



تولید انرژی از گازها و انرژی پسماند تأسیسات نفت و گاز با استفاده از دودکش حرارتی

علیرضا عابدینی* • مدیریت نظارت بر تولید نفت و گاز شرکت ملی نفت ایران

چکیده

سالانه مقادیر زیادی انرژی در واحدهای صنعتی به هدر می‌رود. در این مقاله تولید توان از انرژی تلف شده در واحدهای صنعتی بررسی شده است. منظور از انرژی تلف شده، گرمای حاصل از گازهای پسماند در واحدهای فرآورش نفت یا گاز که در مشعل (فلر) سوزانده می‌شود یا گرمای محصولات احتراق خروجی از تجهیزات حرارتی یک واحد صنعتی است. بدین منظور از یک دودکش حرارتی مشابه دودکش خورشیدی استفاده شده است. گرمای داده شده به جریان هوای داخل یک دودکش سبب افزایش سرعت جریان هوا می‌شود. با افزایش سرعت جریان هوای داخل دودکش، انرژی جنبشی تولید شده نیز افزایش می‌یابد. برای تولید توان از انرژی جنبشی هوای داخل دودکش، توربینی بادی در ورودی دودکش در نظر گرفته شده است؛ به طوری که با افزایش سرعت هوای داخل دودکش توان تولیدی توسط توربین افزایش می‌یابد. انرژی جنبشی جریان هوا متناسب با ارتفاع دودکش، اختلاف دمای بین جریان هوا و دمای محیط و سطح مقطع دودکش افزایش می‌یابد. بازده حرارتی دودکش حرارتی مشابه دودکش خورشیدی مقدار کمی است. اما در این روش می‌توان به رایگان از انرژی‌های هدر رفته‌ای با کیفیت پایین برای تولید توان مفید الکتریکی استفاده کرد. بر این اساس یک دودکش حرارتی با ارتفاع ۱۰۰ متر می‌تواند از گرمای ناشی از سوختن گازهای پسماند یا انرژی‌های پسماند یک واحد صنعتی، حدود ۳۰۰ کیلووات ساعت توان الکتریکی تولید نماید. این روش همچنین مانع از جریمه شدن شرکت‌های نفتی توسط سازمان محیط زیست جهانی، بابت آلودگی ناشی از مشعل برای محیط زیست خواهد شد.

اطلاعات مقاله

* دریافت:

۹۴/۶/۱۱

* ارسال برای داوری:

۹۴/۷/۸

* پذیرش:

۹۴/۸/۳

واژگان کلیدی

دودکش حرارتی
دودکش خورشیدی
مشعل (فلر)
توربین بادی



مقدمه

روش‌های متعددی برای تولید انرژی وجود دارد. تبدیل انرژی به انرژی الکتریکی، امکان بهره‌برداری از آن به اشکال متنوع را میسر می‌کند. با پیشرفت جوامع، نیاز به انرژی الکتریکی رو به افزایش است و تولید کم‌هزینه و حافظ محیط زیست این نوع انرژی از جمله اهداف جوامع پیشرفته دنیاست. گرچه انرژی الکتریکی تولید شده از سوختن سوخت‌های فسیلی (که بخش زیادی از انرژی الکتریکی تولیدی نیز هست) در مقایسه با سایر روش‌ها ارزان‌تر است اما اثرات آلودگی محیط زیست و محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی سبب تغییر نگرش جوامع در تأمین انرژی مصرفی خود شده و در حال حاضر تحقیقات بسیاری در زمینه انرژی‌های نو در حال انجام است. از جمله نتایج این تحقیقات می‌توان به استفاده از انرژی امواج دریا، جریان‌های طبیعی سیال، دودکش خورشیدی و ... اشاره کرد. ایده دودکش خورشیدی نخستین بار در ۱۹۷۰ توسط پروفیسور اشلاش مطرح گردید. ساخت دودکش خورشیدی بسیار ساده است و کشورهای جهان سوم نیز قادر به ساخت و استفاده از آن هستند. در این فن‌آوری،

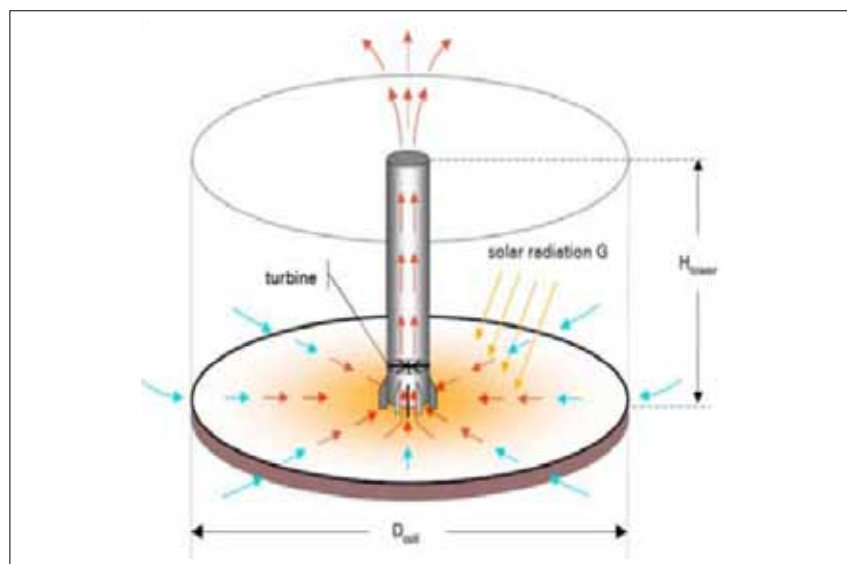
دودکش خورشیدی از سه بخش اصلی کلکتور، دودکش و توربین‌های بادی تشکیل شده است. دودکش خورشیدی نخستین بار در ۱۹۳۱ توسط گونتر مورد بحث قرار گرفت [۱]. در ۱۹۸۳ نیز نتایج آزمایش‌ها و مباحث مربوط به نمونه‌ای از دودکش خورشیدی که در منطقه‌ی مانزانارس اسپانیا ساخته شده بود ارائه گردید. در ۱۹۹۰ اشلاش و همکاران مقالاتی را در خصوص قابل‌تعمیم بودن نتایج حاصل از این نمونه دودکش ارائه کردند [۲]. او در ۱۹۹۵ دوباره دودکش خورشیدی را بازمینی کرد [۳]. در ادامه و در ۱۹۹۷ کریتر طرحی را برای قرار دادن کیسه‌های پر از آب در زیر سقف کلکتور ارائه کرد تا از این طریق انرژی حرارتی ذخیره شود [۴]. در ۲۰۰۰ گانون و همکاران تجزیه و تحلیلی برای چرخه‌ی ترمودینامیکی دودکش خورشیدی ارائه کردند. آنها در ۲۰۰۳ نیز مشخصات توربین را تجزیه و تحلیل کردند [۵]. در همین سال روپرت و همکاران نتایج محاسبات دینامیک سیالاتی و نیز طراحی یک توربین خورشیدی ۲۰۰ مگاواتی را منتشر کردند [۶]. در ۲۰۰۳ دوز سانتوز و همکاران تحلیل‌های حرارتی و فنی حاصل

از محاسبات حل شده توسط کامپیوتر را ارائه کردند.

۱- دودکش خورشیدی

دودکش خورشیدی شامل سه بخش اصلی ورودی هوا با سطح شیشه‌ای (کلکتور)، دودکش و توربین‌های بادی است. هوا در ورودی زیر سطح شیشه‌ای کلکتور با جذب انرژی تابشی خورشیدی گرم می‌شود. در مرکز این سطح شیشه‌ای بزرگ، دودکشی وجود دارد که با استفاده از خاصیت مکش طبیعی، هوای گرم کلکتور را به طرف بالا هدایت می‌کند. هوای گرم دودکش به دلیل اختلاف چگالیش با هوای سرد محیط، میل به صعود دارد و با افزایش ارتفاع دودکش سرعت هوا در آن نیز افزایش می‌یابد. در ورودی دودکش یک یا چند توربوژنراتور بادی قرار دارد که با دریافت انرژی جنبشی، هوا در دودکش به چرخش درمی‌آید. انرژی جنبشی موجود در حرکت سیال در محل اتصال دودکش به کلکتور توسط توربین‌های بادی به انرژی مکانیکی تبدیل شده و از آن برق تولید می‌گردد. اگر مشخصات کلکتور و برج یک دودکش خورشیدی صحیح و مناسب طراحی شده باشد این دودکش قادر به تولید ۲۰۰-۱۰۰ مگاوات برق خواهد بود (شکل-۱).

در حال حاضر با انجام پروژه‌ی آزمایشی در مانزانارس اسپانیا، دیگر دودکش خورشیدی تنها یک طرح و پیشنهاد نیست و امروزه چندین واحد صنعتی تولید انرژی‌های پاک در نقاط مختلف دنیا در حال بهره‌برداری از آن هستند. از جمله‌ی این واحدهای صنعتی می‌توان به واحد ۲۰۰ مگاواتی استرالیا اشاره کرد. دست‌یابی به ۲۰۰ مگاوات انرژی پاک کار ساده‌ای نیست و می‌توان با استفاده از یک دودکش خورشیدی که تنها به سرمایه‌گذاری اولیه احتیاج دارد به این مهم دست یافت. دودکش خورشیدی متناسب با ابعاد خود



شکل ۱ | شماتیک دودکش خورشیدی

نتایج نشان داد که ارتفاع و قطر دودکش، گرمای داده شده به آن و افت فشار توربین مهم ترین متغیرهای طراحی هستند. در ۱۹۸۷ Mullet بر اساس تحقیقات خود بازده کلی دودکش با ارتفاع ۱۰۰۰ متر را حدود یک درصد به دست آورد. او به این نتیجه رسید که تولید توان از دودکش خورشیدی فقط در ابعاد بزرگ صرفی اقتصادی دارد. Mulle معادله ۱- را برای اختلاف فشار در ورودی دودکش ارائه کرد:

$$\Delta p = 11.67 \left(1 - \frac{k_1}{k_2}\right) h \quad (1)$$

که در آن k_1 و k_2 به ترتیب دمای محیط و دمای هوا در داخل دودکش و h ارتفاع دودکش است. سرعت جریان هوای داخل از معادله ۲- به دست می آید:

$$v = \left[\frac{\Delta kgh}{k_0} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

تولید توان مکانیکی حاصل از انرژی جنبشی جریان هوای داخل دودکش از رابطه ۳- به دست می آید:

$$w = \rho \sqrt{2} \left[\frac{\Delta kgh}{k_0} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

که ρ چگالی هوا در دمای K_0 است.

اگرچه بازده تولید انرژی از یک دودکش بسیار کم است اما به دلیل رایگان بودن انرژی تابشی خورشید، توان تولیدی توجیه اقتصادی خواهد داشت و تنها باید سرمایه‌های اولیه‌ی پروژه مدنظر قرار گیرد. بر اساس بررسی‌های انجام شده [۷] هزینه‌های ساخت و نگهداری دودکش خورشیدی طبق جدول ۱- خواهد بود.

۲- دودکش حرارتی

در این تحقیق بررسی‌هایی انجام شده تا به جای استفاده از انرژی تابشی خورشید که در کلکتور دودکش خورشیدی در طول روز جمع‌آوری می‌شود از انرژی‌های هدر

خورشیدی توسط Weinreb و Bernardes انجام شد. برای تحلیل جامع متغیرهای دودکش، مدلی ریاضی از آن بررسی گردید. در این مدل با توجه به شرایط طبیعی محیط، توان خروجی از دودکش در اندازه‌ی آزمایشگاهی شبیه‌سازی شد که نتایج آن برای نمونه‌ی واقعی قابل تعمیم است. این

می‌تواند توان الکتریکی تولید کند. بدین منظور در جدول ۱- دودکش خورشیدی در ابعاد و ظرفیت‌های مختلف تولید انرژی الکتریکی با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۱-۱- تحلیل حرارتی دودکش

در ۲۰۰۳ تحلیل حرارتی دودکش

کمیت	واحد	مقدار			
توان تولیدی	مگا وات	۲۰۰	۱۰۰	۳۰	۵
هزینه‌ی برج	میلیون یورو	۱۷۰	۱۵۶	۴۹	۱۹
هزینه‌ی کلکتور	میلیون یورو	۲۶۱	۱۰۷	۴۸	۱۰
هزینه‌ی توربین	میلیون یورو	۱۳۳	۷۵	۳۲	۸
هزینه‌ی مهندسی و راه‌اندازی	میلیون یورو	۴۲	۴۰	۱۶	۵
مجموع هزینه‌ها	میلیون یورو	۶۰۶	۳۷۸	۱۴۵	۴۲
سرمایه‌گذاری سالیانه	میلیون یورو	۴۳/۷	۱/۲۷	۱۰/۲	۲/۷
هزینه‌های عملیاتی و نگهداری سالانه	میلیون یورو	۲/۸	۱/۷	۰/۶	۰/۲
هزینه‌ی تولید برق	یورو بر کیلووات ساعت	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۲۱

h [m]	$n_1\%$ $T=900^{\circ}K$ $\rho=0.3925 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1121$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$	$n_1\%$ $T=800^{\circ}K$ $\rho=0.4405 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1098$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$	$n_1\%$ $T=700^{\circ}K$ $\rho=0.5030 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1075$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$	$n_1\%$ $T=500^{\circ}K$ $\rho=0.5879 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1055$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$	$n_1\%$ $T=500^{\circ}K$ $\rho=0.7048 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1030$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$	$n_1\%$ $T=400^{\circ}K$ $\rho=0.8826 \text{Kg/m}^3$ $C_p=1014$ $\frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$
۵۰	۰/۴۳	۰/۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۲۱
۱۰۰	/۸۸	۰/۸	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۴۳
۲۰۰	۱/۷۵	۱/۵۹	۱/۴۲	۱/۲۴	۱/۰۶	۰/۸۶
۳۰۰	۲/۶۳	۲/۳۹	۲/۱۴	۱/۸۶	۱/۵۹	۱/۲۹
۴۰۰	۳/۵	۳/۱۸	۲/۸۵	۲/۴۸	۲/۱۲	۱/۷۲
۵۰۰	۴/۳۸	۳/۹۸	۳/۵۶	۳/۱	۲/۶۵	۲/۱۵
۱۰۰۰	۸/۷۵	۷/۹۶	۷/۱۲	۶/۲	۵/۳	۴/۳



تولید خارج می‌شود و بازگرداندن آن به فرآیند به صرفه نیست. دودکش حرارتی به ویژه برای گاز ترش روش مناسبی است که قادر است با هزینه‌ی ناچیز اولیه‌ی ساخت یک دودکش و اتاق احتراق با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر، از گازهای غیرقابل فرآورش توان الکتریکی تولید کرد.

۲-۱- محاسبات دودکش حرارتی

برای بررسی جریان هوای داخل دودکش نمونه‌ای از دودکش در نظر گرفته شد. با بررسی حرکت جریان داخل دودکش بر اساس معادله‌ی ناور-استوکس در جهت محور z در حالت جریان پایا خواهیم داشت:

$$\rho \left(v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g + \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

با توجه به اینکه مقطع دودکش دایره است از جریان در جهت صفحه‌ی مقطع آن صرف نظر می‌شود. $v_r=0$ و $v_\theta=0$ همچنین اگر از تنش برشی جداری صرف نظر شود رابطه‌ی ۵- به دست می‌آید:

$$\rho \left(v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \rho g \quad (5)$$

از طرفی تغییرات فشار هوا در ارتفاع با وزن واحد سطح المان سیال برابر است و خواهیم داشت:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho_\infty g \quad (6)$$

از روابط ۴- و ۵- رابطه‌ی ۷- به دست می‌آید:

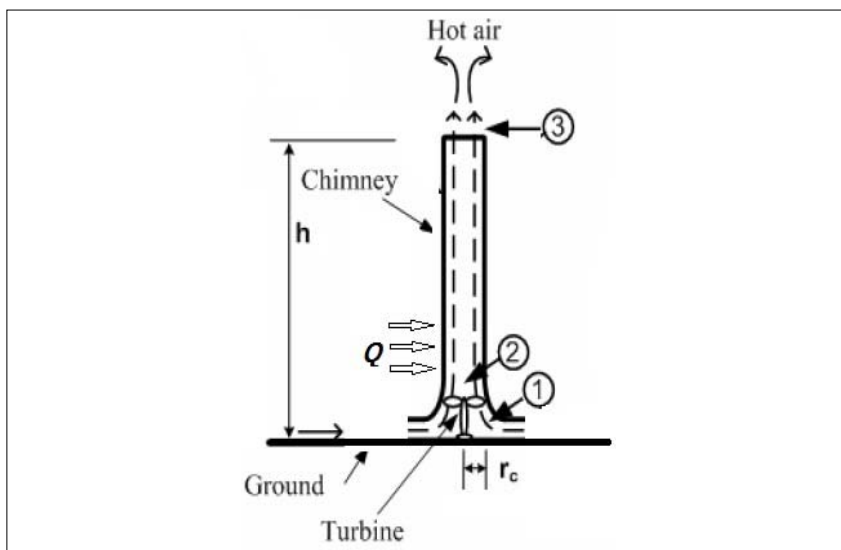
$$\rho \left(v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = g(\rho_\infty - \rho) \quad (7)$$

اختلاف چگالی هوا در اثر تغییر دما را می‌توان بر حسب ضریب انبساط حجمی بیان کرد:

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{V} \left(\frac{V - V_\infty}{T - T_\infty} \right) = \frac{\rho_\infty - \rho}{\rho(T - T_\infty)} \quad (8)$$

شده، دمای آنها افزایش می‌یابد و هوای گرم وارد دودکش می‌گردد. به علت وجود زمان کافی برای احتراق کامل، گازهای پسماند که در مقایسه با شعله‌ی مشعل آلودگی کمتری دارند به طور کامل در اتاق احتراق می‌سوزند. همواره به علت وجود جریان‌های هوا در اطراف مشعل و نوسان شعله‌ی آن قسمتی از گاز با احتراق ناقص وارد محیط زیست شده و آلودگی بیشتری ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر هدف از سوزاندن گازهای پسماند تبدیل گازهای ترش و سمی به گازهایی با آلودگی کمتر است. بنابراین هرچه فرآیند احتراق کامل‌تر انجام شود آلودگی کمتر خواهد بود. لازم به ذکر است گاز H_2S که درصد زیادی از گازهای مشعل را تشکیل می‌دهد بسیار سمی، کشنده و قابل اشتعال بوده و با سوختن کامل به SO_2 تبدیل می‌شود که این گاز نیز سمی و آلوده کننده‌ی محیط زیست است اما قابل اشتعال نیست. در فرآیند تولید نفت خام، گاز همراه نفت در تأسیسات سرچاهی حجم کمی دارد، فرآورش آن از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست و به همین دلیل نیز در محل سوزانده می‌شود. در فرآیند تولید گاز نیز قسمتی از گاز تولیدی به علت کاهش فشار از فرآیند

رفته در تأسیسات تولید و فرآورش نفت و گاز استفاده شود. در مجتمع تأسیسات تولید و فرآورش محصولات حاصل از نفت و گاز همواره درصدی از خوراک دریافتی به صورت مواد غیرقابل استفاده در مشعل آن مجتمع سوزانده می‌شود. با پیشرفت فن آوری، گاز ارسالی به مشعل کاهش می‌یابد. اما در کشورهای در حال توسعه‌ی خاورمیانه حجم گازهای ارسالی به مشعل بسیار قابل توجه است که علت اصلی آن ارزان بودن انرژی و هزینه‌ی زیاد استفاده از فن آوری مورد نیاز برای کاهش حجم گازهای مشعل است. به دلیل خورندگی بسیار زیاد و نوسانی بودن گازهای مشعل، این گازها در مولدهای تولید توان مثل توربین گاز یا سیستم‌های گرمایش تأسیسات مستقیماً قابل استفاده نیستند. اگرچه امکان ساخت تجهیزات ویژه وجود دارد اما هزینه‌ی اولیه‌ی فراوان و هزینه‌ی نگهداری این تجهیزات از لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود. در این تحقیق گازهای پسماند به جای سوزانده شدن به اتاق احتراق داخل دودکش منتقل شده و در آنجا سوزانده می‌شوند. محصولات احتراق با دمای زیاد جریان هوای اطراف اتاق احتراق ترکیب



شکل ۲ | شماتیک دودکش حرارتی

به گرمای داده شده به آن:

$$\eta = \frac{mgh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty}}{mC_p(T-T_\infty)} = \frac{\rho_\infty Qgh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty}}{\rho Q C_p (T-T_\infty)} = \frac{\rho_\infty gh}{\rho C_p T_\infty} \quad (15)$$

متغیر اصلی در بازده دودکش حرارتی، ارتفاع آن است؛ با افزایش ارتفاع دودکش بازده حرارتی آن افزایش می‌یابد. اما اختلاف دمای جریان دودکش با دمای هوای محیط بر بازده حرارتی دودکش تأثیری ندارد. از طرفی ساخت دودکش با ارتفاع زیاد بسیار پرهزینه است. جدول-۲ تغییرات بازده حرارتی دودکش را نسبت به ارتفاع آن نشان داده است.

از داده‌های جدول-۲ می‌توان اثر تغییر ارتفاع دودکش و تغییر درجه حرارت جریان هوای داخل دودکش را بر بازده حرارتی آن بررسی کرد. هر چند بازده دودکش بسیار کمتر از بازده یک توربین گازی است اما به علت غیرقابل استفاده بودن حرارت تولیدی از احتراق گازهای اسیدی، توان حاصل از آن ارزشمند است. میانگین ظرفیت گازهای مشعل در تأسیسات فرآورش نفت یا گاز حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب در روز است. مجموع گازهای سوزانده شده پنج پالایشگاه عسلویه در سال ۹۲ حدود ۸/۲ میلیون مترمکعب در هفته است. در مشعل‌های صنایع نفت و گاز ایران حدود ۴۴ میلیون مترمکعب در روز گاز سوزانده می‌شود که ارزش حرارتی این گازهای مشعل حدود ۸۷۹۰ وات است. اگر تأسیساتی حدود ۱۰۰ هزار مترمکعب گاز در روز بسوزاند انرژی هدر رفته‌ی آن برابر ۸۷۹ مگاوات در روز است. انرژی جنبشی داخل دودکش به شرح جدول-۳ است. به دلیل آنکه توربین بادی با بازدهی حدود ۹۰-۷۰ درصد در ورودی دودکش قرار می‌گیرد باید نتایج جدول-۳ در بازده توربین بادی ضرب شود.

۲-۲- مزایای دودکش حرارتی

■ دودکش می‌تواند در تمامی طول شبانه‌روز از این گازها استفاده کند؛ در حالی که انرژی

دودکش از رابطه‌ی ۱۲- به دست می‌آید:

$$U = \frac{1}{2} m v_z^2 = mgh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} \quad (12)$$

توان انرژی جنبشی جریان هوای داخل دودکش عبارت است از:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v_z^2 = \dot{m} gh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} \quad (13)$$

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v_z^2 = \frac{1}{2} \rho_\infty A v_z^3 = \frac{1}{2} \rho_\infty A g \left[2gh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (14)$$

که در این رابطه A سطح مقطع دودکش است. با توجه به رابطه‌ی ۱۴- می‌توان نتیجه گرفت که برای تولید توان، افزایش اختلاف دمای جریان دودکش با دمای هوای محیط، معادل افزایش ارتفاع دودکش است. بازده حرارتی دودکش برابر است با نسبت توان انرژی جنبشی جریان هوای داخل دودکش

ضریب انبساط حجمی را می‌توان از جداول خواص سیالات به دست آورد. برای گازهای کامل این متغیر از رابطه‌ی ۹- به دست می‌آید:

$$\beta = \frac{1}{T_\infty} \quad (9)$$

که در آن T دمای مطلق گاز است. همچنین طبق رابطه‌ی ۱۰-:

$$v_z \frac{dv_z}{dz} = \beta g (T-T_\infty) = g \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} \quad (10)$$

$$\int_0^{v_z} v_z dv_z = \int_0^h g \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} dz$$

$$v_z = \left[2gh \frac{(T-T_\infty)}{T_\infty} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

سرعت جریان هوا در دودکش از رابطه‌ی ۱۱- به دست می‌آید که تابعی از تغییرات دما و ارتفاع دودکش است [۱۰-۸]. انرژی جنبشی محصولات احتراق در داخل

تغییرات توان انرژی جنبشی جریان هوای دودکش نسبت به ارتفاع و گرمای داده شده

به آن با فرض $T_\infty = 300^\circ K, \rho_\infty = 1.1774 \text{ Kg/m}^3, C_p = 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg}^\circ \text{C}}$

T = 900°K ρ = 0.3925 Kg/m ³ C _p = 1121	T = 800°K ρ = 0.4405 Kg/m ³ C _p = 1098	T = 700°K ρ = 0.5030 Kg/m ³ C _p = 1075	T = 500°K ρ = 0.5879 Kg/m ³ C _p = 1055	T = 500°K ρ = 0.7048 Kg/m ³ C _p = 1030	T = 400°K ρ = 0.8826 Kg/m ³ C _p = 1014	h [m]
$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ \text{C}}$	
۱۶۰/۷۱	۱۴۹/۴	۱۳۰/۸۱	۱۱۵/۸۶	۹۷/۱۷	۷۸/۴۹	۵۰
۳۲۸/۹	۲۹۹	۲۶۵/۳۶	۲۳۱/۷۲	۱۹۸/۰۹	۱۶۰/۷۱	۱۰۰
۶۵۴/۰۶	۵۹۴/۲۶	۵۳۰/۷۲	۴۶۳/۴۵	۳۹۶/۱۷	۳۲۱/۴	۲۰۰
۸۸۲/۰۵	۸۹۳/۲۶	۷۹۹/۸۲	۶۹۵/۱۷	۵۹۷/۲۶	۴۷۲/۱۸	۳۰۰
۱۳۰۸/۱۳	۱۱۸۸/۵۲	۱۰۶۵/۱۸	۹۲۶/۰۹	۷۹۲/۳۵	۶۴۲/۸۵	۴۰۰
۱۶۳۷/۰۲	۱۴۸۷/۵۲	۱۳۳۰/۵۵	۱۱۵۶/۶۲	۹۹۰/۴۴	۸۰۳/۵۶	۵۰۰
۳۲۷/۳۱	۲۹۷۵/۵	۲۶۶۱/۱۱	۲۳۱۷/۲۵	۱۹۸۰/۸۷	۱۶۰۷/۱۳	۱۰۰۰

خورشیدی فقط در طول روز وجود دارد.

■ گرمای ناشی از گازهای مشعل نسبت به گرمای ناشی از انرژی خورشیدی، دمای بیشتری ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر برای دستیابی به توان برابر، باید ارتفاع دودکش خورشیدی بیشتر از ارتفاع دودکش حرارتی باشد.

■ آلودگی محصولات احتراق مشعل کاهش می‌یابد. در اتاق احتراق داخل دودکش، محصولات احتراق در مدت بیشتری در دمای بالا قرار خواهند داشت و به همین دلیل زمان کافی برای احتراق کامل وجود دارد. این در حالی است که در یک مشعل زمان کمی برای احتراق گاز وجود دارد و جریان هوای طبیعی در اطراف مشعل نیز موجب احتراق ناقص گاز شده و آلودگی را افزایش می‌دهد.

■ می‌توان قسمتی از برق مورد نیاز یک تأسیسات تولید و فرآورش نفت و گاز را از انرژی هدر رفته‌ی آن تأمین کرد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق تولید توان از حرارت تلف شده‌ی گازهای پسماند واحدهای فرآورش

بودن توان تولیدی، هزینه‌ی ساخت، نگهداری و تعمیرات دودکش با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر بسیار ناچیز است و می‌توان در تمامی طول شبانه‌روز از آن استفاده کرد. این در حالی است که دودکش خورشیدی تنها در طول روز توان مناسبی تولید می‌کند. محصولات احتراق حاصل از گازهای پسماند واحدهای تولید و فرآورش نفت و گاز، در داخل دودکش زمان بیشتری برای احتراق کامل خواهند داشت که این امر موجب کاهش آلودگی ناشی از سوختن ناقص گاز در مشعل می‌گردد. برای دستیابی به توان تولیدی بیشتر از دودکشی با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر، می‌توان دمای جریان هوای داخل دودکش را افزایش داد. هرچند دودکشی با ارتفاع کم، بازده کمتری دارد اما هزینه‌ی ساخت آن نیز بسیار کمتر از دودکش‌های بلندمرتبه است. مثلاً توان تولیدی دودکش ۵۰ متری با اختلاف دمای ۶۰۰°C تقریباً برابر دودکشی با ارتفاع ۱۰۰ متر و اختلاف دمای ۱۰۰°C است. این روش همچنین مانع از جریمه شدن شرکت‌های نفتی توسط سازمان محیط زیست جهانی، بابت آلودگی ناشی از مشعل برای محیط زیست خواهد شد (جدول-۳).

نفت و گاز بررسی شد. استفاده از دودکش می‌تواند سبب افزایش سرعت جریان سیال حاصل از محصولات احتراق خروجی از اتاق احتراق داخل دودکش شود؛ به طوری که طبق رابطه‌ی ۱۴- با افزایش ارتفاع دودکش سرعت این سیال افزایش می‌یابد. با افزایش گرمای داده شده به جریان هوای داخل دودکش سرعت آن افزایش می‌یابد و در نتیجه انرژی جنبشی تولیدی افزایش یافته و توان تولید انرژی توسط توربین بادی در ورودی دودکش بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر توان جنبشی تولید شده‌ی جریان هوا متناسب با ارتفاع دودکش، اختلاف دمای جریان هوا با دمای محیط و سطح مقطع دودکش افزایش می‌یابد. هزینه‌ی ساخت دودکش با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰ متر بسیار زیاد خواهد بود و دستیابی به ارتفاع دودکش بیشتر از ۵۰۰ متر نیازمند فن آوری سازه‌های بلندمرتبه است. دودکش حرارتی می‌تواند با استفاده از گازهای پسماند یا انرژی‌های پسماند یک تأسیسات صنعتی مانند انرژی محصولات احتراق حاصل از گازهای خروجی توربین گازی یا دیگ بخار یا ... قسمتی از برق مورد نیاز آن تأسیسات را تأمین کند. با وجود کم

منابع

- [1] Günther, Hanns. In Hundertjahren - Die Künftigeenergieversorgung Der Welt. Stuttgart: Kosmos, Gesell schaftde rnaturfreunde (1931).
- [2] Schlaich, J., Schiel, W., Friedrich, K., Schwarz, G., Wehowsky, P., Meinecke, W., And Kiera, M. "Abschluberichtauf windkraftwerk, Übertragbarkeit Der Ergebnisse Von Manzanare saufgrobereanlage n." Bmftforderken nzeichen 0324249d, Stuttgart (1990).
- [3] Schlaich, J. "The Solar Chimney, Electricity From The Sun". Edition Axel Menges, Stuttgart, Germany (1995).
- [4] Kreetz, H. "Theoretische Untersuchungen Undauslegungeinste mporarenwasserspeichers Furdas Aufwindkraftwerk". Diploma Thesis, Technical University Berlin, Berlin (1997).
- [5] Gannon, A., J., Backstrom, T.W.V. "Solar Chimneycycle Analysis With System Loss And Solarcollectorperformance". Journal Of Solar Energyengineering 122 (3), 1332000(137-).
- [6] Ruprecht, A. Et Al. "Stromung Technische Gestaltungeines Aufwin Krafwerks (Fluid Dynamicdesign Of A Solar Updraft Powerplant)". Proceedings Of The International Symposium Überanwendungen Der Informatikund Mathematik In Architektur Undbauwesen, June 1012-, Bauhaus- Universityweimar, Germany (2003).
- [7] Mathematical Modeling Of Temperature Lapse Rate In Solar Chimney Power Plant Byshashank.B. Thakr E, L.B. Bhuya R, Sachin.V.Dahake&Pankajwankhade. Volume 13 Issue 1 Version 1.0 Year 2013.
- [8] Analysis Of Flow In Solar Chimney For An Optimal Design Purpose ,Atitkoonrisuk. A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy In Mechanical Engineering Suranaree University Of Technology Academic Year 2009
- [9] Mathematical Modeling Of Solar Chimney Power Plants Atitkoonrisuk, Tawitchitsomboon , Journal Homepage: Elsevier. 2013.
- [10] Accuracy Of Theoretical Models In The Prediction Of Solar Chimney Performance Atitkoonrisuk, Tawitchitsomboon, Journal Homepage: Elsevier, 22 July 2009.