



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده‌ی مهندسی هوافضا

پروژه درس الگوریتم‌های مدرن در بهینه‌سازی  
مهندسی فضا

عنوان:

# تبدیل الگوریتم بهینه‌سازی تک هدفه REMARK به چند هدفه

نگارش:

علی بنی اسد

استاد راهنما:

دکتر هادی نوبهاری

بهمن ۱۴۰۱



## چکیده

بسیاری از مسائل دنیای واقعی شامل بهینه‌سازی همزمان چندین هدف با محدودیت‌های مختلف است که حل آنها بدون کمک الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری، اگر غیرممکن نباشد، دشوار است. آنچه بهینه‌سازی چند هدفه را بسیار چالش‌برانگیز می‌کند این است که در صورت وجود اهداف متناقض، راه‌حل بهینه‌ای برای همه‌ی اهداف نیست و الگوریتم‌های بهینه‌سازی باید قادر به یافتن تعدادی راه‌حل باشد که بتوان آنها را جایگزین یکدیگر کرد و بین اهداف مصالحه<sup>۱</sup> کرد. با این وجود، چند هدفی یکی از جنبه‌های بهینه‌سازی در دنیای واقعی است. الگوریتم بهینه‌سازی REMARK یک روش جستجوی تصادفی است، که در حل مسائل پیچیده کارآمد و مؤثر است. از مزیت REMARK می‌توان به رویکردهای مبتنی بر ازدحام، عرضه و تقاضا اشاره کرد. این رویکرد باعث ارتباط اعضای جمعیت با یکدیگر می‌شود، که به همگرایی سریعتر و بررسی مکان‌های مستعدتر در فضای جست‌وجو منجر می‌شود. اهمیت دیگر این رویکرد در بهینه‌سازی چندهدفه این است که، هر گروه از جمعیت یک قسمت از مجموعه پارتو<sup>۲</sup> را بررسی می‌کند و این اطمینان را می‌دهد که مجموعه پارتو با تقریب بالایی بررسی می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** الگوریتم‌های بهینه‌سازی، چندهدفه، جمعیت، عرضه، تقاضا، مجموعه پارتو

---

<sup>1</sup>trade-off

<sup>2</sup>Pareto set

# فهرست مطالب

۲	۱ مقدمه
۳	۱-۱ تاریخچه
۴	۲-۱ الگوریتم‌های مبتنی بر رفتار انسان
۵	۲ الگوریتم بهینه‌سازی REMARK
۵	۱-۲ مفاهیم و نظریه
۵	۱-۱-۲ تقاضا
۶	۲-۱-۲ عرضه
۷	۳-۱-۲ تنظیم قیمت
۷	۲-۲ چارچوب الگوریتم REMARK

## فهرست شکل‌ها

۶	۱-۲ قضیه اساسی تقاضا [۱۱]
۶	۲-۲ تغییر در برنامه تقاضا
۷	۳-۲ قضیه اساسی تقاضا
۷	۴-۲ تعیین قیمت در بازار

## فهرست جدول‌ها

# فصل ۱

## مقدمه

بهینه‌سازی یک فرآیند تصمیم‌گیری است که بیشترین سود از منابع موجود قابل دسترس به دست آید. مثال‌های ساده از بهینه‌سازی شامل تصمیم‌گیری‌های روزمره، مانند نوع حمل و نقل، لباس پوشیدن و خرید مواد غذایی است. برای این وظایف، تصمیم‌گیری می‌تواند بسیار ساده باشد. به عنوان مثال، اکثر مردم ارزان‌ترین حمل و نقل را انتخاب می‌کنند. اکنون شرایطی را در نظر بگیرید که به دلیل برخی شرایط پیش‌بینی نشده، زمانی تا شروع جلسه باقی نمانده است. از آنجایی که سفر با اولین وسیله، با هدف به حداقل رساندن هزینه در تضاد است، انتخاب حمل و نقل بهینه دیگر مانند گذشته ساده نیست و راه حل نهایی نشان دهنده سازش بین اهداف مختلف خواهد بود. این نوع مسائل که شامل در نظر گرفتن همزمان اهداف چندگانه است معمولاً به عنوان مسائل چند هدفه (Multi-Objective) شناخته می‌شوند.

بسیاری از مشکلات دنیای واقعی به طور طبیعی شامل بهینه‌سازی همزمان چندین هدف در تضاد است. متأسفانه، این مشکلات دارای اهدافی هستند که در مقایسه با کارهای معمولی که در بالا ذکر شد، بسیار پیچیده‌تر هستند و فضای تصمیم‌گیری اهداف معمولاً آنقدر بزرگ است که حل آنها بدون تکنیک‌های بهینه‌سازی پیشرفته و کارآمد دشوار است. این پروژه به بررسی کاربرد یک روش بهینه‌سازی کارآمد، معروف به بهینه‌سازی REMARK، در زمینه بهینه‌سازی چندهدفه می‌پردازد.

برای یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه ساده، احتمال اینکه جواب بهینه‌ای<sup>۱</sup> یافت شود که به طور همزمان، تمامی توابع هدف تعریف شده در مسأله را بهینه‌سازی کند، بسیار کم است. در بسیاری از موارد، توابع هدف تعریف شده در مسأله بهینه‌سازی چند هدفه با یکدیگر در تناقض هستند. در چنین حالتی گفته می‌شود که

---

<sup>1</sup>Optimal Solution

برای یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه، جواب‌های بهینه پارتو<sup>۲</sup> وجود خواهد داشت. از لحاظ تئوری، ممکن است بی‌نهایت جواب بهینه پارتو برای یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه وجود داشته باشد.

## ۱-۱ تاریخچه

مفهوم برابری<sup>۳</sup> عدم فرومایگی<sup>۴</sup> برای اولین بار توسط ویلفردو پارتو<sup>۵</sup> و فرانسیس وای. اجورث<sup>۶</sup> و در حوزه اقتصاد معرفی شد. از آن زمان تاکنون، مفهوم بهینه‌سازی چند هدفه، جای پای خود را در حوزه طراحی و مهندسی مستحکم کرده است. ترجمه تحقیقات ویلفردو پارتو ب در سال ۱۹۷۱ منجر به پیاده‌سازی روش بهینه‌سازی چند هدفه در حوزه مهندسی و ریاضیات کاربردی شد. در طول سه دهه اخیر، به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه در بسیاری از حوزه‌های مهندسی و طراحی به رشد ثابت خود ادامه داده است.

رویکردهای سنتی برای بهینه‌سازی چند هدفه معمولاً مستلزم تبدیل مسئله اصلی به یک مسئله تک هدفه<sup>۷</sup> است. چنین رویکردهایی دارای محدودیت‌های متعددی هستند، از جمله تولید تنها یک راه‌حل برای هر اجرای شبیه‌سازی، نیاز مسئله چند هدفه برای ارضای شرایط کوهن تا کر و حساسیت به شکل جبهه پارتو<sup>۸</sup>. از سوی دیگر، استفاده از رویکردهای فراابتکاری<sup>۹</sup> که از پدیده‌های اجتماعی، بیولوژیکی یا فیزیک الهام گرفته شده‌اند، مانند الگوریتم مبتنی بر رفتار انسان (REMARK)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، الگوریتم تکاملی (EA)، سیستم ایمنی مصنوعی (AIS)، تکامل دیفرانسیلی (DE)، و تبرید شبیه‌سازی شده (SA) در سال‌های اخیر به عنوان جایگزین‌های انعطاف‌پذیرتر و مؤثرتر برای حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده، افزایش یافته‌است.

بهینه‌سازی چند هدفه یک موضوع تحقیقاتی چالش برانگیز است، نه تنها به این دلیل که شامل بهینه‌سازی همزمان چندین هدف پیچیده در مجموعه بهینه پارتو می‌شود، بلکه باید بسیاری از مواردی که منحصر به مسائل چند هدفه هستند، مانند تخصیص تناسب جواب‌ها [۱، ۲]، حفظ تنوع<sup>۱۰</sup> [۳]، تعادل بین اکتشاف و

<sup>2</sup>Pareto Optimal Solutions

<sup>3</sup>Equivalency

<sup>4</sup>Non-Inferiority

<sup>5</sup>Vilfredo Pareto

<sup>6</sup>Francis Y. Edgeworth

<sup>7</sup>single-objective

<sup>8</sup>Pareto front

<sup>9</sup>Metaheuristic

<sup>10</sup>diversity preservation



بهره‌برداری<sup>۱۱</sup> [۴] و نخبه‌گرایی<sup>۱۲</sup> [۵] توجه کنند. بسیاری از الگوریتم‌های مختلف CA, PSO, EA, AIS, DE و SA برای بهینه‌سازی چند هدفه از تلاش‌های پیشگام شافر [۶] با هدف پیشرفت در زمینه‌های ذکر شده، پیشنهاد شده‌اند. همه این الگوریتم‌ها در روش‌شناسی و همچنین، در تولید راه‌حل‌های جدید، متفاوت هستند.

## ۲-۱ الگوریتم‌های مبتنی بر رفتار انسان

در مقوله‌ی الگوریتم‌های بهینه‌سازی، به تازگی الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر انسان توسعه داده شده‌اند که فعالیت‌های اجتماعی و تعاملات انسانی را مدل می‌کند. قضیه بهینه‌سازی no free lunch بیان می‌کند که هیچ تضمینی وجود ندارد که الگوریتم بهینه‌سازی که بتواند مسئله خاصی را حل کند، در بهینه‌سازی‌های دیگر به خوبی عمل کند. این دلیل اصلی برای توسعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی جدید است.

الگوریتم‌های فراابتکاری مبتنی بر رفتار انسان بر اساس مدل‌سازی ریاضی فعالیت‌های مختلف انسانی که فرآیندی مبتنی بر تکامل دارند، معرفی می‌شوند. بهینه‌سازی مبتنی بر یادگیری<sup>۱۳</sup> (TLBO) معروف‌ترین الگوریتم مبتنی بر رفتار انسان است که بر اساس شبیه‌سازی ارتباط و تعامل بین معلم و دانش‌آموز در کلاس طراحی شده است [۷]. در طراحی بهینه‌سازی فقیر و غنی<sup>۱۴</sup> (PRO) [۸]، فعالیت‌های اقتصادی افراد غنی و فقیر در جامعه ایده اصلی بوده است. در طراحی جستجوی ذهنی انسانی<sup>۱۵</sup> (HMS) [۹] از شبیه‌سازی رفتار انسان در برابر بازارهای حراج آنلاین برای دستیابی به موفقیت استفاده شده است. در طراحی<sup>۱۶</sup> DPO [۱۰] از تعامل بین پزشکان و بیماران از جمله پیشگیری از بیماری، چک آپ و درمان استفاده شده است.

<sup>11</sup>exploration and exploitation

<sup>12</sup>elitism

<sup>13</sup>Teaching-Learning-Based Optimization

<sup>14</sup>Poor and Rich Optimization

<sup>15</sup>Human Mental Search

<sup>16</sup>Doctor and Patient Optimization

## فصل ۲

# الگوریتم بهینه‌سازی REMARK

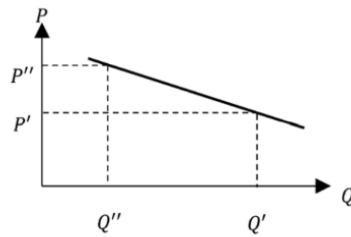
عرضه و تقاضا دو عامل ضروری تحلیل بازار را تشکیل می‌دهند. مفاهیم اساسی این نظریه‌ی اقتصادی در ادامه به اختصار بررسی شده است.

## ۱-۲ مفاهیم و نظریه

در این بخش به مفاهیم اصلی الگوریتم بهینه‌سازی پرداخته شده است. بخش ۱-۱-۲ به تقاضا، ۲-۱-۲ بخش به عرضه و بخش ۳-۱-۲ به تنظیم قیمت پرداخته است.

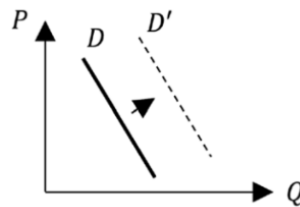
### ۱-۱-۲ تقاضا

بر اساس نظریه مرسوم اقتصاد، منحنی تقاضا، مکان هندسی مجموعه نقاطی است، که یک فرد برای به دست آوردن کالا یا خدماتی با قیمت‌های مختلف حاضر به پرداخت پول است. این مکان هندسی با فرض آن است که تمامی شرایط ثابت نگه داشته شده است. وقتی قیمت یک کالا کاهش می‌یابد، مردم تقاضای بیشتری را نشان می‌دهند، مشروط بر اینکه همه‌ی شرایط برابر باشد. به طور مشابه، هر چه قیمت بالاتر باشد، مقدار کمتری تقاضا می‌شود. مقدار تقاضا با توجه به منحنی تقاضا نسبت به قیمت حساس است. شکل ۱-۲ نمونه‌ای از منحنی تقاضا را نشان می‌دهد که نشان می‌دهد چگونه تقاضا ( $Q$ ) با قیمت ( $P$ ) تغییر می‌کند. شیب منحنی بر حساسیت تقاضا نسبت به تغییر قیمت تأثیر می‌گذارد.



شکل ۲-۱: قضیه اساسی تقاضا [۱۱]

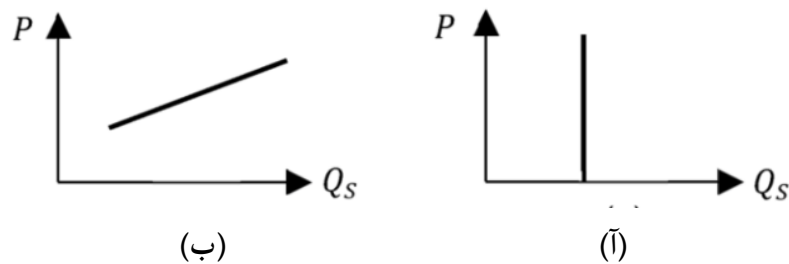
لازم به ذکر است که مقدار تقاضا علاوه بر قیمت به عوامل برون‌زا بستگی دارد. این عوامل را می‌توان اندازه بازار، انتظار افزایش قیمت و غیره نام برد. عوامل برون‌زا باعث تغییر در برنامه تقاضا مانند شکل ۲-۲ می‌شود.



شکل ۲-۲: تغییر در برنامه تقاضا

## ۲-۱-۲ عرضه

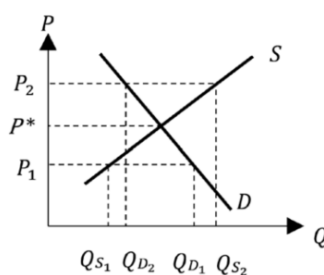
مکان هندسی عرضه، مجموعه‌ای از مقدار فرضی کالایی است که عرضه‌کنندگان در هر قیمت عرضه می‌کنند. هنگام برخورد با املاک و مستغلات، سه مفهوم عمده در عرضه وجود دارد: عرضه کل بلندمدت، عرضه کل کوتاه‌مدت و ساخت‌وساز جدید. شکل ۲-۳ عرضه کل کوتاه‌مدت را نشان می‌دهد. عرضه کل کوتاه‌مدت به کل موجودی یک بازار در یک زمان معین اشاره می‌کند. سهام املاک و مستغلات به دلیل زمان مورد نیاز برای ساخت املاک جدید، در کوتاه‌مدت ثابت است، که به آن تاخیر ساخت‌وساز می‌گویند. شکل ۲-۳ ب عرضه کل بلندمدت را نشان می‌دهد که به رابطه‌ی بین مقادیر عرضه شده و قیمت‌های بلندمدت اشاره دارد. با این وجود، هنگام تجزیه و تحلیل بازارهای املاک و مستغلات، مهمترین مفهوم در عرضه، ساخت‌وساز جدید است. به دلیل اینکه عمر دارایی مستغلات طولانی است، برنامه ساخت و ساز جدید از قانون اساسی عرضه پیروی می‌کند. قانون اساسی عرضه می‌گوید که، هر چه قیمت ملک بالاتر باشد، نرخ ساخت و ساز بالاتر است.



شکل ۲-۳: قضیه اساسی تقاضا

### ۳-۱-۲ تنظیم قیمت

قیمت بازار از طریق تعامل عرضه‌کنندگان (فروشنندگان) و تقاضاکنندگان (خریداران) در بازار مشخص می‌شود. مطابق شکل ۵، فرض کنید که قیمت زیر نقطه تعادل در  $P_1$  است. در این سطح، مقدار تقاضای  $Q_{D_1}$ ، بیشتر از مقدار عرضه شده  $Q_{S_1}$  است. این امر باعث افزایش قیمت می‌شود به طوری که تعدادی از خریداران از بازار خارج می‌شوند و تعدادی فروشنده جدید وارد بازار می‌شوند. هنگامی که قیمت به نقطه تعادل  $P^*$  رسید که در آن  $Q_D = Q_S$ ، خریداران انگیزه‌ای برای افزایش قیمت نخواهند داشت. هنگامی که قیمت بالاتر از نقطه تعادل در  $P_2$  باشد، مقدار  $Q_{D_2}$  تقاضا شده، کوچکتر از مقدار عرضه شده  $Q_{S_2}$  است و فروشندگان برای جذب خریداران انگیزه برای کاهش قیمت خواهند داشت. قیمت تا رسیدن به نقطه تعادل کاهش می‌یابد که در آن  $Q_D = Q_S$  و فروشندگان انگیزه‌ای برای کاهش بیشتر قیمت نخواهند داشت.



شکل ۲-۴: تعیین قیمت در بازار

### ۲-۲ چارچوب الگوریتم REMARK

## مراجع

- [1] M. Farina and P. Amato. A fuzzy definition of “optimality” for many-criteria optimization problems. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 34:315 – 326, 06 2004.
- [2] K. C. Tan and C. K. Goh. *Handling Uncertainties in Evolutionary Multi-Objective Optimization*, pages 262–292. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [3] E. F. Khor, K. C. Tan, T. H. Lee, and C. K. Goh. A study on distribution preservation mechanism in evolutionary multi-objective optimization. *Artificial Intelligence Review*, 23(1):31–33, Mar 2005.
- [4] P. A. N. Bosman and D. Thierens. The naive a: A baseline multi-objective ea. In C. A. Coello Coello, A. Hernández Aguirre, and E. Zitzler, editors, *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, pages 428–442, Berlin, Heidelberg, 2005. Springer Berlin Heidelberg.
- [5] M. Laumanns, E. Zitzler, and L. Thiele. A unified model for multi-objective evolutionary algorithms with elitism, ” in Proceedings of the 2000 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 1:46–53, 2000.
- [6] J. D. Schaffer. *Multi-Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms*. ” in Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms, 1985.
- [7] R. Rao, V. Savsani, and D. Vakharia. Teaching-learning-based optimization: A novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3):303–315, 2011.

- 
- [8] S. H. Samareh Moosavi and V. K. Bardsiri. Poor and rich optimization algorithm: A new human-based and multi populations algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 86:165–181, 2019.
  - [9] S. J. Mousavirad and H. Ebrahimpour-Komleh. Human mental search: a new population-based metaheuristic optimization algorithm. *Applied Intelligence*, 47(3):850–887, Oct 2017.
  - [10] M. Dehghani, M. Mardaneh, J. M. Guerrero, O. P. Malik, R. A. Ramirez-Mendoza, J. Matas, J. C. Vasquez, and L. Parra-Arroyo. A new “doctor and patient” optimization algorithm: An application to energy commitment problem. *Applied Sciences*, 10(17), 2020.
  - [11] H. Nobahari, N. Eqra, and A. Bighashdel. Real estate market-based optimization algorithm (remark): a market-inspired metaheuristic optimization algorithm based on the law of supply and demand. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Aug 2022.

## Abstract

Multi-objective optimization is a challenging area in optimization due to the presence of multiple conflicting objectives that need to be optimized simultaneously. In the real world, many optimization problems come with various constraints, and traditional optimization algorithms may not be able to solve these problems effectively. In such scenarios, heuristic optimization algorithms play a crucial role in solving such problems. One such heuristic optimization algorithm is the REMARK algorithm, which is a random search method. The algorithm is known to be efficient in solving complex optimization problems with multiple objectives. The main advantage of the REMARK algorithm is that it can effectively handle the trade-off between multiple conflicting objectives. This is achieved by allowing population members to associate with each other, which leads to faster convergence and exploration of more susceptible locations in the search space. Moreover, the REMARK algorithm also ensures that each group of the population examines a part of the Pareto set, which allows for a high approximation of the set. This is particularly important in multi-objective optimization, as the Pareto set represents the set of non-dominated solutions that balance the conflicting objectives. The high approximation of the Pareto set achieved by the REMARK algorithm makes it a powerful tool for solving multi-objective optimization problems. In conclusion, multi-objective optimization presents significant challenges in the real world, but heuristic optimization algorithms like the REMARK algorithm provide a way to overcome these challenges. The REMARK algorithm is efficient, easy to implement, and provides a high approximation of the Pareto set, making it a useful tool in solving multi-objective optimization problems.

**Keywords:** Optimization algorithm, Multi-objective optimization, Population, Trading, Pareto set



Sharif University of Technology  
Department of Aerospace Engineering

Converting REMARK's single-objective optimization algorithm to  
multi-objective

## **Heuristic Optimization Algorithms Project**

By:

**Ali BaniAsad**

Supervisor:

**Dr.Hadi Nobahari**

February 2022