طراحی سفرهای برون‌شهری شخصی در شبکه‌های حمل‌ونقل با الگوریتم وراثتی

علی عزیزی (مسئول مکاتبات)، کارشناس ارشد، گروه مهندسی سیستم‌های اطلاعات مکانی،
دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران
فرید کریمی‌پور، استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
علی اسماعیلی،استادیار، گروه مهندسی سنجش از دور، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران
E-mail: a.azizi66@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۶ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۰

چکیده:

در این مطالعه، برنامه‌ریزی سفرهای شخصی فعالیت‌مبنا در شبکه حمل‌ونقل عمومی که برای گردشگران از اهمیت خاصی برخوردار است، توسعه داده می‌شود. شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی با مدل وابسته به زمان ساخته می‌شود. در این مدل وزن یال‌های شبکه ثابت نیست و تابعی از زمان شروع سفر است. به دلیل اینکه برنامه‌ریزی سفر دارای ماهیت ترکیباتی و از نوع بهینه‌سازی است، طراحی برنامه سفر با الگوریتم وراثتی مدل‌سازی می‌شود. این الگوریتم از جمله روش‌هایی است که با استفاده از جستجوی فراابتکاری، جواب بهینه را یافت می‌کند. در این مطالعه، ساختاری پیشنهاد می‌شود که اطلاعات روز و زمان شروع سفر، مدت زمان سفر، شهرهای مورد علاقه کاربر همراه با امتیاز آنها، مدت زمان انجام فعالیت و محدوده زمانی انجام فعالیت در هر شهر و شبکه‌های حمل‌ونقل مدنظر را از کاربر دریافت و به نحوی برنامه‌ریزی سفر را طراحی کند که کاربر در مدت زمان معین شده، بیشترین امتیاز از بازدید و انجام فعالیت در شهرهای انتخاب شده را به‌دست آورد. از اهداف این مطالعه، مدل‌سازی فعالیت‌های شخصی، طراحی سفر با هدف بهینه‌سازی زمان سفر و ارزیابی چارچوب پیشنهاد شده است. به منظور ارزیابی چارچوب پیشنهادی، مجموعه داده‌های جداول زمانی شبکه‌های حمل و نقل ۱۵ مرکز استان ایران برای سه شبکه حمل‌ونقل: هواپیما، اتوبوس و قطار برای سفر بین شهرهای مدنظر جمع‌آوری شد و چارچوب پیشنهادی برای ۵۰ سفر با نقاط اولیه، زمان شروع و مدت زمان سفر متفاوت ارزیابی شده است که به طور میانگین دارای خطای نسبی ۵/۲ درصد است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی سفر، شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی، الگوریتم وراثتی، وابسته به زمان.

۱. مقدمه

بسیاری از گردشگران برای کسب اطلاعات در مورد مکان‌های مورد نظر برای بازدید تحقیق انجام می‌دهند. آنها سفر خود را با توجه به اطلاعات شهرهای مورد علاقه، فعالیت‌ها و محدودیت‌های خود برنامه‌ریزی می‌کنند. تصمیم‌گیری برای انتخاب یا حذف نقاط مورد علاقه برای بازدید یا انجام یا حذف انجام کدام فعالیت از مشکلاتی است که گردشگران با آن مواجه هستند. همچنین تعیین توالی زمانی بازدید از نقاط مورد علاقه یا انجام فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری در مورد نحوه حرکت به یک نقطه مورد علاقه، از دیگر مشکلات آن‌ها است. بنابراین گردشگران در ابتدا بر اساس علایق شخصی، نقاط مورد علاقه خود همراه با میزان اهمیت را انتخاب و سپس محدودیت‌های موجود و میزان فعالیت در هر نقطه را مشخص می‌کنند. بنابراین سیستمی نیاز است که با توجه به علایق شخص، حالتی بهینه از برنامه‌ریزی سفر ارائه دهد. [Abbaspour and Samadzadegan, 2011, Garcia, et al. 2013, Wang and Cheng, 2001]

بنابراین هدف از برنامه‌ریزی سفرهای برون‌شهری گردشگران، مشخص کردن ترتیب زمانی بازدید از مجموعه‌ای از شهرهای مورد علاقه به نحوی است که در کوتاه‌ترین زمان از بیشترین شهرهای مورد علاقه بازدید شود.

در این مقاله، ساختاری طراحی می‌شود که اطلاعات زمان شروع سفر، شهرهای مورد علاقه کاربر همراه با امتیاز آنها، مدت زمان انجام فعالیت، محدوده زمانی انجام فعالیت در هر شهر و مدت زمان سفر از کاربر دریافت می‌کند و خروجی آن بهترین زمان‌بندی و چیدمان شهرها است به نحوی که کاربر در مدت زمان معین سفر، بیشترین امتیاز از شهرهای بازدید شده را داشته باشد. از دیگر اهداف این مطالعه، ارزیابی چارچوب پیشنهاد شده است.

۲. مروری بر مطالعات پیشین

برنامه‌ریزی سفر، با دو دیدگاه مطالعاتی بررسی شده است، دیدگاه اول از نقطه نظر محاسبات است و هدف آنها حل مسئله فروشنده دوره‌گرد انتخابی [Ke, Archetti and Feng, 2008; Liang, Kulturel-Konak and Smith, 2002; Michel, Gilbert and Frederic, 1998; Tang and Miller-Hooks, 2005] است. دیدگاه دوم، زمان‌بندی سفرهای درون‌شهری و برنامه‌ریزی سفر [Abbaspour and Samadzadegan, 2009; Aifadopoulou, Ziliaskopoulos and Chrisohoou, 2007; Androutsopoulos and Zografos, 2009; Lee et al., 2007; Niknafs, Shiri and Javidi, 2003] است که اهم این دسته از مطالعات به شرح زیر است:

Maruyama و همکاران در سال ۲۰۰٤ یک سیستم ناوبری شخصی برای گردشگران به نام P–تور ارائه دادند. در این سیستم ابتدا توریست نقاط مورد علاقه خود، همراه با میزان اهمیت نسبی و محدودیت ورود/مدت زمان اقامت به سیستم می‌دهد، سپس P–تور به طور تقریبی بهترین برنامه برای دیدار بخشی از نقاط را ارائه می‌دهد [Maruyama, et al., 2004].

Hagen و همکاران در سال ۲۰۰۵ سیستمی برای طراحی سفر و هدایت گردشگران به نام DTG ارائه نمودند. اهداف این سیستم طراحی یک تور شخصی، فراهم کردن یک سیستم هدایت ناوبری و ارایه توضیحات مبتنی بر مکان است [Hagen, et al., 2005].

Zografos و Androutsopoulos در سال ۲۰۰۸ برنامه‌ریزی سفر در شبکه‌های حمل و نقل عمومی چندساختی و دارای جدول زمانی را برنامه‌نویسی کردند که در آن تعداد مسیر بهینه، تعداد انتقال بین شبکه‌ها، زمان پیاده‌روی و زمان انتظار در ایستگاه بهینه شده است. این برنامه پویا برای تعیین سفر بهینه نیز توسعه داده شده است [Zografos and Androutsopoulos, 2008].

عباسپور و صمدزادگان در سال ۲۰۱۱ برای مدلسازی، طراحی تور و برنامه سفر در شبکه‌های چندساختی، ساختاری تو در تو بر مبنای الگوریتم‌های وراثتی ارائه نمودند. در این مدلسازی، طراحی تور به عنوان بخش اصلی و یافتن کوتاهترین مسیر در شبکه‌های حمل و نقل چندساختی به صورت یک ماژول در نظر گرفته شده است [Abbaspour and Samadzadegan, 2011].

Garcia و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک سیستم هدایت گردشگری شخصی به نام PETs ارائه نمودند. در این مطالعه مسئله طراحی

سفرهای توریستی[1] (TTDP) توسعه داده شد. همچنین مسئله جهت‌یابی[2] (OP) با شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی دارای پنجره زمانی برای ارائه خدمات بهتر تلفیق و مدل‌سازی شده است [Garcia, et al., 2013].

از نقاط ضعف اکثر مطالعات پیش می‌توان به عدم کارآیی در فضاهای بزرگ، در نظر نگرفتن شبکه‌های حمل‌ونقل چندساختی و بالا بودن پیچیدگی محاسبات اشاره کرد. همچنین، این مطالعه با مطالعات پیشین از لحاظ محتوا قابل قیاس نیست، زیرا مطالعات پیشین درون‌شهری است و مسایل خاص خود را دارد، در حالی که این مطالعه برون‌شهری است. برنامه‌ریزی سفرهای درون شهری روزانه بوده و مدل‌سازی محدود به یک روز است، در حالی که برنامه‌ریزی سفرهای برون‌شهری چنین نیست که با مدل‌سازی جدید و در نظر گرفتن زمان متناوب، این مشکل برطرف شده است. از سویی دیگر یا توجه به ماهیت فعالیت‌ها در برنامه‌ریزی سفرهای برون‌شهری نیازمند مدل‌سازی و محاسبه مدت زمان انتظار و مدت زمان انجام فعالیت‌ها است که این ماژول نیز به برنامه‌ریزی سفر افزوده شده است.

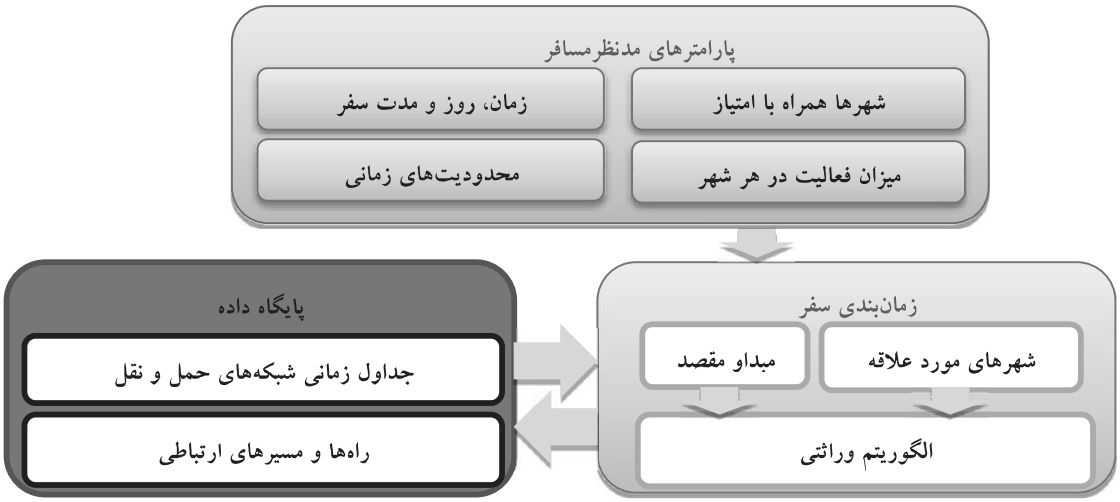
۳. روش پیشنهادی

روش اجرای برنامه همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، دارای سه قسمت است. قسمت اول، اطلاعات کاربر است که زمان شروع سفر، شهرهای مورد علاقه کاربر همراه با امتیاز آنها، مدت زمان انجام فعالیت، محدوده زمانی انجام فعالیت در هر شهر و مدت زمان سفر است، این اطلاعات از کاربر دریافت می‌شود. قسمت دوم که بخش اصلی است، برنامه زمان‌بندی سفر است که با استفاده از الگوریتم وراثتی اجرا می‌شود. قسمت سوم پایگاه داده است که اطلاعات جدول‌های زمانی حرکت وسایل حمل‌ونقل عمومی و راه‌های ارتباطی در آن ذخیره شده است. نمای گرافیکی کاربری مجموعه‌ای است از نشان‌ها، پس زمینه‌ها و کلیدها، که در راستای بهبود کارآیی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ و ۳ واسط گرافیکی که در این پژوهش برای برنامه‌ریزی سفر در نرم افزار Matlab طراحی شده نشان داده شده است. هدف از این واسط گرافیکی دریافت اطلاعات از کاربر و نمایش خروجی برنامه است.

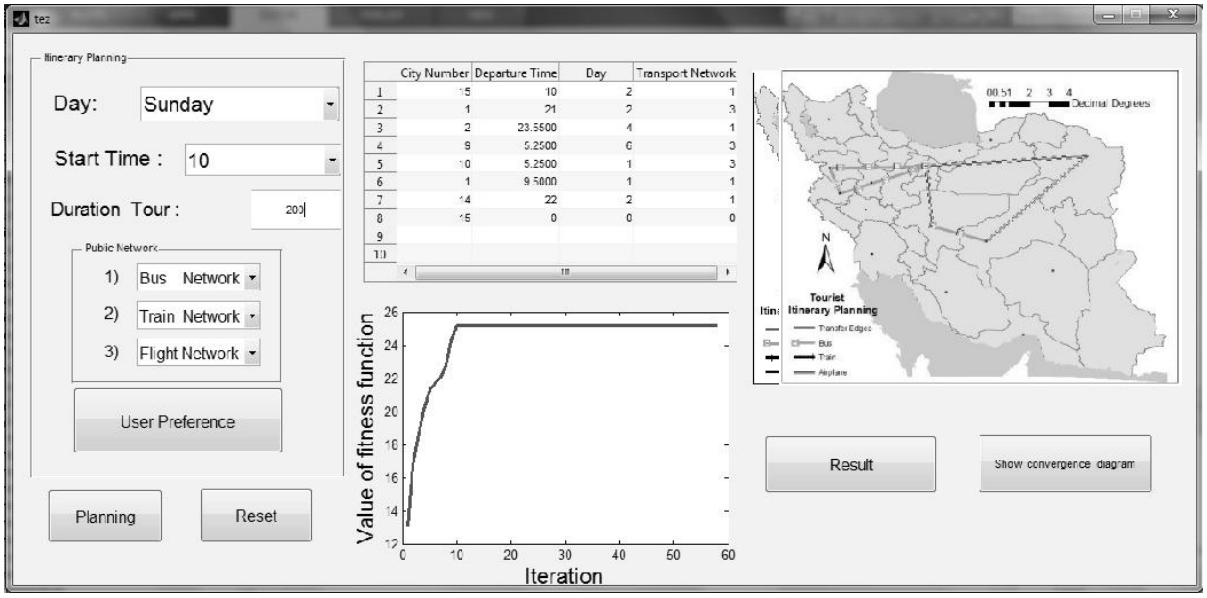
۳-۱ فرمول‌بندی مسئله

مطالعه حاضر، توسعه‌ای از مسئله فروشنده دوره‌گرد انتخابی [Laporte and Martello, 1990] است که با هدف برنامه‌ریزی سفر برای گردشگران انجام می‌شود و بنابراین موارد خاص مرتبط با این هدف لحاظ شده است (شکل ٤)، از جمله:

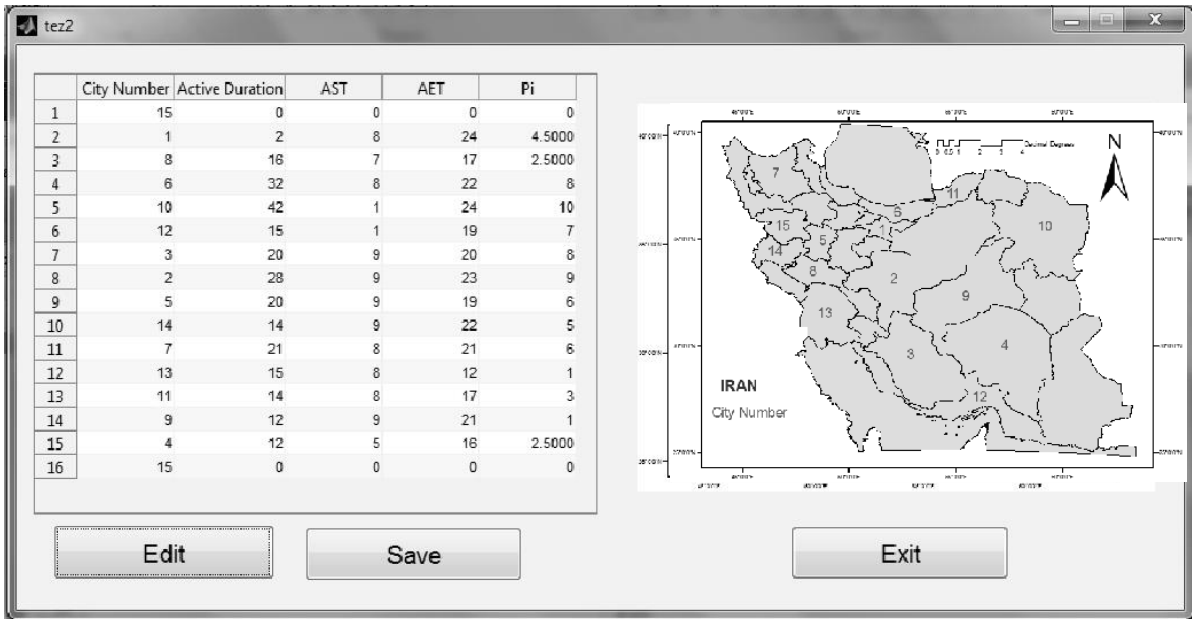
– سیستم حمل‌ونقل عمومی و علایق شخص مد نظر قرار می‌گیرد.



شکل ۱. ساختار پیشنهادی



شکل ۲. رابط گرافیکی زمان‌بندی سفر



شکل۳. رابط گرافیکی برنامه فعالیت‌ها و محدودیت‌های زمانی

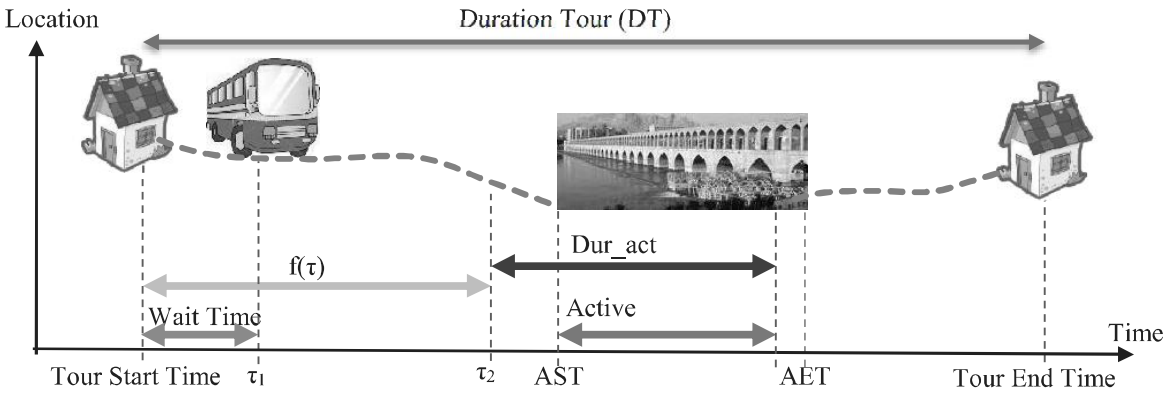
با توجه به ماهیت این شبکه‌ها، محدودیت‌هایی برای زمان شروع سفر وجود دارد، زیرا در وسایل حمل و نقل عمومی، زمان حرکت بر طبق یک جدول زمانی از پیش مشخص است.

– مدت زمان فعالیت کاربر در هر شهر و محدوده زمانی که فعالیت در آن بازه رخ می‌دهد، در نظر گرفته می‌شود.

– تور بسته یا باز است. در تور بسته کاربر به شهری که سفر را از آن آغاز کرده، باز می‌گردد و در تور باز مقصد پایانی شهر دیگری است.

– مدت زمان سفر مشخص است و برنامه‌ریزی سفر نباید از این مدت معین تجاوز کند.

– کاربر به شهرهای مورد علاقه بر اساس اهمیت امتیازدهی می‌کند و این امتیاز مبنایی برای عبور از همه نقاط یا برخی نقاط است.



شکل ٤. عناصر طراحی سفر

این مسئله به وسیله یک گراف جهت‌دار و وزن‌دار کامل به صورت G(V,E,W) مدل می‌شود که در آن V شامل مجموعه‌ای از شهرها، E بیانگر مجموعه از یال‌های ارتباطی بین شهرهاست و به هر یال یک وزن $W(C_i, C_j)$ که یک عدد مثبت است، نسبت داده می‌شود که بیانگر مدت زمان سفر بین شهر iام (C_i) و شهر jام (C_j) است. این وزن یال‌ها وابسته به زمان است و در طول زمان متغیر است.

بیان ریاضی مسئله به شرح زیر است [Abbaspour and Samadzegan, 2011 Laporte and Martello, 1990]:

$$\max\left(\frac{\sum(P_i Y_i)^2}{\sum(WaitT_i Y_i)^{1/2}}\right) \quad (1)$$

Subject to: (2)

$$\sum_i \sum_j X_{ij} f(\tau)_{ij} + \sum_i Dur - act_i \leq DT,$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq k}} X_{ik} = \sum_{\substack{j \\ j \neq k}} X_{kj} \leq 1, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in s, j \in s} X_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V, |S| \geq 3, \quad (4)$$

$$Y_i, X_{ij} \in \{0,1\} \quad (5)$$

در بیان ریاضی مسئله، رابطه (۱) بیانگر تابع هدف است و در این رابطه $WaitT_i$ میزان زمان انتظار تا زمان عزیمت در هر شهر i و P_i امتیاز شهر i است، همچنین در این رابطه متغیر Y به هر گره (شهر) نسبت داده می‌شود و Y_i برابر صفر یا یک است. هنگامی که این متغیر برابر یک است، شهر i در تابع هدف موثر و در برنامه سفر استفاده می‌شود، در غیر این صورت شهر i مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. قید رابطه (۲) طراحی برنامه‌ریزی سفر را به مدت زمان معین سفر(DT) محدود می‌کند و در این رابطه X_{ij} یک متغیر دودویی بیانگر ارتباط بین دو شهر i و j است، در صورتی که دو شهر با یکدیگر متصل بوده این متغیر برابر یک بوده و در غیر این صورت برابر صفر است.

$f(\tau)_{ij}$ مدت میزان سفر بین دو شهر i و j است که نحوه مدلسازی آن در شبکه‌های حمل و نقل به شرح زیر است:

اساس تمام مدل‌های شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی، جدول زمانی است. یک جدول زمانی یک چهارتایی (C, B , Z , Π) است که در آن B مجموعه‌ای از ایستگاه‌ها، Z مجموعه‌ای از وسایل حمل‌ونقل، Π زمان تناوب جدول زمانی و C مجموعه عناصر اتصال است. یک عنصر اتصال از C بصورت $c= (z, Si, Sj, D, \tau_1, \tau_2)$ تعریف شده و چنین تفسیر می‌گردد: اتوبوس $z \in Z$ از ایستگاه S_i به ایستگاه $S_2 \in B$ می‌رود. در روز D، این اتوبوس در $S_i \in B$ در زمان $\tau_1 < \Pi$ حرکت می‌کند و در $\tau_2 < \Pi$ به ایستگاه S_i می‌رسد. در این ساختار، اگر زمان رسیدن τ_2 بزرگ‌تر از زمان خروج τ_1 باشد، زمان سفر C توسط $\tau_2 - \tau_1$ محاسبه می‌شود. بصورت کلی، رابطه ٦ برای محاسبه زمان سفر قراردادی بین دو نقطه زمانی τ_1

و τ_2 استفاده می‌شود [Liu, 2011 Pajor, 2009].

$$|\Delta| = \begin{cases} \tau_2 - \tau_1, & and \tau_2 > \tau_1 \\ \pi - \tau_2 + \tau_1, & Otherwise \end{cases} \quad (٦)$$

برای محاسبه میزان سفر بین دو نقطه S_i و S_j، در جدول زمانی یک نقطه درونیابی $p = (\tau_1, \Delta(\tau_1, \tau_2))$ به تابع f که متعلق به یال S_i و S_j است، اضافه می‌شود. درون‌یابی نقاط با رویداد زمان خروج در یک یال خاص از شبکه مرتبط است. بنابراین، اگر تابع f در نقطه درون‌یابی τ_i ارزیابی شود، مقدار $f(\tau_i)$ نتیجه دقیقی از زمان سفر iامین وسیله حمل‌ونقل آن قطعه است. به عبارت دیگر، اگر یک نقطه زودتر از زمان حرکت $\tau < \tau_i$ در نظر گرفته شود و زمان سفر محاسبه شود، ابتدا باید میزان انتظار در ایستگاه S_i تا زمان شروع حرکت وسیله حمل و نقل محاسبه شود. بنابراین وزن یال $f(\tau)$، ترکیبی از زمان سفر به اضافه زمان میزان انتظار است که در رابطه ۷ نشان داده شده است [Pajor, 2009]:

$$f(\tau) = WaitT + \Delta \quad (٧)$$

در این مطالعه، شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی هواپیما، قطار و اتوبوس‌ها استفاده می‌شود. زمان تناوب برنامه حرکت این وسایل یک هفته است.

در رابطه (۲)، Dur_act_i مدت زمانی است که گردشگر در شهر i طی می‌کند تا فعالیت‌هایش با توجه به محدودیت‌هایش را سپری کند. میزان فعالیت همراه با محدودیت‌های زمانی انجام فعالیت در هر شهر توسط رابط گرافیکی که در شکل ۳ نمایش داده شده است، از کاربر دریافت می‌شود. اساس سفر، حضور و اجرای فعالیت‌ها در مکان و زمان‌های خاص است. بنابراین، میزان و محدودیت‌های فعالیت در برنامه‌ریزی سفر نقش اساسی ایفا می‌کند. برنامه فعالیت‌ها، دسترسی به مکان در زمان‌های معین و میزان فعالیت را در مکان را مشخص می‌کند.در برنامه‌ریزی سفر، باید سه بعد مکان، زمان و فعالیت در نظر گرفته شوند و سیستم برنامه‌ریزی سفر این سه بعد را در نظر بگیرد به نحوی که میزان زمان بیکاری را کاهش داده و کاربران را در استفاده بهینه از زمان یاری نماید [Garcia, et al., 2010].

الگوریتم ۱. محاسبه مدت زمان انجام فعالیت

```
Input: (ArraiveT, Active, AET, AST)
Output: Duration of Activity (Dur_act)
//AST =Active Start Time
//AET =Active End Time
// ArriveT= Arrive Time To i City
//Active= Active
1.  S_E=AET-AST;
2.  Dur_act0=AST+Active;
3.  if ArriveT <=AST
4.  Wait1=AST- ArriveT;
5.  elseif (ArriveT >=AET);
6.  Wait1=24- ArriveT +AST;
7.  else
8.  Wait1=0;
9.  Dur_act0=Active+ ArriveT;
10. end
11. ArriveT =AST;
12. if AET<AST;
13. S_E= S_E+24;
14. AST=0;
15. AET=S_E;
16. ArriveT = ArriveT -AST;
17. end
18. if Dur_act0>AET
19. Active1=mod(Active,S_E);
20. Iter=(Active-Active1)/S_E;
21. if Active1==0
22. Iter= Iter-1;
23. Active1=S_E;
24. End //end if Active1==0
25. Dur_act=Wait1+Iter*24+Active1;
26. else
27. Dur_act=Wait1+Active;
28. End
```

در این مطالعه، زمان تناوب جدول شبکه‌های حمل‌ونقل عمومی یک هفته است. زمان کلی سفر همراه با فعالیت برای هر شهر از مجموع میزان انتظار شروع حرکت، مدت زمان سفر (Δ) و مدت زمان انجام فعالیت در شهر مقصد محاسبه می‌شود. مدت زمان انجام فعالیت با استفاده از الگوریتم ۱، محاسبه می‌شود. ورودی این الگوریتم: شهر مورد علاقه، زمان ورود به شهر، میزان و محدوده زمانی انجام فعالیت در شهر مدنظر است. خروجی این تابع Dur_act است که مدت زمانی است که فعالیت انجام می‌شود.

رابطه (۳) مرتبط با برنامه‌ریزی سفر است و در این مطالعه این هدف با الگوریتم وراثتی حاصل می‌شود. در این الگوریتم هر کروموزوم بیانگر یک جواب و راه حل است و رابطه (۳) قید بازید یک و تنها یکبار از هر شهر در کروموزم بکار گرفته می‌شود. قید رابطه (٤) تضمین می‌کند در شهرهای چیده شده در هر راه‌حل یا جواب لوپ داخلی وجود ندارد. در این رابطه S مجموعه‌ای از شهرهای مدنظر است و $|S|$ تعداد شهرهای این مجموعه است. بر اساس این بیان، پارامتر کلیدی در طراحی سفر مسیر و وزن یال بین دو شهر است.

۳-۲ برنامه‌ریزی سفر

در برنامه‌ریزی سفر تابع هدف، یافتن بهترین زمان‌بندی و چینش شهرها است، به نحوی که کاربر در مدت زمان معین، بیشترین امتیاز از شهرهای بازدید شده را داشته باشد. در این مطالعه، از الگوریتم وراثتی برای بهینه‌سازی هدف استفاده می‌شود. در این الگوریتم هر کروموزوم بیانگر یک جواب و راه حل است. مراحل اجرای این الگوریتم به شرح ذیل است. در اولین گام، نحوه رمزنگاری جواب‌ها معین می‌شود. سپس بر اساس رمزنگاری جمعیت اولیه ایجاد می‌شود که این جمعیت، مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها است. زمان‌بندی سفر از مسایل مرتب‌سازی است. جواب این نوع مسایل وابسته به نحوه ترتیب چینش شهرها در کروموزم است، این مسئله به صورت ترتیبی رمزنگاری می‌شود و هر شهر دارای یک شماره از ۱ تا n است. این شماره‌ها تا پایان اجرای الگوریتم ثابت خواهد ماند. لازم به ذکر است، طول کروموزم ثابت است و جمعیت اولیه به صورت تصادفی بر مبنای رمزنگاری تولید می‌شود[Nezamabadipour, 2010] .

گام دوم، ارزیابی هر کروموزم با توجه به تابع برازندگی است. برای این منظور، ارزش سفر هر کروموزم بر اساس نموداری که در شکل ۵ نشان داده شده است، محاسبه می‌شود. در این نمودار، ورودی: زمان و روز شروع سفر[۳] (τ و TSD)، مدت زمان سفر[٤] (DT)، کروموزم ایجاد شده از شهرها، میزان فعالیت و محدویت‌های زمانی فعالیت در هر شهر (Plan) و آرایه ارزش شهرهای کروموزم ورودی (Cost) است. از آنجا که در این مطالعه، شهر شروع و پایان سفر اجباری است، ارزش این دو شهر در تابع هدف محاسبه نمی‌شود. در این نمودار، MinMM تابعی است که در آن زمان سفر با استفاده از رابطه (۷) برای شبکه‌های چندساختی انتخابی محاسبه شده و شبکه حمل و نقل با کوتاه‌ترین زمان سفر انتخاب می‌شود. DActive تابع محاسبه مدت زمان انجام فعالیت[۵] است که از الگوریتم ۱ محاسبه می‌شود. TDay محاسبه روز و زمان سفر در طول سفر بر اساس مدت زمان طی شده از سفر است که از الگوریتم ۲ محاسبه می‌شود. همچنین Y نشان‌دهنده شهرها یا گره‌های انتخاب شده در برنامه‌ریزی سفر است. گام سوم، عملگر انتخاب است. نرخ انتخاب (X_{rate})، معمولا به صورت قراردادی تعریف می‌شود و برای مشخص کردن کروموزوم‌هایی است، که در نسل بعد باقی می‌مانند (رابطه ۸). هدف از این مرحله، انتخاب والدین به تعداد $Num_{Population} - Num_{keep}$ برای زاد و ولد است. روش‌های زیادی برای عملگر انتخاب از جمله انتخاب تورنمنت، روش چرخ گردان، انتخاب رتبه‌ای وجود دارد. در این تحقیق، از انتخاب چرخ‌گردان، که انتخاب متناسب با شایستگی است، استفاده می‌شود.

$$Num_{keep} = X_{rate} * Num_{Population} \quad (۸)$$

الگوریتم ۲. بروزرسانی روز و زمان سفر (TDay)

```
Input: t , TSD
Output: t , TSD
1.  if (t>24);
2.  tt=mod(t,24);
3.  day2= ((t-tt)/24);
4.  day1= TSD + day2;
5.  if(day1>7)andand(mod(day1,7)~=0);
6.  day1=mod(day1,7);
7.  else(day1>7)                andand
    (mod(day1,7)==0);
8.  day1= TSD ;
9.  end
10. t=tt;
11. TSD=day1;
12. End
```

گام چهارم، عملگر همبری است. از آنجا که این مسئله به صورت ترتیبی رمزنگاری شده است، از روش همبری یال[٦] با قید ثابت بودن ژن ابتدا و انتها استفاده شده است.

گام پنجم، عملگر جهش است. با توجه به رمزنگاری ترتیبی مسئله، عملگر جهش از نوع جابجایی انتخاب شده است با این تفاوت که ژن ابتدا و انتهای کروموزوم ثابت است.

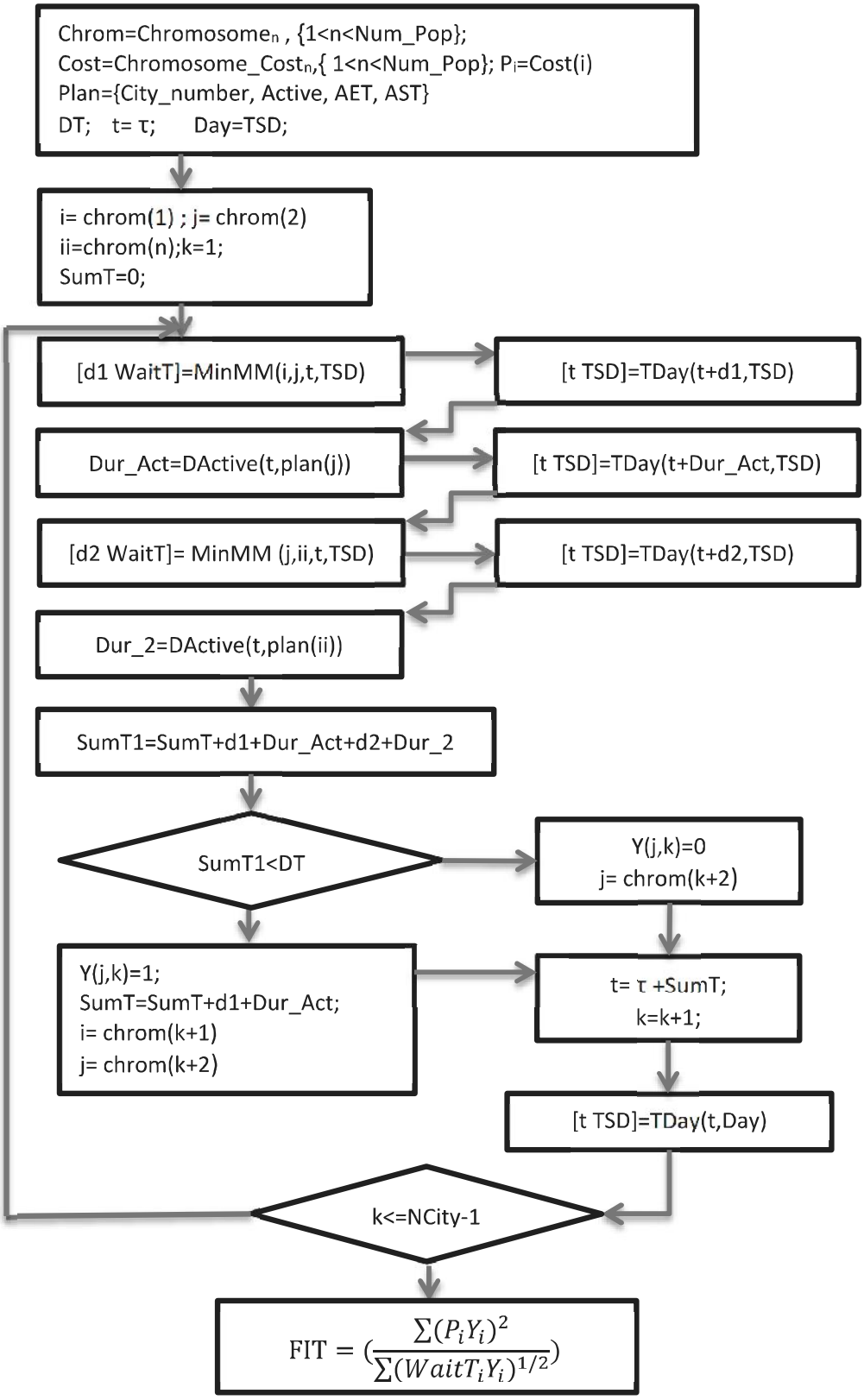
گام ششم، انتخاب نسل بعد است. در این مطالعه به تعداد $Num_{Population} - Num_{keep}$ کروموزم از روش جایگزینی نخبه‌گرا استخراج می‌شود. در این روش بهترین کروموزم‌ها از نسل والد و فرزندان باقی‌مانده و بقیه کروموزم‌ها از بین می‌رود. این فرآیند، یعنی از مرحله ۲ تا مرحله ٦، تا هنگامی که به شرط توقف برسد و جواب قابل قبول ارائه شود، تکرار می‌شود. در پیاده‌سازی انجام شده در این مطالعه، الگوریتم هنگامی متوقف می‌شود که میانگین تابع هدف جمعیت در ۵۰ تکرار متوالی یکسان باشد، در غیر این صورت بعد از ۲۵۰ تکرار، الگوریتم متوقف می‌شود.

٤. پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

چارچوب پیشنهادی با استفاده از داده‌های ۱۵ مرکز استان و مجموعه‌ای از شهرهای ایران پیاده‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. کشور ایران به‌دلیل وجود بناهای تاریخی، مکان‌های تفریحی و تنوع زیستی و اقلیمی دارای قابلیت خوبی در صنعت گردشگری است. با استفاده از برنامه‌ریزی سفر، می‌توان به کاربران در بهره‌گیری از زیرساخت‌های حمل‌ونقل کمک کرد.

به منظور ارزیابی توانایی الگوریتم وراثتی برای برنامه زمان‌بندی سفر، ۵۰ سفر (تور) که پارامترهای ورودی آن به صورت تصادفی انتخاب شد، معین گردید و برای هر درخواست برنامه ۳۰ بار اجرا شد. فرآیند انجام الگوریتم وراثتی همان‌طور که قبلا توضیح داده شد، به این صورت است: در ابتدا جمعیت اولیه تولید می‌شود، در این مطالعه جمعیت اولیه ۲۵۰ کروموزم انتخاب شده است. جمعیت اولیه یک نمونه‌ای بزرگ از فضای جستجو است. در گام بعد، شایستگی هر کروموزم با توجه به تابع هدف محاسبه می‌شود و کروموزم‌ها بر اساس مقدار تابع هدف به صورت نزولی مرتب و ۱۰۰ کروموزم برتر به عنوان جمعیت وارد حلقه تکرار می‌شوند. گام سوم، عملگر انتخاب است. نرخ انتخاب (X_{rate})، معمولاً به صورت قراردادی تعریف می‌شود و برای مشخص کردن کروموزوم‌هایی است که در نسل بعد باقی می‌مانند و در این مطالعه ۵۰٪ در نظر گرفته شده است (رابطه ۸). هدف از این مرحله، انتخاب والدین به تعداد $Num_{Population} - Num_{keep}$ برای زاد و ولد است [Engelbrecht, 2007, Haupt and Haupt, 2004].

گام بعدی، انتخاب مقادیر عملگرها برای تنظیم پارامترهاست. نتایج پیاده‌سازی‌ها نشان می‌دهد، بازه [۰/۸٦ – ۰/٥٤] و [۰/۱۷ – ۰/۰۷] به ترتیب برای نرخ عملگر همبری و جهش مناسب است. در این بازه، اختلاف معناداری برای یافتن جواب بهینه دیده نشد. بنابراین در این مطالعه نرخ همبری و جهش به ترتیب ۰/۷٤ و ۰/۰۱۳ و برای مشخص کردن نسل بعد استراتژی نخبه‌گرا در نظر گرفته شد. شکل ٦ (الف) بیانگر یک سفر است که ترتیب بهینه بازدید از شهرها را نشان می‌دهد که در آن، سفر از شهر شماره ۱۳ (اهواز) شروع شده و به ترتیب از شهرهای با شماره ۱، ۳، ۱۲، ۱۰، ۹، ۲، ۸، ۱۵ عبور کرده و در پایان، به شهر ۱۳ (شهر آغاز سفر) برگشته است. همچنین شکل ۷ (الف)، نشان‌دهنده برنامه زمان‌بندی سفری است که در آن پارامترهای ورودی مدت زمان سفر، روز و زمان شروع سفر، مدت زمان فعالیت ، بازه انجام فعالیت در هر شهر همراه با میزان امتیاز هر شهر مشابه با شکل ٦ (الف) است و تنها تفاوت در این دو زمان‌بندی سفر، شبکه‌های حمل و نقل است. در شکل ٦ (الف) شبکه‌های حمل و نقل مورد علاقه هواپیما، اتوبوس و قطار هستند و در شکل ۷ (الف) تنها شبکه حمل و نقل مورد علاقه کاربر شبکه اتوبوس‌ها انتخاب شده است. در شکل ۸ (الف) برنامه زمان‌بندی سفرهایی نمایش داده شده است که پارامترهای ورودی توسط کاربر به غیر از روز و زمان شروع به ترتیب مشابه پارامترهای شکل ٦ (الف) است، و این نشان دهنده وابستگی برنامه‌ریزی سفر به زمان شروع سفر است. در شکل ۹ (الف) برنامه‌ریزی سفری نشان داده شده است که در آن پارامترهای ورودی کاربر به غیر از امتیاز شهرها مشابه با شکل



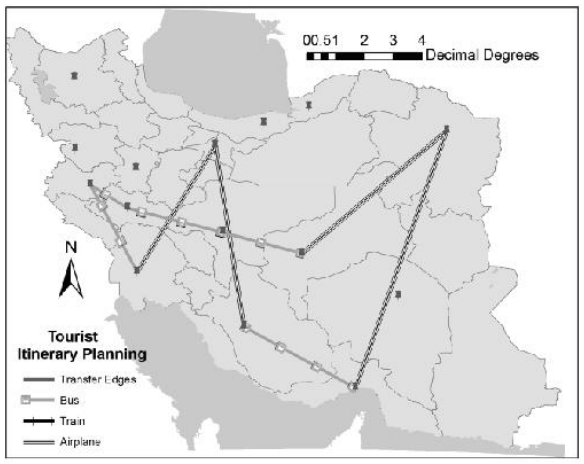
شکل ۵. نمودار محاسبه تابع هدف

۱۰ (الف) است که این نشان‌دهنده اهمیت امتیاز شهرها برای انتخاب در سفر است.

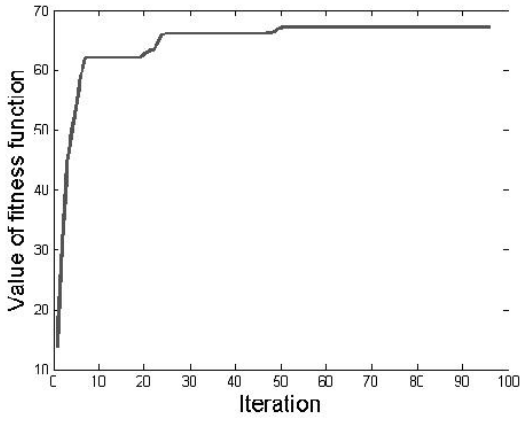
همان‌طور که ذکر شد، برنامه‌ریزی سفر به روز و زمان شروع سفر وابستگی دارد، به این منظور ۵۰ سفر به نحوی طراحی شد که تمام پارامترهای ورودی آن به جز روز و زمان شروع سفر ثابت بود و این دو پارامتر تغییر کرد. نتایج این طراحی سفر به ۳ دسته تقسیم‌بندی می‌شود. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است ۱۲ درصد از سفرها بدون تغییر باقی ماندند، در حالی‌که پارامترهای دیگر از جمله ترتیب بازدید از شهرهای مورد علاقه در ۱۲ درصد موارد و تعداد شهرهای انتخابی همراه با ترتیب بازدید از آنها در ۷۶ درصد تغییر کرد که نشان‌دهنده اهمیت زمان شروع سفر است.

به منظور ارزیابی توانایی و کیفیت چارچوب پیشنهادی، ۵۰ سفر (تور) با پارامترهای ورودی تصادفی انتخاب گردیده و هر درخواست، ۳۰ بار اجرا شد. در سه مورد از ۵۰ مورد، توری طراحی نمی‌شود، که این، به دلیل ناسازگاری بین امتیاز بازدید از شهرها و مدت زمان تور است. ۴۷ تور باقیمانده با محاسبه میانگین و بهترین جواب در ۳۰ تکرار، میزان خطای نسبی، طبق رابطه ۹ [Shi, et al. 2007] محاسبه و چارچوب پیشنهادی ارزیابی شده است. در این رابطه Ave میانگین تابع شایستگی در ۳۰ تکرار و Opt بهترین تابع شایستگی در ۳۰ تکرار الگوریتم است.

$$Err = (Ave - Opt)/Opt \times 100\% \quad (۹)$$

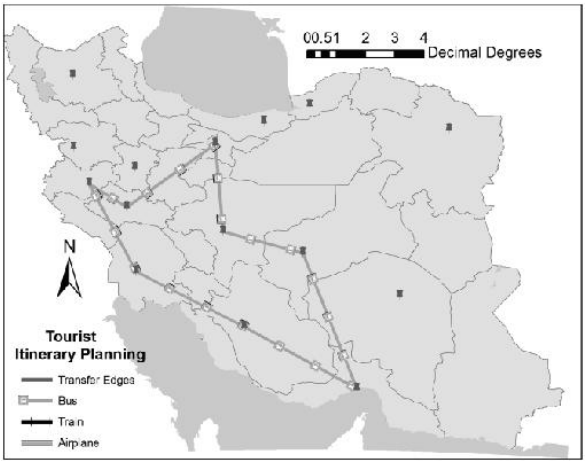


(الف)

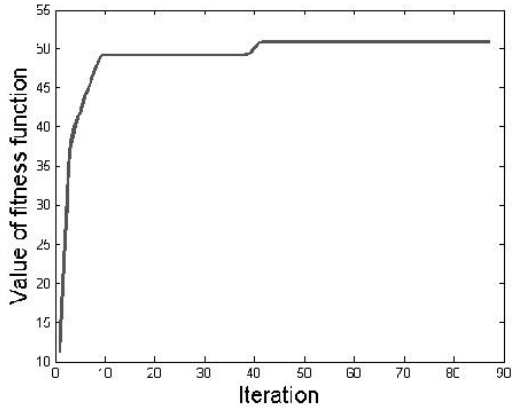


(ب)

شکل ٦. (الف) زمان‌بندی سفر درشبکه حمل و نقل‌های اتوبوس، قطار و هواپیما (ب) نمودار همگرایی

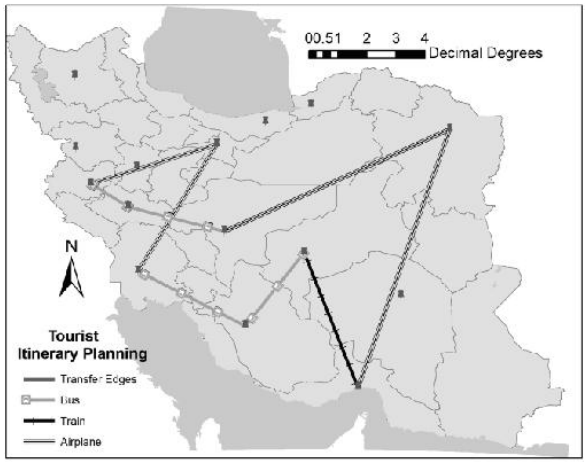


(الف)

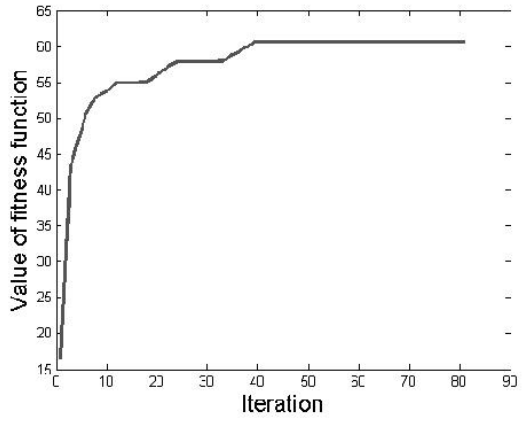


(ب)

شکل ۷. (الف) زمان‌بندی سفر درشبکه حمل و نقل اتوبوس‌ها (ب) نمودار همگرایی

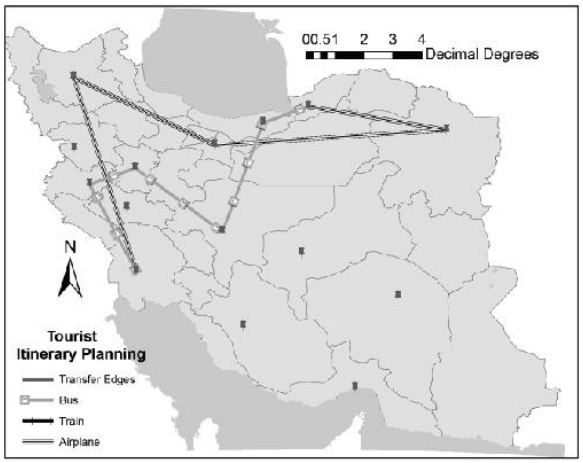


(الف)

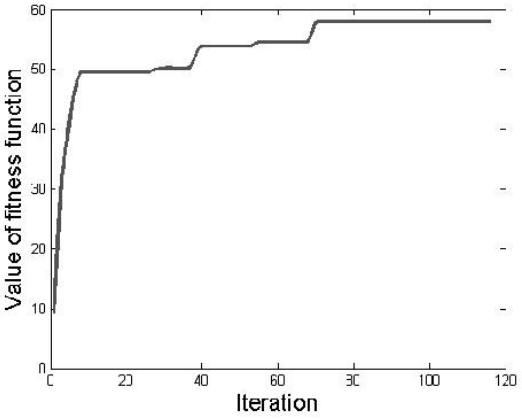


(ب)

شکل ۸ .(الف) زمان‌بندی سفر درشبکه حمل و نقل‌های اتوبوس، قطار و هواپیما (ب) نمودار همگرایی



(الف)



(ب)

شکل ۹. (الف) زمان‌بندی سفر درشبکه حمل و نقل‌های اتوبوس، قطار و هواپیما (ب) نمودار همگرایی

شکل ۱۰. تغییرات در تور بدلیل تغییر روز و زمان شروع سفر

بررسی و ارزیابی پیاده‌سازی‌ها نشان می‌دهد:

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، بیشترین خطای نسبی ۹/٦٪ است و میانگین خطای نسبی برای ۵۰ درخواست ۵/۲٪ است. بنابراین نتایج عددی ارزیابی تورها، خوب است.

– در بررسی کیفیت و توانایی چارچوب پیشنهادی دیده شد، در صورت ناسازگاری بین مدت زمان تور و پارامترهای ورودی توری طراحی نمی‌شود.

– با افزایش مدت زمان سفر تعداد تکرارهای الگوریتم وراثتی افزایش می‌یابد و در پیاده‌سازی‌ها در تعداد تکرارها بین ۵۰ تا ۱۸۵ است.

– همچنین مقایسه نتایج نشان می‌دهد در شرایط یکسان، هنگامی که روز و زمان شروع سفر تغییر می‌کند، در بیشتر موارد برنامه‌ریزهای سفر تغییر می‌کند که این رفتار به این دلیل است که برنامه‌ریزی سفر دارای ماهیتی وابسته به روز و زمان شروع سفر است.

جدول ۱. نتایج ارزیابی پیاده‌سازی تورها

شماره	تعداد شهرهای اولیه	تعداد شهرهای انتخابی	میزان خطای نسبی	شماره	تعداد شهرهای اولیه	تعداد شهرهای انتخابی	میزان خطای نسبی
۱	۱۵	۱۲	۰/۰۷٤	۲۵	۱۵	۸	۰/۰۳۸
۲	۱۵	۱۲	۰/۰۹٦	۲٦	۱۵	۱۱	۰/۰۹۵
۳	۱۵	۸	۰/۰۲۳	۲۷	۱۵	۵	۰/۰۱٦
٤	۱۵	۷	۰/۰٤	۲۸	۱۵	٤	۰
۵	۱۵	۸	۰/۰٤۹	۲۹	۱۵	۸	۰/۰۱۵
٦	۱۵	۹	۰/۰۸	۳۰	۱۵	۹	۰/۰٤٤
۷	۱۵	۱۰	۰/۰۸۳	۳۱	۱٤	۹	۰/۰۷۵
۸	۱۵	۱۱	۰/۰۸	۳۲	۱٤	۱۰	۰/۰٤۲
۹	۱۵	۱۱	۰/۰۸۲	۳۳	۱٤	۸	۰/۰٤٦
۱۰	۱۵	۱۳	۰/۰۷۳	۳٤	۱٤	۱۰	۰/۰۹٦
۱۱	۱۵	۱۱	۰/۰۹	۳۵	۱٤	۱۱	۰/۰۸٦
۱۲	۱۵	۹	۰/۰۷۸	۳٦	۱۳	۹	۰/۰٤۸
۱۳	۱۵	۸	۰/۰۳	۳۷	۱۳	۱۰	۰/۰۹۳
۱٤	۱۵	۱۰	۰/۰۷	۳۸	۱۳	۷	۰/۰۵۱
۱۵	۱۵	۸	۰/۰٤٦	۳۹	۱۳	۱۰	۰/۰۵٦
۱٦	۱۵	۷	۰/۰۳۹	٤۰	۱۲	٦	۰/۰۱۲
۱۷	۱۵	۸	۰/۰۷٤	٤۱	۱۲	۵	۰/۰۳٤
۱۸	۱۵	۱۰	۰/۰۲٦	٤۲	۱۲	٤	۰/۰۰۱
۱۹	۱۵	۵	۰	٤۳	۱۲	۵	۰/۰٦
۲۰	۱۵	٤	۰/۰۳۵	٤٤	۱۲	۱۱	۰/۰۹
۲۱	۱۵	۷	۰/۰۲۵	٤۵	۱۱	۹	۰/۰٤۲
۲۲	۱۵	٦	۰/۰۳۷	٤٦	۱۱	۹	۰/۰٦٤
۲۳	۱۵	۷	۰/۰۱۳	٤۷	۱۱	٦	۰/۰٦۳
۲٤	۱۵	۷	۰/۰۲۷				

– بررسی نمودارهای همگرایی نشان می‌دهد، نمودار همگرایی در موارد مختلف رفتاری مشابه دارد و تکرارهای اولیه، مقادیر تابع هدف دارای یک افزایش قابل توجهی است و در ادامه افزایش کمی دیده می‌شود تا به یک سطح پایدار و همگرا رسیده شود.

۵ . نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در طراحی سفر در شبکه‌های چندساختی، روش‌های بهینه‌سازی با هماهنگ‌سازی جداول زمان‌بندی شبکه‌های حمل‌ونقل، زمان‌های تلف شده در نقاط تبادل سفر به حداقل می‌رسد. با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی همچون الگوریتم وراثتی و روش‌های فراابتکاری می‌توان بهترین چینش و زمان‌بندی بهینه را از مجموعه جواب‌ها یافت کرده و نمودار همگرایی را در کوتاه‌ترین زمان به‌دست آورد. همچنین نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد که عملگرهای وراثتی در یافتن بهترین جواب و سرعت همگرایی نقش زیادی دارد. در این مطالعه سعی شد با تنظیم پارامترهای نرخ انتخاب، نرخ همبری و جهش، جواب بهینه در کمترین اجرای الگوریتم و در یک زمان قابل قبول به‌دست آید.

چارچوب پیشنهادی برای مجموعه‌ای از داده‌های ایران ارزیابی شده است. در این مطالعه شبکه‌های حمل و نقل اتوبوس، هواپیما و قطار برای استفاده در این مطالعه انتخاب شد و با ۵۰ درخواست با پارامترهای متفاوت، ارزیابی شد و نتایج نشان می‌دهد، روش پیشنهادی قابلیت بسیاری برای حل برنامه‌ریزی سفر در یک فضای بزرگ جستجو را دارد.

در ساختار پیشنهادی، دسترسی به داده‌های جدول زمانی حرکات وسایل حمل‌ونقل نقش اساسی برای رسیدن به نتایج صحیح ایفا می‌کند. این داده‌ها باید به طور صحیح، دقیق و کامل شرایط مکانی–زمانی را بیان کنند. بنابراین دقیق، صحیح و در دسترس بودن داده‌ها، نتایج و برنامه سفر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. استمرار و بروزرسانی داده‌ها، نیازمند تلاش قابل توجهی است که بایستی مد نظر قرار گیرد.

در نهایت، در برنامه‌ریزی سفر این مطالعه، تنها پارامتر زمان حل مسئله در نظر گرفته شد. درحالی‌که در شرایط واقعی، گردشگران برای زمان‌بندی سفر معیارهای مختلفی از قبیل هزینه، زمان، تعداد پارامترهای نقل و انتقال و شرایط آب و هوایی را مد نظر قرار می‌دهد. در نظر گرفتن این پارامترها می‌تواند به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی در این زمینه در نظر گرفته شود.

۶. پی نوشتها

1- Tourist Trip Design Problem
2- Orienteering Problem
3- Time Start Day
4- Duration of Tour
5- Duration of Activity
6- Edge Recombination (ER)

۷. مراجع

– نظام‌آبادی، حسین (۱۳۸۹) "الگوریتم وراثتی مفاهیم پایه و مباحث پیشرفته"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۳۰ص

- Abbaspour, R. and Samadzadegan, F. (2009) "Itinerary planning in multimodal urban transportation network", Journal of Applied Sciences,Vol. 9, No. 10, pp. 1898-1906

- Abbaspour, R. A. and Samadzadegan, F. (2011) "Time-dependent personal tour planning and scheduling in metropolises", Expert Systems with Applications,Vol. 38,No. 10, pp. 12439-12452

- Aifadopoulou, G., Ziliaskopoulos, A. and Chrisohoou, E. (2007) "Multiobjective optimum path algorithm for passenger pretrip planning in multimodal transportation networks", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,Vol. 2032,No. 1, pp. 26-34

- Androutsopoulos, K. N. and Zografos, K. G. (2009) "Solving the multi-criteria time-dependent routing and scheduling problem in a multimodal fixed scheduled network", European Journal of Operational Research,Vol. 192, No. 1, pp. 18-28

-Garcia, A., Arbelaitz, O., Linaza, M.T., Vansteenwe-

- Michel, G., Gilbert, L. and Frederic, S. (1998) "A tabu search heuristic for the undirected selective traveling salesman problem." European J of Operational,Vol. 106, No. 1, pp. 539-545

- Niknafs, A. A., Shiri, M. E. and Javidi, M. M.(2003) "'A case-based reasoning approach in e-tourism: tour itinerary planning', in Editor (Ed.)^(Eds.)": 'Book A case-based reasoning approach in e-tourism: tour itinerary planning' (IEEE, 2003, edn.), pp. 818-822

- Pajor, T. (2009) "Multi-modal route planning", Master thesis, Univ. Karlsruhe (TH)

- Shi, X. H., Liang, Y. C., Lee, H. P., Lu, C. and Wang, Q. (2007) "Particle swarm optimization-based algorithms for TSP and generalized TSP.", Information Processing Letters,Vol. 103, No. 5, pp. 169-176

- Tang, H. and Miller-Hooks, E. (2005) "A tabu search heuristic for the team orienteering problem." Computers and Operations Research,Vol. 32, No. 6, pp. 1379-1407

- Wang, D. and Cheng, T. (2001) "A spatio-temporal data model for activity-based transport demand modelling." International Journal of Geographical Information Science,Vol. 15, No. 6, pp. 561-585

- Zografos, K. G. and Androutsopoulos, K. N. (2008) "Algorithms for itinerary planning in multimodal transportation networks", Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on,Vol. 9,No. 1, pp. 175-184

gen, P. and Souffriau, W. (2010) "Personalized tourist route generation", Springer

- Garcia, A., Vansteenwegen, P., Arbelaitz, O., Souffriau, W. and Linaza, M.T. (2013) "Integrating public transportation in personalised electronic tourist guides", Computers and Operations Research,Vol. 40,No. 3, pp. 758-774

- Hagen, K., Kramer, R., Hermkes, M., Schumann, B. and Mueller, P. (2005) "Semantic matching and heuristic search for a dynamic tour guide" , Information and Communication Technologies in Tourism 2005,Vol., pp. 149-159

- Ke, L., Archetti, C. and Feng, Z. (2008) "Ants can solve the team orienteering problem." Computers and Industrial Engineering,Vol. 54, No. 3, pp. 648-665

- Laporte, G. and Martello, S. (1990) "The selective travelling salesman problem", Discrete Applied Mathematics,Vol. 26, No. 2, pp. 193-207

- Liang, Y.-C., Kulturel-Konak, S. and Smith, A.E. (2002) "Meta heuristics for the orienteering problem", in Editor (Ed.)^(Eds.): "Book Meta heuristics for the orienteering problem" (IEEE, 2002, edn.), pp. 384-389

- Liu, L. (2011) "Data model and algorithms for multimodal route planning with transportation networks." Munchen, Techn. Univ., Diss.

- Maruyama, A., Shibata, N., Murata, Y., Yasumoto, K. and Ito, M. (2004) "P-Tour: A personal navigation system with travel schedule planning and route guidance based on schedule." Journal of Information Processing Society of Japan,Vol. 45,No. 12, pp. 2678-2687