

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

**حل مسئله برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت در پائتون با الگوریتم
بهینه‌سازی ازدحام ذرات**

• برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت

یکی از تکنولوژی‌های شناخته شده و متداول در صنعت انرژی، تولید همزمان برق و حرارت می‌باشد. بالا بودن بازده کاری و همچنین آلاینده‌گی کمتر نسبت به روش‌های هم‌رده دیگر باعث مقبولیت این تکنولوژی در کشورهای توسعه یافته شده است. همچنین در کشورهای در حال توسعه نیز میل به این تکنولوژی افزایش یافته است. بطور خلاصه می‌توان ویژگی‌های تولید همزمان برق و حرارت را در موارد زیر بیان نمود:

- افزایش بازده انرژی
- کاهش انتشار گازهای آلاینده
- کاهش هزینه‌های انرژی نواحی صنعتی
- بهبود قابلیت اطمینان نواحی صنعتی از دید انرژی
- کاهش وقفه در تأمین زیر ساخت‌های جدید توزیع و انتقال
- طیف وسیع سوخت‌های قابل استفاده با آلاینده‌گی کمتر

حرارت تولیدی در این نوع نیروگاه‌ها در بیشتر اوقات مورد استفاده بخش صنعتی می‌باشد. بطوری که در کشوری مثل ایالات متحده آمریکا در حدود ۸۶٪ از ظرفیت توان تولیدی واحدهای تولید همزمان برق و حرارت به طور عمده مورد استفاده در صنایعی مانند:

- صنایع غذایی
- صنایع نساجی
- صنایع چوب و مبلمان
- صنعت کاغذ
- صنعت چاپ و نشر
- صنایع شیمیایی
- صنایع پالایش فراورده‌های نفتی
- صنایع پلاستیک
- صنایع سنگ، خاک و شیشه
- صنایع فراوری فلزات اولیه و آلیاژها

می‌باشد.

در کاربردهای واقعی تولید، تأمین توان الکتریکی و حرارتی تقاضا شده صرفاً توسط واحدهای تولید همزمان انجام نمی‌گیرد بلکه تعدادی نیروگاه برای تولید توان الکتریکی و تعدادی برای تولید توان حرارتی موجود خواهد بود. در مسئله برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت، تقاضای توان الکتریکی و همچنین حرارتی بایستی بین واحدهای تولید توان به گونه‌ای تقسیم گردد که علاوه بر تأمین توان مورد نیاز با کمترین هزینه ممکن، پارامترهای

کاری نیروگاه‌ها به شکلی قابل قبول تعیین گردند. به عبارتی نقطه کار نیروگاه‌ها بایستی قیدهای موجود برای فعالیت هر یک از آن‌ها را ارضاء نماید. این قیود می‌توانند تساوی، ناتساوی یا قرار گرفتن نقطه کار در یک ناحیه در فضای کاری باشند که در ادامه به طور کامل به آن پرداخته خواهد شد.

• فرمولاسیون مسئله برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت

به طور خلاصه مسئله برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت عبارت است از دستیابی به هزینه کاری کمینه در کنار برآورده کردن شرایط کاری واحدهای نیروگاهی و تأمین توان مورد تقاضای الکتریکی و حرارتی. تابع هزینه این مسئله بهینه‌سازی با رابطه زیر نمایش داده می‌شود که مجموعه هزینه کاری نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت، نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی و نیروگاه‌های تولید توان حرارتی می‌باشد:

$$\min \sum_{i=1}^{N_p} C_i(P_i^p) + \sum_{j=1}^{N_c} C_j(P_j^c, H_j^c) + \sum_{k=1}^{N_h} C_k(H_k^h) (\$/h)$$

تابع هزینه برای واحدهایی که صرفاً توان حرارتی تولید می‌نمایند:

$$C_i(P_i^p) = \alpha_i (P_i^p)^2 + \beta_i P_i^p + \gamma_i (\$/h)$$

تابع هزینه واحدهایی که بطور توأم توان الکتریکی و حرارتی تولید می‌نمایند:

$$C_j(P_j^c, H_j^c) = a_j (P_j^c)^2 + b_j P_j^c + c_j + d_j (H_j^c)^2 + e_j H_j^c + f_j H_j^c P_j^c (\$/h)$$

تابع هزینه واحدهایی که صرفاً توان حرارتی تولید می‌نمایند:

$$C_k(H_k^h) = a_k (H_k^h)^2 + b_k H_k^h + c_k (\$/h)$$

قید تساوی تولید توان الکتریکی که باید برابر توان الکتریکی مورد تقاضا باشد:

$$\sum_{i=1}^{N_p} P_i^p + \sum_{j=1}^{N_c} P_j^c = P_d$$

قید تساوی تولید توان حرارتی که باید برابر توان حرارتی مورد تقاضا باشد:

$$\sum_{j=1}^{N_c} H_j^c + \sum_{k=1}^{N_h} H_k^h = H_d$$

محدوده کمترین و بیشترین توانی که هر یک از واحدهای تولید توان الکتریکی می‌توانند تولید نمایند:

$$P_i^{pmin} \leq P_i^p \leq P_i^{pmax}, i = 1, \dots, N_p$$

محدوده تولید توان الکتریکی و حرارتی برای واحدهای تولید همزمان، که بطور متقابل به هم وابسته هستند:

$$P_j^{cmin}(H_j^c) \leq P_j^c \leq P_j^{cmax}(H_j^c), j = 1, \dots, N_c$$

$$H_j^{cmin}(P_j^c) \leq H_j^c \leq H_j^{cmax}(P_j^c), j = 1, \dots, N_c$$

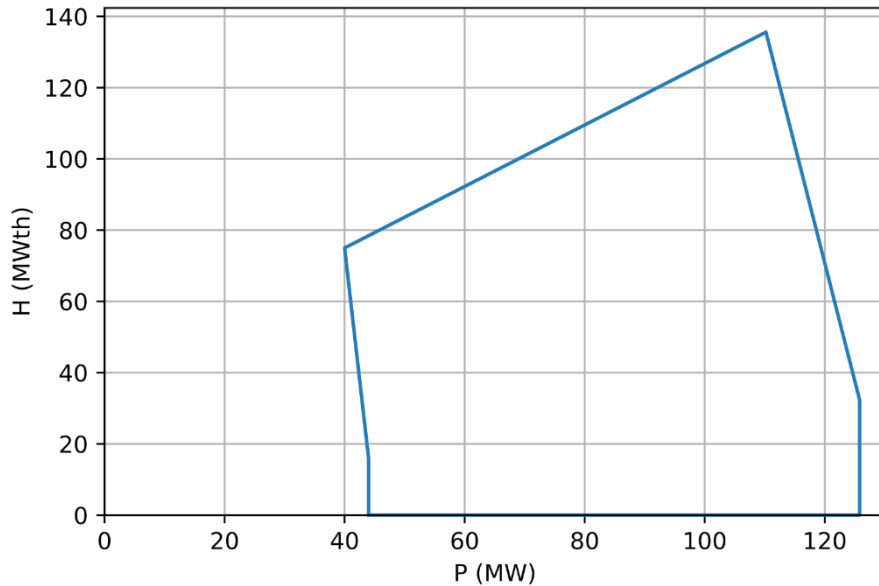
محدوده کمترین و بیشترین توانی که هر یک از واحدهای تولید توان حرارتی می‌توانند تولید نمایند:

$$H_k^{hmin} \leq H_k^h \leq H_k^{hmax} \quad k = 1, \dots, N_h$$

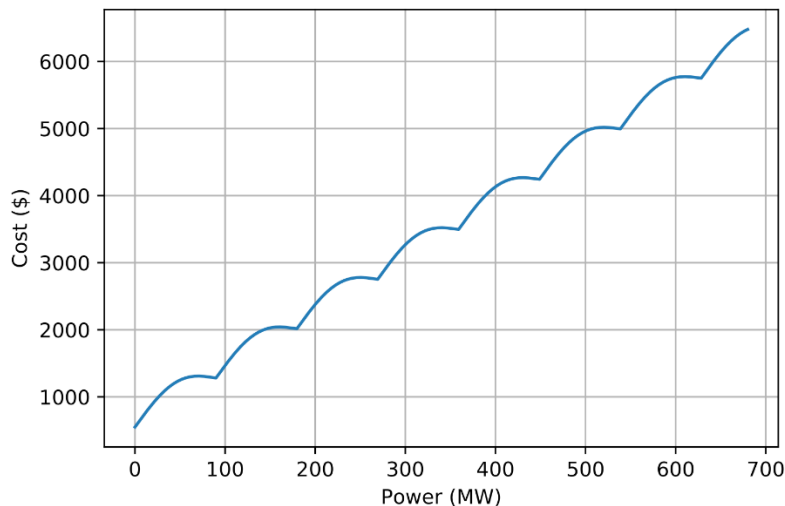
در صورتی که اثر شیرهای بخار نیز در مدل‌سازی در نظر گرفته شود، عبارت قدر مطلق سینوسی به عبارت درجه دوم به شکل زیر اضافه می‌گردد:

$$C_i(P_i^p) = \alpha_i (P_i^p)^2 + \beta_i P_i^p + \gamma_i + \left| \lambda_i \sin(\rho_i (P_i^{pmin} - P_i^p)) \right|$$

شکل زیر ناحیه قابل قبول برای یک نیروگاه تولید همزمان برق و حرارت را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، همبستگی متقابل بین حداقل و حداکثر تولید توان الکتریکی و حرارتی موجود می‌باشد. همچنین ناحیه می‌تواند غیر محدب باشد که باعث سخت‌تر شدن مسئله بهینه‌سازی می‌گردد.



تابع هزینه با در نظر گرفتن اثرات شیرهای بخار برای پارامترهای نمونه در شکل زیر رسم گردیده است:



تلفات انتقال نیز با رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشند که روش تلفات کرون نامیده می‌شود:

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^{N_p} \sum_{m=1}^{N_p} P_i^p B_{im} P_m^p + \sum_{i=1}^{N_p} \sum_{j=1}^{N_c} P_i^p B_{ij} P_j^c + \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{n=1}^{N_c} P_j^c B_{jn} P_n^c$$

• حل مسئله CHPED با پایتون:

برای حل مسئله برنامه‌ریزی بهینه تولید همزمان برق و حرارت استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بسیار مرسوم می‌باشد. با توجه به ماهیت غیرخطی و غیرمحدب این مسئله بهینه‌سازی، روش‌های کلاسیک قادر به ارائه حل مناسب برای این مسائل نیستند لذا الگوریتم‌های هوشمند تصادفی برای حل CHPED مورد استفاده قرار می‌گیرند. الگوریتم استفاده شده در این آموزش الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌باشد. پیاده‌سازی بر روی تست سیستم ۲۴ واحدی زیر انجام گرفته است:

۱۳ واحد تولید توان الکتریکی، ۶ واحد تولید همزمان توان الکتریکی و حرارتی و ۵ واحد که صرفاً توان حرارتی تولید می‌نمایند، واحدهای تشکیل دهنده این تست سیستم می‌باشند. در این تست سیستم اثر شیرهای بخار در تابع هزینه واحدهای تولید توان الکتریکی لحاظ شده است. همچنین تقاضای توان الکتریکی و توان حرارتی در این تست سیستم برابر ۲۳۵۰ مگاوات و ۱۲۵۰ مگاوات حرارتی می‌باشد.

جدول زیر نشان‌دهنده ضرایب تابع هزینه برای واحدهای تولید توان الکتریکی می‌باشد:

Unit	α	β	γ	λ	ρ
1	0.00028	8.1	550	300	0.035
2	0.00056	8.1	309	200	0.042
3	0.00056	8.1	309	200	0.042
4	0.00324	7.74	240	150	0.063
5	0.00324	7.74	240	150	0.063
6	0.00324	7.74	240	150	0.063
7	0.00324	7.74	240	150	0.063
8	0.00324	7.74	240	150	0.063
9	0.00324	7.74	240	150	0.063
10	0.00284	8.6	126	100	0.084
11	0.00284	8.6	126	100	0.084
12	0.00284	8.6	126	100	0.084
13	0.00284	8.6	126	100	0.084

جدول زیر به نمایش ضرایب تابع هزینه برای واحدهای تولید همزمان برق و حرارت پرداخته است:

Unit	a	b	c	d	e	f
14	0.0345	14.5	2650	0.03	4.2	0.031
15	0.0435	36	1250	0.027	0.6	0.11
16	0.0345	14.5	2650	0.03	4.2	0.031
17	0.0435	36	1250	0.027	0.6	0.11
18	0.1035	34.5	2650	0.025	2.203	0.051
19	0.072	20	1565	0.02	2.34	0.04

جدول زیر، ضرایب تابع هزینه را برای واحدهای تولید توان حرارتی نشان می‌دهد:

Unit	a	b	c
20	0.038	2.0109	950
21	0.038	2.0109	950
22	0.038	2.0109	950
23	0.052	3.0651	480
24	0.052	3.0651	480

محدوده حداقل و حداکثر توان قابل تولید برای واحدهای تولید توان الکتریکی:

Unit	P^{min}	P^{max}
1	0	680
2	0	360
3	0	360
4	60	180
5	60	180
6	60	180
7	60	180
8	60	180
9	60	180
10	40	120
11	40	120
12	55	120
13	55	120

مختصات چندضلعی مدل کننده ناحیه قابل قبول برای واحدهای تولید همزمان برق و حرارت:

Unit	$[P^c, H^c]$ Feasible region coordinates
14	$[98.8,0], [81,104.8], [215,180], [247,0]$
15	$[44,0], [44,15.9], [40,75], [110.2,135.6], [125.8,32.4], [125.8,0]$
16	$[98.8,0], [81,104.8], [215,180], [247,0]$
17	$[44,0], [44,15.9], [40,75], [110.2,135.6], [125.8,32.4], [125.8,0]$

	[125.8,0]
18	[20,0],[10,40],[45,55],[60,0]
19	[35,0],[32,20],[90,45],[90,25],[105,2]

حداقل و حداکثر توان قابل تولید برای واحدهای تولید توان حرارتی:

Unit	H^{min}	H^{max}
20	0	2695.20
21	0	60
22	0	60
23	0	120
24	0	120

کد ارائه شده برای حل این مسئله با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات دارای چند کلاس و تابع می باشد که بطور لیست وار در جدول زیر نام برده شده و توضیح آن ها بیان شده است.

نام	توضیحات
Total_Power	بردار پاسخ را ورودی گرفته و مجموع توان الکتریکی تولیدی را بر می گرداند
Total_Heat	بردار پاسخ را ورودی گرفته و مجموع توان حرارتی تولیدی را بر می گرداند
Total_Cost	بردار پاسخ ورودی را گرفته و هزینه کاری کل مجموعه را باز می گرداند
isinFRCCHP1	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد تولید همزمان برق و حرارت اول را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه ریزی برای واحد اول، صفر و در غیر این صورت یک باز می گرداند.
isinFRCCHP2	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد تولید همزمان برق و حرارت دوم را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه ریزی برای واحد دوم، صفر و در غیر این صورت یک باز می گرداند.
isinFRCCHP3	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد

	تولید همزمان برق و حرارت سوم را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می‌کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه‌ریزی برای واحد سوم، صفر و در غیر این صورت یک باز می‌گرداند.
isinFRCCHP4	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد تولید همزمان برق و حرارت چهارم را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می‌کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه‌ریزی برای واحد چهارم، صفر و در غیر این صورت یک باز می‌گرداند.
isinFRCCHP5	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد تولید همزمان برق و حرارت پنجم را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می‌کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه‌ریزی برای واحد پنجم، صفر و در غیر این صورت یک باز می‌گرداند.
isinFRCCHP6	بردار پاسخ ورودی را گرفته و قرار گرفتن نقطه کار واحد تولید همزمان برق و حرارت ششم را داخل ناحیه قابل قبول مختص واحد چک می‌کند. در صورت قرار گرفتن در داخل ناحیه یعنی قابل قبول بودن برنامه‌ریزی برای واحد ششم، صفر و در غیر این صورت یک باز می‌گرداند.
cost	بردار پاسخ ورودی را گرفته و تابع هدف مسئله برنامه‌ریزی بهینه را بر می‌گرداند. این تابع هدف به شکل مجموع تابع هزینه کاری و جریمه مربوط به نقض قیود تعریف شده است.
particle_generator	این تابع بصورت تصادفی بردار پاسخی در فضای مسئله ایجاد می‌نماید.
particle_velocity	این تابع بصورت تصادفی بردار سرعت اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات را ایجاد می‌نماید
particle	این کلاس برای مدل کردن هر عضو از جمعیت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. دارای پنج پارامتر موقعیت، بهترین موقعیت، هزینه، بهترین هزینه و سرعت ذره می‌باشد. برای ایجاد یک شی از این نوع نیز به دو تابع ایجاد موقعیت تصادفی در فضای مسئله و ایجاد سرعت اولیه تصادفی نیاز می‌باشد که در موقع تولید شی ورودی

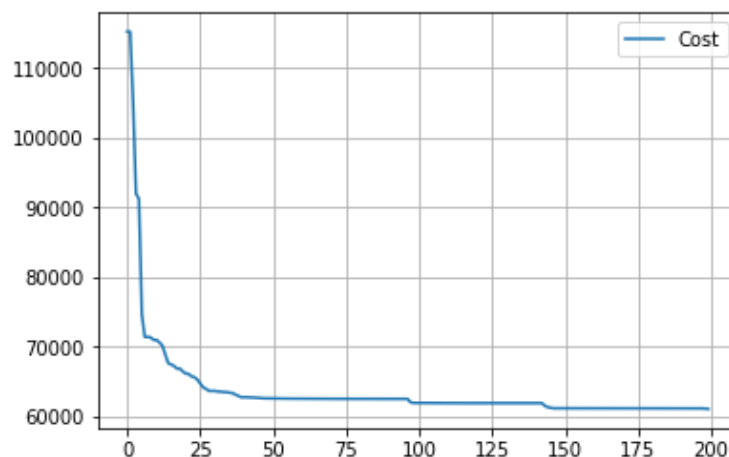
	داده می شود.
PSOSolver	این کلاس برای ایجاد یک حل کننده به روش الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات بکار می رود. دارای سه ورودی تعداد ذرات، تابع ایجاد کننده ذره بشکل تصادفی و تابع ایجاد سرعت اولیه برای هر ذره می باشد. دو تابع آخر که بصورت ورودی گرفته می شود برای ایجاد ذرات با استفاده از کلاس particle بکار گرفته می شود. این کلاس دارای تابع iterate می باشد که وظیفه انجام هر تکرار الگوریتم را دارد. تابع iterate دارای سه ورودی می باشد که ضرایب تاثیر سرعت، بهترین موقعیت ذره و بهترین موقعیت کل ذرات در موقعیت دهی ذره می باشند.

خروجی ها برای یک اجرای نمونه به شکل زیر می باشند:

Solution:

P1: 444.2753150355036 P2: 320.92575842473826 P3: 225.87364981752623 P4: 69.64487490529751 P5:
113.42864411017025 P6: 159.98693049954514 P7: 109.8681336045227 P8: 178.30791535883986 P9:
76.68755894279298 P10: 42.314394063154104 P11: 72.5218747078635 P12: 98.00716764619791 P13:
60.54399361743582 P14: 104.96326395761929 P15: 40.495857512668955 P16: 85.24933748302703 P17:
52.059535575054916 P18: 34.76581663671377 P19: 60.46201050161813 H14: 118.24790532848523 H15:
67.6882708849696 H16: 107.16840612645974 H17: 85.08904996653607 H18: 9.238578511269798 H19:
31.573640269361793 H20: 474.51670397727054 H21: 59.99973567191527 H22: 59.99991457535954 H23:
116.58919369400776 H24: 119.88833572711238
Cost: 61080.4994277587

نمودار همگرایی نیز به شکل زیر می باشد:



• **ضمیمه (الف)، نصب کتابخانه‌های مورد نیاز**

pip3 install numpy scipy matplotlib