The Stochastic Vehicle Routing Problem for Minimum Unmet Demand

مسیریابی احتمالی وسایل نقلیه با حداقل تقاضای برآورده نشده

* بسم الله الرحمن الرحیم*

استاد راهنما:
جناب آقای دکتر ستاک
جناب آقای کریمی

ارائه دهنده: مهسا عسگرشهبازی

تاریخ ارائه: ۹۳/۲/۱۴

فهرست مطالب

مسائل احتمالی VRP

مسیریابی تصادفی وسایل‌نقلیه زمانی که برخی پارامترهای مسئله تصادفی هستند مطرح می‌شود.

- مشتریان تصادفی (VRPSC):مشتریان با تقاضای قطعی هستند و احتمال P_i برای وجود آنها هست.

- تقاضای تصادفی (VRPSD): تقاضاها در مکان‌های تحویل (برداشت) بصورت متغیر تصادفی رفتار کنند.

(تیلمن،۱۹۶۹ – الگوریتم مبتنی برالگوریتم صرفه جویی کلارک ورایت)

- زمان سفر تصادفی (VRPSTT): فضای غیرقطعی شرایط ترافیک جاده ای

(کاو،۱۹۷۸- روش ابتکاری مبتنی بر برنامه ریزی پویا وشمارش ضمنی)

- زمان خدمت دهی تصادفی (VRPSST):

(کنستانیو و روبرت،۲۰۰۲ – مدل ارجاع دواندیسه والگوریتم جستوجوی درخت زوجی)

مدلسازی مسائل احتمالی VRP

برنامه‌ریزی احتمالی

: Stochastic Programming With Recourse

برنامه ریزی احتمالی با ارجاع (SPR)

Chance Constraint Programming

برنامه‌ریزی محدودیت شانس (CCP)

فرآیند تصمیم‌گیری مارکف
Markov decision process

متدولوژی برنامه‌ریزی پویای عصبی/ یادگیری تقویتی
(neurodynamic programming/reinforcement learning methodology)

برنامه ریزی محدودیت شانس

دانتزینگ، سال ۱۹۵۰

○ **مدل برنامه ریزی خطی:**

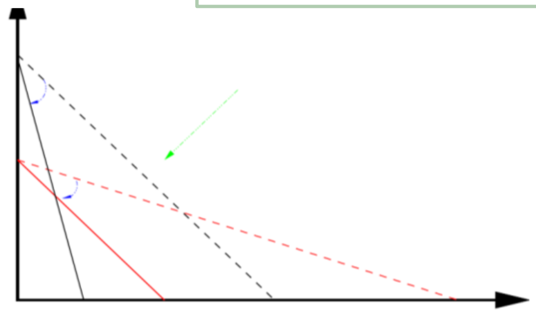
Minimize

$$x_1+x_2$$

Subject to

$$\omega_1 x_1 + x_2 \geq 7$$
$$\omega_2 x_1 + x_2 \geq 4$$
$$x_1 \geq 0$$
$$x_2 \geq 0$$

$$\omega_1 \sim u\,[1\,,\,4]$$
$$\omega_2 \sim u\,[1/3\,,1]$$



○ **محدودیت شانس:**

$$p\{\omega 1\ x1 + x2 \geq 7\} \geq \alpha 1$$

$$p\{\omega 2\ x1 + x2 \geq 4\} \geq \alpha 2$$

○ **محدودیت شانس ترکیبی:**

$$p\{\omega 1\ x1 + x2 \geq 7\ ,\ \omega 2\ x1 + x2 \geq 4\} \geq \alpha$$

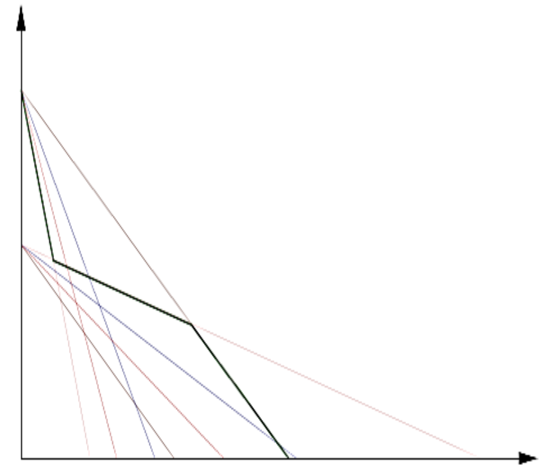
سناریوها:

$$p\{(\omega_1,\omega_2)=(1,1)\}=0.1$$

$$p\{(\omega_1,\omega_2)=(2,5/9\}=0.4$$

$$p\{(\omega_1,\omega_2)=(3,7/9)\}=0.4$$

$$p\{(\omega_1,\omega_2)=(4,1/3\}=0.1$$



برنامه ریزی محدودیت شانس

مشکل اصلی مدلسازی برنامه ریزی محدودیت شانس:

محدب بودن مسئله اصلی را از بین می برد.

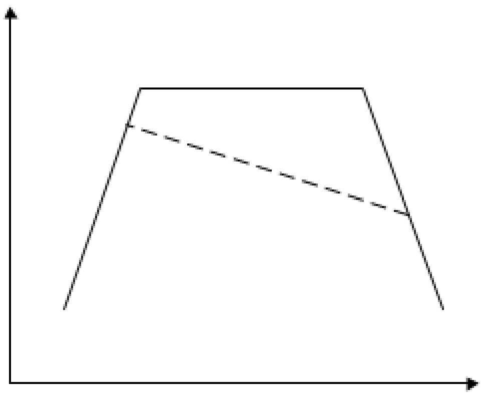
- مجموعه موجه زیر را درنظر بگیرید:

$$k1(\alpha)=\{x|p(T(\omega)\, x \geq h(\omega)) \geq \alpha\}$$

اگر $T(\omega)=T$ ثابت درنظر گرفته شود و $h(\omega)$ مقدارتابع احتمال شبه معقر(Quasi-convex) p را داشته باشد.

$$Function\ \ p: D \rightarrow R \qquad \forall\ U,V \subseteq D\ ,\ 0 \leq \lambda \leq 1$$

$$p((1-\lambda)U+\lambda V) \geq \min\{p(U), p(V)\}$$



آنگاه $k_1(\alpha)$ برای $0<\alpha<1$ محدب است.

برنامه ریزی محدودیت شانس

❷ فرض کنید $T_i\omega = T_i$ ثابت باشد. که $T_i\omega$ ردیف **i**ام از ماتریس ضرایب تکنولوژیک است.

$$P(T_i x \geq h_i(\omega)) = F(T_i x) \geq \alpha$$
$$T_i x \geq F^{-1}(\alpha)$$

اگر ω دارای توزیع نرمال باشد.

$$\omega \sim N(\mu, V)$$
$$K1(\alpha) = \{x \mid \mu^T x \geq h + \Phi^{-1}(\alpha) \sqrt{x^T V x}\}$$

$K_1(\alpha)$ مجموعه محدب (تابع درجه دو مخروطی شکل) برای $\boldsymbol{\alpha \geq 0.5}$ است.

برنامه ریزی احتمالی با ارجاع

Minimize $c^T x$

subject to

$Ax = b$

$T(\omega)\, x = h(\omega)$

$x \in X$

Minimize

$c^T x + E_\omega[q_+^T S(\omega) + q_-^T t(\omega)]$

subject to

$Ax = b$

$T(\omega)\, x + s(\omega) - t(\omega) = h(\omega)$

$x \in X$

minimize

$c^T x + E_\omega[q^T y]$

subject to

$A\, x = b$

$T(\omega)x + W\, y(\omega) = h(\omega) \quad \forall \omega \in \Omega$

$x \in X$

$y(\omega) \in Y$

ساختار یک ارجاع از سه قسمت تشکیل شده است.

$Y = \{ Y \in R^P : y \geq 0 \}$: مجموعه موجه اقدامات ارجاعی

q: بردار هزینه ارجاع ها

w: ماتریس $m \times p$ ارجاع ها

برنامه ریزی احتمالی با ارجاع

$$\min_{x\in X:Ax=b}\{c^T x + E_\omega[\min_{y\in Y}\{q^T y: W_y = h(\omega) - T(\omega)x\}]\}$$

$W_y = h(\omega) - T(\omega)\, x$: مقدار انحراف از محدودیت یا ارجاع

$\upsilon(z)= \min_{y\in Y}\{ q^T y: Wy=z\}$: تابع حداقل انحراف در محدودیت ها

Z: بردار انحراف در محدودیت های تصادفی که هزینه ی انحراف را توصیف می کند.

$Q(x) \equiv E_\omega[\upsilon(h(\omega)- T(\omega)x)]$: تابع امید ریاضی حداقل ارجاع را نشان می دهد.

$$\begin{aligned} \min\ & c^T x + Q(x) \\ s.t.\ & Ax = b \\ & x \in X \end{aligned}$$

برنامه ریزی احتمالی با ارجاع

در شرایطی که مقادیر ω معلوم نیست مسئله حل می شود (تعیین مقدار متغیرهای سطح اول یا تاکتیکی (X).

در شرایطی که توزیع ω را می دانیم مسئله را حل می کنیم (تعیین مقدار متغیرهای سطح دوم یا عملیاتی (y).

✓به طور کلی در رویکرد برنامه‌ریزی با ارجاع، هدف این است که متغیرهای مرحله اول را به گونه‌ای انتخاب کنیم که مجموع هزینه‌های مرحله اول و امید ریاضی هزینه‌های مرحله دوم (که متغیر تصادفی‌اند) کمینه شوند.

✓در این مدل محدودیت های نرم بکار می رود. البته امکان انحراف از فاصله نرم وجود دارد اما هزینه ی این انحراف روی مقدار متغییر X تاثیر می گذارد.

روش های حل

حل دقیق

- شاخه وکران
- شاخه وبرش
- Lشکل صحیح
- برنامه ریزی پویا

حل ابتکاری

- الگوریتم صرفه جویی(سازنده)
- الگوریتم جست وجوی تابو(بهبوددهنده)

مسائل احتمالی ترکیبی

- تقاضا ومشتریان احتمالی(**VRPSCD**)

Bertsimas، سال۱۹۹۲ مدل احتمالی دومرحله ای را ارائه کرد.

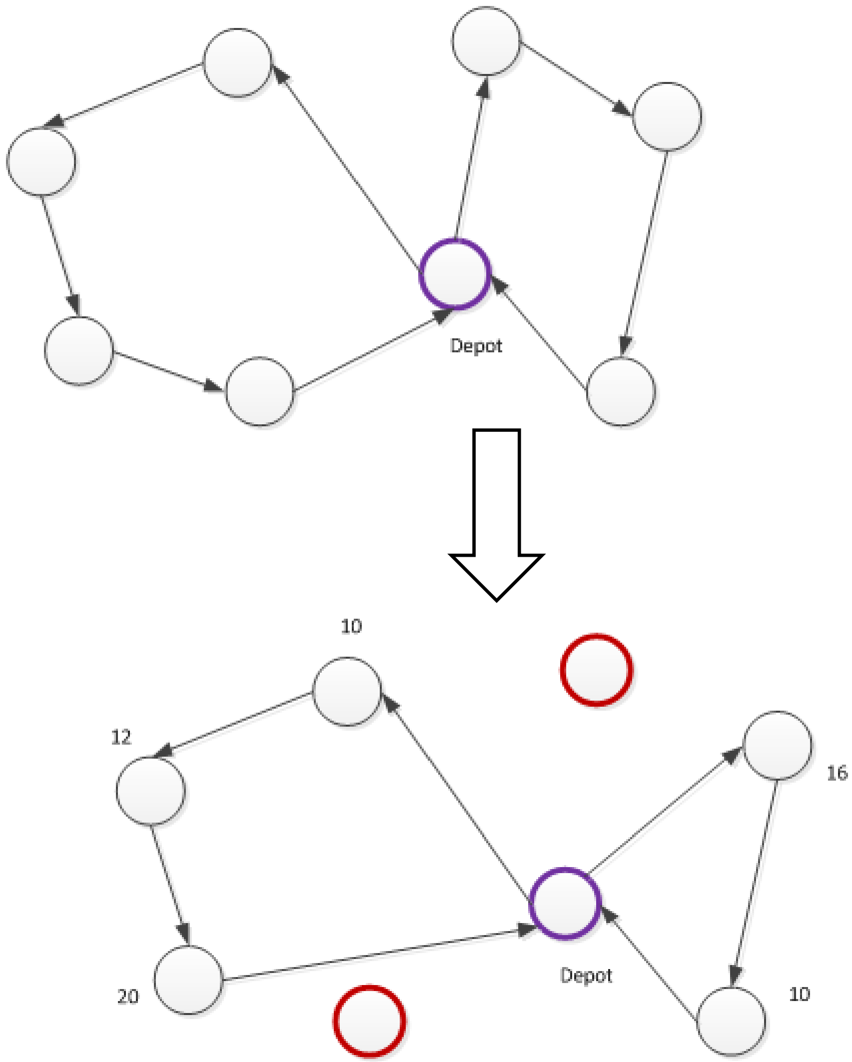
- زمان سفر و زمان خدمت دهی تصادفی(**VRPSSTT**)

Laporte و همکاران،سال ۱۹۹۲سه مدل برنامه ریزی محدودیت شانس، مدل احتمالی با ارجاع دو اندیسه و مدل احتمالی با ارجاع سه اندیسه را مطرح کردند.

- تقاضا و زمان سفر تصادفی(**VRPSDTT**)

Zhihong Shen و همکاران،سال ۲۰۰۷ مدل برنامه ریزی احتمالی با ارجاع و محدودیت شانس را مطرح کردند.

مدل برتسیمس،VRPSCD



حل دومرحله ای مدل با مشتریان وتقاضای احتمالی:

مرحله اول:

۱. مسیریابی با شرط ملاقات تمام مشتریان
۲. شناسایی مشتریان غایب(با تقاضای صفر)

مرحله دوم:

۱. حل مسیر یابی برای تحویل کالا روی مسیر مرحله اول بدست آمده

کاربردها:

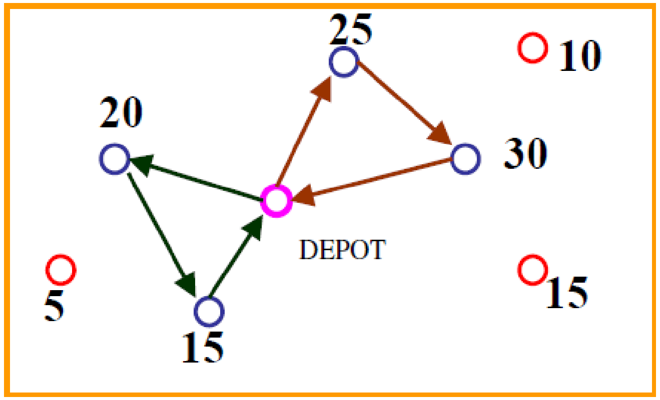
- توزیع تدارکات دارویی برای پاسخ به شرایط اضطراری در مقیاس بزرگ ، مثل حوادث طبیعی یا حملات تروریستی
- مسیریابی وسایل نقلیه وابسته به زمان برای کاهش مصرف انرژی
- مسیریابی وسایل نقلیه با تقاضای متغیر برای مسیریابی اتوبوس های تندرو

موقعیت های با تقاضای بزرگ وفرجه زمانی کم به گونه ای که دست یابی به مسیرهایی که تمام نقاط تقاضا را ارضاء کنند سخت یا غیرممکن است.

مسئله VRP با درنظر گرفتن سود

در این مسئله لازم نیست همه گره ها ملاقات شوند.
سود با تقاضای هر گره مرتبط است.
فرجه زمانی برای ملاقات گره ها درنظر گرفته می شود.
اگر یک وسیله نقلیه داشتیم مسئله، OP(Orienteering Problem) نامیده می شود
اگر چند وسیله نقلیه داشته باشیم، TOP(Team Orienteering Problem) نامیده می شود.

مسئله VRPبا درنظر گرفتن سود



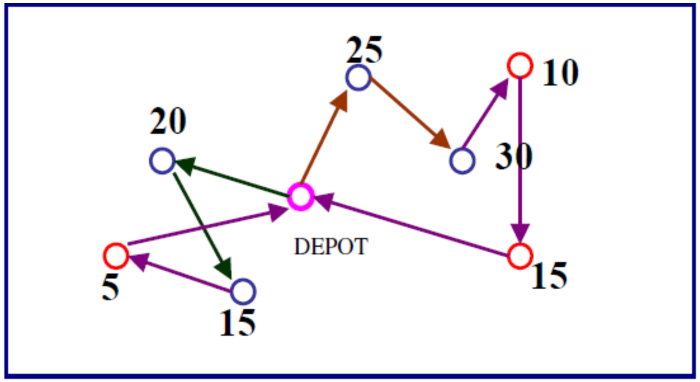
مسئلهVRP با حداقل تقاضای برآورده نشده

هدف اول: حداقل نمودن تقاضای برآورده نشده= حداکثر نمودن سود در مدل TOP

هدف دوم: کامل کردن مسیرها با ملاقات تمام گره ها

(حتی بعد از فرجه زمانی وحتی با وسیله نقلیه خالی از کالا که به عنوان هزینه در اقدامات ارجاعی مرحله دوم درنظر گرفته می شود)

مسئلهVRP با حداقل نمودن تقاضای برآورده نشده



عوامل ایجاد گره تخصیص نیافته یا گره با تقاضای برآورده نشده:

- ✓ از دست دادن فرجه زمانی
- ✓ محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه
- ✓ کمبود موجودی کافی در دپو

مدل قطعی(نمادها):

مجموعه ها:

- **k**: مجموعه وسایل نقلیه
- **D**: مجموعه گره های تقاضا
- **C**: مجموعه تمام گره ها **C=D∪{Node 0}**

پارامترهای قطعی:

n: تعداد اولیه وسایل نقلیه در دپو
s: مقدار موجودی در گره دپو
C_K : ظرفیت بار وسیله **K**
dl_i: فرجه زمانی خدمت‌دهی در گره تقاضای **i**

پارامترهای غیرقطعی:

$\tau_{i,j,k}$: زمان لازم برای عبور از کمان **(i,j)** برای وسیله **k**
ς_i: مقدار تقاضای مورد نیاز در گره **i**

مدل قطعی(نمادها):

متغیرهای صفر ویک:

- $X_{i,j,k}$: متغیر جریان، برابر با یک است اگر کمان(i,j) با وسیله k طی شود.
- $S_{i,k}$: متغیر خدمت‌دهی،برابر با یک است اگر گره i توسط وسیله k خدمت داده شود.

متغیرهای غیرمنفی:

- $Y_{i,j,k}$: مقدار کالای عبوری از کمان (i,j) با استفاده از وسیله k
- U_i: مقدار تقاضای کالای برآورده نشده در گره i
- $T_{i,k}$: زمان ملاقات وسیله k از گره i
- $\delta_{i,k}$: تاخیر ایجاد شده توسط وسیله k در خدمت‌دهی به گره i

مدل قطعی:

مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط

$$\text{DP: } minimize \sum_{i\in D} U_i + \beta \sum_{i\in D, k\in K} T_{i,k}$$

۱- محدودیت های موجه بودن مسیرها

$$\sum_{i\in D}\sum_{k\in K} X_{0,i,k} \le n \qquad (۱)$$

$$\sum_{i\in D}\sum_{k\in K} X_{i,0,k} \le n \qquad (۲)$$

تعداد وسایل نقلیه برای خدمت دهی نباید از تعداد آماده در دسترس در گره دپو (n) بیشتر باشد.

$$\sum_{j\in D} X_{0,j,k} = \sum_{j\in D} X_{j,0,k} = 1 \quad (\forall k \in K) \qquad (۳)$$

هر وسیله فقط یکبار از دپو خارج شده و به آن بر می گردد.

$$\sum_{j\in C}\sum_{k\in K} X_{i,j,k} = 1 \quad (\forall i \in D) \qquad (۴)$$

$$\sum_{j\in C}\sum_{k\in K} X_{j,i,k} = 1 \quad (\forall i \in D) \qquad (۵)$$

هر گره تقاضا فقط یکبار باید ملاقات شود.

$$\sum_{j\in C} X_{i,j,k} = \sum_{j\in C} X_{j,i,k} \quad (\forall i \in D \;\; k \in K) \qquad (۶)$$

تمام وسایلی که به گره های تقاضا می روند حتما از آن خارج شوند.

مدل قطعی:

۲- محدودیت های زمان

تمام وسایل نقلیه دپو را
در زمان صفر ترک می
کنند.

$$T_{0,k} = 0 \quad (\forall k \in K) \qquad (۷)$$

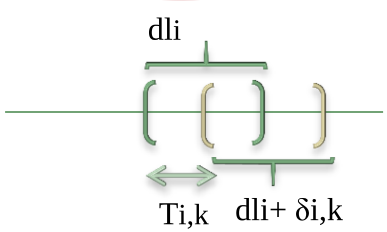
پیوستگی زمان در توالی
ملاقات گره ها -
محدودیت حذف زیرتور

$$(T_{i,k} + \mathrm{T}_{i,j,k} - T_{j,k}) \leq (1 - X_{i,j,k})M \quad (\forall i,j \in C \quad k \in K) \qquad (۸)$$

عدد ثابت بزرگ M برای بیان روابط غیرخطی بصورت محدویت‌های خطی استفاده می‌شود.

اگر وسیله نقلیه از گره
عبور نکرده باشد زمان
ملاقات را برابر صفر قرار
می دهد.

$$0 \leq T_{i,k} \leq \sum_{j \in C} X_{i,j,k} M \quad (\forall i \in D \quad k \in K) \qquad (۹)$$



$$0 \leq T_{i,k} - \delta_{i,k} \leq dl_i \sum_{j \in C} X_{i,j,k} \quad (\forall i \in D \quad k \in K) \qquad (۱۰)$$

مدل قطعی:

۳- محدودیت های خدمت دهی به گره

$$\delta_{i,k} \leq (1 - S_{i,k})M \quad (\forall i \in D \quad k \in K) \qquad (۱۱)$$

محدودیت مقدار گرفتن تاخیرکه با $S_{i,k}=0$ نقض می شود.

$$S_{i,k} \leq \sum_{j \in C} X_{i,j,k} \quad (\forall i \in D , k \in K) \qquad (۱۲)$$

متغیر خدمت رسانی فقط زمانی می تواند مقدار بگیرد که وسیله نقلیه بصورت فیزیکی از گره عبور کرده باشد.

$$S_{i,k}M \geq (\sum_{j \in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j \in C} Y_{i,j,k}) \quad (\forall i \in D , k \in K) \qquad (۱۳)$$

اگر متغیر خدمت دهی مقدار نگیرد هیچ تحویل کالایی در آن گره انجام نمی شود. ولی اگر مقدار بگیرد هم ممکن است بدلیل کمبود موجودی در دپو خدمت دهی انجام نشود.

مدل قطعی:

۴- محدودیت های جریان کالا

$$S - \sum_{k \in K} [\sum_{j \in C} Y_{0,j,k} - \sum_{j \in C} Y_{j,0,k}] \geq 0 \qquad (۱۴)$$

مقدار کل کالای خارج شده از دپو برابر یا کمتر از کل موجودی دپو است.

$$\sum_{k \in K} [\sum_{j \in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j \in C} Y_{i,j,k}] + U_i - \varsigma_i \geq 0 \quad (\forall i \in D) \qquad (۱۵)$$

مقدار کالای باقی مانده در گره در اثر جریان کالا بزرگتر مساوی مقدار تقاضای برآورده شده در گره است.

$$X_{i,j,k} C_k \geq Y_{i,j,k} \quad (\forall i, j \in C \, , k \in K) \qquad (۱۶)$$

محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه

$$X_{i,j,k}, S_{i,j} \;\; binary; \;\; Y_{i,j,k} \geq 0; \;\; U_i \geq 0; \;\; T_{i,k} \geq 0; \;\; \delta_{i,k} \geq 0 \qquad (۱۷)$$

مدل احتمالی

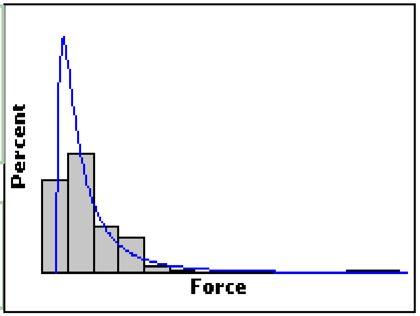
- برنامه ریزی محدودیت شانس
- بهینه سازی استوار

برنامه ریزی محدودیت شانس

$$P\{\tau| \ (T_{i,k}+\tau_{i,j,k}-T_{j,k}) \le (1-X_{i,j,k})M\} \ge 1-\alpha_T \quad (\forall \mathrm{i},\mathrm{j} \in \mathrm{C} \quad \mathrm{k} \in \mathrm{K}) \qquad (۱۸)$$

$$P\{\varsigma| \ \textstyle\sum_{k\in K}[\sum_{j\in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j\in C} Y_{i,j,k}] + U_i - \varsigma_i \ge 0\} \ge 1-\alpha_D \quad (\forall i \in D) \qquad (۱۹)$$

$$\tau \sim Log-normal(\mu_\tau,\sigma_\tau) \ \rightarrow \ \log(\tau) \sim Normal(\mu'_\tau,\sigma'_\tau)$$
$$\varsigma \sim Log-normal(\mu_\varsigma,\sigma_\varsigma) \ \rightarrow \ \log(\varsigma) \sim Normal(\mu'_\varsigma,\sigma'_\varsigma)$$



$$\mu' = log\mu - \frac{1}{2}\sigma'^2, \sigma'^2 = \log(\frac{\mu^2+\sigma^2}{\mu^2})$$

$$\left(T_{i,k} + e^{\mu'_{T_{i,j,k}} + k_T \sigma'_{T_{i,j,k}}} - T_{j,k}\right) \le (1-X_{i,j,k})M \quad (\forall i,j \in C \quad k \in K) \qquad (۲۰)$$

$$\textstyle\sum_{k\in K}[\sum_{j\in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j\in C} Y_{i,j,k}] + U_i \ge e^{\mu'_{\varsigma_i} + k_D \sigma'_{\varsigma_i}} \qquad (\forall \mathrm{i} \in \mathrm{D}) \qquad (۲۱)$$

بهینه سازی استوار

مدل بهینه‌سازی استوار فرض می‌کند که پارامترهای عدم‌قطعیت $T_{i,j,k}$ و ς_i متعلق به مجموعه غیر قطعی مشخص u، معلوم هستند.

$$T_{i,k} + \tau_{i,j,k} - T_{j,k} \leq (1 - X_{i,j,k})M \quad \forall \tau_{i,j,k} \in u, \ (\forall i,j \in C \ \ k \in K) \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{k\in K}[\sum_{j\in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j\in C} Y_{i,j,k}] + U_i - \varsigma_i \geq 0 \quad \forall \varsigma_i \in u, \ (\forall i \in D) \qquad (۲۳)$$

تعداد محدودیتهای زیاد موجود، روی هر $T_{i,j,k} \in U$ و $\varsigma_i \in U$ ، میتواند با محدودیتهای تکی با جابه جا کردن حداکثر پارامترهای غیرقطعی شدنی $\varsigma_i^* = max_{\varsigma_i} \in u\, \varsigma_i$, $T^*_{i,j,k} = max_{T_{i,j,k}} \in u\, T_{i,j,k}$ بیان شود.

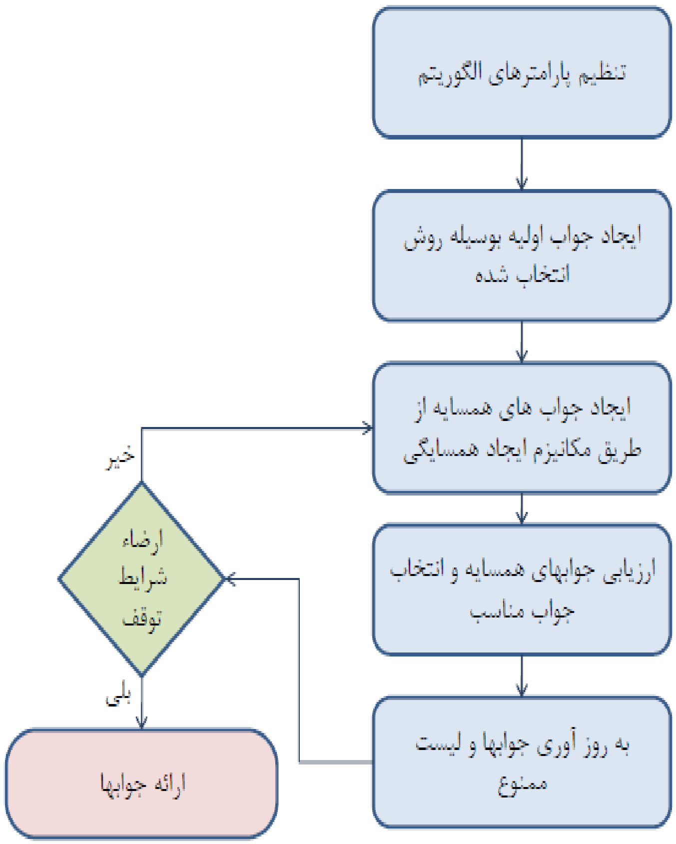
$$(T_{i,k} + \tau^*_{i,j,k} - T_{j,k}) \leq (1 - X_{i,j,k})M \quad (\forall i,j \in C \ \ k \in K) \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{k\in K}[\sum_{j\in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j\in C} Y_{i,j,k}] + U_i - \varsigma_i^* \geq 0 \quad (\forall i \in D) \qquad (۲۵)$$

رویکرد حل
روش ابتکاری جست وجوی ممنوعه (تابو)

Tabu Heuristic Solution Approach

روش ابتکاری جست و جوی ممنوعه



LTM:حافظه بلند مدت
STM: حافظه کوتاه مدت

این الگوریتم جزء روش های ابتکاری بهبود دهنده است.

اولین بار «ویلارد» سال ۱۹۸۹ روش جست‌و جوی ممنوعه را برای حل مسیریابی وسایل نقلیه در پایان نامه ی ارشد خود بکار برد.

ویژگی های روش جست و جوی ممنوعه

ارتقاء عملکرد الگوریتم:

- **استراتژی تقویت** (Intensification Strategy): استراتژی تقویت به معنای یافتن حرکت‌های خوب و افزایش انجام آن حرکت‌ها در الگوریتم است.
- **استراتژی تنوع بخشی** (Diversification Strategy): تنوع‌بخشی، یک مکانیزم الگوریتمیک است که برای حل مشکل جست وجو در فضای محدود تلاش می‌کند. برای انجام این کار، تنوع‌بخشی، جستجو را مجبور می‌کند به سوی مناطقی که تا کنون کشف نشده، حرکت کند.
- **ترکیب با دیگر روش های بهینه سازی**
- **پیاده سازی الگوریتم بصورت موازی**

مزیت ها:

- ✓ سادگی وانعطاف پذیری
- ✓ استفاده برای انواع مسائل
- ✓ عدم محدودیت در اندازه مسئله

ارزیابی عملکرد الگوریتم:

مسائل استاندارد CMT(Christofides,Mingozzi,Toth)شامل مسائل:

۱- C: محدودیت در ظرفیت

۲- D: محدودیت در طول مسیر

سایت OR-Library: http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/info.html

روش ایجاد همسایه

معروف ترین روشهای ایجاد همسایه 2-opt ، جابه جایی، تعویض و CROSS هستند.
انتخاب این روش ها برای ایجاد همسایه بصورت احتمالی است.
احتمال انتخاب روش 2-opt ، ۵ برابر کمتر از دو روش تعویض و جابه جایی است.

روش های بکار رفته در این تحقیق سه مورد زیر است:

2-opt exchange

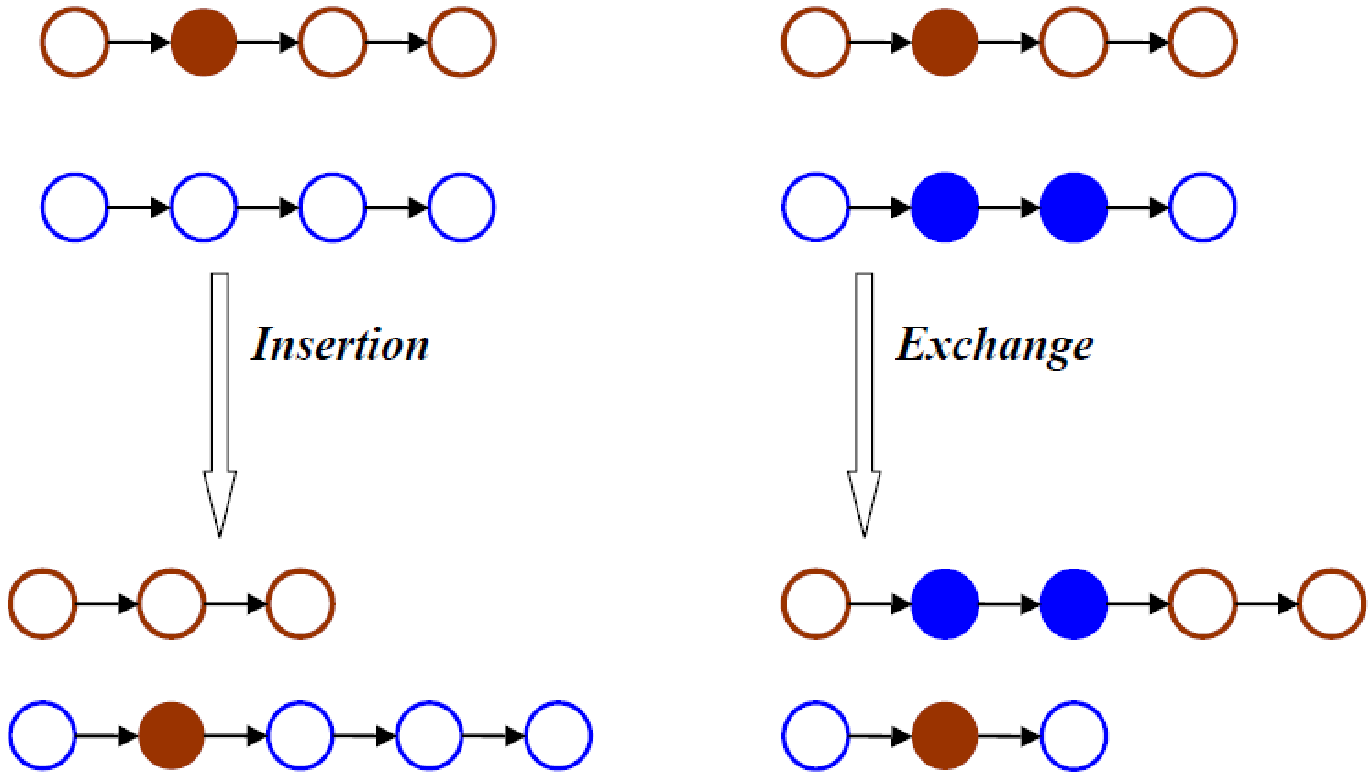
λ-Interchange

- در یک مبادله λ با λ=۳ ، ترکیبی از تخصیص مجدد گره به مسیرهای متفاوت و تغییرگره‌ها بین دو مسیرانجام می شود؛ بخش مبادله/تخصیص مجدد تا حد سه گره متوالی در یک مسیر است.

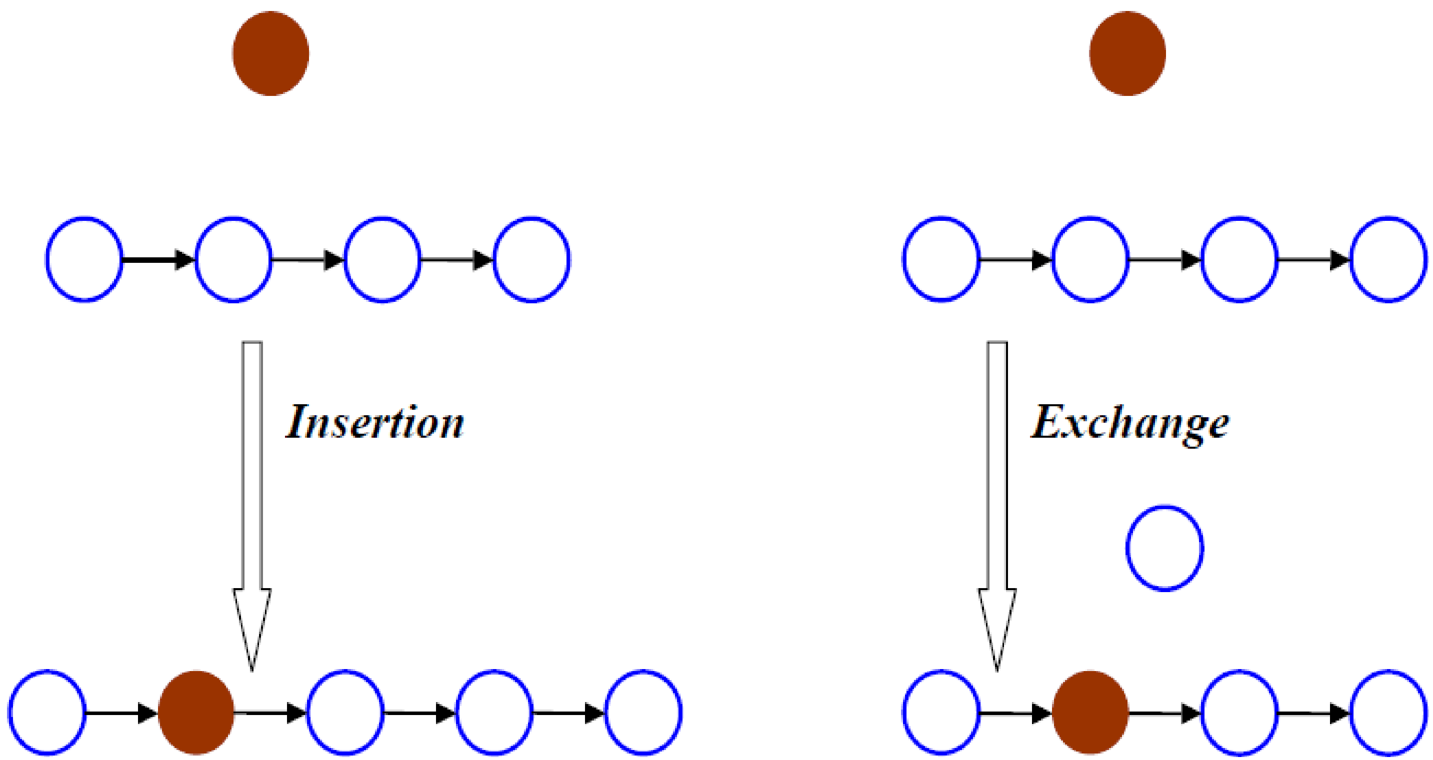
DEM-Move

- گره با تقاضای برآورده نشده را به مسیر جاری اضافه می‌کند یا گره تخصیص‌نیافته را با برخی (یک تا سه) گره (ها)ی متوالی در یک مسیر با ارضاء هردو محدودیت‌های زمان و ظرفیت مبادله می‌کند.

λ-Interchange



DEM-Move



مراحل الگوریتم جست و جوی ممنوعه در تحقیق

مجموعه ها:

۱- لیست گره های تخصیص‌نیافته: برای دنبال کردن تمام گره‌های با تقاضای برآورده نشده استفاده می‌کنیم.

۲- لیست مسیر راه‌حل‌ها: برای دنبال کردن همه مسیرهای ناقص استفاده می‌کنیم (ممکن است شامل همه گره‌ها نباشد) اما مسیرهای شدنی هستند(محدودیت‌های هم زمان و هم ظرفیت را برآورده می‌کند).

۳- لیست مدیریت تغییرات: برای ثبت همه تغییرات شدنی از راه‌حل فعلی نگه‌می‌داریم.

مراحل الگوریتم:

- **روش ابتکاری ملاقات نزدیک‌ترین گره**
- **ایجاد و بررسی همسایه های غیر مشابه**
- **روش ابتکاری «نزدیک‌ترین گره‌ی بعدی» برای تخصیص گره های تخصیص نیافته بعد از فرجه زمانی**

☑نکته:در این روش ابتکاری پس فرآیندی، هر گره تخصیص‌نیافته مسیری را برای مکان‌یابی خودش بعد از فرجه زمانی برمی‌دارد، که در آن مجموع زمان رسیدن خودش و زمان رسیدن به گره بعدی هنگام تخصیص حداقل شود.

نتایج عددی

- تولید داده از پارامترهای ورودی
- پارامترها و مقادیر
- کیفیت روش ابتکاری تابو
- شبیه سازی و تحلیل
- راه‌حل وتحلیل ۱- مسیرهای قطعی دربرابر مسیرهایCCP
- راه‌حل وتحلیل ۲- نقش فاکتور اطمینان

تولید داده از پارامترهای ورودی

هدف

- مقایسه میان مسیرهای کوتاه و ریسک دار با مسیرهای بلند ومطمئن
- مقایسه عملکرد مسیرهای مدل DPو CCP با تقاضای برآورده نشده
- تاثیر مقدار فاکتورهای اطمینان بر روی کیفیت مسیرها

مفروضات مسئله شبیه سازی

- ✓ ۵۰ گره تقاضا ویک گره دپو.
- ✓ مقدار میانگین تقاضاها بین مقدار ۵-۱۵ تغییر می کند.
- ✓ ناوگانی از ۱۰ وسیله نقلیه بدون ظرفیت محدود وجود دارد.
- ✓ ۱۰ سناریو برای مسئله تعریف شده.

پارامترها و مقادیر

مدل DP

- مقدار میانگین تقاضا وزمان های سفر

مدل CCP

- میانگین های برابر با مقدارهای مدل DP با توزیع لاگ نرمال

میانگین

انحراف استاندارد

با ۲۰٪ مقدار میانگین تقاضا و معکوس مقدار میانگین زمان سفر متناسب است.

$$\sigma = \frac{UB - \mu}{100}\mu$$

تمایل مدل

- مسیرهای کوتاه و ریسک دار

- مسیرهای طولانی با واریانس کوچک

فرجه زمانی
۴۰٪، ۵۰٪، ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪ و۱۲۰٪ طول مسیر اولیه تنظیم شده است.
طول مسیر اولیه، متوسط طول همه کمان‌ها در گراف با بار۵ است.

موجودی
۷۰٪، ۸۰٪، ۹۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ از مقدار اولیه موجودی بعنوان مقدار موجودی دردسترس استفاده می شود.
مقدار اولیه کل موجودی در دپو، جمع مقدار تقاضا در همه گره‌های تقاضا تعریف شده است، که میانگین آن ۵۰۰ است.

از ترکیب حالت های مختلف موجودی وفرجه زمانی ما ۳۰ نوع آزمون برای هر سناریو داریم که هر کدام برای هم مدل قطعی وهم مدل محدودیت شانس با روش ابتکاری تابو حل می شود.
برای محدودیت شانس سطح اطمینان ۹۵٪ درنظر گرفته شده است.

کیفیت روش ابتکاری تابو

Table 1. Percentage of unmet demand over total demand for the deterministic model

	DL200 (40%)	DL250 (50%)	DL300 (60%)	DL400 (80%)	DL500 (100%)	DL600 (120%)
sup350(70%)	30.78%	30.63%	30.63%	30.61%	30.59%	30.59%
sup400(80%)	21.19%	20.75%	20.73%	20.71%	20.64%*	20.64%*
sup450(90%)	12.76%	11.12%	10.82%	10.82%	10.82%	10.78%
sup500(100%)	5.31%	2.20%	1.87%	1.77%	1.75%	1.75%
sup600(120%)	4.98%	0.20%	0.00%*	0.00%*	0.00%*	0.00%*

Table 2. Remaining supply at depot for the deterministic model

	DL200 (40%)	DL250 (50%)	DL300 (60%)	DL400 (80%)	DL500 (100%)	DL600 (120%)
sup350(70%)	0.9	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
sup400(80%)	2.4	0.2	0.2	0.1	0*	0*
sup450(90%)	9.7	1.5	0.1	0.1	0.1	0.1
sup500(100%)	22.1	6.5	4.7	4.4	4.3	4.2
sup600(120%)	120.3	95.9	94.8*	94.8*	94.8*	94.8*

اعداد جدول متوسط ۱۰ مسیر بدست آمده از ۱۰ سناریوی تصادفی اجرا شده است.

موارد مشخص شده تقاضای برآورده نشده را حداقل می کنند و یا تمام تقاضا را پاسخ می دهند یا تمام موجودی دپو را تحویل می دهند.

در ۳ ردیف اول جدول ها، نتایج خیلی به بهترین مقداری که می‌توان برای تقاضای برآورده نشده درنظر بگرفت نزدیک هستند، چراکه موجودی باقی‌مانده تقریبا صفر است و درصد تقاضای برآورده نشده نزدیک حد پایین مشخص شده با درنظر گرفتن کمبود موجودی برای برآورده کردن تقاضای کل است.

فقط شبکه‌های DL200-sup 500 و DL200-sup600 درصد بالایی از تقاضای برآورده نشده را نسبت به کمبود موجودی نشان می‌دهند.

شبیه سازی و تحلیل

❶ابتدا، مسئله برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط برای بدست آوردن مسیرهای DP و CCP با برآورد تقاضا و زمان‌های سفر غیرقطعی (میانگین وتوزیع‌ها) استفاده می‌شود.

❷سپس عدم‌قطعیت تحقق می‌یابد و این مسیرهای ثابت شده باید همان اندازه تقاضایی که بروز می‌کند را برآورده کنند.

- (اینجا فرض براین است که می توان موجودی‌ها را بگونه ای بین وسایل‌نقلیه توزیع کرد تا تقاضای رخ داده را برآورده کنند)

❸برای تعیین مقدار کالایی که باید بوسیله هر وسیله‌نقلیه برروی مسیرهای ثابت حمل و تحویل داده شود؛ مسئله برنامه ریزی خطی حل می‌شود.

مقدار متغیر جریان وسیله‌نقلیه Xi,j,k پس از مرحله ❶ ثابت می‌شود و مقادیر Ti,k و δi,k همچنین ثابت هستند و می‌توانند از مسیرهای ثابت Xi,j,k محاسبه شوند.
آن گره‌های تقاضایی که Ti,k آنها درحال حاضر فرجه-زمانی را ازدست‌داده‌اند و تقاضای برآورده نشده را حداقل می‌کنند با تنظیم متغیر جریان کالا Yi,j,k حذف می شوند.

فقط جریان کالا متغیر تصمیم در مرحله شبیه سازی است از مدل برنامه ریزی خطی معادل با مدل عدد صحیح مختلط ذکر شده استفاده می کنیم.

di در محدودیت (۲۶) مقدار تقاضای واقعی درهر گره بعد از سناریو تحقق یافته است.

Model **DLP**:

$$\text{minimize} \sum_{i\in D} U_i + \kappa \sum_{i\in D, k\in K} T_{i,k}$$

subject to: constraints (13)-(14), (16)

$$\sum_{k\in K}\left[\sum_{j\in C} Y_{j,i,k} - \sum_{j\in C} Y_{i,j,k}\right] + U_i - d_i \geq 0 \qquad (\forall i\in D) \qquad (26)$$

$$Y_{i,j,k} \geq 0; \qquad U_i \geq 0. \qquad (27)$$

راه‌حل وتحلیل ۱- مسیرهای قطعی دربرابر مسیرهای CCP

Table 3. Average percentage of the unmet demand over the total demand for DP and CCP models (lognormal distribution)

	DL200 (40%) DP	DL200 (40%) CCP	DL250 (50%) DP	DL250 (50%) CCP	DL300 (60%) DP	DL300 (60%) CCP	DL400 (80%) DP	DL400 (80%) CCP	DL500 (100%) DP	DL500 (100%) CCP	DL600 (120%) DP	DL600 (120%) CCP
sup350 (70%)	31.79	35.07	31.32	31.94	31.03	30.91	30.57	30.68	30.78	30.63	31.04	30.63
sup400 (80%)	24.28	30.53	23.20	24.85	22.69	22.09	21.83	21.01	22.13	20.73	21.87	20.70
sup450 (90%)	19.67	28.75	17.48	21.00	16.35	15.63	14.59	12.16	13.98	11.21	14.45	11.00
sup500 (100%)	17.85	28.07	14.78	19.70	13.23	13.28	11.11	6.51	10.15	4.17	9.36	3.34
sup600 (120%)	17.22	28.38	14.37	19.69	11.57	13.00	10.54	5.53	8.55	2.55	7.78	1.44

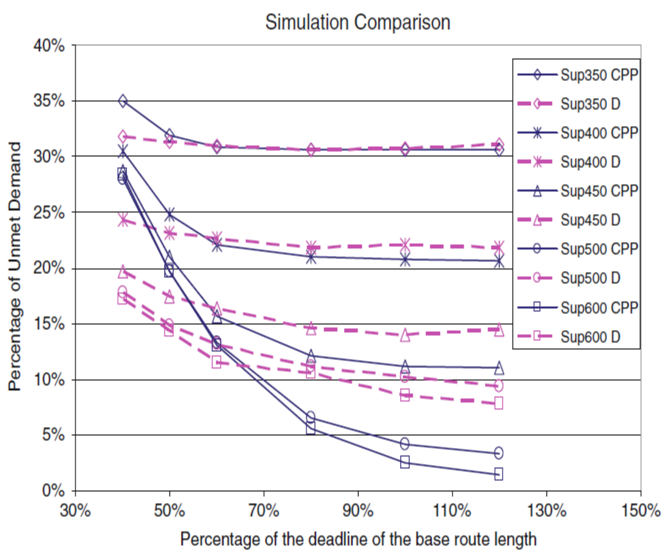


Fig. 1. Simulation comparison for the DP and CCP models

☑زمانی که **فرجه‌زمانی خیلی کوتاه** است (بین ۴۰٪ تا ۶۰٪ طول مسیر اولیه)، مسیرهای قطعی بهتر از مسیرهای CCP عمل می‌کنند.

☑در موقعیتی که **موجودی محدود شده** وجود دارد (موجودی کل فقط ۷۰٪ تقاضای کل) مسیرهای DPو CCP تقریبا مقادیر یکسانی از تقاضای برآورده نشده را حتی تحت فرجه‌زمانی بیشتر آزاد شده واگذار می‌کنند.
بدلیل موجودی‌های ناکافی در دپو، فرجه زمانی بازشده نمی‌تواند پوشش بهتری را ایجاد کند.

☑ در **مقادیر فرجه زمانی و موجودی متوسط**
(درصد موجودی کل بیشتر از تقاضای کل و درصد فرجه زمانی بیش از طول مسیر اولیه باشد؛ بین ۸۰٪ تا ۱۲۰٪)
مسیرهای CCP ۲٪ تا ۶٪ بهتر از مسیرهای DP بصورت درصد تقاضای برآورده نشده روی تقاضای کل عمل می‌کنند.

راه‌حل و تحلیل ۲- نقش فاکتور اطمینان

فرجه زمانی =۸۰٪ طول مسیر اولیه وکل موجودی= ۹۰٪ کل تقاضا

برای سناریوی خاص:

- میانگین برای مدل قطعی $e^{\mu'+\frac{\sigma'^2}{2}}$ و فاکتوراطمینان آن برابر ۰.۵ است.
- ضریب اطمینان = میانگین مقدار واریانس تمام کمان‌ها در گراف برابر ۰.۷۵ برآورد شده است..
- این نقطه بهترین متوسط نرخ تقاضای برآورده نشده را می‌دهد، این مقدار مربوط به سطح اطمینان ۹۵٪ و فاکتور اطمینان ۱.۶۵ است.

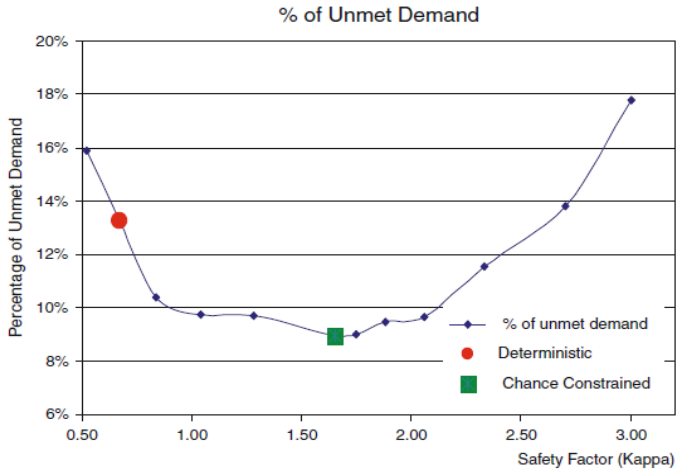


Fig. 2. Simulation comparison for different safety factors

با افزایش فاکتور اطمینان با شروع از نقطه قطعی، پوشش بهتری ایجاد می شود.
با این حال اگر ما خیلی محافظه‌کار باشیم با افزایش بیشتر فاکتور اطمینان بعد از" بهترین نقطهCCP"، کیفیت نتیجه بدتر می‌شود.

پیشنهادات آتی

- بخاطر ماهیت شرایط اضطراری در مقیاس بزرگ، ترکیب تحویل چندبخشی و موقعیت چنددپویی در مدل برای پاسخ به نیازهای در مقیاس وسیع در مدت زمان کوتاه عملی‌تر است.
- ایجاد حد پایین تنگ‌تر با فرجه‌زمانی کوتاه:

به ارزیابی کارایی نتایج روش ابتکاری کمک می‌کند و همچنین به حذف مسیرهای نشدنی در مراحل زودتر برای بهبود کارایی روش ابتکاری کمک می‌کند.

- ترکیب مسئله مکان یابی دپوها با مسیر یابی (LRP)
- چگونگی توزیع ظرفیت وسیله نقلیه بین مسیرها

با تشکرو سپاس