International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2014)

August 2014, Volume 25, Number 2
pp. 217-235

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Fuzzy Mathematical Programming Model for a Supply Network Design of Raw Materials under Uncertainty – A Case Study

M. Amirkhan, A. Norang* & R. Tavakkoli-Moghaddam

Mohammad Amirkan, *M.Sc., Department of Industrial Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. m.amirkhan.ie@gmail.com*
Ahmad Norang*, *Assistance Professor, Department of Industrial Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran. a.norang@gmail.com*
Reza Tavakkoli-Moghaddam, *Professor, Department of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. tavakoli@ut.ac.ir*

Keywords

Network design,
Supply chain, Uncertainty,
Fuzzy programming

ABSTRACT

With respect to environmental and business conditions, the issue of designing a supply chain network has attracted lots of attention of many researchers during the recent years. On the other hand, the presence of uncertainties in these networks led many researchers to work on identification of uncertainties and considering them in their models followed by developing the appropriate decision making approaches. In this paper, using fuzzy set theory, a bi-objective mixed-integer linear programming model for supply network of raw materials of a food industries complex is proposed and with respect to this complex. In addition to cost factor, two effective and important factors (i.e., quality and time) are considered in this model. Furthermore, both parameters and constraints are considered in fuzzy. To solve the presented model, a two-phase fuzzy approach is used, Such that the results indicate the total costs of complex, the quantity of purchasing, the raw materials transported between facilities, the inventory of raw materials, backorder or surplus delivery of raw materials to complex and suppliers used in each period for the complex and intermediaries.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 2, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Ahmad Norang**
Email: *a.norang@gmail.com*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۵، شهـــریور ۱۳۹۳
صفحـــه ۲۳۵-۲۱۸

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارایه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی برای مسأله طراحی شبکه تأمین مواد اولیه تحت شرایط عدم قطعیت – یک مطالعه موردی

محمد امیرخان، احمد نورنگ* و رضا توکلی مقدم

کلمات کلیدی

طراحی شبکه، زنجیره تأمین،
عدم قطعیت،
برنامه‌ریزی فازی

چکیده:

مسأله طراحی شبکه در زنجیره تأمین با توجه به شرایط تجاری و محیطی، توجه بسیاری از پژوهشگران را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. همچنین عدم قطعیت‌های موجود در این شبکه‌ها، بسیاری از محققین را بر آن داشته است که با توسعه رویکردهای تصمیم‌گیری مناسب، این عدم قطعیت‌ها را شناسایی کرده و آن‌ها را در مدل‌های خود لحاظ نمایند. در این مقاله با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه جدید برای شبکه تأمین مواد اولیه یک مجتمع صنایع غذایی ارایه شده است. با توجه به مطالعه موردی مورد نظر، علاوه بر عامل هزینه، دو عامل مهم و اثرگذار کیفیت و زمان نیز در مدل لحاظ شده است. در این مدل، هم محدودیت‌ها و هم پارامترهای مسأله از نوع فازی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل مذکور، از یک رویکرد فازی دو مرحله‌ای استفاده شده است که نتایج حاصل از آن مشخص کننده هزینه‌های کارخانه، مقدار خرید، مقدار انتقال مواد اولیه بین تسهیلات، میزان موجودی مواد اولیه، میزان کمبود و مازاد مواد اولیه تحویل داده شده به کارخانه و تأمین‌کنندگان استفاده شده در هر دوره برای کارخانه و بخش واسطه‌ها می‌باشد.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر بسیاری از محققین به مبحث زنجیره تأمین پرداخته‌اند. یکی از بخش‌های مهم زنجیره تأمین، طراحی شبکه زنجیره تأمین است و با توجه به اهمیت جریان مواد در زنجیره تأمین از میان جریان‌های سه گانه مالی، اطلاعاتی و مواد، مدلسازی جریان مواد در زنجیره از اهمیت خاصی برخوردار است. هچنین قابل ذکر است که در فرآیندهای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، عدم قطعیت عامل مهمی است که می‌تواند روی کارایی و اثربخشی زنجیره‌های تأمین اثرگذار باشد؛ لذا وجود پارامترها و محدودیت‌های غیرقطعی در مسأله و نحوه مواجهه با آن‌ها در فرآیند مدلسازی از چالش‌های بزرگ مدیران این بخش می‌باشد.

تاریخ وصول: ۹۰/۱۲/۱۷
تاریخ تصویب: ۹۱/۷/۸

محمد امیرخان، دانش آموخته گروه مهندسی صنایع، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه امام حسین (ع)، *m.amirkhan.ie@gmail.com*
*نویسنده مسئول مقاله: **دکتر احمد نورنگ**، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه امام حسین (ع)، *a.norang@gmail.com*
رضا توکلی مقدم، استاد گروه مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، *tavakoli@ut.ac.ir*

از طرفی دیگر، در دنیای تجاری و اقتصادی کنونی، مدیریت هزینه یک سلاح استراتژیک مهم می‌باشد. خرید کالاها و خدمت-رسانی خارج از سازمان، بیش از ۶۰% هزینه کل شرکت‌ها را شامل می‌شود. صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌تواند با بکارگیری استراتژی‌های خرید بطور مؤثر صورت پذیرد. هر چند در سال‌های اخیر، به بخش خرید، متناسب با سهم آن در قیمت تمام شده کالا، توجه چندانی صورت نگرفته است. برنامه‌ریزی نامناسب، ارتباط ضعیف بین بخش‌های درگیر در تأمین مواد و تجهیزات و ارزیابی عملکرد ضعیف، از مهمترین مشکلات مرتبط با فعالیت-های تدارک و خرید می‌باشد [۱]. شایان ذکر است که در هر صنعتی، شبکه تأمین مهمترین عنصر جهت تولید محصول محسوب می‌شود، چرا که یک محصول، حاصل تعداد زیادی قطعه و مجموعه است که در مراکز متعدد و متنوع تولید با پراکندگی جغرافیایی متفاوت تولید می‌شود. حال اگر این صنعت مرتبط با مواد غذایی باشد، اهمیت موضوع دوچندان می‌گردد، زیرا ویژگی-های خاص محصولات غذایی شرایطی را حاکم می‌کند که باعث سختی کار برای محققان در این زمینه می‌گردد.

در این مقاله، یک مدل ریاضی برای جریان مواد اولیه و قطعات در شبکه تأمین مواد اولیه یک مجتمع صنایع غذایی ارایه می‌گردد

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

که به موجب آن هزینه‌های ناشی از جریان مواد اولیه و قطعات از تأمین‌کنندگان تا کارخانه برای تولید محصولات اصلی، با در نظر گرفتن دو عامل زمان و کیفیت کاهش یابد. البته بین ایستگاه‌های ابتدا و انتها، ایستگاه‌های واسطه وجود دارد که این ایستگاه‌ها، شامل انبارهای دارای هزینه می‌باشد. همچنین در این مقاله از تئوری مجموعه‌های فازی برای مدلسازی عدم قطعیت‌های موجود در مسأله استفاده شده است، بگونه‌ای که این عدم قطعیت‌ها هم در پارامترها و هم در محدودیت‌های مسأله مشاهده می‌شود. مدل ارایه شده مدل جدیدی می‌باشد که ضمن در نظر گرفتن دو عامل زمان و کیفیت، هزینه‌های شبکه را کمینه می‌کند. برای حل مدل ارایه شده نیز یک رویکرد حل دو مرحله‌ای پیشنهاد شده است.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲ ادبیات موضوع بررسی شده و در بخش ۳ به بیان مسأله و تشریح مطالعه موردی پرداخته شده است. مدلسازی مسأله و ارایه رویکرد حل به ترتیب در بخش‌های ۴ و ۵ صورت گرفته و در بخش ۶ نتایج محاسباتی نمایش داده شده است و سرانجام در بخش ۷ نتایج تحقیق ارایه و برخی زمینه‌ها برای تحقیقات آتی پیشنهاد شده است.

۲. بررسی ادبیات موضوع

مسأله طراحی شبکه یکی از مهمترین تصمیمات در زنجیره تأمین می‌باشد که اغلب با دشواری‌های زیادی همراه است. برای غلبه بر پیچیدگی چنین مسایلی، محققان گذشته شبکه مذکور را به چند بخش تجزیه کرده‌اند. جانگ و همکاران [۲] مسأله طراحی شبکه را به سه زیرشبکه تقسیم کردند: (۱) اولین زیر شبکه، شبکه وارد شونده است که شامل عرضه‌کنندگان مواد اولیه، قطعات ساخته - شده، اجزای خدماتی و هر عرضه دیگری به کارخانه‌های تولیدی می‌باشد. این شبکه با روابط فهرست مواد سراسری میان نهادهای مستقل شرکت‌کننده مشخص می‌شود، (۲) دومین زیر شبکه شامل کارخانه‌های تولیدکننده محصولات نهایی و تسهیلات توزیع، مانند انبارها و مراکز توزیع می‌باشد. محصولات نهایی از کارخانه‌های مونتاژ نهایی به واسطه‌ی کانال‌های توزیع به خرده فروشان انتقال داده می‌شوند. (۳) سومین زیر شبکه، شبکه خارج شونده است که شامل مشتریان و مراکز توزیع نزدیک به مشتریان می‌باشد. این زیرشبکه تقاضا را برای محصول یا خدمت ایجاد می- کند. در زمینه طراحی شبکه در زنجیره تأمین تحقیقات مختلفی تاکنون صورت گرفته است. کروم و همکاران [۳] مروری جامع بر ادبیات زنجیره تأمین انجام داده‌اند. این مقاله ادبیات مربوط به مدیریت زنجیره تأمین را بر اساس محتویات و روش‌شناسی بکار رفته طبقه‌بندی می‌کند. پیدرو و همکاران [۴] ادبیات مرتبط با روش‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تحت شراط عدم قطعیت را برررسی نمودند، بگونه‌ای که یک طبقه‌بندی از مدل‌های ارایه شده طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۷ ارایه کردند. در این قسمت مسایل مرتبط با طراحی شبکه زنجیره تأمین مورد بررسی قرار می‌گیرد، بگونه‌ای که ابتدا معیارهای طبقه‌بندی بیان شده و سپس یک سیستم کدگذاری جدید برای طبقه‌بندی معیارها ارایه می‌شود و در نهایت تحقیقات انجام شده در زمینه مورد نظر در جداول کدگذاری قرار داده می‌شوند. برای این منظور مسایل طراحی شبکه زنجیره تأمین مطابق با شش ویژگی تعریف مسأله و مفروضات، محدودیت‌ها، خروجی‌ها، اهداف، روش حل و کاربرد صنعتی طبقه‌بندی شده‌اند. یک سیستم کدگذاری مبتنی بر جدول (۱) ارایه شده است و مدل‌های بررسی شده از ادبیات موضوع بر اساس این سیستم در جدول (۲) کدگذاری شده‌اند. با بررسی این جدول به این نکته پی می‌بریم که اکثر تحقیقات انجام شده در قسمت توزیع و تولید می‌باشد و به قسمت تأمین کمتر پرداخته شده است. تحقیقات گذشته بیشتر در حالت قطعی صورت گرفته و به حالت عدم قطعیت کمتر پرداخته شده است. بیشترین اهداف استفاده شده کمینه کردن هزینه‌ها و بیشینه کردن سطح خدمت‌رسانی می‌باشد و اهداف دیگر همچون بیشینه کردن مقدار کل خرید کمتر استفاده شده است. همچنین با بررسی مدل‌های طراحی شده در زمینه مربوطه، مشاهده می‌شود که به مدل‌های چند هدفه که علاوه بر هزینه، دو عامل مهم زمان و کیفیت را بر روی یک مطالعه موردی از نوع صنایع غذایی لحاظ کرده باشد، بگونه‌ای که محدودیت‌ها و پارامترهای مسأله هر دو به صورت فازی باشند، پرداخته نشده است. با توجه به آنکه مطالعه موردی این مقاله یک مجتمع صنایع غذایی می‌باشد، لذا باید مدلی ارایه گردد که هر سه عامل (هزینه، زمان و کیفیت) را لحاظ کرده باشد. البته عامل هزینه تقریباً در همه مدل‌ها بکار رفته است، ولی استفاده از رویکرد هزینه‌گذاری مبتنی بر فعالیت[1] (ABC) و هزینه مالکیت کل[2] (TCO) برای مدلسازی هزینه‌ها به ندرت مورد توجه قرار گرفته است، که در این مقاله از آن استفاده شده است. لحاظ کردن سیاست تحویل به موقع[3] (JIT) در مدل از دیگر ویژگی‌هایی است که در کارهای مشابه کمتر دیده شده است. همچنین با توجه به آنکه مدل‌های ریاضی عمدتاً از دید کمی مسائل را بررسی می‌کنند و بعد کیفی مسأله را چندان دربر نمی‌گیرند، لذا در این تحقیق از فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی[4] (AHP) که یک رویکرد کیفی است برای رتبه-

[1] *Activity-based Costing*
[2] *Total Cost of Ownership*
[3] *Just in Time*
[4] *Analytic Hierarchy Process*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

بندی و امتیازدهی تأمین‌کنندگان استفاده شده است که این امتیازات در ضرایب تابع هدف دوم بکار رفته است.

تعیین محدودیت زمانی بر روی موجودی انبار با در نظر گرفتن طول عمر مواد اولیه و اعمال سیاست خرید از برخی تأمین-کنندگان خاص بنا به علل مختلف (مانند تحریم، شرایط سیاسی، شرایط اقتصادی و غیره) از دیگر مواردی می‌باشد که در مدل‌های مشابه مشاهده نشده است.

لحاظ کردن شرایط عدم قطعیت هم در پارامترها و هم در محدودیت‌های مدل از دیگر مواردی است که در ادبیات کمتر مشاهده شده، در حالیکه در این مقاله به آن پرداخته شده است. چند کالایی، چند سطحی، چند دوره‌ای و چند هدفه بودن از مهمترین ویژگی‌های مسائل زنجیره تأمین واقعی است که در اکثر مدل‌های قبلی برای سادگی کار بعضی از ویژگی‌ها نادیده گرفته شده است، در حالیکه همه این ویژگی‌ها در مدل تحقیق حاضر گنجانده شده است.

جدول ۱. دسته‌بندی معیارها و راهنمای کدگذاری

تعریف مسأله و فرضیات (**P**)	سطح برنامه‌ریزی	استراتژیک	St
		تاکتیکی	Ta
		عملیاتی	Op
	تعداد محصولات	تک محصولی	SPr
		چند محصولی	MPr
		تک منبعی	SS
	سطوح مورد بررسی در زنجیره	تأمین	Sup
		تولید	Pro
		توزیع	Dis
	قطعیت داده‌ها	همه قطعی	Cr
		حداقل یک غیرقطعی	U
	تعداد دوره‌ها	تک دوره‌ای	SP
		چند دوره‌ای	MP
	مواد اولیه	چندگانه	MRM
		تکی	SRM
	تعداد توابع هدف	تک هدفه	SOb
		چند هدفه	MOb
	ساختار مدل	خطی	L
		غیر خطی	NL
	جریان فیزیکی	رو به جلو	F
		معکوس و یا دو طرفه	IL
محدودیت‌ها (**C**)	تأمین کل تقاضا		DS
	ظرفیت تسهیلات		UC
	زمان و فاصله مجاز برای تحویل کالا		TG
	تعداد تسهیلات مجاز به راه‌اندازی		UN
	پنجره زمانی		TW
	سطح خدمت انبارها		SS
خروجی‌ها (**V**)	مکان‌یابی تسهیلات		FL
	میزات تولید		PQ
	میزان حمل مواد بین تسهیلات		TQ
	روش حمل		TM
	تخصیص تقاضا		DD
	موجودی		In
	مسیریابی وسایل حمل		Ro
اهداف(**O**)	کمینه کردن هزینه یا بیشینه کردن سود		C
	بیشینه کردن سطح خدمت‌رسانی		CLC
	تعادل بین رده‌ها		B
	بیشینه کردن سطح استواری تصمیمات		RO
	بیشینه‌کردن مقدار کل خرید		VP
روش حل (**S**)	روش‌های دقیق		Ex
	روش‌های ابتکاری		Hu
	روش‌های فراابتکاری		MHu
کاربرد صنعتی(**IA**)	دارای مطالعه موردی		Y-IA
	بدون مطالعه موردی		N-IA

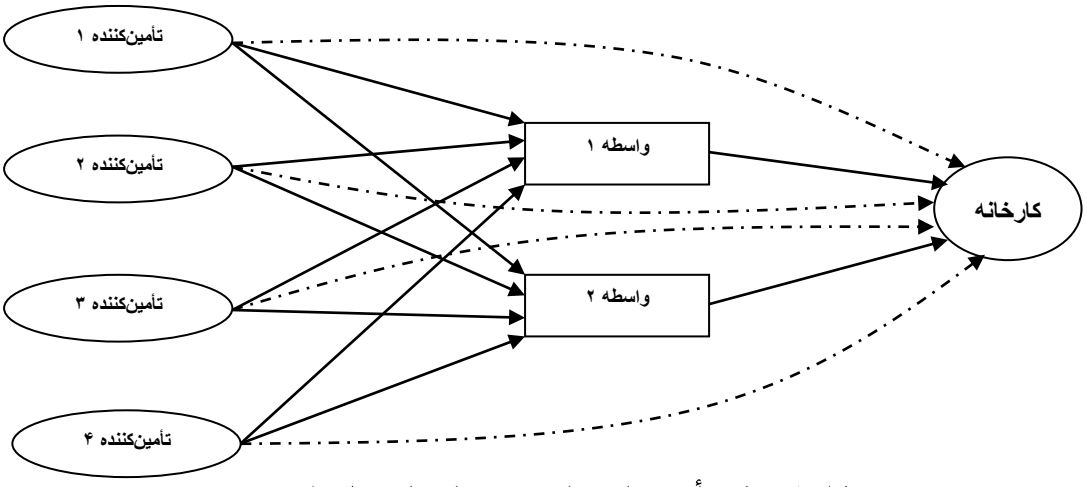
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

جدول ۲. کدگذاری مقالات بررسی شده

مراجع	(کاربرد صنعتی / روش حل / اهداف / خروجی‌ها / محدودیت‌ها / تعریف مسأله)کد مقالات
[۵]	St, Op, MPr, SS, Dis, Cr, SP, SOb, NLP, F/ DS, UC/ FL, TM/ C, CLC/ Hu/ Y-IA
[۶]	Ta, MPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, NLP, F/ DS, UC/ PQ, TQ, In/ C,CLC, B, RO/ Hu/ N-IA
[۷]	St, Op, SPr, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, SRM, SOb, LP, F/ DS, UC, UN/ PQ, TQ, FL/ C/ MHu/ N-IA
[۸]	Ta, MPr, Pro, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F/ UC, TG/ PQ, TQ/ C, CLC/ Ex/ N-IA
[۹]	St, Op, SPr, SS, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, MRM, SOb, LP, F/ DS, UC, UN, SS/ FL, PQ, TQ, DD/ C/ Hu/ Y-IA
[۱۰]	St, SPr, Dis, U, SP, SOb, LP, F/ DS, UC, UN/ FL, TQ/ C/ Hu/ N-IA
[۱۱]	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, SOb, LP, F/ DS, UC/ PQ, TQ, In/ C/ Ex/ Y-IA
[۱۲]	Ta, MPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, LP, F/ DS, UC/ PQ, TQ, In/ C, CLC/ Hu/ Y-IA
[۱۳]	Ta, Op, MPr, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F/ UC/ TQ/ C, CLC/ MHu/ N-IA
[۱۴]	St, Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, MRM, SOb, LP, F/ DS, UC/ FL, TQ/ C/ Ex/ N-IA
[۱۵]	Ta, SPr, Dis, Cr, MP, SOb, LP, F/ DS, UC/ In, TQ/ C/ Ex/ N-IA
[۱۶]	St, Ta, SPr, SS, Dis, Cr, SP, MOb, LP, F/ DS, UC/ FL, TQ, TM/ C, CLC/ Ex/ N-IA
[۱۷]	St, Ta, Op, MPr, Pro, Dis, Cr, SP, SOb, LP, F/ UC, DS/ FL, PQ, TQ/ C/ Ex/ Y-IA
[۱۸]	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, MOb, LP, F/ DS, UC, TG/ PQ, TQ, In/ C, VP/ Hu/ Y-IA
[۱۹]	St, Ta, SPr, Pro, Dis, Cr, SP, SOb, LP, IL/ DS/ FL, PQ, TQ/ C, CLC/ Hu, Ex/ N-IA
[۲۰]	St, Ta, SPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, LP, IL/ DC, UC/ FL, PQ, TQ/ C, CLC/ Hu, Ex/ N-IA
[۲۱]	St, Ta, SPr, Dis, Cr, SP, SOb, NLP, F/ DS, TG/ FL, TQ, TM, RO/ C, CLC/ Hu/ Y-IA
[۲۲]	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, MOb, LP, F/ DS, UC, TG/ PQ, TQ, In/ C, VP, CLC/ Hu, Ex/ Y-IA
[۲۳]	St, Ta, MPr, Pro, Dis, U, SP, MOb, NLP, IL/ FL, PQ, TQ/ C, CLC/ Ex/ Y-IA
[۲۴]	St, Ta, MPr, Dis, U, SP, MOb, LP, F/ DS, UC/ FL, TQ/ C, CLC/ MHu/ N-IA
[۲۵]	St, Ta, SPr, Sup, Pro, Dis, U, SP, SOb, LP, F/ DS, UC, UN, SS/ FL, DD, PQ, TQ, In/ RO/ Hu, Ex/ N-IA
[۲۶]	Ta, Op, MPr, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F/ UC/ TQ/ C, CLC/ MHu/ N-IA

جدول ۳. کدگذاری مدل مقاله حاضر

(کاربرد صنعتی / روش حل / اهداف / خروجی‌ها / محدودیت‌ها / تعریف مسأله)
St, Ta, MPr, Sup, U, MP, MRM, MOb, LP, F / UC, TG / TQ, TM, In / C, CLC, VP / Hu, Ex / Y-IA



شکل ۱. شبکه تأمین ماهی‌های مورد نیاز برای تولید کنسرو در مجتمع

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

۳. تعریف مسأله و مطالعه موردی

توجه به زنجیره تأمین مواد اولیه یک مجتمع صنایع غذایی با توجه به نوع محصولات آن شرکت از اهمیت بسزایی برخوردار است. مجتمع مورد نظر در این مقاله در زمینه تولید انواع کنسرو گوشتی و غیرگوشتی با ماهیت غذاهای سنتی و فرنگی، کنسرو ماهی، فرآورده‌های پروتئینی سرخ شده و منجمد فعالیت می‌کند. تأمین مواد اولیه با لحاظ کردن معیارهای مورد نظر کارخانه از مهمترین چالش‌های بخش خرید این مجتمع می‌باشد. نمونه‌هایی از مواد اولیه ورودی به این مجتمع عبارتند از ماهی، گوشت، مرغ، حبوبات، بلدرچین، سیب‌زمینی، هویج، قارچ، بادمجان، رب، آبلیمو، روغن، ادویه‌جات، قوطی و ... . در این مجتمع ماهی به صورت "ماهی خانواده تن" و "ماهی قزل‌آلا" مورد استفاده قرار می‌گیرد. ماهی خانواده تن جهت تولید کنسرو ماهی و ماهی قزل-آلا جهت تولید کنسرو قزل‌آلای سرخ شده استفاده می‌شود. ماهی‌های وارده جهت استفاده در تولید کنسرو تن ماهی عبارتند از دو نوع گیدر و هوور مسقطی. در این تحقیق، دو نوع ماهی گیدر و ماهی هوور مسقطی وارد شده به مجتمع جهت استفاده در تولید کنسرو تن ماهی به عنوان مواد اولیه به کار رفته در مدل نهایی انتخاب شده است. شبکه تأمین این دو ماهی در شکل (۱) نشان داده شده است. تأمین‌کننده ۱ در چابهار و تأمین‌کننده ۲ در بندر عباس قرار دارد و تأمین‌کنندگان ۳ و ۴ تأمین‌کنندگانی می‌باشند که ماهی‌های وارداتی را عرضه می‌کنند و همچنین تأمین‌کنندگان واسطه در تهران واقع می‌باشند.

در این مقاله، یک مدل ریاضی برای جریان مواد در شبکه تأمین مواد اولیه یک مجتمع صنایع غذایی ارایه شده است. مدل مذکور یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط می‌باشد که چندین کالا را با تقاضاهای مختلف در یک افق چند دوره‌ای از طریق دو کانال مستقیم (از تأمین‌کنندگان به کارخانه) و غیرمستقیم (از تأمین‌کنندگان به واسطه‌ها و سپس به کارخانه) انتقال می‌دهد. دو تابع هدف در این مسأله در نظر گرفته شده است. تابع هدف اول، هزینه‌های اتنخاب تأمین‌کننده، خرید، حمل و نقل، نگهداری کالاها و نیز هزینه‌های زودکرد و دیرکرد کالاهای تحویلی را کمینه می‌کند و تابع هدف دوم، با در نظر گرفتن عامل کیفیت، مقدار کل کالاهای خریداری شده را بیشینه می‌کند. به منظور کمینه‌کردن هزینه‌ها در تابع هدف اول از مفاهیم هزینه-یابی مبتنی بر فعالیت و هزینه مالکیت کل استفاده شده است و برای تابع هدف دوم نیز از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. سه عامل هزینه، زمان و کیفیت هم در توابع هدف و هم در محدودیت‌ها لحاظ شده است که آن از ویژگی‌هایی است که این مقاله را سایر مقالات مشابه جدا می‌کند. لازم به ذکر است که از ۱۵ عبارت استفاده شده در تابع هدف اول (رابطه‌ی شماره (۱))، ۱۱ عبارت اول مرتبط با هزینه می‌باشد و ۴ عبارت آخر مرتبط با زمان می‌باشد که این تحقیق با قراردادن جریمه برای مقدار کالای تحویل داده شده دارای تأخیر یا زودکرد، ضمن اعمال سیاست *JIT* بدین صورت عامل زمان را به جنس هزینه تبدیل کرده است و با این روش هر دو عامل هزینه و زمان در یک تابع هدف (بجای دو تابع هدف) آورده است. همچنین در تابع هدف دوم به منظور تعیین ضرایب، با استفاده از *AHP* تأمین-کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند، بگونه‌ای که هر تأمین‌کننده‌ی دارای رتبه‌ی بالاتر (و در نتیجه با کیفیت‌تر) از مقدار امتیاز بالاتر و در نتیجه از ضریب عددی بیشتری در تابع هدف نسبت به بقیه تأمین‌کنندگان برخوردار می‌باشد که به موجب آن، تأمین‌کننده مذکور از اولویت بالاتری برای فروش کالاهای خود نسبت به بقیه برخوردار می‌شود. در بخش محدودیت‌ها نیز همواره این سه عامل (هزینه، زمان و کیفیت) مد نظر قرار گرفته است که توضیحات آن در انتهای بخش ۳-۴ آورده شده است.

برای مدل‌کردن پارامترهای غیرقطعی و روابط نامساوی مسأله از تئوری مجموعه‌های فازی استفاده شده است. خروجی مسأله مشخص کننده مقدار خرید مواد اولیه از هر تأمین‌کننده یا واسطه با در نظر گرفتن عوامل زمان و کیفیت، مقدار انتقال مواد اولیه بین تسهیلات، میزان موجودی مواد اولیه، میزان کمبود و مازاد مواد اولیه تحویل داده شده به کارخانه و تأمین‌کنندگان استفاده شده در هر دوره و نیز تأمین‌کنندگان استفاده شده در کل دوره برنامه‌ریزی می‌باشد.

با در نظر گرفتن مطالب عنوان شده، ویژگی‌ها و شرایط سازمان مورد مطالعه و بر اساس جدول (۱)، ویژگی‌های مقاله حاضر در جدول (۳) کدگذاری شده است.

۴. مدلسازی مسأله

مدل این تحقیق مبتنی بر شبکه نمایش داده شده در شکل (۱) می‌باشد. مدل حاضر یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط فازی می‌باشد که در این قسمت ابتدا مجموعه‌ها و اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها بیان و سپس مدل ریاضی مسأله تشریح می‌گردد. مفروضات در نظر گرفته شده در مدل عبارتند از:

۱- محصولات به واسطه ساز و کار کششی در زنجیره جابجا می‌شوند.

۲- هزینه خرید و حمل با هم و در بخش هزینه‌های سطح واحد محاسبه می‌گردد.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

۳- با توجه به ماهیت مسأله، برای تأمین‌کنندگان رده دوم محدودیت عرضه در نظر گرفته نشده است.
۴- متغیرهای مسأله قطعی و غیرفازی می‌باشند.

۴-۱. مجموعه‌ها و اندیس‌ها

J	مجموعه تأمین‌کننده‌ها ($j = 1, \dots, J$)
K	مجموعه واسطه‌ها (انبار) ($k = 1, \dots, K$)
T	مجموعه دوره‌های زمانی ($t, \tau = 1, \dots, T$)
P	مجموعه کالاها ($p = 1, \dots, P$)
$S = J \cup K$	مجموعه تأمین‌کنندگان و واسطه‌ها
$S_1 \subseteq S$	زیرمجموعه‌ای از مجموعه تأمین‌کنندگان و واسطه‌ها
$J_1 \subseteq J$	زیرمجموعه‌ای از مجموعه تأمین‌کنندگان

۴-۲. پارامترها و متغیرهای تصمیم

پارامترها:

slc^1 هزینه‌های کل سطح تأمین‌کننده در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

slc_j^{11} هزینه‌های کل مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده j در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

slc_j^{11} هزینه‌های کل مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده j در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

slc_k^{12} هزینه‌های کل مرتبط با انتخاب واسطه k در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

olc^1 هزینه‌های کل سطح سفارش در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

$olc_j^{11}(t)$ هزینه‌های کل مرتبط با ایجاد یک سفارش از تأمین‌کننده j در دوره t در قسمت کارخانه

$olc_k^{12}(t)$ هزینه‌های کل مرتبط با ایجاد یک سفارش از واسطه k در دوره t در قسمت کارخانه

ulc^1 هزینه‌های کل سطح واحد در قسمت کارخانه در طی افق برنامه‌ریزی

$\tilde{c}_{pj}^{11}(t)$ هزینه خرید و انتقال هر واحد کالای p از تأمین‌کننده j به کارخانه در دوره t

$\tilde{c}_{pk}^{12}(t)$ هزینه خرید و انتقال هر واحد کالای p از واسطه k به کارخانه در دوره t

$aulc_{pj}^{11}(t)$ هزینه‌های اضافی سطح واحد به ازای هر واحد کالای p خریداری شده از تأمین‌کننده j در دوره t در بخش کارخانه

$aulc_{pk}^{12}(t)$ هزینه‌های اضافی سطح واحد به ازای هر واحد کالای p خریداری شده از واسطه k در دوره t در بخش کارخانه

$h_p^1(t)$ هزینه نگهداری هر واحد کالای p در دوره t در بخش کارخانه

$cshor_p^1(t)$ مقدار جریمه به ازای هر واحد کمبود کالای p تحویل داده شده به کارخانه در دوره t

$csur_p^1(t)$ مقدار جریمه به ازای هر واحد مازاد کالای p تحویل داده شده به کارخانه در دوره t

slc_k^2 هزینه‌های کل سطح تأمین‌کننده در قسمت واسطه k در طی افق برنامه‌ریزی

slc_{jk}^2 هزینه‌های کل مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده j در قسمت واسطه k در طی افق برنامه‌ریزی

olc_k^2 هزینه‌های کل سطح سفارش در قسمت واسطه k در طی افق برنامه‌ریزی

$olc_{jk}^2(t)$ هزینه‌های کل مرتبط با ایجاد یک سفارش از تأمین‌کننده j در دوره t در قسمت واسطه k

ulc_k^2 هزینه‌های کل سطح واحد در قسمت واسطه k در طی افق برنامه‌ریزی

$\tilde{c}_{pjk}^2(t)$ هزینه خرید و انتقال هر واحد کالای p از تأمین‌کننده j به واسطه k در دوره t

$aulc_{pjk}^2(t)$ هزینه‌های اضافی سطح واحد به ازای هر واحد کالای p خریداری شده از تأمین‌کننده j در دوره t در بخش واسطه k

$h_{pk}^2(t)$ هزینه نگهداری هر واحد کالای p در دوره t در بخش واسطه k

$cshor_{pk}^1(t)$ مقدار جریمه به ازای هر واحد کمبود کالای p تحویل داده شده به واسطه k در دوره t

$csur_{pk}^1(t)$ مقدار جریمه به ازای هر واحد مازاد کالای p تحویل داده شده به واسطه k در دوره t

R_s^1 وزن اعضای مجموعه s که لحاظ کننده عوامل عملکرد کیفی از دیدگاه کارخانه می‌باشد

R_{jk}^2 وزن تأمین‌کننده j که لحاظ کننده عوامل عملکرد کیفی از دیدگاه واسطه k می‌باشد

b_p^1 موجودی اولیه کالای p در قسمت کارخانه

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

b_{pk}^{2} موجودی اولیه کالای p در قسمت واسطه k

$de_{p}^{1}(t)$ مقدار تقاضا برای کالای p در دوره t توسط کارخانه

$de_{pk}^{2}(t)$ مقدار تقاضا برای کالای p در دوره t توسط واسطه k

$w_{p}^{1}(t)$ ضریب تقاضا که مشخص‌کننده حداکثر مقدار مجاز برای کالای مازاد p در دوره t در قسمت کارخانه می‌باشد

$w_{pk}^{2}(t)$ ضریب تقاضا که مشخص‌کننده حداکثر مقدار مجاز برای کالای مازاد p در دوره t در قسمت واسطه k می‌باشد

$ww_{p}^{1}(t)$ ضریب تقاضا که مشخص‌کننده حداکثر مقدار مجاز برای کمبود کالای p در دوره t در قسمت کارخانه می‌باشد

$ww_{pk}^{2}(t)$ ضریب تقاضا که مشخص‌کننده حداکثر مقدار مجاز برای کمبود کالای p در دوره t در قسمت واسطه k می‌باشد

$rn_{p}^{1}(t)$ مقدار کالای p مورد نیاز در بخش تولیدکننده در دوره t

$rn_{pk}^{2}(t)$ مقدار کالای p مورد نیاز در بخش واسطه k در دوره t

$InfI_{p}^{1}(t)$ کران پایین برای موجودی کالای p در دوره t در بخش کارخانه

$InfI_{pk}^{2}(t)$ کران پایین برای موجودی کالای p در دوره t در بخش واسطه k

$MaxI_{p}^{1}(t)$ کران بالا برای موجودی کالای p در دوره t در بخش کارخانه

$MaxI_{pk}^{2}(t)$ کران بالا برای موجودی کالای p در دوره t در بخش واسطه k

f_{p}^{1} کسری از مقدار کل خرید که مشخص‌کننده میزان خرید کالای p از بازارهای خاص برای کارخانه می‌باشد

f_{pk}^{2} کسری از مقدار کل خرید که مشخص‌کننده میزان خرید کالای p از بازارهای خاص برای واسطه k می‌باشد

q_{pj} نرخ متوسط خطای کالای p خریداری شده از تأمین‌کننده j

q_{pk} نرخ متوسط خطای کالای p خریداری شده از واسطه k

tq_{p} نرخ قابل قابل قبول کارخانه برای کالاهای p ورودی

sl_{j} سطح خدمت‌رسانی متوسط (درصدی از دریافت‌های به موقع) تأمین‌کننده j

tsl سطح خدمت‌رسانی قابل قبول کارخانه در هر دوره

متغیرها:

$x_{pj}^{1}(t)$ مقدار کالای p که در دوره t از تأمین‌کننده j به کارخانه انتقال داده می‌شود

$x_{pjk}^{2}(t)$ مقدار کالای p که در دوره t از تأمین‌کننده j به واسطه k انتقال داده می‌شود

$y_{pk}^{1}(t)$ مقدار کالای p که در دوره t از واسطه k به کارخانه انتقال داده می‌شود

$I_{p}^{1}(t)$ مقدار موجودی کالای p در دوره t در قسمت کارخانه

$I_{pk}^{2}(t)$ مقدار موجودی کالای p در دوره t در قسمت واسطه k

$sur_{p}^{1}(t)$ مقدار کالای مازاد p تحویل داده شده به کارخانه در دوره t

$shor_{p}^{1}(t)$ مقدار کمبود کالای p تحویل داده شده به کارخانه در دوره t

$sur_{pk}^{2}(t)$ مقدار کالای مازاد p تحویل داده شده به واسطه k در دوره t

$shor_{pk}^{2}(t)$ مقدار کمبود کالای p تحویل داده شده به واسطه k در دوره t

z_{j}^{1} متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در کل دوره برنامه‌ریزی از تأمین‌کننده j کالایی توسط کارخانه خریداری شده است یا نه

u_{k}^{1} متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در کل دوره برنامه‌ریزی از واسطه k کالایی توسط کارخانه خریداری شده است یا نه

z_{jk}^{2} متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در کل دوره برنامه‌ریزی از تأمین‌کننده j کالایی توسط واسطه k خریداری شده است یا نه

$m_{j}^{1}(t)$ متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در دوره t از تأمین‌کننده j کالایی توسط کارخانه خریداری شده است یا نه

$n_{k}^{1}(t)$ متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در دوره t از واسطه k کالایی توسط کارخانه خریداری شده است یا نه

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$m^2_{jk}(t)$ متغیر دودویی که نشان می‌دهد آیا در دوره t از تأمین‌کننده j کالایی توسط واسطه k خریداری شده است یا نه

۳-۴. مدل ریاضی مسأله

$$Min \quad TCO = [\sum_j slc^{11}_j .z^1_j + \sum_k slc^{12}_k .u^1_k + \sum_t \sum_j olc^{11}_j(t).m^1_j(t) + \sum_t \sum_k olc^{12}_k(t).n^1_k(t) + \sum_p \sum_t \sum_j (\tilde{c}^{11}_{pj}(t) + aulc^{11}_{pj}(t)).x^1_{pj}(t) + \sum_p \sum_t \sum_k (\tilde{c}^{12}_{pk}(t) + aulc^{12}_{pk}(t)).y^1_{pk}(t) + \sum_t \sum_p h^1_p(t).I^1_p(t)] + [\sum_k \sum_j slc^2_{jk}.z^2_{jk} + \sum_k \sum_j \sum_t olc^2_{jk}(t).m^2_{jk}(t) + \sum_k \sum_p \sum_t \sum_j (\tilde{c}^2_{pjk}(t) + aulc^2_{pjk}(t)).x^2_{pjk}(t) + \sum_k \sum_t \sum_p h^2_{pk}(t).I^2_{pk}(t)] + [\sum_p \sum_t csur^1_p(t).sur^1_p(t) + \sum_p \sum_t cshor^1_p(t).shor^1_p(t) + \sum_p \sum_k \sum_t csur^2_{pk}(t).sur^2_{pk}(t) + \sum_p \sum_k \sum_t cshor^2_{pk}(t).shor^2_{pk}(t)] \quad (۱)$$

$$Max \quad TVP = \sum_s R^1_s.(\sum_p \sum_t x^1_{ps}(t) + \sum_p \sum_t y^1_{ps}(t)) + \sum_j \sum_k R^2_{jk} \sum_p \sum_t x^2_{pjk}(t) \quad (۲)$$

$$\sum_j x^1_{pj}(t) + \sum_k y^1_{pk}(t) - de^1_p(t) = sur^1_p(t) - shor^1_p(t) \qquad \forall p,t \quad (۳)$$

$$sur^1_p(t) \le v^1_p(t) . w^1_p(t) . de^1_p(t) \qquad \forall p,t \quad (۴)$$

$$shor^1_p(t) \le (1- v^1_p(t)). ww^1_p(t) . de^1_p(t) \qquad \forall p,t \quad (۵)$$

$$b^1_p + sur^1_p(1) - shor^1_p(1) + (de^1_p(1) - rn^1_p(1)) = I^1_p(1) \qquad \forall p \quad (۶)$$

$$I^1_p(t-1) + sur^1_p(t) - shor^1_p(t) + (de^1_p(t) - rn^1_p(t)) = I^1_p(t) \qquad \forall p, t \in T - \{1\} \quad (۷)$$

$$Inf I^1_p(t) \le I^1_p(t) \le Max I^1_p(t) \qquad \forall p,t \quad (۸)$$

$$\sum_j x^2_{pjkl}(t) - de^2_{pk}(t) = sur^2_{pk}(t) - shor^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \quad (۹)$$

$$sur^2_{pk}(t) \le v^2_{pk}(t) . w^2_{pk}(t) . de^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \quad (۱۰)$$

$$shor^2_{pk}(t) \le (1- v^2_{pk}(t)). ww^2_{pk}(t) . de^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \quad (۱۱)$$

$$b^2_{pk} + sur^2_{pk}(1) - shor^2_{pk}(1) + (de^2_{pk}(1) - rn^2_{pk}(1)) = I^2_{pk}(1) \qquad \forall p,k \quad (۱۲)$$

$$I^2_{pk}(t-1) + sur^2_{pk}(t) - shor^2_{pk}(t) + (de^2_{pk}(t) - rn^2_{pk}(t)) = I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,k, t \in T - \{1\} \quad (۱۳)$$

$$Inf I^2_{pk}(t) \le I^2_{pk}(t) \le Max I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \quad (۱۴)$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$$y^1_{pk}(t) \le I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j\in s_1} x^1_{pj}(t) + \sum_{k\in s_1} y^1_{pk}(t) \ge f^1_p \cdot \left(\sum_{j\in s} x^1_{pj}(t) + \sum_{k\in s} y^1_{pk}(t)\right) \qquad \forall p,t \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{j\in J_1} x^2_{pjk}(t) \ge f^2_{pk} \cdot \sum_j x^2_{pjk}(t) \qquad \forall p,k,t \qquad (۱۷)$$

$$x^1_{pj}(t) \le \left(\sum_{\tau\ge t} de^1_p(\tau)\right) \cdot m^1_j(t) \qquad \forall p,j,t \qquad (۱۸)$$

$$y^1_{pk}(t) \le \left(\sum_{\tau\ge t} de^1_p(\tau)\right) \cdot n^1_k(t) \qquad \forall p,k,t \qquad (۱۹)$$

$$x^2_{pjk}(t) \le \left(\sum_{\tau\ge t} de^2_{pk}(\tau)\right) \cdot m^2_{jk}(t) \qquad \forall p,j,k,t \qquad (۲۰)$$

$$I^1_p(t) \le \sum_{\tau=t}^{t+1} de^1_p(\tau) \qquad \forall p,t \in T - \{|T|\} \qquad (۲۱)$$

$$\sum_j q^{11}_{pj} . x^1_{pj}(t) + \sum_k q^{12}_{pk} . y^1_{pk}(t) \le Tq_p . \left(\sum_j x^1_{pj}(t) + \sum_k y^1_{pk}(t)\right) \qquad \forall p,t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_p \sum_j sl^{11}_j . x^1_{pj}(t) + \sum_p \sum_k sl^{12}_k . y^1_{pk}(t) \ge Tsl . \left(\sum_p \sum_j x^1_{pj}(t) + \sum_p \sum_k y^1_{pk}(t)\right) \qquad \forall t \qquad (۲۳)$$

$$z^1_j \le \sum_t m^1_j(t) \qquad \forall j \qquad (۲۴)$$

$$m^1_j(t) \le z^1_j \qquad \forall j,t \qquad (۲۵)$$

$$u^1_k \le \sum_t n^1_k(t) \qquad \forall k \qquad (۲۶)$$

$$n^1_k(t) \le u^1_k \qquad \forall k,t \qquad (۲۷)$$

$$z^2_{jk} \le \sum_t m^2_{jk}(t) \qquad \forall j,k \qquad (۲۸)$$

$$m^2_{jk}(t) \le z^2_{jk} \qquad \forall j,k,t \qquad (۲۹)$$

$$x^1_{pj}(t),\ x^2_{pjk}(t),\ y^1_{pk}(t),\ I^1_p(t),\ I^2_{pk}(t),\ sur^1_p(t),\ shor^1_p(t),\ sur^2_{pk}(t),\ shor^2_{pk}(t) \ge 0 \qquad (۳۰)$$

$$z^1_j,\ z^2_{jk},\ u^1_k,\ m^1_j(t),\ m^2_{jk}(t),\ n^1_k(t),\ V^1_p(t),\ v^2_{pk}(t) \in \{0,1\} \qquad (۳۱)$$

تابع هدف (۱) کل هزینه‌های خرید در سه سطح تأمین‌کننده، سفارش و واحد در دو قسمت کارخانه و واسطه‌ها و نیز هزینه‌های دیرکرد و زودکرد کالاهای تحویلی به کارخانه را در کل دوره کمینه می‌کند. تابع هدف (۲) مقدار کل خرید را بیشینه می‌کند، بگونه‌ای که آن، اثر معیارهای کیفی را در تصمیمات خرید لحاظ می‌کند. محدودیت (۳) مقادیر کمبود و مازاد کالاهای تحویلی به

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

کارخانه را در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۴) و (۵) تضمین می‌کنند که در هر دوره، حداکثر یک حالت کمبود و یا مازاد کالاهای تحویلی برای قسمت کارخانه می‌تواند اتفاق بیافتد. به عبارت دیگر مقادیر کمبود و مازاد کالاهای تحویلی همزمان نمی‌توانند مثبت باشند. همچنین این دو محدودیت، حداکثر مقدار مجاز کمبود و مازاد کالاهای تحویل داده شده به کارخانه را نیز در مدل لحاظ می‌کنند.

محدودیت (۶) مقدار موجودی کالاها را در پایان دوره اول و محدودیت (۷) مقدار موجودی کالاها را در پایان دوره‌های دیگر (به غیر از دوره اول) در قسمت کارخانه نشان می‌دهند. محدودیت (۸) حداقل و حداکثر ظرفیت انبار کارخانه را برای نگهداری موجودی در هر دوره در نظر می‌گیرد.

محدودیت (۹) مقادیر کمبود و مازاد کالاهای تحویلی به هر واسطه را در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) تضمین می‌کنند که در هر دوره حداکثر یک حالت کمبود و یا مازاد کالاهای تحویلی برای هر واسطه می‌تواند اتفاق بیافتد. به عبارت دیگر مقادیر کمبود و مازاد کالاهای تحویلی همزمان نمی‌توانند مثبت باشند. همچنین این دو محدودیت، حداکثر مقدار مجاز کمبود و مازاد کالاهای تحویل داده شده به هر واسطه را نیز در مدل لحاظ می‌کنند.

محدودیت (۱۲) مقدار موجودی کالاها را در پایان دوره اول و محدودیت (۱۳) مقدار موجودی کالاها را در پایان دوره‌های دیگر (به غیر از دوره اول) برای هر واسطه نشان می‌دهند. محدودیت (۱۴) حداقل و حداکثر ظرفیت انبار هر واسطه را برای نگهداری موجودی در هر دوره در نظر می‌گیرد. محدودیت (۱۵) محدودیت عرضه کالا برای واسطه‌ها می‌باشد و حداکثر مقدار مجاز ارسال کالا از هر واسطه به کارخانه را در هر دوره نشان می‌دهد. گاهی وقت‌ها اتفاق می‌افتد که قوانین دولتی یا منطقه‌ای شرکت‌ها را ملزم می‌کند تا بخشی از مقدار کل خرید خود را از بازارهای محلی تهیه نمایند. یا در بعضی مواقع بعضی از شرکت‌ها می‌خواهند تا درصد معینی از محصولات خود را از تأمین‌کنندگانی تهیه کنند که دارای ویژگی‌های خاصی باشند.

لذا محدودیت (۱۶) این شرط را بر مسأله تحمیل می‌کند که اقلاً درصد مشخصی از کل مقدار خریداری شده توسط کارخانه طی دوره برنامه‌ریزی باید از این تأمین‌کنندگان خاص خریداری شود.

محدودیت (۱۷) این شرط را در قسمت واسطه‌ها لحاظ می‌کند. اگر در دوره t سفارشی توسط تأمین‌کننده j یا واسطه k برای کارخانه انجام نشود، آنگاه $m_j^1(t)$ یا $n_k^1(t)$ برابر صفر خواهند بود. در این صورت محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) شروطی را بر مسأله تحمیل می‌کنند که به واسطه آن‌ها $x_{pjl}^1(t)$ و $y_{pkl}^1(t)$ برابر صفر خواهند شد. محدودیت (۲۰) همین شرط را برای هر واسطه لحاظ می‌کند، بگونه‌ای که اگر در دوره t سفارشی توسط تأمین‌کننده j برای واسطه k صورت نگیرد، آنگاه $m_{jk}^2(t)$ برابر صفر می‌شود که به واسطه آن $x_{pjkl}^2(t)$ نیز برابر صفر خواهد شد.

در برخی صنایع مانند صنایع وابسته به محصولات غذایی، محصولات اغلب فاسد می‌شوند و بنابراین فقط می‌توانند در مقدار معینی از زمان به عنوان موجودی نگهداری شوند. از این‌رو محدودیت (۲۱) شرایطی را بر مسأله تحمیل می‌کند که به واسطه آن در هر دوره، حداکثر مقدار موجودی نباید از تقاضای دو دوره تجاوز کند. حداقل سطح قابل قبول کیفیت و تحویل به موقع (سطح خدمت‌رسانی) کالای تحویل داده شده توسط هر تأمین‌کننده دو عامل مهم دیگری هستند که توسط کارخانه روی تأمین‌کننده‌ها تحمیل می‌شود.

این دو شرط در محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) لحاظ شده‌اند. محدودیت‌های (۲۴) تا (۲۹) محدودیت‌های تمامیت می‌باشند. با استفاده از محدودیت (۲۴)، متغیر تصمیم z_j^1 برابر با صفر خواهد شد، اگر کارخانه طی دوره برنامه‌ریزی برای خرید از تأمین‌کننده j سفارشی انجام ندهد ($\sum_t m_j^1(t)=0$)، در حالی‌که محدودیت (۲۵) مجبور می‌کند که z_j^1 برابر با یک شود، اگر در طی بعضی از دوره‌ها سفارشی توسط تأمین‌کننده j برای کارخانه صورت پذیرد. محدودیت‌های (۲۶)-(۲۷) و (۲۸)-(۲۹) نیز به همین صورت عمل می‌کنند.

محدودیت‌های (۳۰) و (۳۱) به ترتیب، غیرمنفی بودن و دودویی بودن متغیرها را نشان می‌دهند.

۵. رویکرد حل مسأله

۵-۱. رویکرد حل فازی پیشنهادی

همانطور که در مدل اصلی مسأله مشاهده می‌شود، اکثر پارامترهای مدل شامل پارامترهای تابع هدف، مقادیر سمت راست و ضرایب تکنولوژیکی از نوع فازی می‌باشد، همچنین برخی از محدودیت‌های نامساوی مسأله نیز فازی می‌باشند.

برای حل مدل ارایه شده در این مقاله از یک رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شده است. در مرحله اول، مدل فازی اولیه به یک مدل قطعی کمکی معادل تبدیل می‌شود و در مرحله دوم از یک روش فازی برای بدست آوردن جواب توافقی نهایی استفاده می‌شود. مسأله (۳۲) را در نظر بگیرید.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$$\begin{aligned} &Minimize && z=\sum_{j=1}^{n}\tilde{c}_j x_j \\ &s.t && \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \le b_i && i=1,...,l \\ & && \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j = \tilde{b}_i && i=l+1,...,m \\ & && x \ge 0 \end{aligned} \qquad (۳۲)$$

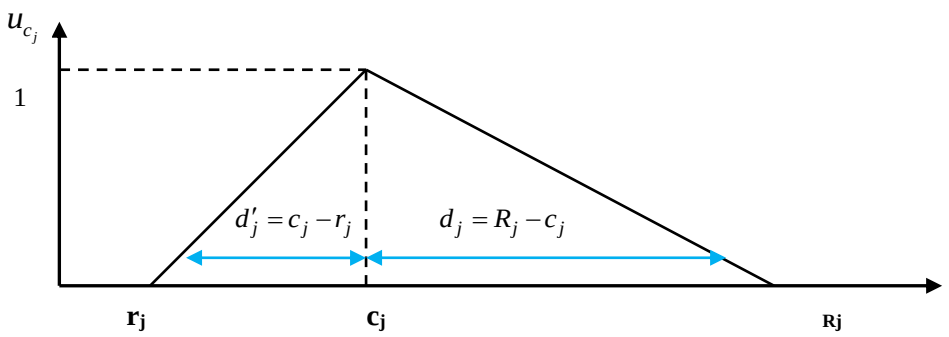
در گام اول، محدودیت‌های نامساوی انعطاف‌پذیر مسأله (۳۲) به محدودیت‌های قطعی و غیرانعطاف‌پذیر تبدیل می‌شود. برای این منظور از روش کادناس و وردگای [۲۷] استفاده شده است. با بکارگیری روش مذکور، مدل (۳۲) به مدل معادل (۳۳) تبدیل می‌شود.

$$\begin{aligned} &Minimize && z=\sum_{j=1}^{n}\tilde{c}_j x_j \\ &s.t && \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \le b_i+\tilde{t}_i(1-\alpha) && i=1,...,l \\ & && \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j = \tilde{b}_i && i=l+1,...,m \\ & && x \ge 0 \end{aligned} \qquad (۳۳)$$

همان‌طور که در مدل (۳۳) مشاهده می‌شود، پارامترهای مدل از نوع فازی می‌باشند. برای تبدیل مدل فازی مسأله فوق به یک مدل قطعی معادل روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که در این مقاله از رویکرد پیدرو و همکاران [۲۸] استفاده شده است. با بکارگیری روش مذکور، مدل (۳۳) به مدل معادل (۳۴) تبدیل می‌شود.

$$\begin{aligned} &Minimize && z=\sum_{j=1}^{n}(c_j+\frac{d_{c_j}-d'_{c_j}}{3})x_j \\ &s.t && \sum_{j=1}^{n}(a_{ij}+\frac{d_{a_{ij}}-d'_{a_{ij}}}{3})x_j \le (b_i+\frac{d_{b_i}-d'_{b_i}}{3})+(t_i+\frac{d_{t_i}-d'_{t_i}}{3})(1-\alpha) && i=1,...,l \\ & && \sum_{j=1}^{n}(a_{ij}+\frac{d_{a_{ij}}-d'_{a_{ij}}}{3})x_j = (b_i+\frac{d_{b_i}-d'_{b_i}}{3}) && i=l+1,...,m \\ & && x \ge 0 \end{aligned} \qquad (۳۴)$$

به طوری که d_{c_j} و d'_{c_j} به ترتیب حاشیه‌های جانبی راست و چپ نقطه مرکزی c_j از عدد فازی مثلثی (شکل ۲) می‌باشند.



شکل ۲. عدد فازی مثلثی

حال با بکارگیری دو رویکرد فوق، مدل فازی اصلی مسأله به مدل قطعی ذیل تبدیل می‌شود:

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$$Min \quad TCO = [\sum_{j}(slc_j^{11} + \frac{d_{slc_j^{11}} - d'_{slc_j^{11}}}{3}).z_j^1 + \sum_{k}(slc_k^{12} + \frac{d_{slc_k^{12}} - d'_{slc_k^{12}}}{3}).u_k^1 + \sum_{t}\sum_{j}(olc_j^{11}(t) + \frac{d_{olc_j^{11}} - d'_{olc_j^{11}}}{3}).m_j^1(t) +$$

$$\sum_{t}\sum_{k}(olc_k^{12}(t) + \frac{d_{olc_k^{12}} - d'_{olc_k^{12}}}{3}).n_k^1(t) + \sum_{p}\sum_{t}\sum_{j}(c_{pj}^{11}(t) + \frac{d_{c_{pj}^{11}} - d'_{c_{pj}^{11}}}{3} + aulc_{pj}^{11}(t) + \frac{d_{aulc_{pj}^{11}} - d_{aulc_{pj}^{11}}}{3}).x_{pj}^1(t) +$$

$$\sum_{p}\sum_{t}\sum_{k}(c_{pk}^{12}(t) + \frac{d_{c_{pk}^{12}} - d'_{c_{pk}^{12}}}{3} + aulc_{pk}^{12}(t) + \frac{d_{aulc_{pk}^{12}} - d'_{aulc_{pk}^{12}}}{3}).y_{pk}^1(t) + \sum_{t}\sum_{p}(h_p^1(t) + \frac{d_{h_p^1} - d'_{h_p^1}}{3}).I_p^1(t) \ ] +$$

$$[\sum_{k}\sum_{j}(slc_{jk}^2 + \frac{d_{slc_{jk}^2} - d'_{slc_{jk}^2}}{3}).z_{jk}^2 + \sum_{k}\sum_{j}\sum_{t}(olc_{jk}^2(t) + \frac{d_{olc_{jk}^2} - d'_{olc_{jk}^2}}{3}).m_{jk}^2(t) +$$

$$\sum_{k}\sum_{p}\sum_{t}\sum_{j}(c_{pjk}^2(t) + \frac{d_{c_{pjk}^2} - d'_{c_{pjk}^2}}{3} + aulc_{pjk}^2(t) + \frac{d_{aulc_{pjk}^2} - d'_{aulc_{pjk}^2}}{3}).x_{pjk}^2(t) + \sum_{k}\sum_{t}\sum_{p}(h_{pk}^2(t) + \frac{d_{h_{pk}^2} - d'_{h_{pk}^2}}{3}).I_{pk}^2(t) \ ] +$$

$$[\sum_{p}\sum_{t}(csur_p^1(t) + \frac{d_{csur_p^1} - d'_{csur_p^1}}{3}).sur_p^1(t) + \sum_{p}\sum_{t}(cshor_p^1(t) + \frac{d_{cshor_p^1} - d'_{cshor_p^1}}{3}).shor_p^1(t) +$$

$$\sum_{p}\sum_{k}\sum_{t}(csur_{pk}^2(t) + \frac{d_{csur_{pk}^2} - d'_{csur_{pk}^2}}{3}).sur_{pk}^2(t) + \sum_{p}\sum_{k}\sum_{t}(cshor_{pk}^2(t) + \frac{d_{cshor_{pk}^2} - d'_{cshor_{pk}^2}}{3}).shor_{pk}^2(t) \ ] \qquad (۳۵)$$

$$Max \quad TVP = \sum_{s}R_s^1.(\sum_{p}\sum_{t}x_{ps}^1(t) + \sum_{p}\sum_{t}y_{ps}^1(t)) + \sum_{j}\sum_{k}R_{jk}^2.\sum_{p}\sum_{t}x_{pjk}^2(t) \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{j}x_{pj}^1(t) + \sum_{k}y_{pk}^1(t) - (de_p^1(t) + \frac{d_{de_p^1} - d'_{de_p^1}}{3}) = sur_p^1(t) - shor_p^1(t) \qquad \forall p,t \qquad (۳۷)$$

$$sur_p^1(t) \le v_p^1(t).w_p^1(t).(de_p^1(t) + \frac{d_{de_p^1} - d'_{de_p^1}}{3}) \qquad \forall p,t \qquad (۳۸)$$

$$shor_p^1(t) \le (1 - v_p^1(t)).ww_p^1(t).(de_p^1(t) + \frac{d_{de_p^1} - d'_{de_p^1}}{3}) \qquad \forall p,t \qquad (۳۹)$$

$$b_p^1 + sur_p^1(1) - shor_p^1(1) + ((de_p^1(1) + \frac{d_{de_p^1} - d'_{de_p^1}}{3}) - (rn_p^1(1) + \frac{d_{rn_p^1} - d'_{rn_p^1}}{3})) = I_p^1(1) \qquad \forall p \qquad (۴۰)$$

$$I_p^1(t-1) + sur_p^1(t) - shor_p^1(t) + ((de_p^1(t) + \frac{d_{de_p^1} - d'_{de_p^1}}{3}) - (rn_p^1(t) + \frac{d_{rn_p^1} - d'_{rn_p^1}}{3})) = I_p^1(t) \qquad \forall p, t \in T - \{|1|\} \qquad (۴۱)$$

$$(Infl_p^1(t) + \frac{d_{Infl_p^1} - d'_{Infl_p^1}}{3}) - (t_{8'} + \frac{d_{t_{8'}} - d'_{t_{8'}}}{3}).(1-\alpha) \le I_p^1(t) \qquad \forall p,t \qquad (۴۲)$$

$$I_p^1(t) \le (MaxI_p^1(t) + \frac{d_{MaxI_p^1} - d'_{MaxI_p^1}}{3}) + (t_{8''} + \frac{d_{t_{8''}} - d'_{t_{8''}}}{3}).(1-\alpha) \qquad \forall p,t \qquad (۴۳)$$

$$\sum_{j}x_{pjkl}^2(t) - (de_{pk}^2(t) + \frac{d_{de_{pk}^2} - d'_{de_{pk}^2}}{3}) = sur_{pk}^2(t) - shor_{pk}^2(t) \qquad \forall p,t,k \qquad (۴۴)$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$$sur^2_{pk}(t) \le v^2_{pk}(t)\,.\,w^2_{pk}(t)\,.\,(de^2_{pk}(t)+\frac{d_{de^2_{pk}}-d'_{de^2_{pk}}}{3}) \qquad \forall p,t,k \qquad (۴۵)$$

$$shor^2_{pk}(t) \le (1-v^2_{pk}(t))\,.\,ww^2_{pk}(t)\,.\,(de^2_{pk}(t)+\frac{d_{de^2_{pk}}-d'_{de^2_{pk}}}{3}) \qquad \forall p,t,k \qquad (۴۶)$$

$$b^2_{pk}+sur^2_{pk}(1)-shor^2_{pk}(1)+((de^2_{pk}(1)+\frac{d_{de^2_{pk}}-d'_{de^2_{pk}}}{3})-(rn^2_{pk}(1)+\frac{d_{rn^2_{pk}}-d'_{rn^2_{pk}}}{3}))=I^2_{pk}(1) \qquad \forall p,k \qquad (۴۷)$$

$$I^2_{pk}(t-1)+sur^2_{pk}(t)-shor^2_{pk}(t)+((de^2_{pk}(t)+\frac{d_{de^2_{pk}}-d'_{de^2_{pk}}}{3})-(rn^2_{pk}(t)+\frac{d_{rn^2_{pk}}-d'_{rn^2_{pk}}}{3}))=I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,k,t\in T-\{|1|\} \qquad (۴۸)$$

$$(InfI^2_{pk}(t)+\frac{d_{InfI^2_{pk}}-d'_{InfI^2_{pk}}}{3})-(t_{14'}+\frac{d_{t_{14'}}-d'_{t_{14'}}}{3}).(1-\alpha)\le I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \qquad (۴۹)$$

$$I^2_{pk}(t)\le(MaxI^2_{pk}(t)+\frac{d_{MaxI^2_{pk}}-d'_{MaxI^2_{pk}}}{3})+(t_{14''}+\frac{d_{t_{14''}}-d'_{t_{14''}}}{3}).(1-\alpha) \qquad \forall p,t,k \qquad (۵۰)$$

$$y^1_{pk}(t)\le I^2_{pk}(t) \qquad \forall p,t,k \qquad (۵۱)$$

$$\sum_{j\in s_1}x^1_{pj}(t)+\sum_{k\in s_1}y^1_{pk}(t)\ge(f^1_p+\frac{d_{f^1_p}-d'_{f^1_p}})\,(\sum_{j\in s}x^1_{pj}(t)+\sum_{k\in s}y^1_{pk}(t))-(t_{16}+\frac{d_{t_{16}}-d'_{t_{16}}}{3}).(1-\alpha) \qquad \forall p,t \qquad (۵۲)$$

$$\sum_{j\in J_1}x^2_{pjk}(t)\ge(f^2_{pk}+\frac{d_{f^2_{pk}}-d'_{f^2_{pk}}}{3}).\sum_j x^2_{pjk}(t)-(t_{17}+\frac{d_{t_{17}}-d'_{t_{17}}}{3}).(1-\alpha) \qquad \forall p,k,t \qquad (۵۳)$$

$$x^1_{pj}(t)\le(\sum_{\tau\ge t}(d^1_p(\tau)+\frac{d_{d^1_p}-d'_{d^1_p}}{3}))\,.\,m^1_j(t) \qquad \forall p,j,t \qquad (۵۴)$$

$$y^1_{pk}(t)\le(\sum_{\tau\ge t}(d^1_p(\tau)+\frac{d_{d^1_p}-d'_{d^1_p}}{3}))\,.\,n^1_k(t) \qquad \forall p,k,t \qquad (۵۵)$$

$$x^2_{pjk}(t)\le(\sum_{\tau\ge t}(d^2_{pk}(\tau)+\frac{d_{d^2_{pk}}-d'_{d^2_{pk}}}{3}))\,.\,m^2_{jk}(t) \qquad \forall p,j,k,t \qquad (۵۶)$$

$$I^1_p(t)\le\sum_{\tau=t}^{t+1}(d^1_p(\tau)+\frac{d_{d^1_p}-d'_{d^1_p}}{3}) \qquad \forall p,t\in T-\{|T|\} \qquad (۵۷)$$

$$\sum_j(q^{11}_{pj}+\frac{d_{q^{11}_{pj}}-d'_{q^{11}_{pj}}}{3}).x^1_{pj}(t)+\sum_k(q^{12}_{pk}+\frac{d_{q^{12}_{pk}}-d'_{q^{12}_{pk}}}{3}).y^1_{pk}(t)\le(Tq_p+\frac{d_{Tq_p}-d'_{Tq_p}}{3}).(\sum_j x^1_{pj}(t)+\sum_k y^1_{pk}(t)) \qquad \forall p,t \qquad (۵۸)$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

$$\sum_p \sum_j (sl_j^{11} + \frac{d_{sl_j^{11}} - d'_{sl_j^{11}}}{3}).x_{pj}^1(t) + \sum_p \sum_k (sl_k^{12} + \frac{d_{sl_k^{12}} - d'_{sl_k^{12}}}{3}).y_{pk}^1(t) \geq (Tsl + \frac{d_{Tsl} - d'_{Tsl}}{3}).(\sum_p \sum_j x_{pj}^1(t) + \sum_p \sum_k y_{pk}^1(t)) \quad \forall t \qquad (۵۹)$$

$$z_j^1 \leq \sum_t m_j^1(t) \qquad \forall j \qquad (۶۰)$$

$$m_j^1(t) \leq z_j^1 \qquad \forall j,t \qquad (۶۱)$$

$$u_k^1 \leq \sum_t n_k^1(t) \qquad \forall k \qquad (۶۲)$$

$$n_k^1(t) \leq u_k^1 \qquad \forall k,t \qquad (۶۳)$$

$$z_{jk}^2 \leq \sum_t m_{jk}^2(t) \qquad \forall j,k \qquad (۶۴)$$

$$m_{jk}^2(t) \leq z_{jk}^2 \qquad \forall j,k,t \qquad (۶۵)$$

$$x_{pj}^1(t),\ x_{pjk}^2(t),\ y_{pk}^1(t),\ I_p^1(t),\ I_{pk}^2(t),\ sur_p^1(t),\ shor_p^1(t),\ sur_{pk}^2(t),\ shor_{pk}^2(t) \geq 0 \qquad (۶۶)$$

$$z_j^1,\ z_{jk}^2,\ u_k^1,\ m_j^1(t),\ m_{jk}^2(t),\ n_k^1(t),\ V_p^1(t),\ v_{pk}^2(t) \in \{0,1\} \qquad (۶۷)$$

لازم به ذکر است که محدودیت‌های (۸) و (۱۴) هر کدام در دو رابطه مجزا نوشته شده است.

۲-۵. رویکرد حل فازی پیشنهادی

به طور کلی رویکردهای مختلفی برای حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در ادبیات پیشنهاد شده که از میان آن‌ها رویکردهای برنامه‌ریزی فازی، به علت توانایی آن‌ها در اندازه‌گیری سطح ارضای هر تابع هدف، در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. رویکرد حل فازی برای مسایل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه اولین بار توسط زیمرمن [۲۹] و به اسم روش *min-max* بکار گرفته شد. روش مذکور در برخی موارد به جواب‌های ناکارآمد منجر می‌شود که برای غلبه بر این ضعف رویکردهای دیگری از روش *min-max* توسعه داده شده است [۳۳-۳۰]. در این مقاله به منظور حل مدل قطعی معادل مسأله اصلی از رویکردی مبتنی بر روش ترابی و هسینی [۳۲] استفاده شده است. گام‌های رویکرد پیشنهادی به صورت ذیل خلاصه می‌گردد:

گام ۱: حداقل درجه قابل قبول، α، را برای محدودیت‌های انعطاف‌پذیر مسأله تعیین کن و محدودیت‌های انعطاف‌پذیر مسأله را به محدودیت‌های قطعی معادل تبدیل کن.

گام ۲: توزیع‌های امکانی مثلثی مناسب را برای پارامترهای غیردقیق مدل تعیین کن.

گام ۳: حاشیه‌های جانبی راست و چپ (d و d') را برای هر عدد فازی مثلثی محاسبه کن و سپس مدل فازی مسأله اصلی را به مدل قطعی معادل تبدیل کن.

گام ۴: جواب ایده‌ال مثبت α *(α-PIS)* و جواب ایده‌ال منفی α *(α-NIS)* را برای هر تابع هدف و سطح α تعیین کن.

گام ۵: تابع عضویت خطی را برای هر تابع هدف بصورت زیر تعیین کن:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad Z_1 \leq Z_1^{\alpha-Pis} \\ \dfrac{Z_1^{\alpha-Nis} - Z_1}{Z_1^{\alpha-Nis} - Z_1^{\alpha-Pis}} & \text{if} \quad Z_1^{\alpha\text{-Pis}} \leq Z_1 \leq Z_1^{\alpha-Nis} \\ 0 & \text{if} \quad Z_1 > Z_1^{\alpha-Nis} \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad Z_2 \geq Z_2^{\alpha-Pis} \\ \dfrac{Z_2 - Z_2^{\alpha-Nis}}{Z_2^{\alpha-Pis} - Z_2^{\alpha-Nis}} & \text{if} \quad Z_2^{\alpha\text{-Nis}} \leq Z_2 \leq Z_2^{\alpha-Pis} \\ 0 & \text{if} \quad Z_2 < Z_2^{\alpha-Nis} \end{cases}$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

بطوریکه $\mu_h(x)$ به درجه رضایت از تابع هدف hام اشاره می‌کند.

گام ۶: مدل قطعی دو هدفه معادل مسأله را با استفاده از تابع تجمعی ترابی و هسینی [۳۲] به یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تبدیل کن. تابع تجمعی فوق بصورت ذیل می‌باشد:

$$Max \quad \lambda(x) = \gamma\lambda_0 + (1-\gamma)\sum_h \theta_h \eta_h(x)$$

$$\text{s.t.} \quad \lambda_0 \le \mu_h(x) \quad , \quad h = 1, 2$$
$$x \in F(x) \quad , \quad \lambda_0 \text{ and } \lambda \in [0\ ,\ 1]$$

بطوریکه $F(x)$ ناحیه شدنی شامل متغیرهای مدل قطعی معادل را مشخص می‌کند و θ_h و γ به ترتیب، اهمیت تابع هدف hام و ضریب تصحیح را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که $\lambda_0=\min_h\{\mu_h(x)\}$ حداقل درجه رضایت از توابع هدف را نشان می‌دهد.

گام ۷: مقادیر γ و θ_h را مشخص کن و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تک هدفه مربوطه را حل کن. اگر تصمیم-گیرنده با جواب فعلی قانع شد توقف کن، در غیر این صورت با تغییر مقادیر γ و α (و اگر لازم باشد θ_h) و رفتن به گام ۴ جواب توافقی دیگری را ایجاد کن.

۶. نتایج محاسباتی

در این قسمت نتایج حاصل از حل مدل، به واسطه قرار دادن مقادیر واقعی به جای پارامترهای مسأله نمایش داده می‌شود. همانگونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، مسأله مورد نظر شامل چهار تأمین‌کننده می‌باشد که تأمین‌کننده ۱ در منطقه چابهار و تأمین‌کننده ۲ در منطقه بندر عباس قرار دارد و تأمین-کنندگان ۳ و ۴ تأمین‌کنندگان وارداتی هستند. همچنین دو واسطه در مسأله مذکور وجود دارد که هر دو در تهران واقع هستند. در ضمن مجتمع صنایع غذایی مذکور در تهران واقع است.

دو نوع ماده اولیه برای مسأله در نظر گرفته شده است که آن‌ها عبارتند از ماهی گیدر و ماهی هوور مسقطی. برای تعیین وزن تأمین‌کنندگان و واسطه‌ها به منظور استفاده در تابع هدف دوم، سه مرتبه (یکبار برای تأمین‌کنندگان کارخانه و دو مرتبه دیگر برای تأمین‌کنندگان هر واسطه) از فرآیند *AHP* استفاده شده است. یک دوره زمانی یک ساله شامل شش دوره دو ماهه برای مسأله در نظر گرفته شده است. در ابتدا، با توجه به ویژگی‌های مسأله، اهمیت اهداف و نظر کارشناسان کارخانه (پس از تشریح ویژگی‌های هر پارامتر برای کارشناسان کارخانه) مقدار پارامترهای (θ_1، θ_2) برابر (۰،۳،۰،۷)، مقدار پارامتر γ برابر ۰،۴ و مقدار α برابر ۰،۶ انتخاب شد.

جدول (۴) نتایج حاصل از حل را برای مدل قطعی تبدیل شده به ازای پارامترهای پیشنهادی توسط کارشناسان کارخانه نشان می-دهد. برای حل مدل قطعی مسأله از نرم‌افزار GAMS 22.9.2 استفاده شده است.

جدول ۴. جواب حاصل از حل مدل قطعی تبدیل شده به ازای ۰،۴= γ ،۰،۶ = α و (۰،۳، ۰،۷)=(θ_1 ، θ_2)

μ_2	μ_1	Z_2	Z_1	$Z_2^{\alpha-Pis}$	$Z_2^{\alpha-Nis}$	$Z_1^{\alpha-Nis}$	$Z_1^{\alpha-Pis}$
۰،۸۹۴	۰،۹۶۹	۲۲۹۵۰۹۴	۴۵۰۸۹۵۰۰۰۰۰	۲۳۸۲۵۳۰	۱۶۲۶۸۶۹	۷۱۹۱۶۱۰۰۰۰۰۰	۲۳۵۰۴۲۰۰۰۰۰

جدول ۵. نتایج تحلیل حساسیت روی پارامتر γ (مقدار α برابر ۰،۶ و (θ_1، θ_2) برابر (۰،۳، ۰،۷) می‌باشد)

γ	Z_1	Z_2	λ	λ_0	μ_1	μ_2
۰،۱	۲۶۱۳۸۵۰۰۰۰۰	۲۳۲۷۹۹۹	۰،۹۷۱	۰،۹۲۸	۰،۹۹۶	۰،۹۲۸
۰،۲	۲۶۱۳۸۵۰۰۰۰۰	۲۳۲۷۹۹۹	۰،۹۹۶	۰،۹۲۸	۰،۹۹۶	۰،۹۲۸
۰،۳	۹۴۶۴۹۲۰۰۰۰۰	۲۳۰۵۲۴۸	۰،۸۹۸	۰،۸۹۸	۰،۸۹۸	۰،۸۹۸
۰،۴	۴۵۰۸۹۵۰۰۰۰۰	۲۲۹۵۰۹۴	۰،۹۲	۰،۸۸۴	۰،۹۶۹	۰،۸۸۴
۰،۵	۲۵۳۴۱۹۰۰۰۰۰	۲۲۸۸۷۶۱	۰،۹۱۸	۰،۸۷۶	۰،۹۹۷	۰،۸۷۶
۰،۶	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۳۸	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۷	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۳۳	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۸	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۲۷	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۹	۵۹۹۹۹۲۰۰۰۰۰	۲۳۲۴۴۰۲	۰،۹۲۵	۰،۹۲۳	۰،۹۴۸	۰،۹۲۳

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

جدول ۶. نتایج تحلیل حساسیت روی پارامتر θ_1و θ_2 (مقدار α برابر ۰،۶ و γ برابر ۰،۲ می‌باشد.)

θ_1	θ_2	Z_1	Z_2	λ	λ_0	μ_1	μ_2
۰،۵	۰،۵	۲۵۳۴۱۹۰۰۰۰۰	۲۲۸۸۷۶۱	۰،۹۱۸	۰،۸۷۶	۰،۹۹۷	۰،۸۷۶
۰،۶	۰،۴	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۳۸	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۷	۰،۳	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۳۳	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۸	۰،۲	۲۶۰۴۳۱۰۰۰۰۰	۲۳۱۸۷۸۴	۰،۹۲۷	۰،۹۱۶	۰،۹۹۶	۰،۹۱۶
۰،۹	۰،۱	۵۹۹۹۹۲۰۰۰۰۰	۲۳۲۴۴۰۲	۰،۹۲۵	۰،۹۲۳	۰،۹۴۸	۰،۹۲۳

جدول (۵) نتایج حاصل از حل مدل قطعی تبدیل شده را به ازای مقادیر مختلف γ، در سطح α برابر ۰،۶ و (θ_1، θ_2) برابر (۰،۳، ۰،۷)، نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، مقادیر تابع هدف به ازای برخی از مقادیر γ (۰،۱، ۰،۲، ۰،۵، ۰،۶، ۰،۷ و ۰،۸) دارای وضعیت بهتری نسبت γ برابر با ۰،۴ (مقدار مورد نظر کارشناسان شرکت) می‌باشند، که در این تحقیق انتخاب یکی از مقادیر γ فوق بویژه γ برابر ۰،۲ که از جواب‌های متعادلتری[1] نسبت به بقیه جواب‌ها برخوردار می‌باشد، بجای γ برابر با ۰،۴ پیشنهاد می‌گردد.

جدول (۶) نتایج حاصل از حل مدل قطعی تبدیل شده را به ازای مقادیر مختلف (θ_1، θ_2)، در سطح α برابر ۰،۶ و γ برابر ۰،۲، نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، در حالتی که مقدار (θ_1، θ_2) برابر با (۰،۵، ۰،۵) است، توابع هدف از وضعیت بهتری نسبت به حالت‌های دیگر برخوردار می‌باشند، لذا انتخاب این مقدار جدید پیشنهاد می‌گردد.

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله، به مدلسازی جریان مواد اولیه و قطعات در شبکه تأمین مواد اولیه یک مجتمع صنایع غذایی در شرایط عدم قطعیت پرداخته شده است. از اینرو، ادبیات موضوع مسأله مورد نظر بررسی شده و به منظور طبقه‌بندی تحقیقات گذشته، ابتدا یک سیستم کدگذاری ارایه و سپس تحقیقات مذکور در قالب این سیستم کدگذاری شده است. در ادامه، ضمن تشریح شرایط مسأله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط فازی جدید برای مسأله ارائه شده است، بگونه‌ای که مدل مذکور چند سطحی، چند کالایی، چند دوره‌ای و دو هدفه می‌باشد و در آن برخی از پارامترها و محدودیت‌های مسأله از نوع فازی می‌باشند. در تابع هدف اول از دو رویکرد هزینه‌گذاری مبتنی بر فعالیت و هزینه مالکیت کل استفاده شده و در آن هزینه‌ها و زمان‌های زودکرد یا دیرکرد کالاهای تحویلی کمینه می‌گردد و در تابع هدف دوم از *AHP* استفاده شده است و در آن مقدار کالاهای خریداری شده با در نظر گرفتن عامل کیفیت بیشینه می‌گردد. در طی فرآیند مدلسازی همواره سعی شده است که سه عامل هزینه، زمان و کیفیت مورد نظر مجتمع صنایع غذایی، هم در توابع هدف و هم در محدودیت‌ها لحاظ گردد. برای حل مدل مذکور نیز یک رویکرد حل دو مرحله‌ای پیشنهاد شده است، بگونه‌ای که در مرحله اول، محدودیت‌ها و پارامترهای فازی مسأله به حالت غیرفازی و قطعی تبدیل می‌شود و در مرحله دوم، مدل قطعی مسأله با استفاده از یک روش فازی حل می‌شود و جواب‌های نهایی حاصل می‌گردد. قابل ذکر است که روش مذکور یک روش تعاملی بوده و به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد در تمام مراحل تصمیم‌گیری با تغییر پارامترها نظرات خود را اعمال نمایند که این رویه در مسائل دنیای واقعی که از اطلاعات غیرقطعی و غیرکامل برخوردار هستند بسیار مفید و ارزشمند می‌باشد.

همانطور که در بخش ۶ نشان داده شد، کارشناسان کارخانه ابتدا با توجه به مفهوم هر پارامتر مقدار خاصی را به آن اختصاص داده بودند، بگونه‌ای که جواب‌های حاصل شده از حل مدل برای شرکت قابل قبول بود و همچنین گزینه‌های مناسب و مفیدی برای تصمیم‌گیری به کارخانه ارایه شد، ولی در ادامه با تغییر پارامترهای کلیدی نتایجی حاصل شد که از وضعیت قبلی بهتر بوده و تأثیر بسزایی روی تصمیم‌گیری و عملکرد کارخانه داشته است. انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب در هر دوره، تعیین یک برنامه زمانی خرید که مشخص کننده مقدار کالای خریداری شده در هر دوره و از هر تأمین‌کننده است، تعیین موجودی انبار، تعیین مقدار کالای زود یا دیر تحویل داده شده و مشخص کردن کل هزینه یک دوره زمانی مشخص از جمله خروجی‌های مهم مدل می‌باشد که با اجرای این تحقیق، در حالت عدم قطعیت، در اختیار کارخانه قرار گرفته است.

[1] *Balanced Solution*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

در انتها نیز به منظور ادامه و تکمیل تحقیق حاضر زمینه‌های تحقیقاتی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- با توجه به اینکه در این مقاله برخی از پارامترها و محدودیت‌ها از نوع فازی در نظر گرفته شده‌اند و تمامی متغیرهای مسأله از نوع قطعی می‌باشند، برای تحقیقات آتی می‌توان متغیرها را نیز از نوع فازی در نظر گرفت.
- در این تحقیق پیچیدگی زمانی مورد توجه قرار نگرفته است، لذا در صورت بزرگتر شدن ابعاد مسأله، زمان حل مسأله به طور محسوسی افزایش می‌یابد، که برای تحقیقات آتی نیز می‌توان برای حل مدل قطعی مسأله از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کرد.
- در نظر گرفتن حالت‌های حمل و نقل بین تسهیلات مختلف می‌تواند زمینه مناسبی برای تحقیقات آتی می‌باشد.

با توجه به محدودیت‌های موجود، در این تحقیق تنها به مدلسازی بخش تأمین پرداخته شده است، لذا برای تحقیقات آتی می‌توان بخش‌های دیگر را به تحقیق حاضر اضافه نمود و حتی می‌توان کل زنجیره را در نظر گرفت.

مراجع

[۱] غفاری بالانجی ش.، «طراحی شبکه زنجیره توزیع با هدف حداقل هزینه»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۸۹

[۲] عرب ر.، «ارایه یک مدل ریاضی زمانبندی در شبکه‌های توزیع و حل آن با یک روش فراابتکاری کارآمد»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، ۱۳۸۹.

[3] Degraeve, Z., Roodhooft, F., Doveren, B.V, "*The Use of Total Cost of Ownership for Strategic Procurement: a Company-Wide Management Information System*", Journal of the Operational Research Society, Vol. 56, 2005, pp. 51-59.

[4] Jang, Y., Jang, S., Chang, B., Park, J., "*A Combined Model of Network Design and Production /Distribution Planning for a Supply network*", Computer & Industrial Engineering, Vol. 43, 2002, pp. 263-281.

[5] Croom, S., Romano, P., Giannakis. M., "*Supply Chain Management: an Analytical Framework for Critical Literature Review*". European Journal of Purchasing & Supply Management, Vol. 6, 2000, pp. 67-83.

[6] Peidro, D., Mula, J., Polar, R., Lario, F.C., "*Quantitative Models for Supply Chain Planning Under Uncertainty: a Review*", International Journal of Advance Manufacture Technology, Vol. 43, 2009, pp. 400–420.

[7] Eskigun, E., Uzsoy R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., Tew, J.D., "*Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection, Lead Times and Capacitated Vehicle Distribution Centers"*, European Journal of Operational Research, Vol. 165, No. 1, 2005, pp. 182-206.

[8] Chen, C., Lee, W., "*Multi-Objective Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Networks with Uncertain Product Demands and Prices"*, Computers and Chemical Engineering, Vol. 28, 2004, pp. 1131–1144.

[9] Syarif, A., Yun, Y.S., Gen, M., *Study on Multi-Stage Logistic Chain Network: a Spanning Tree-Based Genetic Algorithm Approach, Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, 2002, pp. 299-314.

[10] Wang, W., Fung, R.Y.K., Chai, Y., "*Approach of Just-in-Time Distribution Requirements Planning for Supply Chain Management"*, International Journal of Production Economics, Vol. 91, 2004, pp. 101–107.

[11] Jayaraman, V., Pirkul, H., *"Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities"*, European Journal of Operational Research, Vol. 133, 2001, pp. 394-408.

[12] Amiri, A., "*Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure",* European Journal of Operational Research, Vol. 171, 2006, pp. 567–576.

[13] Peidro, D., Mula, J., Poler, R., Verdegay, J.L., "*Fuzzy Optimization for Supply Chain Planning Under Supply, Demand and Process Uncertainties*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 160, 2009, pp. 2640–2657

[14] Liang, T.F., "*Fuzzy Multi-Objective Production/ Distribution Planning Decisions with Multi-Product and Multi-Time Period in a Supply Chain*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 55, 2008, pp. 676–694.

[15] Zanjirani Farahani, R., Elahipanah, M., "*A Genetic Algorithm to Optimize the Total cost and Service Level for Just-in-Time Distribution in a Supply Chain*", International Journal of Production Economics, Vol. 111, 2008, pp. 229–243.

[16] Mohammadi Bidhandi, H., Yusuff, R.M., Megat Ahmad, M.M.H., Abu Bakar, M.R., "*Development of a New Approach for Deterministic Supply Chain Network Design*", European Journal of Operational Research, Vol. 198, 2009, pp. 121–128.

[17] Lee, B.K., Kang, K.H., Lee, Y.H., "*Decomposition Heuristic to Minimize Total Vost in a Multi-Level Dupply Chain Network*", Computers & Industrial Engineering, Vol. 54, 2008, pp. 945–959.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]

[18] Olivares-Benitez, E., González-Velarde, J.L., Ríos-Mercado, R.Z., "*A Supply Chain Design Problem with Facility Location and Bi-Objective Transportation Choices*", TOP, 2010.

[19] Tsiakis, P., Papageorgiou, L.G., "*Optimal Production Allocation and Distribution Supply Chain Networks*", International Journal of Production Economics, Vol. 111, 2008, pp 468–483.

[20] Torabi, S.A., Hassini, E., "*An Interactive Possibilistic Programming Approach for Multiple Objective Supply Chain Master Planning*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 159, 2008, pp. 193–214.

[21] Lu, Z., Bostel, N., "*A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse flows: The Case of Remanufacturing Activities*", Computers & Operations Research, Vol. 34, 2007, pp. 299–323.

[22] Pishvaee, M.S., Torabi, S.A., "*A Possibilistic Programming Approach for Closed-Loop Supply Chain Network Design Under Uncertainty*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 161, 2010, pp. 2668–2683.

[23] Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., Tew, J.D., "*Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection and Lead Time Considerations*", Wiley Periodicals, Naval Research Logistics, Vol. 54, 2006, pp. 282-300.

[24] Torabi, S.A., Hassini, E., "*Multi-Site Production Planning Integrating Procurement and Distribution Plans in Multi-Echelon Supply Chains: an Interactive Fuzzy Goal Programming Approach*", International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 19, 2009, pp. 5475–5499.

[25] Zegordi, S.H., Eskandarpour, M., "*Reverse Logistic Network Design with Fuzzy Demand of Return Products*", 10th Iranian Conference on Fuzzy Systems, Shahid Beheshti University, July 2010..

[26] Tavakoli Moghadam, R., Ramtin, F., Golmohammadi, V., Asghari Torkamani, E., "*A Location Within Distribution Network Design Problem With Flexibility Demand*", Proceeding of World Congress on Engineering, Vol. 3, London, 2010.

[27] Cadenas J.M., Verdegay J.L., "*Using Fuzzy Numbers in Linear Programming*", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B- Cybernetics, Vol. 27, 1997, pp. 1016–1022.

[28] Peidro, D., Mula, J., Poler, R., *Applying Fuzzy Linear Programming to Supply Chain Planning with Demand, Process and Supply Uncertainty*, Supply Chain, The Way to Flat Organization, I-Tech, Vienna, Austria, 2009.

[29] Zimmermann H.J., "*Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 1, 1978, pp. 45–55.

[30] Sakawa, M., Yano, H., Yumine, T., "*An Interactive Fuzzy Satisfying Method for Multi-Objective Linear-Programming Problems and its Application*", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC, Vol. 17, 1987, pp. 654–661.

[31] Lai, Y.J., Hwang, C.L., "*Possibilistic Linear Programming for Managing Interest Rate Risk*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 54, 1993, pp. 135–146.

[32] Torabi, S.A., Hassini, E., "*An Interactive Possibilistic Programming Approach for Multiple Objective Supply Chain Master Planning*", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 159, 2008, pp. 193–214.

[33] Selim, H., Ozkarahan, I., "*A Supply Chain Distribution Network Design Model: an Interactive Fuzzy Goal Programming-Based Solution Approach*", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 36, 2008, pp. 401–418.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-11]