دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی حمل و نقل

پژوهش عملیاتی

کاربردهای بهینه سازی در مهندسی حمل و نقل

Applications of Optimization in Transportation

مدرس: محمد تمنایی

پاییز ۱۳۹۴

حوزه های کاربرد بهینه سازی در حمل و نقل (مسافری- باری):

- ✓ برنامه ریزی حمل و نقل شهری
- ✓ برنامه ریزی حمل و نقل ریلی برون شهری
- ✓ برنامه ریزی حمل و نقل هوایی (بین شهری، بین المللی)
- ✓ برنامه ریزی حمل و نقل دریایی

۱

مدیریت بزرگراهها و آزادراههای شهری

“Urban Freeway Management”

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

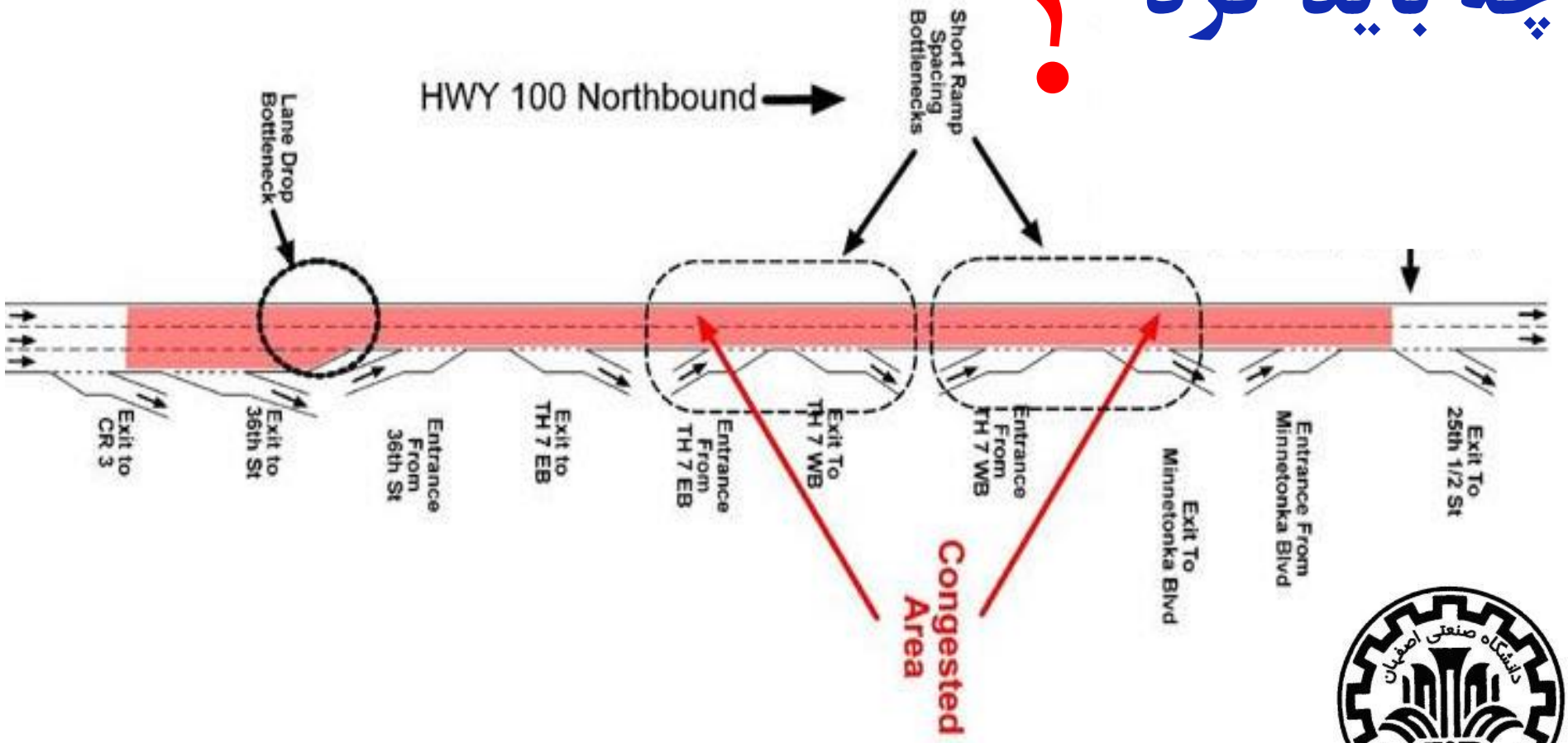
گزارش ترافیکی بزرگراه:

بحران ظرفیتی در ساعات اوج

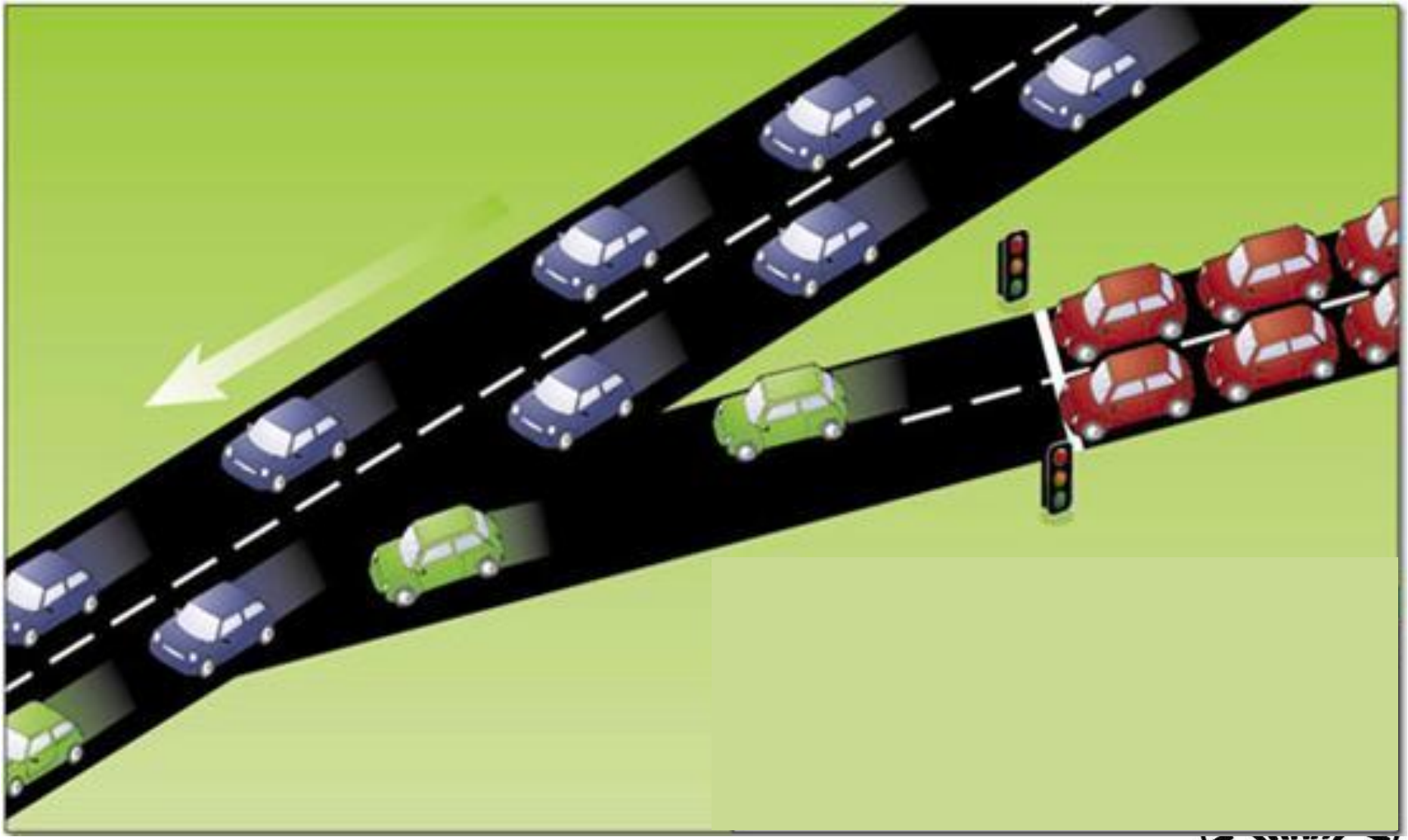
گزارش ترافیکی بزرگراه:

بحران ظرفیتی در ساعات اوج

چه باید کرد ؟



پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

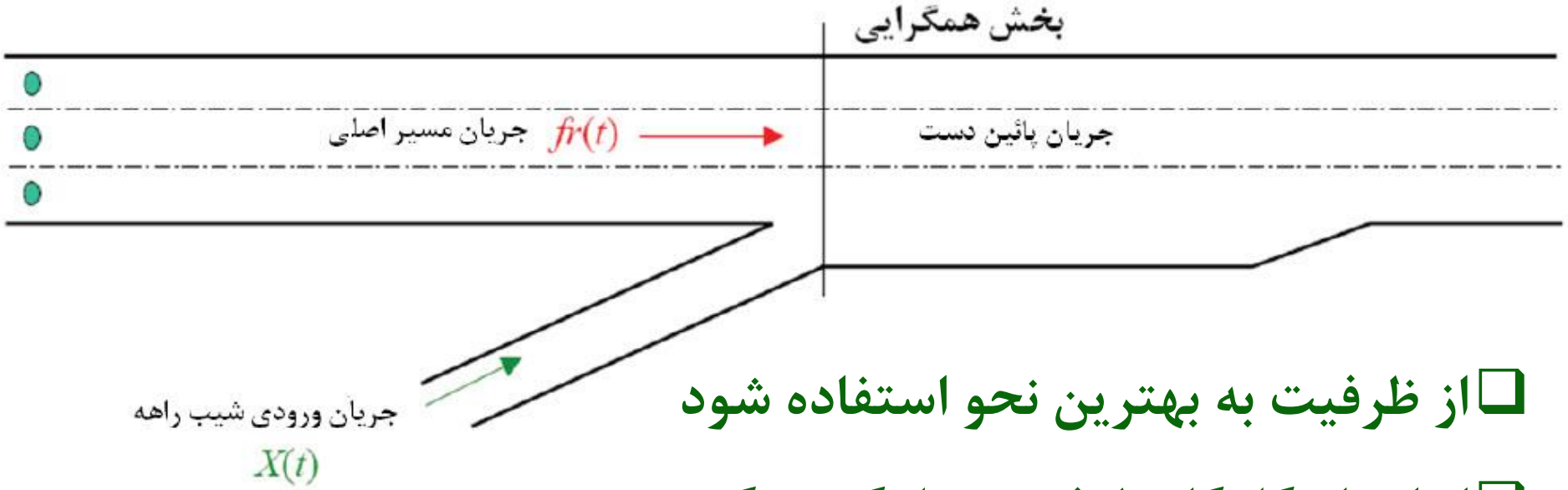


مدیریت شیبراهه Ramp Metering

پژوهش عملیاتی

محمد تمنایی

مدیریت شیبراهه Ramp Metering

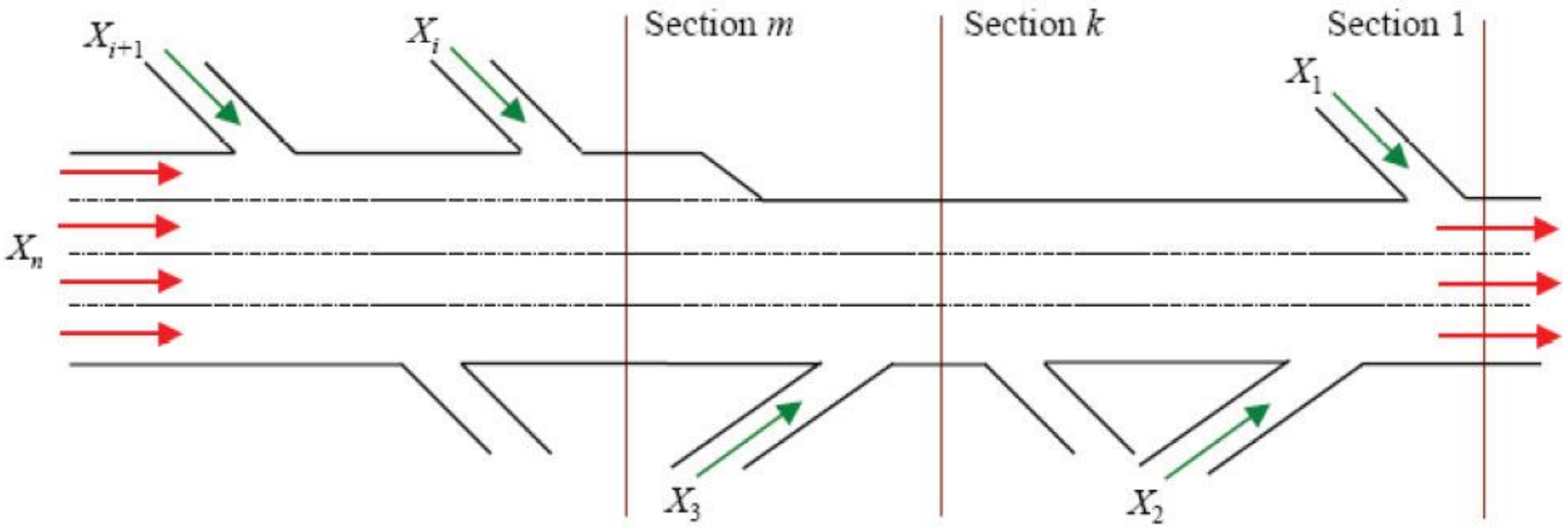


- از ظرفیت به بهترین نحو استفاده شود
- از ایجاد گلوگاه ظرفیتی جلوگیری گردد

محدودیت های ترافیکی در شیبراهه ها:

کدام؟ چقدر؟

مدیریت شیبراهه Ramp Metering



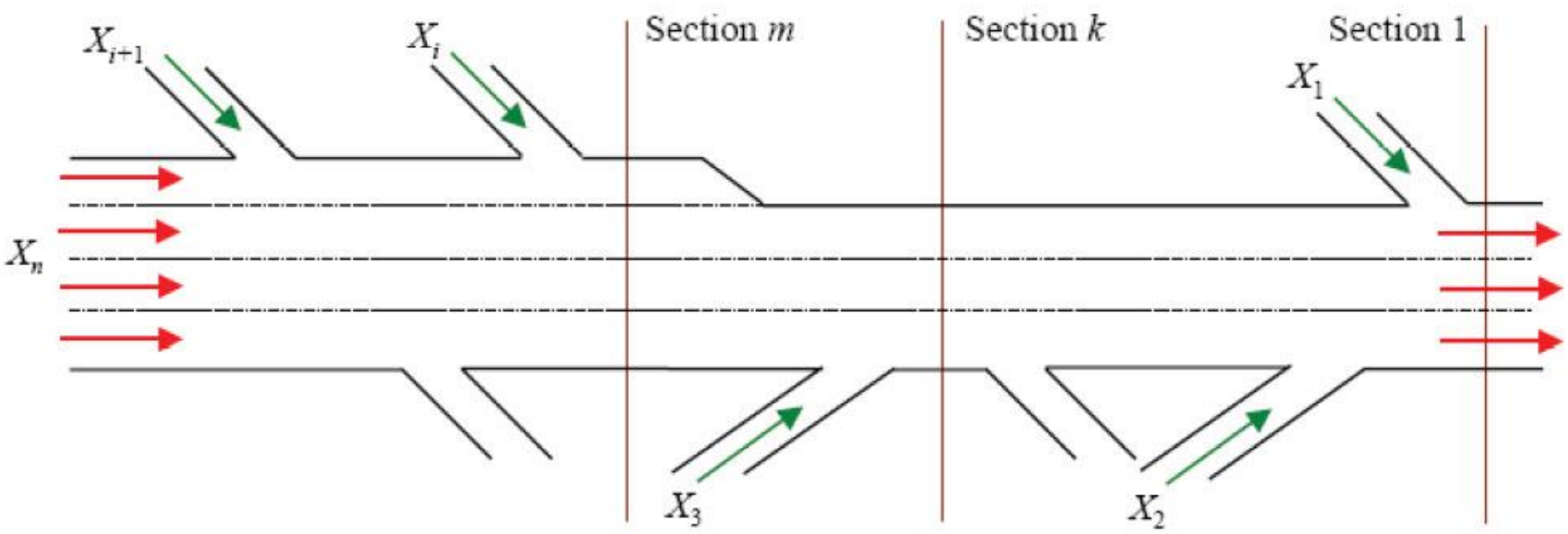
هدف: بیشینه سازی حجم قابل ورود به بزرگراه

$$Max \sum_{j=1}^{n} X_j$$

متغیر: حجم ساعتی معبر j

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

مدیریت شیبراهه Ramp Metering

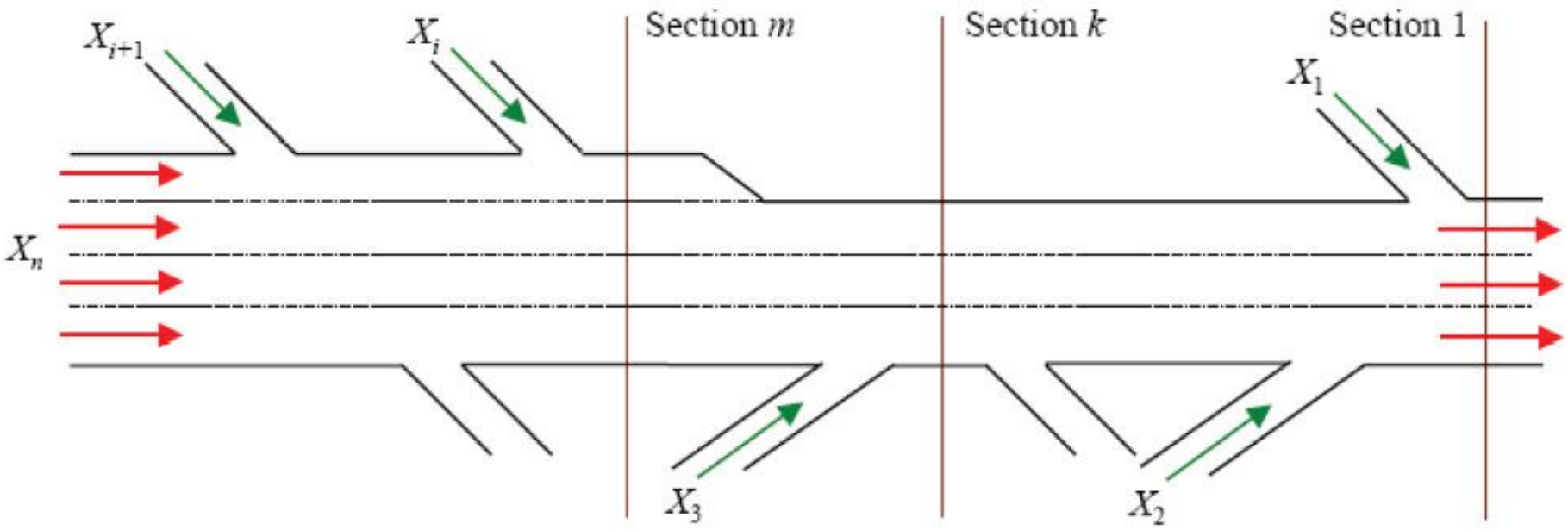


محدودیت ها: حجم از ظرفیت شیبراهه ها (n تا) بیشتر نشود

$$X_j \le D_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n$$

پارامتر: تقاضای ساعتی معبر j

مدیریت شیبراهه Ramp Metering



محدودیت ها: حجم از ظرفیت بخش ها (m تا) بیشتر نشود

$$\sum_{j=1}^{n} A_{kj} X_j \le B_k, \quad k = 1, 2, \ldots, m$$

پارامتر: ظرفیت بخش k

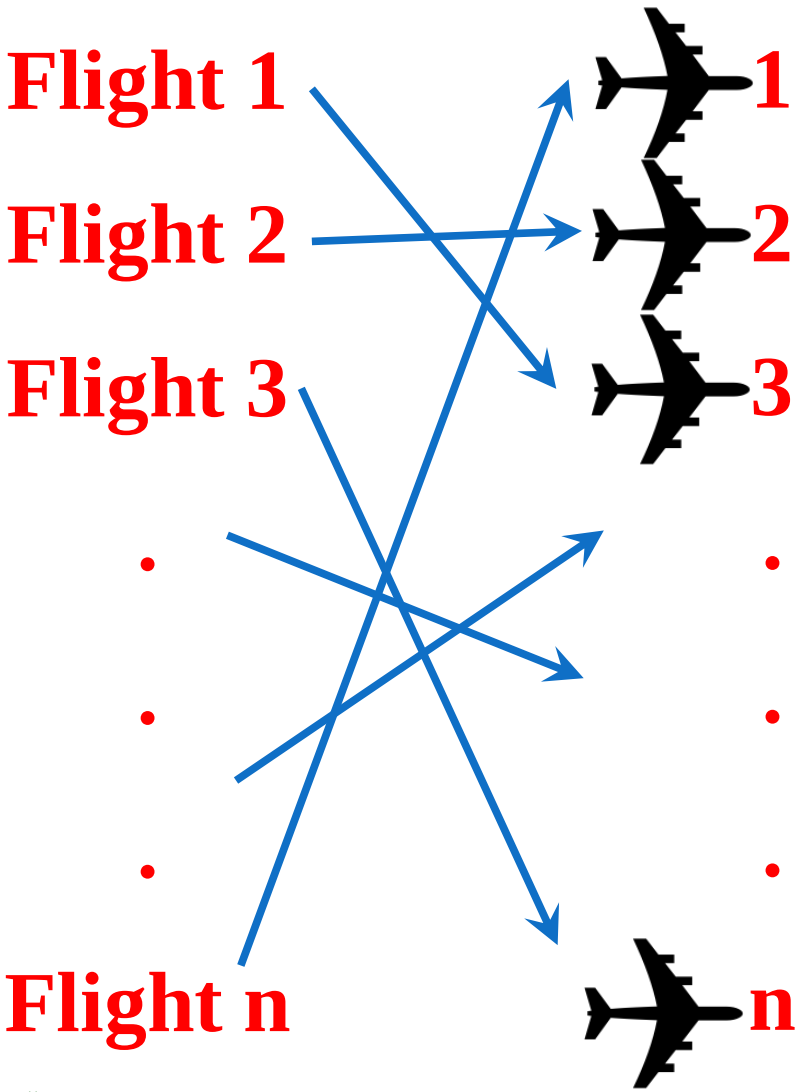
پارامتر: سهمی از وسایل نقلیه که از معبر j وارد سیستم بزرگراهی شده و از مقطع k خارج می شوند

۲

مسئله واگذاری هواپیما به پرواز

“Airline Fleet Assignment Problem”

مسئله واگذاری



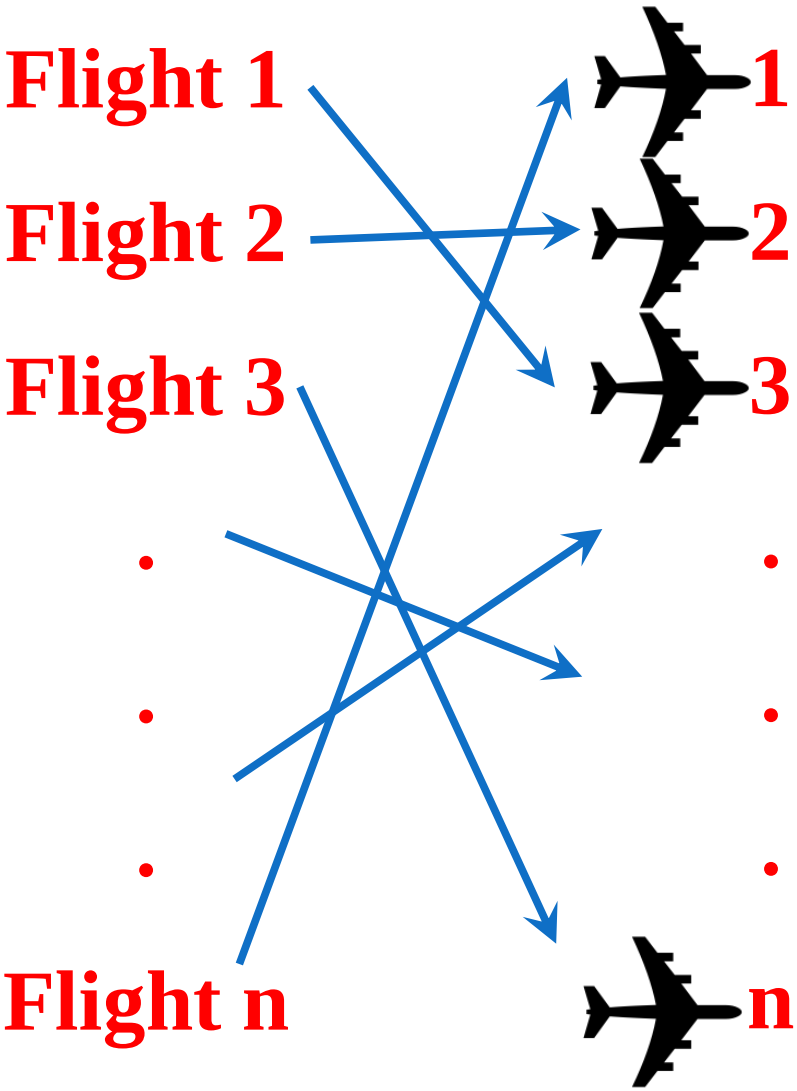
عملکرد هواپیماها متفاوت است

هر پرواز عملکرد خاصی را می طلبد

چگونه هواپیماها به پروازها تخصیص یابند؟

هدف:

بیشینه مجموع عملکردها



c_{ij} عملکرد هواپیمای i در پرواز j

x_{ij}
- ۱ هواپیمای i به پرواز j واگذار شود
- ۰ در غیر اینصورت

$$Max \sum_{i}^{n}\sum_{j}^{n} c_{ij}x_{ij}$$

$$\sum_{i}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall j = 1,2,...,n$$

$$\sum_{j}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1,2,...,n$$

هر هواپیما دقیقاً به یک پرواز
هر پرواز دقیقاً به یک هواپیما

۳

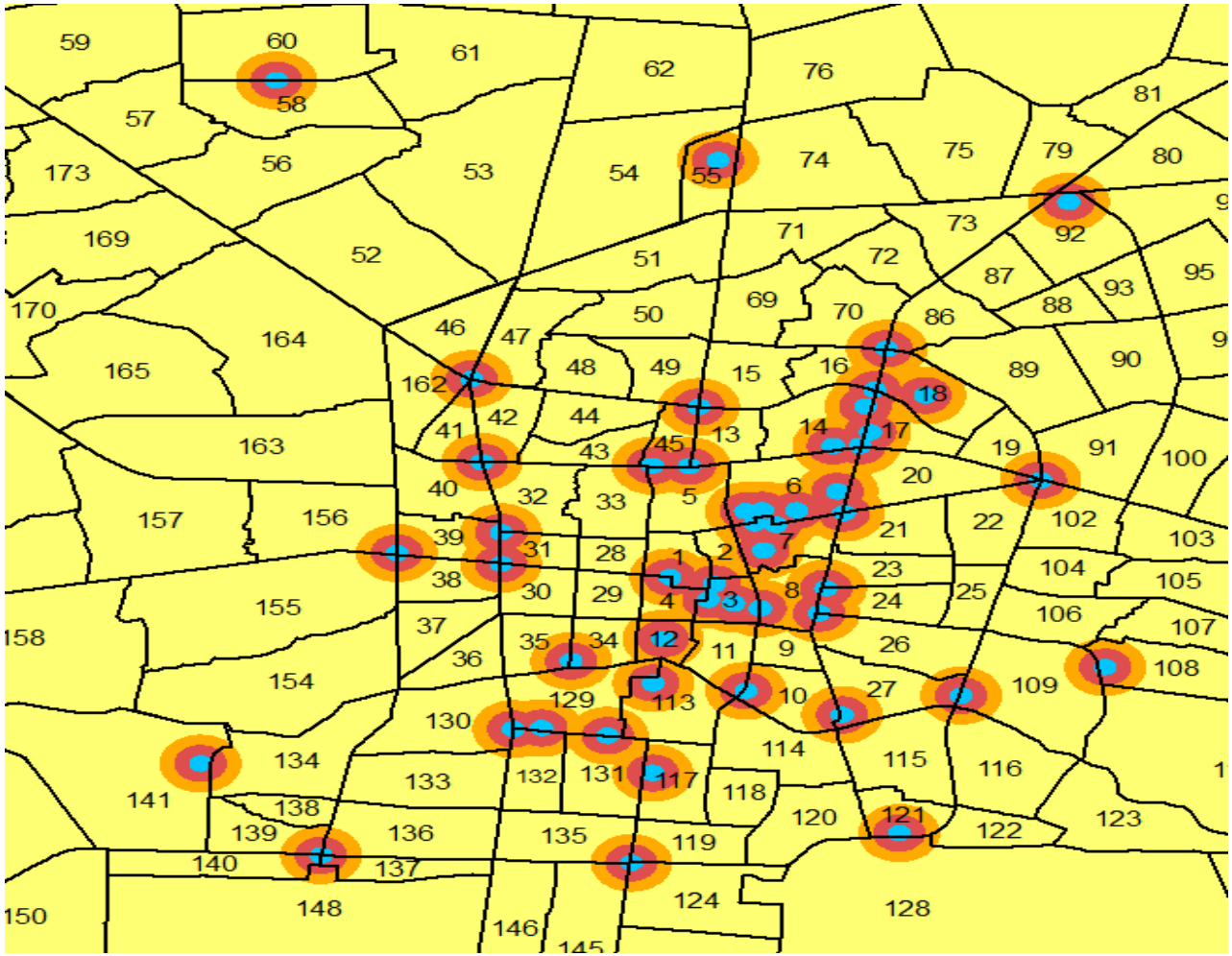
مکان یابی پارکینگ ها در شهر

“Parking Location Problem”

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

گزارش مطالعات جامع حمل و نقل شهر:

لزوم احداث پارکینگ در محدوده هایی از شهر



بررسی تفصیلی :

نقاط بهینه؟ چه تعداد؟

پژوهش عملیاتی

محمد تمنایی

ورودی مسئله؟

ماتریس تقاضای مبدأ-مقصد (OD):

وسایل نقلیه شخصی

برای همه اهداف سفر

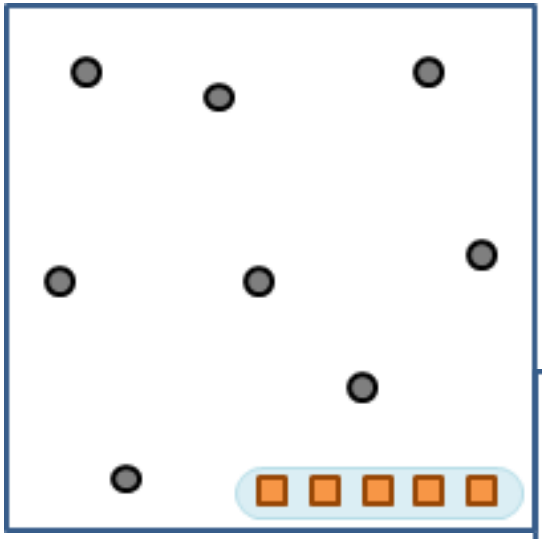
هدف؟

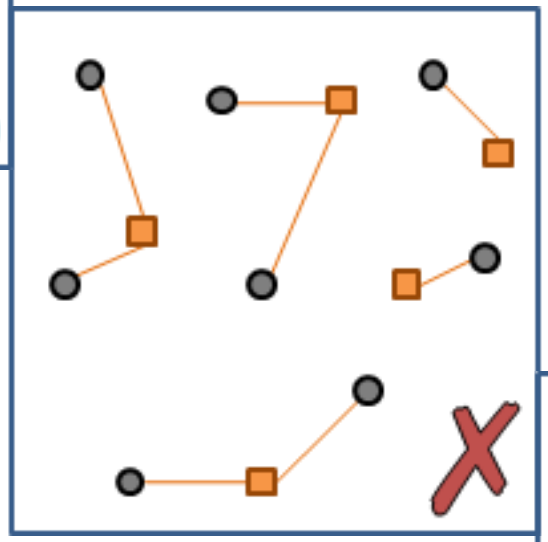
Min زمان پیاده روی تا مقاصد

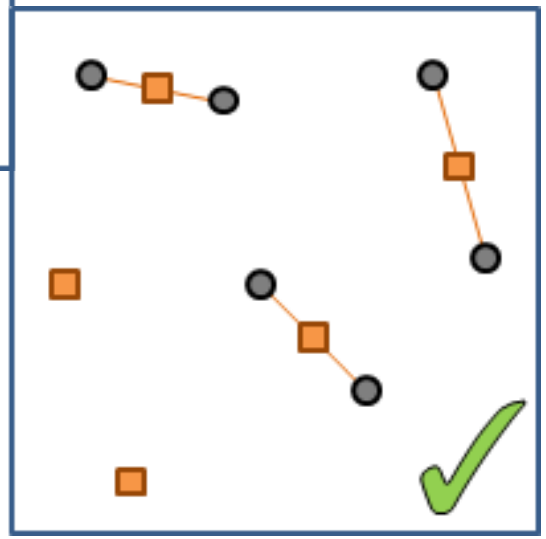
Max پوشش شبکه

Min تعداد تسهیلات

...







محدودیتها؟

فاصله با سایر پارکینگ ها

مجموع ظرفیت، تقاضا را پوشش دهد

متغیر تصمیم؟

تعداد (Integer)

موقعیت نقاط (پیوسته)

ظرفیت نقاط (پیوسته)

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

۴

مکان یابی پارک سوارها در شهر

“Park & Ride Location Problem”

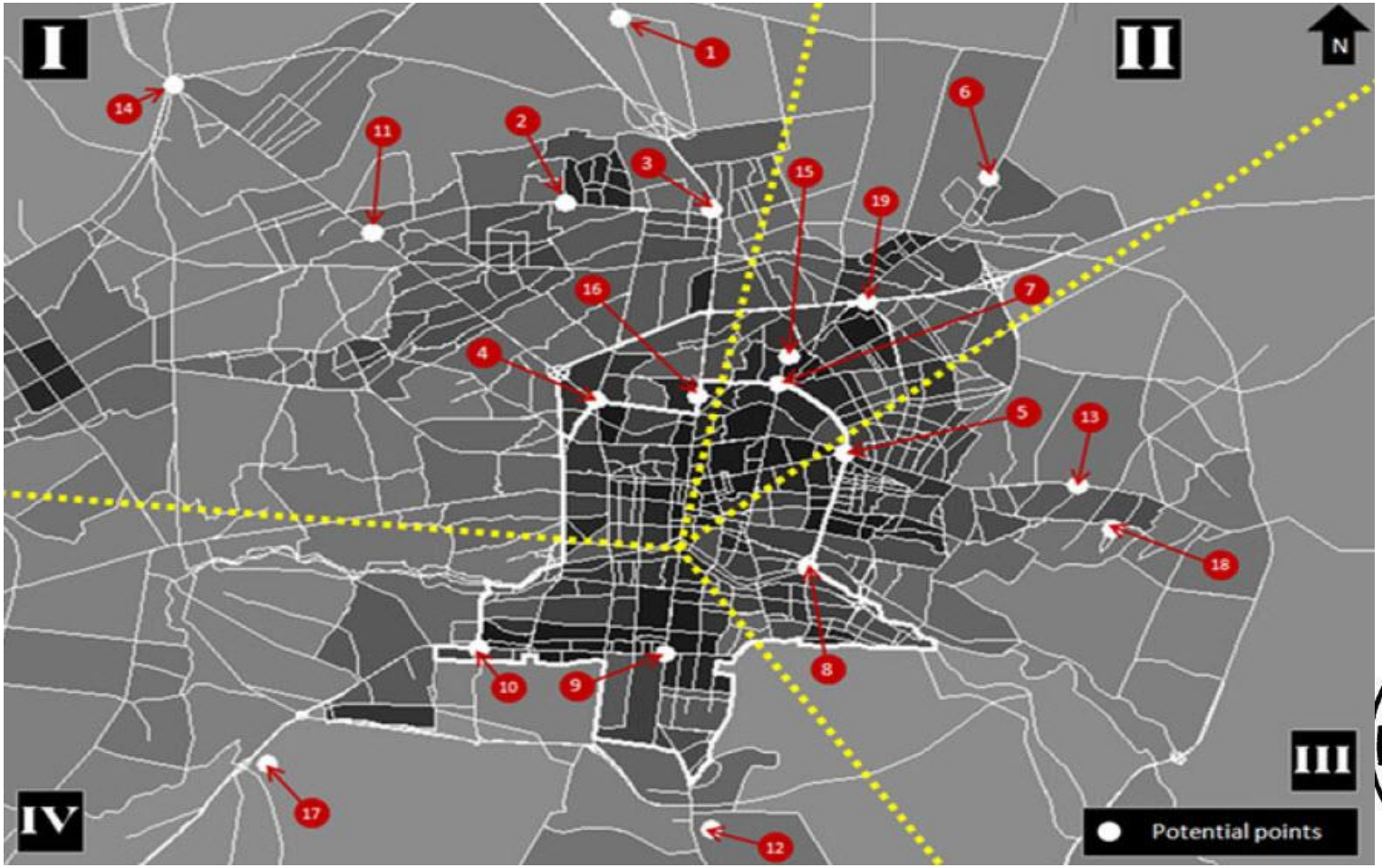
پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

پارک سوار (P+R):

تسهیلات دسترسی به حمل و نقل همگانی

نوع متغیر تصمیم؟

می تواند عدد صحیح باشد (انتخاب از بین ایستگاههای مشخص)



کاربردهای بهینه سازی در مهندسی حمل و نقل

مکان یابی پارک سوارها

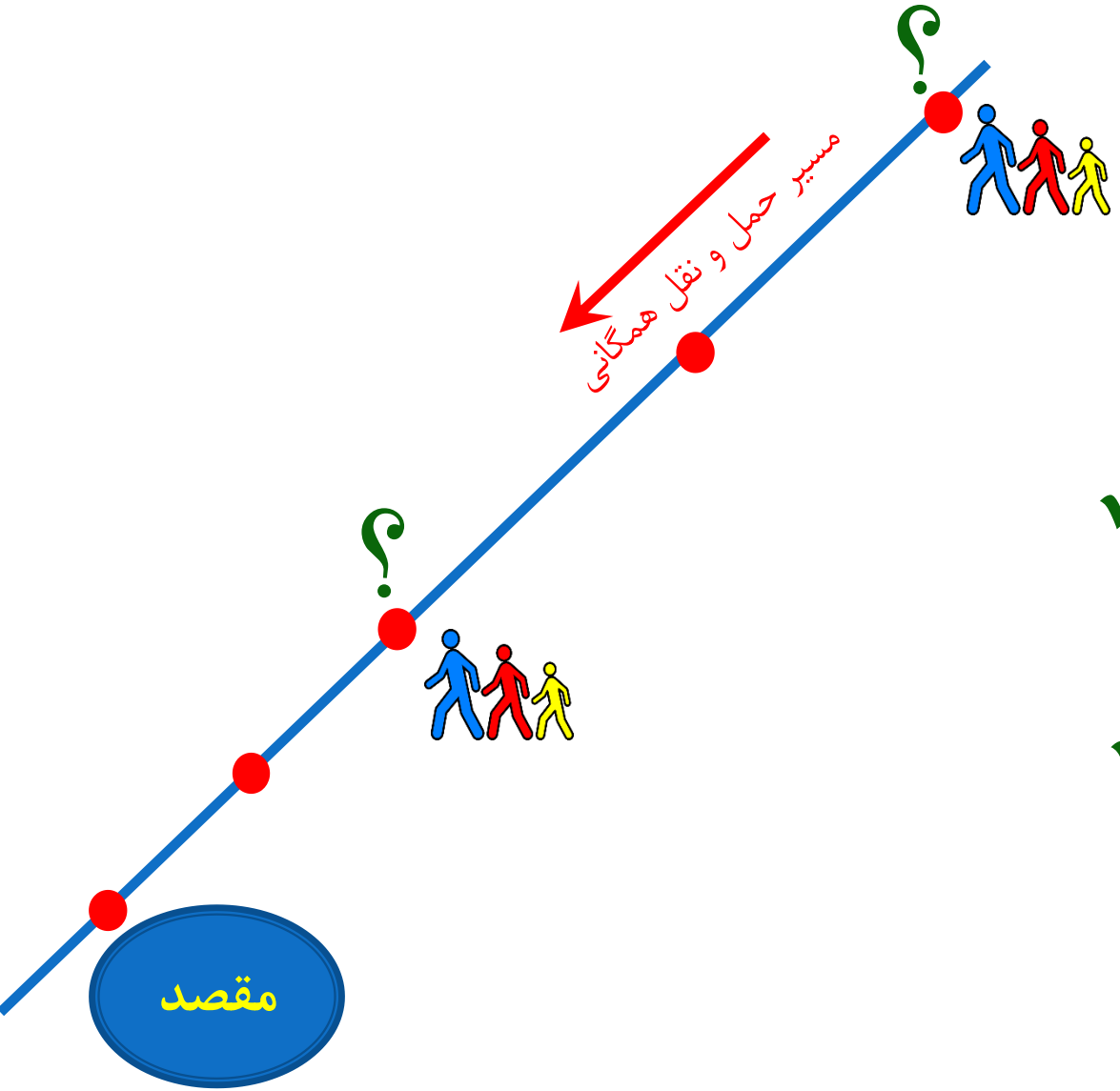
هدف؟

~~Min زمان پیاده روی تا ایستگاه~~

~~پوشش ایستگاههای پرتقاضا~~

پژوهش عملیاتی

محمد تمنایی



هدف؟

طول سفرها (Vehicle- Kilometer) تا حد امکان توسط حمل و نقل همگانی پوشش داده شود

✓ Max (Public V-K)

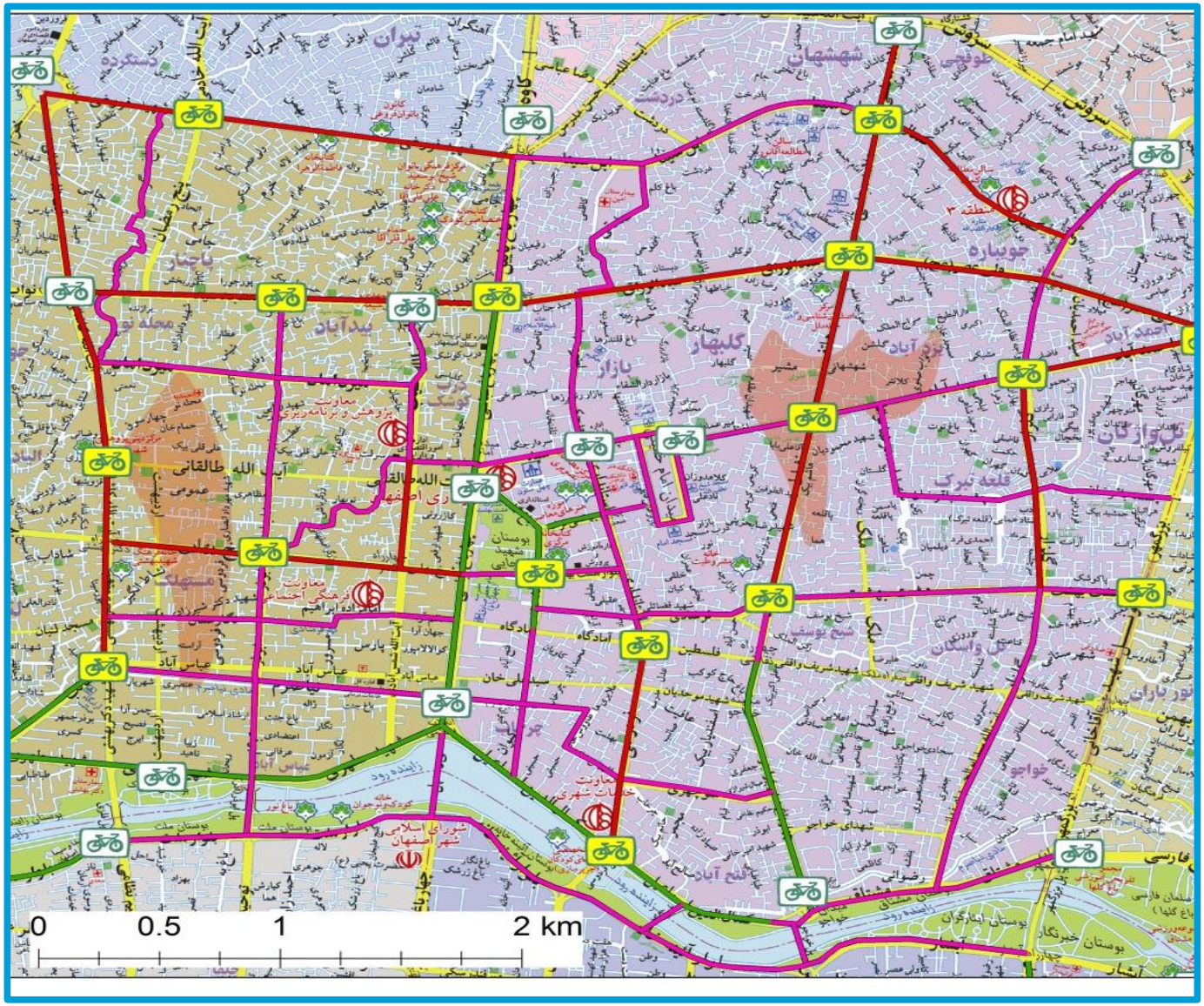
✓ نزدیکی به پایانه های اتوبوسرانی حومه شهری

محمد تمنایی
پژوهش عملیاتی

مکان یابی پایانه های اتوبوسرانی

- ✓ فاصله با سرویس های برون شهری
- ✓ امکان احداث پارک سوار
- ✓ محدودیت تعداد

مکان یابی ایستگاههای دوچرخه



پژوهش عملیاتی

۵

مکان یابی هاب (شهری)

“Hub Location Problems”

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

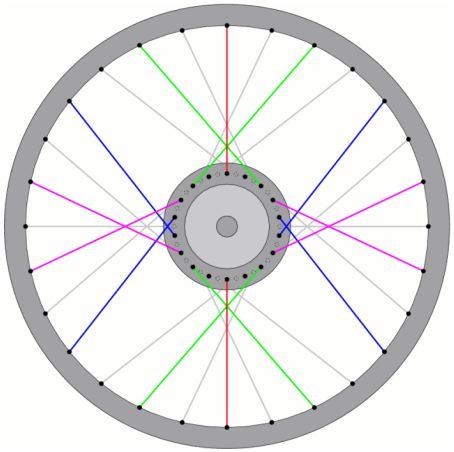
قطب (Hub)

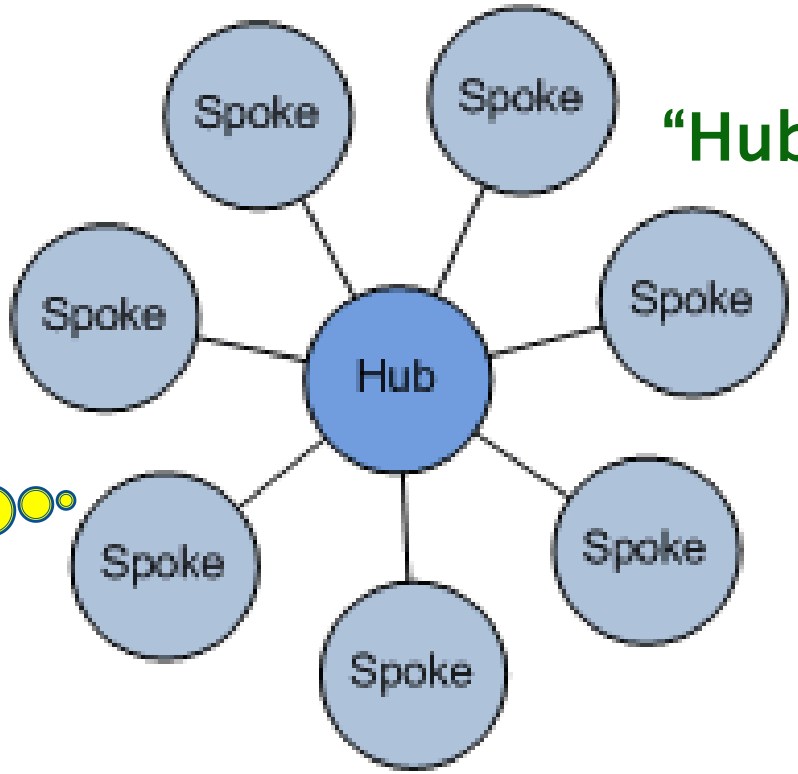
نقاط استراتژیک در شبکه حمل و نقل

عمده مسیرها و مبادی-مقاصد از آن شروع یا بدان ختم می شوند یا از آن عبور میکنند.

انشعاب (Spoke)

نقاط فرعی که باید به قطب متصل شوند.

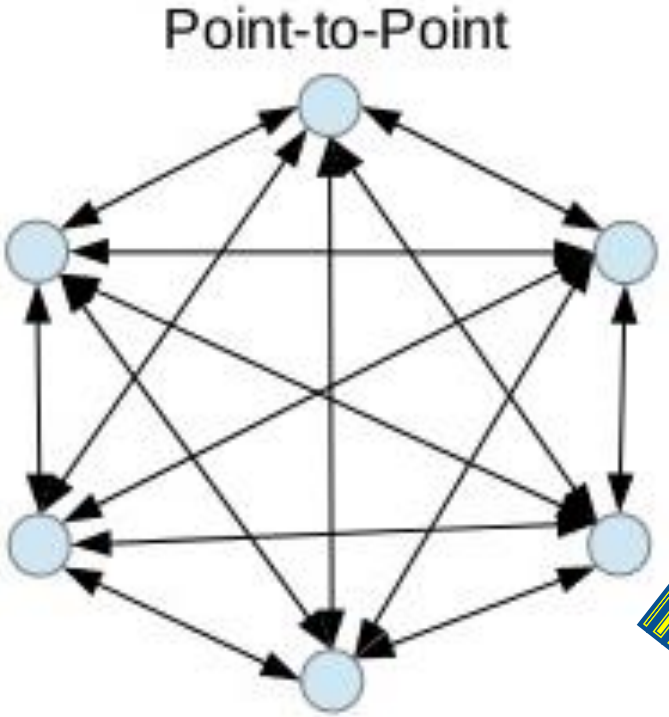




"Hub-Spoke Model"

سفر بین دو Spoke:
معمولاً از طریق Hub

محمد تمنایی
پژوهش عملیاتی

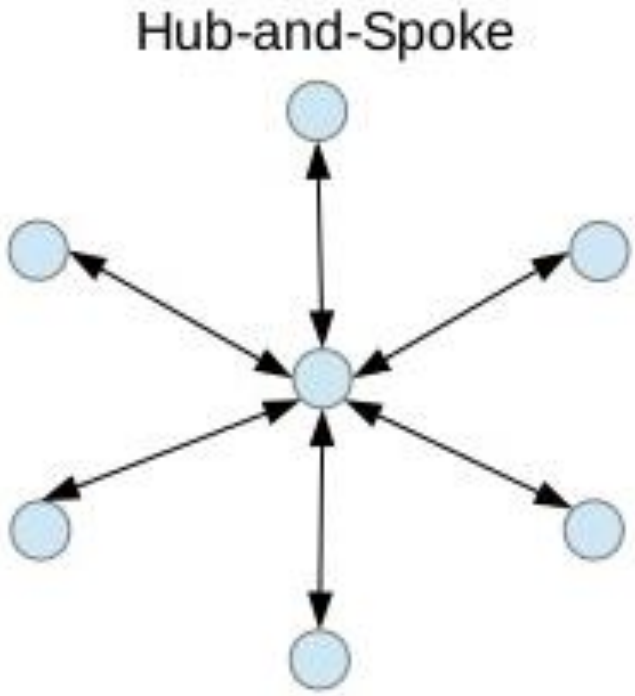


مزیت مدل Hub-Spoke

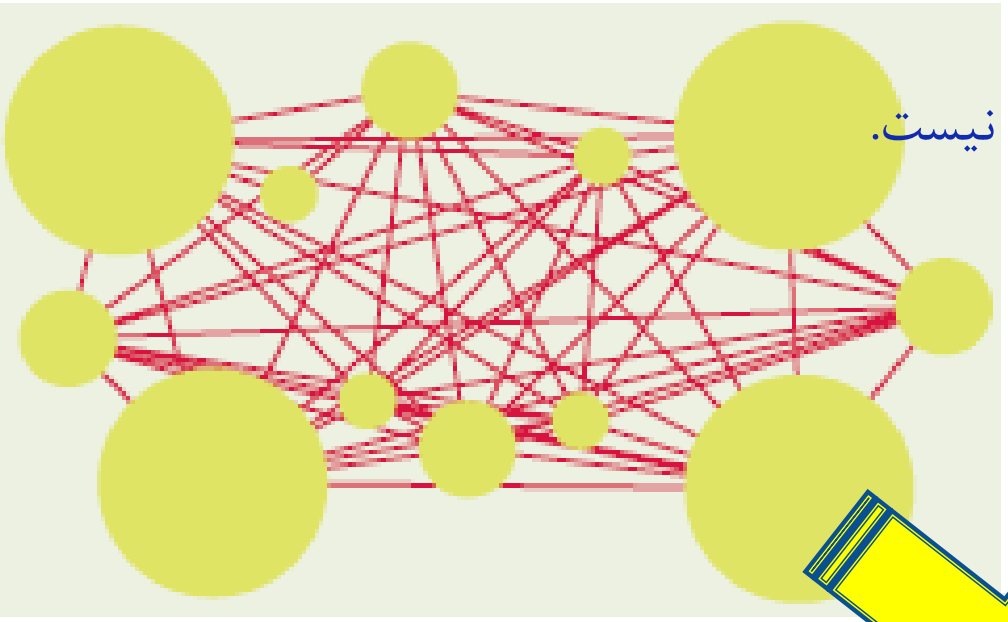
نیاز به ارتباط مستقیم همه انشعابات با یکدیگر نیست.

کاهش هزینه ها

تخصیص بودجه بیشتر به محورهای حیاتی



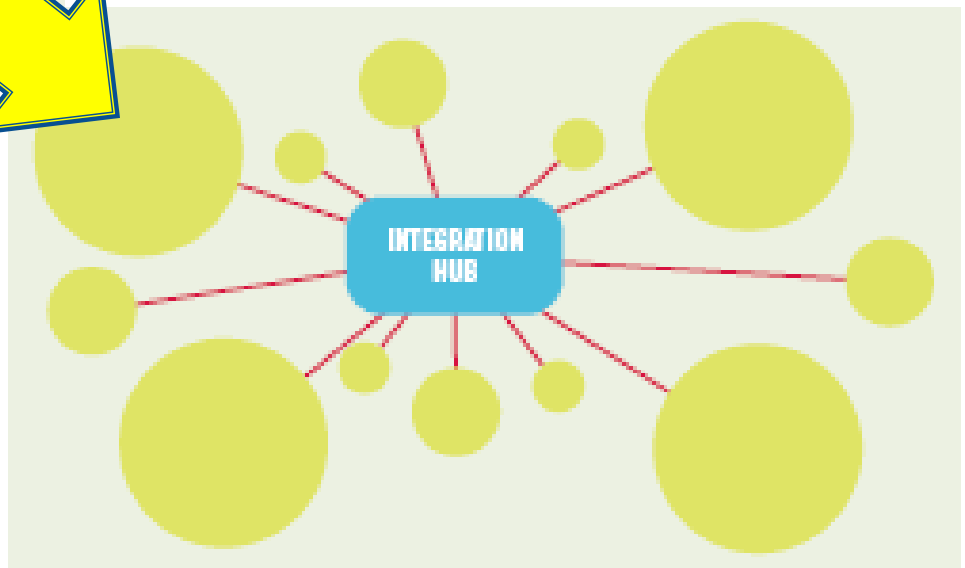
مزیت مدل Hub-Spoke



نیاز به ارتباط مستقیم همه انشعابات با یکدیگر نیست.

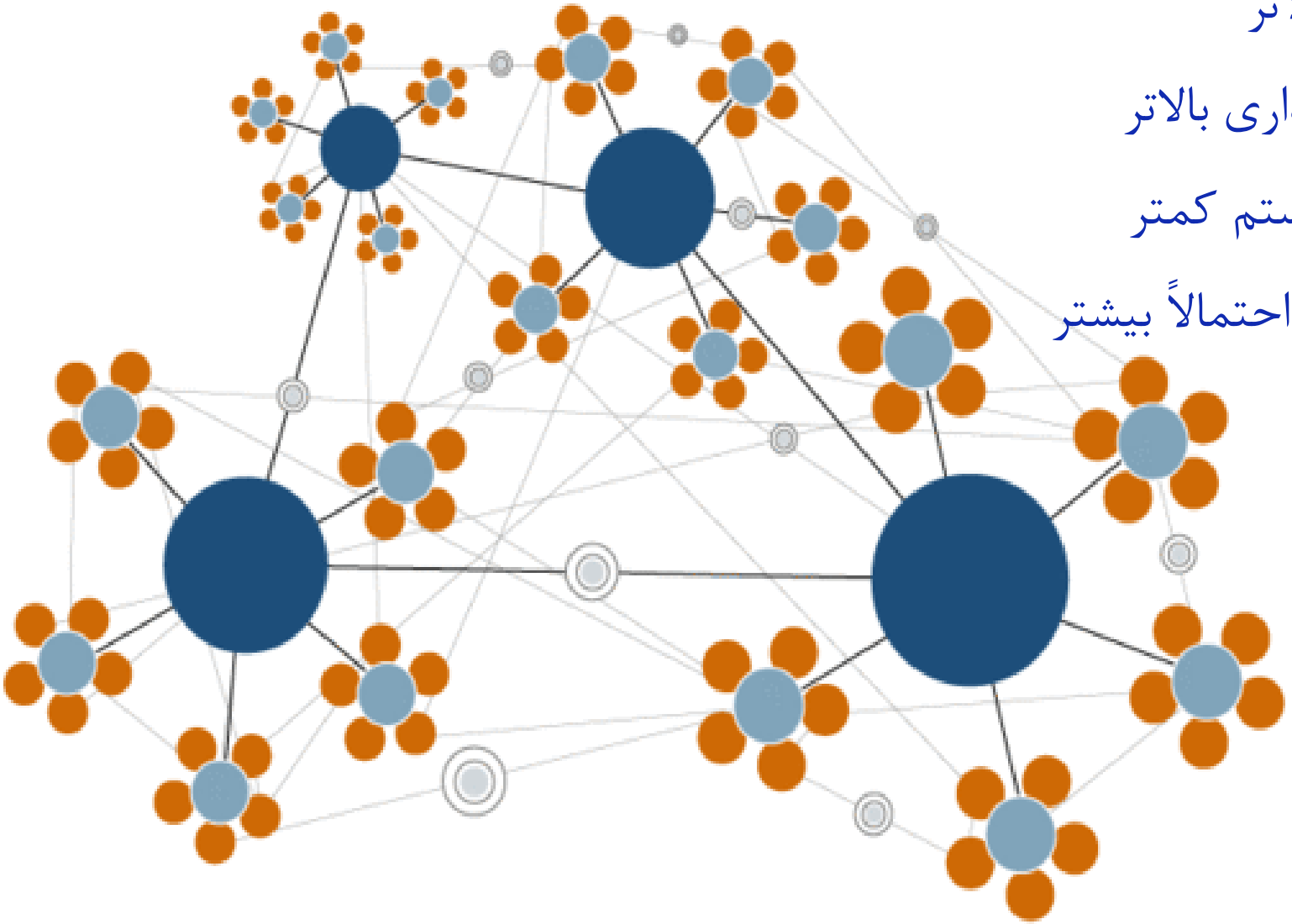
کاهش هزینه ها

تخصیص بودجه بیشتر به محورهای حیاتی



سیستم حمل و نقل بین هاب ها

- ظرفیت بالاتر
- سرمایه گذاری بالاتر
- هزینه سیستم کمتر
- زمان سفر احتمالاً بیشتر

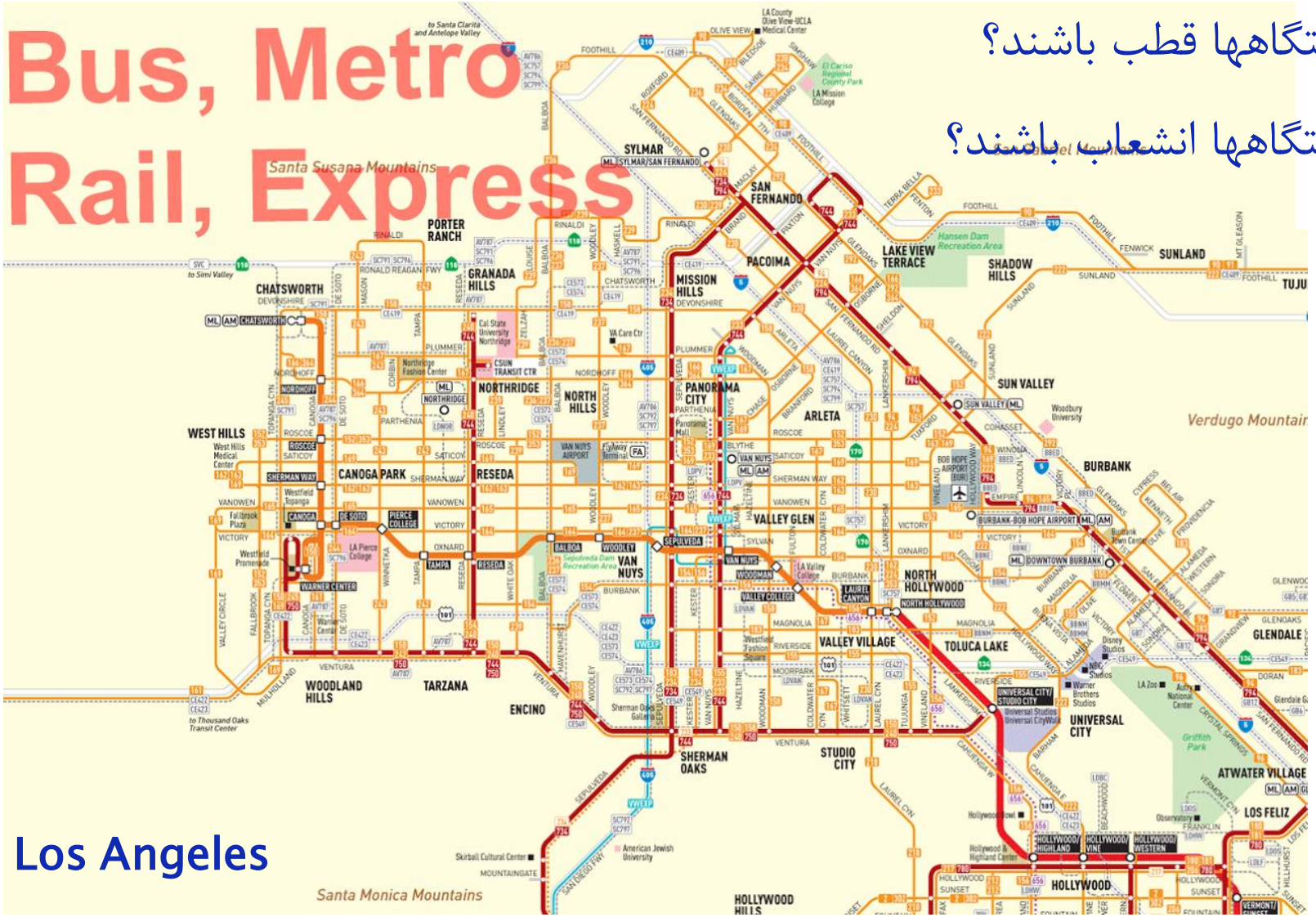


سیستم یکپارچه حمل و نقل همگانی شهری

- تقسیم بندی نقاط بالقوه ایستگاه به قطب و انشعاب
- کدام ایستگاهها قطب باشند؟
- کدام ایستگاهها انشعاب باشند؟
- ارتباط قطب ها: مترو، قطار سبک، بی آرتی
- خطوط اتوبوس و تاکسی: ارتباط قطب ها با انشعابات

سیستم یکپارچه حمل و نقل همگانی شهری

- کدام ایستگاهها قطب باشند؟
- کدام ایستگاهها انشعاب باشند؟



محمد تمنایی
پژوهش عملیاتی

۶

مکان یابی هاب (بین شهری و بین المللی)

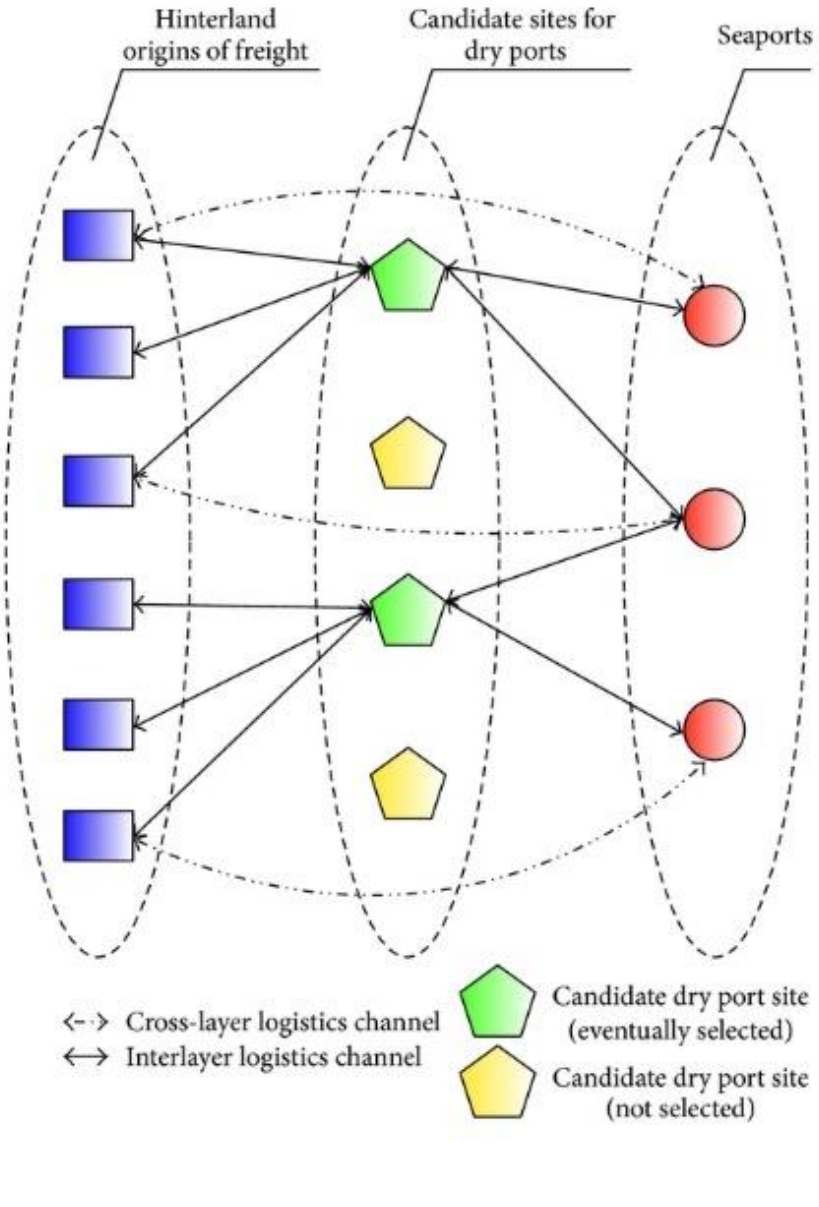
“Hub Location Problems”

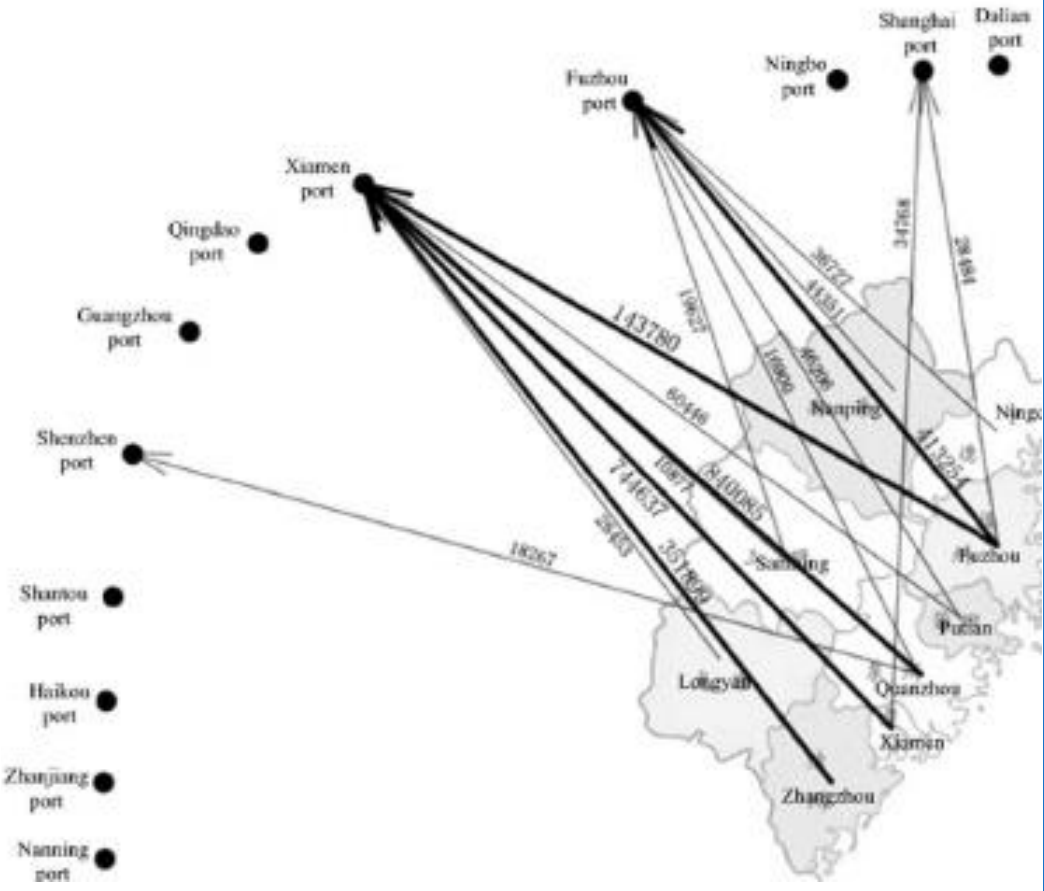
پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

کاربردهای بهینه سازی در مهندسی حمل و نقل

مکان یابی بنادر خشک (واسط)

- ✓ **هدف:** کاهش هزینه های حمل





محمد تمنایی

مکان یابی بنادر خشک (واسط)

- ✓ **هدف:**

افزایش سهم حمل ریلی

- ✓ **متغیر تصمیم:**

انتخاب گره های بالقوه

حجم ریلی و جاده ای کمانها

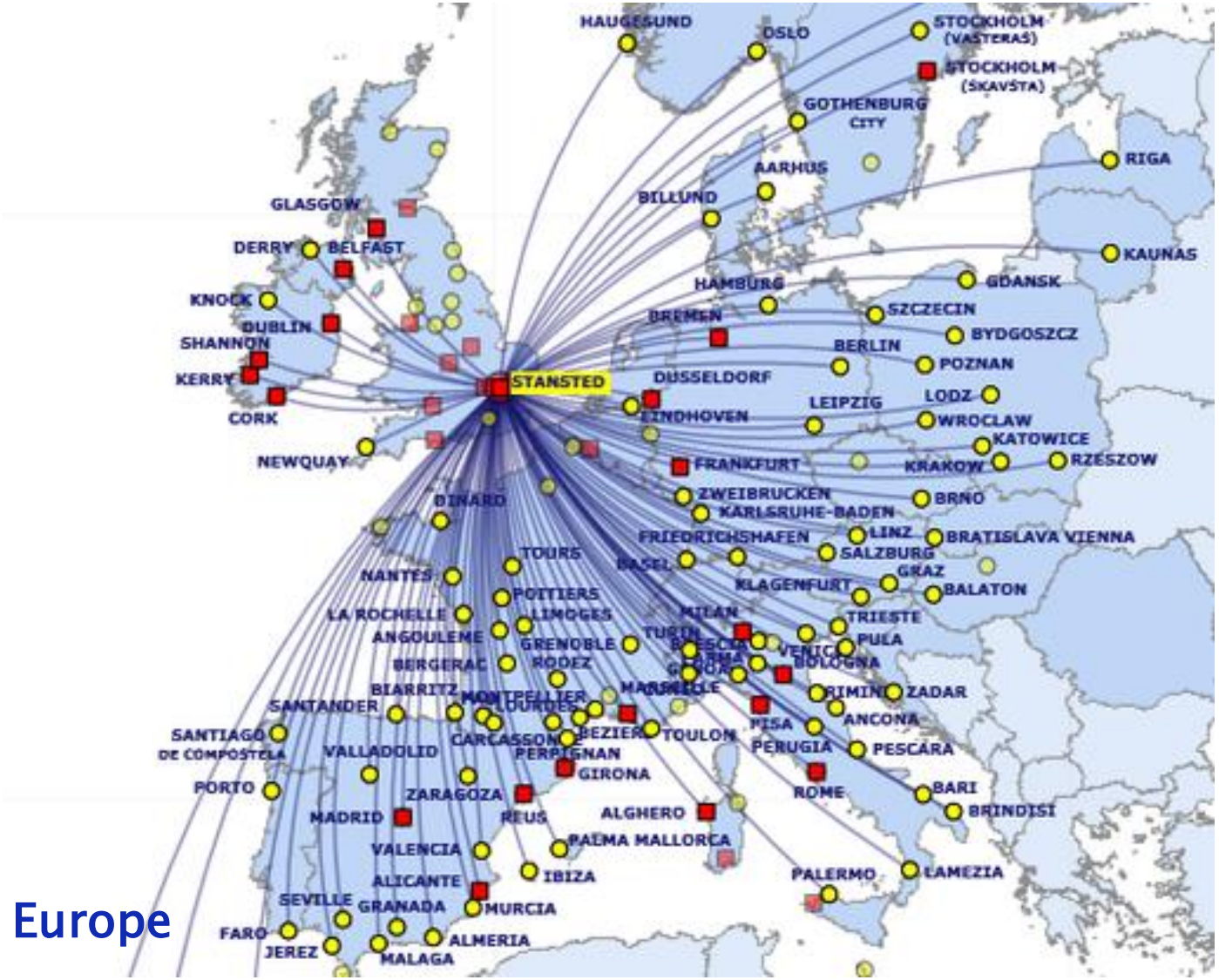
محمد تمنایی

پژوهش عملیاتی

مکان یابی هاب های فرودگاهی در منطقه

- ✓ **هدف:**

کاهش زمان (هزینه) سفر



Europe

محمد تمنایی

پژوهش عملیاتی

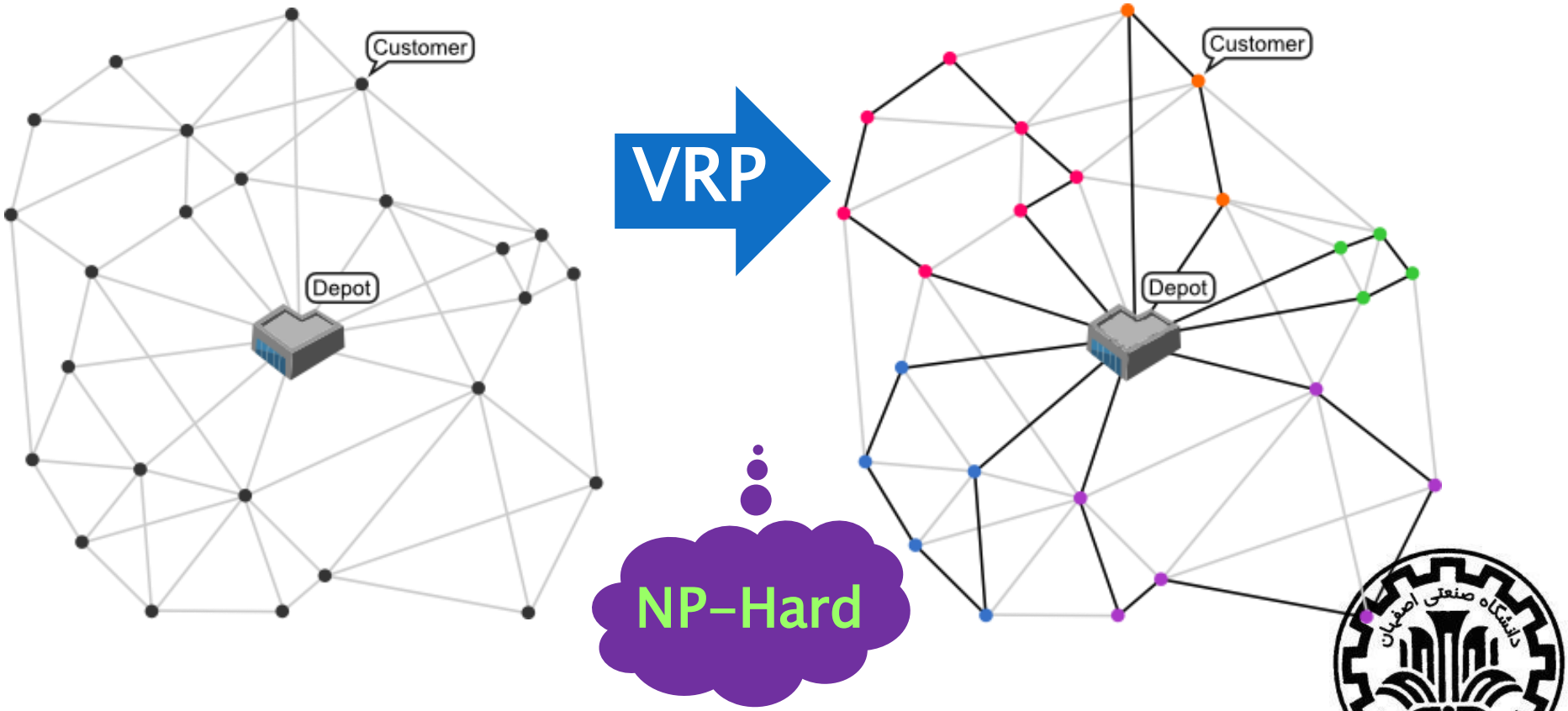
۷

مسیریابی (مسیردهی)

“Routing Problems”

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (Vehicle Routing Problem)

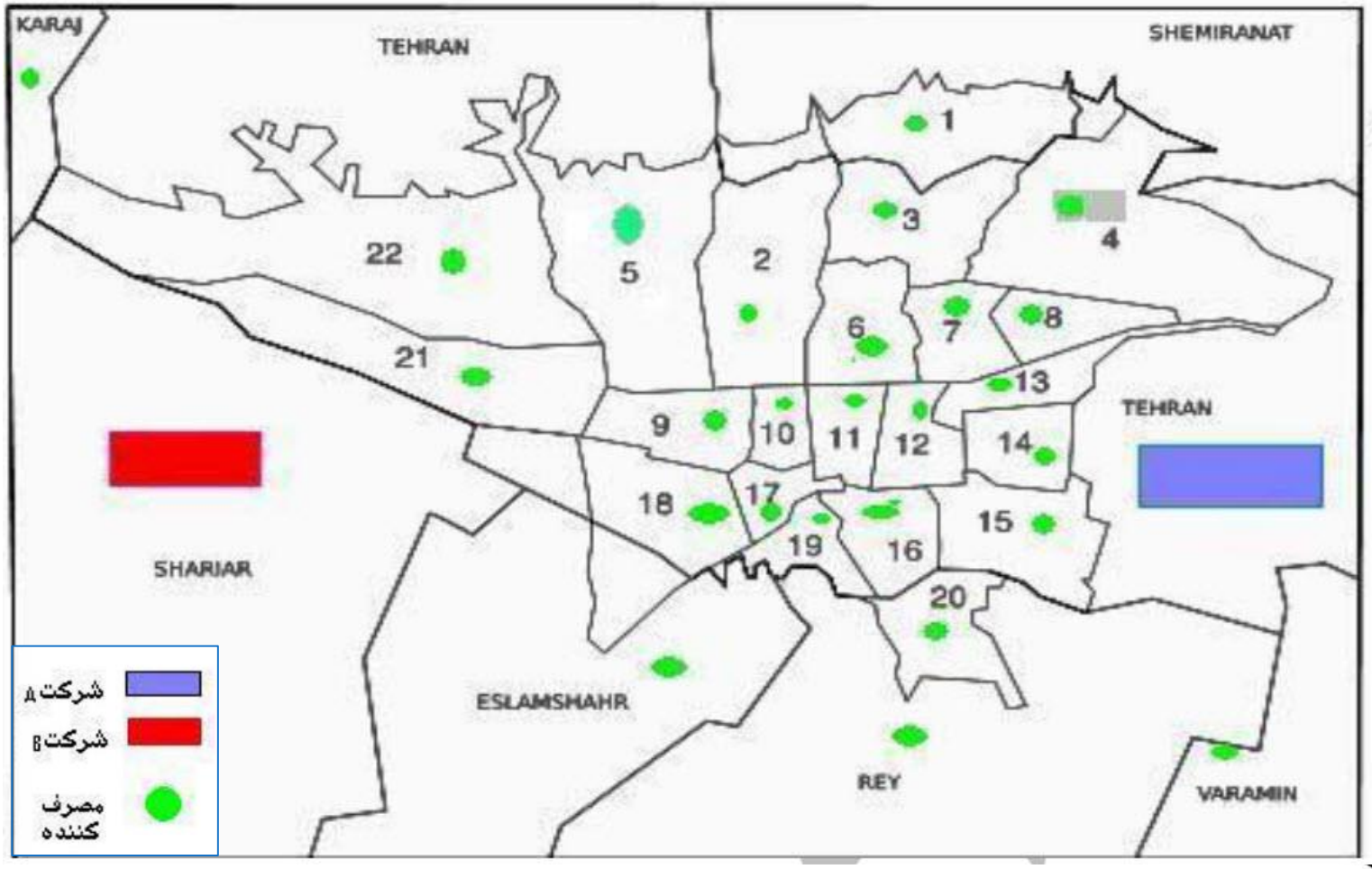
مسیرهای بهینه برای وسایل نقلیه جهت تحویل کالا (مسافر) به مقاصد مشخص



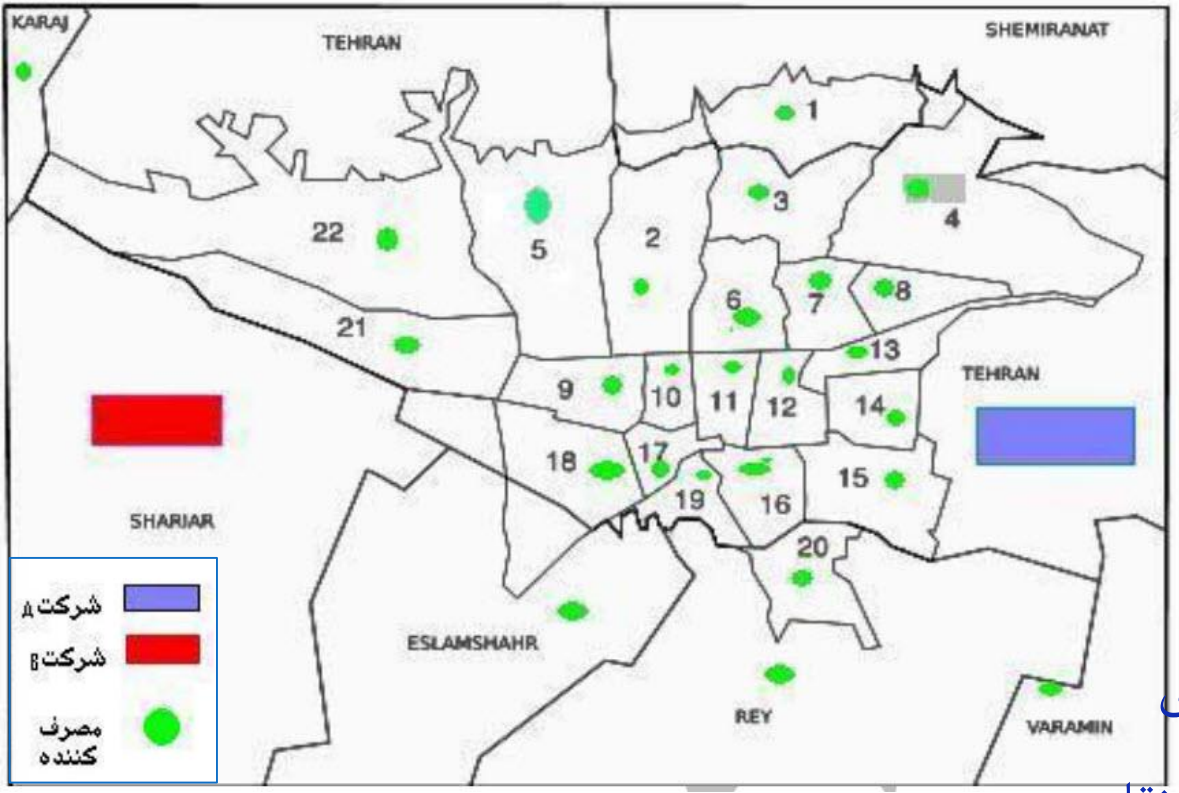
مسیردهی در تمامی شقوق حمل و نقل کاربرد دارد.

مسئله توزیع محصولات (Product Distribution)

مجموعه مسیر بهینه برای تحویل و یا بازپس گیری بموقع کالا از نقاط مختلف



کاربردهای بهینه سازی در مهندسی حمل و نقل



هدف:

- ✓ کمینه مسافت طی شده
- ✓ کمینه هزینه کل تحویل کالا

محدودیتها:

- ✓ ظرفیت وسایل نقلیه
- ✓ ارضای تقاضای هر مشتری
- ✓ زمان سرویس دهی هر مشتری
- ✓ هر مشتری فقط با یک وسیله نقلیه
- ✓ پیوستگی مسیرها (اگر وارد گره شد، باید خارج شود)

مسئله همسواری (Car Pooling)

استفاده مشترک چند نفر از یک وسیله نقلیه

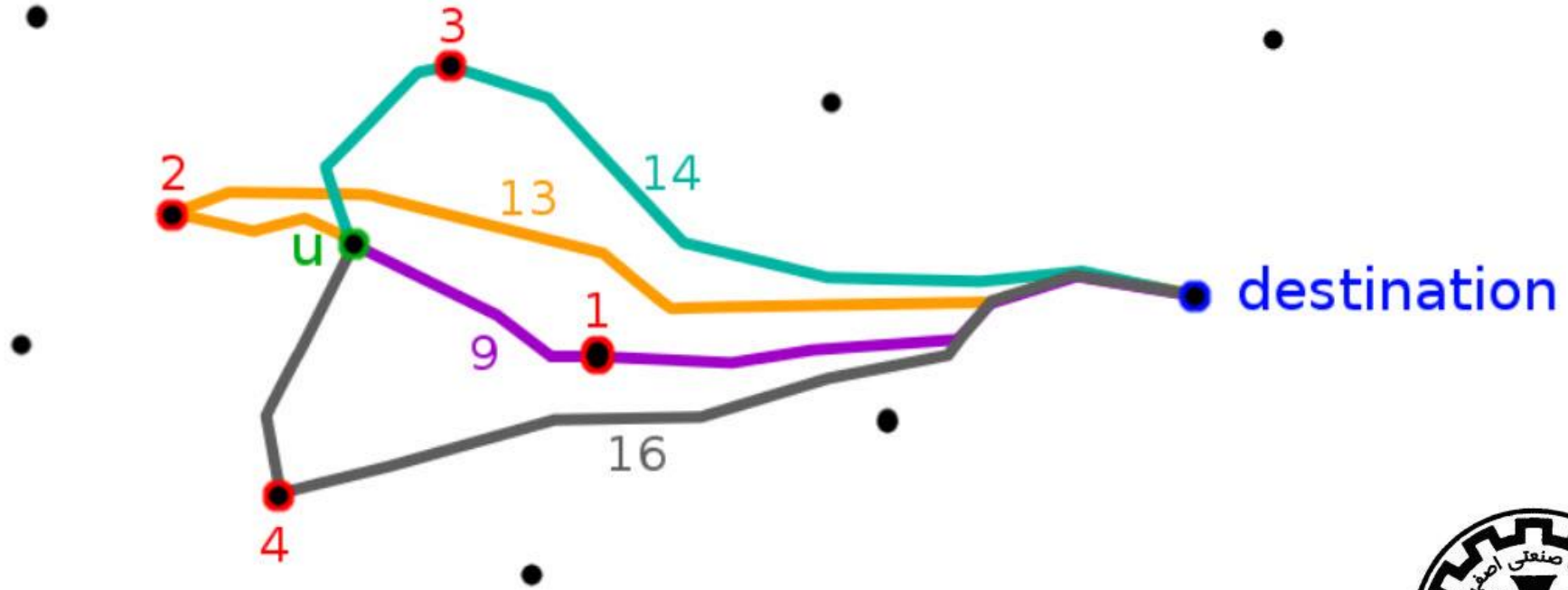
- ✓ کاهش هزینه سفر
- ✓ کاهش آلایندگی هوا
- ✓ کاهش شلوغی ترافیک ...

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

مثال:

حمل و نقل تعدادی از دانشجویان دانشگاه صنعتی اصفهان

- ✓ مبدأ: نواحی پراکنده شهر اصفهان
- ✓ تعداد محدودی وسیله نقلیه
- ✓ مقصد: دانشگاه صنعتی اصفهان
- ✓ حضور در مقصد در ساعت مشخص



کدام دانشجو با کدام وسیله نقلیه؟

برخی مسائل مسیریابی در حمل و نقل

مسیریابی در حمل و نقل هوایی:

- ✓ جابجایی مسافر بین چند فرودگاه
- ✓ تشکیل مسیر با کمترین هزینه برای شرکت هوایی
- ✓ نقاط میانی (Connection Flights) در مسیر حرکت هواپیما کدام فرودگاهها باشند؟

مسیریابی در حمل و نقل دریایی:

- ✓ حمل کالا بین چند بندر توسط چند کشتی
- ✓ کدام کالا با کدام کشتی؟
- ✓ نقاط میانی مسیر حرکت هر کشتی؟

۸

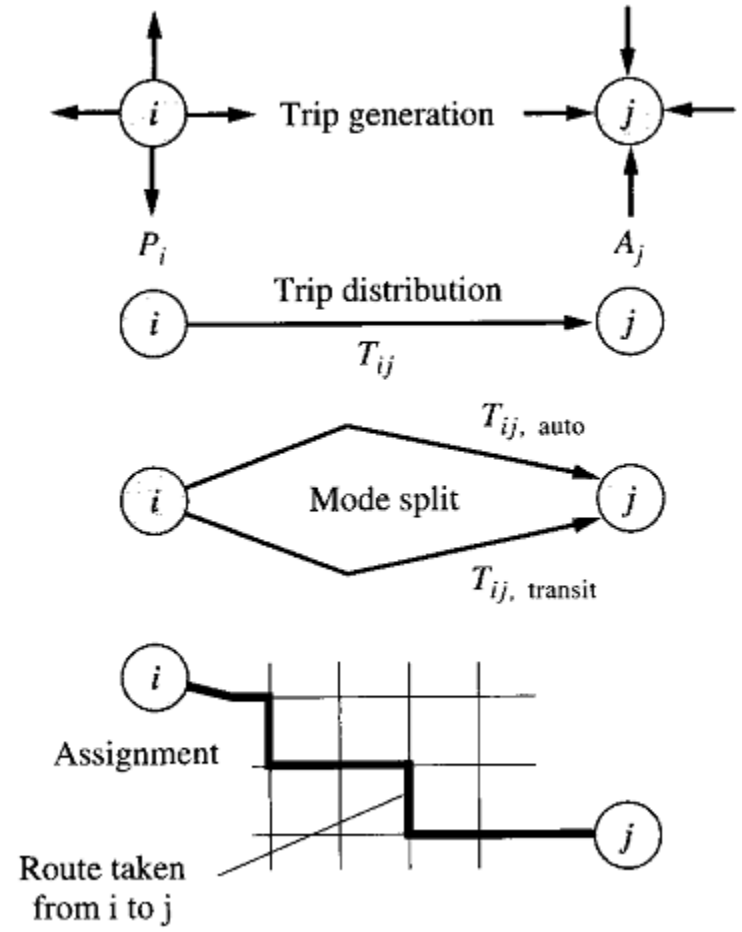
تخصیص ترافیک

“Traffic Assignment”

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

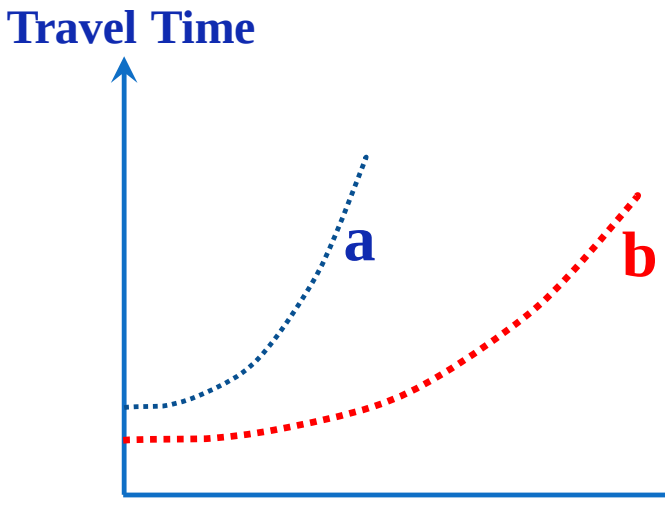
ماتریس تقاضای OD ⟸ جریان در شبکه

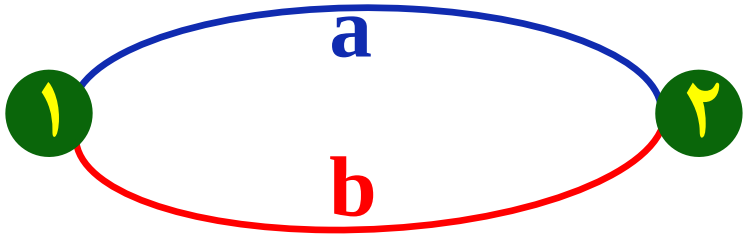
(هر سفر از کدام کمانها عبور کند؟)



OD Matrix	...	ناحیه ۲۰۲
...	...	...
ناحیه ۱۰۱	...	1000

تخصیص سفرها
به کدام
کمانهای شبکه؟





$$t_a(x_a) = t_0(1 + 0.15(\frac{x_a}{c_a})^4)$$

در انتخاب مسیر: هر استفاده کننده زمان سفر خود را کمینه میکند
(نمی تواند بطور یکجانبه زمان سفر خود را بهبود دهد)
(فرض: اطلاعات کامل همه از همه مسیرها)

تعادل استفاده کننده
(User Equilibrium)
UE

مسئله بهینه سازی UE

$$\underset{x}{Min} \sum_{a \in A} \int_{0}^{x_a} t_a(u)\,du$$

S.t.

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k = d_{rs} \quad \forall (r,s)$$

f_k : جریان در مسیر k از مبدا r به مقصد s

$$x_a = \sum_{(r,s)} \sum_{k} \delta_{ak} f_k \quad \forall a \in A$$

$$f_k \geq 0 \quad \forall k \,,\ \forall (r,s)$$

مسئله بهینه سازی SO

$$\underset{x}{Min} \sum_{a \in A} x_a \; t_a(x_a)$$

S.t.

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k = d_{rs} \quad \forall (r,s)$$

f_k : جریان در مسیر k از مبدا r به مقصد s

$$x_a = \sum_{(r,s)} \sum_{k} \delta_{ak} f_k \quad \forall a \in A$$

$$f_k \geq 0 \quad \forall k \; , \; \forall (r,s)$$

جواب بهینه مسئله SO: شاخصی برای عملکرد UE شبکه

طراحی شبکه معابر

“Road Network Design Problem”

طراحی شبکه حمل و نقل Transportation Network Design

مسائل طراحی شبکه

حمل و نقل شهری

Urban Transportation

Network Design Problems

مسائل طراحی شبکه معابر (حمل و نقل شخصی)

Road NDP

مسائل طراحی شبکه حمل و نقل همگانی

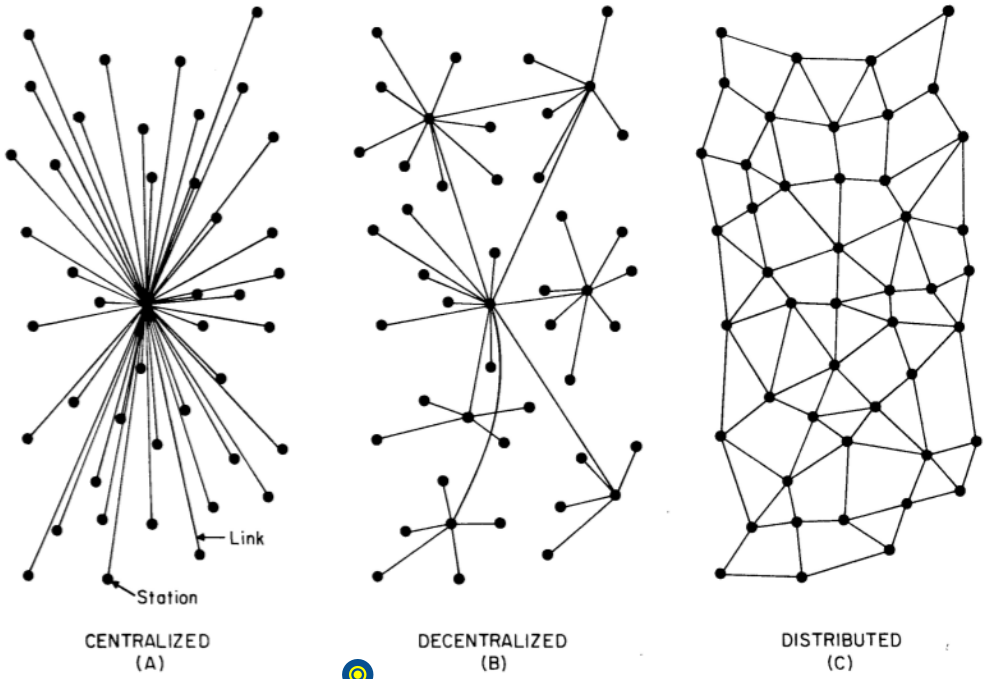
Public Transit NDP

پژوهش عملیاتی

محمد تمنایی

مسائل طراحی شبکه معابر

Road NDP



تفاوت در:

زمان انتقال از مبادی به مقاصد

سوالات اصلی:

- کدام معابر احداث شوند؟
- ظرفیت کدام معابر موجود افزایش یابد؟
- میزان ظرفیت معابر جدید
- و افزایش ظرفیت معابر موجود؟

هدف RNDP:
کمینه سازی زمان (هزینه) انتقال تقاضا از مبادی به مقاصد

محمد تمنایی
پژوهش عملیاتی

۳ دسته مسائل طراحی شبکه معابر:

۱) طراحی شبکه گسسته (Descrete Network Design Problem)

- صرفاً متغیرهای طراحی گسسته
- (انتخاب زیرمجموعه ای امکانپذیر از پروژه های ساخت یا توسعه در شبکه حمل و نقل)

ساخت معابر جدید — افزودن Lane جدید

تعیین جهت معابر یکطرفه — تعیین محدودیتهای گردش در تقاطع ها

۲) طراحی شبکه پیوسته (Continuous Network Design Problem)

- صرفاً متغیرهای طراحی پیوسته:

افزایش ظرفیت معابر

فازبندی چراغهای راهنمایی

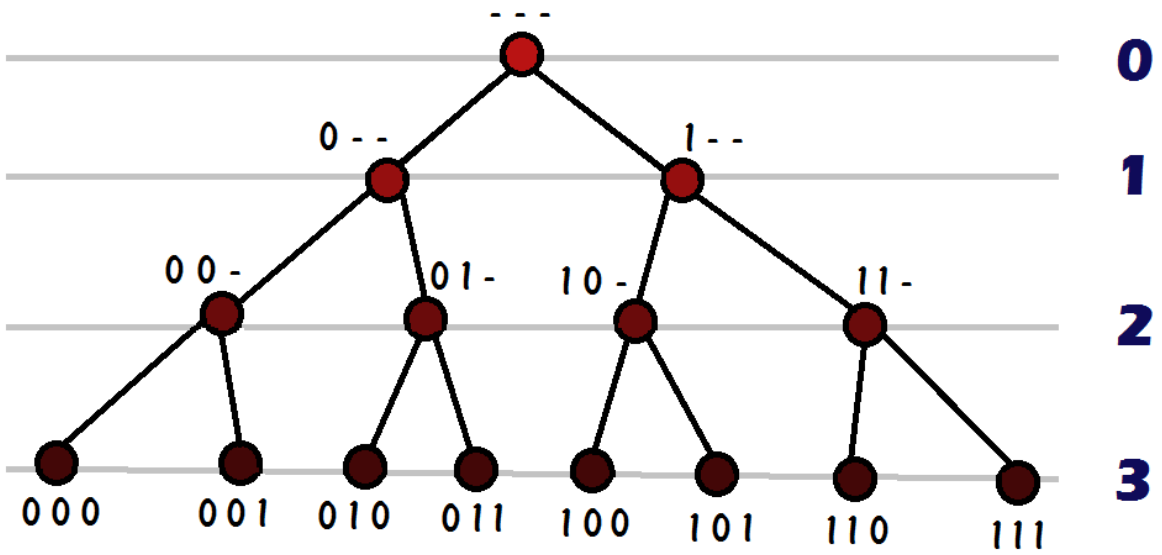
میزان عوارض در خیابانهای مشخص

۳) طراحی شبکه مختلط (Mixed Network Design Problem)

- ترکیبی از متغیرهای طراحی پیوسته و گسسته

مثال: انتخاب از بین ۳ معبر کاندید:

The B&B-Tree for a TDNDP with 3 projects:



درخت
شاخه و کران

مثال: تعداد ۲۰ معبر کاندید:
سطح پایین درخت: 2^{20} گره!!

مسائل طراحی شبکه معابر وابسته به زمان:

Time-Dependent Road Network Design Problem

تقاضا، کاربری یا شبکه در افق زمانی تغییر نماید

در اکثر مسائل طراحی شبکه در حمل و نقل:

مدلسازی واکنش (رفتار) مردم باید دیده شود: مسائل دوسطحی (Bi-Level Problems)

مدلسازی یک مسئله طراحی شبکه معابر گسسته:

Upper Level Problem:

$A(y)$ مجموعه کمان های پیشنهادی

جریان تخصیص یافته به کمان a

$$\underset{y}{Min}\ T(y) = \sum_{a \in A(y)} x_a\ t_a(x_a)$$

تابع زمان سفر-حجم کمان a

S.t.

c_a هزینه
احداث کمان a

بودجه کل

$$\sum_{a \in A(y)} c_a\ y_a \le B$$

برای یافتن بردار بهینه y، باید مساله سطح پایین حل شود که یک مساله تخصیص ترافیک بر مبنای UE است

$$y_a = 0 \text{ or } 1 \quad \forall a \in A(y)$$

$x(y) : LLP(y)$ جواب حاصل از حل مسئله سطح پایین

در اکثر مسائل طراحی شبکه در حمل و نقل:

مدلسازی واکنش (رفتار) مردم باید دیده شود: مسائل دوسطحی (Bi-Level Problems)

مدلسازی یک مسئله طراحی شبکه معابر گسسته:

Lower Level Problem:

$$\underset{x}{Min} \sum_{a\in A(y)} \int_0^{x_a} t_a(u)\,du$$

S.t.

$$\sum_{k\in K_{rs}(y)} f_k = d_{rs} \quad \forall (r,s)\in P$$

$$x_a = \sum_{(r,s)}\sum_{k} \delta_{ak} f_k \quad \forall a \in A(y)$$

$$f_k \geq 0 \quad \forall k\,,\ \forall (r,s)$$

$x(y) = \{ x_a : a \in A(y) \}$: بردار مقادیر جریان تخصیص یافته به کمان های شبکه حاصل از انتخاب بردار y

f_k : جریان در مسیر k از مبدا r به مقصد s در شبکه حاصل از انتخاب بردار y، برای $k \in K_{rs}(y)$

نرم افزارهای بهینه سازی قادر حل مسائل دوسطحی نیستند.

با فرضهای ساده کننده، مدل یکسطحی میشود (مثلا t_a ثابت)

۱۰

طراحی شبکه حمل و نقل همگانی

“Public Transit Network Design Problem”

مسائل طراحی شبکه حمل و نقل همگانی Public Transit NDP

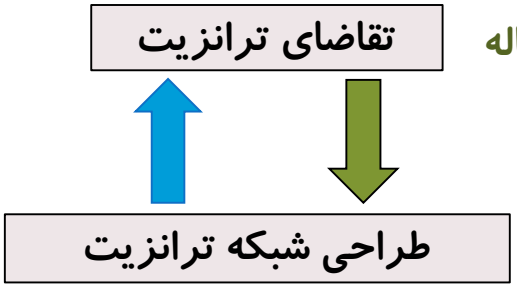
- طراحی مسیرهای حرکت (مبدأ- مقصد، ایستگاههای میانی)
- تناوب اعزام در خطوط مختلف (تخصیص ناوگان به خطوط)

طراحی شبکه اتوبوس طراحی شبکه تراموا

طراحی شبکه مترو

طراحی شبکه یکپارچه حمل و نقل همگانی
(Multi-Modal Network Design Problem)

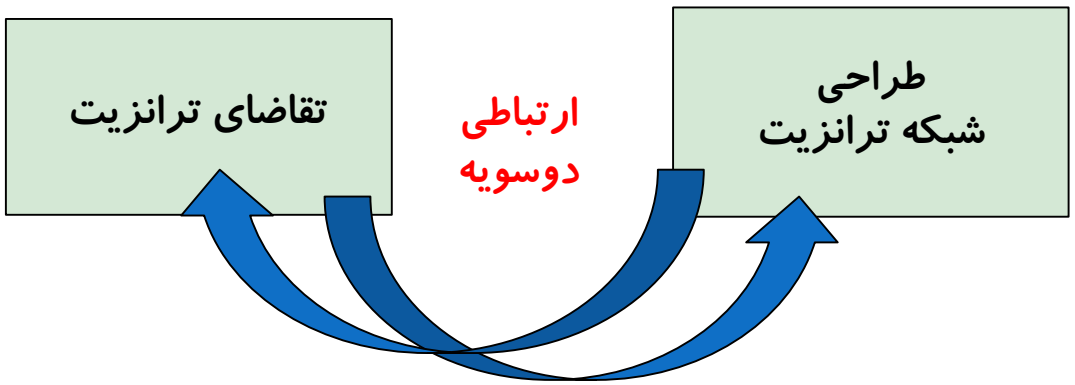
هدف: بیشینه سازی پوشش تقاضا
کمینه سازی زمان (هزینه) سفرها
کمینه سازی آلودگی هوا و ...



تقاضای سفر همگانی

به عنوان ورودی مساله طراحی شبکه

خود، متاثر از مشخصات طراحی شبکه (نسبت به مشخصات طراحی کشسان است)



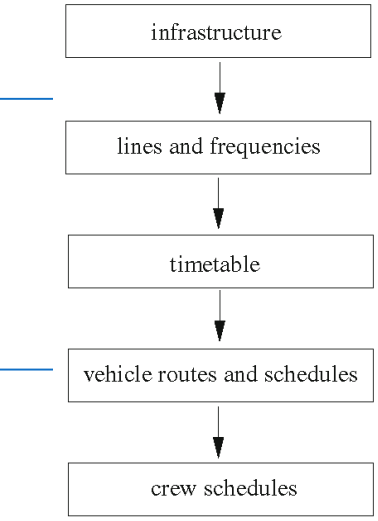
۲ دسته مسائل طراحی شبکه حمل و نقل همگانی:

۱) طراحی شبکه خطوط همگانی (Transit Network Design Problem)

- صرفاً طراحی مسیرهای خطوط: مبدأ- مقصد- ایستگاههای میانی

۲) طراحی شبکه خطوط و تعیین تناوب (Transit Network Design & Frequency Setting)

- طراحی مسیرهای خطوط + تناوب هر خط

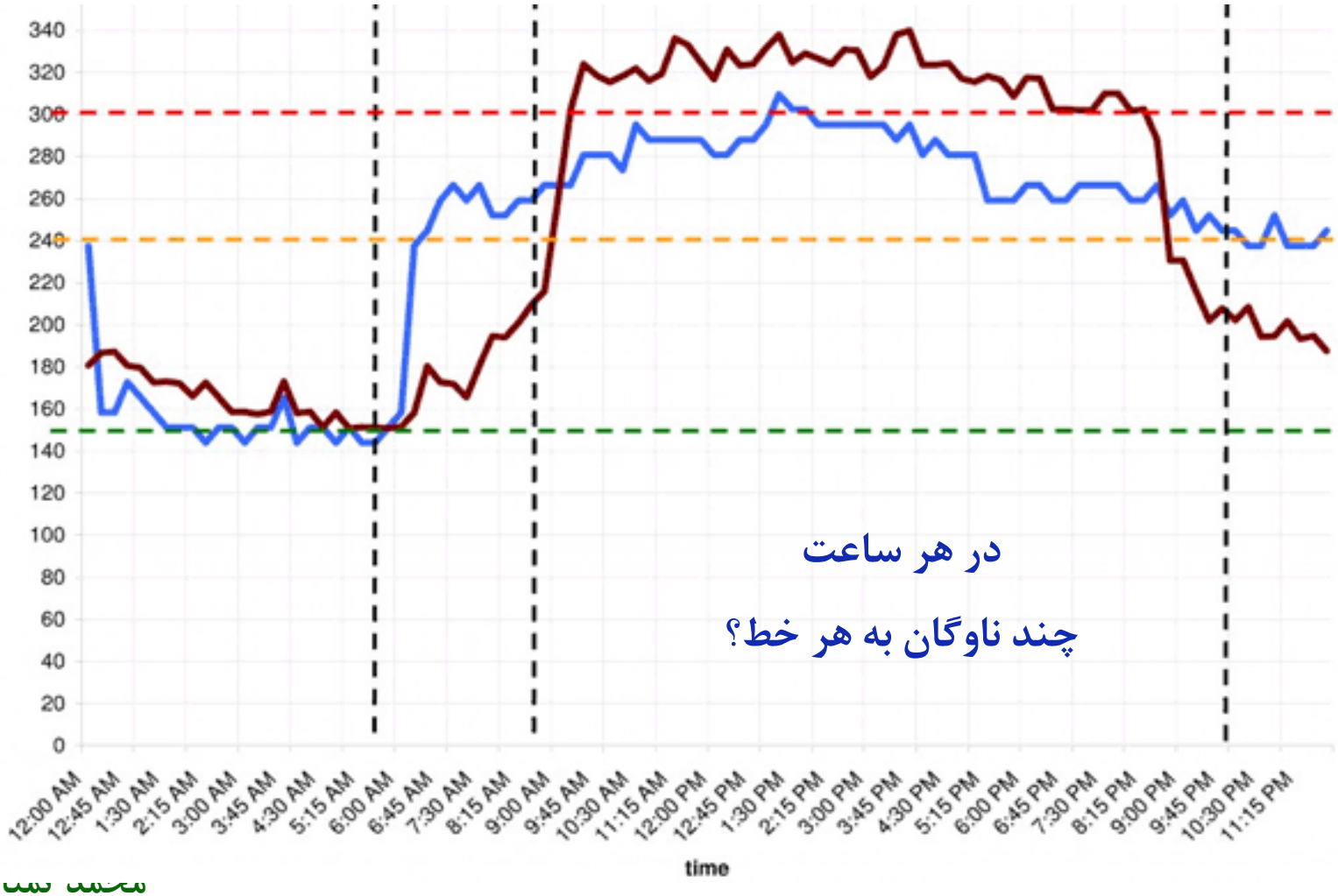


مراحل برنامه ریزی حمل و نقل همگانی

در اکثر مطالعات مربوطه، زمان سفر وسایل نقلیه شخصی ثابت فرض شده اند

تغییرات تقاضای خطوط مختلف در ساعات روز

طراحی شبکه همگانی پویا Dynamic Transit NDP



در هر ساعت

چند ناوگان به هر خط؟

پژوهش عملیاتی

نوسانات تقاضای خطوط مختلف در ساعات روز

تخصیص دینامیک Dynamic Assignment

فرض: تقاضای ثابت در هر بازه زمانی (Fixed Demand)

تغییرات تقاضا با لحاظ تأثیرات عرضه بر تقاضا

(مثلاً قیمتگذاری، سیاستهای مدیریت ترافیک)

تخصیص استاتیک (یا دینامیک) با تقاضای متغیر

Assignment with variable Demand

تخمین ماتریس تقاضای حمل و نقل

“Estimation of OD matrix”

تخصیص ترافیک:

ماتریس تقاضای OD ⟸ جریان در شبکه

تخمین تقاضا:

ماتریس تقاضای OD ⟹ جریان در شبکه

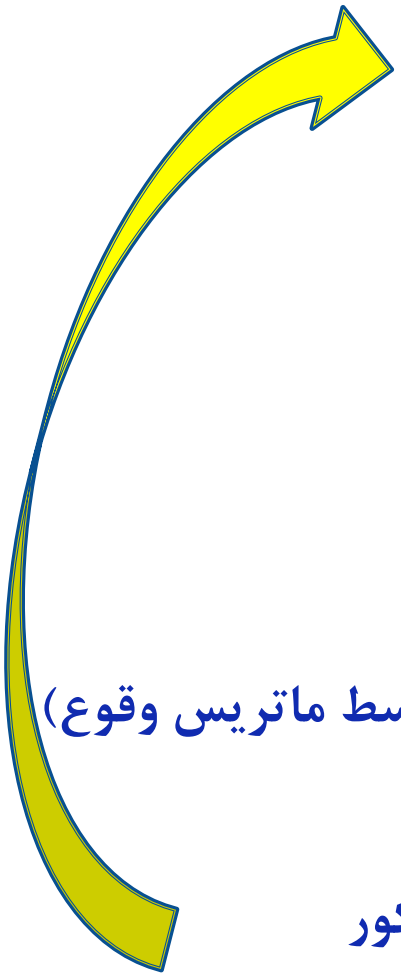
$$\min_{\mathbf{d},\mathbf{x}} \alpha \sum_{(i,j)} (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2 + \beta \sum_{(r,s)} (d_{rs} - \bar{d}_{rs})^2$$

حجم برداشت شده در کمان ij

سفرهای بین r و s
(از مصاحبه روی کمانها)

پژوهش عملیاتی

روند تخمین ماتریس تقاضای جدید:



ماتریس تقاضای OD قبلی به شبکه تخصیص می یابد

کمانها دارای حجم اولیه می شوند.

کمانهای آماربرداری شده:

اختلاف حجم تخصیصی و آمار چقدر است؟

شناسایی مبدأ-مقصدهای عبوری از کمانها (توسط ماتریس وقوع)

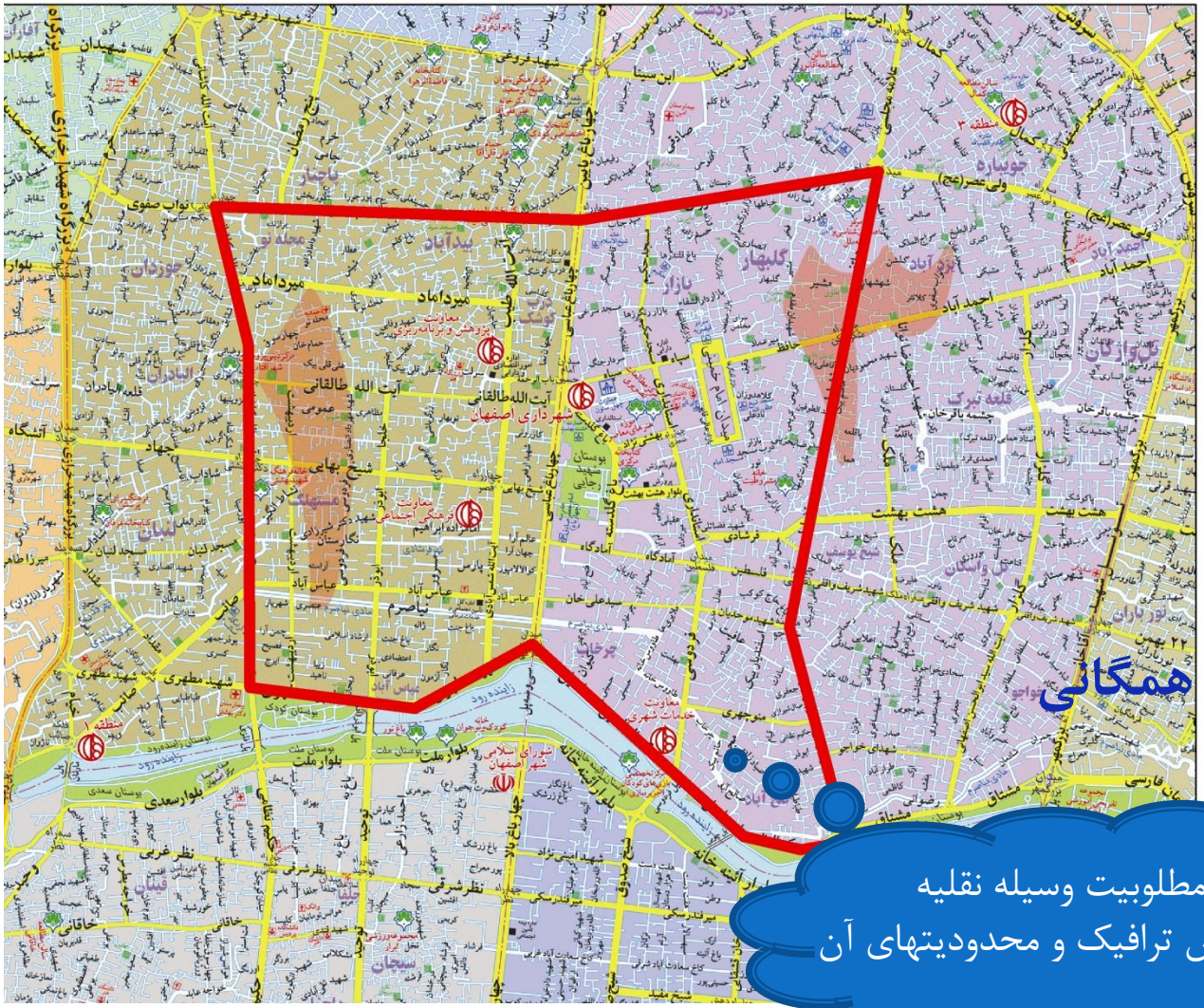
تغییر تقاضای مبدأ-مقصدها با توجه به اختلاف حجم مذکور

۱۲

قیمت گذاری

“Pricing”

«قیمت گذاری محدوده»



قیمت ورود به محدوده ؟

تا در اثر واکنش مردم

به هدف برسیم

هدف:

کمینه زمان سفر در شبکه

بیشینه مطلوبیت حمل و نقل همگانی

لحاظ مطلوبیت وسیله نقلیه
لحاظ تخصیص ترافیک و محدودیتهای آن

پژوهش عملیاتی

محمد تمنایی

«قیمت گذاری معابر»

ERP
Electronic Road Pricing

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

۱۳

زمانبندی ناوگان

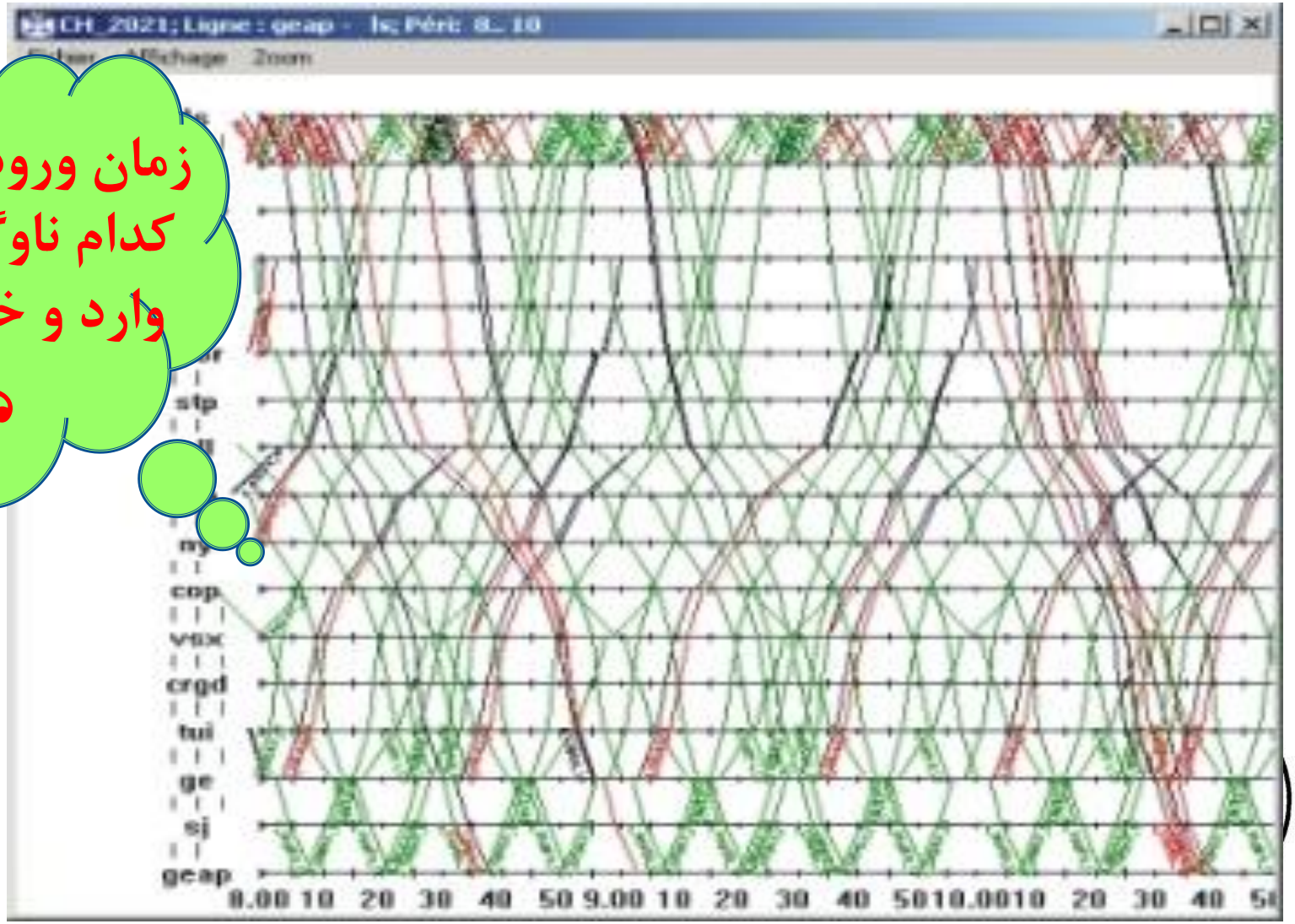
“Vehicle Scheduling”

✓ زمانبندی ناوگان (زمان ورود و خروج در ایستگاهها)

- ❖ اتوبوسهای شهری و BRT
- ❖ مترو و قطار سبک
- ❖ قطارهای مسافری و باری
- ❖ هواپیماهای داخلی و بین المللی

✓ زمانبندی ناوگان (زمان ورود و خروج در ایستگاهها)

زمان ورود و خروج؟
کدام ناوگان زودتر
وارد و خارج شود
؟



✓ زمانبندی ناوگان (زمان ورود و خروج در ایستگاهها)

هدف:

کمینه سازی کل زمان سفر

محدودیتها:

ظرفیت هر ایستگاه

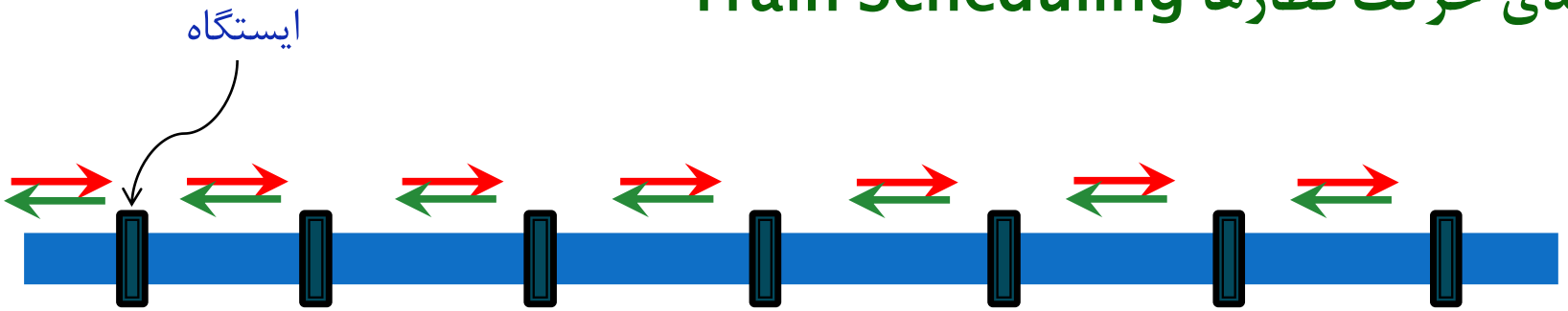
ظرفیت کمانهای مسیر

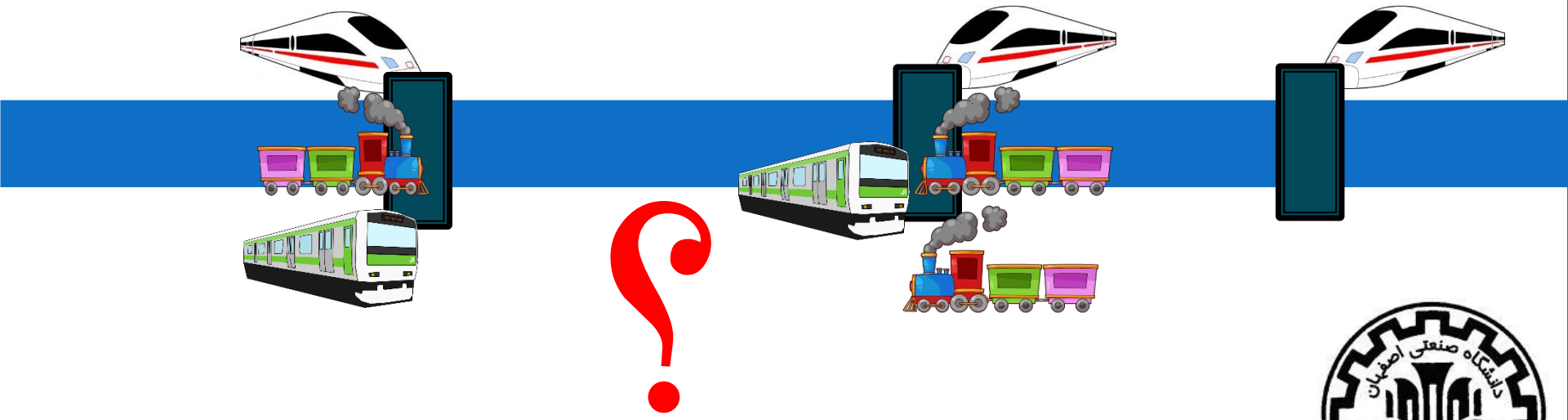
حداقل توقف اجباری هر وسیله نقلیه در هر ایستگاه

زودترین زمان مجاز شروع حرکت هر وسیله نقلیه

حداقل و حداکثر سرعت مجاز هر وسیله نقلیه

زمانبندی حرکت قطارها Train Scheduling





پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

یک مدل زمانبندی حرکت قطارها در یک محور دوخطه

متغیر تصمیم:

(پیوسته) زمان ورود و خروج قطارها در ایستگاهها

(دودویی) کدام قطار زودتر وارد ایستگاه می شود؟

تابع هدف:

حداقل کردن زمان تأخیر کل قطارها

$$Min\, z = \sum_{i \in N} \left(G_i \times \left(X_{i,bd_i} - Y_{i,bo_i} \right) \right)$$

یک مدل زمانبندی حرکت قطارها در یک محور دوخطه

محدودیت ها:

✓ پنجره زمانی حرکت از مبدأ

$$EO_{bo_i} \le Y_{i,\,bo_i} \le LO_{bo_i} \qquad \forall i \in N$$

✓ حداقل و حداکثر زمان توقف در ایستگاهها

$$STmin_{i,b} \le Y_{i,(b+1)} - X_{i,\,b} \le STmax_{i,b} \qquad \forall i \in N, \forall b \in B - \{bd_i\}$$

✓ زمان طی بلاکها توسط قطارها

$$\frac{d_b}{V_{max_i,b}} \le X_{i,b} - Y_{i,b} \le \frac{d_b}{V_{min_i,b}} \qquad \forall i \in N, \forall b \in B$$

یک مدل زمانبندی حرکت قطارها در یک محور دوخطه

محدودیت ها:

✓ **عدم برخورد قطارها با یکدیگر در بلاک‌ها:**

اگر قطاری ابتدا وارد بلاک شد، زمان ورود قطار دوم پس از خروج قطار اولی از بلاک باشد

A_{ijb}
- ۱ : قطار شمالی i زودتر از قطار شمالی j وارد بلاک b شود
- ۰ : برعکس

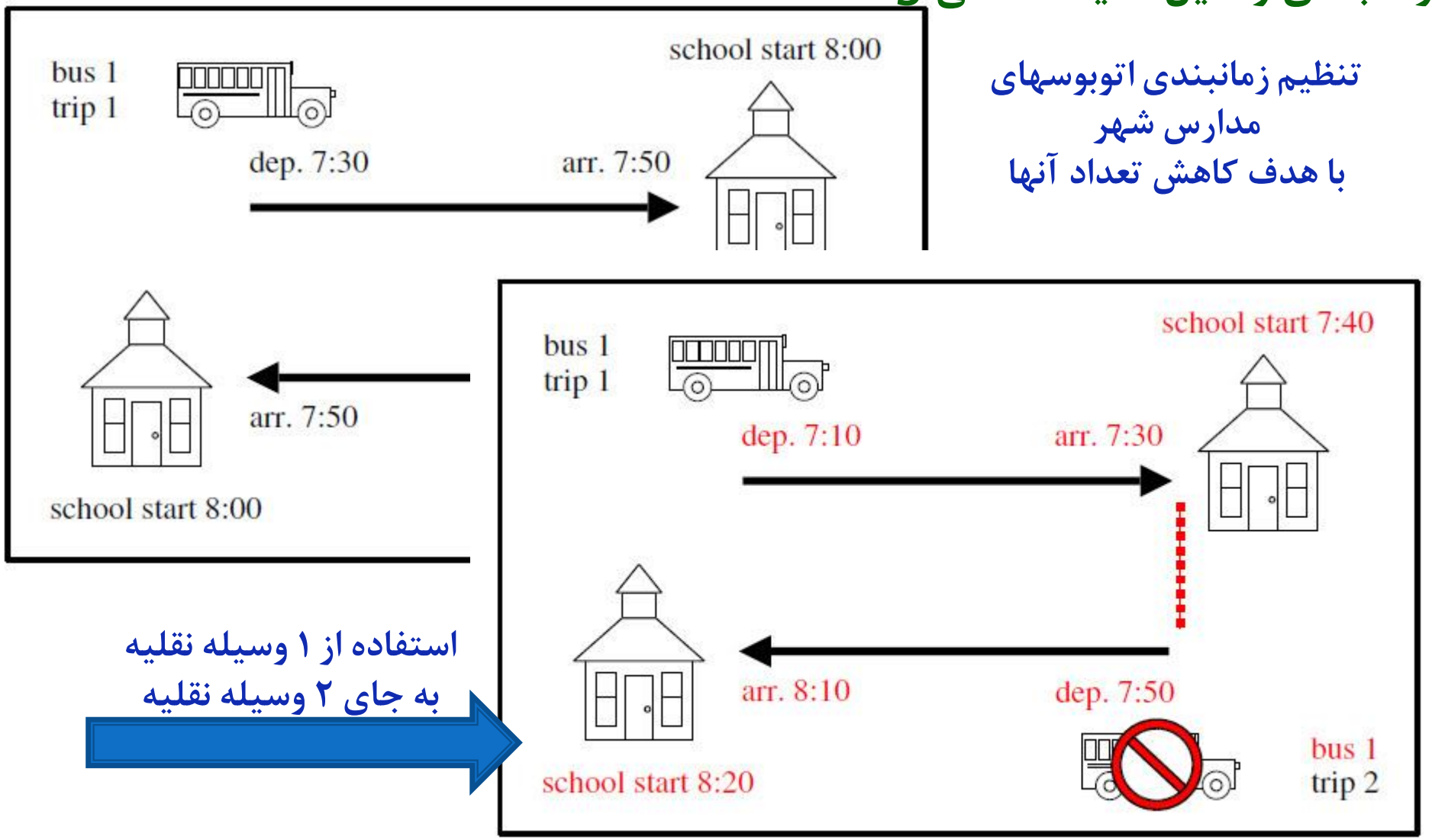
$$A_{ijb}=1 \rightarrow Y_{j,b} \geq X_{i,b}$$
$$A_{ijb}=0 \rightarrow Y_{i,b} \geq X_{j,b}$$

$$Y_{j,b}+M\times\left(1-A_{ijb}\right)\geq X_{i,b} \qquad \forall i,j\in N,\forall b\in B\ ,i\neq j$$
$$Y_{i,b}+M\times A_{ijb}\geq X_{j,b} \qquad \forall i,j\in N,\forall b\in B\ ,i\neq j$$

- اگر مقدار A_{ijb} برابر با یک شد: محدودیت اول فعال می‌گردد.
- اگر مقدار A_{ijb} برابر با صفر شد: محدودیت دوم فعال می‌گردد.

زمانبندی وسایل نقلیه همگانی Bus Scheduling

تنظیم زمانبندی اتوبوسهای
مدارس شهر
با هدف کاهش تعداد آنها



Fugenschuh, A. (2009). Solving a school bus scheduling problem with integer programming. European Journal of Operational Research, 193, 867–884.

زمانبندی وسایل نقلیه همگانی Bus Scheduling

تعمیم: مسئله واقعی یکی از شهرهای آلمان

شرکتهای اتوبوسرانی با صدها دستگاه اتوبوس

بیش از ۱۰۰ مدرسه و ۱۵۰۰۰ دانش آموز

در ۳۰۰۰ ایستگاه اتوبوس صبحگاهی

Minimize:

- The total number of deployed vehicles:

$$\sum_{t \in \mathcal{V}} v_t,$$

- and the driving times of all pull-out, pull-in, and deadhead trips:

$$\sum_{t \in \mathcal{V}} \delta_t^{\text{out}} \cdot v_t + \sum_{(t_1,t_2) \in \mathcal{A}} \delta_{t_1 t_2}^{\text{shift}} \cdot x_{t_1 t_2} + \sum_{t \in \mathcal{V}} \delta_t^{\text{in}} \cdot w_t.$$

Fugenschuh, A. (2009). Solving a school bus scheduling problem with integer programming. European Journal of Operational Research, 193, 867–884.

✓ زمانبندی مجدد ناوگان

وقوع حوادث پیش بینی نشده و ایجاد تأخیرات بزرگ

بروز تأخیرات کوچک در اعزام از ایستگاهها

افزایش غیرمنتظره و ناگهانی جریان مسافر

...

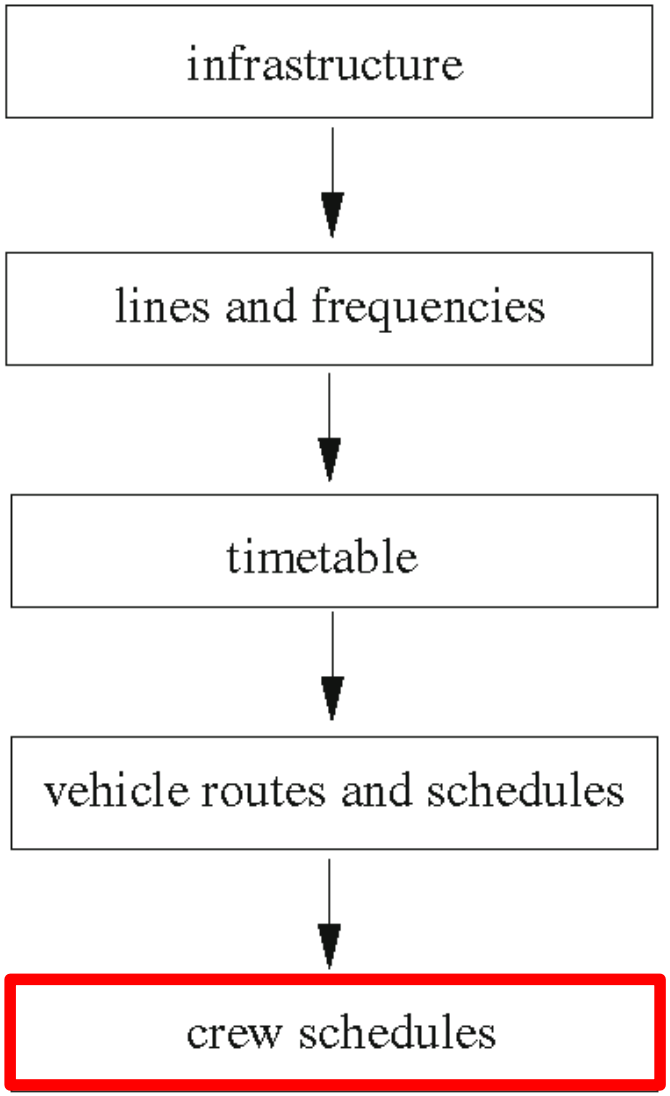
هدف: **کمینه سازی انحراف از برنامه اولیه پس از بروز اغتشاشات**

استراتژی‌ها

تأخیر در حرکت
تغییر ترتیب اعزام
لغو کامل
لغو جزئی برخی از خدمات
تغییر مسیر حرکت
تغییر نقاط توقف
تغییر سکوهای تخصیص یافته
...

زمانبندی خدمه ناوگان

“Crew Scheduling”



✓ زمانبندی خدمه ناوگان

هدف:

کمینه سازی هزینه تخصیص خدمه به ناوگان

محدودیتها:

پوشش کلیه سفرها

طول بازه مأموریت

زمانهای استراحت خدمه

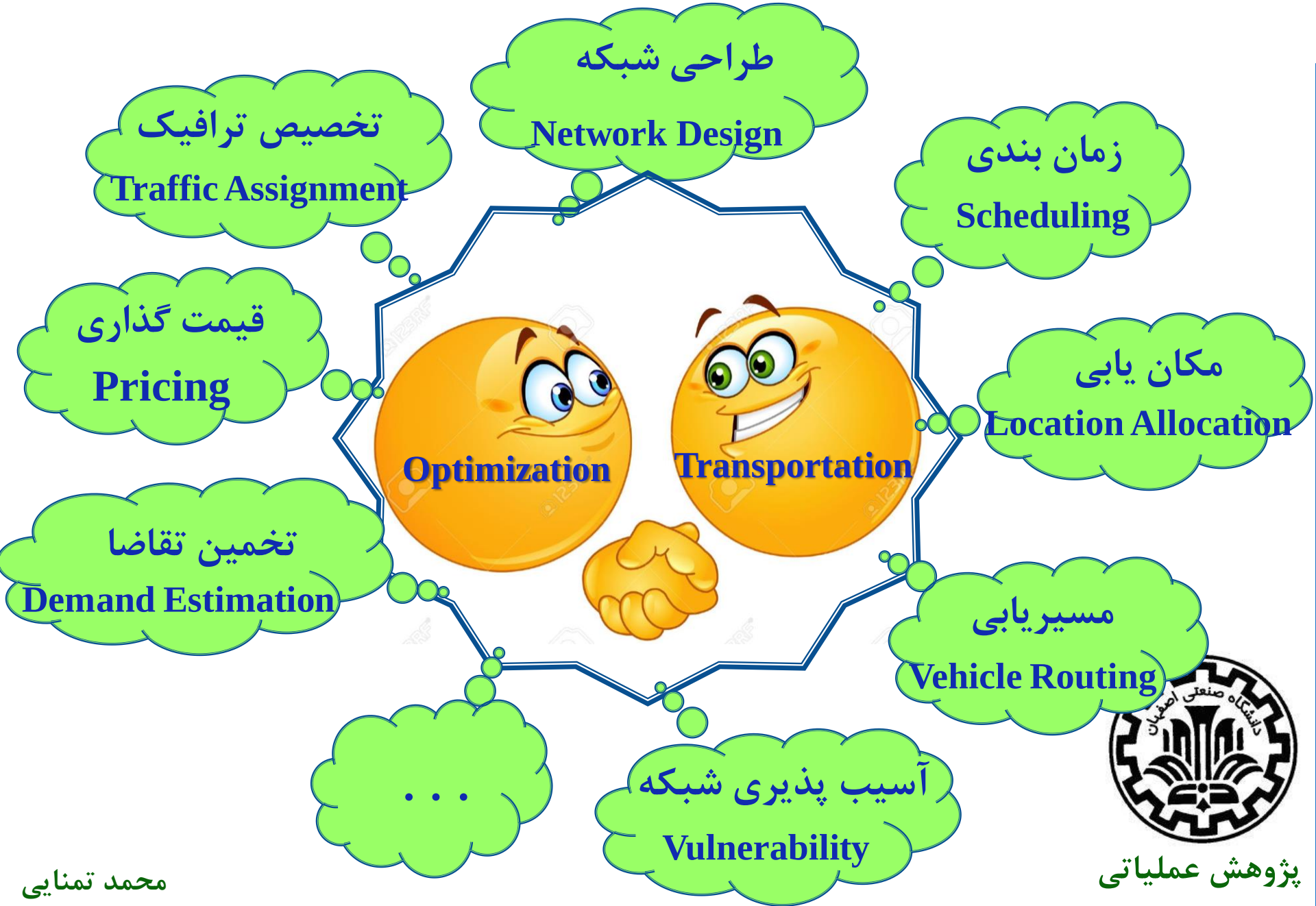
۱۵

آسیب پذیری در شبکه حمل و نقل

“Vulnerability in Transportation”

پژوهش عملیاتی
محمد تمنایی

کاربردهای بهینه سازی در مهندسی حمل و نقل



حوزه حمل و نقل شهری

- ✓ طراحی شبکه معابر
- ✓ اولویت بندی اجرای شبکه معابر
- ✓ طراحی شبکه اتوبوسرانی یا تاکسیرانی
- ✓ طراحی شبکه اتوبوس رانی تندرو، مترو، تراموا،
- ✓ طراحی شبکه یکپارچه از سیستم های مختلف
- ✓ تنظیم بهینه چراغهای راهنمایی در شبکه
- ✓ هماهنگ سازی چراغ های راهنمایی
- ✓ آسیب پذیری در شبکه حمل و نقل جاده ای یا همگانی

حوزه حمل و نقل شهری

- ✓ تخصیص ناوگان به شبکه خطوط اتوبوسرانی
- ✓ ایجاد جدول های زمان بندی خطوط اتوبوسرانی با حداکثر همزمانی (در نقاط تغییر خط جهت کاهش زمان انتظار)
- ✓ عوارض جاده ای بهینه برای تامین مالی هزینه های سرمایه گذاری
- ✓ قیمت گذاری شبکه
- ✓ تعیین معابر و قیمت بهینه در قیمت گذاری شبکه
- ✓ قیمت گذاری شبکه با استفاده از اطلاعات مسیر
- ✓ مدیریت دسترسی به بزرگراهها و آزادراهها
- ✓ اصلاح ماتریس مبدأ-مقصد

حوزه حمل و نقل هوایی

زمانبندی پرواز هواپیما

تخصیص هواپیما به پرواز

تخصیص خدمه به هواپیما

مسیریابی هواپیما

زمانبندی مجدد فرود و پرواز در فرودگاه

حوزه حمل و نقل ریلی

زمانبندی حرکت قطارها

زمانبندی خدمه قطارها

گروه بندی واگن ها

برنامه ریزی تشکیل قطارها

برنامه ریزی تخصیص لوکوموتیو

برنامه ریزی عملیات مانور

بهینه سازی اندازه ناوگان

حوزه حمل و نقل دریایی

بارگیری کانتینرها

مسیریابی دریایی

زمانبندی حرکت کشتی ها