يک الگوريتم ابتكاري بر مبناي الگوريتم ژنتيک است. شباهت الگوريتم پيشنهادي به الگوريتم ژنتيک در استفاده از جمعيتي از جواب‌ها، مكانيزم انتخاب چرخ رولت[۱۳]، و استفاده از نوعي اپراتور تقاطع[۱۴] مي باشد. تمايز الگوريتم ارائه شده از الگوريتم ژنتيک در استفاده از جستجوي محلي براي بهبود جواب و برخي جزئيات الگوريتم بوده و يا به عبارت دقيق تر مي‌توان گفت الگوريتم پيشنهادي يک الگوريتم ممتيک مي باشد. الگوريتم ممتيک يک روش تكامل تدريجي مبتني بر جمعيت است كه بر خلاف روش هاي تكاملي سنتي سعي مي‌كند از دانش مسئله، نهايت استفاده را نموده و تمركز كافي را نيز لحاظ كند [۱۶]. اين تعريف بيشتر برگرفته از يكي از اولين مقالاتي كه در آن از الگوريتم ممتيک استفاده شده است. علي‌رغم اين كه الگوريتم ژنتيک به دليل ويژگي‌هاي ذاتي‌اش داراي قدرت مناسبي در ايجاد تنوع در جستجو فضاي حل مي باشد اما داراي ضعف جدي در ايجاد تمركز در جستجو حول بهترين نقاط به دست آمده است. الگوريتم ممتيک به عنوان يک روش تركيبي و برتر با استفاده از نقاط قوت الگوريتم‌هاي تكاملي جمعيت محور (مانند الگوريتم ژنتيک) و الگوريتم‌هاي مبتني بر جستجوي همسايگي روشي را پيشنهاد مي‌نمايد كه هم دراراي قدرت ايجاد تنوع در جستجو مي باشد و هم توانايي ايجاد تمركز در جستجو هنگام دست يابي به جواب‌هاي برتر مي باشد. در اين بخش قسمت‌هاي مختلف الگوريتم پيشنهادي توضيح داده شده و ارتباط آن‌ها با يک ديگر تبيين مي گردد.

نمايش جواب بر اساس روش كدينگ اولويت محور

روش‌هاي مختلفي براي كدينگ جواب در مسايل طراحي شبكه ارائه شده است. از جمله آن‌ها مي‌توان به روش كدينگ ماتريسي كه در [۱۷] و روش زير گراف كه در [۱۸] ارائه شده اشاره نمود. اما اشكال اين دو روش اين است كه در اولي انجام عمليات روش اين جواب‌ها نياز مند تعريف اپراتورهاي خاص بوده و حافظه زيادي نيز اشغال مي‌شود و در دومي ممكن است منجر به جواب‌هاي غير موجه گردد كه براي جلوگيري از اين امر نيز الگوريتم‌هاي مكمل ارائه شده است. اما براي فرار از الگوريتم‌هاي مكمل و اشكالات روش اول در [۷] روش كدينگي بر مبناي اولويت ارائه گرديده است. براي استفاده از روش كدينگ اولويت محور در مسئله مورد بررسي ابتدا مي‌بايست طرح كدينگ هر جواب را به پنج قسمت تقسيم كنيم (شكل۲). همان طور كه در شكل مشاهده مي‌شود قسمت اول به مراكز توليد و مراكز توزيع، قسمت دوم به مراكز توزيع و مراكز مشتريان، قسمت سوم به مراكز مشتريان و مراكز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي، قسمت چهارم به مراكز جمع آوري/ بازرسي/ مرتب‌سازي و مراكز انهدام و در نهايت قسمت پنجم به مراكز جمع‌آوري/ بازرسي و مراكز احياء اختصاص مي‌يابند.

	قسمت اول					قسمت دوم						قسمت سوم					قسمت چهارم				قسمت پنجم			
	I-J					*J-K*						*L-K*					*M-L*				*I-L*			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولويت v(l)	2	4	1	5	3	6	3	1	2	4	5	1	4	3	2	5	2	4	1	3	3	1	2	4
سطوح ظرفيت	1	2	1	3	3	1	1	2	3	2	1	1	2	2	2	1	3	2	1	3	2	1	2	3



شکل ۲: کدینگ مسئله مورد بررسي.

الگوریتم ۱: الگوریتم بازخواني هر قسمت از جواب

ورودي‌ها : K : مجموعه مبادي

J : مجموعه مقصدها

b_j : تقاضا در مقصد (مبدا) j

Ca_{kn} : ظرفیت‌هاي موجود براي مبدا (مقصد) k

c_{kj} : هزینه حمل یک واحد محصول از مبدا k به مقصد j

v(2*(k+j)) : جواب کد شده

خروجي : g_{kj} : جریان بین گره ها

Y_{kn} : احداث مرکز در محل k با سطح ظرفیت n.

تا وقتي که $\sum_j b_j \geq 0$

قدم اول $g_{kj} = 0 \quad \forall j \in J, k \in K$

قدم دوم انتخاب یک گره بر اساس $\forall j \in J, k \in K \quad l = \arg\max\{v(1,t), t \in |K| + |J|\}$

قدم سوم اگر $l \in K$ آنگاه یک مبدا انتخاب شده $k^* = l$

$j^* = \arg\min\{c_{kj} \mid v(1,j) \neq 0, k \in K\}$ انتخاب مقصد با کمترین هزینه و $n^* = v(2,k^*)$

در غیر اینصورت یک مقصد انتخاب شده $j^* = l$

$k^* = \arg\min\{c_{kj} \mid v(1,j) \neq 0, k \in K\}$ انتخاب مبدا با کمترین هزینه و $n^* = v(2,k^*)$

قدم چهارم $g_{k^*j^*} = \min(Ca_{kn^*}, b_{j^*})$

به روز رساني مقادیر تقاضا و ظرفیت $Ca_{kn^*} = Ca_{kn^*} - g_{k^*j^*}, b_{j^*} = b_{j^*} - g_{k^*j^*}$

قدم پنجم اگر $Ca_{kn^*} = 0$ آنگاه $v(1,k^*) = 0$ و اگر $b_{j^*} = 0$ آنگاه $v(1,j^*) = 0$

پایان حلقه

قدم ششم براي هر k اگر $\sum_{j \in J} g_{kj} \geq 0$ آنگاه $n = v(2,k)$ و Y_{kn}=1

شکل ۳: الگوریتم اصلاح شده بازخواني یک قسمت از جواب براي مسئله مورد بررسي.

اما براي استفاده از روش کدینگ اولویت محور براي مسئله مورد بررسي باید اصلاحاتي روي طرح نمایش جواب و الگوریتم بازخواني آن اعمال نمود. همان طور که در مشخصات مسئله ذکر شد، براي هر تسهیل چند سطح ظرفیت فرض شده است. لذا در طرح نمایش جواب یک سطر براي نمایش ظرفیت هر تسهیل اضافه شده است. در

این حالت هر جواب به صورت یک ماتریس

$$2.(I+J+J+K+L+K+L+M+L+I+L) \quad (۲۷)$$

به نمایش درمي‌آید، که در سطر دوم مقدار عدد داخل خانه نشان دهنده سطح ظرفیت آن تسهیل مي‌باشد. نکته دیگري که باید لحاظ گردد این است که در این نوع نمایش امکان دارد در مواردي ظرفیت تخصیص داده شده به تسهیلات جوابگوي تأمین و ارضاي تقاضا در جریان مستقیم و معکوس نباشد، لذا باید مکانیزمي براي حذف جواب‌هاي غیرموجه طراحي کرد که این امر به راحتي از طریق مقایسه جمع ظرفیت‌ها با جمع تقاضا و محصولات برگشتي در هر پنج قسمت جواب میسر مي باشد. در شکل (۳) الگوریتم اصلاح شده بازخواني براي هر قسمت از جواب به نمایش درآمده است.

سپس با استفاده از این الگوریتم به ترتیب قسمت‌هاي مختلف بازخواني مي‌شوند. باید دقت شود ترتیب بازخواني قسمت‌هاي جواب از منطق مشخصي پیروي مي‌نماید. به این ترتیب که براي بازخواني قسمت‌هاي مربوط به جریان مستقیم ابتدا باید قسمت دوم جواب بازخواني شود تا بازخواني قسمت اول میسر گردد. در جریان معکوس نیز این منطق برقرار مي باشد.

	قسمت اول					قسمت دوم						قسمت سوم					قسمت چهارم				قسمت پنجم			
جواب منتخب اول	*I-J*					*J-K*						*L-K*					*M-L*				*I-L*			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولویت v(l)	2	4	1	5	3	6	3	1	2	4	5	1	4	3	2	5	2	4	1	3	3	1	2	4
سطوح ظرفیت	1	2	1	3	3	1	1	2	3	2	1	1	2	2	2	1	3	2	1	3	1	2	2	3

	قسمت اول					قسمت دوم						قسمت سوم					قسمت چهارم				قسمت پنجم			
جواب منتخب دوم	*I-J*					*J-K*						*L-K*					*M-L*				*I-L*			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولویت v(l)	1	4	2	5	3	2	5	1	6	4	3	1	2	3	4	5	2	4	1	3	3	1	2	4
سطوح ظرفیت	1	3	1	2	2	1	1	2	3	2	1	1	1	1	2	1	3	3	1	3	1	3	2	2

بردار تصادفی	1	0	0	1	1 (مشابه قسمت

	قسمت اول					قسمت دوم						قسمت سوم					قسمت چهارم				قسمت پنجم			
جواب تولید شده	*I-J*					*J-K*						*L-K*					*M-L*				*I-L*			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولویت v(l)	1	4	2	5	3	6	3	1	2	4	5	1	4	3	2	5	2	4	1	3	3	1	2	4
سطوح ظرفیت	1	3	1	2	2	1	1	2	3	2	1	1	2	2	2	1	3	3	1	3	1	2	2	3

شکل ٤: نحوه عملکرد عملگر تقاطع.

جواب منتخب	**قسمت اول**					**قسمت دوم**						**قسمت سوم**					**قسمت چهارم**				**قسمت پنجم**			
	I-J					***J-K***						***L-K***					***M-L***				***I-L***			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولویت v(l)	**2**	**4**	**1**	**5**	**3**	**6**	**3**	**1**	**2**	**4**	**5**	**1**	**4**	**3**	**2**	**5**	**2**	**4**	**1**	**3**	**3**	**1**	**2**	**4**
سطوح ظرفیت	**1**	**2**	**1**	**3**	**3**	**1**	**1**	**2**	**3**	**2**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**1**	**3**	**2**	**1**	**3**	**1**	**2**	**2**	**3**

بردار تصادفی	**1**	**0**	**1**	**0**	**1**

جواب تولید شده	**قسمت اول**					**قسمت دوم**						**قسمت سوم**					**قسمت چهارم**				**قسمت پنجم**			
	I-J					***J-K***						***L-K***					***M-L***				***I-L***			
گره	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2
اولویت v(l)	**2**	**5**	**1**	**4**	**3**	**6**	**3**	**1**	**2**	**4**	**5**	**1**	**4**	**5**	**2**	**3**	**2**	**4**	**1**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**
سطوح ظرفیت	**1**	**2**	**1**	**3**	**3**	**1**	**1**	**2**	**3**	**2**	**1**	**1**	**2**	**2**	**2**	**1**	**3**	**2**	**1**	**3**	**1**	**2**	**2**	**3**

شکل ٥: نحوه عملکرد جستجوي همسایگي نوع دوم **(2-opt)** .

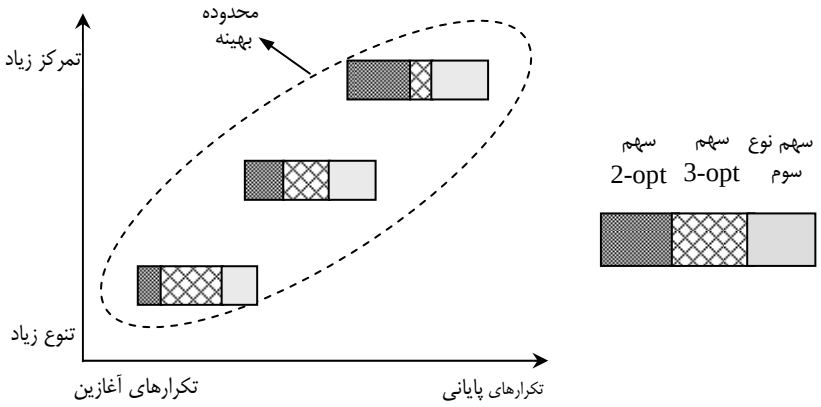
عمل گر تقاطع

عمل گر تقاطع مورد استفاده يک عمل گر تقاطع مبتني بر تعويض قسمت‌هاي دو جواب منتخب با هم است. در اين عمل گر ابتدا به کمک يک بردار چهار قسمتي (تعداد مراحل شبکه غير از قسمت آخر) که مقادير صفر و يک را به طور تصادفي مي‌پذيرد، توليد مي‌شود. سپس بر مبناي اين بردار جا به جايي جهت توليد جواب جديد انجام مي گيرد. قسمت اول با قسمت آخر (ارتباط مراکز توليد و احياء) به منزله يک قسمت محسوب شده‌اند. لذا عدد تصادفي توليد شده براي قسمت اول در مورد قسمت آخر هم به کار مي‌رود. شکل زير نحوه عمل کرد اين عملگر را نمايش مي‌دهد.

استراتژی استفاده از جستجوهای همسايگی پويا

در الگوريتم پيشنهادي از سه نوع جستجوي همسايگي استفاده شده است. دو نوع اول براي انجام جستجو روي سطر اول جواب که در واقع همان اولويت‌ها مي باشند مورد استفاده قرار مي‌گيرند و نوع سوم براي جستجو روي سطر دوم جواب که همان سطوح ظرفيت هستند به کار مي‌روند. مکانيزم عمل دو نوع اول، يک مکانيزم دو مرحله‌اي بوده, به طوري که در مرحله اول قسمت‌هايي از جواب کد شده که در آن جا به جايي صورت مي‌گيرد، به کمک يک بردار پنج قسمتي (تعداد مراحل شبکه) که به طور تصادفي مقادير صفر و يک را مي‌پذيرد، انتخاب مي‌شوند. لذا احتمال انتخاب هر يک از پنج قسمت جواب کد شده ۰/۵ است. سپس در داخل قسمت‌هاي انتخاب شده مقادير تعدادي از خانه‌ها با هم تعويض مي‌شوند. در جستجوي همسايگي نوع اول (3-opt) در مرحله دوم سه خانه براي جا به جايي در قسمت‌هاي انتخاب شده، انتخاب مي گردند. در جستجوي همسايگي نوع دوم (2-opt) در مرحله دوم دو خانه براي جا به جايي در قسمت‌هاي انتخاب شده، انتخاب مي‌شوند. شکل (۵) نحوه عمل کرد جستجوي همسايگي نوع دوم را نمايش مي‌دهد. در جستجوي همسايگي روي ظرفيت‌ها (نوع سوم) نيز ابتدا بردار تصادفي، قسمت‌هايي را که سطوح ظرفيت در آن‌ها تغيير مي‌کند معين کرده و سپس به طور تصادفي در قسمت‌هاي انتخاب شده سطوح ظرفيت تغيير داده مي‌شوند.

در الگوريتم پيشنهادي به منظور رسيدن به جواب‌هاي با کيفيت‌تر در زمان کمتر از جستجوهاي همسايگي به طور غير يکنواخت و به طور پويا استفاده شده است. به علاوه در الگوريتم پيشنهادي به منظور ايجاد تنوع[۱۵] بيشتر در تکرارهاي آغازين الگوريتم سهم استفاده از جستجوي همسايگي نوع اول (3-opt) بيشتر از سهم دو جستجوي همسايگي ديگر بوده، اما به تدريج در تکرارهاي بعدي به منظور ايجاد تمرکز[۱٦] بيشتر سهم استفاده از جستجوي نوع دوم (2-opt) بيشتر شده و در تکرارهاي پاياني سهم اين نوع جستجو از جسجوي نوع اول بيشتر گرديده است، ضمن اين که به موازات اين تغيير سهم، به تدريج بر تعداد جستجو روي سطوح ظرفيت نيز افزوده شده است. شکل (٦) به طور مناسبي اين منطق را نمايش مي‌دهد.



شکل ٦: نمايش منطق پويايي حاکم بر الگوريتم پيشنهادي.

الگوریتم پیشنهادی

با توجه به مطالب مطرح شده الگوریتم ممتیک پیشنهادي به صورت زیر ارائه مي‌گردد.

الگوریتم ۲ : الگوریتم ممتیک پیشنهادي

قدو اول تولید (I+K+L+J+M+I)*2.5 جواب تصادفي و انتخاب بهترین‌هاي آنها به عنوان جواب جمعیت اولیه

قدم دوم انتخاب دو جواب از جمعیت اولیه با استفاده از چرخ رولت

قدم سوم به کارگیري اپراتور تقاطع تا اندازه‌اي که به تعداد جمعیت جواب جدید تولید شود

قدم چهارم انتخاب یک جواب از جمعیت به دست آمده با استفاده از چرخ رولت

قدم پنجم براي $i=1$ *to* k

اگر $i<tun\text{-}k/5$ آنگاه روي جواب انتخاب شده جستجوي نوع یک را انجام مي‌دهیم

در غیر این صورت روي جواب انتخاب شده جستجوي نوع دوم را انجام مي‌دهیم

به کارگیري جستجوي نوع سوم روي ظرفیت‌ها

قدم ششم اگر معیار پاياني ارضاء شده الگوریتم متوقف شود در غیر این صورت به قدم دوم بروید

شکل ۷: الگوریتم ممتیک پیشنهادي.

جدول ۲: اندازه مسائل آزمایشي تولید شده.

شماره مسئله	تعداد مراکز تولید/ احیاء ***I***	تعداد مراکز توزیع ***J***	تعداد مراکز مشتریان ***K***	تعداد مراکز جمع‌آوري/ بازرسي ***L***	تعداد مراکز انهدام ***M***	تعداد سطوح ظرفیت ***N***
1	2	3	5	3	1	2
2	5	10	10	5	4	2
3	5	10	15	10	4	3
4	10	15	20	15	5	2
5	20	40	50	40	10	2
6	20	40	70	40	10	3
7	30	50	100	50	10	3

نتایج محاسباتی

مسائل آزمایشي و مسائل واقعي مختلف با اندازه‌هاي متنوع در حوزه طراحي شبکه‌هاي لجستیک مستقیم و معکوس ارائه شده است. با توجه به اندازه این مسائل براي سنجش کارآیي الگوریتم پیشنهادي (۷) مجموعه مسئله آزمایشي تولید گردیده که در جدول (۲) نمایش داده شده است و در آن سعي شده مسائل از اندازه‌هاي کوچک شروع و به اندازه‌هاي بزرگ ختم گردد. به منظور آزمودن کارآیي الگوریتم پیشنهادي، الگوریتم در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازي و نتایج حاصل از اجراي آن در مسائل آزمایشي تولید شده با نتایج حل دقیق به دست آمده از نرم‌افزار LINGO 8.0 مقایسه گردیده و کلیه محاسبات به کمک یک رایانه با پردازشگر Dual core 1.6 با GB Ram ۱ انجام گرفته است. نتایج حاصل از این آزمایش ها و حل دقیق به دست آمده در جدول (۳) نمایش داده شده اند. رابطه (۲۸) که بیان گر فاصله حل به دست آمده از الگوریتم پیشنهادي با حل بهینه مي باشد، به عنوان معیار کارآیي مورد استفاده قرار گرفته است. این معیار نشان دهنده میزان اعتبار الگوریتم توسعه داده شده بوده و براي محاسبه معیار از متوسط مقدار تابع هدف در پنج بار اجرا الگوریتم پیشنهادي به عنوان (ans.PA) استفاده شده است.

$$\%error = \frac{(ans.PA - ans.LINGO)}{ans.LINGO} \times 100 \quad (۲۸)$$

با توجه به مقادیر به دست آمده براي معیار کارآیي براي اندازه‌هاي مختلف آزمایش شده، همان طور که در جدول (۵) آمده است در نمونه اول خطا بسیار پایین و در حد ۰,۵ درصد و در نمونه‌هاي ۲و ۳ نیز خطا در حد ۲ و ۳ درصد است. در نمونه‌هاي ٤ و ٥ زمان حل الگوریتم به پایین تر از زمان نرم‌افزار مي‌رسد و خطا در حد ۳ تا ۶/۵ درصد باقي مي‌ماند و این در حالي است که با توجه به ادبیات، اندازه نمونه چهارم اندازه‌اي بزرگ ارزیابي مي‌شود.

جدول ۳: خلاصه نتايج محاسباتي.

شماره	مقدار تابع هدف با الگوريتم پيشنهادي				زمان حل الگوريتم پيشنهادي (ثانيه)				LINGO	LINGO	خطا
نمونه	max	min	ave		max	min	ave		مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانيه)	(%)
1-1	1956848	1927073	1933130		4.95	4.56	4.64		1927017	2	0.31
1-2	1899400	1898900	1899100		5.57	5.09	5.19		1898838	1	0.01
1-3	1889000	1869400	1877300		4.92	4.43	4.55		1869302	1	0.42
2-1	3710000	3520700	3570500		72.46	73.19	72.90		3520067	11	1.43
2-2	3791200	3671700	3734600		73.53	71.10	72.27		3660542	10	2.02
2-3	3580600	3510900	3544300		73.51	73.18	73.36		3500314	42	1.25
3-1	3219500	3049200	3104000		245.1	240.4	242.8		3037564	284	2.18
3-2	3163100	3039400	3098400		242.8	238.0	240.4		2996245	463	3.40
3-3	3163700	3055300	3111800		246.7	241.4	243.2		3014262	340	3.23
4-1	10729000	10529000	10600100		334.5	331	332		10028350	580	5.7
4-2	10891000	10590000	10621000		336.1	336.1	335.7		9914315	671	7.5
4-3	9865000	9648000	9785000		320.4	316.4	318.7		9108376	463	7.4
5-1	2002400	1866200	1929466		425.2	423.3	424				
5-2	1965400	1882100	1920200		424.2	403.0	417.9		-	>7200	-
5-3	1983100	1903500	1950200		420.3	412.8	417.7				
6-1	17985000	17663000	17824000		653.1	649.7	651.7				
6-2	21183000	20253000	20629000		661.8	649.1	655		-	-	-
6-3	18904000	18387000	18730000		646.2	644.6	644.7				
7-1	31851000	30610000	31153000		971.2	959.7	965.6				
7-2	30883000	30468000	30556000		982.7	975.7	978.6		-	-	-
7-3	30691000	30570000	30629000		989.5	974.4	981.3				

نرم‌افزار LINGO 8.0 تنها در اندازه‌هاي كوچک قادر به حل مسائل در زمان قابل قبول مي‌باشد، درحالي كه در ابعاد بزرگ تر محاسبه جواب بهينه دقيق در زمان معقول امكان پذير نيست. در مسئله نمونه شماره ۵ علي‌رغم زمان طولاني اجرا (۷۲۰۰ ثانيه) نرم‌افزار LINGO 8.0 نتوانست به جواب بهينه دست يابد. در واقع زمان دست‌يابي به جواب بهينه توسط نرم‌افزار LINGO 8.0 به طور نمايي رشد مي‌كند و اين امر استفاده از الگوريتم پيشنهادي را با توجه به خطاي پايين الگوريتم نسبت به جواب بهينه به خوبي توجيه مي‌نمايد.

نتيجه گيري

در اين مقاله براي جلوگيري از ايجاد زيربهينگي هنگام طراحي جدا از هم شبكه لجستيک مستقيم و معكوس مدلي براي طراحي يكپارچه لجستيک مستقيم و معكوس توسعه داده شده است. در مدل توسعه داده شده سعي شده تا ضعف‌هاي مقالات پيشين مرتفع گردند. مدل غيرخطي ارائه شده با استفاده از تكنيک‌هاي برنامه‌ريزي رياضي به يک مدل خطي تبديل گشته است. به علت پيچيدگي بالاي مدل طراحي شده و عدم امكان حل آن در اندازه‌هاي بزرگ با روش‌هاي دقيق، يک روش ابتكاري بر مبناي الگوريتم ممتيک براي حل آن پيشنهاد داده شده است. از ويژگي‌هاي برجسته اين روش مي‌توان به نمايش جواب بر اساس روش كدينگ اولويت محور و اتخاذ استراتژي استفاده پويا از سه نوع جستجوي همسايگي اشاره كرد. در پايان كارآيي الگوريتم از طريق مقايسه جواب‌هاي به دست آمده با استفاده از الگوريتم توسعه داده شده با جواب‌هاي دقيق به دست آمده از نرم‌افزار LINGO 8.0 نشان داده شده است. در اندازه‌هاي بزرگ نيز در زمان قابل قبولي الگوريتم توسعه داده شده به جواب‌هاي نزديک به بهينه دست پيدا كرده است. از موضوعاتي كه در تحقيقات آتي مي‌تواند مورد توجه قرار گيرد مي‌توان به توسعه مدل براي شبكه‌هاي چنـــد محصولي و در نظر گرفتن عدم قطعيت در تقاضاي

محصولات برگشتي اشاره كرد.

تقدير و تشكر

در اين جا لازم است از مؤسسه مطالعات و پژوهش‌هاي بازرگاني وزارت بازرگاني جمهوري اسلامي ايران كه اين تحقيق تحت حمايت آن مؤسسه انجام شده است، كمال تشكر و قدرداني را بنماييم.

مراجع

1 - Meade, L., Sarkis, J. and Presley, A. (2007). “The theory and practice of Reverse Logistics.” *International Journal of Logistics systems and Management*, Vol. 3, PP. 56-84.

2 - Shen, Z. M. (2007). “Integrated supply chain design models: A survey and future research directions.” *Journal of Industrial and Management Optimization*, Vol. 3, No. 1, PP. 1-27.

3 - Jayaraman, V. and Pirkul, H. (2001). “Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, PP. 394–408.

4 - Melachrinoudis, E., Messac, A. and Min, H. (2005). “Consolidating a warehouse network: a physical programming approach.” *International Journal of Production Economics*, Vol. 97, PP.1-17.

5 - Amiri, A. (2006). “Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 171, PP. 567–576.

6 - Altiparmak, F., Gen, M., Lin L. and Paksoy, T. (2006). “A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks.” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 51, PP. 197–216.

7 - Gen, M., Altiparmak, F. and Lin, L. (2006). “A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding.” *OR Spectrum*, Vol. 28, PP. 337–354.

8 - Jayaraman, V., Guige, V.D.R., Srivastava R. (1999). “A closed-loop logistics model for manufacturing.” *Operational Research Society*, Vol. 50, PP. 497-508.

9 - Listes, O. and Dekker R. (2005). “A stochastic approach to a case study for product recovery network design.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 160, PP. 268–287.

10 - Du, F. and Evans G. W. (2008). “A bi-objective reverse logistics network analysis for post-sale service.” *Computers & Operations Research*, Vol. 35, PP. 2617 – 2634.

11 - Ko, H. J. and Evans, G. W. (2007). “A genetic-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs.” *Computers & Operations Research*, Vol. 34, PP. 346-366.

12 - Lee, D. and Dong, M. (2007). “A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery.” *Transportation Research Part E*, Vol. 44, PP. 455–474.

13 - Krikke, H. R., Van Harten, A. and Schuur, P. C. (1999). “Reverse logistic network re-design for copiers.” *OR Spektrum*, Vol. 21, PP. 381–409.

14 - Üster, H., Easwaran, G., Akçali, E. and Çetinkaya, S. (2007). “Benders Decomposition with Alternative Multiple Cuts for a Multi-Product Closed-Loop Supply Chain Network Design Model.” *Naval Research Logistics*, Vol. 54, PP. 890-907.

15 - Davis, P. S. and Ray, T. L. (1969). “A branch-and-bound algorithm for the capacitated facilities location problem.” *Naval Research Logistics*, Vol. 16, PP. 331–344.

16 - Digalakis, J. (2004). “Performance comparison of memetic algorithms.” *Applied mathematics and computation*, Vol. 158, PP. 237-252.

17 - Michalewicz, Z., Vignaux, G. A. and Hobbs, M. (1991). “A non-standard genetic algorithm for the nonlinear transportation problem.” *ORSA Journal on Computing*, Vol. 3, PP. 307–316.

18 - Gen, M. and Cheng, R. (2000). *Genetic algorithms and engineering optimization*. Wiley, New York.

واژه هاي انگليسي به ترتيب استفاده در متن

1 - Sub-optimality
2 - Cross dock
3 - Disposal
4 - Memetic algorithm
5 - Physical programming
6 - Priority-based
7 - Hybrid scatter search
8 - Recoverable products
9 - Scrapped
10 - Remanufacturing
11 - Demanufacturing
12 -Recycling
13 - Roulette wheel
14 - Cross over
15 - Diversification
16 - Intesification