



بررسی اثر شرایط محیطی بر دودکش خورشیدی: تحلیل آگرژی و اقتصادی و انتخاب شهر مناسب

سمیه داودآبادی فراهانی^{۱*} و علی خزاعی نژاد^۲

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک

^۲ دانشجوی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۴

چکیده

در این مطالعه اثرات شرایط محیطی بر آگرژی و هزینه دودکش خورشیدی بررسی و راهکاری برای انتخاب شهر مناسب برای بهره‌مندی از دودکش خورشیدی ارائه شده است. در بررسی اثر شرایط محیطی پارامترهایی مانند، شدت تابش، دمای محیط و مقدار رطوبت محیط در نظر گرفته شده است. در این تحلیل پنج شهر با اقلیم آب و هوایی مختلف در ایران (اراک، اهواز، تبریز، رشت و کرمان) در نظر گرفته شده است. راندمان آگرژی دودکش خورشیدی و تابع هزینه در طی یکسال برای همه شهرها محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد، در تحلیل آگرژی بیشترین اثر را به ترتیب پارامتر شدت تابش، دمای محیط و مقدار رطوبت محیط دارند؛ همچنین شهر اهواز نسبت به سایر شهرها دارای بیشترین راندمان آگرژی در طول سال است. بیشترین تابع هزینه مرتبط به شهر تبریز است. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و بر اساس دو معیار راندمان آگرژی و تابع هزینه، شهرهای مورد بررسی در ایران برای نصب دودکش خورشیدی اولویت بندی شده‌اند. با استفاده از استراتژی پیشنهادی شهر اهواز با امتیاز ۰/۳ در جایگاه اول و شهر تبریز با امتیاز ۰/۱۶ در جایگاه آخر برای نصب دودکش خورشیدی قرار دارد.

کلمات کلیدی: دودکش خورشیدی؛ تحلیل آگرژی؛ تابع هزینه؛ روش تحلیل سلسله مراتبی؛ شرایط محیطی.

Effect of Environmental Conditions on Solar Chimney: Exergy and Economic Analysis and Choosing the Appropriate City

S.D. Farahani¹, A. Khazaei Nezhad^{2*}

¹ Assistance. Prof., Mech. Eng., Arak University of Technology, Arak, Iran.

² MSc. student, Mech. Eng., Arak University of Technology, Arak, Iran.

Abstract

In this study, the effects of environmental conditions on solar chimney exergy have been investigated and a strategy has been proposed to select a suitable city for solar chimney utilization. The effect of parameters such as radiation intensity, ambient temperature and ambient humidity on the efficiency of the second law of solar chimney is investigated. Five different cities in Iran (Arak, Ahvaz, Tabriz, Rasht and Kerman) are considered. Then the exergy efficiency over a year is evaluated for all cities. Using the Analytical Hierarchy process and based on exergy efficiency and economic function, the studied cities in Iran have been ranked for installation of solar chimney. The results show that in the exergy analysis, the most effective parameters are radiation intensity, ambient temperature and ambient humidity, respectively. Also, the city of Ahvaz has the highest exergy efficiency during the year compared to other cities. Most of the cost function is related to Tabriz. Ahvaz city is ranked first with 0.3 and Tabriz with 0.16 is the last place to install solar chimney.

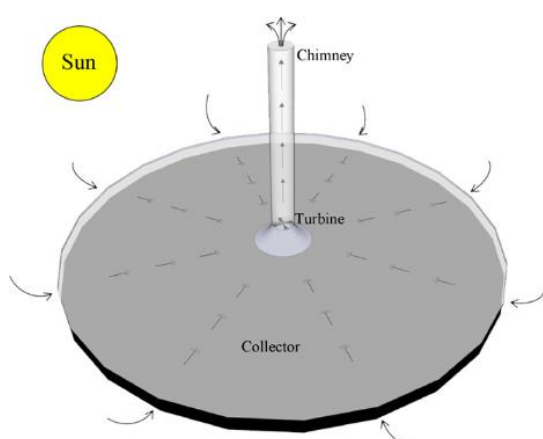
Keywords: Solar Chimney; Exergy; Cost Function; Analytical Hierarchy Process; Environmental Conditions.

۱- مقدمه

برای کمک به حل مشکل تامین انرژی بشر، به ویژه کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط زیست، استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند راهکار مناسبی باشد. یکی از این راهکارها، استفاده از دودکش خورشیدی است. از بخش‌های اصلی دودکش خورشیدی می‌توان کلکتور (شامل سقف با صفحه شفاف و کف آن سطح زمین) و قسمت دودکش را نام برد. دودکش خورشیدی می‌تواند شامل واحد تبدیل توان^۱ نیز باشد که شامل یک یا چند توربین و ژنراتور است. می‌توان هوا را با گرم کردن از طریق تابش خورشید و جابه‌جایی طبیعی به حرکت در آورد تا به سمت مرکز کلکتور حرکت کند [۱]. شکل ۱ شماتیکی از نیروگاه دودکش خورشیدی [۲] را نشان می‌دهد.

درباره هزینه تمام شده اجزای نیروگاه برای ابعاد مختلف آن، قیمت برق، نرخ بهره و دوره‌ی استهلاک نیز مطالعاتی انجام شده است [۳]. کلت و همکاران [۴] اثر سه نوع کلکتور افقی، شیب‌دار ۳۰ درجه و ۶۰ درجه بر عملکرد دودکش خورشیدی و توان تولیدی آن بررسی نمودند و دریافتند که دودکش خورشیدی با کلکتور شیب‌دار ۶۰ درجه عملکرد بهتری دارد. اسچلیچ و همکاران [۵]، به بررسی مقدار هزینه اجزای نیروگاه دودکش خورشیدی برای اندازه‌های مختلف با در نظر گرفتن پارامترهای هزینه‌ای ثابت مانند بهای برق و نرخ بهره پرداختند. فوری و همکاران [۶]، یک مدل هزینه برای نیروگاه دودکش خورشیدی ارائه کرده‌اند. پاتل و همکاران [۷]، با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی^۲ به بررسی اثر پارامترهای هندسی بر عملکرد نیروگاه خورشیدی پرداختند. آن‌ها دریافتند که توان نیروگاه دودکش خورشیدی وابسته به ابعاد هندسی آن است. غلامعلی زاده و کیم [۸]، به شبیه سازی سه بعدی اثر پدیده گلخانه‌ای در نیروگاه دودکش خورشیدی به وسیله مدل تشعشع در نرم افزار فلوئنت پرداختند و دریافتند که بین نسبت فشار توربین و تشعشع، رابطه مستقیمی وجود دارد. گوو و همکاران [۹]، به تحلیل ترمودینامیکی دودکش خورشیدی با لایه ذخیره انرژی پرداختند. در این بررسی‌ها، وجود لایه ذخیره انرژی

کاملاً بر توان نیروگاه اثر گذار بوده و نسبت فشار بهینه توربین ۰/۹ گزارش شده است و تغییر شکل کلکتور دودکش خورشیدی، در نسبت فشار بهینه توربین تغییر محسوسی ایجاد نمی‌کند؛ همچنین، علاوه بر موارد ذکر شده، در این بررسی‌ها اتلافات آیرودینامیک لحاظ شده در شبیه ساز عددی، بر نسبت فشار بهینه توربین موثر بوده است. سرکان و همکاران [۱۰] با استفاده از شبیه سازی عددی و مدل توربولانسی $k - \epsilon$ یک دودکش خورشیدی را بررسی نمودند. کبابسا و همکاران [۱۱]، با استفاده از یک مدل تحلیلی به بررسی اثر رفتار هیدرودینامیکی - گرمایی هوا و شیب کلکتور در موقعیت ورودی هوا بر عملکرد دودکش خورشیدی پرداختند. عبدالسلام و همکاران [۱۲]، به امکان سنجی فنی و اقتصادی را برای نصب آب شیرین‌کن خورشیدی-دودکش خورشیدی در بندر عقبه در اردن پرداختند. سیلوا و مایا [۱۳] به بررسی اثر قطر و ارتفاع گیرنده خورشیدی، قطر و ارتفاع برج خورشیدی بر عملکرد دودکش خورشیدی پرداختند. دجیملی وچاکر [۱۴] به امکان سنجی نیروگاه دودکش خورشیدی در منطقه‌ای از الجزایر پرداختند. فلاح و ولی پور [۱۵]، در این مقاله با استفاده از یک شبیه سازی سه بعدی، عملکرد دودکش خورشیدی با و بدون زبری مصنوعی برای شرایط آب و هوایی سمنان بررسی شده است. آنها دریافتند که وجود زبری مصنوعی در دودکش خورشیدی انتقال حرارت را بهبود می‌بخشد، اما سرعت را کاهش می‌دهد.



شکل ۱- شماتیکی از نیروگاه دودکش خورشیدی [۲]

¹ Power Conversion Unit

² Computational Fluid Dynamics

در حدود ۲۲/۲۲٪ عملکرد دودکش خورشیدی را افزایش دادند. شیو و زوهو [۲۶]، عملکرد یک نیروگاه خورشیدی اصلاح شده به منظور تولید برق و ایجاد پوشش گیاهی را مطالعه نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد، افزایش مساحت پوشش گیاهی، باعث کاهش توان تولیدی دودکش خورشیدی می‌شود.

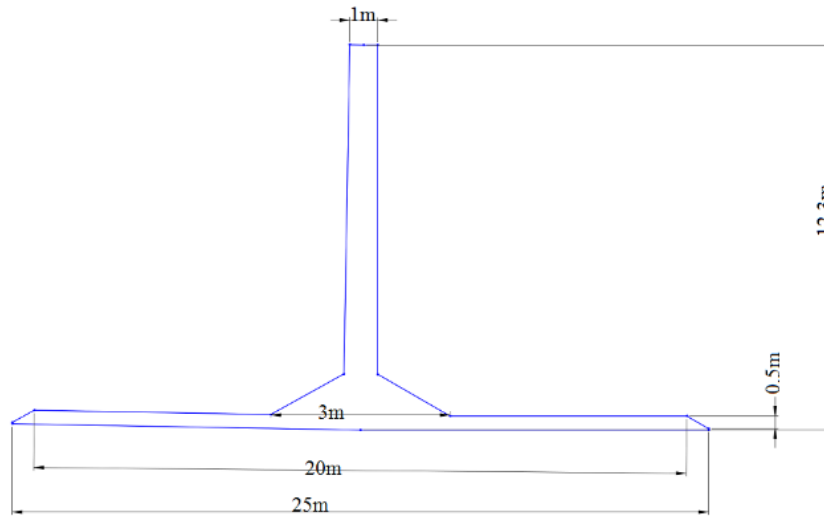
از بررسی ادبیات پیشین می‌توان دریافت که در زمینه بررسی اثرات شرایط آب و هوایی بر راندمان آگرزژی و هزینه دودکش خورشیدی مطالعات کمی انجام شده است؛ بنابراین در پژوهش حاضر، به بررسی اثرات شرایط آب و هوایی بر راندمان آگرزژی و هزینه دودکش خورشیدی و انتخاب شهر مناسب برای بهره‌وری از دودکش خورشیدی پرداخته شده است. مدلسازی ترمودینامیکی و اقتصادی دودکش خورشیدی انجام شده است و چند شهر با شرایط آب و هوایی مختلف در ایران، اراک، اهواز، تبریز، رشت و کرمان، برای مطالعه انتخاب شده است. با استفاده از داده‌های هواشناسی تحلیل آگرزژی و اقتصادی دودکش خورشیدی برای دوازده ماه سال انجام شده است. برای انتخاب شهر مناسب برای بهره‌وری از دودکش خورشیدی، از روش تصمیم‌ساز و بر اساس دو معیار راندمان آگرزژی و هزینه استفاده شده است. روش تصمیم‌ساز در این مطالعه روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی است. تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شده است.

۲- مدل‌سازی دودکش خورشیدی

شکل ۲ شماتیکی از دودکش خورشیدی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در تحلیل انرژی و آگرزژی جریان هوا داخل دودکش خورشیدی از قوانین اول و دوم ترمودینامیک برای حالت حجم کنترل حالت پایا-جریان پایا استفاده شده است.

هوای موجود در زیر ناحیه کلکتور در اثر تابش نور خورشید و اثر گلخانه‌ای به وجود آمده گرم می‌شود. هوای گرم سبک‌تر از هوای سرد است؛ در نتیجه به دلیل این اختلاف دما نیروی شناوری به وجود می‌آید و سبب می‌شود تا هوای گرم تمایل داشته باشد، از داخل دودکش عبور کرده و به ناحیه خروجی راه یابد. می‌توان از این هوای گرم عبوری در دودکش برای تولید توان یا خشک کردن محصولاتی استفاده کرد

نصرایی و همکاران [۱۶]، اثر استفاده از یک گیرنده خورشیدی دو پاسه را بر عملکرد دودکش خورشیدی با استفاده از شبیه‌سازی عددی بررسی کردند. آنها دریافتند، استفاده از یک گیرنده خورشیدی دو پاسه جریان مخالف می‌تواند اثر مثبتی بر بهبود عملکرد دودکش خورشیدی داشته باشد. رهبر و ریاسی [۱۷]، دو شکل جدید برای بهبود عملکرد دودکش خورشیدی پیشنهاد دادند و با استفاده از بهینه‌سازی شکل بهینه دودکش خورشیدی را برای دستیابی به ماکزیمم توان تولیدی مشخص کردند. بررسی اثر پروفیل کلکتور در محل اتصال به دودکش در دودکش خورشیدی توسط کتام و همکاران [۱۸] انجام شده است. اسنقی و لاجوردی [۱۹]، عملکرد دودکش خورشیدی در ایران را با استفاده از شبیه‌سازی عددی بررسی کردند. نتایج کار آنها نشان می‌دهد، ناحیه مرکزی و جنوبی ایران برای تولید توان به وسیله نیروگاه دودکش خورشیدی، بخاطر شدت تشعشع مناسب و همچنین ساعات آفتابی بیشتر، از پتانسیل مناسبی برخوردار هستند. سنگی [۲۰] عملکرد نیروگاه دودکش خورشیدی برای پنج ناحیه مجزا در ایران (آبادان، اراک، تهران، یزد و زنجان) ارزیابی کرد و به این نتیجه رسید که شهر زنجان دارای بیشترین توان تولید است. پتلا [۲۱] نشان داد که توان دودکش خورشیدی و اتلافات از آن به شدت تابش خورشید وابسته است و بیشترین اتلاف مربوط به کف کلکتور است. سیکر و همکاران [۲۲]، یک نیروگاه خورشیدی در مقیاس کوچک ساختند که ماکزیمم توان این نمونه ۲۱ وات است. نسیری وطن و همکاران [۲۳]، اثر گردباد بر نیروگاه خورشیدی را به صورت تجربی بررسی کردند و نشان دادند که گردباد باعث افزایش ضریب جابه‌جایی در کلکتور می‌شود. سوخیل کیوانو همکاران [۲۴]، به بررسی اثر پارامترهای عمق آب و مساحت در قسمت مخزن آب، نوع ماده کلکتور و میزان ارتفاع کلکتور در قسمت ورودی بر نیروگاه ترکیبی آب‌شیرین‌کن-دودکش خورشیدی پرداختند و دریافتند که راندمان بهره‌وری از خورشید در حدود ۱۰۰ برابر نسبت به نیروگاه دودکش خورشیدی افزایش یافته است. خیدهری و آتروشا [۲۵]، به صورت تجربی یک دودکش خورشیدی با گیرنده خورشیدی اصلاح شده را بررسی کردند. آنها یک بازتابنده آینه ردیابی برای افزایش اثر غلظت حرارتی در زیر دودکش استفاده کردند و



شکل ۲- ابعاد دودکش خورشیدی مورد مطالعه [۲۷]

که η_{coll} بازده کلکتور خورشیدی و A_{coll} سطح کلکتور خورشیدی و G شدت تابش خورشید بر واحد سطح است. معادله بقای اگزرژی بر اساس منابع اگزرژی مانند حرارت ($\dot{E}x_{heat}$)، کار ($\dot{E}x_{work}$)، هوای ورودی ($\dot{E}x_{mass,in}$)، هوای خروجی ($\dot{E}x_{mass,out}$) و اتلافات اگزرژی ($\dot{E}x_{loss}$) جرم به صورت رابطه (۶) نوشته شده است [۲۱]:

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} = \dot{E}x_{loss} \quad (۶)$$

اگزرژی نرخ جریان به دلیل وجود انتقال حرارت [۲۱] برابر است با:

$$\dot{E}x_{heat} = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q} \quad (۷)$$

که T_k دمای زمین در مکان K است و در این مطالعه همان میانگین دمای زمین زیر دودکش خورشیدی در نظر گرفته شده است و برای محاسبه آن از مرجع [۲۸] استفاده شده است و T_0 به عنوان دمای محیط فرض شده است. ترم اگزرژی که مربوط به کار است، صفر در نظر گرفته می‌شود؛ بخاطر آنکه در سیستم مورد مطالعه کار صفر است.

$\dot{E}x_{mass,in}$ و $\dot{E}x_{mass,out}$ به ترتیب مربوط به جریان هوای ورودی و جریان هوا خروجی سیستم و مقدار آب (رطوبت) ناشی از زمین است که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\dot{E}x_{mass,in} = \dot{m}_{ai} \Psi_{ai} \quad (۸)$$

که تمایل به خشک کردن آنها است. اختلاف فشار و اختلاف دما در قسمت کلکتور دودکش خورشیدی، سبب ایجاد حرکت پیوسته هوا می‌شوند [۱]. معادله بقای جرم را می‌توان به صورت زیر نوشت [۲۱]:

$$\dot{m}_{ai} = \dot{m}_{ao} \quad (۱)$$

و

$$\dot{m}_{wo} = \dot{m}_{mp} + \dot{m}_{wi} \quad (۲)$$

که \dot{m}_{wo} ، \dot{m}_{ai} ، \dot{m}_{ao} و \dot{m}_{wi} به ترتیب بیانگر دبی جرمی جریان هوا در ورودی و خروجی دودکش خورشیدی، دبی جرمی رطوبت هوا ورودی و خروجی و دبی جرمی رطوبت ناشی از زمین هستند. معادله (۲) را می‌توان به صورت رابطه (۳) نوشت:

$$\dot{m}_{ai} \omega_{ai} + \dot{m}_{mp} = \dot{m}_{ao} \omega_{ao} \quad (۳)$$

ω_{ai} و ω_{ao} به ترتیب بیانگر رطوبت مخصوص جریان هوا ورودی و هوای خروجی هستند. معادله بقای انرژی بر اساس نرخ انتقال حرارت (\dot{Q})، آنتالپی (h) و سرعت هوا (v) به صورت رابطه (۴) نوشته شده است [۲۱]:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ao} (h_{ao} + v_{ao}^2/2) - \dot{m}_{ai} (h_{ai} + v_{ai}^2/2) \quad (۴)$$

زیرنویس ۰ و i به ترتیب حالت ورودی و خروجی را مشخص می‌کنند. \dot{Q} گرمای جذب شده از سطح کلکتور خورشیدی را می‌توان به صورت رابطه (۵) محاسبه کرد [۲۱]:

$$\dot{Q} = \eta_{coll} A_{coll} G \quad (۵)$$

استوانه‌ای شکل دودکش خورشیدی ۱۱/۳ متر در نظر گرفته شده است.

۳- مدل سازی تابع هزینه

هزینه کل مجموع هزینه ساخت و هزینه اتلافات انرژی است.

تابع هزینه برای ساخت یک دودکش خورشیدی شامل هزینه‌هایی همچون هزینه ناشی از ارتفاع برج (C_{tower}) و هزینه تجهیزات داخل دریافت‌کننده نور (C_{rec}) در نظر گرفته شده است. تابع هزینه برای دودکش خورشیدی بر اساس مرجع [۱۴]، به صورت رابطه (۱۷) تعریف شده است:

$$CF = C_{tower} + C_{rec} \quad (۱۷)$$

که C_{tower} را می‌توان از رابطه (۱۸) محاسبه کرد [۱۴]:

$$C_{tower} = 250,000 + 14.77H_{tower}^{2.392} \quad [€] \quad (۱۸)$$

که H ارتفاع دودکش خورشیدی و برحسب متر است. هزینه تجهیزات داخل دریافت‌کننده نور (C_{rec}) بر اساس رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$C_{rec} = \frac{46438}{Q} + 21.899 \quad \left[\frac{€}{KW} \right] \quad (۱۹)$$

در حقیقت انرژی یعنی بیشترین کار مفیدی که از یک جریان ماده و یا انرژی می‌توان بدست آورد. مفهوم انرژی همچنین در بررسی و تحلیل راندمان عملی و اقتصادی کاربرد دارد که به صورت غیرمستقیم دربرگیرنده ارزش انرژی است؛ بنابراین برای آنکه مدلسازی به واقعیت نزدیک باشد، هزینه‌های ناشی از افت انرژی ناشی از بازگشت‌ناپذیری در نظر گرفته شده است. هزینه افت انرژی (C_{LEC}) متناسب با اتلافات انرژی در نظر گرفته شده است [۱۴]:

$$C_{LEC} = aEx_{loss} \quad [€] \quad (۲۰)$$

ضریب a برابر با ساعات عملیات سالانه بر واحد ارزش پولی افت انرژی است و واحد آن $\frac{ncu}{year W}$ است و مقدار این ضریب برابر $۱۰۰۰ \frac{ncu}{year W}$ در نظر گرفته شده است [۱۴].

۴- روش تحلیل سلسله مراتبی

برای اولویت‌بندی شهر بر اساس دو ملاک راندمان انرژی و هزینه اقتصادی از روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی [۳۰] استفاده شده است. این تکنیک، روشی توانمند و منعطف در

$$\dot{E}x_{mass,out} = \dot{m}_{ao}\Psi_{ao} + \dot{E}x_W \quad (۹)$$

$$\dot{E}x_W = \dot{m}_{mp}\Psi_{wo} \quad (۱۰)$$

انرژی مخصوص جریان (Ψ) به صورت رابطه (۱۷) تعریف می‌شود [۲۱]:

$$\Psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (۱۱)$$

که h نشان دهنده آنتالپی مخصوص و S نشان دهنده آنتروپی مخصوص می‌باشند. با فرض گاز ایده‌آل، انرژی مخصوص جریان ورودی و خروجی هوا را به صورت زیر نوشته می‌شود [۲۷-۲۹]:

$$\begin{aligned} \Psi_{ai} = & (C_{p,ai} + \omega_{ai}C_{p,v})T_0 \left(\frac{T_{ai}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{ai}}{T_0} \right) \\ & + (1 + 1.6078\omega_{ai})R_a T_0 \ln \frac{P_{ai}}{P_0} \\ & + R_a T_0 \left[(1 + 1.6078\omega_{ai}) \ln \left(\frac{1 + 1.6078\omega_0}{1 + 1.6078\omega_{ai}} \right) \right. \\ & \left. + 1.6078\omega_{ai} \ln \frac{\omega_{ai}}{\omega_0} \right] \end{aligned} \quad (۱۲)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{ao} = & (C_{p,ao} + \omega_{ao}C_{p,v})T_0 \left(\frac{T_{ao}}{T_0} - 1 - \ln \frac{T_{ao}}{T_0} \right) \\ & + (1 + 1.6078\omega_{ao})R_a T_0 \ln \frac{P_{ao}}{P_0} \end{aligned} \quad (۱۳)$$

R_a ثابت جهانی گازها برای هوا، P_0 فشار در حالت مرده، P_{ai} و P_{ao} به ترتیب فشار جریان هوا در ورود و خروج، T_{ai} و T_{ao} به ترتیب دمای هوا در ورود و خروج، $C_{p,v}$ ظرفیت گرمایی بخار آب و ω_0 نیز رطوبت مخصوص جریان هوا در حالت مرده است. با فرض تراکم‌ناپذیر بودن آب، انرژی مخصوص آب (رطوبت ناشی از زمین) از رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$\Psi_{wo} = C \left(T_{ao} - T_0 - T_0 \ln \frac{T_{ao}}{T_0} \right) \quad (۱۴)$$

که C نشان دهنده ظرفیت گرمایی مخصوص آب است. نرخ بازگشت‌ناپذیری (I) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \dot{E}x_{loss} = & \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \dot{Q} + \dot{m}_{ai}\Psi_{ai} \\ & - \dot{m}_{ao}\Psi_{ao} - \dot{m}_{mp}\Psi_{wo} \end{aligned} \quad (۱۵)$$

$$I = \dot{E}x_{loss} \quad (۱۶)$$

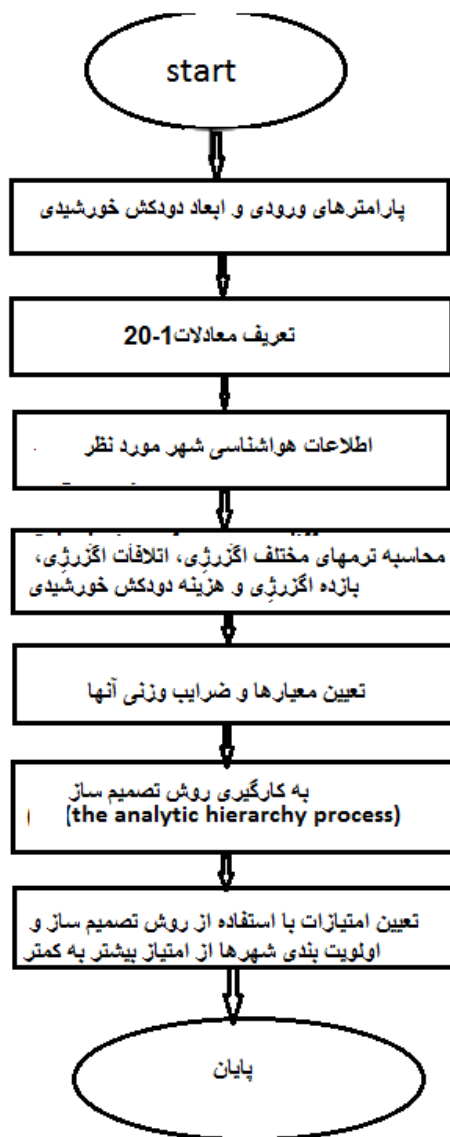
در این پژوهش، مقادیر P_{ao} و P_{ai} به ترتیب $۱۳۸ kPa$ و $۱۰۱/۱ kPa$ و فشار محیط نیز (P_0) مقدار $۱۰۱/۱ kPa$ در نظر گرفته شده‌اند. در این بررسی، مقدار ارتفاع قسمت

اضافه شود، باید کل مراحل سلسله مراتبی دوباره صورت بگیرد.

فلوچارتی از روش پیشنهادی در این مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است.

۵- نتایج

با استفاده از مدلسازی ارائه شده در پژوهش حاضر به تحلیل اگزورژی دودکش خورشیدی و بررسی اثر شرایط محیطی پرداخته شده است.



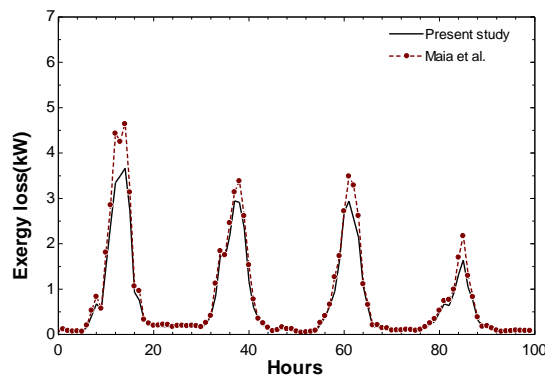
شکل ۳- فلوچارت روش پیشنهادی در مطالعه حاضر

دسته روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که به وسیله آن می‌توان مسائل پیچیده را در سطوح مختلف حل کرد. روش تحلیل سلسله مراتبی هر دو ارزیابی عینی و ذهنی را در یک ساختار یکپارچه بر مبنای مقیاس‌هایی با زوج مقایسه ترکیب نموده و به تحلیل‌گران کمک می‌کند تا جوانب اساسی یک مساله را در یک قالب سلسله مراتبی سازماندهی کنند. سنجش سازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان، ایجاد مقایسه‌های زوجی در انتخاب راهکار و گزینه بهینه، توان در نظر گرفتن معیارها و زیر معیارها در ارزیابی گزینه‌ها، ایجاد قابلیت دستیابی به بهترین گزینه از طریق مقایسه‌های زوجی از جمله مزایای این روش هستند. در این روش مسئله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم‌بندی می‌شود. در این فرایند گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شود و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. تحلیل حساسیت به معنی این است که با تغییر وزن معیارها در رتبه گزینه‌ها چه تغییری ایجاد می‌شود. از مزایای دیگر این روش، تصمیم‌گیری چند معیاره تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم است. فرایند روش تحلیل سلسله مراتبی با تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده آنها را به شکل ساده تبدیل می‌کند.

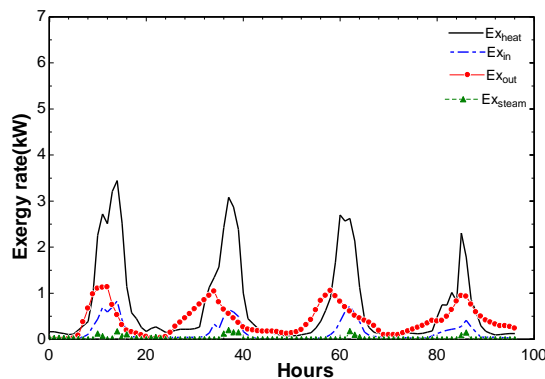
۴-۱- اصول روش تحلیل سلسله مراتبی

این تکنیک که در زمره روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره [۳۰] است، دارای ۴ اصل اساسی است که همواره باید رعایت شود:

۱. اصل معکوس بودن: این اصل در تشکیل مقایسه‌های زوجی همواره رعایت می‌شود (این اصل در ماتریس‌های مقایسه زوجی در درایه‌های بالا و پایین قطر اصلی مشهور است).
۲. اصل همگنی: گزینه‌ها و معیارها باید همواره مقایسه پذیر باشند؛ یعنی نمی‌توان دو گزینه را وارد مدل تصمیم‌گیری کرد که یکی نسبت به دیگری بی‌نهایت مهم باشد.
۳. اصل وابستگی: در مدل‌های سلسله مراتبی هر سطح به سطح بالاتر خود وابسته است.
۴. اصل انتظارات: هرگاه تغییری در مدل سلسله مراتبی ایجاد شد؛ به عنوان مثال اگر یک معیار



شکل ۴- مقایسه نرخ اتلاف انرژی دودکش خورشیدی



شکل ۵- ترم‌های مختلف انرژی دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت

سمت بالا رخ می‌دهد که همین امر سبب ایجاد اختلاف دما در هوای اطراف سطح زمین می‌شود و باعث می‌شود، جریان هوا در شب هم برقرار باشد. از شکل ۶ مشاهده می‌شود که راندمان انرژی دارای مقادیر مختلف و مقدار ماکسیمم در حدود ۰/۹ است. لازم به ذکر است که به دلیل این که تقریباً رابطه معکوسی بین راندمان انرژی با اتلافات وجود دارد، در ساعاتی که تلفات بیشترین است، مقدار راندمان انرژی در کل افت می‌کند. در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ محور افقی به صورت تعداد ساعت گذشته شده پس از شروع آزمایش است. شروع آزمایش ساعت ۰۰:۰۰ روز هشتم ماه می است. به عنوان مثال عدد ۴۵ در محور افقی نشان دهنده این است که از لحظه شروع آزمایش ۴۵ ساعت گذشته است.

تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین اثر در تحلیل انرژی به ترتیب مربوط به انرژی گرما و انرژی رطوبت است. انرژی گرما به میزان شدت تابش خورشید و

جدول ۱- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در این مطالعه

$P_{ai}[kPa]$	۱۳۸	$C[\frac{J}{kgK}]$	۴۲۰۰
$P_{ao}[kPa]$	۱۰۱/۸	$m[\frac{kg}{s}]$	۱/۴۳
$P_0[kPa]$	۱۰۱/۸	$T_{ai}[K]$	۲۹۱
$C_{p,ai}[\frac{J}{kgK}]$	۱۸۷۲	$T_{ao}[K]$	۲۹۷
$C_{p,v}[\frac{J}{kgK}]$	۱۰۰۴	$T_k[K]$	۳۰۶
$R_a[\frac{J}{gK}]$	۰/۲۸۷	$\omega_{ai}[kg_{air}^{-1}.kg_{water}]$	۰/۰۰۸۸
$C_{p,ao}[\frac{J}{kgK}]$	۱۰۰۴	$\omega_{ao}[kg_{air}^{-1}.kg_{water}]$	۰/۰۱۰۷

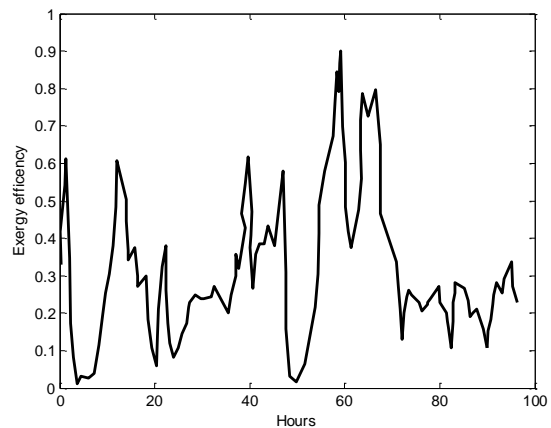
برای بررسی دقت مدل‌سازی ارائه شده در مطالعه حاضر، مقایسه‌ای با مرجع [۲۷] انجام شده است. مقایسه برای چهار روز متوالی از ماه می مربوط به شهر بلوهریزانت واقع در کشور برزیل بر اساس داده‌های [۲۷] انجام شده است. در جدول ۱ مقادیر پارامترهای مورد استفاده در تحلیل را نشان می‌دهد. بر اساس ابعاد دودکش خورشیدی و مرجع [۲۷]، مقدار دبی جریان هوا در دودکش مقدار میانگین دبی‌های ورودی به دودکش خورشیدی [۲۷] برابر با ۱/۴۳ kg/s و مقدار η_{coll} برابر با ۰/۶ در نظر گرفته شده است. شکل ۴ مقایسه نرخ اتلافات انرژی در مطالعه حاضر و مرجع [۲۷] را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد، تطابق خوبی بین نتایج دو مطالعه وجود دارد و درصد انحراف بین نتایج کمتر از ۷٪ است؛ همچنین مشاهده می‌شود، مقدار اتلافات انرژی در میانه روز ماکزیمم است و این می‌تواند به دلیل بیشینه بودن مقدار جذب تابش خورشید و انرژی گرما باشد. به دلیل این که از این مقدار قابلیت کاردهی در سیستم مورد بررسی، برای تولید کار استفاده نشده است؛ بنابراین بیشتر انرژی جریان هوا، تلف می‌شود.

شکل ۵ نرخ تغییرات انرژی گرما، هوای ورودی و خروجی و بخار آب در دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که مقادیر ماکسیمم انرژی گرما در وسط روز رخ داده است. علت این رفتار آن است که در وسط روز مقداری از انرژی جذب شده از خورشید باعث بالا رفتن دمای زمین می‌شود؛ همچنین جریان هوا به صورت شبانه روزی در دودکش خورشیدی برقرار است. در شب هنگام، به دلیل این که اعماق زمین گرم‌تر از سطح آن است، شار حرارتی از طرف اعماق زمین به

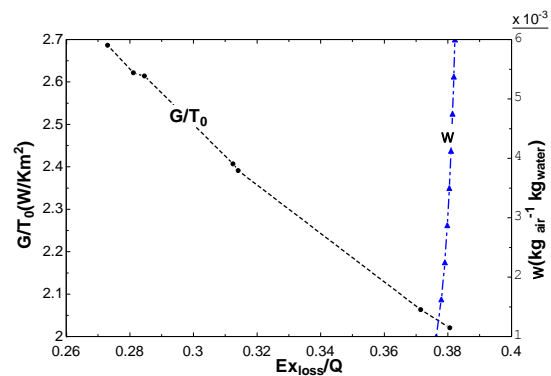
مشاهده می‌شود، مقدار نسبت رطوبت از ۰/۰۰۱ به ۰/۰۰۶ کیلوگرم آب به کیلوگرم هوا تغییر یابد، مقدار Ex_{lost}/Q از ۰/۳۷۶۲ به ۰/۳۸۲۲ تغییر می‌یابد. افزایش نسبت رطوبت باعث کاهش انرژی ورودی و خروجی می‌شود و بر انرژی گرما اثری ندارد. تغییرات انرژی خروجی با افزایش رطوبت بیشتر از انرژی ورودی است و سبب می‌شود، اتلافات انرژی با افزایش نسبت رطوبت افزایش یابد. نتایج نشان می‌دهد، دو پارامتر شدت تابش و دمای محیط نسبت به پارامتر نسبت رطوبت محیط بر اتلافات انرژی دودکش خورشیدی اثر گذارتر هستند.

در ادامه بررسی، پنج شهر مختلف در ایران: اراک، اهواز، تبریز، رشت کرمان در نظر گرفته شده است و راندمان انرژی و انرژی در طی دوازده ماه از یکسال بررسی شده است. برای اعتبارسنجی تحلیل انرژی دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت در طی چهار روز انجام شده است و برای بررسی بیشتر از نحوه عملکرد دودکش خورشیدی در طی یکسال این شهر دوباره در نظر گرفته شده است. برای به دست آوردن مواردی چون نرخ انتقال حرارت در اثر تابش نور خورشید، دمای محیط و نیز رطوبت نسبی در هر شهر، از داده‌های مرجع [۳۱] که مربوط به دوره ۲۰۰۶/۰۱ تا ۲۰۰۶/۱۲/۳۰ است، استفاده شده است. باید یادآور شد که این داده‌ها به صورت داده‌های ماهانه انتخاب شده‌اند تا در هر ماه یک عدد به عنوان نماینده آن ماه انتخاب گردد و از این طریق ۱۲ ماه سال بررسی شوند. شکل ۸ نرخ انرژی دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت برای چهار حالت ورودی، خروجی، گرما و بخار آب در طول یک سال را نشان می‌دهد. شکل ۸ نشان می‌دهد که مقدار انرژی گرما از مقادیر انرژی سایر ترم‌های بیشتر بوده است. در این شهر مقادیر انرژی ناپایداری و نوسانات کمی را در طول سال تجربه خواهند کرد. علت این رفتار آن است که میزان تابش خورشیدی در این منطقه در طول سال دارای نوسانات کمی است.

شکل ۹ اتلاف انرژی دودکش خورشیدی در طول یک سال را در شهر بلوهریزانت نشان می‌دهد. اتلافات انرژی دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت با نوسانات کمی همراه است و اتلافات انرژی در اولین ماه سال بیشترین مقدار است و در حدود ۳ کیلو وات است. شکل ۱۰ راندمان



شکل ۶- راندمان انرژی دودکش خورشیدی در شهر بلوهریزانت

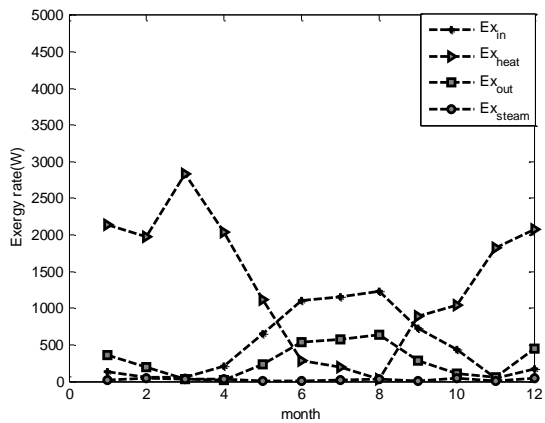


شکل ۷- بررسی اثر دما، نسبت رطوبت و شدت تابش خورشید بر اتلاف انرژی

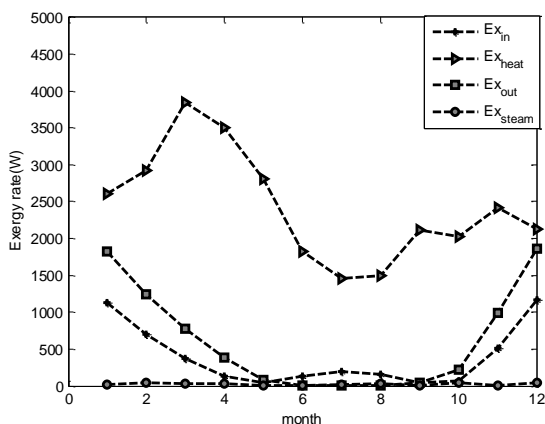
دمای محیط بستگی دارد. این نکته نیز یادآوری می‌شود که هر جا که شدت تابش زیاد باشد، به دنبال آن دمای محیط نیز زیاد است [۲۸]. البته دمای زمین نیز با افزایش شدت تابش افزایش می‌یابد [۲۸]؛ بنابراین اثر این دو پارامتر به صورت همزمان در نظر گرفته شده است و در شکل ۷ ارائه شده است. با افزایش شدت تابش مقدار نسبت مقدار اتلاف انرژی به گرمای دریافتی کاهش یافته است. علت این رفتار آن است که با توجه به معادلات ارائه شده، افزایش شدت تابش باعث افزایش انرژی گرما و افزایش دما سبب کاهش انرژی گرما و افزایش انرژی ورودی و خروجی می‌شود؛ همچنین اثر مقدار رطوبت بر نسبت اتلافات انرژی به مقدار گرمای دریافتی در دمای محیط ۳۰۳ کلوین و شدت تابش ۶۱۲ وات بر مترمربع بررسی و در شکل ۷ نشان داده شده است.

می‌شود که در طول سال بیشترین مقدار انرژی گرمایی، انرژی ورودی و خروجی در شهر اراک به ترتیب در ماه سوم و ماه دوازدهم سال اتفاق افتاده است و کمترین مقدار انرژی گرمایی در طول سال مربوط به ترم ناشی از رطوبت است.

مطابق با شکل ۱۲، برای شهر اهواز در طول سال بیشترین مقدار انرژی گرمایی در ماه سوم سال و کمترین آن در ماه هشتم سال و مقدار بیشینه انرژی گرمایی ورودی و خروجی در ماه هشتم سال اتفاق افتاده است. مشاهده شده است که در طی سال بیشترین و کمترین مقدار انرژی گرمایی به ترتیب مربوط به حرارت و رطوبت است. مطابق با شکل ۱۳ بیشینه و کمینه مقدار انرژی گرمایی در شهر کرمان به ترتیب در سومین و هفتمین ماه سال اتفاق افتاده است. در دوازده ماه سال

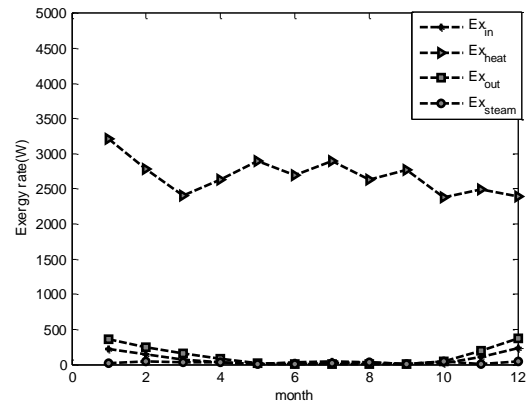


شکل ۱۱- نرخ انرژی گرمایی ورودی در شهر اراک در طول یک سال

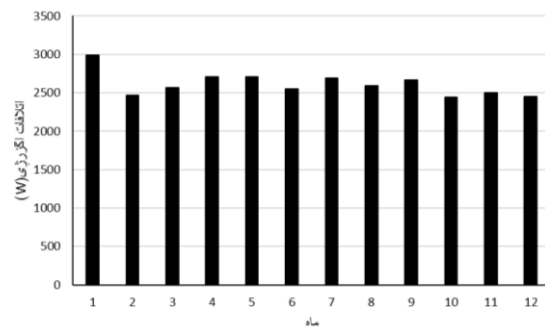


شکل ۱۲- نرخ انرژی گرمایی ورودی در شهر اهواز در طول یک سال

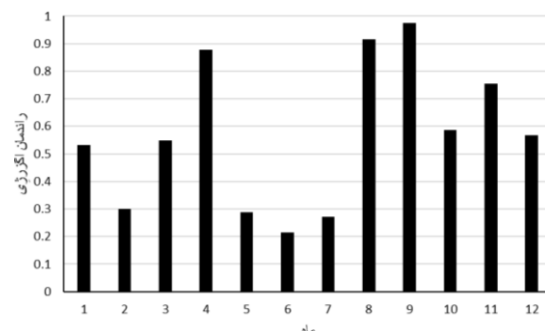
انرژی گرمایی ورودی در طول یک سال را در شهر بلوهریزانت نشان می‌دهد. بیشترین مقدار راندمان انرژی گرمایی در نهمین ماه سال اتفاق افتاده است و مقدار آن در حدود ۰/۹۶ است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱۱ دیده



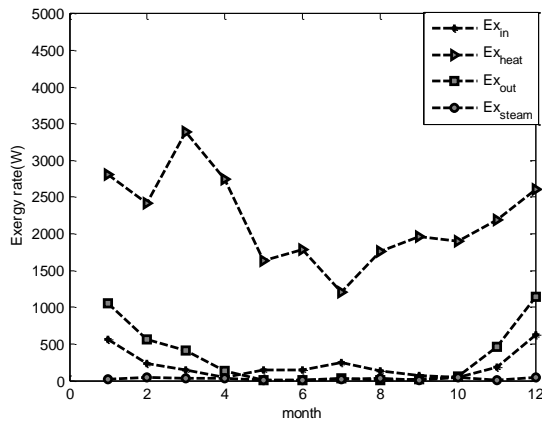
شکل ۸- نرخ انرژی گرمایی ورودی در شهر بلوهریزانت در طول یک سال



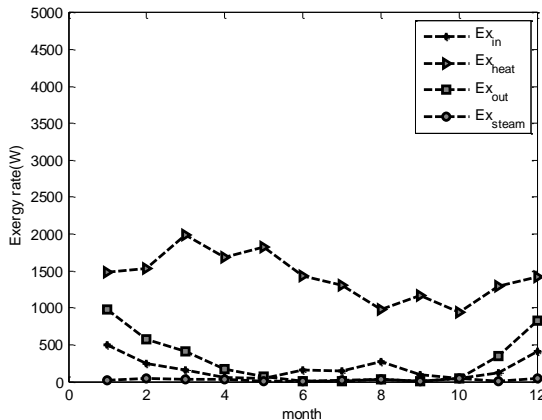
شکل ۹- اتلاف انرژی گرمایی در شهر بلوهریزانت در طول یک سال



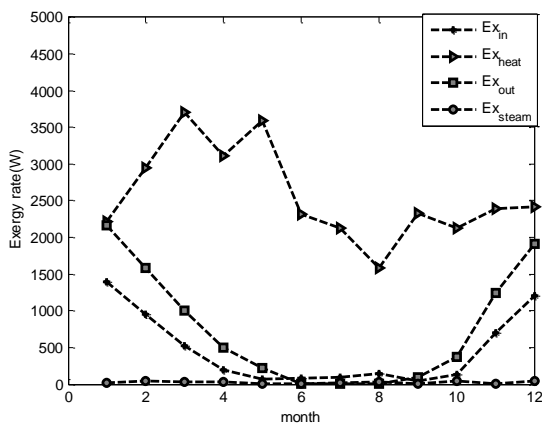
شکل ۱۰- راندمان انرژی گرمایی ورودی در شهر بلوهریزانت در طول یک سال



شکل ۱۳- نرخ انرژی دودکش خورشیدی در شهر کرمان طول یک سال



شکل ۱۴- نرخ انرژی دودکش خورشیدی در شهر رشت طول یک سال



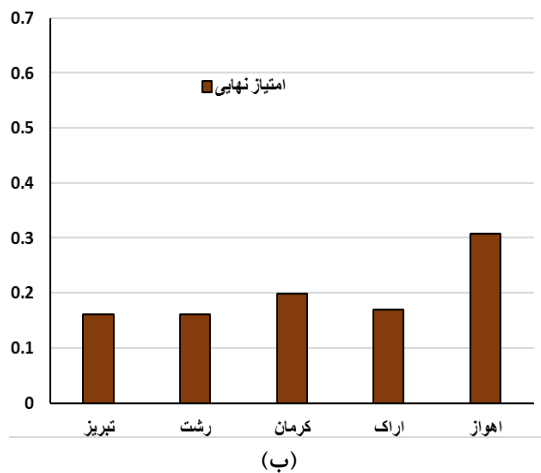
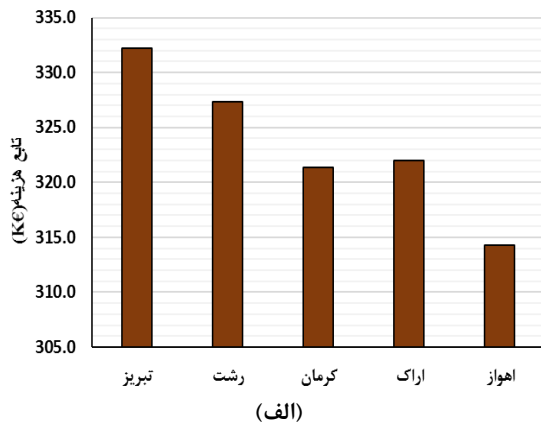
شکل ۱۵- نرخ انرژی دودکش خورشیدی در شهر تبریز طول یک سال

همواره بیشترین و کمترین مقدار انرژی دودکش خورشیدی به ترتیب مربوط به گرما و رطوبت بوده است و انرژی ناشی از رطوبت در مقابل سایر ترم‌های انرژی ناچیز است. در شکل ۱۴ و ۱۵ تغییرات نرخ انرژی دودکش خورشیدی در طی یکسال برای دو شهر رشت و تبریز نشان داده شده است. در هر دو شهر مقدار انرژی گرما بزرگتر از سایر ترم‌های انرژی است و مقدار ترم انرژی در مقابل سایر ترم‌های انرژی ناچیز است. مقدار بیشینه انرژی گرما برای هر دو شهر در سومین ماه سال اتفاق افتاده است.

نتایج نشان می‌دهد، علاوه بر پتانسیل تابش خورشیدی، دمای محیط و دمای زمین نیز از پارامترهای اثرگذار بر انرژی است. در بین پنج شهر انتخابی از ایران بیشترین و کمترین مقدار انرژی گرما به ترتیب متعلق به شهرهای اهواز و رشت است؛ همچنین اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار انرژی گرما برای شهرهای اراک، اهواز، کرمان، رشت و تبریز به ترتیب برابر با ۲/۴، ۱/۴، ۲/۳، ۱ و ۲ کیلو وات است.

اتلافات انرژی پنج شهر مورد بررسی در ایران در شکل ۱۶ نشان داده شده است. کمترین مقدار اتلافات انرژی برای شهرهای اراک، اهواز، کرمان، رشت و تبریز به ترتیب در ماه‌های نهم، سوم، یازدهم، دهم و نهم سال اتفاق افتاده است. برای هر شهر بیشینه اتلافات انرژی دودکش خورشیدی در ماهی اتفاق افتاده است که مقدار انرژی گرما بیشینه است. اختلاف بین مقدار بیشینه و کمینه اتلافات انرژی برای شهرهای اراک، اهواز، کرمان، رشت و تبریز به ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۲۱، ۰/۳۵، ۰/۳۳۹ و ۰/۴۵ کیلووات است و این مقدار در شهر اهواز کمترین مقدار است.

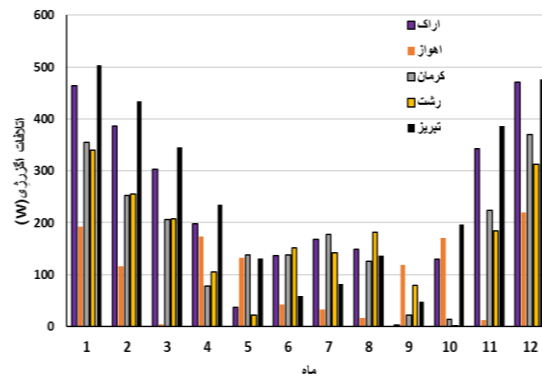
راندمان انرژی دودکش خورشیدی در شهرهای مورد بررسی در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در شهر اهواز بین ماه‌های مرداد تا آبان راندمان انرژی از مقادیر مناسبی برخوردار است؛ به گونه‌ای که در آبان به بیشینه مقدار خود می‌رسد. تغییرات راندمان انرژی شهر کرمان، تقریباً مشابه شهر اراک است. راندمان انرژی در شهر تبریز دارای مقادیر قابل توجهی نبوده که این رفتار به دلیل پایین بودن پتانسیل انرژی خورشیدی شهر تبریز مرتبط است. بیشترین مقدار راندمان انرژی دودکش خورشیدی برای شهرهای اراک، اهواز، کرمان، رشت و تبریز به ترتیب برابر با ۰/۹۷، ۰/۵۴، ۰/۵۵ و ۰/۳۴ است.



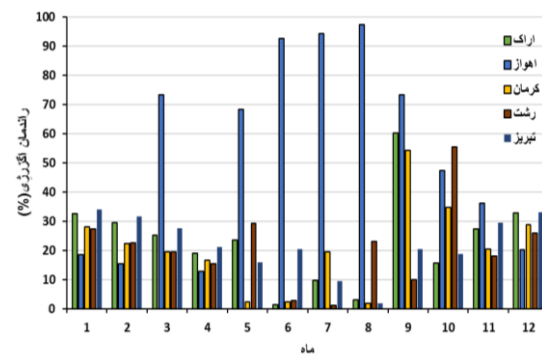
شکل ۱۸- الف) تابع هزینه شهرها و ب) امتیاز نهایی شهرها
بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی

در بررسی اولویت‌بندی شهرهای انتخابی، دو معیار راندمان انرژی و هزینه اقتصادی اهمیت دارند.

مقدار تابع هزینه برای شهرهای مورد نظر در ایران (شکل ۱۸-الف) محاسبه شده است. شهر تبریز بیشترین مقدار تابع هزینه با ۳۳۵ k€ و شهر اهواز کمترین مقدار تابع هزینه با ۳۱۵ k€ را داراست. بیشترین سهم هزینه در دودکش خورشیدی مربوط به آینه‌ها و بعد از آن به ترتیب هزینه ناشی از ارتفاع برج و اتلافات انرژی است. در صورتی که پتانسیل خورشیدی شهر مورد نظر کم باشد، نیاز به مساحت آینه بیشتری خواهد بود که سبب افزایش مقدار تابع هزینه می‌شود. براساس روش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی شهر مناسب انتخاب شده است. در ارزیابی گزینه‌ها نسبت به یکدیگر نیز ضرایب تابع هزینه (۰/۵-) و انرژی (+۱) در نظر گرفته شده است. مطابق با بخش ۴، امتیاز نهایی



شکل ۱۶- اتلاف انرژی دودکش خورشیدی در ۵ شهر ایران



شکل ۱۷- راندمان انرژی دودکش خورشیدی در ۵ شهر مورد بررسی در ایران

راندمان انرژی یکی از پارامترهای تعیین کننده برای امکان‌سنجی استفاده از دودکش خورشیدی است. تغییرات اتلافات انرژی دودکش خورشیدی در طی سال عکس تغییرات راندمان انرژی دودکش خورشیدی است. بخاطر آنکه هنگامی که اتلافات انرژی کاهش می‌یابد، راندمان انرژی افزایش می‌یابد. نتایج تحلیل انرژی دودکش خورشیدی نشان می‌دهد که با افزایش شدت تابش خورشیدی، اتلاف انرژی افزایش و راندمان کاهش می‌یابد.

در دودکش خورشیدی مورد مطالعه در پژوهش حاضر، توربین برای تولید توان قرار داده نشده است؛ بنابراین بخش زیادی از انرژی تلف خواهد شد. شهر اهواز در قیاس با شهر رشت و تبریز از راندمان انرژی بیشتری برخوردار است و طبیعتاً این مسئله مربوط به پتانسیل انرژی خورشیدی بالا و اتلافات به نسبت کمتر در شهر اهواز است.

و دو معیار هزینه و راندمان انرژی یک استراتژی مناسب برای انتخاب شهر مناسب ارائه شده است.

۶- فهرست علائم و نمادها

ارتفاع (متر)	H
انرژی	ψ
آنتالپی (kJ/kg)	h
آینه‌ها	h
بازده	η
بیرون (اطراف)	o
تابش عمودی بر واحد سطح	DNI
تابع هزینه (یورو)	CF
حرارت (W)	Q
خورشید	S
دریافت‌کننده	rec
دما (K)	T
دما ی زمین (K)	T_k
رطوبت مخصوص	ω
سرعت (m/s)	U
ضریب هدایت حرارتی (W/mK)	k
ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت	c_p
فشار (kPa)	P
قطر (متر)	d
مساحت (m^2)	A
هزینه	C
هوای خروجی	ao
هوای ورودی	ai

مربوط به هر شهر محاسبه و در شکل ۱۸-ب نشان داده شده است. دیده می‌شود، برای استفاده از دودکش خورشیدی، شهر اهواز با امتیاز ۰/۳ مناسب‌ترین شهر و شهر تبریز با امتیاز ۰/۱۶ نامناسب‌ترین شهر در بین شهرهای مورد بررسی است.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش به تحلیل انرژی و اقتصادی دودکش خورشیدی در چند شهر از ایران با اقلیم آب و هوایی متفاوت پرداخته شده است. با استفاده از روش تصمیم ساز و براساس دو معیار راندمان انرژی و هزینه به اولویت‌بندی شهرهای مورد مطالعه برای نصب دودکش خورشیدی پرداخته شده است.

از تحلیل انرژی دودکش خورشیدی در طول سه روز با استفاده از داده‌های [۲۷] برای شهر بلوهریزانت در برزیل که برای اعتبارسنجی انجام شد، می‌توان نتیجه گرفت که جریان هوا به صورت پیوسته در ۲۴ ساعت شبانه روز در دودکش خورشیدی جریان دارد. اثرات محیطی مانند شدت تابش، دمای محیط، دمای زمین و نسبت رطوبت بررسی شد. دمای محیط و دمای زمین با افزایش شدت تابش افزایش می‌یابند که این نکته در بررسی‌ها در نظر گرفته شد و نتایج نشان می‌دهد، شدت تابش، دمای محیط و دمای زمین نسبت به پارامتر نسبت رطوبت محیط بر اتلافات انرژی دودکش خورشیدی اثر گذارتر هستند. شهرهای اراک، اهواز، تبریز، رشت و کرمان برای مطالعه انتخاب شده است. نتایج نشان می‌دهد، بیشترین مقدار راندمان انرژی دودکش خورشیدی برای شهرهای اراک، اهواز، کرمان، رشت و تبریز به ترتیب برابر با ۰/۶۰، ۰/۹۷، ۰/۵۴، ۰/۵۵ و ۰/۳۴ است.

با استفاده از روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله‌مراتبی و دو معیار هزینه و راندمان انرژی دودکش خورشیدی مناسب‌ترین شهر برای استقرار برج خورشیدی از بین ۵ شهر مورد مطالعه انتخاب شد. شهر اهواز با امتیاز نهایی ۰/۳ در جایگاه اول قرار دارد و شهر تبریز با امتیاز ۰/۱۶ در جایگاه آخر برای انتخاب قرار دارند؛ بنابراین شهر اهواز در ایران از پتانسیل مناسبی برای استفاده از تکنولوژی دودکش خورشیدی برخوردار است. در این پژوهش با استفاده از روش تصمیم‌ساز

- effect of artificial roughness of collector. *J Sol Energy* 188: 175-184.
- [16] Nasraoui H, Driss Z, Kchaou H (2020) Novel collector design for enhancing the performance of solar chimney power plant. *Renew Energy* 145: 1658-1671.
- [17] Rahbar K, Riasi A (2019) Performance enhancement and optimization of solar chimney power plant integrated with transparent photovoltaic cells and desalination method. *Sustain Cities Soc* 46: 101-111.
- [18] Cottam P, Duffour P, Lindstrand P, Fromme P (2016) Effect of canopy profile on solar thermal chimney performance. *J Sol Energy* 129: 286-296.
- [19] Asnaghi, Ladjevardi S (2012) Solar chimney power plant performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 3383-3390.
- [20] Sangi R (2012) Performance evaluation of solar chimney power plants in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 704-710.
- [21] Petela R (2009) Thermodynamic study of a simplified model of the solar chimney power plant. *J Sol Energy* 83: 94-107.
- [22] Sakir MT, Piash MBK, Akhter MS (2014) Design, construction and performance test of a small solar chimney power plant. *Global J Eng Res* 1: 10-14.
- [23] Nasirivatan S, Kasaeian A, Ghalamchi M (2015) Performance optimization of solar chimney power plant using electric/corona wind. *J Electrostatics* 78: 22-30.
- [24] Kiwan S, Salam QIA (2018) Solar chimney power-water distillation plant (SCPWDP). *Desalination* 445: 105-114.
- [25] Khidhir DK, Atrooshi SA (2020) Investigation of thermal concentration effect in a modified solar chimney. *J Sol Energy* 206: 799-815.
- [26] Xu Y, Zhou X (2019) Performance of a modified solar chimney power plant for power generation and vegetation. *Energy* 171: 502-509.
- [27] Maia C, Silva JC, Cabezas-Gómez L, Hanriot S, Ferreira A (2013) Energy and exergy analysis of the airflow inside a solar chimney. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27: 350-361.
- [28] Lavasani MA, Mohammadi Z, Mahdipour R (2015) Numerical analysis of air flow characteristics in a solar chimney with the presence of a plant layer. *Iranian Mechanical Engineering Research* 17(4): 6-22. (In Persian)
- [29] Abbas EF (2020) Experimental investigation for a laboratory solar chimney; A practical study in Iraq. *Int J Renew Energy Res* 10: 1054-1059.
- [30] Liberatore MJ (1982) Book review of the analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation by Thomas L. Saaty. Taylor & Francis.
- [1] Valipour MS, Fallah H (2016) Mathematical modeling of solar chimney power plants in semnan city. *Energy Convers Manag* 6: 70-83.
- [2] Haaf W (1984) Solar chimneys: Part ii: Preliminary test results from the Manzanares pilot plant. *Int J Sustain Energy* 2: 141-161.
- [3] Kalteh M, Razavi N, Akef M (2014) Investigation of the performance of sloping and conventional solar chimney power plants in different climates of Iran. *J Fluids Struct* 4 (3): 137-146.
- [4] Wolfgang S (1995) The solar chimney: Electricity from the sun. Edition Axel Menges.
- [5] Schlaich J, Bergermann R, Schiel W, Weinrebe G (2004) Sustainable electricity generation with solar updraft towers. *Struct Eng Int* 14: 225-229.
- [6] Fluri T, Pretorius J, Van Dyk C, Von T Backström, D Kröger, G Van Zijl (2009) Cost analysis of solar chimney power plants. *J Sol Energy* 83: 246-256.
- [7] Patel SK, Prasad D, Ahmed MR (2014) Computational studies on the effect of geometric parameters on the performance of a solar chimney power plant. *Energy Convers Manag* 77: 424-231.
- [8] Gholamalizadeh E, Kim MH (2014) Three-dimensional CFD analysis for simulating the greenhouse effect in solar chimney power plants using a two-band radiation model. *Renew Energy* 63: 498-506.
- [9] Guo P, Li J, Wang Y (2016) Evaluation of the optimal turbine pressure drop ratio for a solar chimney power plant. *Energy Convers Manag* 108: 14-22.
- [10] Avcı AS, Karakaya H, Durmuş A (2020) Numerical and experimental investigation of solar chimney power plant system performance. *Energy Sources* 5: 1-19.
- [11] Kebabsa H, Lounici MS, Lebbi M, Daimallah A (2020) Thermo-hydrodynamic behavior of an innovative solar chimney. *Renew Energy* 145: 2074-2090.
- [12] Silva JOC, Maia CB (2020) Optimization of a small solar chimney. *Acta Polytech* 60: 225-234.
- [13] Abdelsalam E., Kafiah F., Alkasrawi M., Al-Hinti I., Azzam A. (2020) Economic Study of Solar Chimney Power-Water Distillation Plant (SCPWDP). *Energies* 13: 27-89.
- [14] Djimli S, Chaker A (2014) Numerical study of the solar chimney power plant performance in the region of M'Sila-Algeria. *ICREPQ'14 Cordoba (Spain)*.
- [15] Fallah SH, Valipour MS (2019) Evaluation of solar chimney power plant performance: The

degree of spatial res, daily GHI values):
<http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/nasa-sse>

[31] Solar energy services of professionals, NASA-SSE (worldwide, from July 1983 to June 2005, 1