الگوريتم كلوني مورچه و كاربرد آن در برنامه ريزي پرواز

سيد صابر ناصرعلوي، كارشناس ارشد راه وترابري، دانشگاه علم و صنعت ايران، تهران*
سيد صادق ناصرعلوي، دانشجوي دكتري عمران _ سازه، دانشگاه شهيد باهنر، كرمان**
*تلفن: ۰۹۱۳۳٤۰۰۷۱۸، پست الكترونيكي: ssna60@yahoo.com
**تلفن: ۰۹۱۳۲٤۱٥۸٦۳، پست الكترونيكي: s_n_alavi@yahoo.com

چكيده
الگوريتم كلوني مورچه الهام گرفته شده از مطالعات و مشاهدات روي كلوني مورچه‌هاست. اين مطالعات نشان داده كه مورچه‌ها حشراتي اجتماعي هستند كه در كلوني‌ها زندگي مي‌كنند و رفتار آنها بيشتر در جهت بقاء كلوني است تا درجهت بقاء يك جزء از آن. يكي از مهمترين و جالبترين رفتار مورچه‌ها، رفتار آنها براي يافتن غذا است و به ويژه چگونگي پيدا كردن كوتاهترين مسير ميان منابع غذايي و آشيانه. اين نوع رفتار مورچه‌ها داراي نوعي هوشمندي توده‌اي است كه اخيراً مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. در مهندسي عمران، گرايش سازه بيش از ساير گرايشها از روش الگوريتم كلوني مورچه استفاده شده است. اين مطالعه براي اولين بار است كه الگوريتم جامعه مورچه را در يك مسأله حمل و نقل هوايي به كار مي برد.
*برنامه‌ريزي پرواز از جمله مسائل اصلي شركتهاي هواپيمايي مي‌باشد كه به صورت يك مسأله بهينه‌سازي از ديرباز مطرح بوده است. مسأله جامع برنامه‌ريزي پرواز معمولاً براي حل به چند زير مسأله تقسيم مي‌شود. تخصيص هواپيما يكي از زير مسائل برنامه‌ريزي پرواز است. در اين مسأله با فرض معلوم بودن برنامه زمانبندي پروازها و مشخصات ناوگان آماده پرواز، نوع هواپيماي هر پرواز تعيين مي‌شود. طي مطالعات دهة اخير، اين مسأله به صورت يك مسأله جريان در شبكه چند كالايي(**Multi Commodity Network Flow**) با متغيرهاي صحيح و حقيقي مدلسازي شده و براي حل آن، از روشهاي مرسوم در حل اين نوع مسائل استفاده شده است. تحقيق حاضر با در نظر گرفتن يكي از مدلهاي موجود، براي يك شركت هواپيمايي داخلي به بررسي و حل مسأله مي‌پردازد. در اينجا براي حل مسأله از الگوريتم كلوني مورچه استفاده گرديده و چند مسأله نمونه حل شده است. جهت ارزيابي كارآيي اين الگوريتم، از نرم افزار **GAMS** براي محاسبه جواب دقيق استفاده شده است. نتايج حل مسائل نمونه با روشهاي مذكور درمقايسه با نرم افزار بهينه‌سازي **GAMS** ، حاكي از مطلوبيت و قابليت بالاي اين روش جهت حل مسأله تخصيص هواپيما به پرواز مي‌باشد.*

كليد واژه: *الگوريتم كلوني مورچه، حمل و نقل هوايي، برنامه ريزي پرواز*

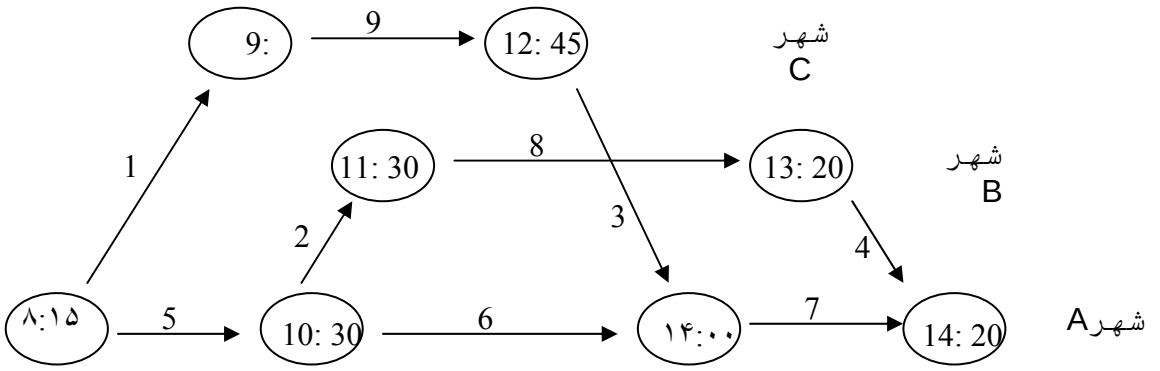
۱- مقدمه
از ديرباز استفاده از برنامه‌ريزي رياضي در برنامه‌ريزي پروازمورد توجه تصميم گيرندگان و محققين بوده است [۱]. به دليل بزرگ بودن مسأله بهينه‌سازي، معمولاً مسألة اصلي را به چند مسأله كوچكتر تقسيم مي‌كنند. عناوين اصلي اين مسائل عبارتند از: برآورد تقاضاي پرواز، زمانبندي پرواز، تخصيص هواپيما به

۲- تعریف مسأله

در مسأله تخصیص هواپیما به پرواز، نوع هواپیماي هر پرواز به‌نحوي تعیین مي‌شودکه کل هزینه ناشي از انجام پروازها حداقل گردد. در این مسأله، برنامه زمانبندي پروازها (شامل مدت زمان آماده‌سازي هواپیماي فرود آمده براي برخاست بعدي)، تقاضاي هر پرواز و مشخصات ناوگان آماده براي عملیات (ظرفیت و هزینه عملیات) معلوم فرض مي‌شود. محدودیتهاي مربوط به برنامه خدمه و تعمیرات هواپیما نیز در این مسأله لحاظ نمي‌گردد. همچنین دورة زماني برنامه‌ریزي به‌صورت تکراري (یک شبانه‌روز) فرض مي‌گردد.

در این بخش از مقاله، مدل مورد استفاده در این تحقیق که از مقاله هِین اقتباس شده است ارائه مي‌گردد. این مدل به‌صورت یک مسأله جریان در شبکه چندکالایي[1]، گسترده در زمان، بیان مي‌شود. شبکه داراي دو نوع کمان است؛ کمانهاي پروازي و کمانهاي زميني. در شکل (۱) مثال

[1] - Multi Commodity Network Flow



شکل۱: *مثالي از يک شبکه پرواز کوچک*

فرض کنيد C مجموعة فرودگاه‌ها، F مجموعة انواع ناوگان آماده پرواز، $S(f)$ تعداد هواپيماي نوع f، L مجموعة پروازهاي زمانبندي شده، اعضاء اين مجموعه به صورت $\{i\}$ يا $\{odt\}$ نشان داده مي‌شوند که o معرف شهر مبدأ، d معرف شهر مقصد و t معرف يک زمان است، $O(f)$ مجموعة کمانهاي پرواز هواپيماي نوع f که تا پايان دوره زماني (يک شبانه روز) هنوز به مقصد نرسيده‌اند، H مجموعه پروازهاي زنجيره‌وار (برخي از پروازها که بايد توسط يک هواپيما انجام شوند)، C_{fi} هزينه تخصيص هواپيماي نوع f به پرواز i، N مجموعة گره‌هاي شبکه با اعضاء $\{fot\}$ که در آن f معرف نوع هواپيما، o معرف يک شهر و t معرف زمان است که مي‌تواند مربوط به زمان فرود در o يا زمان برخاست از o باشد. متغيرهاي تصميم‌گيري به صورت زير تعريف مي‌شوند:

x_{fodt} يا x_{fi} = متغيرهاي دوتايي پرواز؛ در صورتي‌که از هواپيماي نوع f در پرواز زمان t از شهر o به d استفاده شود، برابر يک و در غير اين‌صورت برابر صفر خواهد بود.

y_{fott^+} = متغيرهاي حقيقي کمان‌هاي زميني، اين متغير نشان‌دهندة تعداد هواپيماي نوع f روي زمين در شهر o و بين گره زماني t و گره بعديش t^+ است.

هِين مسأله تخصيص هواپيما به پرواز را به‌صورت مدل رياضي زير بيان مي‌کند[۵]:

$$\min \sum_{i\in L}\sum_{f\in F} C_{fi}.x_{fi} \qquad (۱)$$

s.t.

$$\sum_{f} x_{fi} = 1 \qquad \forall i \in L \qquad (۲)$$

$$\sum_{d} x_{fodt} + y_{fott^{+}} - y_{fot^{-}t} - \sum_{d} x_{fdot} = 0 \qquad \forall \{fot\} \in N \qquad (۳)$$

$$x_{fi} - x_{fj} = 0 \qquad \forall (i,j) \in H, f \in F \qquad (٤)$$

$$\sum_{i \in o(f)} x_{fi} + \sum_{o \in C} y_{fot_n t_1} \le S(f) \qquad \forall f \in F \qquad (٥)$$

$$y_{fott^{+}} \ge 0 \qquad \forall \{fot\} \in N \qquad (٦)$$

$$x_{fi} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in L, f \in F \qquad (٧)$$

ضرایب C_{fi} شامل هزینة عملیات مانند هزینة سوخت [۱۰] و هزینة مسافر از دست رفته است.

به‌منظور کاهش ابعاد مسأله، وقتي در یک شهر چند برخاست پیاپي پس از چند نشست پیاپي رخ دهند،مي‌توان همگي آنها را در یک گره جاي داد [۵].

در مدل ارائه شده، براي محاسبه هزینة مسافر از دست رفته در ضرائب C_{fi} لازم است مقدار تقاضاي هر پرواز معلوم باشد. در برخي مواقع، به‌دلیل محدود بودن عرضة حمل و نقل هوایي، برآورد روزانه تقاضا از دقت بیشتري نسبت به برآورد تقاضاي هر پرواز برخوردار است.

یک روش براي در نظرگیري تقاضاي روزانه در مدل تخصیص هواپیما به پرواز، به صورت زیر است:

$$Min \quad \sum_{i}\sum_{f} oc_{fi}.x_{fi} + \sum_{m} p_m.\max\left\{d_m - \sum_{i \in L(m)}\sum_{f} cap_f.x_{fi}, 0\right\} \qquad (۸)$$

که در آن m اندیس زوجهاي مبدأ- مقصد از مجموعة M، $L(m)$ مجموعة پروازهاي بین زوج مبدأ - مقصد m، p_m قیمت بلیط بین زوج مبدأ- مقصد m، d_m تقاضاي پیش بیني شده بین زوج مبدأ- مقصد m، oc_{fi} هزینة عملیاتي انجام پرواز i با نوع f و cap_f تعداد صندلي قابل استفاده از هواپیماي نوع f است. براي تبدیل این تابع هدف به شکل خطي، کافي است یک متغیر جدید به مسأله اضافه شود:

$$Min \quad \sum_{i}\sum_{f} oc_{fi}.x_{fi} + \sum_{m} P_m.Spill_m \qquad (۹)$$

$$Spill_m \ge d_m - \sum_{i \in L(m)}\sum_{f} cap_f.x_{fi} \qquad (۱۰)$$

$$Spill_m \ge 0 \qquad (۱۱)$$

که در آن، $spill(m)$ تعداد مسافر از دست رفته در پروازهاي بین زوج شهر m مي‌باشد.

۳- شبکه پرواز

۳-۱- تعاریف

- شبکه پروازي : شبکة پروازي از يک سري کمان و گره درست شده است.
- گره : گره‌ها به‌واسطة رويدادها (نشست‌ها و برخاست‌ها) بوجود مي‌آيند. گره‌هايي که روي يک خط افقي قرار دارند مربوط به يک شهر مي باشند و رويدادهاي آن شهر را به تصوير مي‌کشند. بر روي هر گره عددي نوشته شده که آن عدد زمان رويدادي را نشان مي دهد که در آن شهر اتفاق افتاده است.
- کمان : تمامي خطوط جهت دار در شبکه پروازي کمانها هستند و به دو دسته کمانهاي پروازي و کمانهاي زميني تقسيم بندي مي شوند.
- کمان پروازي : کمان پرواز در شبکه پروازي، به کماني گفته مي شود که ما بين دو شهر باشد و زمان مربوط به گره انتهايي آن بعد از زمان مربوط به گره ابتدايي آن باشد.
- کمان زميني : کماني که دو گره متوالي در يک شهر را به هم متصل مي کند.
- کمان شبانه : نوعي کمان زميني براي هر شهر که آخرين گره را به اولين گره متصل مي کند.
- زنجيره پرواز : دنباله اي از کمانهاي شبکه پرواز است که يک نوع هواپيما بر روي آنها مي‌تواند وجود داشته باشد.
- حلقه : يک زنجيره پرواز است که گره ابتدايي اولين کمان آن همان گره انتهايي آخرين کمان آن است.
- الگو : الگو متشکل از يک سري حلقه است که کل شبکه پروازي را پوشش مي دهند و در کمان پروازي مشترک نيستند و با تخصيص هواپيماهاي ناوگان موجود به حلقه هاي الگو (يعني تخصيص يک به يک هواپيماها به حلقه‌ها) مي توان کل پروازها را عمليات نمود. به عبارت ديگر الگوي با تخصيص هواپيما بر روي حلقه هاي آن، برابر با يک جواب امکان‌پذير و نه لزوماً بهينة مسألة تخصيص هواپيما به پرواز است.
- ترکيب حلقه هاي الگو : همانطور که از اسمش بر مي-آيد به نحوة قرارگيري حلقه‌ها در يک الگو اطلاق مي-شود.

۳-۲- خواص شبکه پرواز

۱- شبکه پرواز بدون کمانهاي شبانه، يک شبکه بدون دور[۲] است. زيرا براي هر کمان شبکه، زمان مربوط به

[2] - Acyclic

۲- هر حلقه در شبکه پرواز، حداقل یک کمان شبانه را شامل می‌شود.

۳-۳- خاصیت جواب امکان‌پذیر

با توجه به آنکه معادلات توازن جریان در گره‌های شبکه پرواز، برای هر نوع هواپیما برقرار است، هر جواب امکان‌پذیر دارای این خاصیت است که برای هر هواپیما از نوع f یک حلقه در شبکه وجود دارد که از این نوع استفاده می‌کند. استفاده کردن یک حلقه از هواپیمای نوع f بدین معنی است که کمانهای پرواز آن با نوع f انجام شوند $(x_{fi}=1)$ و بر روی کمانهای زمینی آن حداقل یک هواپیما از نوع f وجود داشته باشد $(y_{fi}\geq 1)$

۴- الگوریتم کلونی مورچه (ACO)

یکی از جنبه‌های رفتار گونه‌های مختلف مورچه‌ها، توانایی آنها برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین منبع غذایی و لانه می‌باشد[۱۱]. مورچه‌ها هنگام حرکت از محلی به محل دیگر مقداری فرومون[4] بر روی زمین به‌جای می‌گذارند. فرومون یک ماده شیمیایی است که مورچه‌ها برای تعیین مسیر سایر مورچه‌ها و همچنین برای تشخیص راه برگشت خود به‌جای می‌گذارند [۱۲]. هر مورچه یک سری جواب کامل با حرکت از یک گره به گره دیگر، بر اساس قاعده انتقال[5] که اطلاعات محلی را در اختیار آنها می‌گذارد، می‌سازد. به عبارتی مورچه‌ها تمایل به انتخاب مسیرهای کوتاهتر با میزان فرومون بیشتر دارند.

اگر $q \leq q_0$ (۱۲)

$$P_{rs}^{k}=\begin{cases}1 & if \quad s=\arg\max\limits_{u\in N_k(r)} (\tau_{ru})^{\alpha}.(\eta_{ru})^{\beta} \\ 0 & otherwise\end{cases}$$

اگر $q > q_0$ (۱۳)

$$P_{rs}^{k}=\begin{cases}\dfrac{(\tau_{ru})^{\alpha}(\eta_{ru})^{\beta}}{\sum\limits_{u\in N_k(r)}(\tau_{ru})^{\alpha}.(\eta_{ru})^{\beta}} & if \quad s\in N_k(r) \\ 0 & otherwise\end{cases}$$

که در آن $q_0 \in [0,1]$ یک پارامتر و q مقدار تصادفی بین $[0,1]$، P_{rs}^{k} احتمال اینکه مورچه k واقع در گره r، گره s

[3] - Time Expanded
[4]- Pheromone
[5] - Transition Rule

k $N_k(r)$

η_{rs} rs τ_{rs}

$\alpha, \beta \in R$ پارامترهايي هستند كه اهميت نسبي اثر فرومون و اطلاعات كاوشي را نشان مي‌دهد [۱۳].
همانطور كه ديده مي‌شود اگر $q \le q_0$ باشد، از اطلاعات در دسترس استفاده مي‌شود و بهترين گزينه با توجه به اطلاعات فرومون و اطلاعات كاوشي انتخاب مي‌شود [۱۴].
q_0 تعاملي بين جستجوي گره‌هاي جديد و استفاده از گره‌هاي در دسترس در هر لحظه برقرار مي‌كند.
بعد از اينكه تمام مورچه‌ها يک سري جواب كامل ساختند، در ابتدا ميزان فرومون تمام مسيرها كاهش مي‌يابد:

(۱۴)

$$\tau_{rs} = (1-\rho).\tau_{rs}$$

بهنگام سازي نهايي[7] در مورد مسيرهاي متعلق به بهترين جواب هرتكرار انجام مي‌گيرد.

(۱۵)

$$\tau_{rs} = \tau_{rs} + \rho.\Delta\tau_{rs}(S_{global-best}) \qquad \forall a_{rs} \in S_{global-best}$$

(۱۶)

$$\Delta\tau_{rs}(S_{global-best}) = f(C(S_{global-best}))$$

كه در آن $\rho \in (0,1)$ نرخ تبخير، $S_{global-best}$ سري جواب يافت شده توسط مورچه "بهترين در كل"، $C(S_{global-best})$ كيفيت سري جواب يافت شده مي‌باشد.
$\Delta\tau_{rs}^{global-best}$ ميزان فرومون گذاشته شده در مسير rs كه به كيفيت جواب مورچه "بهترين در كل" بستگي دارد.
مورچه‌ها بهنگام سازي محلي[8] را نيز به‌منظور توليد جوابهاي متفاوت اعمال مي‌كنند.

(۱۷)

$$\tau_{rs} \leftarrow (1-\varphi)\tau_{rs} + \varphi\Delta\tau_{rs}$$

φ پارامتري بين صفر و يک مي‌باشد. $\Delta\tau_{rs}$ مي‌تواند سه حالت داشته باشد [۲۷]:
الف) استفاده از الگوريتم Q كه در آن $\Delta\tau_{rs} = \gamma . \max_{z \in N_k(s)} \tau_{sz}$.
يعني بخشي از حداكثر اثر موجود در مسيرهايي كه مي‌توان از گره مقصد s به آنها رفت را به عنوان $\Delta\tau_{rs}$ انتخاب مي‌كنند.
ب) $\Delta\tau_{rs} = \tau_0$، τ_0 سطح اوليه فرومون مي‌باشد.

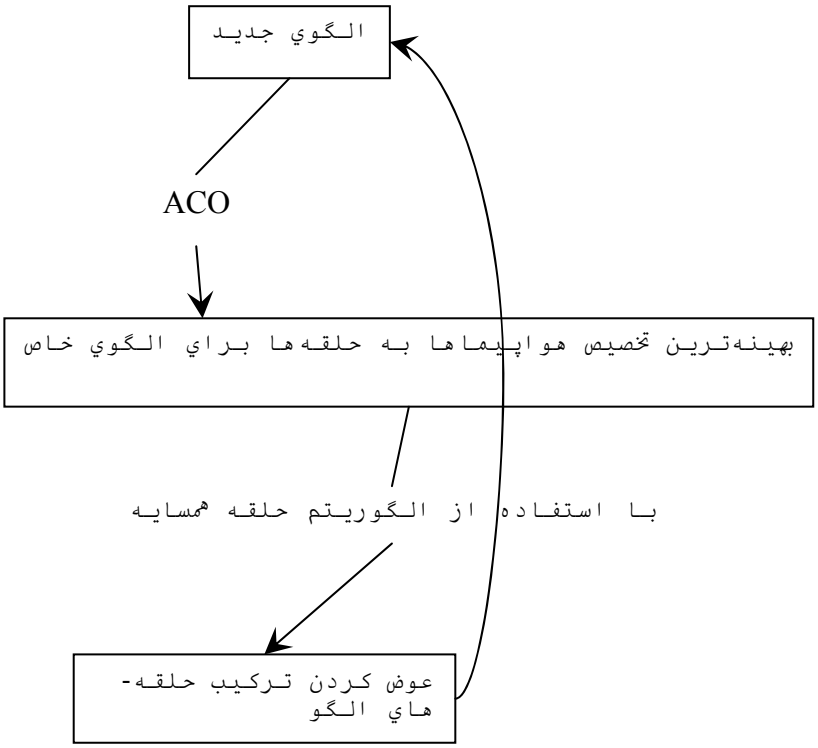
---

[6] - Heuristic Information
[7] -Global Updating
[8] -Local Updating

ج) $\Delta\tau_{rs}=0$.

نتايج به دست آمده از سه مقدار قبل نشان مي‌دهد كه استفاده از $\Delta\tau_{rs}=0$ جوابهاي بدتري نسبت به دو حالت قبل دارد[۱۱].

شكل ۲، فلوچارت حل مسأله را با ACO، نشان مي‌دهد. بر اساس اين شكل، براي حل مسأله، از دو الگوريتم كلي استفاده مي‌شود؛ اول، استفاده از الگوريتم ACO براي بهينه كردن تخصيص هواپيماها به حلقه‌هاي يك الگوي خاص و دوم، استفاده از الگوريتم حلقة همسايه براي عوض كردن تركيب حلقه‌هاي الگو و دسترسي به يك الگوي جديد. با استفاده از الگوريتم اول، قسمتي از مسأله بهينه مي‌گردد و با الگوريتم دوم به قسمتهاي مختلف محدوده جواب دسترسي پيدا مي‌شود. بهينه‌ترين تخصيص هواپيماها به حلقه‌ها، براي الگوي خاص همان مسأله معروف فروشنده‌دوره‌گرد (TSP)[9] است؛ لذا حل آن با ACO امكانپذير است[۱۱].



شكل ۲: *فلوچارت كلي حل مسألة تخصيص هواپيما به پرواز با ACO*

مراحل عوض كردن تركيب حلقه‌هاي الگو با استفاده از الگوريتم حلقة همسايه، عبارتند از:

گام ۰: يك الگوي اوليه را در نظر بگيريد.

[9] - Traveling Salesman Problem

گام ۱: کمان a_1 را به‌طور تصادفي از مجموعة کمانهاي الگو انتخاب کنید.
گام ۲: در الگوي امکان‌پذیر فعلي، براي کمان a_1 یک حلقه پیدا کنید و آنرا c_1 بنامید.
گام ۳: مانند گام ۱ و ۲ را براي انتخاب کمان a_2 و حلقه c_2 بنحوي که $a_1 \neq a_2$ باشد، تکرار کنید.
گام ۴: فرض کنید، گره‌هاي حلقه c_1 عبارتند از $i_1, i_2, ..., i_n, i_1$ و گره‌هاي حلقه c_2 عبارتند از $j_1, j_2, ..., j_m, j_1$. گره‌هاي مشترک دو حلقه را پیدا کرده در مجموعه‌اي به‌صورت $k_1, k_2, ..., k_t$ نگهدارید. از میان اعضاء این مجموعه دو تا را به‌طور تصادفي انتخاب نمایید و k_s, k_e بنامید (از نظر زماني، k_s جلوتر از k_e قرار دارد).
گام ۵: براي کمانهایي از دو حلقه که بین دو گره k_s, k_e قرار دارند دو زنجیره را جابه‌جا کنید.

۵- مطالعه کاربردي

در این تحقیق، مسأله تخصیص هواپیما به پروازهاي داخلي شرکت هواپیمایي ایران‌ایر مورد بررسي و حل قرار گرفته‌است. اطلاعات مورد استفاده مربوط به قسمتي از برنامه زمانبندي شرکت، براي روزهاي دوشنبه بوده و از دفترچه تابستاني سال ۲۰۰۶ ایران‌ایر استخراج شده‌است. در حل مسأله از روشهاي شاخه و کرانه و ACO استفاده شده است. براي به‌کارگیري الگوریتمها با نرم‌افزار MATLAB برنامه‌نویسي شده و براي روش شاخه و کرانه از نرم افزار GAMS استفاده شده است. برنامه پرواز در نظر گرفته شده، داراي ۸۰ پرواز بین ۱۷ شهر است که مجموعاً ۳۸ زوج مبداء-مقصد را پدید مي‌آورند. ناوگان قابل استفاده براي عملیات این پروازهاي داخلي شامل ۱۱ هواپیما از ۶ نوع مختلف مي‌باشد. فرودگاه اصلي پروازهاي داخلي ایران‌ایر، مهرآباد تهران است. کلیة ناوگان این شرکت از تهران بلند مي‌شوند و در آخر شب به تهران باز مي‌گردند ولذا هیچ شهر دیگري داراي کمان شبانه نیست. بدین ترتیب در حدود بازة زماني ۲:۰۰ تا ۵:۰۰ هیچ پرواز داخلي در فضاي کشور انجام نمي‌شود. فرض مي‌شود همه فرودگاه‌ها امکان پذیریش همة انواع ناوگان را داشته باشند (این فرض براي نوع ایرباس صادق نیست و جنبه ساده کننده دارد). در این مطالعه، زمان آماده سازي براي همه هواپیماها برابر ۳۰ دقیقه فرض شده است. با این فرض، که دور از واقعیت نیست، شبکه مسأله براي انواع هواپیماها یکسان مي‌گردد. شبکة ساخته شده داراي ۸۰ کمان پرواز، ۴۴ کمان زمیني و ۶۰ گره همفزون شده است و حداقل با ۱۰ فروند هواپیما قابل عملیات مي‌باشد.

در ابتدا مقادير تقاضاي روزانه بين زوجهاي مبداء-مقصد برابر تعداد مسافر جابه‌جا شده فرض شد و سپس اين مقادير با نسبتهاي ثابتي افزوده گرديد. جدول (۱) نتايج حل مسأله، با نرم‌افزار GAMS و الگوريتم ACO را براي مقادير مختلف تقاضا نشان مي‌دهد. شرط توقف نرم-افزار GAMS خطاي نسبي ۲% يا زمان ۶۰ دقيقه بود. پارامترهاي الگوريتم ACO عبارتند از: تعداد مورچه‌ها در هر تكرار برابر $M=۳۰$، $\alpha=۱$، $\beta=۲$، $\rho=۰/۱$، $\varphi=۰/۹$، $q_0=۰/۸$، $Q=۱۰۰$. تعداد تكرار استفاده از الگوريتم الگوي همسايه ۱۰۰ مرتبه مي‌باشد. علت ثابت بودن زمان الگوريتم براي همة حالات، ثابت بودن پارامترهاي آن است.

براي آزمون كارايي الگوريتمها در حل مسأله‌اي بزرگتر، برنامة پرواز شركت ايران‌ايرتور به برنامة شركت ايران ايرـ افزوده شد. همة پروازهاي شركت ايران ايرتور را يك هواپيما انجام مي‌دهد و هواپيماهاي اين شركت بايد شب را در مشهد بگذرانند. شبكه پرواز جديد، شامل ۱۱۴ كمان پرواز، ۷۲ كمان زميني و ۸۸ گره همفزون شده است. براي عمليات روزانه شبكه جديد به حداقل ۱۶ فروند هواپيما احتياج است و همين تعداد در ۷ نوع مختلف به‌عنوان ناوگان آماده پرواز منظور مي‌شود. مسأله تخصيص هواپيما براي شبكه جديد داراي ۹۱۴ محدوديت، ۷۹۸ متغير دوتايي، ۶۷۴ متغير حقيقي و ۵۳۵۳ عضو غير صفر در ماتريس ضرايب است. نتايج حل اين مسأله با نرم‌افزار GAMS و الگوريتمACO در جدول (۲) قابل ملاحظه است. شرط توقف نرم‌افزار GAMS خطاي نسبي ۲% يا زمان ۱۲۰ دقيقه بود. پارامترهاي الگوريتم ACO نيز مانند قبل انتخاب شده‌اند با اين تفاوت كه، تعداد تكرار الگوريتم الگوي همسايه ۱۵۰ انتخاب شده است. با اين كار چون ابعاد مسأله جديد تقريباً ۱/۵ برابر شده، تعداد كل نقاط جستجو نيز به ۱/۵ برابر افزايش مي‌يابد. جزئيات اطلاعات اين مسأله و نتايج كامل آن در مرجع [۱۶] آمده است.

۶- نتيجه‌گيري

هدف اصلي اين مقاله، ارائه روش حل، براي يكي از مسائل مطرح در برنامه‌ريزي پرواز به‌نام تخصيص هواپيما، بوده است. در مسأله تخصيص هواپيما، نوع هواپيماي هر پرواز به‌گونه‌اي تعيين مي‌شود كه كل هزينه‌هاي عمليات، حداقل گردد. در اين مطالعه، الگوريتم ACO براي اين مسأله طراحي و پياده سازي شده است. براي بررسي كاركرد الگوريتم، مسأله‌اي نزديك به مسأله واقعي يك شركت هواپيمايي داخلي تهيه و حل شد. حل مسأله واقعي يك شركت هواپيمايي، مستلزم شناخت كامل ابعاد آن است. به دليل آنكه مسيرهاي ارتباطي مناسبي براي اين منظور

جدول۱: *نتايج حل مسأله ايران ايـر با تقاضاي روزانه (تقاضاي همه مبدأ-مقصدها به يک ميزان افزايش يافته است)*

الگوريتم ACO			نرم افزار GAMS			
زمان	حداکثر خطاي نسبي از حد	بهترين جواب	زمان	حداکثر خطاي	بهترين جواب	بزرگترين	افزايش
۳/۷	۱/۸	۲۱۷٦/٥	٦	۲/۲	۲۱۸٥/۰	۲۱۳۸	۰
۳/۷	۲	۲۲٤٤/۰	٥	۳/۱	۲۲٦۸/۲	۲۲۰۰	۱۰
۳/۷	۲	۲۳۷٤/٦	٦۰	۹/٤	۲٥٤٦/۸	۲۳۲۸	۲۰
۳/۷	۱/۷	۲۷٦٦/۲	٦۰	۷/۰	۲۹۱۰/٤	۲۷۲۰	٤۰
۳/۷	۱/۹	۳۲۸۳/۲	٦۰	٥/۲	۳۳۸۹/٥	۳۲۲۲	٦۰
۳/۷	۱/۸	۳۸۰۰/۲	٤	۳/٤	۳۸٥۹/۹	۳۷۳۳	۸۰
۳/۷	۰/۸	٤۲۹۱/۱	۲	۰/۹	٤۲۹٥/۳	٤۲٥۷	۱۰۰

جدول ۲: *نتايج حل ترکيب مسأله ايران ايـر و ايران ايـر تور با تقاضاي روزانه (تقاضاي همه مبدأ-مقصدها به يک ميزان افزايش يافته است)*

الگوريتم ACO			نرم افزار GAMS			
زمان	حداکثر خطاي نسبي از حد	بهترين جواب	زمان	حداکثر خطاي	بهترين جواب	بزرگترين حد	افزايش
٥/٦	۰/٥	٦٦۱٥/۹	۲۸	۰/٥	٦٦۱٥/۹	٦٥۸۳	۰
٥/٦	۰/۸	٦٦٥۳/۸	٥٥	۳/۲	٦۸۱۲/۲	٦٦۰۱	۱۰
٥/٦	۱/٤	٦۷٥۸	٤۰	۱/۸	٦۷۸٥/۰	٦٦٦٥	۲۰
٥/٦	۰/۸	٦۷۳٦/٥	٥۹	۳	٦۸۸۳/٥	٦٦۸۳	۳۰
٥/٦	۲/۱	۷۲٥٤/٦	۱۲۰	----	جواب صحيح بدست نيامد	۷۱۰٦	٤۰
٥/٦	۰/۷	۷۳۹٤/٤	٥۰	۱/۲	۷٤۳۱/۱	۷۳٤۳	٥۰
٥/٦	۱/۸	۷۷٦۳/۳	۱۲۰	٦	۸۰۸۳/٦	۷٦۲٦	٦۰
٥/٦	۱/٤	۸۰۲٦/۸	۲۷	۱/٦	۸۰٤۲/۷	۷۹۱٦	۷۰
٥/٦	۰/۷	۸۲۷۲/٥	٤۰	۱/۸	۸۳٦۲/۹	۸۲۱٥	۸۰
٥/٦	۱	۸۹۰۲/٤	۳٥	۱/٦	۸۹٥٦/۰	۸۸۱٥	۱۰۰

۷- مراجع:

1. Etschmaier M. and Mathaisel D. , Airline Scheduling: An Overview, Transportation Science, 19, 1985, pp. 127-138.
2. Gopalan R. , and Talluri K.T. , Mathematical Models in Airline Schedule Planning: A Survey, Annals of Operations Research, 76, 1998,pp. 155-185.
3. Abara Jeph, Applying Integer Linear Programming to the Fleet Assignment Problem, Interfaces, 19, 1989, pp.20-38.
4. Subramanian R. , Scheff R.P. , Quillinan J.D. , Wiper D.S. and Marsten R.E. , Interfaces. 24, 1994, pp. 104-120.
5. Hane C.A. , Barnhart C. , Johnson E.L. , Marsten R.E. , Nemhauser G.L. , and Sigismondi G. , The Fleet Assignment Problem: Solving a Large-Scale Integer Problem, Mathematical Programming, 70, 1995, pp. 211-232.

6. Clarke L.W. , Hane C.A. , Johnson E.L. and Nemhauser G.L. , Maintenance and Crew Consideration in Fleet Assignmen, Transportation Science, 30, 1996,pp. 249-260.
7. Gu Z. , Johnson E.L. , Nemhauser G.L. and Wing Y. , Some Properties of the Fleet Assignment Problem, Operations Research Letters, 15, 1994, pp. 59-71.
8. Klincewicz J.G. and Rosenwein M.B. , The Airline Exception Scheduling Problem, Transportation Science, 29, 1995, pp. 4-16.
9. Rexing B., Barnhart C., Kniker T., Jarrah A. and Krishnamurthy N., Airline Fleet Assignment with Time Windows, Transportation Science, 34, 2000, pp. 1-20.
10. Gillen D. and Levinson D., Full Cost of Airline Travel in the California Corridor, Transportation Research Record, 1662, 1999, pp. 1-9.
11.Dorigo, M., and Gambardella, L. M. "Ant colony system: A cooperative. learning approach to the traveling salesman problem." IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1(1), 1997,pp. 53-66.
12 .Dorigo, M., Maniezzo, V., and Colorni, A. (1996). "The ant system: optimization by a colony of cooperating ants." IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., 26, 29-42.
13. M. Dorigo, G. Di Caro, and L. M. Gambardella. Ant algorithms for discrete optimization. Artificial Life, 5(2):137–172, 1999.
14. O. Cordón, F. Herrera, T. Stützle. A Review on Ant Colony Optimization Metaheuristic: Basis, Models and New Trends. J. of Mathware and Soft Computing (9) , 1-35 ,2002
۱۵. ناصرعلوي، سيد صابر، "برنامه‌ريزي پرواز با روشهاي بهينه‌يابي جستجويي"، پايان نامه كارشناسي ارشد راه و ترابري، دانشكده عمران، دانشگاه علم و صنعت ايران، پاييز ۱۳۸۵.