

طراحی مدلی برای قیمت‌گذاری آرد در شبکه زنجیره تامین پایدار گندم با در نظر گرفتن اثر تبلیغات و کشش قیمتی تقاضا

شکیبا لوائی مشهد^{۱*}، محسن اکبرپور شیرازی حقیقت^۲

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد دانشگاهی گرمسار
(* شکیبا لوائی مشهد: shakiba@aut.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش یک زنجیره تامین پایدار کشاورزی چند محصولی و چند دوره‌ای گندم و آرد که کشاورزان (مزارع تولید گندم)، سیلوها، کارخانه‌های آرد، خرده‌فروشان و مشتری‌ها را شامل می‌شود. هدف اقتصادی این پژوهش حداکثر رساندن سود کل زنجیره تامین و قیمت بهینه خرده‌فروش است. در طراحی این شبکه هدف زیست‌محیطی و اجتماعی به ترتیب حداقل رساندن آب مصرفی و به حداکثر رساندن فرصت‌های شغلی در نظر گرفته شده است. در این مدل تابع تقاضای مشتریان به قیمت خرده‌فروشی، تبلیغات محلی خرده‌فروش و تبلیغات عمده‌فروش وابسته است. مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP) پیشنهادی شامل سه بعد پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به طور همزمان است. در این مدل تقاضا وابسته به قیمت فروش و تبلیغات است. مدل برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط با استفاده از نظریه بازی‌ها بررسی و حل شده است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تامین پایدار- محصولات کشاورزی- قیمت‌گذاری- تبلیغات- نظریه بازی‌ها

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، واحد دانشگاهی گرمسار
۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

افزایش جمعیت در جهان، دسترسی به غذا و منابع غذایی را محدود می‌کند و تامین آن یک چالش مهم در جهان است. گندم یکی از پر اهمیت ترین غلات در سبد غذایی خانوار به شمار می‌رود، بنابراین طراحی یک زنجیره تامین کارا نقش پررنگی ایفا می‌کند [۱]. قیمت گذاری محصولات کشاورزی و تصمیم در مورد سیاست های قیمت گذاری یکی از مسائل بسیار مهم برای کشور به حساب می‌رود زیرا در افزایش یا کاهش عرضه و تولید محصولات کشاورزی اثرگذار است. شبکه زنجیره تامین طراحی شده باید به سمت مدیریت کارآمد و موثر حرکت کند تا سود کارآمد، اثرات پایدار بر محیط زیست و نیاز های مشتری را برآورده کند. آرد گندم یکی از اساسی ترین تولیدات گندم است. همچنین، گندم ماده اولیه بسیاری از غذاها از جمله نان و برخی محصولات آرد گندم است [۲]. در مزارع کشاورزی گندم به دو صورت آبی و دیمی کشت می‌شود. با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه، زمان کشت و برداشت گندم و همچنین دوره‌های کشت متفاوت است. پس از برداشت گندم از مزارع، آن را به سیلوها انتقال می‌دهند و زمانی که گندم دوره‌ی مناسب خواب خود را در سیلوها گذراند برای تبدیل شدن به آرد به کارخانه‌های آرد ارسال می‌شوند. قسمتی از نیاز گندم در کشور از طریق واردات تامین می‌شود و این گندم‌های وارداتی از طریق کشتی حمل شده و پس از ورود به کشور به مناطق مختلف برای نگهداری ارسال می‌شود و پس از نگهداری به کارخانه‌های آرد ارسال می‌شوند. سپس در کارخانه های آرد، آرد گندم با درصد تفکیک مشخص تهیه می‌شود [۲]. پس از تولید و فرآوری، آرد گندم به سوی خرده فروش ها حمل می‌شود. در خرده فروشی با توجه به نیاز و تقاضای هر محصول و با توجه به قیمت تعیین شده، آرد گندم فروخته می‌شود. بیشترین میزان مصرف آب در جهان در بخش کشاورزی است، بنابراین مدیریت مصرف آن برای نگهداری از منابع آبی کشور اهمیت بسیار بالایی دارد. افزایش میزان آبیاری در کشت گندم باعث بالا رفتن کیفیت محصول شده از طرفی باعث فرسایش خاک نیز می‌شود. پس مدیریت و کنترل میزان آبیاری باعث کیفیت بهتر محصولات و جلوگیری از فرسایش خاک می‌شود و از همه مهمتر از هدر رفتن منابع آبی با ارزش کشور جلوگیری می‌کند [۲]. تولیدکنندگان و خرده‌فروشان برای متقاعد کردن مشتریان خود از تبلیغات برای فروش محصولات استفاده می‌کنند. تبلیغات تولیدکننده تاثیر زیادی بر مشتریان بالقوه دارد، درحالی که تبلیغات خرده‌فروش، مشتریان بالقوه را به نقطه تمایل و اقدام می‌رساند [۳]. در مدیریت زنجیره تامین، دو رکنی که منجر به افزایش تقاضای مشتری و سود بیشتر اعضا می‌شود، قیمت گذاری و تبلیغات است. در نتیجه می‌توان تاثیرات قیمت و تبلیغات را بر زنجیره تامین بررسی کرد [۴].

۲- ادبیات موضوع

در این قسمت پیشینه و پژوهش های مرتبط با موضوع مورد بررسی در این تحقیق بیان می‌شود. یکی از موضوعات اصلی و اساسی برای تولید مواد غذایی و محصولات کشاورزی، زنجیره تامین محصولات کشاورزی است که به تازگی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌است. روغنیان و چراغعلی پور در مقاله خود به بهینه‌سازی زنجیره تامین حلقه بسته مرکبات تمرکز کرده‌اند. برای این منظور، یک مدل ریاضی چند منظوره فرمول‌بندی شده‌است که تلاش می‌کند تا کل هزینه‌ها را به حداقل، پاسخگویی تقاضا را به حداکثر و انتشار دی‌اکسید کربن را به عنوان خسارات زیست‌محیطی به حداقل برساند [۵]. چراغعلی‌پور و همکاران به مطالعه زنجیره‌تامین برنج پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود به بررسی یک مدل دوسطحی برای به حداقل رساندن هزینه‌های کل با توجه به نظرات دو تصمیم گیرنده پرداخته‌اند. برای حل مدل از دو الگوریتم فراابتکاری معروف شامل الگوریتم ژنتیک (GA) و بهینه ازدحام ذرات (PSO) استفاده کرده‌اند [۶]. موگل و همکاران^۱ در تحقیق خود به یک زنجیره‌تامین پایدار برای غلات در هند پرداخته‌اند که زنجیره مورد بررسی آن‌ها شامل کشاورزان، مراکز تدارکات، سیلوهای پایه

^۱ Mogale et al

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

و سیلوهای مزرعه بوده است. تابع هدف مدل آن‌ها هزینه‌های حمل و نقل دانه‌های مواد غذایی، نگهداری موجودی و هزینه‌های عملیاتی را به حداقل رسانده و برای حل مدل MINLP از الگوریتم بهینه‌سازی واکنش شیمیایی هیبرید (HR-CRO) استفاده کرده‌اند [۷]. اسن و همکاران^۱ یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری را برای طراحی بهینه شبکه‌های تأسیسات ذخیره‌سازی غلات برای کاهش هزینه حمل و نقل ذینفعان مربوطه، توسعه داده‌اند [۸]. به تازگی پایداری زنجیره‌های تامین محصولات کشاورزی و مواد غذایی به موضوع مورد توجه بیشتر مصرف‌کنندگان و شرکت‌ها تبدیل شده است زیرا محیط زیست همچنان رو به نابودی است. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر پایداری زنجیره تامین محصولات کشاورزی، طراحی شبکه آن است. علاوی و همکاران^۲ یک رویکرد ترکیبی دو مرحله‌ای یکپارچه را برای طراحی شبکه زنجیره تامین کشاورزی-غذایی پایدار پیشنهاد کرده‌اند. آن‌ها جنبه‌های اقتصادی، محیطی و اجتماعی را به عنوان جنبه‌های پایدار در فرمول‌بندی مدل خود مورد مطالعه قرار دادند [۹].

امروزه گندم و فرآورده‌های جانبی آن به عنوان مهم‌ترین منبع غلات غذایی برای انسان در سراسر جهان به شمار می‌روند. حسینی مطلق و همکاران یک مدل چندهدفه برای شبکه زنجیره تامین گندم را توسعه داده‌اند که این شبکه شامل چندین تامین‌کننده، سیلوها، مکان‌های نامزد برای ایجاد سیلو، کارخانه‌های آرد و مناطق تقاضا است. آن‌ها یک مدل برای گندم با در نظر گرفتن تاب آوری و هزینه در یک مساله چند هدفه توسعه داده‌اند [۱۰]. بررسی یکپارچه زنجیره تامین گندم از اهمیت بالایی در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک برخوردار است. حسینی مطلق و همکاران در پژوهش دیگر خود به مطالعه موردی واقعی زنجیره تامین گندم در ایران پرداخته و با ارائه‌ی مدل ریاضی، هزینه کل زنجیره‌تأمین را کمینه کرده‌اند. آن‌ها برای مقابله با عدم قطعیت گندم از بهینه‌سازی استوار استفاده کرده‌اند [۱۱]. نادری و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را به منظور به حداقل رساندن هزینه‌ها برای زنجیره‌تأمین گندم در ایران توسعه داده و با استفاده از یک الگوریتم تجزیه بندرز به حل آن پرداخته‌اند [۱۲]. نوربخش و همکاران با هدف به حداقل رساندن کل هزینه‌ها در سیستم در یک مساله تک دوره‌ای و تک محصولی، شبکه‌ای برای لجستیک دانه‌ها معرفی کرده‌اند [۱۳].

در اغلب کشورهای در حال توسعه، سیاست قیمت‌گذاری محصولات کشاورزی نقش اساسی را در کشاورزی و اقتصاد ایفا می‌کند. بنابراین تغییر قیمت‌ها تاثیر مستقیمی بر تقاضا و تولیدات کشاورزی دارد، در نتیجه سیاست قیمت‌ها و آثار آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. آزادی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی دو مرحله‌ای را برای به حداکثر رساندن سود خرده‌فروش پیشنهاد کرده‌اند که رابطه بین قیمت و تقاضای تصادفی را از طریق یک تابع خطی دریافت می‌کند. مدل با استفاده از الگوریتم تجزیه بندرز حل شده است [۱۴]. فعالیت‌های تبلیغاتی بر سیاست‌های قیمت‌گذاری و بازپرسازی مجدد کالاها اثرگذار هستند. مهمی و کریمی مدلی برای به حداکثر رساندن سود کل و مقدار بهینه سفارش، مدلی به منظور تعیین سیاست قیمت‌گذاری و بازپرسازی مجدد برای اقلامی که زوال‌پذیر آنی نیستند با استفاده از فعالیت‌های تبلیغاتی پیشنهاد داده‌اند. در مدل آن‌ها تقاضا احتمالی و وابسته به قیمت در نظر گرفته شده است [۱۵]. هوانگ و همکاران^۳ یک زنجیره تامین سبز را با رویکرد نظریه بازی برای بررسی تاثیرات استراتژی قیمت‌گذاری بر سود، انتخاب تامین‌کننده و طراحی خط محصول با یک تامین‌کننده و چند خرده‌فروش پیشنهاد داده‌اند [۱۶]. چائب و راستی^۴ با استفاده از یک تابع تقاضای مصرف‌کننده به تجزیه و تحلیل هماهنگی زنجیره تامین از طریق تبلیغات و قیمت‌گذاری پرداخته‌اند [۱۷]. کاظمی و سعید محمدی مدلی را برای تبلیغات و قیمت‌گذاری

¹ Essien et al² Allaoui et al³ Huang et al⁴ Chaab and Rasti-Barzoki

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

در زنجیره تامین با استفاده از نظریه بازی‌ها ارائه دادند [۱۸]. دان و همکاران^۱ در پژوهش خود تصمیمات بهینه در مورد خرده‌فروشی و قیمت را در یک زنجیره تامین دو کاناله متمرکز و غیرمتمرکز بررسی کرده و اثرات خرده‌فروشی و میزان وفاداری مشتری را به کانال خرده‌فروشی با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی دو مرحله ای و بازی استکلبرگ ارزیابی می‌کنند [۱۹]. کیانفر به بررسی یک زنجیره تامین سه سطحی با هدف به حداکثر رساندن سود پرداخته است. در مدل آن‌ها تقاضای یک محصول به قیمت و هزینه‌های تبلیغاتی بستگی دارد و زنجیره تامین شامل تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتری را شامل می‌شود. برای حل مدل از یک روش جست‌وجوی هارمونی و یک الگوریتم ترکیبی جدید استفاده کرده‌اند [۲۰]. پژوهش حاضر یک زنجیره‌تامین پایدار چند محصولی و چند دوره‌ای گندم و آرد که شامل مزارع، واردات، سیلوها، کارخانه‌های آرد، خرده فروش و مشتری است را ارائه می‌دهد. هدف در این مقاله علاوه بر بدست آوردن قیمت نهایی محصولات، به حداکثر رساندن سود کل زنجیره، کمینه کردن مصرف آب و به حداکثر رساندن فرصت‌های شغلی است. بنابراین مدل پیشنهادی مقاله شامل سه بعد پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را دربرمی‌گیرد. در این مدل تابع تقاضای مشتریان به قیمت خرده‌فروشی، تبلیغات محلی خرده‌فروش و تبلیغات تولیدکننده وابسته است. در بیشتر پژوهش‌ها ابعاد پایداری بطور کامل در نظر گرفته نشده‌است. از طرفی اکثر پژوهش‌ها تنها به طراحی زنجیره تامین کشاورزی اهمیت داده و قیمت‌گذاری و تبلیغات را که دو رکن اساسی که منجر به افزایش تقاضای مشتری و سود بیشتر اعضا می‌شود را در نظر نگرفته‌اند. وجه تمایز این پژوهش با سایر مطالعات در ادبیات موضوع، در نظر گرفتن یک زنجیره‌تامین پایدار کشاورزی برای گندم و آرد با رویکرد افزایش سود زنجیره و فرصت‌های شغلی و کمینه کردن مصرف آب در کنار رسیدن به قیمت بهینه محصولات، که در این مدل تقاضای محصولات به قیمت خرده‌فروشی، تبلیغات خرده‌فروش و تولیدکننده بستگی دارد. در نهایت با استفاده از استراتژی بازی همکارانه به بررسی نتایج می‌پردازیم. در بخش ۳ به بیان مسئله و در بخش ۴ به تعریف پارامترها، متغیرهای تصمیم و مدلسازی پرداخته می‌شود. استراتژی حل مسئله در قسمت ۵ آورده شده است.

جدول (۱): مرور ادبیات

نام نویسندگان	پایداری در زنجیره تامین			تعداد دوره		قیمت‌گذاری			تولیدکننده	سطوح زنجیره تامین
	زیست محیطی	اجتماعی	اقتصادی	تک دوره‌ای	چند دوره‌ای	آرد	برنج	غلات		
متولی طاهر و همکاران	*	*	*	-	*	-	-	-	-	مزارع، نقات واردات، سیلو، کارخانه، مشتری، بازار
سید اصفهانی و همکاران	-	-	-	-	-	-	-	-	*	یک تولید کننده و یک خرده‌فروش
اسماعیلی و راستی برزوکی	-	-	-	-	-	-	-	-	*	یک تامین کننده، یک تولید کننده و یک خرده‌فروش
روغنیان چراغعلی‌پور	-	*	*	-	*	-	-	-	-	تولیدکننده، مرکز توزیع، مشتری، بازیافت کننده، بازار کمپوست
چراغعلی‌پور	-	-	-	-	*	-	-	-	-	تولیدکنندگان (کشاوران)، مرکز توزیع، کارخانه برنج، مشتری
موگل و همکاران	-	-	*	-	*	-	-	-	-	کشاورزان، مراکز تدارکات، سیلوهای پایه و سیلوهای مزرعه

¹ Dan et al

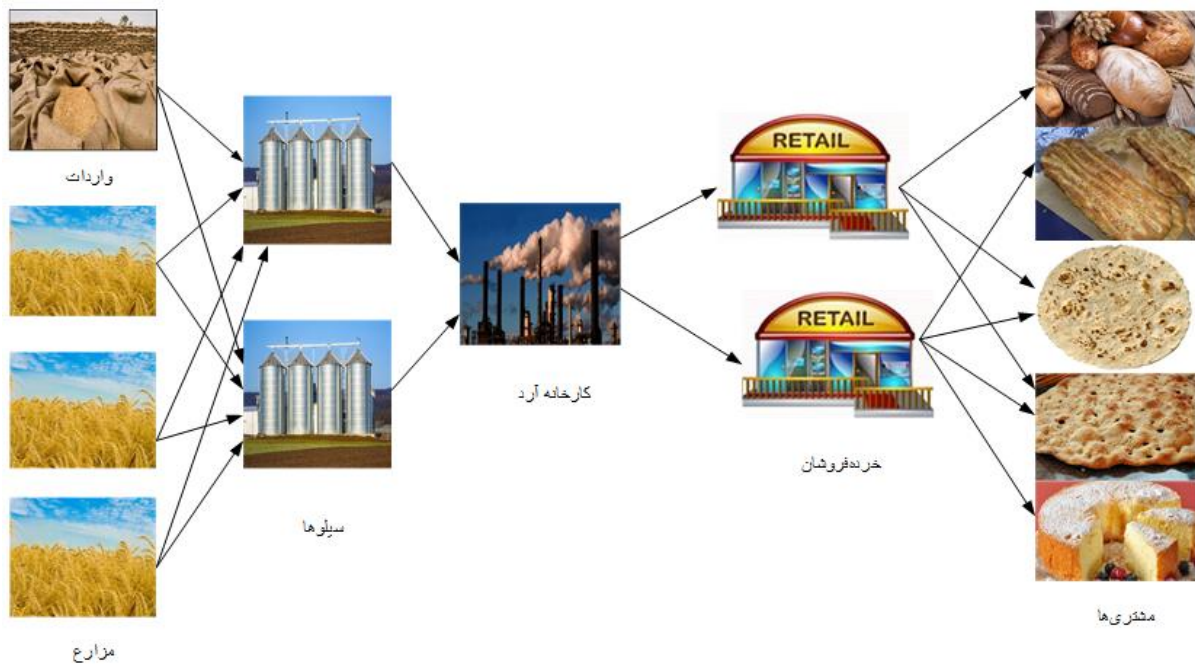
حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

مزرعه، صادرات، بازار	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	اسن و همکاران
مزرعه، توزیع کننده، خرده فروش	*	*	*	-	*	-	-	-	-	-	علاوی و همکاران
تامین کنندگان، سیلو، کارخانه آرد، نقاط تقاضا	*	-	*	-	*	-	-	-	-	-	حسینی مطلق و همکاران
تامین کننده، سیلو، کارخانه، بازار	-	-	*	-	*	-	-	-	-	-	حسینی مطلق و همکاران
مزرعه، سیلو، کارخانه	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	نادری و همکاران
مزرعه و بندرگاه	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	نوریخس و همکاران
تامین کننده، تقاضا(بازار)	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	آزادی و همکاران
تامین کننده، خرده فروش، بازار	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	مهامی و کریمی
تولید کننده، مراکز توزیع، مشتری	-	-	*	*	-	-	-	-	*	*	کیانفر
مزارع، نقاط واردات، سیلوه، کارخانه آرد، خرده فروش، مشتری	*	*	*	-	*	*	-	-	-	*	پژوهش فعلی

۳- بیان مسئله

در پژوهش حاضر، یک شبکه زنجیره تامین پایدار کشاورزی گندم و آرد که شامل مزارع، سیلوه، کارخانه های آرد، خرده فروشان و چندین مشتری است، در نظر گرفته شده است. گندم پس از برداشت به سیلوه منتقل می شود و دوره استراحت خود را میگذراند. از طرفی، گندم وارداتی نیز برای جلوگیری از کمبود در نظر گرفته شده است که پس از تامین به سیلوه فرستاده می شود. سپس گندم به کارخانه های آرد فرستاده شده تا آرد از آن جدا شود. در نهایت آرد جدا شده از گندم به خرده فروشان ارسال می شود. خرده فروشان نیز آرد را به قیمت خرده فروشی براساس تقاضای مشتریان ارسال می کنند. در این میان عمده فروشان که همان کارخانه ها هستند و خرده فروشان برای فروش خود از تبلیغات نیز استفاده کرده اند که می تواند بر تقاضا و قیمت محصولات اثرگذار باشد.

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering



شکل (۱): شماتیک شبکه زنجیره تامین پژوهش

در شبکه مورد نظر ما دو نوع کشت آبی و دیمی در نظر گرفته می‌شود. دوره‌های زمانی دو هفته‌ای هستند. دوره برداشت ۴ (۲ ماه) و دوره خواب گندم در سیلوه‌ها نیز ۴ است. سیلوه‌های موجود ظرفیت‌های متفاوتی دارند. برخی سیلوه‌ها بالقوه هستند و در صورت لزوم باز و مورد استفاده قرار خواهند گرفت. آرد گندم نسبت به جداسازی در سه نوع تولید می‌شود. همچنین سه محدوده مصرف آب و سه منبع آبی در هر حالت کشت در نظر گرفته می‌شود که شامل آب باران، آب تصفیه شده و آب‌های زیر سطحی است.

۴- مدلسازی

در این بخش ابتدا اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم معرفی شده و براساس آن‌ها یک مدل ریاضی توسعه داده شده است.

مجموعه‌ها	
f	شمارنده مزارع
c	شمارنده نوع کشت
i	شمارنده نقاط واردات
s	شمارنده سیلوه‌ها
n	شمارنده نوع سیلو
m	شمارنده کارخانه های آرد
r	شمارنده خرده فروش‌ها
p	شمارنده نوع محصولات (انواع آرد)
w	شمارنده نوع مصرف آب در هکتار

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

شمارنده نوع منبع آبی	a
شمارنده تعدا دوره های زمانی	t
مشتری	z
پارامترها	
ضریب برداشت گندم در هر هکتار در مزرعه f ام تحت کشت c ام و نوع آب w ام	α_{fcw}
اگر مزرعه f ام تحت کشت c ام در دوره t ام قابل برداشت باشد ۱ و در غیر این صورت ۰	$f a_{fct}$
میزان گندم مورد نیاز برای تولید هر تن محصول p ام	β_p
تقاضای پایهی محصول p ام مشتری z ام در دوره t ام	Db_{zpt}
موجودی اولیه گندم در سیلوی s ام	ws_s
موجودی اولیه محصول p ام در کارخانه ام	ip_{mp}
سطح زیر کشت گندم در مزرعه f ام تحت کشت c ام	aw_{fc}
ظرفیت پردازش گندم در کارخانه m ام	cw_m
حداکثر گندم قابل انتقال در نقطه ورودی i ام در دوره t ام	tw_{it}
حداکثر ظرفیت نگهداری گندم در سیلوی s ام با ظرفیت n ام	wsc_{sn}
ظرفیت نگهداری آرد در کارخانه m ام	fsc_m
هزینه حمل و نقل گندم از مزرعه f ام به سیلوی s ام	wtc_{fs}
هزینه حمل و نقل گندم از سیلوی s ام به کارخانه m ام	wtm_{sm}
هزینه حمل و نقل آرد از کارخانه m ام به خرده فروش t ام	ftc_{mr}
هزینه حمل و نقل گندم از نقطه ورودی i ام به سیلو s ام	ftm_{is}
هزینه نگهداری گندم در سیلوی s ام	hw_s
هزینه نگهداری موجودی آرد در کارخانه m ام	hf_m
هزینه تولید گندم در هر هکتار مزرعه f ام تحت کشت c ام	wp_{fc}
هزینه تاسیس سیلوی s ام نوع n ام	e_{sn}
هزینه تولید و پردازش آرد در کارخانه m ام در دوره t ام	fp_{mt}
هزینه خرید گندم وارداتی از نقطه ورودی i ام در دوره t ام	ciw_{it}
هزینه کمبود محصول p ام در دوره t ام	sp_{pt}
میزان ذخیره احتیاطی گندم	ss
مقدار مصرف آب در نوع w ام تحت کشت c ام	ma_{cw}
اولویت مصرف آب منبع آبی a ام	Wp_a
میزان در دسترس منبع آبی a ام در مزرعه f ام	pr_{fa}
هزینه آب مصرفی از منابع آب a	wc_a
فرصت های شغلی حاصل از کشت در مزرعه با حالت کشت c	jof_c
فرصت های شغلی به دست آمده در سیلو s با نوع n	jos_{sn}
دوره استراحت گندم	λ

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

γ	ضریب حداقل میزان تولید گندم
A	یک عدد مثبت بزرگ
β_{pt}	حساسیت قیمت خرده فروش برای محصول p
$L1_{rt}$	کشش تقاضای خرده فروش r نسبت به هزینه‌ی تبلیغات محلی خودش در دوره t
$L2_{rmt}$	کشش تقاضای خرده فروش r نسبت به هزینه‌ی تبلیغات تولید کننده m در دوره t
Ac_{prt}	هزینه تبلیغات محلی خرده فروش r برای محصول p در دوره t
Am_{pmt}	هزینه تبلیغات محلی تولید کننده m برای محصول p در دوره t
$cost_{rzpt}$	هزینه ارسال محصول p از خرده فروش r به مشتری z در دوره زمانی t
متغیرهای تصمیم	
H_{fct}	میزان برداشت گندم در مزرعه f تحت کشت c ام در دوره t ام
H'_{mpt}	میزان تولید محصول p ام در کارخانه m ام در دوره t ام
WI_{ist}	میزان واردات از نقطه ورودی i ام به سیلو s ام در دوره t ام
X_{fst}	مقدار گندم منتقل شده از مزرعه f ام به سیلو s ام در دوره t ام
Y_{smt}	مقدار گندم منتقل شده از سیلو s ام به کارخانه m ام در دوره t ام
O_{mrpt}	مقدار محصول p ام منتقل شده از کارخانه m ام به خرده فروش r ام در دوره t ام
I_{st}	موجودی گندم سیلو s ام در انتهای دوره t ام
IF_{mpt}	موجودی محصول p ام در کارخانه m ام در انتهای دوره t ام
SF_{zpt}	میزان کمبود آرد نوع p ام برای مشتری z ام در دوره t ام
AB_{fca}	میزان آب استفاده شده از منبع آبی a ام در مزرعه f ام تحت کشت c ام
VA_{fcw}	اگر در مزرعه f ام تحت کشت c ام به میزان w ام آب مصرف کند 1 در غیراینصورت 0
VS_{sn}	اگر سیلو s ام با ظرفیت n ام تاسیس شود 1 در غیراینصورت 0
$pric_{prt}$	قیمت نهایی محصول p ارائه شده توسط خرده فروش r در دوره t
d_{zrpt}	تقاضای مشتری z از خرده فروش r برای محصول p در دوره t
Am_{pmt}	هزینه تبلیغات تولید کننده m برای محصول p در دوره t
Ac_{prt}	هزینه تبلیغات محلی خرده فروش r برای محصول p در دوره t
RI_{rzpt}	محصولات p که از خرده فروش r به مشتری z در دوره t ارسال می‌شود

۱-۴- مدل سازی مسئله

با توجه به نمادهای تعریف شده، مدل برنامه ریزی ریاضی توسعه داده می‌شود.

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

$$\begin{aligned}
 \text{MAX } Z1 = & \sum_p \sum_r \sum_z \sum_t \text{pric}_{prt} \times d_{zrpt} - \sum_p \sum_m \sum_t \text{Am}_{pmt} - \sum_p \sum_r \sum_t \text{Ac}_{prt} \\
 & - \sum_z \sum_r \sum_p \sum_t \text{cost}_{rzpt} \times \text{RI}_{rzpt} \\
 & - \sum_f \sum_s \sum_t \text{wtc}_{fs} \times X_{fst} - \sum_s \sum_m \sum_t \text{wtm}_{sm} \times Y_{smt} \\
 & - \sum_m \sum_r \sum_p \sum_t \text{ftc}_{mr} \times O_{mrpt} \\
 & - \sum_i \sum_s \sum_t ((\text{ftm}_{is} \times \text{WI}_{ist}) + (\text{ciw}_{it} \times \text{WI}_{ist})) - \sum_s \sum_t \text{hw}_s \times I_{st} \\
 & - \sum_m \sum_p \sum_t \text{hf}_m \times \text{IF}_{mpt} - \sum_m \sum_t \text{hb}_m \times \text{IG}_{mt} - \sum_s \sum_n \text{e}_{sn} \times \text{VS}_{sn} \\
 & - \sum_z \sum_p \sum_t \text{sp}_{pt} \times \text{SF}_{zpt}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_a \sum_f \sum_c \text{wp}_a \times \text{AB}_{fca} \leq \text{maxs} \tag{2}$$

$$\sum_f \sum_c \sum_w \sum_t \text{jof}_c \times \left(\frac{H_{fct}}{\alpha_{fcw}} \right) + \sum_s \sum_n \text{jos}_{sn} \times \text{VS}_{sn} \geq \text{maxre} \tag{3}$$

رابطه (۱) تابع هدف مدل پیشنهادی را به صورت ماکزیمم کردن سود کل زنجیره تأمین نشان میدهد. با توجه به اولویت استفاده از آب و مقدار آب مصرفی توسط منبع آب، مصرف آب هر مزرعه را در هر حالت کشت آبی و دیم به حد بالایی آن در رابطه (۲) محدود می‌کنیم. رابطه (۳) تعداد فرصت‌های شغلی به‌دست‌آمده از تولید گندم و ایجاد سیلوه‌های جدید را به حداکثر مورد نظر در نظر می‌گیرد.

تابع تقاضا

تابع تقاضای مشتریان از هر خرده فروش به قیمت خرده فروشی (pric_{prt})، میزان تبلیغات محلی آن خرده فروش (Ac_{prt}) و میزان تبلیغات تولیدکننده (Am_{pmt}) وابسته می‌باشد که با توجه به پژوهش‌های ژی [۲۱] و سید اصفهانی و همکاران [۳] به صورت معادله (۴) در زیر می‌باشد.

¹ Xie

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

$$D_{zpt}(pric_{prt} \cdot Ac_{prt} \cdot Am_{pmt}) = (Db_{zpt} - \beta_p \times pric_{prt}) \times (L1_{ct} \times \sqrt{Ac_{prt}} + L2_{cmt} \times \sqrt{Am_{pmt}}) \quad (4)$$

و در نهایت بصورت زیر بازنویسی می شود:

$$D_{zpt} = (Db_{zpt} - \beta_p \times pric_{prt}) \times (L1_{ct} \times \sqrt{Ac_{prt}} + L2_{cmt} \times \sqrt{Am_{pmt}}) \quad (5)$$

محدودیت‌ها

$$H_{fct} \leq A \times fa_{fct} \quad \forall f.c.t \quad (6)$$

$$\sum_t H_{fct} \leq \sum_w aw_{fc} \times \alpha_{few} \times VA_{few} \quad \forall f.c \quad (7)$$

$$\sum_t H_{fct} = \sum_w X_{fst} \quad \forall f.t \quad (8)$$

$$\sum_i WI_{ist} + \sum_f X_{fst} \leq \sum_n wsc_{sn} \times VS_{sn} \quad \forall s.t \quad (9)$$

$$\sum_i WI_{ist} + \sum_f X_{fst} + wS_s = I_{st} + \sum_m Y_{smt} \quad \forall s.t = 1.t' \geq t + \lambda \quad (10)$$

$$\sum_i WI_{ist} + \sum_f X_{fst} + I_{st-1} = I_{st} + \sum_m Y_{smt} \quad \forall s.t > 1.t' \geq t + \lambda \quad (11)$$

$$\sum_s Y_{smt} = \sum_p H'_{mpt} \times \beta_p \quad \forall m.t \quad (12)$$

$$\sum_p H'_{mpt} \leq cw_m \quad \forall m.t \quad (13)$$

$$H'_{mpt} + ip_{mp} = IF_{mpt} + \sum_r O_{mrpt} \quad \forall m.p.t = 1 \quad (14)$$

$$H'_{mpt} + IF_{mpt-1} = IF_{mpt} + \sum_r O_{mrpt} \quad \forall m.p.t > 1 \quad (15)$$

$$RI_{rzpt} + SF_{zpt} = D_{zpt} \quad \forall r.z.p.t \quad (16)$$

$$\sum_z \sum_p RI_{rzpt} \leq \sum_m \sum_p O_{mrpt} \quad \forall r.t \quad (17)$$

$$\sum_m \sum_t Y_{smt} \leq A \times \sum_n VS_{sn} \quad \forall s \quad (18)$$

$$\sum_f \sum_t X_{fst} \leq A \times \sum_n VS_{sn} \quad \forall s \quad (19)$$

$$\sum_i \sum_t WI_{ist} \leq A \times \sum_n VS_{sn} \quad \forall s \quad (20)$$

$$\sum_i WI_{ist} \leq tw_{it} \quad \forall i.t \quad (21)$$

$$\sum_t I_{st} \leq A \times \sum_n VS_{sn} \quad \forall s \quad (22)$$

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

$$\sum_p IF_{mpt} \leq fsc_m \quad \forall m.t \quad (23)$$

$$\sum_t I_{st} \geq SS \quad \forall t \quad (24)$$

$$\sum_s VS_{sn} \leq 1 \quad \forall s \quad (25)$$

$$\sum_n VA_{fcw} \leq aw_{fc} \quad \forall f.c \quad (26)$$

$$\sum_w AB_{fca} \leq pr_{fa} \quad \forall f.a \quad (27)$$

$$\sum_c AB_{fca} = \sum_w \sum_t H_{fct} \times VA_{fcw} \times ma_{cw} \quad \forall f.c \quad (28)$$

$$\sum_f \sum_c \sum_t H_{fct} \geq \gamma \times \sum_z \sum_r \sum_p \sum_t D_{zrpt} \times \beta_p \quad (29)$$

$$H_{fct} \cdot H'_{mpt} \cdot B_{mt} \cdot W_{ist} \cdot X_{fst} \cdot Y_{smt} \cdot O_{mrpt} \cdot BT_{mt} \cdot I_{st} \cdot IF_{mpt} \cdot IG_{mt} \cdot SF_{zpt} \cdot SHB_t \cdot AB_{fca} \geq 0 \quad (30)$$

$$VA_{fcw} \cdot VS_{sn} \in \{0,1\} \quad \forall f.c.s.n.w \quad (31)$$

رابطه (۶) تضمین می‌کند که برداشت گندم از مزارع در دوره‌های برداشت صورت می‌گیرد. رابطه (۷) بیانگر محدودیت ظرفیت برداشت گندم از زمین کشاورزی می‌باشد. رابطه (۸) محدودیت تعادل گندم برآشتی و منتقل شده را نشان می‌دهد. رابطه (۹) بیانگر محدودیت ظرفیت سیلوا می‌باشد. رابطه (۱۰) و (۱۱) تعادل موجودی سیلوا با در نظر گرفتن دوره خواب گندم است. محدودیت (۱۲) تعادل بین گندم حمل‌شده به کارخانه‌های آرد و مقدار آرد تولیدی است. محدودیت (۱۳)، محدودیت ظرفیت تولید آرد برای کارخانه‌های آرد می‌باشد. محدودیت‌های (۱۴) و (۱۵) تعادل موجودی آرد کارخانه‌ها می‌باشد. معادله (۱۶) و (۱۷) نیز محدودیت پاسخ به تقاضای آرد تعادل جریان از تولیدکننده به خرده فروش است. محدودیت‌های (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) مربوط به تصمیمات تاسیس سیلوی جدید می‌باشد. محدودیت (۲۱)، محدودیت ظرفیت واردات می‌باشد. محدودیت (۲۲) نگهداری موجودی در سیلوهای باز را تضمین می‌کند. محدودیت‌های (۲۳) ظرفیت نگهداری آرد را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۴) ذخیره ایمنی گندم را تضمین می‌کند. محدودیت (۲۵) ظرفیت سیلوا را مشخص می‌کند که هر سیلو باید فقط یک نوع ظرفیت داشته باشد. محدودیت (۲۶) نوع آب مصرفی در هر مزرعه را با روش کشت تعیین می‌کند. محدودیت (۲۷) تضمین می‌کند که آب مصرفی بیشتر از آب قابل دسترس نباشد. محدودیت (۲۸) مقدار آب مصرف شده از همه منابع در هر مزرعه را محاسبه می‌کند. محدودیت (۲۹) حداقل میزان تولید گندم را مشخص می‌کند. محدودیت (۳۰) و (۳۱) انواع متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.

۵- استراتژی حل مسئله

در این بخش ما به منظور حل زنجیره تامین چهار سطحی خود از رویکرد همکارانه نظریه بازی‌ها استفاده می‌کنیم. برای حل از بازی همکارانه با در نظر گرفتن شرایط برابر برای به حداکثر رساندن سود و رسیدن به جواب‌های بهینه استفاده می‌کنیم.

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

۱-۵- بازی همکارانه

ابتدا بازی همکارانه را در نظر می‌گیریم که در آن اعضای زنجیره با یکدیگر به توافق می‌رسند که باهم همکاری و به تصمیم‌گیری بپردازند. بنابراین ما با حل مدل بهینه‌سازی نوشته شده با تمام محدودیت‌ها (۳۶-۶) که علاوه بر حداکثر سازی سود جواب‌های بهینه را برای ما نمایش می‌دهد، می‌پردازیم.

۶- مثال عددی و نتایج

در این مثال ما با استفاده از بازی همکارانه یک مدل یک زنجیره تامین گندم و آرد را که شامل سه مزرعه با دو نوع کشت، سه نوع مصرف آب، سه نوع منبع آبی، یک نطقه واردات گندم، دو سیلو که یک مدل ظرفیت دارد، یک کارخانه آرد با سه محصول، دو خرده فروش و پنج مشتری در دو دوره زمانی مورد ارزیابی قرار داده‌ایم تا اعتبار مدل بررسی شود. برای حل مساله از نرم افزار GAMS و حل‌کننده BONMIN استفاده شده است. مسئله با استفاده از لپ‌تاپی با پردازنده Intel Core i7-6700HQ 2.6GHz و حافظه داخلی 16GB حل شده‌اند.

نحوه تولید پارامترها در نرم‌افزار در جدول آورده شده است. در جدول زیر نماد U نشان دهنده تابع توزیع یکنواخت پیوسته است.

جدول (۲): دیتاهای مورد نیاز برای حل مسئله

$\alpha_{fcw} \in U(1000.100000)$	$hf_m \in U(1.2)$	$wsc_{sn} \in U(10000.200000)$	$fsc_m \in U(1000.2000)$
$\beta_p \in U(1.2.1.6)$	$e_{sn} \in U(100.200)$	$wpf_c \in U(15.20)$	$bsc_m \in U(1000.1500)$
$ws_s \in U(1.3)$	$ciw_{it} \in U(50.80)$	$fp_{mt} \in U(20.40)$	$wtc_{fs} \in U(1.2)$
$ip_{mp} \in U(5.10)$	$sp_{pt} \in U(14500.16000)$	$wc_a \in U(50.80)$	$wtm_{sm} \in U(5.8)$
$aw_{fc} \in U(1000.2000)$	$pr_{fa} \in U(100.110)$	$ma_{cw} \in U(700.1000)$	$ftc_{mr} \in U(3.5)$
$cw_m \in U(800.800)$	$jos_{sn} \in U(100.150)$	$jof_c \in U(100.150)$	$ftm_{is} \in U(4.6)$
$tw_{it} \in U(300.400)$	$L2_{rmt} \in U(0.0003.0.0005)$	$L1_{rt} \in U(0.0003.0.0005)$	$hw_s \in U(1.2)$
$\beta_p \in U(30.45)$	$Db_{zrpt} \in U(1000.5000)$		

همانطور که در بالا ذکر شد، در مثال مورد نظر سه مزرعه و دو سیلو با دو مدل ظرفیت در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده در حل توسط نرم‌افزار نشان داده شد که در دوره مورد بررسی نیازی به واردات گندم به کشور وجود ندارد. مقدار گندم برداشت شده از مزرعه‌ها تحت کشت‌های مورد نظر ۹۲۷۵/۵۷۹ تن به دست آمده است که با میزان گندم منتقل شده از مزارع به سیلوها برابر شده است. همچنین مقدار گندم منتقل شده از سیلوها به کارخانه مورد نظر ۳۲۰۰ تن به دست آمده است. گندم منتقل شده در کارخانه مورد نظر به انواع آرد ذکر شده تبدیل می‌شود. میزان ۱۶۱۹/۲۱۳ تن آرد تولید شده از کارخانه به سمت خرده‌فروش‌ها در دوره‌های مورد نظر منتقل می‌شود. با توجه به تقاضای آرد مشتری‌ها از خرده‌فروشان که مقدار ۱۶۱۹/۲۱۳ تن به دست آمده است نتیجه می‌شود که تمام تولیدات آرد کارخانه به خرده‌فروشان برای فروش فرستاده شده

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

است و تمام این مقدار توسط خرده‌فروشان به دست مشتری می‌رسد. هزینه تبلیغات خرده‌فروشان و تولیدکننده، همچنین قیمت نهایی محصول (آرد) ارائه شده توسط خرده‌فروش در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول (۳): متغیر تصمیم هزینه تبلیغات خرده‌فروشان برای محصولات در دوره‌های مورد نظر (واحد تومان)

Ac_{prt}	دوره اول (T1)	دوره دوم (T2)
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۱ برای محصول ۱	۲۹۰/۱۰۲	۱۱۳۹/۶۹۴
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۱ برای محصول ۲	۵/۰۶۳	۱۴۵/۵۱۹
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۱ برای محصول ۳	۱۳۱۲/۸۸۹	۸۶/۷۶۷
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۲ برای محصول ۱	۳۱۵/۹۴۶	۱۲۳۸/۴۲۱
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۲ برای محصول ۲	۵/۰۴۳	۱۵۶/۴۵۲
هزینه تبلیغات خرده‌فروش ۲ برای محصول ۳	۱۴۴۳/۱۸۷	۸۲/۰۸۳

جدول (۴): متغیر تصمیم هزینه تبلیغات تولیدکننده برای محصولات در دوره‌های مورد نظر (واحد تومان)

Am_{pmt}	دوره اول (T1)	دوره دوم (T2)
هزینه تبلیغات تولیدکننده برای محصول ۱	۱۱۷۳/۶۳۵	۴۶۰۶/۱۱۷
هزینه تبلیغات تولیدکننده برای محصول ۲	۱۹/۶۹۷	۵۸۵/۳۶۱
هزینه تبلیغات تولیدکننده برای محصول ۳	۵۳۳۳/۳۶۵	۳۳۰/۱۸۱

جدول (۵): قیمت نهایی محصولات ارائه شده توسط خرده‌فروش (واحد تومان)

$pric_{prt}$	دوره اول (T1)	دوره دوم (T2)
قیمت نهایی محصول ۱ توسط خرده‌فروش ۱	۴۷/۵۰۹	۴۷/۵۰۶
قیمت نهایی محصول ۱ توسط خرده‌فروش ۲	۴۷/۷۱۸	۴۷/۵۰۶
قیمت نهایی محصول ۲ توسط خرده‌فروش ۱	۳۲/۵۷۵	۴۴/۳۷۶
قیمت نهایی محصول ۲ توسط خرده‌فروش ۲	۳۲/۵۷۵	۴۴/۳۷۶
قیمت نهایی محصول ۳ توسط خرده‌فروش ۱	۵۶/۶۷۱	۳۱/۱۷۶
قیمت نهایی محصول ۳ توسط خرده‌فروش ۲	۵۶/۸۸۰	۳۱/۱۷۶

در این بازی ماکزیمم سود و حداقل میزان مصرف آب و حداکثر فرصت شغلی ایجاد شده به ترتیب ۲۴۷۵۷/۸ تومان، ۷۱۴۰۵۶۶ مترمکعب، ۱۱۲/۶۲۴ نتیجه شده است.

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت زنجیره تامین مواد غذایی و همچنین موقعیت استراتژیک گندم و آرد در مصرف روزانه مردم، مطالعه زنجیره تامین آن و در نظر گرفتن قیمت محصولات آن از عواملی است که می‌تواند بر اقتصاد جامعه اثرگذار باشد. علاوه بر آن، در نظر گرفتن ابعاد پایداری نیز باعث بهبود عملکرد زنجیره‌تامین شده و به آن کمک می‌کند. در این پژوهش، قیمت‌گذاری در زنجیره تامین پایدار گندم و آرد مورد مطالعه قرار گرفته است. این مدل چند محصولی و چند دوره‌ای است که با هدف به حداکثر رساندن سود در زنجیره برای رسیدن به قیمت نهایی خرده فروش در کنار اهداف پایداری برای کمینه کردن میزان مصرف آب و حداکثر کردن فرصت‌های شغلی، توسعه پیدا کرده است. مدل ارائه شده توسط بازی همکارانه حل و نتایج ارائه شده است.

مراجع

۱. قیمت گذاری محصولات کشاورزی. ۱۳۸۸: موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی. ۱۶۲.
2. Motevalli-Taher, F., M.M. Paydar, and S. Emami, *Wheat sustainable supply chain network design with forecasted demand by simulation*. Computers and Electronics in Agriculture, ۲۰۲۰, ۱۷۸, p. 105763.
3. SeyedEsfahani, M.M., M. Biazaran, and M. Gharakhani, *A game theoretic approach to coordinate pricing and vertical co-op advertising in manufacturer-retailer supply chains*. European Journal of Operational Research, 2011. 211(2): p. ۲۶۳-۲۷۳
4. Esmaeili, P., B.M. RASTI, and S. Hejazi, *Optimal pricing and advertising decisions in a three-level supply chain with Nash, Stackelberg and cooperative games*. 2016.
5. Roghanian, E. and A. Cheraghalipour, *Addressing a set of meta-heuristics to solve a multi-objective model for closed-loop citrus supply chain considering CO2 emissions*. Journal of Cleaner Production, 2019. 239: p. 118081.
6. Cheraghalipour, A., M.M. Paydar, and M. Hajiaghahi-Keshteli, *Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms*. Computers and Electronics in Agriculture, 2019. 162: p. 651-668.
7. Mogale, D.G., S.K. Kumar, and M.K. Tiwari, *An MINLP model to support the movement and storage decisions of the Indian food grain supply chain*. Control Engineering Practice, 2018. 70: p. 98-113.
8. Essien, E., K.A. Dzisi, and A. Addo, *Decision support system for designing sustainable multi-stakeholder networks of grain storage facilities in developing countries*. Computers and Electronics in Agriculture, 2018. 147: p. 126-130.
9. Allaoui, H., et al., *Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach*. Computers & Operations Research, 2018. 89: p. 369-384.
10. Hosseini-Motlagh, S.-M., M.R.G. Samani, and F.A. Saadi, *A novel hybrid approach for synchronized development of sustainability and resiliency in the wheat network*. Computers and Electronics in Agriculture, 2020. 168: p. 105095.
11. Hosseini-Motlagh, S.-M., M.R.G. Samani, and F. Abbasi Saadi, *Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study*. Operational research, 2021. 21(3): p. 1487-1527.

حسابداری و مهندسی صنایع
Accounting and Industrial Engineering

12. Naderi, B., K. Govindan, and H. Soleimani, *A Benders decomposition approach for a real case supply chain network design with capacity acquisition and transporter planning: wheat distribution network*. Annals of Operations Research, 2020. **291**(1): p. 685-705.
13. Nourbakhsh, S.M., et al., *Grain supply chain network design and logistics planning for reducing post-harvest loss*. Biosystems Engineering, 2016. **151**: p. 105-115.
14. Azadi, Z., et al., *Stochastic optimization models for joint pricing and inventory replenishment of perishable products*. Computers & industrial engineering, 2019. **127**: p. 625-642.
15. Maihami, R. and B. Karimi, *Optimizing the pricing and replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stochastic demand and promotional efforts*. Computers & Operations Research, 2014. **51**: p. 302-312.
16. Huang, Y., et al., *Green supply chain coordination with greenhouse gases emissions management: a game-theoretic approach*. Journal of Cleaner Production, 2016. **112**: p. 2004-2014.
17. Chaab, J. and M. Rasti-Barzoki, *Cooperative advertising and pricing in a manufacturer-retailer supply chain with a general demand function; A game-theoretic approach*. Computers & Industrial Engineering, 2016. **99**: p. 112-123.
18. Kazemi, A. and Z. SaeedMohammadi, *A model for cooperative advertising and pricing decisions in manufacturer-retailer supply chain with discount: a game theory approach*. International Journal of Supply and Operations Management, 2016. **2**(4): p. 1035-1063.
19. Dan, B., G. Xu, and C. Liu, *Pricing policies in a dual-channel supply chain with retail services*. International Journal of Production Economics, 2012. **139**(1): p. 312-320.
20. Kianfar, K., *Maximizing profit in a supply chain by considering advertising and price elasticity of demand*. Computers & Industrial Engineering, 2019. **135**: p. 265-274.
21. Xie, J. and J.C. Wei, *Coordinating advertising and pricing in a manufacturer-retailer channel*. European Journal of Operational Research, 2009. **197**(2): p. 785-791.