ارتقای بهره‌وری حمل و نقل سبز ریلی: مدل برنامه ریزی ریاضی جهت جذب بار های ریل پسند از گونه ی رقیب جاده ای

تعریف مسئله:

یک شرکت حمل‌ونقل ریلی را در نظر بگیرید که در زمینه‌ی حمل‌ونقل بار فعال است و صاحب تعدادی واگن حمل بار است. به صورت دقیق‌تر، شرکت صاحب $|W|$ نوع واگن است به صورتی که W مجموعه ی انواع واگن ها است. شرکت حمل‌ونقل ریلی از واگن نوع w ، ($w \in W = \{1,2, \dots, |W|\}$) تعداد n_w واگن را در اختیار دارد. لازم به ذکر است که یکی از جنبه‌های تفاوت انواع واگن‌ها، ظرفیت آن‌ها است؛ بر این اساس، ظرفیت واگن نوع w برابر θ_w واحد ظرفیت در نظر گرفته می‌شود. در یک افق زمانی شامل $|T|$ روز، این شرکت متعهد به انجام M درخواست بارگیری و تحویل[1] است؛ برای مثال این افق زمانی می تواند یک سال شامل ۳۶۵ روز باشد ($|T| = 365$). درخواست $m \in M = \{1,2, \dots, |M|\}$ شامل برداشت کالا از مبدأ i_m و تحویل در مقصد j_m است. با توجه به نوع کالا، مجموعه‌ی $w_m \subset W$ نشان دهنده‌ی واگن‌های قابل استفاده در درخواست m است. نقاط i_m و j_m عضو شبکه‌ی نقاط ایستگاه‌های ریلی S ($S = \{1,2, \dots, |S|\}$) هستند. در مبدا هر یک از درخواست‌های m ، در زمان‌های مشخص به تدریج بارهایی اضافه می‌شود که این بارها آماده‌ی تحویل دادن و بارگیری هستند؛ براین اساس برای درخواست m تعداد K_m زمان وجود دارد؛ در زمان $t_{k,m}^K$ ($k \in k_m = \{1,2, \dots, K_m\}$)، مقدار $AV_{k,m}^K$ کالای درخواست m در مبدأ به موجودی کالا اضافه می‌شود. با توجه به تعهد و قرارداد شرکت در برداشت و تحویل کالا در درخواست m، تعداد R_m مهلت زمانی وجود دارد؛ به این صورت که مهلت زمانی شماره‌ی r مشخص می‌کند که در زمان $t_{r,m}^R$ باید حداقل $V_{r,m}^R$ واحد کالا به مقصد درخواست تحویل داده شده باشد، در غیر این صورت به ازای هر واحد کمبود، جریمه‌ی $\omega_{r,m}$ توسط شرکت حمل‌ونقل به صاحب درخواست m پرداخت می‌شود.Rm

دو نکته‌ی مهم در خصوص حمل‌ونقل درخواست‌های عضو مجموعه‌ی $\{1,2, \dots, M\}$ زمان و مسیر جابه‌جایی آن‌ها است. از آن‌جایی که فرض می‌شود که واگن‌ها صرفا برای ارسال یک درخواست به هم بسته می‌شوند، بنابراین مسیر حرکت از مبدأ به مقصد هر درخواست m کوتاه‌ترین مسیر ریلی و با زمان کل φ_m (بارگیری، حمل‌ونقل، تخلیه) در نظر گرفته می‌شود. با توجه به زمان کل متفاوت برای هر درخواست m دوره سیر هر یک نیز متفاوت است.

برای انجام پروژه‌های حمل‌ونقل نیاز است که واگن‌هایی به پروژه‌ها تخصیص یابد. بر این اساس، متغیر تصمیم $X_{t,w,m}$ نشان‌دهنده‌ی تعداد ناوگان نوع w است که به پروژه‌ی m تخصیص یافته است و در روز t از مبدأ پروژه‌ی m یعنی i_m با کوتاه‌ترین مسیر به سمت مقصد پروژه‌ی m حرکت می‌کند. در طرف مقابل این امکان وجود دارد که در طول دوره‌ی زمانی به صورت پویا میزان تخصیص ناوگان به پروژه‌ها تغییر یابد، هم‌چنین ممکن است در ابتدای دوره‌ی زمانی ناوگان مورد نیاز برای هر پروژه در مبدأ آن پروژه حضور نداشته باشد. بر این اساس متغیر تصمیم $Y_{t,w,i,j}$ برابر با تعداد ناوگان از نوع w است که با هدف بازتخصیص در شبکه در روز t با کوتاه‌ترین مسیر ممکن از مبدأ i به مقصد j شروع به حرکت می‌کند. مدت زمان حرکت از i به j با کوتاه‌ترین مسیر ممکن را با پارامتر $\mu_{i,j}$ نمایش می‌دهیم. هم‌چنین تعداد ناوگان نوع i موجود در ابتدای دوره‌ی برنامه‌ریزی در ایستگاه i را با پارامتر $n_{i,w}^0$ نمایش می‌دهیم. بدیهی است که رابطه‌ی زیر میان پارامترهای مسئله وجود داشته باشد:

$$n_w = \sum_{i=1}^{|S|} n_{i,w}^0$$

[1] Pick-up and delivery request

هدف از این مدل سازی حداقل کردن تعداد ناوگان به کار گرفته شده و بهترین حالت تخصیص است به نحوی که کمترین هزینه را برای شرکت حمل‌ونقل به همراه داشته باشد.

مجموعه ها:

نماد	توضیحات
S	مجموعه‌ی ایستگاه‌های ریلی موجود
M	مجموعه‌ی پروژه‌های حمل‌ونقل ریلی موجود که با اندیس m نمایه می‌شود.
W	مجموعه‌ی انواع واگن که با اندیس w نمایه می‌شود.
w_m	مجموعه‌ی واگن‌های قابل استفاده در درخواست m
r_m	مجموعه زمان‌هایی که به عنوان مهلت تحویل مقدار مشخصی کالا در نظر گرفته شده است.
k_m	مجموعه ی زمان‌هایی مشخص که در آن زمان‌ها کالا به مبدا درخواست‌ها اضافه می‌شود.
T	مجموعه‌ی روزهای عضو افق زمانی برنامه ریزی شرکت که با اندیس t نمایه می‌شود.$t \in T = \{1, \dots, \lvert T \rvert\}$

پارامتر ها:

نماد	توضیحات
RA_{ij}	فاصله‌ی موجود بین ایستگاه‌های مختلف از نقطه‌ی i تا نقطه‌ی j
φ_m	زمان کل (بارگیری، حمل‌ونقل، تخلیه) برای درخواست m
$\mu_{i,j}$	زمان حرکت از i به j با کوتاه‌ترین مسیر ممکن
$AV_{k,m}^K$	مقدار کالای اضافه شده در مبدا هر درخواست m در زمان $t_{k,m}^K$
$t_{k,m}^K$	زمان‌های مشخص در هر درخواست m که به تدریج بارهایی اضافه می‌شود.$(k \in k_m = \{1,2, \dots, K_m\})$
$t_{r,m}^R$	مهلت نهایی تحویل مقدار مشخصی از کالا برای هر درخواست m $(\mathrm{r} \in r_m = \{1,2, \dots, R_m\})$
$V_{r,m}^R$	حداقل مقدار تجمعی کالا که باید تا زمان $t_{r,m}^R$ تحویل داده شود.
n_w	تعداد واگن در دسترس از واگن نوع w در شرکت
$n_{i,w}^0$	تعداد ناوگان نوع w موجود در ابتدای دوره‌ی برنامه‌ریزی در ایستگاه i
θ_w	ظرفیت هر واگن نوع w
CF	هزینه جابه‌جایی هر کیلومتر واگن پر در هر روز
CE	هزینه جابه‌جایی هر کیلومتر واگن خالی در هر روز
R_m	سود حاصل از هر واحد تحویل کالا به مقصد در هر درخواست m
$\omega_{r,m}$	جریمه به ازای تاخیر هر واحد کمبود در تحویل کالا در زمان $t_{r,m}^R$ که توسط شرکت حمل‌ونقل به صاحب درخواست m پرداخت می‌شود.

متغیرهای تصمیم:

نماد	توضیحات
$Y_{t,w,i,j}$	تعداد ناوگان از نوع w است که با هدف بازتخصیص در شبکه در روز t با کوتاه‌ترین مسیر ممکن از مبدأ i به مقصد j شروع به حرکت می‌کند.

$X_{t,w,m}$ تعداد ناوگان نوع w است که در روز t به پروژه‌ی m تخصیص یافته است.

$XA_{t,w,i}$ تعداد ناوگان در دسترس در ایستگاه i از نوع w در زمان t

$YA_{t,w,i}$ تعداد ناوگان ساکن در ایستگاه i از نوع w در زمان t

$XF_{t,w,m}$ تعداد کل ناوگان پر از نوع w که در روز t برای درخواست m در حال سیر هستند.

$XE_{t,w}$ تعداد کل ناوگان خالی از نوع w که در روز t حال سیر هستند.

$VA^R_{t,m}$ مقدار تجمعی کالا که تا زمان t برای درخوست m تحویل داده شده است.

$V^K_{t,m}$ مقدار کالایی که در زمان t در مبدأ درخواست m آماده به تحویل است.

۴- مدل ریاضی:

این بخش یک مدل ریاضی مطابق با مسئله ارائه شده در بخش ۳ بیان میشود.

۴-۱- تابع هدف:

تابع هدف مدل ریاضی پیشنهادی (ارائه شده در معادله (1)) برای به حداکثر رساندن سود شرکت حمل‌ونقل ریلی ناشی از تخصیص بهینه واگن‌ها با درنظر گرفتن تقاضای حمل کالاها استفاده می‌شود که شامل چهار بخش زیر است:

ـ سود حاصل از تحویل هر واحد کالا به مقصد برای شرکت حمل‌ونقل ریلی

ـ جریمه برای تحویل دیرتر هر واحد کالا از زمان مشخص

ـ هزینه حرکت واگن‌های پر در شبکه ریلی (شامل حق دسترسی حرکت هر تن کیلومتر واگن پر و همچنین هزینه‌های حمل‌ونقل از جمله هزینه سوخت، استهلاک ناوگان، هزینه نیروی انسانی و ...)

ـ هزینه جابه‌جایی واگن‌های خالی در شبکه ریلی (شامل حق دسترسی حرکت هر تن کیلومتر واگن پر و همچنین هزینه‌های حمل‌ونقل از جمله هزینه سوخت، استهلاک ناوگان، هزینه نیروی انسانی و ...)

در این مسئله، تمامی هزینه‌ها و درآمدها از اهمیت یکسانی برخوردار هستند؛ بنابراین ضریب وزنی یک برای تمامی بخش‌ها در نظر گرفته می‌شود.

$$
\begin{aligned}
Max\ z = & \sum_m \sum_t \left(VA^R_{t,m} - VA^R_{t-1,m}\right) \times R_m \\
& - \sum_m \sum_r \max\left(V^R_{r,m} - VA^R_{t^R_{r,m},m}, 0\right) \times \omega_{r,m} - \sum_t \sum_{w \in W_m} \sum_m CF \times \theta_w \times XF_{t,w,m} \\
& - \sum_t \sum_w CE \times XE_{t,w}
\end{aligned}
\tag{1}
$$

۴_۲_ محدودیت‌های مدل:

محدودیت (2) مقدار کیلومتر طی شده توسط واگن‌های پر و در حال سیر در روز t را محاسبه میکند. با توجه به مدت زمان حرکت از نقطه‌ی i به j ($\mu_{i,j}$) می توان نتیجه گرفت که واگن هایی که دیرتر از روز $t-\mu_{i,j}$ حرکت خود را آغاز کرده اند ($t' \geq t-\mu_{i,j}$) هنوز در حال سیر هستند. این واگن ها به طور متوسط روزانه $\frac{RA_{ij}}{\mu_{i,j}}$ کیلومتر طی می کنند. به طور مشابه، محدودیت (۳) مقدار کیلومتر طی شده واگن‌های خالی که در روز t در حال سیر هستند را محاسبه میکند؛ این تعداد برابر است با تعداد ناوگان از نوع w است که با هدف بازتخصیص در شبکه در روز t با کوتاه‌ترین مسیر ممکن از مبدأ i به مقصد j شروع به حرکت می‌کند. محدودیت (۴) بیانگر تعداد ناوگان در دسترس در ایستگاه i از نوع w در زمان t است که برابر است با تعداد واگن‌های ساکن در زمان $t-1$ به علاوه‌ی واگن‌های که در روز t به ان ایستگاه رسیده و برای فعالیت مجدد در دسترس هستند. برخی از این نوع واگن ها مربوط به پروژه اصلی بوده اند () یا با هدف بازتخصیص به سمت ایستگاه i حرکت کرده اند() φ_m روز قبل تخصیص یافته اند و در روز t به مقصد می‌رسند و واگن‌هایی که با هدف تغییر در تخصیص در $\mu_{i,j}$ روز قبل شروع به حرکت کرده اند. محدودیت (۵) بیانگر تعداد ناوگان ساکن در ایستگاه i از نوع w در زمان t است که برابر با تعداد ناوگان در دسترس در آن روز منهای واگن‌های تخصیص یافته شده و واگن‌های در نظر گرفته شده برای تغییر در تخصیص است. طبیعی است که در شروع دوره‌ی برنامه ریزی T ، تعداد واگن های ساکن از نوع w در هر ایستگاه i برابر با $n^0_{i,w}$ می‌باشد. محدودیت (۶) بیانگر مقدار تجمعی کالا که تا زمان t برای درخواست m تحویل داده شده است که برابر با مقدار تجمعی کالا که تا زمان $t-1$ تحویل داده شده به علاوه‌ی آن کالاهایی که با واگن‌های تخصیص یافته شده به هر درخواست m حمل می‌شود است. محدودیت (۷) و (۸) بیانگر کل موجودی کالا در مبدا هر درخواست m که در هر روز اماده‌ی تحویل هستند. این مقدار برابر است با موجودی کالاها در روز قبل به علاوه مقدار کالاهایی که در آن روز اضافه می‌شود، منهای بارهایی که در آن روز به واگن‌ها تخصیص یافته است. بدیهی است که برای تخصیص بهینه حاصل ضرب تعداد واگن‌های تخصیص یافته در ظرفیت آن در هر روز برای هر درخواست m باید از مقدار کل کالای موجود در مبادی کمتر باشد. این الزام متناظر با ان است که موجودی کالا در هر روز کمتر از صفر نشود ($V^K_{t,m} \geq 0$).

$$\forall t,w,m: XF_{t,w,m} = \sum_{\substack{t' \in T \\ | \, t' \geq t-\mu_{i,j}}} \sum_{i \in i_m} \sum_{i \in j_m} \frac{X_{t',w,m} \times RA_{ij}}{\mu_{i,j}} \tag{2}$$

$$\forall t,w: XE_{t,w} = \sum_{i} \sum_{j} \sum_{t' \in T | t' \geq t-\mu_{i,j}} \frac{Y_{t',w,i,j} \times RA_{ij}}{\mu_{i,j}} \tag{3}$$

$$\forall w,t,j: XA_{t,w,j} = YA_{t-1,w,j} + \sum_{m \in M | j=j_m} \sum_{t' \in T | t'=t-\varphi_m} X_{t',w,m} + \sum_{i \in S | i \neq j} \sum_{t' \in T | t'=t-\mu_{i,j}} Y_{t',w,i,j} \tag{4}$$

$$\forall i,w,t: YA_{t,w,i} = XA_{t,w,i} - \sum_{m | i=i_m, \, if \; w \in w_m} X_{t,w,m} - \sum_{j: j \neq i} Y_{t,w,i,j} \tag{5}$$

$$\forall m, t:\ VA_{t,m}^{R} = VA_{t-1,m}^{R} + \sum_{w \in w_m} X_{t-\varphi_m,w,m} \times \theta_w \tag{6}$$

$$\forall m, t | t \notin \{t_{k,m}^{K} | k \in \{1,2,\dots,K_m\}\}:\ V_{t,m}^{K} = V_{t-1,m}^{K} - \sum_{w \in w_m} X_{t,w,m} \times \theta_w \tag{7}$$

$$\forall m, t | t \in \{t_{k,m}^{K} | k \in \{1,2,\dots,K_m\}\}:\ V_{t,m}^{K} = V_{t-1,m}^{K} + AV_{k,m}^{K} - \sum_{w \in w_m} X_{t,w,m} \times \theta_w \tag{8}$$

متغیر ها نامنفی هستند.

$0 \leq Y_{t,w,i,j}$

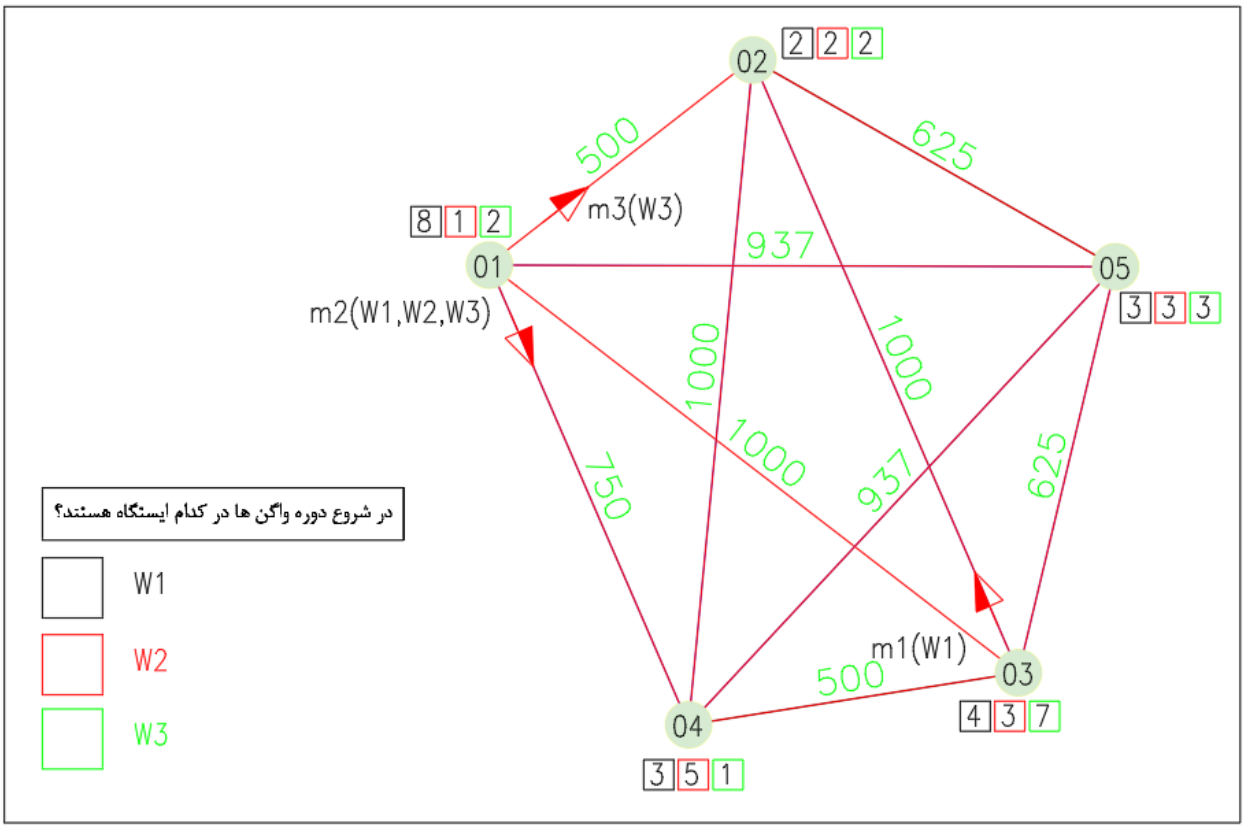
$0 \leq X_{t,w,m}$

$\cdot \leq XF_{t,w,m}$

$0 \leq XE_{t,w,m}$

$0 \leq VA_{t,m}^{R}$

$0 \leq V_{t,m}^{K}$



$V^R_{r,m}$								
$m \setminus t^R_{r,m}$	5	10	15	20	25	30	35	40
1	440	880	1320	1760	2200	2640	3080	3300
2	320	640	960	1280	1600	1920	2240	2400
3	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3000

$AV^K_{k,m}$			
$m \setminus t^K_{k,m}$	0	10	20
1	1100	1100	1100
2	800	800	800
3	1000	1000	1000

w	1	2	3
n_w	20	14	15
θ_w	55	40	50

$$\varphi_m = \mu_{i,j} + 2 \; ; \; \mu_{i,j} = \frac{RA_{ij}}{130}$$

سوال کد:

چجوری در t برابر با $t^R_{r,m}$ را بنویسیم؟

گرد رو به بالا

سوال مدل:

چجوری اون پارامتر تعداد واگن ها در ابتدای دوره ربط پیدا میکنه به مسئله و محدودیت ها؟ فک کنما تو زمان صفر در واقع اون پارامترا برابر با تعداد واگن ساکن تو هر نقطه هستش. یعنی همان

$$YA_{t,w,i}$$

واسه اندیسای حجم و زمان فقط اون اندیس کوچکه پایین رو باید نوشت دیگه؟ مثلا t دو تا اندیس k و m داره؟

سوالا جدید:

ارور میده اگه یه t یه طرفش باشه یه طرفش نباشه

مقدمه

یکی از مهم ترین دلایلی که صاحبان بار اقبالی به استفاده از گونه سبز ریلی نشان نمی دهند قابلیت اطمینان پایین این گونه است.

امار و ارقام

بر این اساس برنامه ریزی دقیق گونه ی ریلی به منظور تخصیص بهینه ناوگان به پروژه ها میتواند به افزایش قابلیت اطمینان گونه ی ریلی، کاهش خسارت های صاحب ب ار و شرکت های حمل و نقل ریلی به واسطه ی تاخیر در رسیدن بار و نیزبازتخصیص بهینه ی واگن های بدون بار موجود در شبکه ؟ کمک کند.

امار و ارقام

مرور ادبیات

حل

وضغیت موجود و مقایسه

شبکه واقعی ریلی