طراحی شبکه حمل‌ونقل داخلی گندم کشور با رویکرد مکانیابی قطب (هاب)

مرضیه محمودی‌نیا، کارشناس ارشد ، دانشکده مهندسی لجستیک و زنجیره تامین، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

مجتبی سلیمانی سدهی (نویسنده مسئول)، عضو هیئت علمی، موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی، تهران، ایران

بهروز کریمی، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
E-mail: soleimani.science@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۷ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۹

چکیده

گندم از جمله کالاهای استراتژیک کشور است که سهم عمده‌ای در سبد خانوارها دارد. با توجه به حجم زیاد جابجایی گندم در کشور و اهمیت تامین بموقع آن، لزوم توجه جدی به سیستم توزیع و جابجایی گندم در کشور کاملاً احساس می‌شود. سیستم فعلی توزیع گندم در کشور به صورت ارسال مستقیم است. با توجه به حجم بالای جابجایی گندم در ماه‌های مختلف و همچنین وجود گندم با کیفیت‌های مختلف که لزوم ترکیب آن وجود دارد، استفاده از نقاط توزیع مطلوب به نظر می‌رسد. در این مقاله بهبود شبکه توزیع گندم داخلی با درنظرگرفتن قطب به عنوان نقاط تجمیع و انتقال مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که در نتایج نشان داده شده است شبکه توزیع جدید، هزینه‌های حمل‌ونقل را کاهش چشمگیری می‌دهد. برای مدل‌سازی شبکه توزیع گندم از مدل‌های مکانیابی قطب با در نظرگرفتن هزینه ثابت استفاده شده است؛ به این ترتیب تعداد و مکان‌های بهینه قطب که از جمله خروجی‌های مهم این مطالعه است، تعیین خواهد شد. همچنین در مدل ارایه شده ویژگی‌های گندم از جمله فصلی بودن تولید گندم و وجود مدهای مختلف برای حمل گندم درنظر گرفته شده است. برای حل مساله از نرم‌افزار CPLEX استفاده شده است. از دیگر خروجی‌های مساله تعیین مسیرهای بهینه از نقاط تولید گندم تا قطب، از قطب تا قطب و از قطب تا نقاط توزیع در هر پریود زمانی است. همچنین نوع مد حمل‌ونقل بین قطب‌ها نیز تعیین می‌گردد. در نهایت این تحقیق با تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مختلف و نتیجه‌گیری پایان می‌پذیرد.

واژه های کلیدی: شبکه حمل و نقل گندم، مکانیابی قطب، چند دوره ای، حمل و نقل چندوجهی، مسیریابی

۱. مقدمه

گندم از قدیمی‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان زراعی جهان است به طوری که از سالیان بسیار دور و قبل از آنکه بشر به موارد مصرف گیاهان از نظر تغذیه پی ببرد، مهم‌ترین منبع غذایی برای آنان بوده است. در سرزمین ما نیز هزاران سال است که گندم بخش مهمی از سبد غذایی مردم را تشکیل داده است. با توجه به پراکندگی زیاد تولید گندم و نیز مصرف این کالای استراتژیک در سطح کل کشور، شبکه توزیع داخلی گندم یک شبکه گسترده است که میزان جابجایی گندم در آن طی سال و حتی در ماه‌های مختلف سال زیاد است. در شبکه توزیع فعلی کشور تمامی جابجایی‌های گندم به صورت مستقیم است، یعنی هر زمان شهری گندم نیاز دارد، از شهری که مازاد دارد، گندم دریافت می‌کند. حتی در زمینه واردات نیز به همین صورت تامین می‌شود. عدم برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح با وجود چنین جابجایی‌های گسترده‌ای، منجر به افزایش هزینه حمل‌ونقل گندم و به تبع آن افزایش قیمت تمام شده نان و سایر فرآورده‌های گندم می‌شود. حذف یارانه و افزایش سهم بخش خصوصی در شبکه توزیع گندم و نان طی سالیان اخیر، توجه بیشتر به مدیریت شبکه توزیع گندم و کاهش هزینه‌های توزیع و حمل‌ونقل را الزامی می‌کند. حال آنکه در کشورهای پیشرفته مانند آمریکا، استرالیا و اغلب کشورهای اروپایی حمل گندم بین مراکز تولیدی و مراکز ذخیره‌سازی غالبا توسط ریل انجام می‌گیرد که سبب صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های حمل و نیز زمان بارگیری، حمل و تخلیه می‌شود، اما در کشورهای در حال توسعه مانند اغلب کشورهای آسیایی، گندم نیز مانند سایر غلات توسط وسایل نقلیه‌ای مثل کامیون و تریلی حمل می‌شود. با توجه به زیرساخت‌های ریلی کشور و همچنین میزان بالای حمل‌ونقل گندم بین استان‌ها می‌بایست شرایط استفاده بهینه از خطوط ریلی فراهم گردد.

گرچه مطالعات زیادی در خصوص بهینه‌کردن مسیرهای مستقیم حمل‌ونقل و کاهش هزینه‌های ذخیره‌سازی گندم در کشور صورت گرفته است، اما در این پژوهش‌ها مکان‌یابی مراکز ذخیره‌سازی و تخصیص نقاط عرضه و تقاضا به این مراکز، در کل کشور و به صورت توامان درنظر گرفته نشده است. در این مطالعه تلاش می‌شود با استفاده از مفهوم قطب[1] در شبکه توزیع گندم هزینه‌های حمل‌ونقل گندم را کاهش بیشتری داده و علاوه بر این با درنظر گرفتن حمل‌ونقل شبکه به صورت ترکیب جاده‌ای و ریلی، استفاده موثرتری از حمل‌ونقل ریلی گردد.

قطب‌ها طبق تعریف تسهیلات ویژه‌ای هستند که به‌عنوان نقاط تعویض، انتقال و یا طبقه‌بندی در سیستم‌های توزیع وسیع بکارگرفته می‌شوند [O'Kelly, 1987]. در این نوع سیستم‌ها، به جای اینکه تقاضای هر مقصد به طور مستقیم توسط نقاط مبدأ تأمین گردد، از قطب‌ها برای تمرکز جریان به منظور استفاده از مزایای مقیاس اقتصادی بهره می‌برند. به طور کلی شبکه‌های بر پایه قطب چندین مزیت را برای سیستم‌های توزیع ایجاد می‌کنند که مهم‌ترین آنها عبارتست از: ۱) کاهش و تسهیل هزینه‌های ساخت شبکه حمل‌ونقل ۲) متمرکز کردن جابجایی و طبقه‌بندی جریان‌ها ۳) توانایی کسب مزایای مقیاس اقتصادی با تجمیع تقاضاها بر روی لینک‌های کمتر [O'Kelly and Miller, 1994].

از جمله خروجی‌های این تحقیق، تعیین نقاط قطب در کشور با توجه به جریان گندم در بازه‌های زمانی مختلف و محدودیت‌های عرضه و تقاضای هر استان، تعیین مسیرهای حمل‌ونقل از مبدا به قطب‌ها و از قطب‌ها به نقاط مقصد است. از دیگر خروجی‌های مهم بدست آمده در این پژوهش، تعیین نوع مسیرهای حمل بین قطب‌ها (مسیرهای ریلی و یا جاده‌ای) است. استفاده از خطوط ریلی بین قطبها که حجم جابجایی بالا است، علاوه بر استفاده موثر از مسیرهای ریلی منجر به کاهش بیشتر هزینه‌های حمل‌ونقل می‌گردد.

۲. مرور ادبیات

ادبیات این موضوع از دو جنبه مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا مطالعات و کارهای مهم انجام شده روی بهبود شبکه توزیع گندم داخل کشور بررسی گردیده و سپس به مرور ادبیات مکانیابی قطب و شبکه‌های قطب و انواع آنها پرداخته می‌شود.

۲-۱ شبکه توزیع گندم داخل کشور

در زمینه شبکه توزیع گندم در داخل کشور مطالعاتی صورت گرفته است که در آنها به ارایه الگوی بهینه جابجایی محصول گندم پراخته شده است. در اغلب این مطالعات سعی شده است تا با وارد کردن فاکتور زمان در ارایه الگوی بهینه، تعادل میان مصرف و ذخیره در طول زمان مورد توجه قرار گیرد. شیخی با استفاده از مدل

برنامه‌ریزی خطی حمل‌ونقل، الگویی برای بهینه‌سازی حمل‌ونقل و توزیع مبادی و مقاصد گندم وارداتی ارایه می‌دهد [Sheikhi, 1992]. همچنین شیخی و ناظمان با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی خطی مشخص کردند که چه مقدار گندم در کدام ماه سال از کدام کشور صادرکننده خریداری و در کدام مبدا در روی کشور تخلیه و سپس از آنجا به کدام مقصد استانی فرستاده شود [Sheikhi and Nazeman, 2003]. پورحسین با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (حمل‌ونقل) مدلی را برای توزیع و جابجایی گندم در استان تهران در ابعاد زمانی (دو مقطع ۶ ماهه در دو مرحله) و مکانی با مقیاس شهرستان‌ها و هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل گندم بین مبادی شهرستان‌ها و سیلوها تا کارخانه آرد اجرا و ارایه داده است [Pourhossein, 1996]. اما از مهمترین پژوهشهایی که اخیراً در خصوص شبکه توزیع گندم صورت گرفته است، پژوهش بهبود شبکه توزیع گندم در ایران است که برای شرکت بازرگانی دولتی انجام شده است [Zanjirani Farahani, 2008]. در این پژوهش سه فعالیت عمده انجام شده است: ۱) پیش بینی تولید گندم در استان‌های مختلف با استفاده از روش رگرسیون ۲) میزان ذخیره استراتژیک گندم برای هر استان و ۳) تعیین سیستم حمل‌ونقل و توزیع گندم بین استان‌ها. در انتهای این پژوهش نیز نرم‌افزاری که قابلیت اجرای مدل‌های ارایه شده را دارد، تبیین و نحوه کار با آن توضیح داده شده است. زنجیرانی فراهانی و همکاران، یک مدل برنامه‌ریزی صفر و یک ترکیبی برای تعیین اینکه چه مقدار گندم در هر ماه از هر استان به استان دیگر در ایران جابجا شود ارایه کردند [Zanjirani Farahani, et al., 2009]. این مدل با الگوریتم ژنتیک حل گردیده است.

اما تاکنون مطالعه‌ای که در آن از مفاهیم قطب در طراحی شبکه توزیع گندم کشور استفاده شده باشد وجود نداشته است و تقریبا اکثریت مطالعات صورت گرفته با توجه به شبکه موجود و ارتباطات مستقیم بین نقاط انجام شده است. مطالعه صفارزاده، زینالی‌فرید و شریف‌یزدی از معدود پژوهشهای داخلی است که به‌طور مشخص مکانیابی قطب را مدنظر داشته است. هرچند که مطالعه ایشان روی شبکه ترانزیت بار منطقه اکو بوده است [Saffarzadeh, Zeinalifarid and Sharif Yazdi, 2010].

۲-۲ مکانیابی قطب

با توجه به اینکه در این مطالعه از مدل مکان‌یابی قطب استفاده شده است، در این قسمتی مروری بر تحقیقات مسایل مکانیابی قطب پرداخته می‌شود. مسأله مکانیابی قطب در ارتباط با مکانیابی تسهیلات قطب و تخصیص گره‌های تقاضا به قطب است؛ تا به این ترتیب ترافیک بین جفت‌های مبدأ و مقصد مسیریابی شود. گلدمن اولین کسی است که مساله مکان‌یابی شبکه قطب را مورد بررسی قرار داد [Goldman, 1969]. گرچه اوکلی در مقاله‌ی سال ۱۹۹۲ خود اولین فرمول‌بندی ریاضی را برای مساله مکانیابی قطب در شبکه مسافران خطوط هوایی ارایه داد [O'Kelly, 1992]. فرمول‌بندی وی مساله تخصیص تکی p قطب میانه است.

بطور کلی دو نوع اصلی شبکه‌های قطب موجود است: تخصیص یگانه و تخصیص چندگانه[۲]. در تخصیص یگانه، همه‌ی ترافیک ورودی و خروجی هر مرکز تقاضا، فقط از طریق یک قطب مسیریابی می‌شود. درحالی که در تخصیص چندگانه، هر مرکز تقاضا می‌تواند جریان را از تعداد بیشتری قطب بگیرد و یا انتقال دهد [Alumur and Kara, 2008].

دسته‌بندی دیگری نیز وجود دارد که در ارتباط با مکانیابی قطب‌ها است. چهار دسته‌ی کلی مسأله مکانیابی قطب وجود دارد. این دسته‌بندی شامل مسأله‌ی مکانیابی متوسط p قطب[۳]، مسأله‌ی مکانیابی قطب با هزینه‌ی ثابت[۴]، مسأله مکانیابی مرکز p قطب[۵] و مسأله پوشش قطب[۶] است [Alumur and Kara, 2008]. در مسایل p قطب میانه، هدف حداقل کردن کل هزینه‌های حمل‌ونقل (زمان، فاصله و ...) است. در این مسایل یک مجموعه از جریان‌ها، n گره تقاضا، میزان جریان بین هر جفت مبدا و مقصد و تعداد قطبها (p) که باید مکانیابی شوند، وجود دارد. در مسایل مکانیابی با هزینه ثابت، هزینه ثابت احداث قطبها نیز در نظر گرفته می‌شود. علاقمندان جهت مطالعه بیشتر درخصوص تحقیقات انجام شده روی موضوع مکانیابی قطب می‌توانند به مطالعه مروری جامع [Zanjirani Farahani, et al. 2013] مراجعه نمایند.

در ادامه با توجه به ادبیات گسترده‌ای که در زمینه مکانیابی قطب وجود دارد، فقط پژوهش‌هایی بررسی شده‌اند که با مورد عملی این پژوهش یعنی طراحی شبکه توزیع گندم سازگاری بیشتری دارند.

در بین روش‌های مکانیابی قطب، دو روش p قطب میانه و هزینه ثابت به شبکه توزیع گندم نزدیک هستند. همچنین با توجه به مورد عملی که محدودیت‌های چند پریودی و چند وجهی نیز دارد، مطالعات انجام شده در این دو زمینه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

کمپل، اولین مدل ریاضی برنامه‌ریزی عددصحیح خطی را برای مساله p قطب میانه در حالت تخصیص تکی ارایه داده است [Campbell, 1994]. وی مدل ریاضی خود را با تعریف آستانه جریان انجام داد؛ به این صورت که آستانه جریان، حداقل جریانی است که اجازه می‌دهد سرویسی بر روی مسیری برقرار شود. زمانی که آستانه جریان به مقدار حداکثر خود برسد، هر نقطه تقاضا به یک قطب تخصیص می‌یابد و به این ترتیب مساله به حالت تخصیص تکی تقلیل می‌یابد. ارنست و کریشنامورتی، مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی متفاوتی ارایه دادند که نیاز به متغیرها و محدودیت‌های کمتری داشت [Ernst and Krishnamoorthy, 1996]. به این ترتیب این مدل قابل پیاده‌سازی برای مسایل بزرگ‌تر بود. آن‌ها انتقالات بین قطبها را مانند مساله جریان چندکالایی در نظر گرفته و هر کالا نشان‌دهنده جریانی است که از یک مبدا خارج شده است. در واقع هر مبدا مانند یک کالا درنظر گرفته شده است. ابری، مدل ریاضی دیگری ارایه داد که از تمام مقالاتی که تا آن زمان ارایه شده بود، متغیرها و محدودیت‌های کمتری داشت [Ebery, 2001]. اگرچه زمان محاسباتی‌ای که برای حل این مدل ریاضی نیاز بود، خیلی بیشتر از مدل ارنست و کریشنامورتی بود. اخیرا نیز یامان، مسئله مکانیابی قطب از نوع میانه را برای مکانیابی هاب در حالت سلسله مراتبی و تخصیص تکی مدلسازی و حل کرده است [Yaman, 2009].

کمپل اولین نفری بود که مساله p قطب میانه را در حالتی که تخصیص چندگانه است، به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مدل‌سازی کرد [Campbell, 1994]. وی همچنین در ۱۹۹۶، مدل ریاضی جدیدی برای مساله فوق با درنظر گرفتن آستانه جریان و هزینه ثابت به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح ارایه کرد و یک الگوریتم ابتکاری تعویض حریصانه برای مساله تخصیص چندگانه p قطب میانه پیشنهاد داد [Campbell, 1996]. ارنست و کریشنامورتی یک مدل ریاضی جدید برای مساله فوق به صورت برنامه‌ریزی خطی، برپایه روش شاخه و کران توسعه دادند [Ernst and Krishnamoorthy, 1996]. آن‌ها همچنین دو روش ابتکاری ارایه دادند. روش اول کوتاه‌ترین مسیر به صورت ابتکاری و روش دوم شمارش صریح بود. هر دو روش براین فرض استوار هستند که اگر مکان قطبها ثابت گردد، به راحتی می‌توان تصمیمات تخصیص را اتخاذ کرد. به این ترتیب که هر جفت از گره‌ها، به روش کوتاه‌ترین مسیر از طریق قطبهای داده شده جریان می‌یابند. ستاک و همکاران، مدلی جامع برای مسئله مکان-یابی- مسیریابی قطب ارائه کرده‌اند [Setak et al. 2013]. در این مدل علاوه بر مکان‌یابی و مسیریابی همزمان، از استراتژی تخصیص چندگانه برای اتصال بین غیر قطب‌ها و قطب‌ها استفاده شده است. همچنین غیرقطب‌ها می‌توانند به طور مستقیم ارتباط داشته باشند. هدف از این مدل، کمینه‌سازی هزینه‌های ایجاد شبکه و انتقال جریان در شبکه بوده است. اخیرا نیز رزمی و رحمان‌نیا، مکانیابی p قطب میانه را در طراحی شبکه توزیع محصولات کارخانه با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت مراکز توزیع و سطح سرویس‌دهی مورد توجه قرار داده و حل کرده‌اند [Razmi and Rahmannia, 2014]. بوکانی و همکاران نیز یک رویکرد حل بهینه استوار برای مسئله مکانیابی هاب با تخصیص تکی و چندگانه را در فضای عدم قطعیت ارایه کرده‌اند [Habibzadeh Boukani et al. 2014].

در مسایل p قطب میانه، هزینه ثابت راه‌اندازی تسهیلات درنظر گرفته نشده است. اوکلی، مساله مکانیابی قطب با تخصیص تکی در حالتی که هزینه ثابت راه‌اندازی وجود دارد را فرمول‌بندی کرد [O'Kelly, 1992]. به این ترتیب متغیرهای تصمیمی که نشان‌دهنده باز بودن و یا نبودن قطبها بودند به مساله اضافه شد. علاوه بر دسته‌بندی که بر روی این مسایل از نظر تخصیص تکی و یا چندگانه می‌توان انجام داد؛ زمانی که تعداد قطبها ثابت نیست، می‌توان مسایل را از نظر وجود ظرفیت در قطبها و یا عدم وجود ظرفیت نیز تقسیم‌بندی کرد. مطالعات متعددی در خصوص مساله مکانیابی قطب بدون ظرفیت تحت تخصیص تکی و با هزینه ثابت احداث صورت گرفته است. آیکین،حالت ظرفیت‌دار مساله مکانیابی قطب را با هزینه‌های ثابت ارایه داد که در آن قطبها ظرفیت محدودی داشتند [Aykin, 1994]. او مساله را به گونه‌ای مدل کرد که روابط مستقیم (بین گره‌های غیر واسطه‌ای)

نیز مجاز باشد. وی همچنین در سال ۱۹۹۵ مساله مشابهی را با هزینه‌های ثابت و با تعداد مشخص قطب برای مکانیابی تحلیل کرد [Aykin, 1995]. او دو سیاست تعیین مرکز واسطه را در حالتی که مسیر مستقیم مجاز باشد و یا نباشد بررسی و با هم مقایسه نمود. ابری، حالت تخصیص چندگانه مساله مکانیابی قطب ظرفیت‌دار را بررسی کرده است [Ebery, 2001]. مدل ریاضی وی شبیه به مدل پیشنهاد شده در مقاله ارنست و همکارانش (۱۹۹۶) برای مساله تخصیص چندگانه p قطب میانه است؛ با این تفاوت که هیچ محدودیتی بر روی تعداد قطبهایی که باید مکانیابی شوند وجود ندارد. آن‌ها برای حل یک الگوریتم ابتکاری کارا بر پایه کوتاهترین مسیر ارایه دادند و حد بالای به دست آمده از این ابتکار را با یک برنامه‌ریزی خطی بر مبنای رویه حل شاخه و کران ترکیب کردند. اخیرا نیز اوکلی و همکاران، موضوع هزینه‌های ثابت در کنار تخصیص چندگانه برای مکانیابی بهینه قطب در شبکه حمل‌ونقل را مورد توجه قرار دادند [O'Kelly, et al., 2014].

اکثر مطالعاتی که در زمینه مکان‌یابی قطب انجام شده‌است، فرض چند پریود بودن افق زمانبندی را درنظر نگرفته‌اند. در ادامه به معدود کارهایی که در این زمینه ارایه شده است، پرداخته می شود. گلاره و نیکل، اولین مدل ریاضی را برای مساله مکانیابی قطب چند پریودی انجام دادند [Gelareh and Nickel, 2008]. همچنین در این مدل، تلاش شده است که جنبه‌های واقعی کاربرد در نظر گرفته شود. آنها مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی را برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمومی بکار بردند. برای حل این مساله با توجه به اینکه روش‌های دقیق قادر به حل مساله نبودند، ایشان یک رویکرد حل فرا ابتکاری بر مبنای جستجوی همسایگی حریصانه توسعه دادند. در پژوهشی دیگر، مساله مکانیابی قطب در حالت پویا (چند پریودی) و با فرض عدم وجود ظرفیت برای قطب‌ها فرمول‌بندی و حل شده است [Contreras, Cordeau, and Laporte, 2009]. هدف مدل ارایه شده حداقل کردن کل هزینه‌ها در افق زمانی برنامه‌ریزی است، به نحوی که در هر پریود همه تقاضا در شبکه پوشش داده شود. همچنین در این مدل به تسهیلات قطب این اجازه داده می‌شود که در پریودهای مختلف باز و یا بسته باشند.

با توجه به اینکه در این مقاله، مسئله مکانیابی قطب با وجود مدهای مختلف حمل‌ونقل بررسی می‌شود، در آخرین بخش از مرور ادبیات، مسایل مکانیابی قطب در حالت چند مدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بسیاری از مسایل مکانیابی قطب به درنظر گرفتن مدهای مختلف حمل‌ونقل در شبکه توزیع توجه نشده است. آرنولد و همکاران، اولین نفراتی بودند که به این موضوع توجه کردند [Arnold, et al. 2001]. آن‌ها یک مدل ریاضی با هدف حداقل کردن هزینه‌های حمل‌ونقل ارایه کردند که در آن تعداد ثابتی قطب از بین تعدادی مکان کاندیدا انتخاب گردید. مدل ارایه شده در این مقاله اولین مدلی است که چندین روش حمل‌ونقل را در نظر گرفته است. در پژوهشی دیگر، مکانیابی قطب در یک شبکه توزیع محصولات مصرفی برای زمانی که دو روش حمل‌ونقل جاده‌ای و دریایی وجود دارد، بررسی گردیده و با حالتی که فقط شبکه جاده‌ای وجود دارد، مقایسه شده است [Groothedde, Ruijgrok and Tavasszy, 2005]. در این مدل، حمل‌ونقل در سایز بزرگ را با استفاده از حمل ونقل دریایی و همچنین حمل ونقل جاده‌ای را برای مسیرهایی که نیاز به سرعت بالاتری است، استفاده نمودند. مسأله طراحی شبکه مربوطه با استفاده از رویکرد جستجوی محلی بر پایه روش کوتاه‌ترین مسیر حل گردیده است. لیمبورگ و جورکوئین، مکانیابی ترمینال‌ها را در یک شبکه ریلی-جاده‌ای بررسی کردند [Limbourg and Jourquin, 2009]. مفهوم ترمینال در پژوهش ایشان، مشابه شبکه‌های مبتنی بر قطب است. روش حل نیز یک روش ابتکاری است. شبکه حمل‌ونقل در اروپا به عنوان یک مطالعه موردی برای این مدل بکارگرفته شد. اخیرا ایشفق و ساکس، یک مدل ریاضی با استفاده از مدل p هاب و در نظرگرفتن تخصیص چندگانه، برای مکانیابی هاب، زمانی که چندین روش حمل‌ونقل وجود دارد، ارایه کردند [Ishfaq and Sox, 2011]. از نوآوری‌های این مقاله اضافه کردن محدودیت پنجره زمانی به مدل بوده است. بالاخره آلومور و همکاران، مسئله مکانیابی قطب و طراحی شبکه برپایه قطب را با کمینه کردن هزینه-ها و زمان به‌طور همزمان مدلسازی و حل کرده‌اند و آن را برای شبکه توزیع کالا در ترکیه بررسی کرده‌اند [Alumur, Kara,

and Karasan, 2012].

۳. تعریف مساله

مدل ارایه شده به منظور بهبود شبکه توزیع گندم یک مدل مکانیابی قطب است که با درنظر گرفتن جابجایی گندم در ماه‌های مختلف، مکان قطب‌ها را تعیین و نقاط مبدا و مقصد را به قطب‌ها تخصیص می‌دهد. برای مدل‌سازی مساله از مسایل مکانیابی قطب با هزینه ثابت استفاده شده است تا به این ترتیب تعداد قطب بهینه نیز تعیین گردد. با توجه به اینکه الگوی عرضه و تقاضا در ماه‌های مختلف متفاوت است، نیاز است که داده‌های ماه‌های مختلف به عنوان ورودی به مساله داده شود. از طرفی از آنجا که هزینه بسته و باز کردن قطب در ماه‌های مختلف برای مورد عملی گندم خیلی بالاست، می‌بایست مکان قطب در تمامی ماه‌ها و در کل سال ثابت باشد.

برای مدل کردن شبکه توزیع گندم، مراکز هر یک از استان‌ها را با یک گره نشان می‌دهیم. مجموعه نقاط مبدا، مجموعه تمام استان‌های کشور است. همچنین به منظور درنظرگرفتن واردات گندم، با توجه به داده‌های واقعی، شهرهای آبادان، بندر امام خمینی، بندرعباس، بندر لنگه، بوشهر، چابهار، گناوه و ماهشهر نیز به این مجموعه اضافه می‌شوند. مجموعه نقاط مقصد نیز تمامی مراکز استان‌های کشور است.

در شبکه توزیع گندم می‌توان هم از مسیرهای ریلی و هم جاده‌ای استفاده نمود. شبکه‌های جاده‌ای و ریلی به‌صورت گراف‌های غیرمستقیم $G_1(N_1, A_1)$ و $G_2(N_2, A_2)$ درنظر گرفته شده است. مجموعه N_1 و N_2، استانها را نشان می‌دهند و مجموعه‌های A_1 و A_2، ارتباطات حمل‌ونقلی بین استان‌ها را برای هر دو مد حمل‌ونقل نشان می‌دهند. بنابراین شبکه چند وجهی به صورت $G(N,A)$ ارایه می‌شود که N اجتماع استانهای دارای دو مد حمل‌ونقل و A اجتماع همه مسیرها است.

مجموعه تمام شهرهایی که پتانسیل قطب شدن دارند برابر با C است، بنابراین به تعداد $K=2C$ گره داریم که تعداد ۱ تا $|C|$ گره‌های جاده‌ای و از $|C|$ تا $2|C|$ گره‌های ریلی را نشان می‌دهند. در یک شبکه چند وجهی، محموله‌ها توسط کامیون دریافت می‌شوند و به مکان قطب مبدأ انتقال می‌یابند. در قطب، محموله‌ها با توجه به مقصد خود تجمیع می‌شوند و به قطب مقصد نزدیک نقطه مشتری انتقال می‌یابند. با توجه به مقیاس اقتصادی، هزینه‌های حمل‌ونقل بین لینک‌های قطب به قطب تخفیف می‌یابد. در این مدل، یک محموله ممکن است در مسیر خود از مبدا به مقصد فقط از مسیرهای جاده‌ای استفاده کند، همچنین می‌تواند از مسیرهای ریلی نیز استفاده نماید. انتخاب مد حمل‌ونقل بستگی به هزینه و وجود مسیر دارد. هر تغییری در مد حمل‌ونقل برای محموله، فقط در قطبهای چند وجهی اتفاق می‌افتد.

۳-۱ مفروضات مسئله

- هر استان می‌تواند قطب جاده‌ای داشته باشد.
- هر استان که به مسیر ریلی دسترسی دارد می‌تواند هم قطب جاده‌ای و هم قطب ریلی گردد.
- جمع‌آوری از مبدأ و تحویل به مقصد، از طریق جاده صورت می‌گیرد. به عبارتی، مسیر ریلی فقط در بین دو قطب معنی‌دار است.
- بار بین مبدا و مقصد باید با استفاده از قطب صورت گیرد.
- قطبها محدودیت ظرفیت دارند.
- به دلیل سرمایه‌بری فراوان ایجاد قطب، مکان قطبها در ماه‌های مختلف ثابت فرض می‌شوند.
- مسئله بدون درنظر گرفتن زیرساخت‌های موجود و در حالت طراحی از صفر حل شده است.

۳-۲ ورودی‌های مسئله

- گندم حمل شده از مبادی مختلف (استان‌ها و نقاط مرزی) به مقاصد مختلف (استان ها) در ماه‌های مختلف (ماتریس از- به جریان)
- هزینه حمل‌ونقل گندم از مبادی به مقاصد (ماتریس از – به هزینه)
- هزینه ثابت و هزینه متغیر ساخت سیلو
- ظرفیت سیلوها

۳-۳ خروجی‌های مدل

- تعداد و مکان قطبها
- تخصیص مبادی عرضه کننده و مقاصد مصرف کننده گندم به قطبها
- میزان جریان بین مبدا به قطب، قطب به قطب و از قطب

- به مقصد برای هر مبدا و در هر ماه
- تعیین نوع مد (ریلی و یا جاده‌ای) بین قطبها
- هزینه کل سالیانه شبکه توزیع گندم
- هزینه سالانه حمل‌ونقل گندم

۳-۴ علایم و نشانه‌ها

جدول ۱. تعریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل

تعریف مجموعه ها		تعریف پارامترها		تعریف متغیرها	
I	مجموعه نقاط مبدا (تولید کننده گندم)	C_{ik}	هزینه انتقال از مبدا i به قطب k	H_k	متغیر ۰ و۱ که مقدار یک نشان دهنده باز بودن قطب k و صفر نشان‌گر بسته بودن آن است
J	مجموعه نقاط مقصد (مصرف کننده گندم)	F_k	هزینه ثابت راه اندازی قطب k	Z_{ikt}	میزان گندم حمل شده از مبدا i به قطب kدر زمان t
K	مجموعه نقاط پتانسیل برای قطب شدن	O_{it}	میزان عرضه مبدا i در زمان t	Y^i_{klt}	میزان گندم حمل شده مبدا i از قطب k به قطب lدر زمان t
C	مجموعه استان‌های پتانسیل برای قطب شدن	w_{ijt}	میزان گندم حمل شده از مبدا i به مقصد j در زمان t	X^i_{ljt}	میزان گندم حمل شده مبدا i از قطب l به مقصد j در زمان t
T	تعداد پریودهای زمانی	Ca_k	ظرفیت قطب k	V_k	حداکثر جریان ورودی به قطب k
		I_k	هزینه متغیر ساخت سیلو برای یک تن گندم در قطب k	Q_{kt}	جریان ورودی به قطب k در پریود t

۴. مدلسازی مساله

$$\min \ \sum_t \sum_i [\sum_k C_{ik} Z_{ikt} + \sum_k \sum_l \alpha C_{kl} Y^i_{klt} + \sum_l \sum_j C_{lj} X^i_{ljt}] + \sum_k (F_k H_k + I_k V_k) \quad (۱)$$

s.t.

$$\sum_k Z_{ikt} = O_{it} \qquad \forall i \epsilon I, \forall t \epsilon T \quad (۲)$$

$$\sum_l X^i_{ljt} = w_{ijt} \qquad \forall i \epsilon I, \forall j \epsilon J, \forall t \epsilon T \quad (۳)$$

$$\sum_l Y^i_{klt} + \sum_j X^i_{kjt} - \sum_l Y^i_{lkt} - Z_{ikt} = 0 \quad \forall i \epsilon I, \forall k \epsilon K, \forall t \epsilon T \quad (۴)$$

$$\sum_i Z_{ikt} \le Ca_k H_k \qquad \forall k \epsilon K, \forall t \epsilon T \quad (۵)$$

$$\sum_j \sum_i X^i_{ljt} \le Ca_l H_l \quad \forall l \epsilon K, \forall t \epsilon T \quad (۶)$$

$$\sum_i Z_{ikt} = Q_{kt} \qquad \forall k \epsilon K, \forall t \epsilon T \quad (۷)$$

$$Q_{kt} \le I_k \qquad \forall k \in K, \forall t \in T \quad (۸)$$

$$H_c + H_{c+|C|} \le 1 \qquad \forall c \epsilon C \quad (۹)$$

$$H_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \epsilon K \quad (۱۰)$$

$$Y^i_{lkt}, X^i_{ljt}, Z_{ikt} \ge 0 \quad \forall i \epsilon I, \forall j \epsilon J, \forall k \epsilon K, \forall t \epsilon T, \forall l \epsilon L \quad (۱۱)$$

تابع هدف مساله (عبارت ۱) شامل هزینه متغیر حمل گندم از مبدا به قطب، در صورت لزوم از یک قطب به قطب دیگر و از قطب به مقصد، همچنین هزینه ثابت احداث قطب که شامل هزینه ثابت ساخت سیلو و هزینه متغیر ساخت سیلو است. عبارت (۲) که بیانگر اولین محدودیت است، تاکید دارد که در هر پریود، تمام جابجایی‌ها از مبدا i به تمامی قطبها بایستی برابر با مقدار عرضه مبدا i باشد. عبارت (۳) نشان می‌دهد که در هر پریود جریان انتقالی از قطب l به مقصد j که از مبدا i است، باید برابر با میزان جابجایی بین مبدا

i و مقصد j باشد. محدودیت (۴)، محدودیت تعادل جریان را در قطب k و از مبدا i و در هر پریود نشان می‌دهد. این محدودیت تاکید دارد که تمام جریان‌های ورودی از مبدا i به قطب k باید برابر با تمام جریان‌های خروجی از قطب k و برای مبدا i در هر پریود باشد. عبارت (۵) مجموع تمام جریان‌های ورودی به قطب k را در هر پریود حداکثر به ظرفیت قطب محدود می‌کند. عبارت (۶) ، محدودیت ظرفیت را برای تمامی جریان‌های خروجی از قطب k در هر پریود نشان می‌دهد. عبارت (۷) و (۸) حداکثر جریان ورودی به قطب را نشان می‌دهند که کمتر و یا برابر با حداکثر ظرفیت تعریف شده قطبها است. عبارت (۹) نیز تاکید دارد که از مجموعه نقاط پتانسیل قطب، هر شهر فقط می‌تواند یا قطب ریلی و یا قطب جاده‌ای باشد. عبارت (۱۰) و (۱۱) نیز نوع متغیرها را نشان می‌دهند.

۵. حل مساله

برای حل مدل ابتدا لازم است مجموعه نقاط قطب تعیین گردد. استراتژی تعیین نقاط پتانسیل قطب بر مبنای حجم جابجایی‌ها در بین استان‌های کشور است. با استفاده از اصل پارتو استان‌هایی که بیشترین جابجایی را دارند مشخص و به عنوان مجموعه نقاط قطب درنظر گرفته شده‌اند. مهم‌ترین ورودی مساله میزان جابجایی بین استان‌ها (w_{ijt}) است. به این منظور از داده‌های واقعی حمل گندم بین مبادی و مقاصد[۷] مختلف در ۱۲ ماه سال (۱۳۸۱-۱۳۹۰) استفاده شده است. همچنین هزینه‌های حمل‌ونقل گندم بین استان‌های مختلف، میانگین کرایه حمل هر تن گندم در مسافت بین استان‌های مختلف[۸] است. هزینه احداث سیلو نیز شامل هزینه زمین، هزینه حق‌الزحمه مشاور در امور طراحی و نظارت، هزینه خرید و نصب سیلوها، هزینه احداث فونداسیون کندوها، برجکار، گالری فوقانی و تحتانی، هزینه خرید و نصب ماشین‌آلات، هزینه حصارکشی و محوطه‌سازی و هزینه ساختمان‌های جنبی و تاسیسات عمومی است. از بین هزینه‌های فوق تنها هزینه زمین در استان‌های مختلف تفاوت زیادی دارد و دیگر هزینه‌ها تقریبا یکسان است. این هزینه‌ها به دو گروه هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر قابل تقسیم است. هزینه متغیر ساخت سیلو شامل هزینه‌های خرید و نصب سیلوها، فونداسیون کندوها، هزینه خرید و نصب ماشین‌آلات است. این هزینه‌ها برای ساخت سیلو به ازای هر تن گندم قابل محاسبه است. براساس برآوردهای میدانی، هزینه متغیر ساخت سیلو برای سیلوهای فلزی ۶۵ هزار تومان و برای سیلوهای بتنی ۱۲۰ هزار تومان است. باتوجه به مزیتهای سیلوهای فلزی، در مدل حاضر هزینه متغیر ساخت سیلو برابر هزینه ساخت سیلوی فلزی درنظر گرفته شده است. سایر هزینه‌ها که جزو هزینه‌های ثابت است، برای هر استان در جدول زیر آورده شده است. لازم به ذکر است هزینه‌های زیر برای زمینی با مساحت ۵۰۰۰۰ متر مربع و ظرفیت ۲۰۰ هزار تن است.

۶. نتایج حل مدل

همان‌طور که در قسمت قبل توضیح داده شد، برای حل مساله از داده‌های واقعی مربوط به حمل گندم در طی ماههای مختلف ۱۰ سال گذشته استفاده شده است. به این منظور برای هر سال مساله به صورت جداگانه حل گردیده است. نتایج حاصل از حل مساله توسط برنامه حل‌کننده CPLEX به شرح زیر است:

به صورت خلاصه مکان‌هایی که به عنوان قطب در طی ۱۰ سال اخیر انتخاب شده‌اند و همچنین تعداد تکرار آن‌ها در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که از جدول ۴ مشخص است، استان‌های تهران، خوزستان و فارس در هر ۱۰ سال به عنوان قطب تعیین شده‌اند، بنابراین می‌توان این استان‌ها را به صورت قطع به عنوان قطب انتخاب نمود. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، خراسان رضوی و گلستان که دارای فراوانی بیش از ۵۰٪ هستند را می‌توان به عنوان قطب انتخاب کرد. برای تصمیم‌گیری در خصوص استان‌های اصفهان، کرمان و مرکزی (که دارای فراوانی ۴ هستند) مقایسه بر مبنای هزینه کل در طی ۱۰ سال صورت پذیرفته است. نتایج مطابق جدول (۴) حاصل شده است:

- H: استانهای قطعی برای قطب شدن= تهران، خوزستان، فارس، آذربایجان شرقی، خراسان رضوی، گلستان
- P: استان‌های دارای پتانسیل برای قطب شدن= اصفهان، کرمان، مرکزی

همان‌طور که از جدول ۵ قابل مشاهده است، کم‌ترین هزینه کل در طی ۱۰ سال مربوط به حالتی است که تعداد قطبها ۸ و شامل استان‌های تهران، خوزستان، فارس، آذربایجان شرقی، خراسان رضوی، گلستان، اصفهان و کرمان است.

تمامی نقاط انتخاب شده برای قطب از نوع قطبهای ریلی هستند و دارند.
مسیرهای ریلی برای بین قطب‌ها مطلوبیت بیشتری از نظر هزینه‌ای

جدول ۲. هزینه احداث قطب در استان‌های پتانسیل قطب (واحد: میلیون تومان)[۹]

کد قطب	نام استان	هزینه احداث	کد قطب	نام استان	هزینه احداث
۱	اصفهان	۴۷۲۴	۱۰	کرمان	۳۹۸۲
۲	آذربایجان شرقی	۴۲۸۰	۱۱	گلستان	۳۸۹۰
۳	تهران	۷۰۸۸	۱۲	مازندران	۴۱۳۸
۴	خراسان رضوی	۵۰۱۶	۱۳	مرکزی	۴۵۱۸
۵	خوزستان	۴۱۳۱	۱۴	آذربایجان غربی	۴۰۱۸
۶	زنجان	۴۰۸۲	۱۵	کرمانشاه	۳۹۵۵
۷	سمنان	۴۴۱۰	۱۶	گیلان	۴۱۱۱
۸	فارس	۴۲۷۶	۱۷	همدان	۴۰۸۵
۹	قزوین	۴۴۹۹	۱۸		

جدول ۳. قطبهای تعیین شده توسط مدل پیشنهادی (سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰)

سال	تعداد قطب	قطب ۱	قطب ۲	قطب ۳	قطب ۴	قطب ۵	قطب ۶	قطب۷	قطب ۸	قطب ۹	قطب ۱۰
۱۳۹۰	۵	کرمانشاه	تهران	خوزستان	فارس	گلستان					
۱۳۸۹	۵	تهران	خوزستان	فارس	گلستان	مازندران					
۱۳۸۸	۹	اصفهان	آ. شرقی	تهران	خوزستان	فارس	قزوین	کرمان	مازندران	مرکزی	
۱۳۸۷	۱۰	همدان	اصفهان	آ. شرقی	تهران	خ.رضوی	خوزستان	فارس	قزوین	کرمان	مرکزی
۱۳۸۶	۵	آ. شرقی	تهران	خوزستان	فارس	گلستان					
۱۳۸۵	۹	اصفهان	آ. شرقی	تهران	خ.رضوی	خوزستان	فارس	قزوین	مازندران	مرکزی	
۱۳۸۴	۶	آ. شرقی	تهران	خ. ضوی	خوزستان	فارس	گلستان				
۱۳۸۳	۵	تهران	خ.رضوی	خوزستان	فارس	گلستان					
۱۳۸۲	۷	آ. شرقی	تهران	خ.رضوی	خوزستان	فارس	کرمان	گلستان			
۱۳۸۱	۱۰	گیلان	اصفهان	آ. شرقی	تهران	خ. ضوی	خوزستان	فارس	کرمان	گلستان	مرکزی

جدول ۴. فراوانی قطبهای تعیین شده توسط مدل پیشنهادی (طی سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰)

کرمانشاه	گیلان	همدان	اصفهان	آ.شرقی	تهران	خ.رضوی
۱	۱	۱	۱	۷	۱۰	۶
خوزستان	**فارس**	**قزوین**	**کرمان**	**گلستان**	**مازندران**	**مرکزی**
۱۰	۱۰	۳	۴	۶	۳	۴

جدول ۵. هزینه کل حمل‌ونقل و احداث سیلو برای قطبهای تعیین شده (صد میلیون ریال)

قطب	استانهای	استانهای گروه H +استان های انتخابی از P					
سال	گروه H	اصفهان	کرمان	مرکزی	مرکزی،اصفهان	مرکزی،کرمان	اصفهان،کرمان	اصفهان،کرمان،مرکزی
۹۰	۱۴۹۸۱۰۲	۱۴۹۸۱۰۲	۱۵۲۲۸۵۳	۱۴۹۴۱۷۳	۱۱۲۸۵۶۶	۱۵۱۴۲۱۴	۱۱۴۶۰۹۳	۱۵۳۲۰۰۱
۸۹	۱۷۳۴۵۳۰	۱۴۴۷۷۱۸	۱۴۳۳۱۱۴	۱۳۹۸۳۵۸	۱۳۵۹۰۰۰	۱۷۳۷۲۸۱	۱۳۷۹۷۴۵	۱۳۳۴۲۳۳
۸۸	۲۸۹۷۵۳۰	۲۸۹۷۵۳۰	۲۹۲۴۲۲۰	۲۹۳۹۱۷۵	۲۷۰۲۹۸۷	۳۲۶۳۹۱۵	۲۳۶۸۹۵۸	۲۹۷۷۸۸۸
۸۷	۴۲۳۶۹۵۹	۴۲۳۶۹۵۹	۴۱۲۲۰۴۳	۴۲۵۱۶۶۷	۳۸۵۴۷۳۱	۴۱۳۵۴۷۶	۳۷۲۵۷۴۴	۴۱۱۹۰۹۷
۸۶	۱۳۹۴۴۷۴	۱۳۹۴۴۷۴	۱۴۲۷۵۲۹	۱۴۱۳۸۴۷	۱۰۶۴۸۰۵	۱۴۴۵۴۴۹	۱۰۷۹۰۲۸	۱۴۷۷۶۶۹
۸۵	۱۸۱۵۵۰۶	۱۸۱۵۵۰۶	۱۸۴۱۶۸۷	۱۸۳۲۳۶۲	۱۴۷۴۰۰۳	۱۸۵۸۳۰۸	۱۴۸۱۷۴۸	۱۸۷۹۴۳۷
۸۴	۱۲۱۹۹۱۹	۱۲۱۹۹۱۹	۱۲۵۲۵۵۳	۱۲۴۷۵۹۷	۹۰۰۸۴۹	۱۲۷۵۱۵۳	۹۰۴۸۴۶	۱۳۰۹۸۲۷
۸۳	۱۲۳۸۷۳۱	۱۲۳۸۷۳۱	۱۲۷۴۷۲۷	۱۲۵۹۴۶۷	۹۱۴۸۸۵	۱۲۹۳۱۹۳	۹۲۶۰۹۶	۱۳۲۸۲۷۵
۸۲	۱۴۹۱۰۳۱	۱۴۹۱۰۳۱	۱۴۹۲۷۹۷	۱۵۱۲۶۶۹	۱۱۶۳۶۴۹	۱۵۱۲۵۶۵	۱۱۴۴۱۴۱	۱۵۴۳۸۵۶
۸۱	۲۲۱۴۴۴۶	۱۹۲۷۶۳۴	۲۱۶۳۸۱۹	۲۲۳۸۵۱۲	۱۸۵۹۶۱۹	۲۱۸۷۱۵۸	۱۷۸۵۰۶۵	۲۱۸۷۶۸۱
مجموع	**۱۹۷۴۱۲۲۸**	**۱۹۱۶۷۶۰۴**	**۱۹۴۵۵۳۴۲**	**۱۹۵۸۷۸۲۷**	**۱۶۴۲۳۰۹۵**	**۲۰۲۲۲۷۱۲**	**۱۵۹۴۱۴۶۵**	**۱۹۶۸۹۹۶۴**

جدول ۶. مقایسه هزینه حمل واقعی گندم با مدل پیشنهادی (هزینه‌ها، میلیون ریال)

سال	هزینه کل	هزینه حمل‌ونقل	هزینه واقعی	درصد تغییر
۹۰	۱۱۴۶۰۹۳۰	۸۷۲۲۱۰۵	۱۲۸۹۳۹۴۹	۳۶ درصد کاهش
۸۹	۱۳۷۹۷۴۵۰	۱۰۰۵۸۶۲۵	۲۰۲۸۴۷۵۸	۵۰ درصد کاهش
۸۸	۲۳۶۸۹۵۸۰	۱۹۹۵۰۷۵۵	۳۵۴۸۵۴۷۵	۴۳ درصد کاهش
۸۷	۳۷۲۵۷۴۴۰	۳۳۵۱۸۶۱۵	۵۲۲۸۱۵۴۳	۳۵درصد کاهش
۸۶	۱۰۷۹۰۲۸۰	۷۰۵۱۴۵۵	۱۵۸۶۵۸۳۲	۵۵ درصد کاهش
۸۵	۱۴۸۱۷۴۸۰	۱۱۰۷۸۶۵۵	۱۸۳۴۱۰۴۳	۳۹ درصد کاهش
۸۴	۹۰۴۸۴۷۰	۵۳۰۹۶۴۵	۱۲۵۸۳۸۹۶	۵۷ درصد کاهش
۸۳	۹۲۶۰۹۶۶	۵۵۲۲۱۴۱	۱۲۵۶۳۷۱۴	۵۶ درصد کاهش
۸۲	۱۱۴۴۱۴۱۰	۷۷۰۲۵۸۵	۱۳۱۰۲۵۰۳	۴۱ درصد کاهش
۸۱	۱۷۸۵۰۶۵۰	۱۴۱۱۱۸۲۵	۱۴۴۳۸۳۱۰	۲ درصد کاهش
مجموع	**۱۵۹۴۱۴۶۵۵**	**۱۵۵۶۷۵۸۳۰**	**۲۰۷۸۴۱۰۲۳**	**۲۵ درصد کاهش**

به منظور نشان دادن مطلوبیت مدل پیشنهادی، از شاخص کل هزینه حمل‌ونقل در طی ۱۰ سال اخیر استفاده شده است. به این منظور کل هزینه‌های واقعی مربوط به حمل گندم در طی ۱۰ سال گذشته با هزینه‌های حمل گندم در صورت استفاده از قطب مقایسه شده است. نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود هزینه‌های حمل گندم از ۲۰۷۸۴۱۰۲۳ میلیون ریال به ۱۵۵۶۷۵۸۳۰ میلیون ریال کاهش یافته است که برابر با ۲۵ درصد کاهش در کل هزینه‌های حمل گندم و معادل ۵۲۱۶۵۱۹۳ میلیون ریال در طی ۱۰ سال گذشته است. کاهش هزینه‌های سالانه نیز در جدول ۶ آورده شده است.

بنابراین با استفاده از قطب کاهش بسیاری در مسیرهای حمل گندم حاصل می‌شود. به این ترتیب مسیرهایی با تعداد بار کم که منجر به هزینه‌های بالا می‌شوند، حذف می‌شوند. علاوه بر این با استفاده از خطوط ریلی بین قطبها می‌توان حجم بالایی از گندم را با هزینه بسیار کمتر جابجا نمود و به این ترتیب هزینه‌های حمل گندم را به میزان چشم‌گیری کاهش داد.

۷. تحلیل حساسیت

به منظور اعتبارسنجی مدل و همچنین نشان دادن اهمیت اجزای مختلف شبکه توزیع گندم در هزینه‌های کل شبکه توزیع بر روی پارامترهای مختلف تحلیل حساسیت انجام شده است. نتایج به شرح زیر بدست آمده است:

۷-۱ تحلیل حساسیت بر روی پارامتر آلفا

پارامتر آلفا در تابع هدف مسئله به منظور درنظر گرفتن اندازه کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بین قطبها با فرض استفاده از مزایای مقیاس اقتصادی در این مسیرها بکار می‌رود. به عبارتی این پارامتر نسبت کاهش هزینه حمل کالا از طریق مد حمل ریلی در مقایسه با مد حمل جاده‌ای را نشان می‌دهد که همواره مقداری بین صفر و یک است. در پژوهش حاضر برای این پارامتر که به آن فاکتور تخفیف گفته می‌شود مقدار۰/۷ درنظر گرفته شده است که یک مقدار تجربی است. همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد، این پارامتر می‌تواند تاثیر بسیاری در مکان و تعداد قطبها داشته باشد بنابراین لازم است به تحلیل حساسیت آن پرداخته شود. برای انجام تحلیل فوق، مدل ریاضی ارایه شده با فرض مقادیر مختلف α با استفاده از نرم افزار CPLEX حل شده و نتایج زیر حاصل شده است

همان‌طور که در جدول ۸ مشخص است با کاهش پارامتر آلفا هزینه کل کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش پارامتر آلفا تعداد قطبها زیاد می‌شود و به این ترتیب هزینه ثابت احداث زیاد می‌شود، اما چون هزینه حمل‌ونقل کاهش چشمگیری دارد هزینه‌ی کل کاهش می‌یابد. با توجه به خروجی‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت افزایش پارامتر آلفا تاثیری در جواب‌های بهینه نخواهد داشت، اما کاهش آلفا به ۰,۳ و کمتر از آن (که البته در دنیای واقعی خیلی بعید است) منجر به افزایش تعداد قطبها می‌گردد.

۷-۲ تحلیل حساسیت بر روی هزینه استقرار قطب

همان‌طور که در قسمت‌های پیشین ذکر گردید، هزینه استقرار قطب خود از دو هزینه ثابت و متغیر تشکیل شده است. در این قسمت بر روی این دو پارامتر تحلیل حساسیت صورت می‌گیرد.

۷-۲-۱ هزینه ثابت

در خصوص هزینه ثابت هم افزایش و هم کاهش این هزینه بررسی شده است. نتایج این بررسی در جدول ۸ آورده شده است. با کاهش مقادیر مربوط به هزینه ثابت احداث سیلو، امکان ساخت سیلوهای بیشتری فراهم شده، بنابراین تعداد قطبها افزایش یافته است، اما با توجه به اینکه افزایش قطبها با افزایش هزینه ثابت احداث رابطه مستقیم دارد، در مجموع هزینه کل کاهش چندانی ندارد.

جدول ۷. نتایج تحلیل حساسیت بر روی پارامتر آلفا (مقایسه به آلفای ۰,۷)

مقدار پارامتر آلفا	کل هزینه‌ها	هزینه حمل‌ونقل	هزینه ثابت	درصد تغییر هزینه کل	تعداد قطبها
۱	۲۶۱۵۷۷۹۰	۱۳۹۱۲۰۰۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	٪۴ افزایش	۵
۰,۹	۲۵۸۱۷۳۱۰	۱۳۵۷۱۵۲۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	٪۲افزایش	۵
۰,۷	۲۵۵۳۷۳۹۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	–	۵
۰,۵	۲۵۲۵۷۸۲۰	۱۳۰۱۲۰۴۰	۱۲۲۴۵۷۸۰	٪۲ کاهش	۵
۰,۳	۲۳۰۰۹۹۸۰	۸۹۵۳۶۴۴	۱۴۰۵۶۳۳۵	٪۳۲ کاهش	۹
۰,۱	۲۱۲۵۴۳۸۰	۷۱۹۸۰۴۷	۱۴۰۵۶۳۳۲	٪۴۵ کاهش	۹

جدول ۸ نتایج تحلیل حساسیت بر روی هزینه ثابت استقرار قطب

	کل هزینه‌ها	هزینه حمل‌ونقل	کل هزینه احداث	هزینه ثابت احداث	درصد تغییر هزینه کل	تعداد قطبها
۴ برابر افزایش	۲۸۴۴۳۷۲۰	۱۳۷۲۰۱۳۰	۱۴۷۲۳۵۹۰	۸۳۰۰۸۰۰	۱۱ درصد افزایش	۵
۲ برابر افزایش	۲۷۱۰۶۳۲۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۳۸۱۴۷۲۰	۸۰۸۱۶۶۰	۶،۱ درصد افزایش	۵
۱،۵ برابر افزایش	۲۶۷۰۴۴۲۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۳۴۱۲۸۲۰	۳۵۰۱۱۱۳	۴درصد افزایش	۵
بدون تغییر	۲۵۵۳۷۳۹۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	۲۳۳۴۰۷۵	بدون تغییر	۵
۱،۵ برابر کاهش	۲۲۵۹۵۶۴۰	۱۰۴۱۳۷۳۰	۱۲۱۸۱۹۱۰	۲۲۷۰۲۰۰	۱۱درصد کاهش	۸

همچنین با افزایش تعداد قطبها، هزینه حمل‌ونقل کاهش می‌یابد. تحلیل حاضر نشان می‌دهد که افزایش هزینه ثابت تاثیری بر تعداد قطبها ندارند. در این حالت تنها زمانی که هزینه ثابت ۴ برابر می‌شود، چون هزینه ثابت استان‌های پتانسیل تفاوت چشمگیری می‌کند، استان‌هایی به عنوان قطب انتخاب می‌شوند که هزینه ثابت احداث کمتری داشته باشند. به این ترتیب در این حالت هزینه‌های حمل‌ونقل با توجه به اینکه مکان‌های بهینه انتخاب نشده‌اند زیاد شده است.

۷-۲-۲ هزینه متغیر

در حل مسئله، هزینه متغیر احداث سیلو برابر با هزینه احداث هر تن سیلوی فلزی و برابر ۱۲۰۰۰۰ تومان درنظر گرفته شد. در این قسمت، بر روی این پارامتر که در واقع هزینه متغیر احداث قطب است تحلیل حساسیت انجام شده است. همان‌طور که در

جدول ۹ زیر نشان داده شده است، کاهش و حذف این هزینه منجر به افزایش تعداد قطبها و کاهش هزینه کل می‌گردد. همچنین افزایش این هزینه تغییری در تعداد قطبها ندارد، اما هزینه کل را تغییر زیادی می‌دهد.

با مقایسه

جدول ۸ و

جدول ۹ و توجه به درصد تغییرات هزینه کل در دو جدول نتیجه گرفته می‌شود که هزینه متغیر ساخت سیلو در مقایسه با هزینه ثابت آن سهم بسیار بیشتری را در هزینه کل دارد.

۷-۳ تحلیل حساسیت بر روی ظرفیت قطب‌ها

همان‌طور که در قسمتهای قبل ذکر گردید حداکثر ظرفیت قطبها برابر با ۲۰۰۰۰۰ تن درنظر گرفته شده است. در این قسمت بررسی می‌شود که در صورت عدم وجود محدودیت ظرفیت، تعداد قطبها به چه صورت تغییر می‌کند. این بررسی در

جدول ۱۰ آمده است.

همان‌طور که در جدول فوق نمایان است با حذف محدودیت ظرفیت قطبها، تعداد قطبها افزایش و هزینه حمل‌ونقل کاهش می‌یابد. اما با توجه به اینکه افزایش تعداد قطبها منجر به افزایش هزینه ثابت احداث می‌گردد بنابراین تغییر چندانی در هزینه کل نسبت به حالتی که ظرفیت در نظر گرفته می‌شود ندارد.

جدول ۹. نتایج تحلیل حساسیت بر روی هزینه متغیر استقرار قطب

هزینه متغیر احداث	تغییر هزینه	کل هزینه‌ها	هزینه حمل‌ونقل	هزینه ثابت	درصد تغییر	تعداد قطبها
۳۶۰۰۰۰	۳ برابر افزایش	۴۶۳۴۶۶۲۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۳۳۰۵۵۰۲۰	۸۱ درصد افزایش	۵
۲۴۰۰۰۰	۱برابر افزایش	۳۶۳۷۸۶۹۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۲۳۰۸۷۰۹۰	۴۲ درصد افزایش	۵
۱۸۰۰۰۰	۰٫۵ برابر افزایش	۳۱۰۲۷۲۸۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۷۷۳۵۶۸۰	۲۱ درصد افزایش	۵
۱۲۰۰۰۰	بدون تغییر	۲۵۵۳۷۳۹۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	بدون تغییر	۵
۶۰۰۰۰	۰٫۵ برابر کاهش	۲۰۳۴۱۵۹۰	۱۲۵۱۷۶۲۰	۷۸۲۳۹۷۰	۲۰ درصد کاهش	۷
صفر	۱ برابر کاهش	۱۴۷۶۹۰۳۰	۳۷۱۵۴۵۰	۱۱۰۵۳۵۸۰	۴۲ درصد کاهش	۸

جدول ۱۰. نتایج تحلیل حساسیت بر روی ظرفیت قطب‌ها

	کل هزینه‌ها	هزینه حمل‌ونقل	هزینه ثابت	درصد تغییر هزینه کل	تعداد قطبها
با محدودیت ظرفیت	۲۵۵۳۷۳۹۰	۱۳۲۹۱۶۰۰	۱۲۲۴۵۷۹۰	بدون تغییر	۵
بدون محدودیت ظرفیت	۲۴۵۸۱۰۰۴	۱۰۴۶۳۱۲۰	۱۴۱۱۷۸۸۴	۴ درصد افزایش	۸

۴-۷ شرایط پیچیده شدن مسئله

به‌طور کلی، اثبات شده است که مسئله مکانیابی قطب یک مسئله از نوع خیلی پیچیده (NP-hard) است. [Kara, 1999] نشان داد که مساله p هاب میانه از نوع NP-hard است. وی ثابت کرد که حتی اگر مکان قطب ثابت باشد، قسمت تخصیص مساله NP-Hard باقی می‌ماند. در این شرایط، برای حل مدل مسئله که بیشتر به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی صفرویک فرموله می‌شود دیگر قادر به استفاده از روشهای حل دقیق نبوده و به جای آنها باید از الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مدل استفاده کرد. بر همین اساس، بیشتر روشهای حل ارایه شده در ادبیات موضوع از نوع ابتکاری و فراابتکاری هستند. مواردی که باعث افزایش پیچیدگی مسئله می‌شوند به‌گونه‌ای که عبارتست از:

- تعیین تعداد بهینه قطب توسط مدل: چنانچه تعداد قطب (p) توسط خود مسئله بخواهد تعیین شود آنگاه پیچیدگی مسئله خیلی بالا خواهد رفت و حتی در اندازه‌های کوچک نیز باید از روشهای ابتکاری برای حل مسئله بهره گرفت.
- افزایش تعداد نقاط عرضه – تقاضا
- درنظر گرفتن هزینه‌های ثابت احداث قطب: با درنظر گرفتن هزینه احداث قطب، متغیرهای تصمیمی (از نوع صفر و یک) که نشان‌دهنده باز بودن و یا نبودن قطب‌ها هستند به مساله اضافه می‌شوند و از همین رو باعث افزایش پیچیدگی حل مسئله می‌شوند.
- افزایش تعداد مدهای حمل‌ونقل
- چندپریودی شدن مسئله مکانیابی قطب

۸. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه تلاش گردید نشان داده شود که با استفاده از روش‌های نوین توزیع و برنامه‌ریزی در خصوص نحوه توزیع گندم، می‌توان هزینه‌های حمل‌ونقل گندم را کاهش داد. این امر در نهایت منجر به کاهش قیمت تمام شده نان و سایر فرآورده‌های حاصل از آن خواهد شد. با توجه به هدفمندسازی یارانه‌ها و افزایش سهم بخش خصوصی در شبکه توزیع گندم و نان، توجه بیشتر به مدیریت شبکه توزیع گندم و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل الزامی است. در این مقاله نشان داده شد که با استفاده از نقاط قطب در شبکه توزیع گندم، هزینه‌های حمل‌ونقل گندم کاهش چشم‌گیری خواهد یافت.

با استفاده از نقاط قطب در شبکه توزیع گندم، حمل‌ونقل بین استان‌ها توسط نقاط قطب صورت خواهد گرفت و بنابراین توسط

قطب‌ها جریان از مبادی مختلف تجمیع می‌گردد و به مقصدهای مختلف ارسال می‌گردد. به این ترتیب با استفاده از مزایای مقیاس اقتصادی بین قطب‌ها و در نتیجه هزینه کمتر حمل‌ونقل، می‌توان هزینه کلی حمل‌ونقل گندم را کاهش داد. همچنین در این مقاله نشان داده شد که نوع مدل حمل‌ونقل بهینه انتخابی بین قطبها، خطوط ریلی هستند. بنابراین هم هزینه حمل‌ونقل گندم با خطوط ریلی خیلی کمتر خواهد شد و هم با توجه به بالا بودن میزان جریان بین قطب‌ها، از خطوط ریلی نیز استفاده بهینه خواهد شد. مدل پیشنهادی برای داده‌های واقعی از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ حل گردید و مکان قطبها در هر سال تعیین شد.

در قسمت نتایج نشان داده شد که با استفاده از قطب هزینه‌های حمل گندم از ۲۰۷۸۴۱۰۲۳ میلیون ریال به ۱۵۵۶۷۵۸۳۰ میلیون ریال کاهش یافته است که برابر با ۲۵ درصد کاهش در کل هزینه‌های حمل گندم در طی ۱۰ سال گذشته است.

از دیگر بررسی‌های مهم که در قسمت تحلیل حساسیت صورت گرفت، آزادسازی محدودیت چند وجهی بودن مساله بوده است. خروجی‌های این تحلیل نشان می‌دهد که بدون درنظر گرفتن مسیرهای موجود از نظر نوع مد، استان کرمانشاه قطعاً به عنوان قطب انتخاب خواهد شد و در خصوص استان گیلان باید بررسی‌های هزینه‌ای نیز صورت پذیرد. به منظور پیشنهادات آتی می‌توان به بررسی شبکه توزیع گندم با در نظر گرفتن گندم داخلی و گندم ترانزیتی پرداخت. به این ترتیب مکان قطبها علاوه بر سطح ملی در سطح منطقه نیز تعیین خواهند شد.

از دیگر مواردی که می‌تواند به عنوان تحقیقات آتی اشاره گردد، درنظر گرفتن گندم‌های با کیفیت مختلف است. به این ترتیب مساله به یک مساله مکانیابی قطب چندکالایی تبدیل می‌شود. با در نظر گرفتن گندم با کیفیت‌های مختلف به عنوان محصولات مختلف، مکان قطبها و جریان‌های بهینه با توجه به عرضه و تقاضا و جریان‌های گندم با کیفیت مختلف تعیین می‌گردد و همچنین می‌توان محدودیت‌های مورد نیاز را به مساله وارد نمود.

۹. مراجع

-Alumur, Sibel A., Kara, Bahar and Karasan, Oya. (2012) "Multimodal hub location and hub network design." Omega (ELSEVIER) 40, pp. 927–939.

-Alumur, Sibel and Kara, Bahar (2008) "Network hub location problems: The state of the art." European Journal of Operational Research (ELSEVIER) 190, pp. 1-21.

- Arnold, Pierre, Peeters, Dominique, Thomas, Isabelle and Marchand, Thomas (2001) "For an optimum location of the intermodal centers of transshipment: Formulation and extensions." The Canadian Geographer 45, no. 3, pp. 427–436.

-Aykin, Turgut (1994) "Lagrangian relaxation based approaches to capacitated hub-and-spoke network design problem." European Journal of Operational Research 79, no. 3, pp. 501–523.

-Aykin, Turgut (1995) "Networking policies for hub-and-spoke systems with application to the air transportation system." Transportation Science 29, no. 3, pp. 201-221.

-Campbell, James F. (1996) "Hub location and the p-hub median problem", Operations Research (INFORMS) 44, no. 6, pp: 923-935.

-Campbell, James F. (1994) "Integer programming formulations of discrete hub location problems." European Journal of Operational Research (ELSEVIER) 72, no. 2, pp. 387–405.

-Contreras, Ivan, Jean-François, Cordeau and Laporte, Gilbert (2009) "The dynamic uncapacitated hub location problem", Transportation Science 45, no. 1, pp: 18-32.

-Ebery, Jamie (2001) "Solving large single allocation p-hub problems with two or three hubs." European Journal of Operational Research (ELSEVIER) 128, no. 2, pp. 447–458.

-Ernst, Andreas T. and Krishnamoorthy, Mohan (1996) "Efficient algorithms for the uncapacitated single allocation p-hub median problem." Location Science (ELSEVIER) 4, no. 3, pp. 139-154.

-Gelareh, Shahin and Nickel, Stefan (2008) "Multi-period public transport design: A novel model and solution approaches." Berichte des Fraunhofer ITWM 139.

-Goldman, A. J. (1969) "Optimal locations for centers in

a network", Transportation Science (INFORMS) 3, no. 4, pp. 352–360.

-Groothedde, Bas, Ruijgrok, Cees and Tavasszy, Lo´ri (2005) "Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review (ELSEVIER) 41, no. 6, pp. 567–583.

-Habibzadeh Boukani, Fereidoon, Frahang Moghaddam, Babak, and Pishvaee, Mir Saman (2014) "Robust optimization approach to capacitated single and multiple allocation hub location problem", Computational and Applied Mathematics (Springer) 10.1007/s40314-014-0179-y.

-Ishfaq, Rafay and Sox, Charles (2011) "Hub location–allocation in intermodal logistic networks." European Journal of Operational Research 210, no. 2, pp. 213–230.

-Kara, Bahar Yetis. "Modeling and analysis of issues in hub location problems", Ph.D. Thesis, Industrial Engineering Department, Bilkent University, Ankara, 1999.

-Limbourg, S. and Jourquin, B. "Optimal rail-road container terminal locations on the European network." Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review 45, no. 4 (2009): 551–563.

-O'Kelly, Morton (1987) "A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities." European Journal of Operational Research 32, pp. 393-404.

-O'Kelly, Morton (1992) "Hub facility location with fixed costs", Papers in Regional Science 71, no. 3, pp. 293–306.

-O'Kelly, Morton, Campbell, James, Camargo, Ricardo and Miranda, Gilberto (2014) "Multiple allocation hub location model with fixed arc costs", Geographical Analysis (Wiley) doi: 10.1111, no. gean.12051, pp. 1-24.

-O'Kelly, Morton and Miller, Harvey. (1994) "The hub network design problem: A review and synthesis." Journal of Transport Geography 2, no. 1, pp. 31–40.

-Setak, Mostafa, Karimi, Hossein and Rastani, S. (2013) "Designing incomplete hub location-routing network in urban transportation problem", International Journal of Engineering Transactions 26, no. 9, pp. 997-1006.

-Yaman, Hande (2009) "The hierarchical hub median problem with single assignment", Transportation Research Part B 43, pp. 643–658.

-Zanjirani Farahani, Reza, Hekmatfar, Masoud, Boloori Arabani, Alireza and Nikbakhsh, Ehsan (2013) "Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications", Computers and Industrial Engineering (ELSEVIER) 64, pp. 1096–1109.

-Zanjirani Farahani, Reza, Asgari, Nasrin, Hojabri, Hossein and Jaafari, Amir Ali (2009) "Optimizing wheat storage and transportation system using a mixed integer programming model and genetic algorithm: a case study." IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Pp. 2109-2113.

– پورحسین, محمد (۱۳۷۵) "بهینه سازی حمل گندم." مجله زمینه ۶۱، ص. ۶۶-۷۳.

– رزمی، جعفر و رحمن‌نیا، فهیمه (۱۳۹۳) "طراحی شبکه توزیع محصولات کارخانه با استفاده از مدل «مکانیابی هاب میانی» با درنظر گرفتن محدودیت ظرفیت مراکز توزیع و سطح سرویسدهی" فصلنامه مهندسی صنایع و مدیریت شریف ۲۰, شماره ۱، ص. ۱۳۱-۱۳۶.

– زنجیرانی فراهانی، رضا (۱۳۸۷) "بهبود شبکه توزیع گندم در کشور." گزارش طرح پژوهشی, شرکت مادر تخصصی بازرگانی دولتی ایران, مرکز پژوهش های غلات, تهران.

– شیخی، عبدالمجید (۱۳۷۱) "الگوی بهینه حمل‌ونقل گندم وارداتی" طرح تحقیقاتی، وزارت جهاد سازندگی، تهران.

– شیخی، عبدالمجید و ناظمان، حمید (۱۳۸۲) "ارایه مدلی برای برنامه ریزی توزیع زمانی و مکانی وارداتی گندم کشور"، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی (موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی) ۲۹، ص. ۷۳-۱۰۲.

– صفارزاده، محمود، زینالی‌فرید، یاشار و شریف یزدی، مهدی (۱۳۸۸) "مدل مکانیابی پارکهای لجستیکی جهت ارایه خدمات به ترانزیت بار در منطقه اکو." فصلنامه مهندسی حمل و نقل (انجمن مهندسی حمل و نقل ریلی ایران) ۱, شماره ۴، ص. ۲۱-۳۷.

۱۰. پی‌نوشت‌ها

۱ Hub

۲ Multiple allocation

۳ P-hub median problem

۴ Hub location problem with fixed costs

۵ P-hub center problem

۶ Hub covering problem

۷ سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده ای، ۱۳۹۰

۸ سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده ای، ۱۳۸۸،۱۳۸۹،۱۳۹۰

۹ منبع: هزینه‌های پروژه‌های سیلوسازی مشابه از شرکت بازرگانی دولتی ایران