



## بررسی و تحلیل اثر شرایط محیطی بر تابع هزینه، بازده انرژی و آگزرژی یک برج خورشیدی با ظرفیت ۶ مگاوات در چند شهر ایران

نیما خرم پور<sup>۱</sup>، سمیه داودآبادی فراهانی<sup>۲\*</sup> و سینا خرم پور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۸؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۰۶/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۴

### چکیده

در پژوهش حاضر، به تحلیل انرژی، آگزرژی و اقتصادی برج خورشیدی با در نظر گرفتن شرایط محیطی در چند شهر ایران پرداخته شده است و یک استراتژی برای انتخاب شهر به منظور دستیابی به بهترین عملکرد و کمترین هزینه پیشنهاد شده است. تابع هزینه شامل، هزینه‌های ناشی از مساحت آینه، ارتفاع برج و تجهیزات داخل دریافت‌کننده مرکزی روزه‌ای است. ۹ شهر از شهرهای ایران با اقلیم‌های مختلف برای بررسی انتخاب شده است. نتایج نشان می‌دهد بیشترین سهم اتلافات حرارتی به ترتیب برای اتلافات حرارتی بازتاب، صدور، جابجایی و هدایتی است. شهر شیراز کمترین حرارت ورودی به دریافت‌کننده (۶۵۳۷۴۵۳/۵۰ مگاوات) را دارد. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین بازده انرژی را شهر شیراز (۹۱/۴۲٪) و بیشترین بازده آگزرژی را شهرهای تبریز و اراک (۵۶/۵۶٪) دارا می‌باشند. تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد، بیشترین سهم هزینه در برج خورشیدی مربوط به هزینه آینه‌ها و بعد از آن به ترتیب هزینه ناشی از ارتفاع برج و دریافت‌کننده است. کمترین مقدار تابع هزینه و نیز سطح آینه‌ی مورد نیاز برای شهر شیراز است. بر اساس روش تصمیم‌سازی چند معیاره تاپسیس، کرمان با امتیاز نهایی ۰/۱۵۰۸ در جایگاه اول و شیراز و اصفهان به ترتیب با امتیاز ۰/۱۳۷۸ و ۰/۱۲۷۶ در جایگاه‌های بعدی انتخاب قرار دارند.

**کلمات کلیدی:** برج خورشیدی؛ تحلیل انرژی؛ تحلیل آگزرژی؛ تحلیل اقتصادی؛ مدل‌سازی حرارتی و اقتصادی؛ روش تاپسیس.

## Investigation and Analysis Effect of Environment Conditions on Cost Function, Energy and Exergy Efficiency of a Solar Tower (6MW) in Several Cities of Iran

N. Khoorampour<sup>1</sup>, S.D. Farahani<sup>2\*</sup>, S. Khoorampour<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BSc. Student, Mech. Eng. Department, Arak University of Technology, Arak, Iran.

<sup>2</sup> Assis. Prof., Mech. Eng. Department, Arak University of Technology, Arak, Iran.

<sup>3</sup> BSc. Student, Mech. Eng. Department, Arak University of Technology, Arak, Iran.

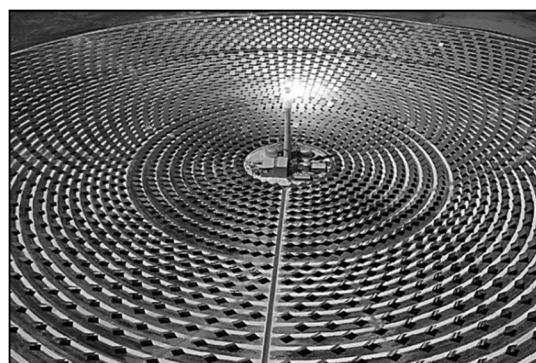
### Abstract

In this study, the energy, exergy and economic analysis of a solar tower considering environmental conditions in several cities of Iran is presented and suggested a strategy for choosing the city to achieve the best performance and lowest cost in using the solar tower. The cost function consists of costs of the mirror area, the tower height, and the equipment inside the central receiver aperture. The cities of Tabriz, Arak, Shiraz, Semnan, Ahvaz, Birjand, Yazd, Kerman and Isfahan are selected for investigations. Wind speed, DNI, and ambient temperature for each city in different months are considered. The results show that the highest energy efficiency is Shiraz (91.42%) and highest exergy efficiency belonging to the city of Tabriz and Arak city (56.56%). Economic analysis shows the highest cost of a solar tower is for the cost of the mirrors, tower height and receiver cost, respectively. The lowest cost function, as well as the required mirror surface (20898 m<sup>2</sup>), is for the city of Shiraz. Based on the TOPSIS making decision method for using a solar tower, Kerman (with a score of 0.1508), Shiraz (with a score of 0.1378) and Isfahan (with a score of 0.1276) are in the first, second and third places, respectively.

**Keywords:** Solar Tower; Energy Analysis; Exergy Analysis; Economic Analysis; Thermal and Economic Modeling; Topsis Method.

## ۱- مقدمه

انرژی خورشیدی جزو انرژی‌های تجدیدپذیر و بی‌پایان است که هیچ‌گونه آثار مخرب زیست محیطی را بر جای نمی‌گذارد. به دلیل رشد آلاینده‌گی و اثرات زیست محیطی اغلب کشورهای جهان به تولید انرژی پاک با استفاده از انرژی خورشید روی آورده‌اند. یکی از روش‌های معمول برای استفاده از انرژی خورشید، نیروگاه حرارتی خورشیدی متمرکز است. نیروگاه خورشیدی متمرکز از سیکل تولید توان و برج خورشیدی تشکیل شده است. برج خورشیدی شامل، قسمت بازتاب‌کننده، دریافت‌کننده مرکزی و مبدل حرارتی است. قسمت بازتاب‌کننده، تابش دریافتی از خورشید را به سمت بالای برج خورشیدی در جایی که دریافت‌کننده مرکزی قرار دارد، بازتاب می‌کند. تابش بازتاب‌شده به وسیله دریافت‌کننده مرکزی دریافت و به لوله‌های عبورکننده جذب می‌شود که حاوی سیال انتقال‌دهنده حرارت است. شکل ۱ یک برج خورشیدی با دریافت‌کننده مرکزی را نشان می‌دهد.



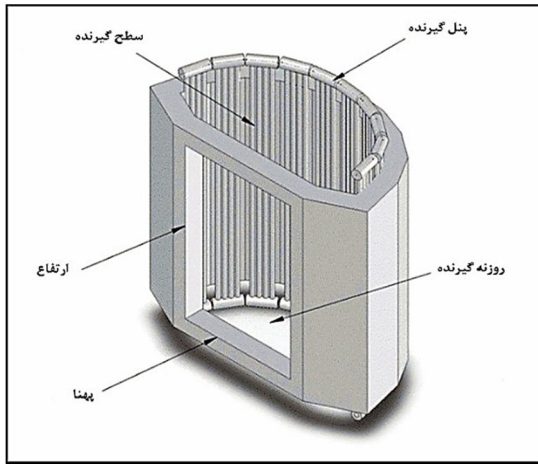
شکل ۱- نمایی کلی از یک برج خورشیدی

می‌تابد. در نوع حفره‌ای تابش به داخل یک حفره تابانیده می‌شود. دریافت‌کننده حفره‌ای نسبت به دریافت‌کننده خارجی، افت حرارتی کمتر و در نتیجه بازده بیشتری دارد؛ همچنین برای یک انرژی مورد نیاز مشخص، دریافت‌کننده حفره‌ای طول بیشتری نسبت به دریافت‌کننده‌ی خارجی دارد. سیال‌هایی که به منظور انتقال حرارت در لوله‌های عبوری از دریافت‌کننده مرکزی به کار می‌روند شامل، هوا، سدیم، بخار، هلیوم و نمک خورشیدی ( $\text{NaNO}_3/\text{KNO}_3$ ) هستند. یائو و همکارانش [۱]، دریافت‌کننده مرکزی خورشیدی (IMW) در چین شبیه‌سازی و بهینه نمودند. لی و همکارانش [۲]، به طراحی مدل حرارتی یک دریافت‌کننده مرکزی حفره‌ای با سیال کاری نمک مذاب با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات پرداختند و پارامترهایی چون مساحت و دمای سطح دریافت‌کننده، افت حرارت، تعداد لوله‌ها و قطر لوله‌ها را بررسی نمودند. بورما و همکاران [۳]، مقایسه‌ای بین دو سیال انتقال‌دهنده حرارت سدیم مایع و های‌تک<sup>۱</sup> در عملکرد یک دریافت‌کننده مرکزی انجام دادند. نیز بنمار و همکارانش [۴]، یک مدل ریاضی را بر پایه تحلیل انرژی برای مدل‌سازی عملکرد نیروگاه برج خورشیدی بدون ذخیره‌ساز انرژی، ارائه کردند. فریچ و همکارانش [۵]، تحلیلی تکنو اقتصادی را روی عملکرد نیروگاه خورشیدی با دریافت‌کننده مرکزی با سدیم مایع و ذخیره‌ساز حرارتی ارائه کردند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از سدیم مایع به جای نمک مذاب نیترات، تا ۱۶٪ هزینه تولید برق را کاهش می‌دهد. دی سای و همکارانش [۶]، روشی را با هدف مشخص نمودن طراحی بهینه‌ی ترمودینامیکی و اقتصادی بخش تشعشع، برای نیروگاه خورشیدی متمرکز بدون هیبریدیزاسیون و ذخیره‌سازی را ارائه کرده‌اند. مطالعاتی در زمینه بررسی اثر شیب کلکتور بر عملکرد برج خورشیدی [۷] و تحلیل اگزرژی برج خورشیدی [۸] نیز انجام شده است. تحلیل و بهینه‌سازی اقتصادی انرژی و اگزرژی، سیکل تولید چند منظوره که شامل، سیکل تولید قدرت خورشیدی، سرمایه‌ش و آب شیرین کن با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسط ساهو و همکارانش [۹]، صورت گرفت. واگنر و همکاران [۱۰]، یک سیستم قدرت خورشیدی متمرکز (متشکل از یک گیرنده حرارتی، سیکل قدرت و برج

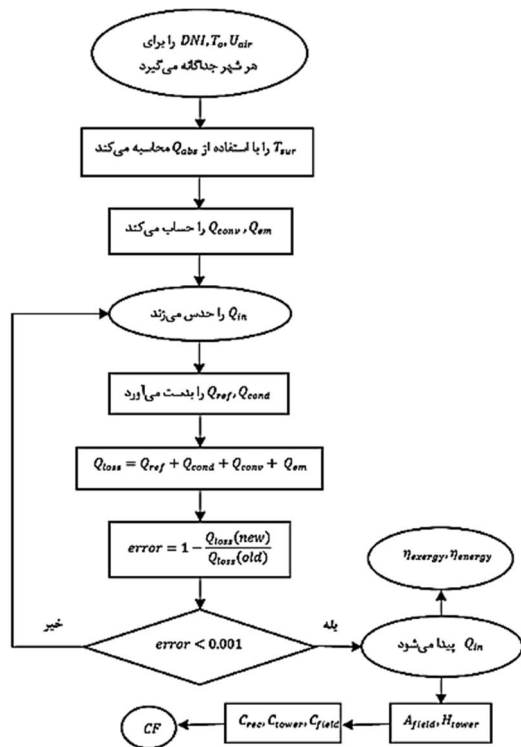
حرارت جذب شده به وسیله مبدل حرارتی به سیال کاری سیکل تولید توان (اغلب آب) منتقل گردیده و سیال پس از تبخیر، توربین را به حرکت در آورده و الکتریسیته تولید می‌کند. قسمت دریافت‌کننده مرکزی مورد مطالعه در این مقاله از نوع لوله‌ای است. دریافت‌کننده لوله‌ای در دو نوع متداول حفره‌ای و خارجی به کار می‌رود که برای تحلیل حاضر نوع حفره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. دریافت‌کننده خارجی به شکل استوانه بوده که تابش خورشید به وسیله بازتاب‌کننده‌ها به یک استوانه عایق شده

<sup>۱</sup> Hitec

بخش را تعیین و در نهایت میزان حرارت جذب شده توسط سیال محاسبه می‌شود. در تحلیل حاضر با توجه به پیچیدگی و وابسته بودن روابط، برای یک انرژی جذب شده مشخص و نامعلوم بودن میزان مساحت آینه، این مدل به صورت حل بسته نبوده، بنابراین الگوریتم حل به صورت آنچه که در شکل ۳ نشان داده شده در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲- نمایی از یک دریافت کننده حفره‌ای [۱]



شکل ۳- فلوچارت الگوریتم حل

خورشیدی) در کالیفرنیا به منظور دست یابی به حداکثر درآمد در طی یک سال بهینه نمودند که طبق این بررسی، هزینه تولید الکتریسیته حساسیت بالایی نسبت به تابش بر واحد سطح داشته و تأثیر زیادی از آن می‌گیرد. مطالعه دیگری در زمینه طراحی و بهبود برج خورشیدی [۱۱-۱۲] انجام شده است.

تاکنون در بررسی‌های برج خورشیدی، اثر شرایط محیطی بر بازده انرژی، بازده انرژی، هزینه انرژی و استفاده از روش‌های تصمیم‌سازی مطالعه نشده است. با در نظر گرفتن این موضوع، نوآوری پژوهش حاضر، تحلیل انرژی، انرژی و اقتصادی برج خورشیدی با در نظر گرفتن شرایط محیطی و ارائه استراتژی برای انتخاب مناسب‌ترین شهر برای رسیدن به بهترین عملکرد و کمترین هزینه در استفاده از برج خورشیدی است. در تحلیل حاضر، تابع هزینه، بازده انرژی، بازده انرژی و سطح آینه مورد نیاز در ۹ شهر با اقلیم‌های متفاوت آب و هوایی در ایران در شش ماه سال بررسی شده است. تابع هزینه شامل، هزینه‌های ناشی از مساحت آینه، ارتفاع برج و تجهیزات داخل دریافت‌کننده مرکزی روزنه‌ای است. در این مقاله به مدل‌سازی حرارتی و اقتصادی دریافت‌کننده مرکزی پرداخته شده و با توجه به پیچیدگی حل، یک الگوریتم حل استفاده گردیده است که برای دستیابی به ظرفیت ۶ مگاوات حرارت مفید، میزان حرارت ورودی لازم به دریافت‌کننده، میزان مساحت آینه مورد نیاز و تابع هزینه در شش ماه سال محاسبه می‌شود؛ همچنین با در نظر گرفتن بازده انرژی، بازده انرژی و تابع هزینه و روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس<sup>۱</sup>، استراتژی برای انتخاب مناسب‌ترین شهر از میان نه شهر برای استقرار برج خورشیدی پیشنهاد شده است.

## ۲- مدل‌سازی حرارتی

شکل ۲ نمایی کلی از یک برج خورشیدی با دریافت‌کننده حفره‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس مدل‌سازی که توسط لی [۲] انجام گرفته، برای مدل‌سازی حرارتی برج خورشیدی، آن را به چند بخش تقسیم کرده و اتلاف‌های موجود در هر

<sup>۱</sup> Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

## ۲-۱- قسمت بازتاب کننده

از آنجایی که تمامی انرژی بازتاب شده از قسمت بازتاب کننده به دریافت کننده مرکزی نمی رسد، مقدار بازده بازتاب کننده طبق [۲] ۷۵٪ در نظر گرفته می شود؛ بنابراین مقدار بازده انرژی قسمت بازتاب کننده به صورت رابطه (۱) خواهد بود:

$$\eta_h = \dot{Q}_{rec} / \dot{Q}_S = 75\% \quad (1)$$

که در رابطه (۱)،  $\dot{Q}_{rec}$  مقدار انرژی دریافت شده توسط دریافت کننده مرکزی و  $\dot{Q}_S$  مقدار انرژی تابشی خورشید است که به سطح بازتاب کننده ها می تابد.

## ۲-۲- قسمت دریافت کننده مرکزی

انرژی دریافت شده به وسیله دریافت کننده مرکزی به طور کامل جذب نمی شود و مقداری از این انرژی به صورت اتلاف حرارتی هدایتی، جابه جایی، تشعشعی و بازتابی هدر می رود؛ بنابراین مقدار حرارت جذب شده توسط سیال به صورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{Q}_{rec} - \dot{Q}_{heatloss} \quad (2)$$

که در رابطه بالا،  $\dot{Q}_{heatloss}$  مقدار اتلاف حرارت کل و مقدار حرارت جذب شده توسط سیال است. مقدار اتلاف حرارت کل به کمک رابطه (۳) بدست می آید:

$$\dot{Q}_{heatloss} = \dot{Q}_{em} + \dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{ref} \quad (3)$$

## ۲-۲-۱- اتلاف حرارت جابه جایی

افت حرارت جابه جایی در دریافت کننده مرکزی به دو صورت جابه جایی آزاد و جابه جایی اجباری صورت می گیرد [۲۱]:

$$h_{air,nc,insi} = 0.81 (T_{sur} - T_{air,insi})^{0.426} \quad (4)$$

که  $h_{air,nc,insi}$  برابر ضریب انتقال حرارت جابه جایی در داخل دریافت کننده است و  $T_{air,insi} = (T_{sur} + T_o) / 2$  است.

$$h_{air,nc,o} = 1.24 (T_{insu} - T_o)^{1/3} \quad (5)$$

در رابطه بالا نیز  $h_{air,nc,o}$  ضریب انتقال حرارت جابه جایی آزاد در خارج دریافت کننده است. برای جابه جایی اجباری داخل دریافت کننده رابطه (۶) به کار می رود که فرض می شود، از یک صفحه ی تخت با ابعاد روزنه ی دریافت کننده صورت می گیرد.

$$Nu_{air,fc,insi} = 0.0287 Re_{air,insi}^{0.8} Pr_{air,insi}^{1/3} \quad (6)$$

همچنین عدد ناسلت در خارج از دریافت کننده نیز طبق رابطه (۷) قابل محاسبه است [۱۳]:

$$Nu_{air,fc,o} = 0.0239 Re_{air,o}^{0.805} Pr_{air,o}^{0.45} \phi \quad (7)$$

که  $\phi = 1.167(0.785 T_{insu,w} / T_o)^{0.2}$  در نتیجه مقدار ضریب جابه جایی کلی برای هوا به صورت رابطه (۸) محاسبه می شود [۱۳]:

$$h_{air,o} = (h_{nc,o}^a + h_{fc,o}^a)^{1/a} \quad (8)$$

که برای دریافت کننده حفره ای [۱۳] مقدار  $a=1$  است. مقدار افت گرمای جابه جایی کل نیز با رابطه (۹) بدست می آید:

$$\dot{Q}_{conv} = h_{air}(T_{sur} - T_o) A_{sur}$$

$$h_{air} = [h_{air,fc} + h_{air,nc} / Fr] \quad (9)$$

## ۲-۲-۲- اتلاف حرارت هدایتی

افت انتقال حرارت هدایتی از رابطه (۱۰) [۱۳] محاسبه می شود.

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{A_{sur}(T_{sur} - T_o)}{(\delta_{insu} / k_{insu} + 1 / h_{air,o})} \quad (10)$$

که دمای سطح دریافت کننده از رابطه (۱۱) محاسبه می شود.

$$\frac{\dot{Q}_{rec}}{A_{sur}} = \frac{(T_{sur} - \bar{T}_{ms})}{d_o / d_i / \bar{h}_{ms} + d_o \ln(d_o / d_i) / 2 / k_{tube}} \quad (11)$$

$$\bar{T}_{ms} = \frac{T_{mi} + T_{mo}}{2} \quad \text{که}$$

## ۲-۲-۳- اتلاف حرارت تشعشعی

اتلاف حرارت تشعشعی به دلیل اختلاف زیاد دمای سطح دریافت کننده و محیط اطراف ایجاد می شود و به وسیله رابطه (۱۲) مشخص می شود [۲]:

$$\dot{Q}_{em} = \epsilon \sigma (T_{sur}^4 - T_o^4) \quad (12)$$

که در رابطه (۱۲)،  $\sigma$  بیانگر ثابت استفان بولتزمن است.

## ۲-۲-۴- اتلاف حرارت بازتابی

آخرین نوع اتلاف حرارت، به صورت اتلاف بازتابی است. این اتلاف به دلیل بازتاب تشعشع از سطح دریافت کننده بوده و به نوع ماده به کار رفته در ساخت این سطح بستگی دارد. اتلاف حرارت تشعشعی با استفاده از رابطه (۱۳) [۲] تعیین می شود.

$$\dot{Q}_{ref} = \rho \dot{Q}_{rec} F_r \quad (13)$$

### ۳-۲- بازده انرژی و انرژی و انرژی

بازده انرژی در دریافت کننده مرکز را به صورت نسبت انرژی جذب شده به انرژی ورودی و بازده انرژی را به صورت انرژی جذب شده به انرژی ورودی تعریف می کنیم که روابط (۱۴) و (۱۵) بیانگر آن ها [۹] هستند.

$$\eta_{energy} = \dot{Q}_{abs} / \dot{Q}_{rec} \quad (14)$$

$$\eta_{exergy} = \dot{\Psi}_{abs} / \dot{\Psi}_{rec} \quad (15)$$

$\dot{\Psi}_{rec}$  و  $\dot{\Psi}_{abs}$  به ترتیب انرژی حرارت جذب شده و انرژی حرارت ورودی است و از روابط زیر بدست می آید.

$$\dot{\Psi}_{rec} = \dot{Q}_{rec} (1 - T_o / T_s) \quad (16)$$

$$\dot{\Psi}_{abs} = \dot{\Psi}_{mo} - \dot{\Psi}_{mi} = \dot{m}_{ms} C_{p_{ms}} [(T_{mo} - T_{mi}) - T_o \ln(T_{mo} / T_{mi})] \quad (17)$$

### ۳- مدل سازی هزینه ساخت

تابع هزینه برای ساخت یک برج خورشیدی شامل هزینه هایی همچون هزینه ناشی از ارتفاع برج، هزینه تجهیزات داخل دریافت کننده و هزینه آینه های مورد نیاز برای بازتاب نور در نظر گرفته شده است. تابع هزینه برای برج خورشیدی بر اساس مرجع [۱۴]، به صورت رابطه (۱۸) تعریف شده است:

$$CF = C_{tower} + C_{rec} + C_{heliostats} \quad (18)$$

### ۳-۱- هزینه ارتفاع برج

ارتباط بین هزینه ساخت برج با ارتفاع برج را می توان با توجه به مرجع [۱۴] به صورت رابطه (۱۹) تعریف کرد:

$$C_{tower} = 250,000 + 14.77 H_{tower}^{2.392} \quad [€] \quad (19)$$

که ارتفاع برج از رابطه (۲۰) بدست می آید [۱۴].

$$H_{tower} = 0.6806 Q_{rec} + 106.6 \quad (20)$$

لازم به ذکر است که در رابطه بالا  $Q_{rec}$  بر حسب مگاوات باشد.

### ۳-۲- هزینه آینه ها

با توجه به مرجع [۱۴]، هزینه ناشی از مساحت آینه مورد نیاز به صورت زیر محاسبه می شود:

$$C_{Heliostats} = 140 A_h \quad [€] \quad (21)$$

### ۳-۳- هزینه ی تجهیزات داخلی دریافت کننده

رابطه بین هزینه تجهیزات داخلی در دریافت کننده و حرارت ورودی به دریافت کننده با توجه به مرجع [۱۵] به صورت رابطه (۲۲) ارائه شده است:

$$C_{rec} = \frac{46438}{\dot{q}_{rec}} + 21.899 \quad [€/KW] \quad (22)$$

که  $\dot{q}_{rec}$  بیانگر شار ورودی به دریافت کننده بوده و بر حسب کیلووات است که برای محاسبه هزینه داخلی دریافت کننده رابطه بالا در ظرفیت دریافت کننده ضرب می شود.

### ۴- روش تصمیم گیری تاپسیس<sup>۱</sup>

در این مقاله به تحلیل اقتصادی، انرژی و انرژی برج خورشیدی در چند شهر از شهرهای ایران پرداخته شده است. در ادامه با استفاده از یک استراتژی مناسب، بهترین موقعیت را از میان چند شهر برای استفاده از برج خورشیدی انتخاب می گردد. در این پژوهش، از روش مرسوم تاپسیس به همراه بی بعد سازی اقلیدسی [۱۶] استفاده شده است. این مدل یکی از بهترین مدل های تصمیم گیری چند شاخصه است. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی بایستی کمترین فاصله را با راه حل ایده آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با ایده آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. حل مسئله با این روش شامل شش گام است.

#### ۱- تشکیل ماتریس تصمیم مسأله

۲- تشکیل ماتریس بی مقیاس شده. ماتریس تصمیم گیری به کمک نرم اقلیدسی به روش زیر به یک ماتریس بی مقیاس تبدیل می شود [۱۵]:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{(\sum_{i=1}^m r_{ij}^2)^{1/2}}, \quad (i = 1, \dots, m), (j = 1, \dots, n) \quad (23)$$

$$N_d = [n_{ij}] \quad (24)$$

<sup>1</sup> Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

انتخاب شده است. شهرهای اهواز، کرمان، اصفهان، بیرجند، اراک، شیراز، تبریز، یزد و سمنان که در اقلیم سرد، اقلیم سرد و خشک و اقلیم گرم و خشک هستند، در نظر گرفته شده است. این شهرها با در نظر گرفتن اثر عرض جغرافیایی بر شدت تابش خورشید و نوع اقلیم آب و هوایی انتخاب شده‌اند تا بتوان اثر شدت تابش خورشید، دمای محیط و سرعت باد را در بررسی‌ها لحاظ نمود. و به مقایسه بازده انرژی، بازده انرژی و تابع هزینه در این ۹ شهر در شش ماه سال پرداخته شده است. برای این منظور بایستی شرایطی چون دمای محیط، میزان تابش در واحد سطح و سرعت باد در هر شهر جداگانه [۱۷] در نظر گرفته شود. به عنوان نمونه، در جدول ۳ تا ۵ شرایط در نظر گرفته شده برای سه شهر اراک، شیراز و تبریز نشان داده شده است. جدول ۶ نیز شرایط در نظر گرفته شده برای دریافت‌کننده را نشان می‌دهد که برای هر ۹ شهر یکسان انتخاب می‌شود. برای ۹ شهر با توجه به مدلسازی حرارتی، ترمودینامیکی و اقتصادی، تحلیل‌ها انجام شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها با جزئیات فقط برای سه شهر اراک، تبریز و شیراز در ادامه آورده شده است و برای ۶ شهر دیگر فقط نتایج کلی ارائه گردیده است.

#### ۵-۱- مقایسه اتلاف حرارت میانگین در شش ماه سال

تحلیل حرارتی برج خورشیدی بر اساس مدل‌سازی ارائه شده انجام و میزان سهم اتلاف‌های حرارتی در دریافت‌کننده در سه شهر اراک و شیراز و تبریز به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. سهم اتلافات حرارتی هدایتی برای هر سه شهر در حدود ۳٪ است. از شکل‌های ۴ تا ۶ می‌توان دریافت که بیشترین سهم اتلاف حرارتی را اتلاف حرارت بازتابی به خود اختصاص داده است و پس از آن به ترتیب اتلاف حرارت تشعشعی و جابه‌جایی است. به این دلیل که حرارت ورودی به دریافت‌کننده، مقدار زیادی است، بازتاب از سطح دریافت‌کننده، مقدار قابل توجهی بوده و بیشترین اتلاف را دارا است و این اتلاف به جنس بکار رفته در سطح دریافت‌کننده و به ضریب بازتاب آن مرتبط است. پس از آن اتلاف حرارت تشعشعی که به سبب اختلاف زیاد دمای سطح و محیط اطراف ایجاد می‌گردد، بیشترین اتلاف را به خود اختصاص می‌دهد و دلیل آن این است که این اتلاف به مقدار  $T_{sur}^4 - T_o^4$  وابسته بوده و به همین خاطر مقدار قابل

۳- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون: در این مرحله وزن هر یک از شاخص‌ها که قبلاً محاسبه شده است، در هر یک از گزینه‌ها ضرب شده و ماتریس بی‌مقیاس شده موزون به صورت رابطه (۲۵) محاسبه می‌شود [۱۶].

$$V = N_d \times W_{n \times n} \quad (25)$$

در معادله فوق،  $V$  ماتریس بی‌مقیاس شده موزون و  $W$  ماتریسی قطری از وزن‌های به دست آمده برای شاخص‌ها است.

۴- محاسبه میزان دوری یا نزدیکی ( $d$ ) نسبت به جواب ایده‌آل مثبت  $A_i^+$  و ایده‌آل منفی  $A_i^-$  بر اساس نرم اقلیدسی، به ازاء شاخص‌های مثبت  $J_1 = \{1, 2, \dots, n\}$  و به

$$J_2 = \{1, 2, \dots, n\} \text{ از شاخص‌های منفی}$$

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{1/2}, (i=1, 2, \dots, m)$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{1/2}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (26)$$

۵- تعیین نزدیکی نسبی ( $C$ ): نزدیکی نسبی گزینه  $A_i$  به راه حل ایده‌آل به صورت رابطه (۲۷) محاسبه می‌شود.

$$C_i = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, (i=1, 2, \dots, n) \quad (27)$$

۶- رتبه‌بندی گزینه‌ها: بر اساس مقادیر نزدیک نسبی گزینه‌ها در این مرحله براساس ترتیب نزولی می‌توان گزینه‌های موجود را بر مبنای بیشترین اهمیت رتبه بندی نمود.

#### ۵- نتایج

در این پژوهش مدل تحلیلی برای بررسی انتقال حرارت در برج خورشیدی ارائه شده است که برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده، برج خورشیدی مطابق با داده‌های تجربی [۱۷] در جدول ۱ در نظر گرفته شده است. دماهای ورودی و خروجی به برج خورشیدی به ظرفیت ۵۰ مگاوات ۵۶۵ و ۲۹۰ درجه سانتیگراد است. نتایج حاصل از بررسی با مدل پیشنهادی این مقاله در جدول ۲ نشان داده شده است. بازده برج خورشیدی در نظر گرفته شده در [۱۸] در حدود ۰/۸۵-۰/۹ است که میانگین بازده حرارتی آن ۰/۸۷ است که با نتیجه حاصل از مدل پیشنهادی (۰/۸۷/۷۳) تطابق کامل دارد که نشان دهنده دقت مدل تحلیلی پیشنهادی است. برای ارائه استراتژی انتخاب شهر، ۹ شهر از شهرهای ایران در اقلیم‌های مختلف

شهر تبریز نسبت به دو شهر دیگر بیشتر است، (شکل ۶) بخاطر آنکه شهر تبریز در بین سه شهر کمترین دمای محیط و بیشترین سرعت باد را دارد.

توجهی از اتلاف را دارا است. با توجه به اینکه سرعت باد در این سه شهر کمتر از ۵ متر بر ثانیه است؛ بنابراین اتلافات حرارتی جابجایی برای شهر اراک، شیراز و تبریز کمتر از اتلاف تشعشعی و بازتابی بوده و اتلافات حرارتی جابجایی

جدول ۱- پارامترهای ورودی برج خورشیدی [۱۸]

$\rho$	$\varepsilon$	$k_{tube}(\frac{W}{mK})$	$t_{tube}(m)$	$d_{tube}(m)$	$H(m)$	$A(m^2)$	Pass no.	$t_{insu}(m)$	$U_{wind}(\frac{m}{s})$
۰/۰۴	۰/۸	۱۹/۷	۰/۰۰۱۶۵	۰/۰۱۹	۶	۱۵/۶۲۵	۱۲	۰/۰۷	۵

جدول ۲- تحلیل حرارتی با استفاده از مدل پیشنهادی کار حاضر

$Q_{total}(kW)$	$Q_{cond}(kW)$	$Q_{ref}(kW)$	$Q_{em}(kW)$	$Q_{conv}(kW)$	$\eta_{energy}(\%)$
۶۹۹/۸۵	۱۰/۰۴	۲۰۷/۶۶	۲۹۶/۷	۱۸۵/۳۵	۸۷/۷۳

جدول ۳- شرایط در نظر گرفته شده برای شهر اراک [۱۷]

	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر
$U_{air}(\frac{m}{s})$	۲/۵	۲/۵	۲/۲۲	۲/۲۲	۱/۹۴	۱/۹۴
$T_o(K)$	۲۹۵	۳۰۱	۳۰۴	۳۰۳	۲۹۸	۲۹۲
$DNI(\frac{W}{m^2K})$	۲۷۲	۳۲۲	۳۱۴	۲۸۶	۲۵۲	۱۸۲

جدول ۴- شرایط در نظر گرفته شده برای شهر شیراز [۱۷]

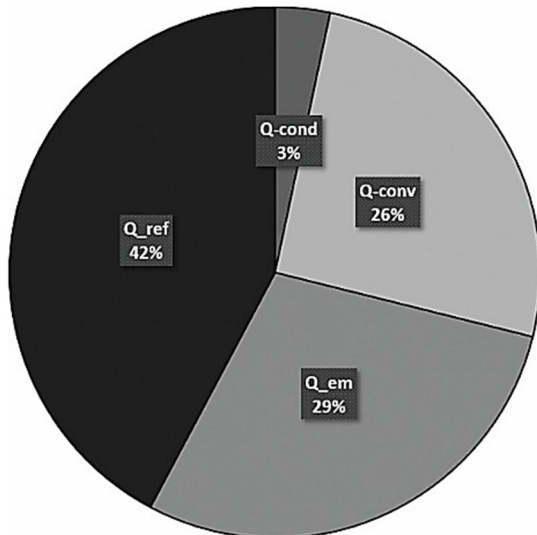
	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر
$U_{air}(\frac{m}{s})$	۲/۵	۲	۲/۲۲	۱/۹۴	۱/۶۷	۱/۳۹
$T_o(K)$	۳۰۳	۳۰۷	۳۰۹	۳۰۸	۳۰۴	۲۹۹
$DNI(\frac{W}{m^2K})$	۲۸۲	۳۱۴	۳۰۲	۲۸۲	۲۵۲	۲۰۸

جدول ۵- شرایط در نظر گرفته شده در شهر تبریز [۱۷]

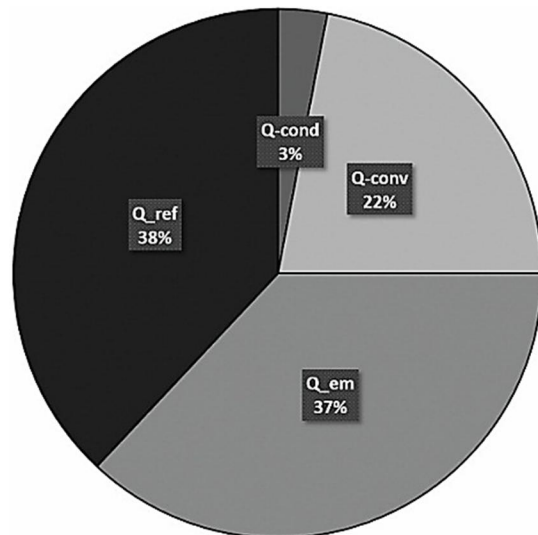
	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر
$U_{air}(\frac{m}{s})$	۳/۶۱	۳/۸۹	۴/۷۲	۴/۱۷	۳/۳۳	۲/۵
$T_o(K)$	۲۹۳	۲۹۹	۳۰۳	۳۰۳	۲۹۸	۲۹۱
$DNI(\frac{W}{m^2K})$	۲۴۲	۲۹۶	۲۹۸	۲۷۰	۲۲۲	۱۵۲

جدول ۶- شرایط در نظر گرفته شده برای دریافت کننده

$\rho$	$F_r$	$A_{sur}(m^2)$	$T_{in}(K)$	$T_{ex}(K)$	$\epsilon$	$k_{tube}(\frac{W}{mK})$	$k_{insu}(\frac{W}{mK})$	$\delta_{insu}(m)$	$d_o(m)$	$t(mm)$	$L_c(m)$
۰/۰۴	۰/۸	۱۵/۶۲۵	۲۹۰	۵۶۵	۰/۷	۲۳/۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۱۹	۱/۴	۶



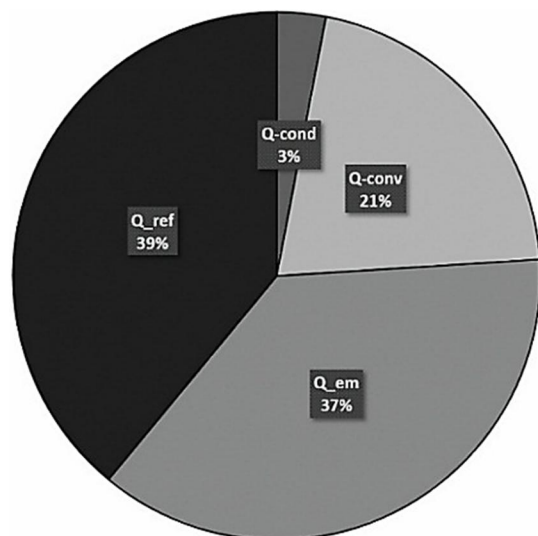
شکل ۶- سهم اتلاف‌های حرارتی در دریافت کننده برای شهر تبریز



شکل ۴- سهم اتلاف‌های حرارتی در دریافت کننده برای شهر اراک

### ۵-۲- بازده انرژی و انرژی

شکل ۷ و شکل ۸، به ترتیب بازده انرژی و انرژی را در شش ماه سال برای هر سه شهر نشان می‌دهد. جدول‌های ۶ و ۷ میانگینی از اتلاف‌های حرارتی، حرارت ورودی به دریافت کننده، بازده انرژی و بازده انرژی را برای سه شهر در شش ماه سال نشان می‌دهد. جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین سهم اتلافات حرارتی به ترتیب برای اتلافات حرارتی بازتاب، صدور و جابجایی است. در شهر شیراز، دمای محیط بیشتر از شهرهای دیگر بوده و نیز سرعت باد در این شهر تقریباً با شهر اراک برابر و از شهر تبریز کمتر است؛ بنابراین اتلاف حرارت تشعشعی و جابه‌جایی کمتری خواهد داشت. اتلافات حرارتی کلی شهر شیراز کمترین مقدار بوده (جدول ۷)، بنابراین بازده انرژی برای شهر شیراز در شش ماه سال از دو شهر دیگر بیشتر (شکل ۷) و بازده انرژی تبریز کمترین مقدار است. شکل ۸ نشان می‌دهد که برای هر سه شهر بازده انرژی در ماه اکتبر بیشترین است. در این ماه



شکل ۵- سهم اتلاف‌های حرارتی در دریافت کننده برای شهر شیراز



جدول ۶- میزان اتلاف‌های حرارتی اگزرژی در شش ماه سال برای هر سه شهر

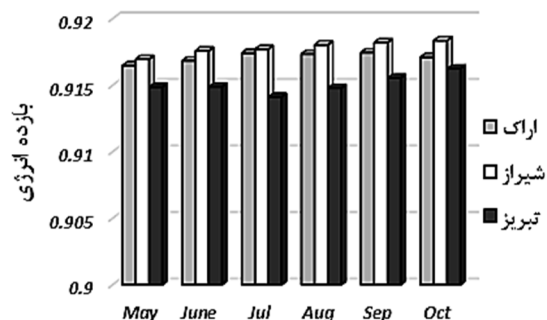
	$Q_{cond}$ (KW)	$Q_{conv}$ (KW)	$Q_{em}$ (KW)	$Q_{ref}$ (KW)
اراک	۱۶/۰۰۲	۱۱۷/۵۵۶	۱۹۹/۴۵۰	۲۰۹/۳۵۵
شیراز	۱۵/۷۹۲	۱۳۳/۳۴۰	۱۹۹/۱۲۲	۲۰۹/۱۹۸
تبریز	۱۶/۰۷۵	۱۳۱/۶۶۰	۱۹۹/۵۰۱	۲۰۹/۸۲۶

جدول ۷- میزان اتلاف حرارتی کل، حرارت ورودی به گیرنده، بازده انرژی و اگزرژی در شش ماه سال برای هر سه شهر

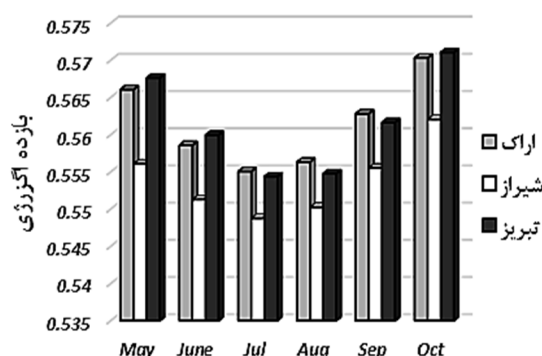
	$Q_{loss}$ (MW)	$Q_{rec}$ (MW)	$\eta_{energy}$	$\eta_{exergy}$
اراک	۵/۴۲۴	۶/۵۴۲	٪۹۱/۳۶	٪۵۶/۵
شیراز	۵/۳۷۴	۶/۵۳۷	٪۹۱/۴۲	٪۵۴/۸
تبریز	۵/۵۷۱	۶/۵۵۷	٪۹۱/۱۶	٪۵۶/۵۶

### ۵-۳- مساحت آینه

مساحت آینه مورد نیاز برای جذب ۶ مگاوات حرارت در قسمت دریافت‌کننده مرکزی در سه شهر اراک، تبریز و شیراز در شکل ۹ نشان داده شده است. شکل ۹ نشان می‌دهد که ماه اکتبر و ماه ژوئن به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت آینه را به خود اختصاص داده‌اند؛ زیرا ماه اکتبر و ماه ژوئن به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار  $DNI$  را دارند. برای شهر تبریز نیز با دلیل مشابه، ماه‌های اکتبر و ژوئیه بیشترین و کمترین مساحت آینه را به خود اختصاص می‌دهند. در شهر شیراز هم ماه‌های اکتبر و ژوئن به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت آینه را دارا می‌باشند. در حالت میانگین برای شش ماه سال، مقدار  $DNI \left( \frac{W}{m^2K} \right)$  به ترتیب برای سه شهر اراک (۴۲۰/۵)، شیراز (۴۲۶/۲۶) و تبریز (۴۱۲/۴۵) است و برای رسیدن به ظرفیت ۶ مگاوات باید برای جبران شدت تابش خورشید، سطح آینه موردنیاز افزایش یابد. در حالت میانگین برای شش ماه سال، مساحت آینه مورد نیاز برای سه شهر اراک و شیراز و تبریز به ترتیب برابر با ۲۱۳۹۴ متر مربع، ۲۰۸۹۸ متر مربع و ۲۲۰۹۴ متر مربع است؛ بنابراین شهرهای

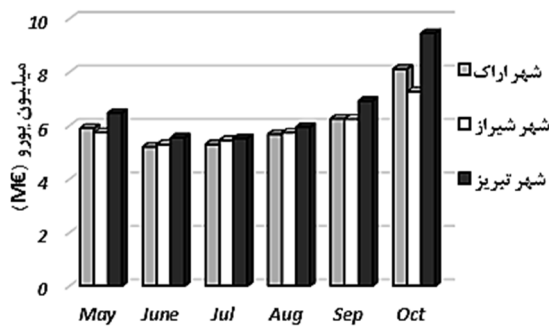


شکل ۷- بازده انرژی برای هر سه شهر در شش ماه سال

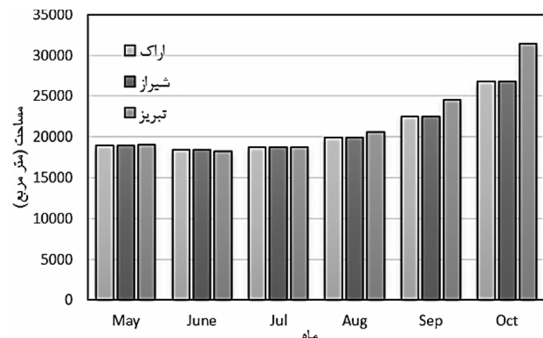


شکل ۸- بازده اگزرژی برای هر سه شهر در شش ماه سال

مطابق با جداول ۳ تا ۵ دمای محیط، سرعت باد و  $DNI$  کمترین مقدار را نسبت به ماه‌های دیگر داراست. در ماه‌های ژوئیه، اگوست و سپتامبر، بازده اگزرژی شهر اراک کمی بیشتر از شهر تبریز است. در این ماه‌ها، سرعت باد در شهر تبریز و  $DNI$  در شهر اراک بیشتر بوده، بنابراین اتلافات حرارتی جابجایی و گرمای دریافتی برج خورشیدی ( $Q_{rec}$ ) در شهر تبریز بیشتر از شهر اراک است. از جدول ۷ دیده می‌شود، هنگامی که حرارت ورودی به گیرنده افزایش می‌یابد، بازده انرژی و اتلافات حرارتی نیز افزایش می‌یابد، اما رشد بازده انرژی بیشتر از رشد اتلافات حرارتی است. بیشترین اتلافات حرارتی و گرمای دریافتی برای شهر تبریز است.  $DNI$  و دمای محیط، بر بازده اگزرژی تأثیر گذار خواهد بود. در بین سه شهر انتخابی، متوسط دمای محیط و  $DNI$  شهر تبریز نسبت به دو شهر دیگر کمتر است. بنابراین طبق روابط (۱۴) تا (۱۶) و جداول ۶ و ۷ بیشترین بازده اگزرژی را دارد. بازده اگزرژی شهر تبریز و اراک به صورت مشترک در بین سه شهر مورد مطالعه بیشترین بازده را دارا هستند.



شکل ۱۰- مقایسه مقدار تابع هزینه برای ماه‌های مختلف در سه شهر



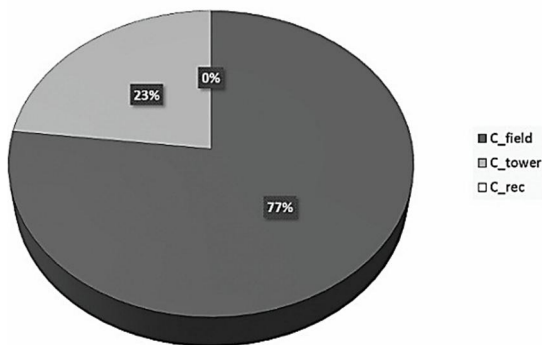
شکل ۹- مساحت آینه در ماه‌های مختلف

تبریز، اراک و شیراز به ترتیب بیشترین مساحت آینه را در بین سه شهر به خود اختصاص می‌دهند و شهر تبریز که به طور میانگین کمترین  $DNI$  را دارد، بیشترین سطح آینه را نیز دارد.

#### ۵-۴- مقایسه تابع هزینه سه شهر

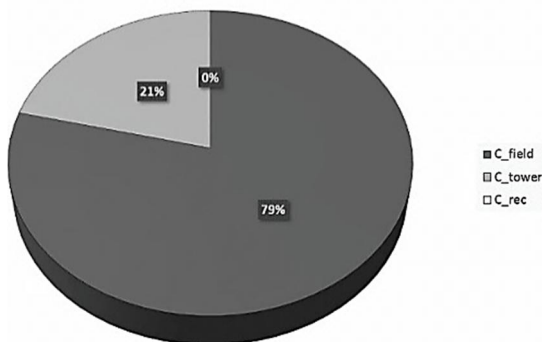
مقدار تابع هزینه در نظر گرفته شده در سه شهر با شرایط متفاوت در شش ماه سال محاسبه و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. تغییر شرایطی از جمله تابش خورشید، دمای محیط و سرعت باد است که برای ماه‌های مختلف تغییر می‌کند، بر تابع هزینه که تابعی از میزان سطح آینه مورد نیاز و گرمای دریافتی برج خورشیدی اثر می‌گذارد. مطابق با شکل ۱۰، میزان تابع هزینه برای هر سه شهر از ماه می تا ماه اکتبر صعودی بوده و به طور کلی تابع هزینه برای شهر تبریز از دو شهر دیگر بیشتر است. برای شهر اراک نیز تابع هزینه در ماه ژوئن، ژولای و آگوست کمتر از شهر شیراز بوده و برای ماه‌های دیگر این مقدار بیشتر است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ سهم بخش‌های مختلف برج در تابع هزینه را به ترتیب در شهرهای تبریز و اراک-شیراز نشان می‌دهد. شکل ۱۲ برای شهر اراک و شیراز مشابه هم بوده و برای هر دو یکسان است. سطح آینه مورد نیاز برای رسیدن به ظرفیت ۶ مگاواتی برای شهر تبریز بیشتر از اراک و اراک نیز بیشتر از شیراز است و از شکل‌های ۱۱ و ۱۲ می‌توان دریافت بیشترین سهم هزینه در برج خورشیدی مربوط به آینه‌ها و بعد از آن به ترتیب هزینه ناشی از ارتفاع برج و دریافت‌کننده است که برای شهر تبریز، حدود ۷۰ درصد تابع هزینه مربوط به آینه‌ها و در شهر اراک و شیراز، این مقدار ۶۸ درصد است؛ بنابراین در بین این

مقایسه‌ی انواع هزینه‌های دریافت‌کننده‌ی مرکزی در دو شهر اراک و شیراز



شکل ۱۱- سهم هزینه بخش‌های مختلف برج خورشیدی در تابع هزینه در شهرهای اراک و شیراز

مقایسه‌ی انواع هزینه‌های دریافت‌کننده‌ی مرکزی در شهر تبریز



شکل ۱۲- سهم هزینه بخش‌های مختلف برج خورشیدی در تابع هزینه در شهر تبریز

سه شهر، بیشترین هزینه برج خورشیدی متعلق به شهر تبریز (شکل ۱۰) است که بیشترین سطح آینه (شکل ۹) را نیاز دارد.

**۵-۵- استراتژی انتخاب شهر مناسب برای برج خورشیدی**

از نتایج دیده شد، بیشترین بازده انرژی را شهر شیراز (۹۱/۴۲٪) و بیشترین بازده انرژی را به طور مشترک شهرهای تبریز و اراک (۵۵/۵۵٪) و کمترین هزینه را شهر شیراز (۵۱۲۵۰۱۴ یورو) دارا می‌باشند و نمی‌توان تنها بر اساس بازده انرژی و انرژی و هزینه اقتصادی به انتخاب مناسب ترین شهر پرداخت. برای انتخاب با در نظر گرفتن تحلیل حرارتی، ترمودینامیکی و اقتصادی باید از روش‌های تصمیم گیری استفاده کرد؛ یکی از روش‌هایی که در این زمینه وجود دارد، روش تصمیم سازی چند معیاره تاپسیس است. با استفاده از ملاک تاپسیس و با در نظر گرفتن بازده انرژی، انرژی و تابع هزینه به عنوان ملاک‌های انتخاب، مناسب ترین شهر برای استفاده از برج خورشیدی مشخص گردیده است. در ارزیابی گزینه‌ها نسبت به یکدیگر نیز ضرایب تابع هزینه (۰/۵-)، بازده انرژی (+۱) و انرژی (+۱) در نظر گرفته شده است. پس از انجام محاسبات مطابق با بخش ۴ و تعیین فاصله از جواب ایده‌آل مثبت و منفی برای ۹ شهر مورد نظر (جدول ۹)، امتیاز نهایی مربوط به هر شهر در شکل ۱۳ نشان داده شده است. دیده می‌شود، بهترین

مطابق با مدلسازی ارائه شده در این پژوهش، بررسی‌های حرارتی، ترمودینامیکی و اقتصادی انجام شده است و نتایج میانگین شش ماهه بازده انرژی، بازده انرژی و هزینه برای ۹ شهر در جدول ۸ آورده شده است. بیشترین بازده انرژی متعلق به شهر شیراز است که برابر با ۹۱/۴۲٪ است. بیشترین بازده انرژی متعلق به شهر اراک است که برابر با ۵۶/۵۶٪ است. بیشترین هزینه متعلق به شهر تبریز است که برابر با ۵۲۹۰۸۳۴ یورو است. نتایج نشان می‌دهد شهرهایی که پتانسیل تابش خورشیدی آنها بیشتر است، سطح آینه کمتری نیاز دارند و به تبع آن، تابع هزینه آنها کمتر است. در شهرهایی که دمای محیط بیشتر و سرعت باد کمتر است، ترم اتلافات حرارتی کل کمتر است و گرمای دریافتی مورد نیاز گیرنده خورشیدی کمتر است و بازده انرژی آن شهرها (مانند شیراز) بیشتر است. همان طور که در تحلیل ترمودینامیکی در بخش ۲-۳، بازده انرژی با  $\dot{Q}_{rec}$  و اختلاف  $(1 - T_o/T_s)$  رابطه عکس دارد و شهرهایی که دمای محیط کمتر و گرمای دریافتی مورد نیاز گیرنده خورشیدی در آنها بیشتر است (مانند تبریز و اراک) دارای بازده انرژی بیشتری هستند.

**جدول ۹- محاسبه فاصله از جواب ایده آل مثبت و منفی برای سه شهر مورد نظر**

شهر	$d_i^+$	$d_i^-$
اهواز	۰/۰۰۴۹۸۵	۰/۰۰۸۹۶
کرمان	۰/۰۰۱۱۱۶	۰/۰۰۱۰۶۶۸
اصفهان	۰/۰۰۲۷۵	۰/۰۰۸۹۹
بیرجند	۰/۰۰۳۴۲	۰/۰۰۸۴۲۶
یزد	۰/۰۰۳۲۳۸	۰/۰۰۸۶۵۶
سمنان	۰/۰۰۶۴۵	۰/۰۰۵۰۵۵
اراک	۰/۰۰۴۴۴۹	۰/۰۰۷۸۰۷
شیراز	۰/۰۰۲۲۹۴	۰/۰۰۱۰۹۷۲
تبریز	۰/۰۰۱۰۷۱۲	۰/۰۰۴۶۶۷

**جدول ۸- نتایج شهرهای دیگر بر اساس مدلسازی حرارتی و اقتصادی**

شهر	$\eta_{energy}(\%)$	$\eta_{exergy}(\%)$	Cost (€)
اهواز	۹۱/۳۸۷	۵۴/۰۱۴۳	۵۱۵۲۱۶۷
کرمان	۹۱/۲۸۲	۵۵/۴۴۱۴	۵۱۳۹۳۴۳
اصفهان	۹۱/۳۳۳۵	۵۵/۳۴۴۲	۵۱۶۶۲۴۲
بیرجند	۹۱/۱۵۸۱	۵۵/۲۹۱۷	۵۱۷۴۴۲۰
یزد	۹۱/۳۳۵۴	۵۵/۴۸۲۱	۵۱۶۲۱۳۳
سمنان	۹۱/۴	۵۵/۴۱۶۷	۵۲۲۵۰۳۳
اراک	۰/۹۱۳۶	۰/۵۶۵۵	۵۱۹۴۰۷۵
شیراز	۰/۹۱۴۲	۰/۵۴۸۰	۵۱۲۵۰۱۴
تبریز	۰/۹۱۱۶	۰/۵۶۵۶	۵۲۵۲۹۰۸۳۴

۳- نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در بین ۹ شهر، بیشترین بازده انرژی را شهر شیراز (۹۱/۴۲٪) و بیشترین بازده انرژی را به طور مشترک شهرهای تبریز و اراک (۵۶/۵۶٪) دارا می‌باشند.

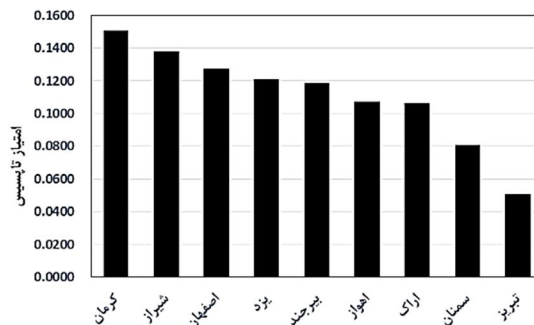
۴- بیشترین سهم هزینه در برج خورشیدی مربوط به آینه‌ها و بعد از آن به ترتیب هزینه‌ی ناشی از ارتفاع برج و دریافت‌کننده است. برای شهر تبریز، حدود ۷۰ درصد تابع هزینه مربوط به آینه‌ها و در شهر شیراز، این مقدار ۶۸ درصد است.

۵- تابع هزینه برای شهر تبریز برابر با ۵۲۹۰۸۳۴ یورو است که بیشترین مقدار در بین سه شهر را دارد. تابع هزینه در شهر شیراز برابر با ۵۱۲۵۰۱۴ یورو است که کمتر از شهرهای دیگر است.

۶- با استفاده از روش تاپسیس مناسب ترین شهر برای استقرار برج خورشیدی از بین ۹ شهر مورد مطالعه انتخاب شد. شهر کرمان با امتیاز نهایی ۰/۱۵۰۸ در جایگاه اول قرار دارد و شهر شیراز و اصفهان به ترتیب با امتیاز ۰/۱۳۷۸ و ۰/۱۲۷۶ در جایگاه بعدی انتخاب قرار دارند.

#### ۷- فهرست علائم و نمادها

$k$	ضریب هدایت حرارتی ( $W/mK$ )
$T$	دما ( $K$ )
$t$	ضخامت ( $m$ )
$Q$	حرارت ( $W$ )
$h$	ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی
$F_T$	ضریب شکل
$U$	سرعت ( $m/s$ )
$CF$	تابع هزینه (یورو)
$C$	هزینه
$d$	قطر (متر)
$A$	مساحت ( $m^2$ )



شکل ۱۳- امتیاز نهایی بر اساس روش تاپسیس

امتیاز (۰/۱۵۰۸) متعلق به شهر کرمان است و شهر کرمان نسبت به ۸ شهر دیگر موقعیت مناسبی برای استفاده از برج خورشیدی است و شهر شیراز با امتیاز ۰/۱۳۷۸ در جایگاه دوم قرار دارد.

#### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله تحلیل اقتصادی، انرژی و انرژی و انرژی برای ۹ شهر انجام گردید. شهرهای اهواز، کرمان، اصفهان، بیرجند، اراک، شیراز، تبریز، یزد و سمنان که در اقلیم سرد، اقلیم سرد و خشک و اقلیم گرم و خشک هستند، در نظر گرفته شده است و به مقایسه بازده انرژی، بازده انرژی و تابع هزینه در این ۹ شهر در شش ماه سال پرداخته شده است. در این مطالعه شرایطی همچون، دمای محیط، تابش خورشید و سرعت باد در شش ماه سال متفاوت در نظر گرفته شد و با استفاده از الگوریتم حل (شکل ۳)، نتایج زیر حاصل گردید:

۱- مدل‌سازی حرارتی برای دریافت‌کننده مرکزی، میزان حرارت ورودی لازم برای دستیابی به ۶ مگاوات حرارت مفید انجام شد. طبق این مدل‌سازی، شهر شیراز کمترین حرارت ورودی به دریافت‌کننده را در بین ۹ شهر دیگر دارا بوده است.

۲- برای تولید ۶ مگاوات حرارت برای سیکل تولید توان، کمترین مساحت آینه در بین ۹ شهر مورد بررسی را شهر شیراز به خود اختصاص داده است و مساحت آینه مورد نیاز آن ۲۰۸۹۸ متر مربع است و بعد از آن شهر اهواز با مساحت آینه ۲۱۰۹۳ مترمربع در جایگاه دوم قرار دارد.

molten salt cavity receiver. <i>Renew. Energy</i> 35(5): 981-988.	ارتفاع (متر)	<i>H</i>
[3] Boerema N, Morrison G, Taylor R, Rosengarten G (2012) Liquid sodium versus Hitec as a heat transfer fluid in solar thermal central receiver systems. <i>Sol Energy</i> 86(9): 2293-2305.	ضریب بازتاب	$\rho$
[4] Benammar S, Khellaf A, Mohammedi K (2014) Contribution to the modeling and simulation of solar power tower plants using energy analysis. <i>Energy Conver. Manag</i> 78: 923-930.	ضریب صدور	$\epsilon$
[5] Franchini G, Perdichizzi A, Ravelli S, Barigozzi G (2013) A comparative study between parabolic trough and solar tower technologies in Solar Rankine Cycle and Integrated Solar Combined Cycle plants. <i>Sol Energy</i> 98: 302-314.	بازده	$\eta$
[6] Desai NB, Kedare SB, Bandyopadhyay S (2014) Optimization of design radiation for concentrating solar thermal power plants without storage. <i>Sol Energy</i> 107: 98-112.	انگزرژی	$\psi$
[7] Kalteh M, Razavinouriand M, Akef MR (2014) Performance evaluation of conventional and sloped solar chimney power plants in different climates of Iran. <i>J Fluid Mech</i> 4(3): 137-146.	تابش عمودی بر واحد سطح	<i>DNI</i>
[8] Sansaniwal SK, Sharma V, Mathur J (2018) Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. <i>Renew Sust Energ Rev</i> 82: 1576-1601.	جابه‌جایی اجباری	<i>fc</i>
[9] Sahoo U, Kumar R, Singh S, Tripathi A (2018) Energy, exergy, economic analysis and optimization of polygeneration hybrid solar-biomass system. <i>Appl Therm Eng</i> 145: 685-692.	جابه‌جایی آزاد	<i>nc</i>
[10] Wagner MJ, Hamilton WT, Newman A, Dent J, Diep C, Braun R (2018) Optimizing dispatch for a concentrated solar power tower. <i>Sol Energy</i> 174: 1198-1211.	عایق	<i>insu</i>
[11] Fritsch A, Frantz C, Uhlig R (2019) Techno-economic analysis of solar thermal power plants using liquid sodium as heat transfer fluid. <i>Sol Energy</i> 177: 155-162.	سطح	<i>sur</i>
[12] Bellos E, Bousi E, Tzivanidis C, Pavlovic S (2019) Optical and thermal analysis of different cavity receiver designs for solar dish concentrators. <i>Energy Conver Manag</i> 2: 100013.	بیرون (اطراف)	<i>o</i>
[13] Kolb GJ, Ho CK, Mancini TR, Gary JA (2011) Power tower technology roadmap and cost reduction plan. SAND2011-2419, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM. 7: 1-20.	تشعشی	<i>em</i>
[14] Carasso M and Becker M (1990) Solar thermal central receiver systems, Performance evaluation standards for solar central receivers. Springer Verlag 3: 1-20.	بازتابی	<i>ref</i>
[15] Stalin Maria Jebamalai J (2016) Receiver design methodology for solar tower power plants, KTH school of industrial engineering and management,	جذبی	<i>abs</i>
	جابه‌جایی	<i>conv</i>
	رسانشی	<i>cond</i>
	دریافت‌کننده	<i>rec</i>
	دمای نمک خروجی	<i>mo</i>
	دمای نمک ورودی	<i>mi</i>
	نمک مذاب	<i>ms</i>
	آینه‌ها	<i>h</i>
	خورشید	<i>S</i>

#### ۸- مراجع

[1] Yao Z, Wang Z, Lu Z, Wei X. (2009) Modeling and simulation of the pioneer 1 MW solar thermal central receiver system in China. *Renew. Energy* 34(11): 2437-2446.

[2] Li X, Kong W, Wang Z, Chang C, Bai F (2010) Thermal model and thermodynamic performance of

- degree of spatial res, daily GHI values):  
<http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/nasa-sse>
- [18] Bergan NE (1987) An external molten salt solar central receiver test. Sol Engineering 1: 474-478.
- department of energy thechnology. SE-100 44, Stockholm.
- [16] Shih HS, Shyur HJ, Lee ES (2007) An extension of TOPSIS for group decision making. Math Comput Simul 45(7-8): 801-813.
- [17] Solar Energy Services of Professionals, NASA-SSE (worldwide, from July 1983 to June 2005, 1