

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۴، پاییز ۱۳۹۶، ۲۰۴-۱۶۹

ارائه یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی از زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی: مطالعه موردی بر روی زنجیره عرضه ماهیان پرورشی گرم آبی در ایران

سیف‌اله تبریزی* سید حسن قدسی‌پور**

عباس احمدی***

پذیرش: ۹۶/۵/۳

دریافت: ۹۶/۱/۲۰

زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی، ماهیان پرورشی گرم آبی، بهینه‌سازی دوسطحی، مدل
استکلبرگ، PSO دو سطحی.

چکیده

مدیریت پایدار منابع غذایی و عرضه مواد غذایی با کیفیت در جریان یک زنجیره تأمین کار، از مهم‌ترین مسائل حوزه مدیریت جوامع است. در سال‌های اخیر، صید بی‌رویه انواع ماهی از دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان موجب کاهش شدید ذخایر این منابع آبی شده است؛ گسترش مزارع پرورش آبزیان نه تنها اقدامی مؤثر در جهت ایجاد یک منبع غذایی پایدار برای کشور بوده، بلکه کمک مؤثری به حفظ و بازسازی ذخایر دریایی کشور است. این درحالی است که محصولات شیلات از دیرباز به‌عنوان محصولاتی با اشتغال‌سازی خوب و قدرت ارزآوری بالا شناخته می‌شوند. لذا، در این مقاله با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی

tabrizi@aut.ac.ir

ghodsy@aut.ac.ir

abbas.ahmadi@aut.ac.ir

* دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
** استاد تمام دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
*** استادیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

■ سیف‌اله تبریزی، نویسنده مسئول.

دوسطحی، مدل همکاری استکلبرگ در زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی در قالب مطالعه موردی بر زنجیره عرضه ماهیان پرورشی گرم‌آبی مطالعه شده است. یک الگوریتم بهینه‌سازی دوسطحی با هدف حداکثرسازی سود مزارع پرورش و غرفه‌های فعال در بازار توزیع ماهی، مبتنی بر روش فراابتکاری بهینه‌سازی دسته ذرات (PSO) برای حل مسأله برنامه‌ریزی دوسطحی توسعه داده شد. اجرای مدل با بهره‌گیری از داده‌های گردآوری شده از سطح بازار ماهی کشور، مبین کارایی مدل پیشنهادی در حل مسائل واقعی زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی است.

طبقه‌بندی JEL: C02, C61, Q01

مقدمه

تأمین غذای مورد نیاز اقشار مختلف مردم از مهم‌ترین مسائلی است که هر جامعه‌ای - به‌ویژه کشورهای در حال توسعه - با آن مواجه‌اند. تغییرات شرایط آب‌وهوایی و بروز خشکسالی و به تبع آن، کمبود منابع در سال‌های اخیر سبب شده تا ایران با روند کاهشی سطح زیرکشت محصولات کشاورزی، از بین رفتن منابع طبیعی مورد نیاز دامپروری و همچنین کاهش ذخایر دریایی مواجه شود؛ در چنین شرایطی، تأمین و مدیریت منابع غذایی پایدار کشور بسیار پراهمیت است. امروزه غذاهای دریایی و فرآورده‌های مرتبط با آن، جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی مردم تمام کشورها داشته و از دیرباز محصولاتی با قدرت ارزآوری بوده است. همچنین، وجود خطوط سواحل طولانی در شمال و جنوب ایران موجب شده است فعالیت‌های شیلاتی، به‌خصوص در استان‌های شمالی و جنوبی کشور، همواره از رونق خاصی برخوردار باشد.

در سال‌های اخیر صید بی‌رویه انواع ماهی از دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان ذخایر این منابع آبی را به شدت کاهش داده و از این رو، گسترش مزارع پرورش آبزیان نه تنها اقدام مؤثری جهت ایجاد یک منبع غذایی پایدار برای کشور است، بلکه کمک مؤثری به حفظ و بقای گونه‌هایی است که به هر دلیل در معرض خطر قرار گرفته‌اند. ماهیان گرم‌آبی یکی از معروف‌ترین گونه‌های ماهیان پرورشی است؛ فراهم بودن شرایط اقلیمی اغلب نقاط ایران برای رشد و نمو این ماهیان و تنوع گونه در میان محصولات مزارع گرم‌آبی موجب رونق تکثیر و پرورش این نوع از ماهیان پرورشی شده است (شکل ۱).



شکل ۱- پراکندگی مزارع پرورش ماهی در سطح کشور

با گسترش فعالیت‌های پرورش ماهی گرم‌آبی در کشور، ضرورت توجه به زنجیره تأمین این محصول بیش از پیش احساس می‌شود. همچنین، زنجیره عرضه ماهیان پرورشی گرم‌آبی در ایران شامل مزارع پرورش ماهی و بازارهای توزیع ماهی است که به تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی پاسخ می‌دهند.

سیمچی لوی و همکاران^۱ معتقدند مدیریت زنجیره تأمین عبارت است از به‌کارگیری مجموعه‌ای از استراتژی‌های مؤثر برای یکپارچه‌سازی تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها برای تولید و توزیع کالاها به مقدار مناسب، در زمان مناسب و مکان مناسب و با هدف حداقل‌سازی تمام هزینه‌ها و تأمین سطح سرویس مورد نظر. مدیریت زنجیره تأمین هر نوع محصول یا فرآورده غذایی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردش از شرایط خاص خود برخوردار است. فسادپذیری مهم‌ترین پارامتری است که بر طراحی و مدیریت زنجیره تأمین مواد غذایی تأثیر می‌گذارد. ماهی تازه یک ماده غذایی فاسدشدنی است که آن را پیش از مصرف می‌توان فقط برای مدتی کوتاه و آن هم در یخچال نگه داشت. کوتاهی چرخه عمر مواد غذایی فاسدشدنی موجب شده فرآیندهای سفارش‌دهی، قیمت‌گذاری و مدیریت موجودی این نوع کالاها در قالب زنجیره تأمین دارای پیچیدگی خاصی باشد^۲. برای نمونه، قیمت‌گذاری این نوع محصولات باید به شکلی انجام شود که در کنار حفظ سود اعضای زنجیره تأمین، کالا در کم‌ترین زمان ممکن فروخته شود تا از کیفیت مطلوبی برخوردار باشد.

امروزه یکی از چالش‌های مهم در مدیریت زنجیره تأمین، ایجاد همکاری در سطوح مختلف زنجیره تأمین تحت شرایطی است که هر یک از اعضا مستقل از سایر بخش‌های زنجیره به دنبال افزایش میزان سودآوری خود هستند. مهم‌ترین اثر عدم‌همکاری در زنجیره تأمین، ایجاد پدیده‌ای به نام «اثر شلاق چرمی» است که نتیجه آن کاهش سودآوری در سطوح زنجیره تأمین و همچنین کل زنجیره خواهد بود. اثر شلاق چرمی عبارت است از نوسانات نامنظم تقاضای زنجیره تأمین که سبب افزایش سطح موجودی در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین می‌شود. افزایش سطح موجودی برای کالاهای عادی تنها افزایش هزینه‌های نگهداری موجودی را به دنبال دارد؛ لکن، افزایش سطح موجودی

1. Simchi-Levi et al. (2008).

2. Li et al. (2009).

کالاهای فسادپذیر سه پیامد در سطح زنجیره تأمین خواهد داشت: نخست آن که بخش‌های مختلف زنجیره تأمین را با ضرر مالی ناشی از زوال محصول روبه‌رو می‌کند. دفع ضایعات محصولات فسادپذیر و تأثیر آن بر محیط‌زیست چالش دوم افزایش سطح موجودی این نوع محصولات در زنجیره تأمین است. فرآیند کاهش کیفیت کالاهای فسادپذیر از زمان تولید آغاز می‌شود، لذا با افزایش سطح موجودی زمان نگهداری کالا افزایش یافته که نتیجه آن کاهش کیفیت کالای مصرفی توسط مشتری است.

مسئله مزارع پرورش ماهی به‌همراه مسأله بازارهای توزیع ماهی یک مدل همکاری دوسطحی است، به‌طوری‌که ابتدا در سطح اول از یک بهینه‌سازی دوسطحی مقادیر عرضه انواع ماهی زنده از سوی مزارع پرورش ماهی تعیین می‌شود. سپس، بر مبنای مقادیر عرضه سطح نخست، مقادیر عرضه انواع ماهی تازه از سوی غرفه‌های فروش ماهی تعیین می‌شود. این فرآیند روزانه سبب شکل‌گیری یک بازی مدل استکلبرگ^۱ میان مزارع پرورش ماهی و مجموعه غرفه‌های فروش فعال در هر یک بازارهای توزیع ماهی می‌شود.

این مقاله به‌صورت ذیل سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم، تحقیقات انجام‌شده در دو حوزه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی و همچنین مفهوم بهینه‌سازی دوسطحی در زنجیره تأمین بررسی شده است. بخش سوم به معرفی اعضا و فرآیندهای زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی می‌پردازد. در بخش چهارم یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی از زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی معرفی می‌شود. و در بخش پنجم، پس از معرفی مفاهیم بهینه‌سازی دوسطحی و تعادل نش - استکلبرگ، متدولوژی پیشنهادی برای حل مدل پیشنهادی بخش چهارم تبیین شده است. نتایج عددی حاصل از اجرای مدل پیشنهادی در بخش ششم ارائه می‌شود و در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش در بخش آخر تبیین شده است.

۱. پیشینه پژوهش

در این بخش، ابتدا به بررسی اجمالی پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسد شدنی پرداخته می‌شود و سپس، کاربرد مدل همکاری استکلبرگ در حل مسائل مختلف زنجیره تأمین بررسی خواهد شد.

۱-۱. زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی

در بخشی از پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه مطالعه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی، به مسأله مسیریابی وسایل حمل^۱ و زمان‌بندی تولید^۲ پرداخته شده است. در پژوهش‌های اُسوالد و استین^۳ زمان‌بندی توالی وسایل نقلیه برای توزیع سبزیجات مطالعه شده است. ایشان از یک الگوریتم فراابتکاری^۴ مبتنی بر جست‌وجوی ممنوعه^۵ برای حل یک مدل چند دوره‌ای برنامه‌ریزی خطی ترکیبی با عدد صحیح^۶ بهره برده و نشان دادند اجرای این مدل موجب کاهش فساد محصولات در جریان فرآیند حمل می‌شود. چن و همکارانش^۷ با توجه به این نکته که فساد مواد غذایی فاسدشدنی از زمان تولید آغاز می‌شود، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط با عدد صحیح^۸ ارائه دادند. ایشان در این مدل با هدف حداکثرسازی سود تأمین‌کننده به تعیین همزمان مقادیر بهینه تولید، زمان آغاز تولید و مسیریابی وسایل حمل پرداختند. جوزدانی و همکاران^۹ نیز به مطالعه مکان‌یابی دینامیک تسهیلات و برنامه‌ریزی در زنجیره تأمین محصولات لبنی پرداخته و با معرفی یک مطالعه موردی در شهر تهران، تأثیر انباشتگی ترافیک و عدم قطعیت تقاضا را بر فرآیند مکان‌یابی بهینه بررسی کردند.

مسأله برنامه‌ریزی تولید و توزیع مواد غذایی فاسدشدنی بخش دیگری از پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه را دربرمی‌گیرد. آهومادا و ویلالبس^{۱۰} مدلی عملیاتی معرفی کردند که به پرورش‌دهندگان محصولات کشاورزی در اخذ دو تصمیم زمان برداشت محصول و توزیع محصول کمک می‌کند تا سودشان حداکثر شود. نتایج اجرای مدل پیشنهادی آن‌ها نشان داد با مدیریت بالانس^{۱۱} میان حفظ تازگی محصول در جریان فرآیند ارسال با هزینه اضافی نیروی کار و حمل و نقل می‌توان سودآوری^{۱۲} پرورش‌دهندگان را افزایش

1. Vehicle Routing.
2. Production Scheduling.
3. Osvald & Stin (2008).
4. Meta-Heuristic.
5. Tabu Search.
6. Mixed Integer Linear Programming (MILP).
7. Chen et al. (2009).
8. Mixed Integer Non-Linear Programming (MINLP).
9. Jouzdani et al. (2013).
10. Ahumada & Villalobos (2011).
11. Trade-off.
12. Profitability.

داد. نکته حائز اهمیت در برنامه‌ریزی تولید و توزیع مواد غذایی فاسدشدنی، لحاظ کردن هم‌زمان هزینه و فسادپذیری است. در این راستا، آموریم و همکاران^۱ یک مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه معرفی کردند. توابع هدف این مدل‌سازی شامل حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها به همراه حداکثرسازی نسبت زمان باقی مانده از دوره مصرف محصول^۲ است. ایشان دو سناریوی یکپارچگی یا عدم یکپارچگی تولید و توزیع در شرایط ثابت ماندن یا روند نزولی دوره مصرف محصول را بررسی کرده و با روش وزن‌دهی و همچنین بهره‌گیری از نرم‌افزار سیپلکس^۳ مدل پیشنهادی را حل کردند و جواب‌های پاراتو^۴ را برای شرایط مختلف ارائه دادند. محمد و وانگ^۵ یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه فازی برای حل مسأله برنامه‌ریزی توزیع در یک شبکه زنجیره تأمین گوشت قرمز ارائه دادند. مدل مذکور شامل چهار هدف حداقل‌سازی هزینه‌ها، انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) و زمان توزیع محصولات و حداکثرسازی متوسط نرخ تحویل بود.

در بخشی دیگر از پژوهش‌های انجام شده در حوزه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی، محققان به مطالعه مدیریت موجودی این نوع زنجیره‌های تأمین پرداخته‌اند. زانونی و زوانیلا^۶ یک مدل برنامه‌ریزی خطی ترکیبی با عدد صحیح برای مدل‌سازی مسأله عرضه مواد غذایی فاسدشدنی از یک فروشنده به یک خریدار ارائه دادند. ایشان با بهره‌گیری از یک روش ابتکاری و با هدف حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی به تعیین مقادیر بهینه جریان محصول، تعداد ماشین‌های حمل و سطح موجودی پرداختند. دیابت و همکاران^۷ کوشیدند دو مسأله مدیریت موجودی و مسیریابی وسایل حمل را به‌صورت یکپارچه در مدل‌سازی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی لحاظ کنند. ایشان به معرفی یک الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر جست‌وجوی ممنوعه برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی ترکیبی با عدد صحیح پرداختند. سویال و همکاران^۸ نیز به مطالعه مدیریت موجودی در یک زنجیره تأمین

1. Amorim et al. (2012).

2. Product shelf-life.

3. CPLEX.

4. Pareto-optimal.

5. Mohammad & Wang (2016).

6. Zaroni & Zavanella (2007).

7. Diabat et al. (2014).

8. Soysal et al. (2014).

بین‌المللی گوشت گاو، شامل تولید گوشت در برزیل و صادرات آن به اروپا پرداخته و یک مدل دو هدفه برنامه‌ریزی خطی ترکیبی با عدد صحیح معرفی کردند، به طوری که حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های حمل و نگهداری موجودی به‌عنوان یکی از اهداف و حداقل‌سازی انتشار کربن^۱ در زنجیره تأمین به‌عنوان هدف دیگر در مدل مذکور لحاظ شد. نتایج حاصل از اجرای مدل پیشنهادی ایشان نشان داد فاصله میان اعضای مختلف زنجیره تأمین معیار مهمی است که بر انتشار کربن در محیط مؤثر است. همچنین، دریافتند ظرفیت صادرات عامل مؤثر دیگری در فشار بر سیستم لجستیک است و فرسودگی تجهیزات و زیرساخت‌ها موجب کاهش کارایی مصرف سوخت شده و بر هزینه‌ها و انتشار کربن تأثیر منفی دارد. گویندان و همکاران^۲ تلاش کردند با معرفی یک مدل جامع دو هدفه از زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر، به حل مسأله مکان‌یابی - مسیریابی^۳ به همراه مدیریت موجودی در زنجیره تأمین مذکور بپردازند. ایشان در کنار حداقل‌سازی هزینه‌های شبکه زنجیره تأمین، به دنبال حداقل‌سازی تأثیرات محیطی فعالیت در شبکه زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی بودند و یک روش جدید ترکیبی مبتنی بر دو روش بهینه‌سازی چندهدفه دسته ذرات^۴ و جست‌وجوی همسایگی متغیره^۵ معرفی کرده و نشان دادند روش پیشنهادی آن‌ها نسبت به روش‌های مرسوم مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل چندهدفه، جواب‌های بهتری ارائه می‌دهد. تعیین سیاست بهینه قیمت‌گذاری و همچنین کنترل موجودی در یک زنجیره تأمین میگوی سفید در تایوان، توسط لین و وائو^۶ بررسی شد. آن‌ها به مقایسه کارایی زنجیره تأمین متمرکز با یک زنجیره تأمین غیر متمرکز پرداختند.

۱-۲. مدل همکاری استکلبرگ در زنجیره تأمین

امروزه بهره‌گیری از مفهوم بهینه‌سازی دوسطحی در قالب مدل همکاری استکلبرگ در حوزه مدیریت زنجیره تأمین بیش از پیش از سوی پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته

1. CO2 Emissions.

2. Govindan et al. (2014).

3. Location-Routing.

4. Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO).

5. Multi-Objective Variable Neighborhood Search (MOVNS).

6. Lin & Wu (2016).

است. گلوک و کیم^۱ به مطالعه ارتباط یک فروشنده و چندین خرده‌فروش در یک زنجیره تأمین دو سطحی پرداخته و سود زنجیره را در دو حالت بررسی کردند: در حالت نخست فروشنده با هیچ خرده‌فروشی ادغام نمی‌شود؛ لکن، در حالت دوم فروشنده با یکی از خرده‌فروش‌ها ادغام شده و فرآیند عرضه محصول هم از کانال مستقیم و هم از طریق سایر خرده‌فروش‌ها به بازار انجام می‌شود. در این مطالعه فروشنده نقش پیشرو و خرده‌فروش‌ها نقش پیرو را در قالب مدل استکلبرگ ایفا می‌نمایند. کیومی و مستیوباشی^۲ تأثیر یک توافق مطلوب میان اعضای زنجیره تأمین بر ایفای نقش پیشرو در زنجیره تأمین را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش ابتدا حالتی که هر عمده‌فروش به‌عنوان پیشرو تعیین‌کننده قیمت عمده‌فروشی و مقدار عرضه به عمده‌فروش لایه پایین‌تر است، در نظر گرفته شد؛ در چنین شرایط غیرهمکارانه‌ای هریک از اعضای زنجیره به دنبال حداکثرسازی سود خود خواهد بود، به طوری که نقش پیشرو در قرارداد دائماً در حال تغییر و دست‌به‌دست شدن است. ایشان نشان دادند یک قرارداد ائتلاف^۳ میان اعضای یک زنجیره تأمین تا زمانی پایدار می‌ماند که اعضای قرارداد نسبت به انحراف از قرارداد ائتلاف جهت کسب نقش پیشرو بدین باشند. یک مدل دوسطحی برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط با عدد صحیح برای طراحی و برنامه‌ریزی یک زنجیره تأمین سه سطحی شامل یک سازنده، چند تأمین‌کننده و چندین مشتری، توسط یوئی و یو^۴ معرفی شده است. در این پژوهش، تعاملات میان اعضای زنجیره تأمین براساس یک بازی استکلبرگ است که در آن، تولیدکننده به‌عنوان پیشرو در میانه زنجیره تأمین ابتدا تصمیماتی اعم از مکان‌یابی تسهیلات تولیدی، انتخاب ظرفیت و نوع تکنولوژی تولید، جریان مواد ورودی و خروجی و تنظیم قیمت خرید مواد اولیه و محصول نهایی را اخذ می‌کند. سپس، تأمین‌کنندگان در لایه اول و مشتریان در لایه آخر زنجیره تأمین به‌عنوان پیرو با بهینه‌سازی تعاملاتشان با تولیدکننده، سودشان را حداکثر می‌کنند. گئو و همکاران^۵ به بررسی رویکرد زمان‌بندی همزمان تولید و حمل‌ونقل در یک مدل دوسطحی غیرخطی ترکیبی با عدد صحیح پرداختند. ایشان از یک روش فراابتکاری برای یافتن جواب‌های مؤثر سطح نخست و سطح

1. Glock & Kim (2015).

2. Kumoi & Matsubayashi (2014).

3. Integration.

4. Yue & You (2014).

5. Guo et al. (2016).

دوم بهره بردند. در میان تحقیقات داخلی انجام شده می‌توان به مقاله تیموری و هاشمی‌علیا^۱ اشاره کرد. آن‌ها یک مدل شبیه‌سازی گسسته برای زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو دو سطحی شامل یک تعمیرگاه مرکزی و یک عمده فروش (ایساکو) ارائه داده و از نرم‌افزار ونسیم^۲ برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل عملکرد مدل بهره جستند.

بررسی پیشینه پژوهش انجام شده در حوزه زنجیره تأمین مواد غذایی فسادپذیر مبین آن است که تقریباً در هیچ یک از مطالعات انجام شده از مفهوم همکاری استکلبرگ جهت مدل‌سازی همکاری اعضا در این نوع زنجیره تأمین استفاده نشده است. همچنین، زنجیره تأمین ماهیان پرورشی در ایران و ویژگی‌های آن تا کنون مورد توجه جدی واقع نگردید. لذا، در این مقاله ما با معرفی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی، از مفهوم مدل استکلبرگ برای مدل‌سازی همکاری زنجیره تأمین مواد غذایی فسادشدنی بهره برده‌ایم. در همین راستا، الگوریتم بهینه‌سازی PSO دو سطحی^۳ برای حل مسأله برنامه‌ریزی دو سطحی معرفی کردیم. شایان ذکر است مدل و الگوریتم پیشنهادی با کم تغییرات قابل تعمیم به زنجیره تأمین سایر اقلام فسادپذیر است.

۲. معرفی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی

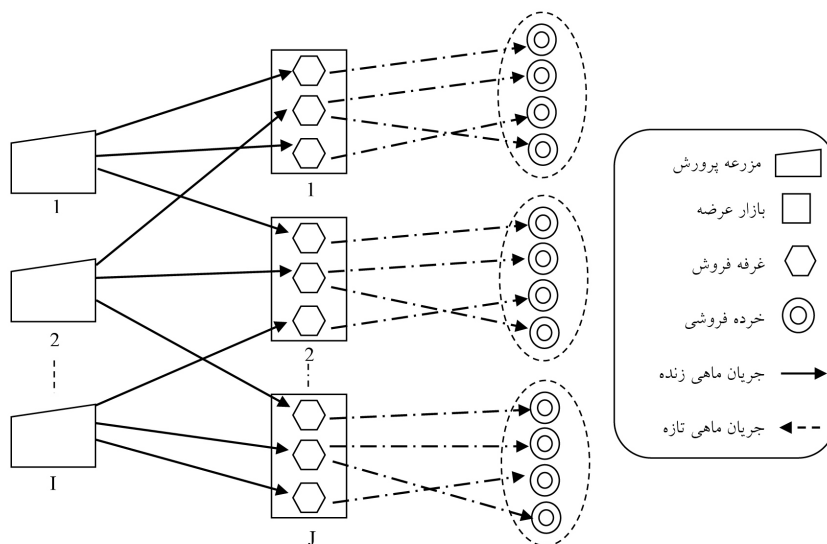
مدل عمومی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی در شکل (۲) نشان داده شده است. فعالیت هر یک از مزارع پرورش ماهی در دو دوره پرورش ماهی و فروش صورت می‌پذیرد؛ در آغاز دوره پرورش، انواع بچه‌ماهی در داخل مزارع رهاسازی می‌شوند و پرورش‌دهندگان با بهره‌گیری از منابع مختلف غذایی و همچنین تجهیزات پرورش، بچه‌ماهیان اولیه را به ماهیان بالغ قابل عرضه به بازارهای ماهی تبدیل می‌کنند. بلافاصله پس از پایان یافتن دوره پرورش، دوره فروش آغاز می‌شود؛ در هر روز از دوره فروش، انواع محصولاتی که از مزارع پرورش ماهی به فروشگاه‌های خرده‌فروشی عرضه می‌شوند، از طریق غرفه‌های فعال در بازارهای ماهی مدیریت و توزیع می‌شوند. هر یک از غرفه‌های فعال در بازارهای توزیع ماهی می‌توانند نیاز روزانه خود را از بیش از یک مزرعه تأمین کنند.

۱. تیموری و هاشمی‌علیا (۱۳۸۷).

2. Vensim.

3. Bi-level Particle Swarm Optimization (Bi-level PSO).

ماهی ارسالی از سوی مزارع پرورش به قیمت عمده‌فروشی توسط غرفه‌های فروش خریده می‌شود. تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی برای انواع ماهی در هر دوره مشخص و مستقل از یکدیگر است؛ هریک از بازارهای توزیع ماهی، انواع ماهی خریداری شده از مزارع را با قیمت خرده‌فروشی به فروشگاه‌های خرده‌فروشی می‌فروشد. در نهایت، مشتری با مراجعه به نزدیک‌ترین فروشگاه خرده‌فروشی نیاز خود را تأمین می‌کند.



شکل ۲- مدل عمومی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی

هریک از مزارع پرورش ماهی شامل یک استخر اصلی برای پرورش انواع ماهی در دوره پرورش و چند حوضچه موقت (با ظرفیت معین) با هدف ذخیره‌سازی انواع ماهی زنده برای تأمین نیاز روزانه بازارهای توزیع ماهی در دوره فروش هستند. همچنین، فرآیند برداشت از مزارع پرورش تنها یک‌بار در روز انجام می‌شود. غرفه‌های فروش ماهی نیز برای پاسخگویی به تقاضای روزانه فروشگاه‌های خرده‌فروشی از امکان نگهداری مقدار معینی ماهی تازه برخوردارند. مدت نگهداری ماهی زنده در حوضچه‌های موقت محدود است و کیفیت ماهی تازه با گذشت زمان کاهش می‌یابد و این امر دوره نگهداری این نوع موجودی را در غرفه‌های فروش ماهی محدود می‌سازد.

۳. مدل ریاضی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی

در این بخش پس از مدل‌سازی مسأله مزارع پرورش ماهی، مدل مسأله بازارهای توزیع ماهی ارائه شده است. در ادامه تعاریف پارامترها و متغیرهای مورد نیاز برای توصیف ریاضی مدل‌های پیشنهادی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی در ذیل ارائه می‌شود:

اندیس‌ها	
I	مزارع پرورش
J	بازارهای توزیع ماهی
A	غرفه‌های فعال در بازارهای توزیع ماهی
P	انواع ماهی پرورشی
T	دوره‌های فروش
پارامترها	
D_{kjp}^{at}	تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی k از غرفه a بازار توزیع p به ازای محصول p در دوره t .
$QCap_{ip}$	حداکثر ظرفیت نگهداری موجودی محصول زنده p در مزرعه پرورش i ام
$SCap_j^a$	حداکثر ظرفیت نگهداری موجودی محصول تازه در غرفه a بازار توزیع p ام.
$LiveCA$	حداکثر ظرفیت ماشین ویژه حمل محصول زنده.
$FreshCA$	حداکثر ظرفیت ماشین ویژه حمل محصول تازه.
$LiveCost_p$	هزینه نگهداری هر عدد محصول زنده p ام در هر یک مزارع پرورش برای یک دوره.
$FreshCost_p$	هزینه نگهداری هر کیلو محصول تازه p ام در هر یک بازار توزیع p ام برای یک دوره.
FA_i	هزینه ثابت برداشت محصولات زنده (جهت انتقال به حوضچه‌های نگهداری موجودی) در مزرعه پرورش i ام برای یک دوره.
CA_j^a	هزینه ثابت آماده‌سازی محصول تازه در غرفه a بازار توزیع p ام برای یک دوره.
QTR_{ij}	کرایه ماشین ویژه حمل محصول زنده از مزرعه پرورش i ام به بازار توزیع p ام در هر دوره.
STR_{jk}	کرایه ماشین ویژه حمل محصول تازه از بازار توزیع p ام به فروشگاه خرده‌فروشی k ام در هر دوره.
τ^{\max}	حداکثر تعداد دوره‌های نگهداری موجودی محصول زنده در مزرعه پرورش.

Γ^{\max}	حداکثر تعداد دوره‌های نگهداری موجودی محصول تازه در بازار توزیع.
متغیرها	
WPR_{jp}^t	قیمت عمده‌فروشی مورد انتظار محصول زنده p ام در بازار توزیع زام در دوره t ام.
RPR_{jp}^t	قیمت خرده‌فروشی مورد انتظار محصول زنده p ام در بازار توزیع زام در دوره t ام.
$LINV_{ip}^t$	موجودی محصول زنده p ام در مزرعه پرورش i ام در ابتدای دوره t ام.
$FINV_{jp}^{a,t}$	موجودی محصول تازه p ام در غرفه a ام بازار توزیع زام در دوره t ام.
$Harv_{ip}^t$	مقدار برداشت محصول زنده p ام از مزرعه i ام جهت انتقال به موجودی در دوره t ام.
$Q_{ijp}^{a,t}$	مقدار جریان محصول زنده p ام از موجودی مزرعه i ام به غرفه a ام مرکز عرضه زام در دوره t ام.
$S_{jkp}^{A,t}$	مقدار عرضه محصول تازه p ام از غرفه A ام بازار توزیع زام به فروشگاه خرده‌فروشی k ام در دوره t ام.
NC_{ij}^t	تعداد ماشین ویژه حمل محصولات زنده از مزرعه پرورش i ام به بازار توزیع زام در دوره t ام.
$LessNC_{ij}^t$	مقدار ارسال محصولات زنده از مزرعه پرورش i ام به بازار توزیع زام در دوره t ام، به طوری که کم‌تر از ظرفیت یک ماشین باشد.
W_{ij}^t	در صورتی که مقدار محصولات زنده ارسالی از استخر i ام به بازار توزیع زام در دوره t ام کم‌تر از حداکثر ظرفیت یک ماشین ویژه حمل محصولات زنده باشد، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت مقدار آن ۰ است.

۱-۳. مدل‌سازی مسأله مزارع پرورش ماهی

در سطح مزارع پرورش ماهی به دنبال تعیین مقادیر بهینه عرضه به بازارهای توزیع و به تبع آن تعیین مقادیر بهینه سطح موجودی انواع ماهی زنده با هدف حداکثرسازی سود مزارع هستیم. این مسأله یک برنامه‌ریزی چند دوره‌ای است که تابع سود مزارع پرورش در دوره t ام عبارت است از:

سود مزارع پرورش در هر دوره = مجموع فروش مزارع به بازارهای توزیع ماهی

- مجموع هزینه برداشت ماهی از مزارع

- مجموع هزینه نگهداری موجودی ماهی زنده در مزارع پرورش

- مجموع هزینه حمل از مزارع به بازارهای توزیع ماهی

تابع سود و محدودیت‌ها در سطح مزارع پرورش به شرح ذیل است:

$$\begin{aligned} \text{Max } f = & \sum_i \sum_j \sum_p \sum_a WPR'_{j_p} \times Q_{ij_p}^{a_t} \\ & - \sum_i \sum_p FA_i / \text{Harv}'_{i_p} - \sum_i \sum_p \text{LiveCost}_p \times \text{LINV}'_{i_p} \\ & - \sum_i \sum_j QTR_{i_j} \times (NC'_{i_j} + W'_{i_j}) \quad \forall t ; \end{aligned} \quad (1)$$

Subject to (۲)

$$\text{LINV}'_{i_p} + \text{Harv}'_{i_p} - \sum_j \sum_a Q_{ij_p}^{a_t} = \text{LINV}'_{i_p} \quad \forall i, p, t ;$$

$$\text{LINV}'_{i_p} \leq \text{QCap}_{i_p} \quad \forall i, p, t ; \quad (۳)$$

$$\text{LINV}'_{i_p} \leq \sum_{t-\tau_{\text{Max}} \leq t' \leq t-1} \sum_j \sum_a Q_{ij_p}^{a_{t'}} \quad \forall i, p, t \geq \tau_{\text{Max}} ; \quad (۴)$$

$$\sum_p \sum_a Q_{ij_p}^{a_t} = \text{LiveCA} \times NC'_{i_j} + \text{LessNC}'_{i_j} \quad \forall i, j, t ; \quad (۵)$$

$$\text{LessNC}'_{i_j} < \text{LiveCA} \times W'_{i_j} \quad \forall i, j, t ; \quad (۶)$$

$$W'_{i_j} \leq 1 \quad \forall i, j, t ; \quad (۷)$$

$$W'_{i_j} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t ; \quad (۸)$$

$$NC'_{i_j} \in \text{Int} \quad \forall i, j, t ; \quad (۹)$$

$$\text{LINV}'_{i_p}, Q_{ij_p}^{a_t}, \text{Harv}'_{i_p}, \text{LessNC}'_{i_j} \geq 0, \forall i, j, p, t. \quad (۱۰)$$

رابطه (۱) بیانگر تابع سود مزارع پرورش در دوره t ام است. محدودیت (۲) بالانس جریان ماهی زنده در هر یک از مزارع پرورش را تضمین می‌کند. محدودیت (۳) مربوط به ظرفیت نگهداری موجودی ماهی زنده در هر یک از مزارع پرورش است. تعداد دوره‌های نگهداری موجودی ماهی زنده در هر یک از مزارع پرورش با محدودیت (۴) تضمین می‌شود. محدودیت‌های (۵-۷) مربوط به تعداد ماشین‌های حمل محصولات زنده از مزارع پرورش

است که یا با ظرفیت کامل یا کم‌تر از ظرفیت کامل حمل می‌شوند. محدودیت‌های (۸-۱۰) نشانگر متغیرهای صفر و یک، عدد صحیح و غیرمنفی است. مدل برنامه‌ریزی ریاضی در سطح مزارع پرورش ماهی با توجه به غیر خطی بودن تابع سود، یک مدل چند دوره‌ای برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط با عدد صحیح (MINLP) است.

۳-۲. مدل‌سازی مسأله بازارهای توزیع ماهی

در سطح غرفه‌های فروش، به دنبال تعیین مقادیر بهینه عرضه به فروشگاه‌های خرده‌فروشی و به تبع آن تعیین مقادیر بهینه سطح موجودی انواع ماهی تازه با هدف حداکثرسازی سود غرفه‌ها در هر یک از بازارهای توزیع ماهی هستیم. این مسأله یک برنامه‌ریزی چند دوره‌ای است که تابع سود غرفه‌های فروش عبارت است از:

سود غرفه‌های فروش در بازار توزیع λ م در هر دوره = مجموع فروش غرفه‌ها به فروشگاه‌های خرده‌فروشی

- مجموع هزینه خرید انواع ماهی از مزارع پرورش توسط غرفه‌های فروش.
- مجموع هزینه نگهداری موجودی ماهی تازه در غرفه‌های فروش.

$$\begin{aligned} \text{Max } g_j = & \sum_a \sum_t \sum_k \sum_p RPR_{j p}^t \times S_{j k p}^{a t} \\ & - \sum_a \sum_t \sum_p WPR_{j p}^t \times Q_{i j p}^{a t} \\ & - \sum_a \sum_p \text{FreshCost}_p \times \text{FINV}_{j p}^{a t} \quad \forall j, t ; \end{aligned} \quad (11)$$

Subject to

$$\text{FINV}_{j p}^{a t-1} + \sum_i Q_{i j p}^{a t} - \sum_k S_{j k p}^{a t} = \text{FINV}_{j p}^{a t} \quad \forall j, a, p, t ; \quad (12)$$

$$\sum_p \text{FINV}_{j p}^{a t} \leq \text{SCap}_j^a \quad \forall j, a, t ; \quad (13)$$

$$\text{FINV}_{j p}^{a t} \leq \sum_t^{t+\Gamma_{M \max}} D_{j k p}^{a t} \quad \forall j, a, t, p ; \quad (14)$$

$$S_{j k p}^{a t} \geq D_{k j p}^{a t} \quad \forall j, k, t ; \quad (15)$$

$$S_{j k p}^{a t}, FINV_{j p}^{a t} \geq 0 \quad \forall j, k, p, a, t ; \quad (16)$$

رابطه (۱۱) بیانگر تابع سود غرفه‌های فروش در بازار توزیع زام در دوره t ام است. محدودیت (۱۲) نیز بالانس جریان ماهی تازه در هر یک از غرفه‌های بازارهای توزیع را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۳) مربوط به ظرفیت نگهداری موجودی ماهی تازه در هر یک از غرفه‌های بازارهای توزیع است و تعداد دوره‌های نگهداری موجودی ماهی تازه در هر یک از غرفه‌های فروش نیز با محدودیت (۱۴) تضمین می‌شود. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند کمبود موجودی ماهی تازه در غرفه‌های فروش رخ نمی‌دهد. محدودیت (۱۶) نشانگر مقادیر مثبت هر یک از متغیرها است. برنامه‌ریزی ریاضی در سطح غرفه‌های فعال در هر یک از بازارهای توزیع ماهی، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی^۱ (NLP) است.

۴. مبانی نظری و تبیین متدولوژی حل مدل پیشنهادی

عرضه ماهی زنده از سوی مزارع پرورش ماهی به هر یک از بازارهای توزیع ماهی و همچنین عرضه ماهی تازه به فروشگاه‌های خرده‌فروشی توسط غرفه‌های فروش فعال در هر یک از بازارهای توزیع ماهی در یک بازار انحصار چندجانبه انجام می‌شود. در بازار انحصار چندجانبه عرضه‌کنندگان نه بسیار زیادند که نقشی در بازار نداشته باشند و نه بسیار کم که یک عرضه‌کننده انحصارگر کامل باشد؛ آن چیزی که مهم است وابستگی متقابل بین عرضه‌کنندگان به یکدیگر است. تغییرات حاصل در میزان تولید و قیمت پیشنهادی هر یک از عرضه‌کنندگان در میزان تولید و همچنین قیمت پیشنهادی سایر عرضه‌کنندگان مؤثر واقع می‌شود. در چنین شرایطی، یک نقطه تعادل از استراتژی‌های عرضه‌کنندگان به بازار وجود خواهد داشت که در آن، سود هر یک از عرضه‌کنندگان با توجه به استراتژی انتخابی توسط سایر عرضه‌کنندگان حداکثر می‌شود؛ این نقطه، با عنوان نقطه تعادل نش^۲ شناخته می‌شود. مدل استکلبرگ مدلی پرکاربرد در حوزه بازار انحصار چندجانبه است که می‌توان از آن برای حل مسأله مزارع پرورش ماهی بهره برد. این مدل که توسط یک اقتصاددان آلمانی

1. Non-Linear Programming (NLP).

2. Nash.

به نام ون استکلبرگ^۱ در سال ۱۹۳۴ میلادی معرفی شد^۲، به مدل‌سازی تعامل بازیگران در یک انحصار چندجانبه می‌پردازد. در مدل استکلبرگ گروهی از شرکت‌ها به‌عنوان پیشرو^۳ می‌توانند پیش از گروهی دیگر از شرکت‌ها به‌عنوان پیرو^۴ اقدام به اتخاذ استراتژی عرضه کنند؛ به این مفهوم که ابتدا پیشرو اقدام به اتخاذ استراتژی عرضه نموده و سپس پیرو براساس استراتژی پیشرو، بهترین استراتژی عرضه خود را انتخاب می‌کند. در مرحله بعد، پیشرو براساس عکس‌العمل پیرو استراتژی خود را تغییر می‌دهد و این بازی می‌تواند همچنان ادامه یابد. با فرض این که یک شرکت پیشرو و همچنین یک شرکت پیرو^۵ در بازار حضور دارند؛ $q_I \in u_I$ مقدار عرضه پیشرو بازار و $q_f(q_I) \in u_f$ مقدار عرضه پیرو است؛ تعادل نش نقطه‌ای نظیر $(q_I^*, q_f^*) \in u_I \times u_f$ است که در آن سود هر دو شرکت حداکثر می‌شود^۶:

$$\forall q_I \in u_I : \pi_I(q_I, q_f^*) \leq \pi_I(q_I^*, q_f^*) \wedge \forall q_f \in u_f : \pi_f(q_I^*, q_f) \leq \pi_f(q_I^*, q_f^*) \quad (17)$$

مدل مذکور با عنوان تعادل نش - استکلبرگ شناخته می‌شود.

برنامه‌ریزی دوسطحی یکی از حوزه‌های مهم برنامه‌ریزی ریاضی است که دو مدل برنامه‌ریزی در دو سطح مختلف با ارجحیت‌های متفاوت دارد؛ به‌طوری که طی یک توالی، ابتدا بهینه‌سازی در سطح بالاتر و سپس براساس خروجی سطح نخست، بهینه‌سازی در سطح پایین‌تر انجام می‌شود. با لحاظ سطح اول به‌عنوان پیشرو و سطح دوم به‌عنوان پیرو، می‌توان از مفهوم مدل استکلبرگ برای مدل‌سازی و حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی بهره برد^۷.
یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی زیر به‌صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{x \in R^{n_1}, y \in R^{n_2}} f(x, y) & (18) \\ & \text{Subject to : } H(x, y) \leq 0 \\ & \text{Min}_{y \in R^{n_2}} \varphi(x, y) \\ & \text{Subject to : } \psi(x, y) \leq 0 \end{aligned}$$

1. Heinrich Freiherr von Stackelberg.
2. Stackelberg, (1952).
3. Leaders.
4. Followers.
5. Single-leader-single-follower.
6. Liu (1998).
7. Bard (1998) & Colson et al. (2007).

به طوری که $f(x, y)$ و $H(x, y)$ به ترتیب تابع هدف (سود) و مجموعه محدودیت‌های مدل سطح اول، همچنین $\varphi(x, y)$ و $\psi(x, y)$ تابع هدف و مجموعه محدودیت‌های مدل سطح دوم است. مجموعه محدودیت‌های برنامه‌ریزی دوسطحی عبارت است از:

$$\phi = \{(x, y) : H(x, y) \leq 0, \psi(x, y) \leq 0\} \quad (19)$$

ابتدا پیشرو در برنامه‌ریزی سطح اول تصمیم x را اخذ می‌کند که به ازای هر مقدار از x منطقه موجه برنامه‌ریزی سطح دوم $\phi(x)$ برابر است با:

$$\phi(x) = \{y : \psi(x, y) \leq 0\} \quad (20)$$

پیرو براساس هر مقدار x اقدام به حل مدل برنامه‌ریزی سطح دوم می‌کند که در واقع نسبت به تصمیم پیشرو عکس‌العمل نشان می‌دهد. مجموعه عکس‌العمل^۱ پیرو $\kappa(x)$ عبارت است از:

$$\kappa(x) \in \phi(x) = \operatorname{Arg} \min_{y \in Y} \{\varphi(x, y) : \psi(x, y) \leq 0\} \quad (21)$$

بنابراین، مدل برنامه‌ریزی دوسطحی به صورت ذیل بازنویسی می‌شود:

$$\operatorname{Max}_{x, y} f(x, y) \quad (22)$$

$$\text{Subject to : } H(x, y) \leq 0$$

$$y \in \kappa(x)$$

با توجه به مدل فوق، منطقه موجه^۲ مسأله دوسطحی عبارت است از:

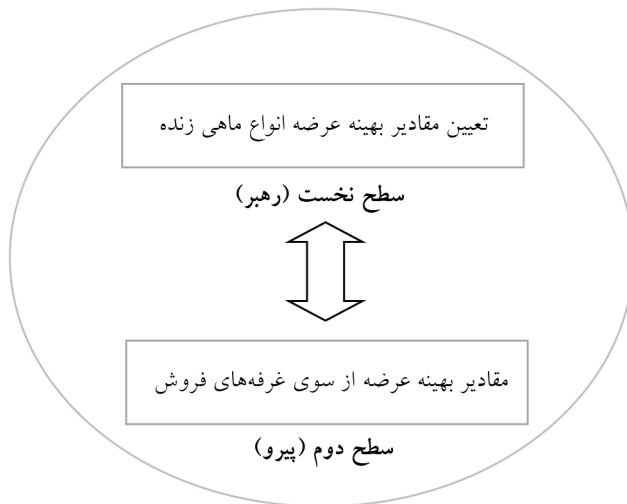
$$\{(x, y) \in R^{n_1} \times R^{n_2} : H(x) \leq 0, y \in \kappa(x)\} \quad (23)$$

با توجه به مفاهیم تبیین‌شده در سطور فوق، مسأله تعیین سیاست بهینه عرضه و مدیریت موجودی در زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی یک برنامه‌ریزی دوسطحی مبتنی بر بازی استکلبرگ است؛ به طوری که در سطح نخست، مقادیر بهینه عرضه انواع ماهی زنده

1. Reaction Set.

2. Induced Region (IR).

از مزارع پرورش ماهی تعیین می‌شود. سپس، در سطح دوم مقادیر بهینه عرضه از سوی غرفه‌های فروش فعال در هریک از بازارهای توزیع ماهی تعیین شده و این فرآیند در هر روز از دوره فروش تکرار خواهد شد (شکل ۳).



شکل ۳- مدل مفهومی برنامه‌ریزی دوسطحی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی

بارد^۱ طی قضیه‌ای اثبات کرد مسأله برنامه‌ریزی خطی دوسطحی یک مسأله NP-hard است. هانسن و همکاران^۲ ابتدا اثبات کردند که مسأله برنامه‌ریزی خطی ماکسی-مین^۳ (که حالت خاصی از برنامه‌ریزی دوسطحی است) NP-hard است؛ سپس به‌عنوان یک نتیجه از این اثبات نشان دادند که مسأله برنامه‌ریزی خطی دوسطحی یک مسأله NP-hard است. حتی اگر تمام توابع یک برنامه‌ریزی دوسطحی پیوسته و خطی باشند، منطقه موجه این نوع برنامه‌ریزی یک مجموعه غیرمحدب است^۴. وجود متغیرهای گسسته به‌همراه متغیرهای پیوسته (مسائل بهینه‌سازی ترکیبی)، توابع هدف و محدودیت‌های غیرخطی و همچنین

1. Bard (1991).

2. Hansen et al. (1992).

3. Max-Min.

4. Fliege & Vicente (2006).

غیرمحدب بودن منطقه موجه یک مسأله برنامه‌ریزی، سبب می‌شود روش‌های استاندارد بهینه‌سازی برای حل این‌گونه مسائل ناکارآمد و از نظر محاسباتی بسیار پرهزینه باشد. به عبارت دقیق‌تر، اعمال روش‌های بهینه‌سازی مرسوم به این نوع مسائل در اغلب مواقع منتج به یک جواب بهینه محلی^۱ در همسایگی نقطه آغازین می‌شود. ویسنته و همکاران^۲ طی قضیه‌ای اثبات کردند بررسی بهینگی محلی در یک مسأله برنامه‌ریزی خطی دوسطحی یک مسأله NP-hard است. بنابر این، مدل برنامه‌ریزی دوسطحی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی نیز یک مسأله NP-hard محسوب می‌شود.

با توجه به ناکارآمدی روش‌های استاندارد بهینه‌سازی برای حل مسائل NP-hard، امروزه از الگوریتم‌های فرا ابتکاری^۳ برای حل این‌گونه مسائل استفاده می‌شود. تقریباً در تمامی این روش‌ها (که با الهام از سیستم‌های بیولوژیکی و فیزیکی موجود در طبیعت به وجود آمده‌اند)، تعداد زیادی ذره در فضای مسأله پخش شده و با یک همکاری دقیق و تبادل اطلاعات میان ذرات، به دنبال جواب بهینه سراسری^۴ می‌گردند. الگوریتم ژنتیک^۵، الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات^۶، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه^۷ و شبیه‌سازی حرارتی^۸ از روش‌های فرا ابتکاری معروف برای حل مسائل NP-hard است. در این تحقیق، برای حل مدل برنامه‌ریزی دوسطحی و تعیین سیاست بهینه عرضه و مدیریت موجودی در زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی از الگوریتمی مبتنی بر روش PSO بهره برده شده و در ادامه، پس از معرفی روش PSO، مراحل الگوریتم فرا ابتکاری پیشنهادی تبیین شده است.

۴-۱. معرفی الگوریتم PSO

PSO یک روش الهام‌گرفته از طبیعت است که نخستین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و ابرهات^۹ برای حل مسائل بهینه‌سازی معرفی شد. در این الگوریتم که با الهام از زندگی

-
1. Local Optima.
 2. Vicente et al. (1994).
 3. Meta-heuristic Algorithm.
 4. Global Optima.
 5. Genetic Algorithm (GA).
 6. Particle Swarm Optimization (PSO).
 7. Ant Colony Optimization.
 8. Simulated Annealing.
 9. Kennedy & Eberhart (1995).

گروهی جانوران، از جمله پرندگان ابداع شده است، برای حل یک مسأله بهینه‌سازی جمعیتی از جواب‌های کاندید با بهره‌گیری از یک فرمول ساده به‌طور تصادفی در فضای جواب مسأله به حرکت درمی‌آیند و آن را با هدف یافتن جواب بهینه سراسری مورد کاوش قرار می‌دهند.

در الگوریتم PSO هر یک از جواب‌های کاندید را اصطلاحاً یک ذره می‌نامند که متناظر با یکی از پرندگان موجود در یک دسته پرنده در حال پرواز است. این الگوریتم با دسته‌ای از ذرات موجود در فضای جواب مسأله راه‌اندازی می‌شود که این ذرات پس تعدادی تکرار و براساس تابع برازندگی^۱ به جواب بهینه همگرا می‌شوند. هر یک از ذرات موجود در یک دسته، براساس یک بردار موقعیت^۲ x_i و یک بردار سرعت^۳ v_i مشخص می‌شود. همچنین، موقعیت هر ذره در هر تکرار در قالب برداری پیگیری می‌شود؛ با توجه به این بردار، بهترین موقعیت ذره^۴ در هر تکرار تعیین شده و در قالب متغیری با نام x_i^{pb} نشان داده می‌شود. در هر تکرار، از میان بهترین موقعیت ذرات موجود (x_i^{pb} های تمام ذرات) در یک دسته، آن متغیر x_i^{pb} که به‌ازای آن تابع برازش از بیشترین مقدار برخوردار باشد به‌عنوان بهترین موقعیت دسته^۵ انتخاب شده و با متغیری با نام x^* نشان داده می‌شود. سرعت و موقعیت جدید هر یک از ذرات موجود در یک دسته، در تکرار $t+1$ ، براساس دو رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(x_i^{pb}(t) - x_i(t)) + c_2r_2(x^*(t) - x_i(t)) \quad (24)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (25)$$

ضریب w در رابطه سرعت برای محدود کردن سرعت یک ذره در هر تکرار است که در حین اجرای برنامه و با افزایش شماره تکرارها کاهش می‌یابد. ضریب C_1 به‌عنوان

-
1. Fitness Function.
 2. Position Vector.
 3. Velocity Vector.
 4. Particle's Personal Best.
 5. Global Best.

یک فاکتور شناختی^۱ است که نشانگر کشش^۲ یک ذره به موفقیتش است؛ اما ضریب C_2 فاکتوری اجتماعی^۳ و نشان‌دهنده کشش یک ذره به موفقیت ذرات موجود در همسایگی خود است؛ هر دو ضریب C_1 و C_2 در طول تکرارهای مختلف، مقدار ثابتی دارند. r_1 و r_1 مقادیری تصادفی‌اند که در هر تکرار از متغیرهای تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[-1, 0]$ تولید می‌شوند. بنابراین، موقعیت حرکت هریک از ذرات در هر تکرار متأثر از بهترین موقعیت یافت‌شده برای تابع برازندگی توسط خود آن ذره و نیز سایر ذرات گروه از آغاز اجرای الگوریتم تا تکرار فعلی است.

تازه شدن متغیر x_l^{pb} در تکرار $t+1$ ام، برای حالت حداکثرسازی تابع برازندگی، در قالب رابطه ذیل نشان داده می‌شود:

$$x_l^{pb}(t+1) = \begin{cases} x_l^{pb}(t) & \text{if } f(x_l(t+1)) \leq f(x_l^{pb}(t)) \\ x_l(t+1) & \text{Otherwise.} \end{cases} \quad (26)$$

متغیر x^* نیز در تکرار در تکرار $t+1$ ام، با بهره‌گیری از رابطه زیر تازه می‌شود:

$$x^*(t+1) = \arg \max_l x_l^{pb}(t) f(x_l^{pb}(t)), \quad l \in [1, \dots, n] \quad (27)$$

مدل پایه الگوریتم PSO عملکرد موفق‌تری در مسائل با متغیرهای پیوسته داشته و کندی و ابرهاریت^۴ این مدل پایه را برای حل مسائل با متغیرهای صفر و یک توسعه دادند. در این حالت، یک ذره در فضایی حرکت می‌کند که با متغیرهای صفر و یک محدود شده است. در این شرایط، بردار سرعت v_1 بیانگر احتمالی است که بردار موقعیت x_1 مقدار یک را می‌پذیرد. مقادیر بزرگ‌تر بردار سرعت مبین این امر است که بردار موقعیت مقدار یک را برمی‌گزیند. تابع ذیل بردار سرعت را از فضای جواب واقعی به فضای جواب احتمالی انتقال می‌دهد:

$$Sig(v_l) = \frac{1}{1 + \exp(-v_l)} \quad (28)$$

1. Cognitive Factor.

2. Attraction

3. Social Factor

4. Kennedy & Eberhart (1997).

در این شرایط، بردار موقعیت جدید متغیر صفر و یک با بهره‌گیری از رابطه (۲۹) حاصل می‌شود:

$$\mathbf{x}_l(t+1) = \begin{cases} 1 & , \text{ if } r_3 < \text{Sig}(v_l) \\ 0 & , \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (29)$$

مقدار اولیه بردار سرعت هر ذره را می‌توان برابر صفر قرار داد:

$$\mathbf{v}_l(0) = 0, \quad l \in [1, \dots, n] \quad (30)$$

همچنین، مقادیر اولیه بردارهای سرعت و موقعیت را می‌توان با تولید مقادیر تصادفی تعیین کرد. مقدار اولیه متغیر x_l^{pb} به ازای هر ذره، از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\mathbf{v}_l(0) = 0, \quad l \in [1, \dots, n] \quad (30)$$

$$x_l^{pb}(0) = x_l(0), \quad l \in [1, \dots, n] \quad (31)$$

لازم به ذکر است هر کدام از متغیرهای v_1, x_1, x_l^{pb} و x^* می‌توانند به صورت برداری از متغیر مطرح باشند. شروط مختلفی وجود دارد که می‌توان هر یک از آن‌ها را به عنوان شرط پایانی الگوریتم برگزید؛ این شروط عبارتند از: رسیدن به تعداد مشخصی از تکرار یا رسیدن به تکرارهایی که طی آن‌ها هیچ بهبودی در تابع هدف حاصل نشود. مراحل مختلف اجرای الگوریتم PSO به طور خلاصه در شکل (۴) ارائه شده است.

```

Initialize a swarm of size n
Repeat
  For each particle  $l \in [1, \dots, n]$  do
    update position and velocity
    if  $f(x_l(t+1)) > f(x_l^{pb}(t))$  then
       $x_l^{pb}(t+1) \leftarrow x_l(t+1)$ 
    end if
  end for
 $x^*(t+1) \leftarrow \arg \max_{x_l^{pb}(t)} f(x_l^{pb}(t)) : l \in [1, \dots, n]$ 
Until termination criterion is met

```

شکل ۴- مراحل اجرای الگوریتم PSO^{۱۱}

۴-۲. معرفی الگوریتم PSO دو سطحی

در این بخش به معرفی الگوریتم PSO دو سطحی برای حل مدل برنامه‌ریزی دو سطحی زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی پرداخته شده است. PSO دو سطحی الگوریتمی فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم PSO است. این الگوریتم با تخصیص دسته‌ای از ذرات به فضای جواب مسأله MINLP مزارع پرورش ماهی و تعیین مقادیر اولیه این ذرات آغاز می‌شود و تا برقراری شرط توقف فرآیند جست‌وجو ادامه می‌یابد. مقادیر نهایی بردار متغیر x^* به‌عنوان مقادیر بهینه عرضه و موجودی مزارع پرورش ماهی در سطح نخست بهینه‌سازی دو سطحی است. همچنین، مقادیر عرضه مزارع پرورش ماهی حاصل از اجرای مرحله اول الگوریتم به‌عنوان پارامتر ورودی به مدل برنامه‌ریزی بازارهای توزیع ماهی (سطح دوم از برنامه‌ریزی دو سطحی) است. با تخصیص دسته‌ای از ذرات به فضای جواب مسأله NLP غرفه‌های فروش فعال در هر یک از بازار توزیع ماهی و تعیین مقادیر اولیه این ذرات الگوریتم PSO دو سطحی ادامه می‌یابد. تا برقراری شرط توقف فرآیند جست‌وجو ادامه می‌یابد، مقادیر نهایی بردار متغیر x^* هر یک از دسته‌ها به‌عنوان مقادیر بهینه عرضه و موجودی غرفه‌های فروش فعال در یک بازار توزیع ماهی است. مجموعه مقادیر عرضه مزارع پرورش و همچنین بازارهای توزیع ماهی که پس از پایان مرحله دوم الگوریتم PSO دو سطحی حاصل می‌شود، به‌عنوان تعادل نش - استکلبرگ میان مجموعه مزارع پرورش ماهی و غرفه‌های فروش ماهی است. پس از تازه شدن مقادیر موجودی ماهی زنده در مزارع پرورش و همچنین موجودی ماهی تازه در غرفه‌های فروش هر یک از بازارهای توزیع ماهی، الگوریتم PSO دو سطحی برای روز بعدی از دوره فروش اجرا می‌شود. مراحل الگوریتم پیشنهادی به شرح ذیل ارائه شده است (شکل ۵).

در این تحقیق از نرم‌افزار برنامه‌نویسی و ژئوال بیسیک ۱۶ برای طراحی و کدنویسی برنامه کامپیوتری الگوریتم پیشنهادی استفاده شده است.

۵. آزمون مدل و تحلیل نتایج

استان مازندران به‌علت اقلیم مناسب، همجواری با دریای خزر و وجود نیروی متخصص و کارآمد،

- گام ۱: تعریف دسته‌ای از ذرات با اندازه S برای مسأله مزارع پرورش ماهی برای حل مدل برنامه‌ریزی سطح اول؛
- گام ۲: راه‌اندازی الگوریتم Bi-level PSO برای حل مسأله مزارع پرورش ماهی؛
- گام ۱-۲: راه‌اندازی ذرات با تعریف مقادیر اولیه بردار متغیر سرعت v_i و همچنین تعریف مقادیر اولیه تصادفی بردار متغیر موقعیت x_i به ازای هر یک از ذرات؛
- گام ۲-۲: تعیین مقدار اولیه بردار متغیر بهترین موقعیت ذره x_i^{pb} هر یک از ذرات با بهره‌گیری از رابطه (۳۰)؛
- گام ۲-۳: تعیین مقادیر بردار متغیر بهترین موقعیت دسته x^* با بهره‌گیری از رابطه (۲۶)؛
- گام ۳: تعیین مقادیر جدید بردار متغیر v_i و x_i ذرات موجود در دسته با بهره‌گیری از روابط (۲۳) و (۲۴)؛
- گام ۴: بهره‌گیری از رابطه (۲۵) برای تعیین مقادیر جدید بردار متغیر x_i^{pb} هر یک از ذرات؛
- گام ۵: تعیین مقدار بردار متغیر x^* با بهره‌گیری از رابطه (۲۶)؛
- گام ۶: تکرار گام‌های سوم تا پنجم تا هنگام برقراری شرط توقف؛
- گام ۷: انتخاب مقادیر نهایی بردار متغیر x به‌عنوان مقادیر بهینه عرضه و موجودی مزارع پرورش ماهی و ارسال مقادیر نهایی بردار متغیر x^* به‌عنوان پارامتر ورودی به مدل برنامه‌ریزی سطح دوم؛
- گام ۸: تعریف دسته‌های مختلف از ذرات با اندازه معین به ازای غرفه‌های فروش فعال در یک بازار توزیع ماهی؛
- گام ۸-۱: راه‌اندازی ذرات موجود در دسته‌های مختلف با تعریف مقادیر اولیه بردار متغیر سرعت v_i و همچنین تعریف مقادیر اولیه تصادفی بردار متغیر موقعیت x_i به ازای هر یک از ذرات موجود در هر دسته؛
- گام ۸-۲: تعیین مقدار اولیه بردار متغیر بهترین موقعیت ذره x_i^{pb} هر یک از ذرات موجود در هر دسته با بهره‌گیری از رابطه (۲۶)؛
- گام ۹: تعیین مقادیر بردار متغیر بهترین موقعیت دسته x^* مربوط به هر دسته از ذرات با بهره‌گیری از رابطه (۲۶)؛
- گام ۱۰: تعیین مقادیر جدید بردار متغیر v_i و x_i ذرات موجود در هر دسته با بهره‌گیری از روابط (۲۳) و (۲۴)؛
- گام ۱۱: بهره‌گیری از رابطه (۲۵) برای تعیین مقادیر جدید بردار متغیر x_i^{pb} ذرات موجود در هر دسته؛
- گام ۱۲: تعیین مقادیر بردار متغیر x^* کلیه دسته‌ها با بهره‌گیری از رابطه (۲۶)؛
- گام ۱۳: تکرار گام‌های دهم تا دوازدهم تا هنگام برقراری شرط توقف؛
- گام ۱۴: انتخاب مقادیر نهایی بردار متغیر x^* هر یک از دسته‌ها به‌عنوان مقادیر بهینه عرضه و موجودی غرفه‌های فروش فعال در هر یک از بازارهای توزیع ماهی؛
- گام ۱۵: انتخاب مقادیر نهایی بردار متغیر x^* حاصل از بهینه‌سازی دو سطحی به‌عنوان تعادل نش - استکلبرگ میان مجموعه مزارع پرورش ماهی و غرفه‌های فروش ماهی؛
- گام ۱۶: تکرار گام‌های اول تا پانزدهم برای هر روز از دوره فروش.

شکل ۵- مراحل الگوریتم PSO دو سطحی

ظرفیت بسیار مناسبی برای پرورش انواع ماهیان، به ویژه ماهیان گرم آبی دارد، به طوری که در سال‌های اخیر پیوسته مقام نخست تولید ماهیان گرم آبی در کشور را به خود اختصاص داده است. بر این اساس، در این پژوهش به بررسی ویژگی‌های مدل معرفی شده و الگوریتم پیشنهادی در قالب یک زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم آبی در استان مازندران پرداخته شده است. زنجیره تأمین مورد مطالعه شامل پنج استخراج پرورش ماهی (F)، سه بازار توزیع ماهی (M) با پنج غرفه فروش (S) در هر بازار، پنج فروشگاه خرده‌فروشی به ازای هریک از بازارهای توزیع ماهی و چهار نوع ماهی شامل آمور، کپور، فیتوفاگ و بیگ‌هد است (شکل ۶).



شکل ۶- انواع ماهیان پرورشی گرم آبی

گردآوری داده‌ها یکی از مهم‌ترین وظایف حل هر مسأله واقعی است. داده‌های مورد نیاز این تحقیق با بررسی فاکتورهای فروش و همچنین فرم‌های مختلف ثبت فعالیت مربوط به یک دوره پرورش و فروش، و همچنین مصاحبه با کارشناسان مختلف جمع شده و مقادیر تقاضای رسیده از جانب خرده‌فروش‌ها به‌ازای انواع ماهی به هریک از بازارهای ماهی، برای یک دوره فروش استخراج شد. آزمون‌های برازندگی^۵ (نظیر مربع کای^۶، کالموگروف - اسمیرنف^۷ و اندرسون - دارلینگ^۸) برای اطمینان از صحت توزیع احتمال انتخاب شده برای هر دسته از داده‌ها به کار برده می‌شوند. بسته‌های نرم‌افزاری مختلف تحلیل آماری موجود در بازار نیز به تناسب از هریک از آزمون‌های برازندگی فوق استفاده می‌کنند. نرم‌افزار

1. Carp Common.

2. Carp Silver.

3. Carp Big Head.

4. Grass Carp.

5. Goodness of Fit Test.

6. Chi-Square Test.

7. Kolmogorov-Smirnov.

8. Anderson-Darling (AD).

مینی‌تَب^۱ از روش اندرسون - دارلینگ برای اجرای آزمون برازندگی بهره می‌برد. در این پژوهش از نرم‌افزار مینی‌تَب جهت اجرای آزمون برازندگی توزیع‌های تعیین شده برای تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی استفاده شده است. در ادامه به معرفی اجمالی آزمون اندرسون - دارلینگ پرداخته می‌شود.

در این آزمون فرض صفر^۲ و نقیض آن عبارتند از:

H_0 : داده‌های تصادفی از توزیع احتمال مورد نظر پیروی می‌کنند.

H_1 : داده‌های تصادفی از توزیع احتمال مورد نظر پیروی نمی‌کنند.

مقدار آماره اندرسون - دارلینگ در قالب فرمول زیر تعریف می‌شود:

$$A^2 = \sum_{g=1}^N \frac{1-2g}{N} \left[\ln \left(F(X_g) \right) + \ln \left(1 - F(X_{N+1-g}) \right) \right] - N \quad (32)$$

در رابطه فوق، F بیانگر توزیع احتمال تجمعی تابع توزیع احتمال مورد نظر است. پس از محاسبه مقدار آماره اندرسون-دارلینگ، باید مقدار احتمال سطح معناداری مشاهده‌شده^۳ برای توزیع مورد نظر محاسبه شود (P-Value):

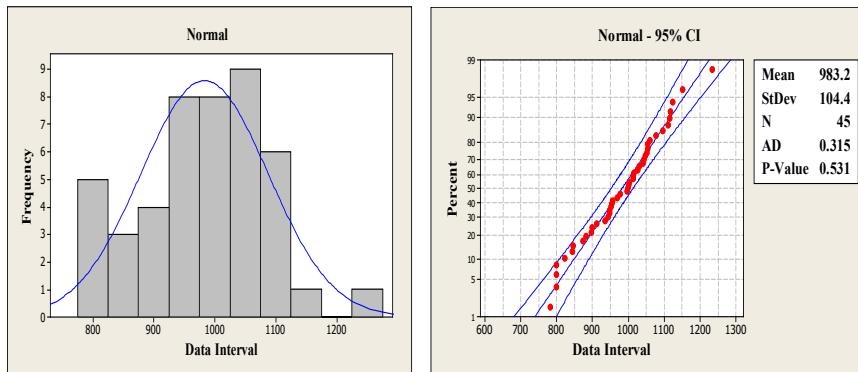
$$P\text{-value} = 1 / \left\{ 1 + \exp \left[-0.1 + 1.24 \ln(A^2) + 4.48 (A^2) \right] \right\} \quad (33)$$

در صورتی که آزمون در سطح اطمینان $(1-\alpha)$ درصد اجرا شود، اگر $\alpha > P\text{-Value}$ باشد شرط H_0 پذیرفته می‌شود، در غیرصورت این شرط رد خواهد شد. مقادیر آماره اندرسون - دارلینگ و همچنین مقادیر P-Value به ازای انجام آزمون فرض اندرسون - دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای هریک از توزیع‌های مربوط به تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تَب انجام شد که نمونه‌ای از خروجی نرم‌افزار در قالب شکل (۷) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، با توجه به این که نقاط به دست آمده تقریباً در امتداد خطی مستقیم قرار دارند و مقدار $P\text{-Value} = 0.531$ بزرگ‌تر از مقدار $\alpha = 0.05$ است، لذا تابع توزیع احتمال پیشنهادی برای اطلاعات گردآوری شده، مناسب است.

1. MINITAB.

2. Null-Hypothesis.

3. Observed Significance Level Probability Value (P-Value).

هیستوگرام^۲نمودار احتمال^۱

شکل ۷- نمونه‌ای از آزمون برازندگی انجام شده در نرم‌افزار مینی‌تب^۱

تابع توزیع آماری تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی حاصل از اجرای آزمون برازندگی در جدول (۱) ارائه شده است. جدول (۲) شامل هزینه برداشت روزانه از مزارع پرورش، هزینه نگهداری موجودی انواع ماهی زنده در مزارع پرورش، هزینه نگهداری موجودی انواع ماهی تازه در غرفه‌های فروش فعال در بازارهای توزیع ماهی و ماتریس هزینه حمل محصولات از مزارع به بازارهای توزیع ماهی است. ظرفیت نگهداری ماهی زنده در هر یک از مزارع پرورش و ظرفیت نگهداری ماهی تازه در هر یک از غرفه‌های فروش در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- توزیع آماری تقاضای فروشگاه‌های خرده‌فروشی در دوره فروش برای هر یک از انواع ماهی

	ماهی آمور			کیور معمولی			
	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3	
S 1	Normal (100,5)	Normal (110,10)	Normal (90,10)	S 1	Normal (95,5)	Normal (120,5)	Normal (110,15)
S 2	Normal (90,10)	Normal (100,10)	Normal (100,15)	S 2	Normal (100,5)	Normal (100,10)	Normal (100,5)
S 3	Normal (80,15)	Normal (95,15)	Normal (95,5)	S 3	Normal (110,10)	Normal (90,15)	Normal (90,5)
S 4	Normal (85,10)	Normal (90,5)	Normal (90,10)	S 4	Normal (100,15)	Normal (95,5)	Normal (105,10)
S 5	Normal (90,5)	Normal (85,10)	Normal (120,15)	S 5	Normal (115,10)	Normal (85,10)	Normal (110,5)

1. Probability plot.

2. Histogram.

کیور نقره ای			کیور سرگنده				
M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3		
S 1	Normal (95,10)	Normal (90,10)	Normal (100,10)	S 1	Normal (110,5)	Normal (90,15)	Normal (85,10)
S 2	Normal (110,15)	Normal (100,5)	Normal (85,5)	S 2	Normal (105,10)	Normal (100,10)	Normal (90,5)
S 3	Normal (120,10)	Normal (100,10)	Normal (90,10)	S 3	Normal (100,5)	Normal (85,10)	Normal (95,10)
S 4	Normal (90,15)	Normal (90,5)	Normal (95,5)	S 4	Normal (110,15)	Normal (90,5)	Normal (100,15)
S 5	Normal (85,10)	Normal (80,10)	Normal (100,15)	S 5	Normal (90,15)	Normal (85,10)	Normal (90,10)

جدول ۲- هزینه‌های مرتبط با زنجیره تأمین ماهی

F 1	هزینه برداشت روزانه	F 2	Grass Carp	هزینه نگهداری ماهی زنده	هزینه نگهداری ماهی تازه	هزینه حمل			
						M 1	M 2	M 3	
F 1	۴۰۰۰								
F 2	۴۲۰۰			۲	۱	F 1	۱۰۰	۸۰	۹۰
F 3	۴۵۰۰			۲	۰,۹	F 2	۸۰	۷۰	۱۱۰
F 4	۴۳۰۰			۱,۵	۰,۸	F 3	۹۰	۶۰	۱۰۰
F 5	۴۱۰۰			۱	۰,۷	F 4	۸۰	۶۰	۱۰۰
						F 5	۹۰	۷۰	۸۰

جدول ۳- ظرفیت نگهداری ماهی زنده و تازه در مزارع پرورش و غرفه‌های فروش

	ظرفیت نگهداری ماهی زنده				ظرفیت نگهداری ماهی تازه					
	Grass Carp	Carp Common	Carp Silver	Carp Big Head	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	
F 1	۵۵۰	۵۶۰	۵۴۰	۵۷۰	M 1	۴۰۰	۴۲۰	۴۳۰	۴۴۰	۴۰۰
F 2	۵۵۵	۵۵۰	۵۴۵	۵۵۵	M 2	۴۳۰	۴۴۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۳۰
F 3	۵۳۵	۵۴۰	۵۵۵	۵۶۵	M 3	۴۲۰	۴۴۰	۴۱۰	۴۰۰	۴۳۰
F 4	۵۵۰	۵۴۰	۵۴۵	۵۵۵						
F 5	۵۰۰	۵۲۰	۵۵۰	۵۴۰						

حداکثر دوره نگهداری ماهی زنده در مزارع پرورش و همچنین دوره نگهداری ماهی تازه در غرفه‌های فروش برابر با دو روز بوده و حداکثر ظرفیت حمل برای ماهی زنده برابر با ۵۰۰ کیلوگرم است. مقادیر موجودی ابتدای دوره برای ماهی زنده و ماهی تازه به ترتیب برابر با ۵۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم لحاظ شده‌اند. تعداد ذرات موجود در هر دسته برابر با ۳۰ و مقادیر پارامترهای C_1 و C_2 برابر با ۱/۴۹ است. ضریب w به گونه‌ای تنظیم شده که در طول فرآیند بهینه‌سازی مقدار آن از یک تا صفر تغییر می‌کند. اجرای مدل بر روی یک کامپیوتر شخصی با مشخصات Intel Core Due CPU (2.53GHz) & 4GB Memory، مشخص شد که اجرای یک دوره مدل و ارائه خروجی به‌طور متوسط سه دقیقه به طول می‌انجامد. بخشی از نتایج عددی مربوط به مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم در قالب جدول (۴) و (۵) ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از اجرای مدل دو سطحی برای روز پنجم از دوره فروش: مقادیر عرضه انواع ماهی زنده از هر یک مزارع پرورش به غرفه‌های فروش فعال در بازار ۱ (کیلوگرم)

بازار ۱				بازار ۱					
غرفه ۱				غرفه ۲					
	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	
F 1	۹۸	۹۳	۱۲۱	۱۱۵	F 1	۳۴	۱۲۰	۱۰۰	۲۴
F 2	۸۸	۱۱۵	۱۷۳	۱۱۱	F 2	۳۳	۱۱۳	۳۴	۱۲۰
F 3	۱۴۴	۵۱	۸۳	۱۹	F 3	۸۰	۱۱۴	۲۱۲	۹۴
F 4	۲۰۳	۱۸	۶۱	۴۳	F 4	۱۳۸	۸۵	۵۸	۱۲۰
F 5	۱۰۳	۳۷	۷۸	۹۴	F 5	۱۸۲	۱۷۶	۳۸	۶۵
بازار ۱				بازار ۱					
غرفه ۳				غرفه ۴					
	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	
F 1	۱۷	۴۲	۸۸	۶۳	F 1	۹۳	۹۰	۱۳۶	۱۳۸
F 2	۷۲	۲۸	۶۵	۱۱۷	F 2	۱۲۴	۵۵	۶۵	۲
F 3	۳۲	۷۱	۱۳	۲۳	F 3	۵۶	۱	۹۲	۱۴۶
F 4	۹۱	۲۲۵	۸۲	۲۳	F 4	۶۴	۴۰	۶۰	۶۸
F 5	۷۳	۷۰	۱۴۸	۱۵۹	F 5	۷۵	۱۱۱	۹۷	۶۳

بازار ۱				تعداد وسایل نقلیه برای حمل محموله‌های ماهی زنده از هریک از مزارع پرورش به بازار ۱	
غرفه ۵					
آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	تعداد ماشین‌هایی که با ظرفیت کامل	متغیر صفر و یک مربوط به ماشین با ظرفیت ناکامل
F 1	۸۳	۸۱	۱۱	F 1	۳
F 2	۱۲۲	۱۵۷	۴۸	F 2	۳
F 3	۱۰۴	۱۳۵	۸۴	F 3	۳
F 4	۸۲	۱۰۸	۱۱۶	F 4	۳
F 5	۴۳	۱۴۵	۱۱۵	F 5	۳

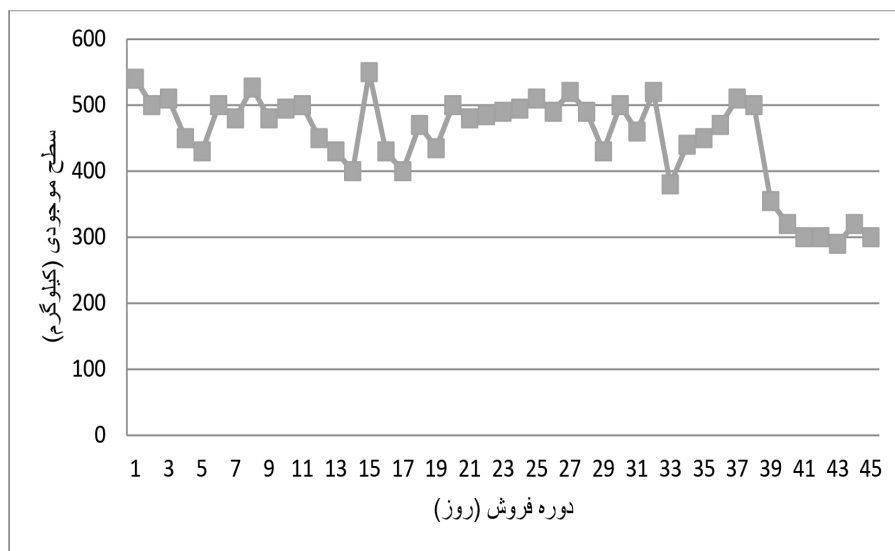
جدول ۵- نتایج حاصل از اجرای مدل دو سطحی برای روز پنجم از دوره فروش: مقادیر عرضه انواع ماهی تازه از هریک غرفه‌های فروش فعال در بازار ۱ به فروشگاه‌های خرده‌فروشی (کیلوگرم)

بازار ۱				بازار ۱				
فروشگاه ۱				فروشگاه ۲				
آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	
S 1	۳۵۴	۷۱	۱۸۹	۶۸	S 1	۰	۱۷۲	۰
S 2	۰	۱۰۴	۸۲	۲۸	S 2	۲۲۷	۲۸۱	۷۷
S 3	۷۱	۰	۳۷	۰	S 3	۰	۰	۵۰
S 4	۰	۶۶	۸۳	۰	S 4	۳۶	۸۵	۳۰
S 5	۰	۱۳۲	۳	۳۰	S 5	۷۹	۱۶۷	۷

بازار ۱				بازار ۱				
فروشگاه ۳				فروشگاه ۴				
آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده	
S 1	۲۷۱	۰	۰	۴۲	S 1	۰	۷۴	۱۰۹
S 2	۲۹۲	۰	۰	۶۴	S 2	۰	۵۳	۱۳۱
S 3	۵۶	۱۴۰	۱۹۲	۲۲۲	S 3	۸۰	۱۱۴	۰
S 4	۱۳۶	۲۷	۰	۱۴	S 4	۲۲۹	۱۱۰	۱۶۹
S 5	۱۴۴	۱۴۰	۶۱	۰	S 5	۸۲	۰	۷

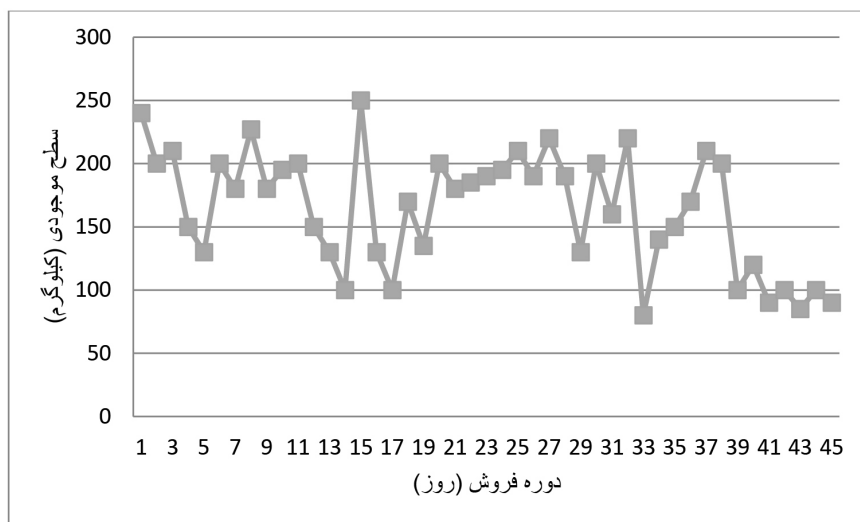
بازار ۱				
فروشگاه ۵				
	آمور	کپور معمولی	کپور نقره‌ای	کپور سرگنده
S 1	۰	۱۹	۵۵	۱۲۱
S 2	۳۱	۰	۱۶۳	۸۳
S 3	۰	۱۵۵	۰	۳۴
S 4	۰	۰	۲۶	۰
S 5	۸۸	۱۴۷	۷۱	۱۸۰

سطح موجودی ماهی آمور در مزرعه ۱ در کل دوره فروش در قالب شکل ۸ نشان داده شده است:



شکل ۸- سطح موجودی ماهی آمور در بازار ۱

با افزایش هزینه نگهداری هر واحد ماهی زنده از ۲ به ۴ واحد و اجرای مجدد مدل، سطح موجودی ماهی آمور در مزرعه ۱ در کل دوره فروش در قالب شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- تغییرات سطح موجودی ماهی آمور (کیلوگرم) در بازار ۱ با افزایش هزینه نگهداری

جمع‌بندی و ملاحظات

در این مقاله یک مدل دوسطحی از زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی در قالب مطالعه موردی بر زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی معرفی شد. الگوریتم PSO دوسطحی در راستای حل مدل دوسطحی توسعه داده شد؛ به طوری که ابتدا در سطح نخست از یک بهینه‌سازی دوسطحی با حل یک مسأله MINLP مقادیر عرضه انواع ماهی زنده از سوی مزارع پرورش ماهی تعیین می‌شود. سپس، بر مبنای مقادیر عرضه سطح نخست، پس از حل یک مسأله NLP مقادیر عرضه انواع ماهی تازه از سوی غرفه‌های فروش ماهی تعیین می‌شود. جهت اعتبارسنجی مدل، داده‌های مربوط به گروهی از مزارع پرورش و بازارهای توزیع ماهی در شمال کشور جمع‌آوری شد؛ نتایج اجرای مدل با داده‌های واقعی بیانگر کارایی مدل پیشنهادی جهت حل مسائل واقعی زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی است. در انتهای هر روز از دوره فروش، فروشگاه‌های خرده‌فروشی ماهی با باقی‌مانده مواد خام احشای ماهی (معمولاً ۱۰ تا ۲۵ درصد وزن ماهی را تشکیل می‌دهد) به‌عنوان ضایعات روبه‌رو خواهد بود. حفظ محیط‌زیست مهم‌ترین اصل مطرح در حوزه توسعه پایدار است؛

کمبود یک برنامه مدون برای مدیریت ضایعات مواد غذایی فاسدشدنی موجب وارد شدن صدمات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست می‌شود. بنابراین، با افزودن یک شبکه زنجیره تأمین معکوس^۱ به شبکه زنجیره تأمین ماهیان پرورشی گرم‌آبی در راستای جمع‌آوری ضایعات از سطح فروشگاه‌های خرده‌فروشی، یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه حاصل می‌شود که مطالعه ویژگی‌های آن مفید خواهد بود.

منابع

- تیموری، ابراهیم و هاشمی‌علیا، هاله (۱۳۸۷)؛ «به‌کارگیری پویایی‌های سیستمی در تجزیه، تحلیل و بهبود زنجیره تأمین قطعات یدکی شرکت ایران خودرو»، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ش ۴۹، صص ۱۹۹-۲۲۱.
- Ahmadi, A.; F. Karray and M.S. Kamal (2010); "Flocking Based Approach for Data Clustering", *Natural Computing*, no. 9, pp. 791-967.
- Amorim, P.; H. O. Gunther & B. Almada (2012); "Multi-objective Integrated Production and Distribution Planning of Perishable Products", *International Journal of Production Economics*, no.138. pp. 89-101.
- Ahumada, O. & J.R. Villalobos (2011); "Operational Model for Planning the Harvest and Distribution of Perishable Agricultural Products", *International Journal of Production Economics*, no. 133, pp. 677-687.
- Bard, J. F. (1991); "Some Properties of the Bi-Level Programming Problem", *Journal of Optimization Theory & Applications*, no.68, pp. 371-378.
- Bard, J. F. (1998); "Practical Bi-Level Optimization", *Algorithms and Applications*, Boston: Springer, no. 30.
- Chen, H.K.; C.F. Hsueh & M.S. Chang (2009); "Production Scheduling and Vehicle Routing with Time Windows for Perishable Food Products", *Computers & Operations Research*, no. 36, pp. 2311-2319.
- Colson, B.; P. Marcotte & G. Savard (2007); "An Overview of Bi-level Optimization", *Annals of Operations Research*, no. 153, pp. 235-256.
- Diabat, A.; T. Abdallah & T. Le (2014); "A Hybrid Tabu Search Based Heuristic for the Periodic Distribution Inventory Problem with Perishable Goods", *Annals of Operations Research*.
- Fliege, J. & L. N. Vicente (2006); "Multi-criteria Approach to Bi-level Optimization", *Journal of Optimization Theory and Applications*, no. 131, pp. 209-225.
- Glock, C.H. & T. Kim (2015); "The Effect of Forward Integration on a Single-vendor–multi-retailer Supply Chain under Retailer Competition", *International Journal of Production Economics*. no. 164, pp. 179–192.
- Govindan, K.; A. Jafarian; R. .Khodaverdi & K. Devika (2014); "Two-echelon Multiple-Vehicle Location–Routing Problem with Time Windows for Optimization of Sustainable Supply Chain Network of Perishable Food", *International Journal of Production Economics*, no. 152, pp. 9–28.
- Guo, Z.; D. Zhang; S.Y.S. Leung & L. Shi (2016); "A Bi-level Evolutionary Optimization Approach for Integrated Production and Transportation Scheduling", *Applied Soft Computing*, no. 42, pp. 215-228.
- Hansen, P.; B. Jaumard & G. Savard (1992); "New Branch and Bound Rules for Linear Bi-Level Programming", *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, no.13,

- pp. 1194-1217.
- Kennedy, J. & R. Eberhart (1995); "Particle Swarm Optimization", In: IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, pp.1942-1948.
- Kennedy, J. & R. Eberhart (1997); "A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm", In: IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, pp. 4104-4108.
- Kumoi, Y. & N. Matsubayashi (2014); "Vertical Integration with Endogenous Contract Leadership: Stability and Fair Profit Allocation", *European Journal of Operational Research*, no, 238, pp. 221-232.
- Li, Y.; A. Lim & B. Rodrigues (2009); "Pricing and Inventory Control for a Perishable Product", *Manufacturing & Service Operations Management*, no.1, pp. 538-542.
- Lin, D. Y. & M. H. Wu (2016); "Pricing and Inventory Problem in Shrimp Supply Chain: A Case Study of Taiwan's White Shrimp Industry", *Aquaculture*, no.456, pp. 24-35.
- Mohammad, A. & Q. Wang (2016); "The Fuzzy Multi-Objective Distribution Planner for a Green Meat Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, In press, Accepted Manuscript.
- Vicente, L.; G. Savarg and J. Judice (1994); "Descent Approaches for Quadratic Bilevel Programming", *Journal of Optimization Theory and Applications*, no. 81(2), pp. 379-399.
- Jouzani, J.; S. J. Sajadi & M. Fathian (2013); "Dynamic Dairy Facility Location and Supply Chain Planning under Traffic Congestion and Demand Uncertainty: A Case Study of Tehran", *Applied Mathematical Modeling*, no.37, pp. 8467-8483
- Simchi-Levi, D.; P. Kaminsky & E. Simchi-Levi (2008); *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*, third ed., Mc Graw Hill, New York.
- Stackelberg, H. (1952); *The theory of Market Economy*, Oxford University Press.
- Soysal, M.; J.M. Bloemhof-Ruwaard & J.G.A.J. Vander Vorst (2014); "Modelling Food Logistics Networks with Emission Considerations: The Case of an International Beef Supply Chain", *International Journal of Production Economics*, no.152, pp. 57-70.
- Yue, D. & F. You (2014); "Game-theoretic Modeling and Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Design and Operation under Stackelberg Game and Market Equilibrium", *International Journal of Computers and Chemical Engineering*, no.71, pp. 347-361.
- Osvald, A. & L.Z. Strin (2008); "Supply Chain Coordination with Information Sharing: The Informational Advantage of GPOs", *European Journal of Operational Research*, no. 256, pp. 785-802.
- Zanoni, S. & L. Zavanella (2007); "Single-vendor Single-buyer with Integrated Transport-Inventory System: Models and Heuristics in the Case of Perishable Goods", *Computers & Industrial Engineering*, no. 52, pp. 107-123.