

## ارائه یک مدل مکانیابی-مسیریابی هاب چند وجهی ناقص با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی

حامد سمساریان<sup>۱</sup>، سعید فضایی<sup>۲</sup>  
دانشگاه ارومیه



### شرح مسئله و مدل ریاضی

در این مطالعه، ما به معرفی یک مدل مکانیابی-مسیریابی هاب چند وجهی ناقص با محدودیت‌های پنجره زمانی تحویل کالا و آلاینده‌ی زیست محیطی می‌پردازیم. همانطور که قبلاً ذکر شد، این مدل به طور همزمان چندین ویژگی عملی را در بر می‌گیرد: حالت‌های متعدد حمل و نقل، شبکه هاب ناقص، استراتژی تخصیص چندگانه، الزامات زمان تحویل، هزینه‌های حمل و نقل و کمترین خسارت وارد شده به محیط زیست. هدف این مدل، به حداقل رساندن کل هزینه‌ها، از جمله هزینه‌های ثابت ایجاد شبکه هاب متشکل از گروهی از هاب‌ها و پیوندها و کل هزینه‌های مورد انتظار مسیریابی کالا بین دو گره مبدا تا مقصد (O-D) است که مشمول محدودیت‌های زمان تحویل هستند. این مدل علاوه بر یافتن محل هاب‌ها و تخصیص گره‌های غیر هاب به هاب‌های واقع شده، انواع هاب‌ها و پیوندهای مربوطه بین گره‌های هاب و روش حمل و نقل بین دو هاب را نیز تعیین می‌کند. مفروضات لازم این تحقیق به شرح زیر است:

- فرض اول: در هنگام مسیریابی، حداکثر یک پیوند هاب میان گره مبدا تا گره مقصد (O-D) برای هر کالا وجود دارد.
- فرض دوم: حالت‌های حمل و نقل مختلف فقط بین پیوند هاب به هاب اتخاذ می‌شود.

در ادامه به معرفی اجزای مدل خواهیم پرداخت.

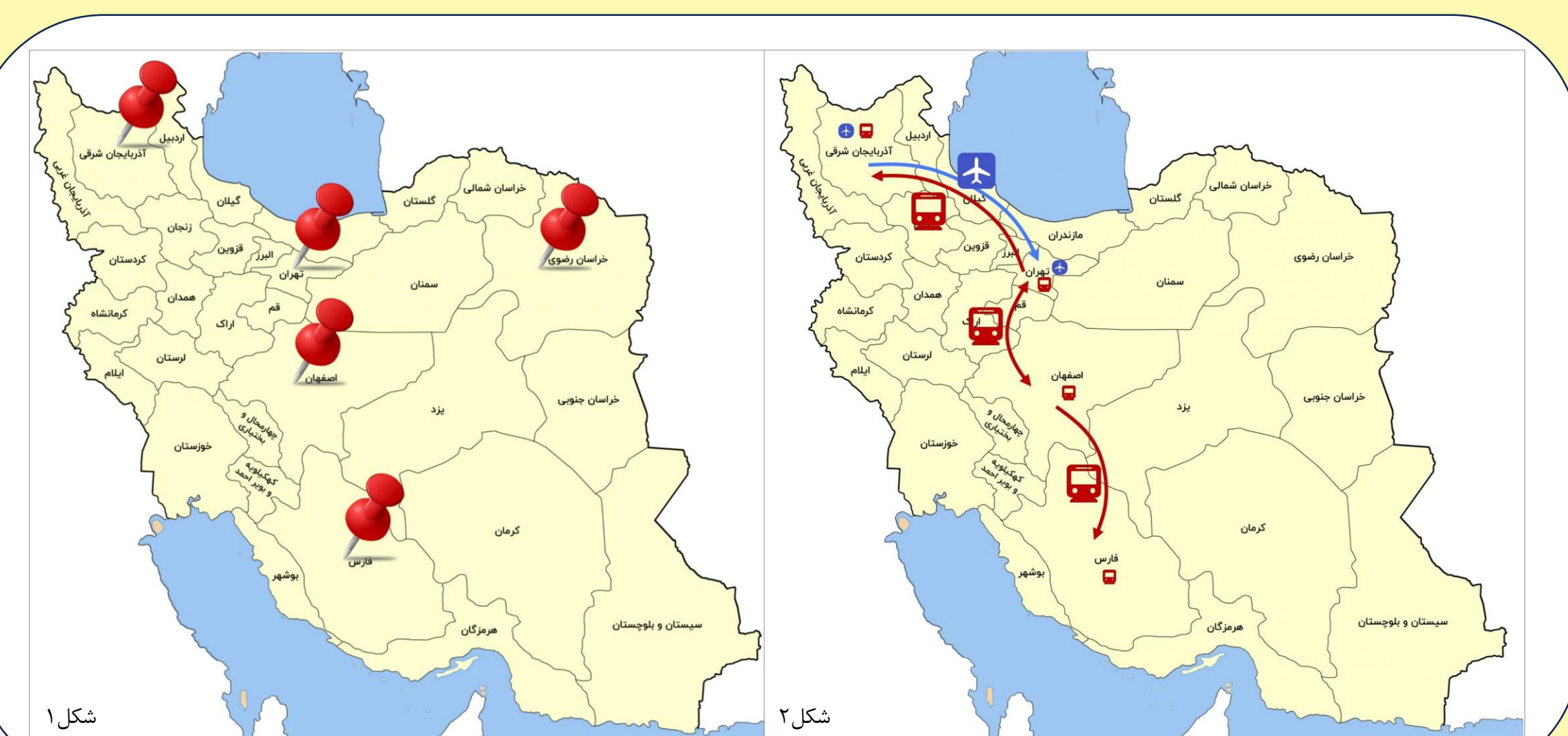
اندیس‌ها و مجموعه‌ها	توضیحات	متغیرهای تصمیم	توضیحات
$i, j \in N$	اندیس تمام گره‌ها ( $i = 1, \dots, N$ )	$X_{ijhhr}^m \in \{0,1\}$	۱، اگر محموله $j$ (مبدا تا مقصد) از جفت هاب $h$ و $h'$ با شیوه حمل $m$ گذر کند؛ در غیر اینصورت ۰.
$h, h' \in H$	اندیس گره‌های کاندید برای تاسیس هاب ( $h = 1, \dots, H$ ) $H \leq N$	$y_h^m \in \{0,1\}$	۱، اگر در گره $h$ هاب با شیوه حمل $m$ تاسیس شود؛ در غیر اینصورت ۰.
$k \in K$	اندیس محصولات ( $k = 1, \dots, K$ )	$link_{hh'}^m \in \{0,1\}$	۱، اگر یک پیوند هاب با شیوه حمل $m$ بین دو هاب $h$ و $h'$ ایجاد شود؛ در غیر اینصورت ۰.
$m \in M$	اندیس شیوه حمل و نقل ( $m = 1, \dots, M$ )		

$$\begin{aligned} \text{Min Total Cost} = & \sum_{i,j \in N} \sum_{h,h' \in H} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} flow_{ij}^k \cdot X_{ijhhr}^m \left( c_{ih} + \alpha_m c_{hh'} + c_{hrj} \right) + \sum_{h \in H} \sum_{m \in M} FC_h^m \cdot y_h^m + \sum_{h,h' \in H} \sum_{m \in M} LC_{hh'}^m \cdot link_{hh'}^m \quad (1) \\ \text{subject to:} \quad & link_{hh'}^m \leq \frac{y_h^m + y_{h'}^m}{2} \quad (2) \\ & X_{ijhhr}^m \leq \frac{y_h^m + y_{h'}^m}{2} \quad (3) \\ & X_{ijhhr}^m \left( t_{ih} + \beta_m t_{hh'} + t_{hrj} \right) \leq TW \quad (4) \\ & \frac{flow_{ij}^k \cdot w_k}{WM_{\max}} \cdot X_{ijhhr}^m \left( d_{ih} + d_{hrj} \right) \cdot PRATE + \frac{flow_{ij}^k \cdot w_k}{WM_m} \cdot d_{hh'} \cdot PR_m \leq GREEN \quad (5) \end{aligned}$$

تابع هدف (رابطه (۱)) در راستای کمینه کردن هزینه‌های موجود، شامل: هزینه‌های حمل و نقل و مسیریابی کالاها از مبدا تا مقصد، هزینه‌های تاسیس هاب در گره  $i$ ، و هزینه ایجاد پیوند بین دو هاب تاسیس شده می‌باشد.

### مثال عددی

برای ارزیابی مدل ارائه شده، کشور ایران به عنوان یک شبکه وسیع حمل و نقل در نظر گرفته شده است. نقاط کاندید برای تاسیس هاب در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. در یک مثال خاص، ۴ استان بعنوان **مبدا** کالاها و ۱۱ استان دیگر **مقاصد** این کالاها فرض شده‌اند. پس از حل مدل، نتایج حاصل شده در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.



همانطور که از شکل ۲ قابل استنباط است، در جواب بهینه هر دو شهر تهران و تبریز از هر دو شیوه حمل و نقل موجود (هوایی و ریلی) پشتیبانی می‌کنند و تشکیل هاب یکپارچه می‌دهند (صحت مدل ارائه شده توسط مثال‌ها با ابعاد مختلف سنجیده و تایید شده است اما برای نمایش جواب بهینه، به یکی از این مثال‌ها بسنده شده است).

### نتیجه‌گیری

در این مقاله ما مسئله مکانیابی هاب ناقص و چند وجهی را معرفی کردیم که به تخصیص‌های متعدد و محدودیت‌های زمان تحویل، ظرفیت هاب و محیط زیست می‌پردازد. همینطور به معرفی اصطلاح "مسیریابی سبز" پرداختیم. به طور خاص، ما HLP کلاسیک را به روش‌های مختلفی گسترش دادیم تا مدل را برای سیستم‌های حمل و نقل و توزیع چند-به-چند بهتر بسازیم: ایجاد یک شبکه هاب ناقص با پیوندهای هاب کمتر، در نظر گرفتن هزینه‌های حمل و نقل و زمان سفر به طور همزمان، تاسیس هاب‌ها و پیوندهای هاب با شیوه‌های مختلف حمل و نقل، مشخص کردن محدودیت‌های زمان تحویل، حداکثر ظرفیت هاب و مسیریابی سبز.

تحقیقات بیشتر می‌تواند بر مبنای این مدل (و نه از طریق هاب) بین گره‌ها متمرکز شود. به خوبی شناخته شده است که وقتی حجم ترافیک بین دو گره بسیار زیاد است، حمل و نقل مستقیم مقرون به صرفه‌تر است. از این رو، به عنوان تحقیق بیشتر، ما به مسئله مکانیابی هاب چندوجهی ناقص با پیوند مستقیم می‌پردازیم و الگوریتم‌های دقیق یا اکتشافی کارآمد را توسعه خواهیم داد. علاوه بر این، یکی دیگر از جهت‌گیری‌های تحقیقاتی جالب، بررسی یک مسئله مکان‌یابی هاب چندوجهی ناقص نامشخص تحت مجموعه‌های ابهام است. همچنین وقتی ابعاد مسئله بالا می‌رود، حل مسئله عملاً حل نشدنی و زمانبر خواهد شد. لذا یکی از پژوهش‌های آتی و توسعه‌های این مقاله، ارائه یک الگوریتم حل دقیق مثل الگوریتم تجزیه بندرز خواهد بود.

O'Kelly, M.E., 1986. The location of interacting hub facilities. *Transport. Sci.* 20, 92–105.  
Ishaq, R., Sox, C.R., 2010. Intermodal logistics: the interplay of financial, operational and service issues. *Trans. Res. Part E: Logist. Transport Rev.* 46 (6), 926–949.  
Alumur, S.A., Kara, B.Y., Karasan, O.E., 2012a. Multimodal hub location and hub network design. *Omega Int. J. Manag. Sci.* 40 (6), 927–939.

### چکیده

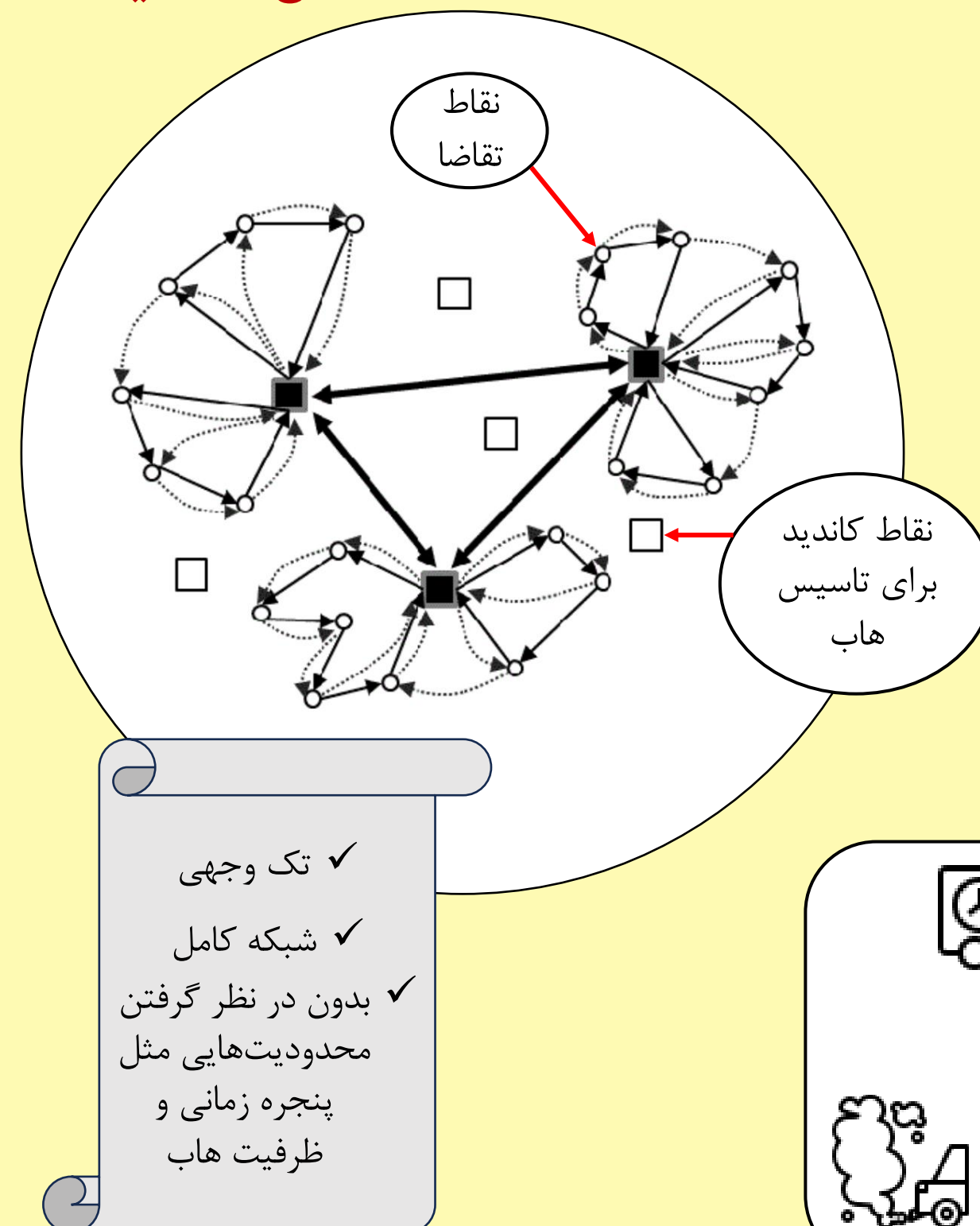
با افزایش روز افزون ارتباطات در شبکه‌های وسیع جهانی و حمل و نقل در ابعاد وسیع کشوری و بین کشوری، ارائه یک برنامه دقیق برای کاهش هزینه‌های حمل و نقل اضافی و شناسایی مسیرهای بهینه، امری مهم و بدیهی تلقی می‌شود. یکی از ابزارهای مناسب برای رسیدن به این هدف، برنامه‌ریزی ریاضی و ادغام مدل‌های مکانیابی هاب و مسیریابی حمل و نقل است. برای توسعه مسئله مکانیابی هاب برای کاربرد در سیستم‌های حمل و نقل و توزیع چند-به-چند، این مطالعه یک مسئله مکانیابی-مسیریابی هاب چندوجهی با تخصیص‌های متعدد، با در نظر گرفتن محدودیت پنجره زمانی، محدودیت مرتبط با ظرفیت هاب و محدودیت زیست محیطی را معرفی می‌کند.

### مقدمه

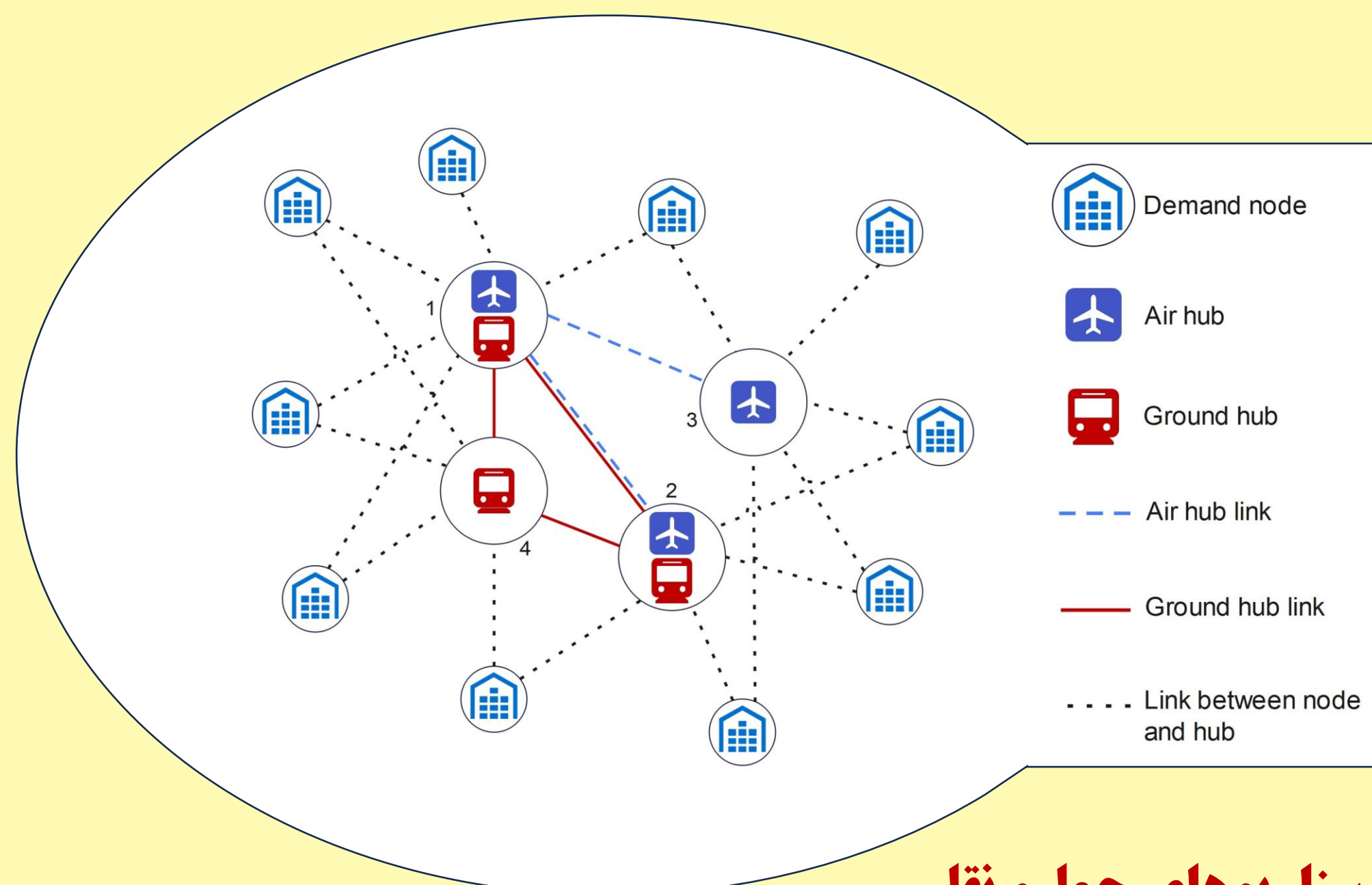
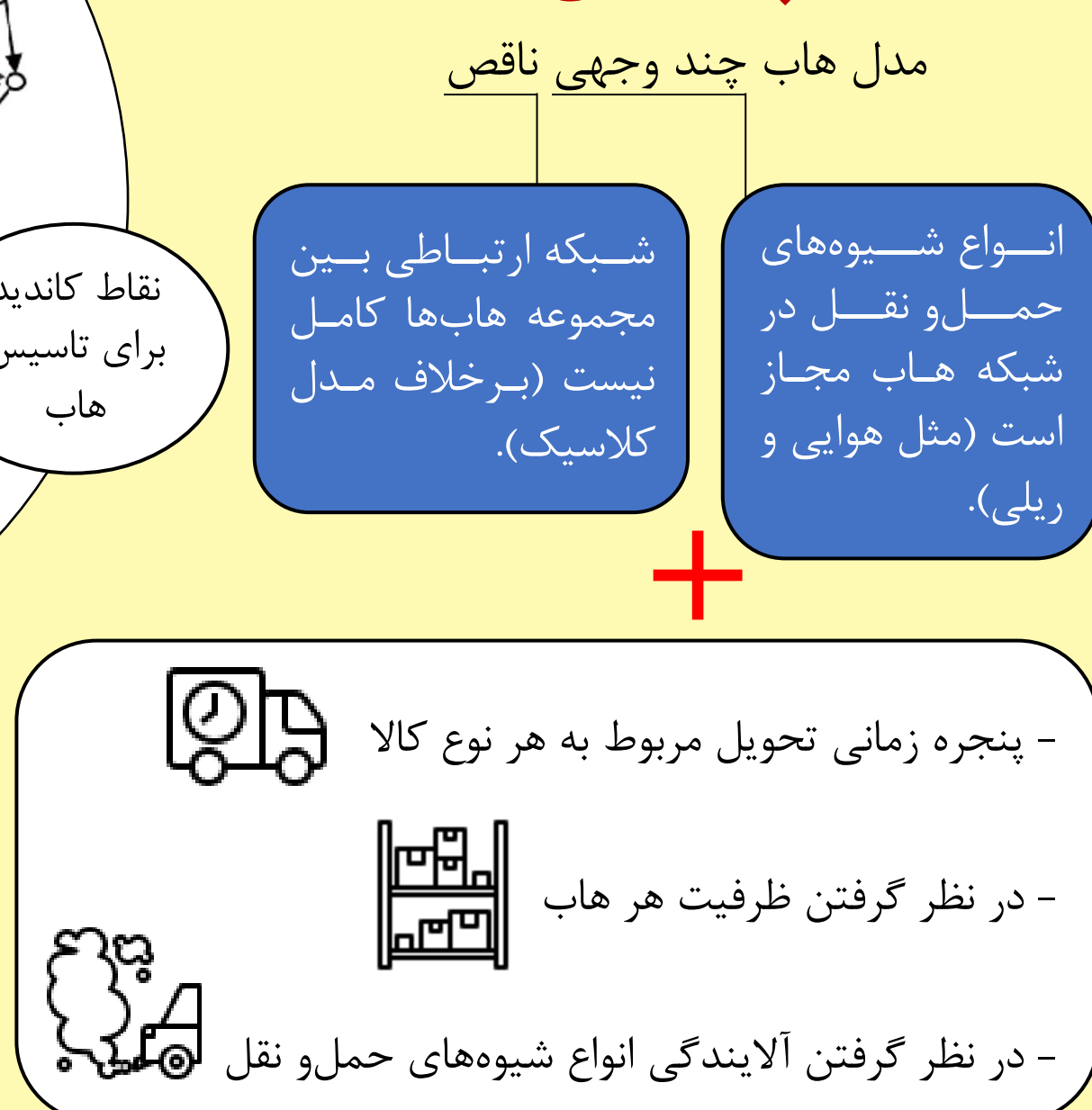
مسئله مکانیابی هاب به طور گسترده در بسیاری از سیستم‌های حمل و نقل و توزیع، که مبدا و مقاصد بسیاری را شامل می‌شود، اعمال شده است. به‌جای مسیریابی مستقیم بین دو گره مقصد تا مبدا (O-D)، کالاها از طریق تسهیلات واسطه‌ای به نام هاب تحویل داده می‌شوند که عملکردهای سوئیچینگ و مرتب‌سازی، اتصال و یکپارچه‌سازی را انجام می‌دهند. همانطور که مطالعات نشان می‌دهند، از طریق شبکه هاب، هزینه حمل و نقل کالاها را می‌توان کاهش داد؛ زیرا تمرکز جریان در پیوندهای بین دو هاب می‌تواند صرفه‌جویی در مقیاس بالا در حمل و نقل و توزیع را به همراه داشته باشد. از این رو، هدف مدل‌های مرتبط با تعیین مکان هاب و تخصیص گره‌های تقاضا به این گره‌های هاب واقع شده، به حداقل رساندن هزینه کل است. این مطالعه در درجه اول با هدف بررسی مکانیابی هاب با در نظر گرفتن همزمان چندین ویژگی در سیستم‌های حمل و نقل و توزیع چند-به-چند، همانطور که در ادامه آورده شده است، انجام می‌شود.

- در نظر گرفتن چندین حالت حمل و نقل
- محدودیت‌های زمان تحویل و سرویس
- نظر گرفتن حداکثر ظرفیت هاب‌ها
- در نظر گرفتن محدودیت مرتبط با محیط زیست

### مدل کلاسیک هاب

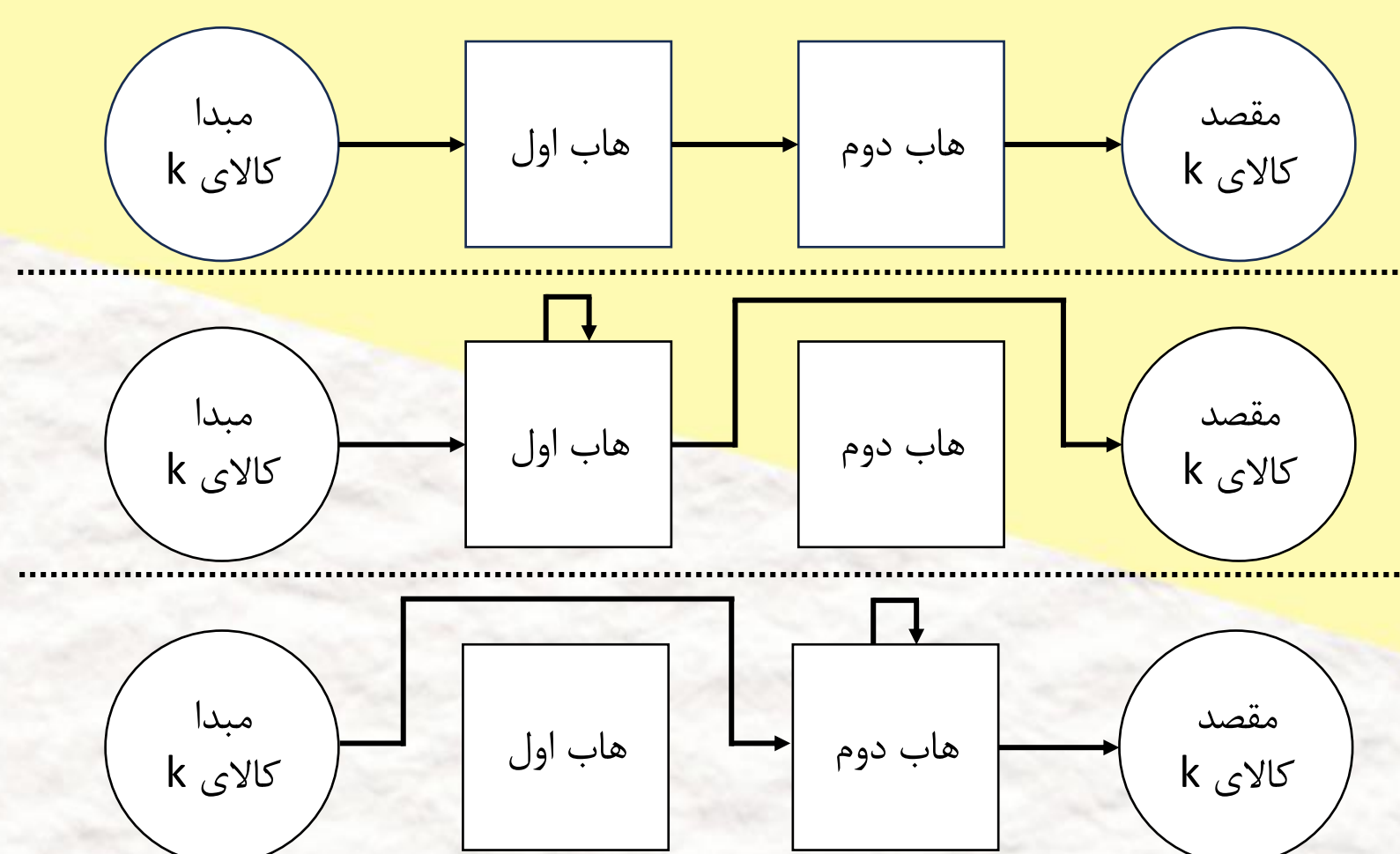


### مدل پیشنهادی



### سناریوهای حمل و نقل

**در شبکه هاب:** در حالت خاص و با وجود داشتن تنها ۴ گره، ۳ حالت مختلف جابجایی بین گره‌ها می‌توان متصور شد.



یا بصورت کلی:  $o(k) \rightarrow e \rightarrow d(k)$  که  $o(k)$ : مبدا کالای نوع  $k$ ،  $d(k)$ : مقصد کالای نوع  $k$  و  $e$  نیز مجموعه‌ای شامل یک تا حداکثر دو هاب می‌باشد.

### منابع اصلی

