محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۶۰، زمستان ۹۰، صفحهٔ ۴۵-۵۲

مقایسهٔ غبارگیرهای الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر در صنعت فولاد

پرویز جعفری‌فشارکی*[1]، حمیدرضا جعفری [2] ، غلام‌رضا نبی‌بیدهندی [3]

۱- دانشجوی دکترای برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران،

۲- دانشیار دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، hjafari@ut.ac.ir

۳- استاد دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، Ghhendi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت :۹۰/۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲۴

چکیده

صنعت فولاد یکی از پرمصرف‌ترین میزان مصرف انرژی شناخته شده است که مربوط به بخش کوره‌های ذوب است و منجر به آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. هدف از این تحقیق تعیین میزان مصرف انرژی و سرمایه درغبارگیرهای الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر متصل به کوره‌های ذوب با رویکرد اکولوژی صنعتی، برای انتخاب سیستم غبارگیر مناسب و سازگار با محیط‌زیست است. بنابراین در این تحقیق ابتدا سه کوره ذوب الکتریکی۳، ۶ و۱۲ تنی در نظر گرفته شد، و بر اساس روش محاسباتی و معادلات حاکم، میزان مصرف انرژی و سرمایهٔ اولیه در دو غبارگیر الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر انجام شد. نتایجی که به‌دست آمد گویای این مطلب است که میزان مصرف انرژی سالانه در غبارگیر ونتوری متصل به کورهٔ ۱۲تنی، هجده برابر میزان مصرف انرژی برق در غبارگیر الکترواستاتیکی است. درحالی‌که این میزان در کورهٔ ۶ تنی به یازده برابر و در کورهٔ ۳ تنی به چهار برابر تقلیل می‌یابد. هزینه‌های سرمایه اولیه دریک غبارگیر الکترواستاتیکی در سه کورهٔ ۳، ۶ و ۱۲ تنی در حدود یک و نیم برابر سیستم غبارگیر ونتوری است. بنابراین مجموع کل هزینه‌های غبارگیر ونتوری اسکرابر در یک کورهٔ ذوب ۱۲ تنی صنعت فولاد در مدت ۲۰ سال تقریبا ۶/۵ برابر مجموع کل هزینه‌های غبارگیر الکترواستاتیکی است. در حالی‌که در کوره‌های ذوب۳و ۶ تنی صنعت فولاد به‌ترتیب ۱/۶ و ۴ برابر است. با این توصیف می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از غبارگیرهای ونتوری اسکرابر برای کوره‌های کمتر از ۳ تن، به‌لحاظ پایداری محیط‌زیستی و اکولوژی صنعتی معقولانه و اقتصادی‌تر است.

کلید واژه

غبارگیرها، صنعت فولاد، انرژی، اکولوژی صنعتی، هزینه

سرآغاز

مصرف انرژی در هر سیستم صنعت ، کم و بیش خسارات محیط زیستی را به همراه دارد. بنابراین، ارتقای کارایی مصرف انرژی می‌باید از اولویت بسیار بالایی در طراحی اکوسیستم‌های صنعتی برخوردار شود (Manahan , 1999). صنعت فولاد در مقایسه با سایر صنایع از نظر انرژی مورد نیاز، پرمصرف‌ترین صنعت در جهان به شمار می‌رود. روند رو به زوال منابع طبیعی و انرژی‌های فسیلی و ذخایر گاز، دانشمندان و پژوهشگران این عرصه را واداشته تا به‌منظور کاهش مصرف انرژی دراین صنعت گام بردارند (اعزازی، ۱۳۸۸). در ارزیابی آثار محیط زیستی کارخانه‌ها فولاد که مورد تحقیق و بررسی قرارمی‌گیرد بیشترین آثار منفی مربوط به آلودگی هوای ناشی از فعالیت کورهٔ ذوب الکتریکی (گرد و غبارها) است (Harley, 2002).همچنین وقتی به صدها هزار غبارگیر نصب شده در سراسر جهان توجه می‌شود، به تأثیر فراوان آنها در گرم شدن کره زمین پی می‌بریم.که به علت مصرف انرژی در این غبارگیرهاست (Berwick, 2005). مهمترین غبارگیرهای صنعتی استفاده شده برای به دام‌اندازی گرد و غبارات کوره ذوب صنایع فولاد شامل غبارگیرهای ونتوری[1] و غبارگیرهای الکترواستاتیکی [2] است (Wayne, 2000). غبارگیرهای الکترواستاتیکی با استفاده از نیروهای الکترواستاتیک، ذرات وگرد و غبارات را از جریان گاز حامل جدا می‌کنند (Schmatloch, 2005). این دستگاهها با ایجاد اختلاف ولتاژ، گرد و غبارات را به سمت صفحات کشیده و ازجریان گازجدا می‌کنند (James, et al., 2010). کاربردهای صنعتی غبارگیرهای الکترواستاتیکی بیشتر در صنایعی مانند، نیروگاهها، صنایع فولاد، صنایع گچ و سیمان هستند (Cheremisinoff, 2002). همچنین یکی از خواص منفی غبارگیرهای

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲۳۰۵۱۱۵۹ E-Mail: parvizjafari2004@yahoo.com

الکترواستاتیکی‌ها تولید گاز ازن است (Hautanen, 1986, linmao, et al., 2000 Islamov,et al., 2011) و تأثیر مخرب بر سیستم تنفسی انسان وگیاه دارد (Jakober,2008). غبارگیرهای ونتوری اسکرابر یکی از مهمترین غبارگیرهای‌تر است که در اثر برخورد آب و گرد و غبارها استفاده می‌شود.

ساز و کار ونتوری اسکرابر به‌این‌صورت است که، ابتدا آب با پمپ آب به قسمت همگرای و یا گلوگاه ونتوری وارد می‌شود سپس جریان هوای آلوده که شامل گازها و گرد و غبارات است نیز وارد بخش همگرایی ونتوری می‌شود. در اثر اختلاط آب و هوای آلوده، گرد و غبار و گازها شسته شده و در هنگام ورود به بخش واگرایی ونتوری به‌صورت قطرات آب درآمده و ازطریق لولهٔ هادی به قسمت فاضلاب مربوط هدایت می‌شود (Agranovski & Whitcombe, 2000).

با توجه به اهداف اکولوژی صنعتی مبنی بر کاهش مصرف انرژی، سرمایه و مواد، نیاز به تحقیق برای انتخاب سیستم غبارگیر مناسب در صنعت فولاد (کوره ذوب) با اهداف فوق ضروری به‌نظر می‌رسد. برهمین اساس در این مقاله میزان مصرف انرژی و مواد مصرفی سالانه، همچنین هزینه‌های سرمایه‌ای (با در نظر گرفتن نرخ تنزیل) برای غبارگیرهای الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر محاسبه می‌شوند. شایان ذکر است هرچقدر مصرف انرژی بیشتر شود میزان خسارت‌های محیطزیستی نیز بیشتر می‌شود برای مثال در نیروگاههای گازی به ازای تولید هرکیلو وات ساعت برق در حدود ۹۰ الی ۲۷۰ ریال خسارت زیست‌محیطی وارد می‌شود (کرباسی، ۱۳۸۴).

روش‌کار

در این تحقیق ابتدا با استفاده از روش محاسباتی، به میزان و هزینه‌های مصرف انرژی، هزینه‌های سرمایهٔ اولیه و هزینه‌های کل در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی را بر اساس عمر کارکرد آنها (۲۰ سال) در کوره‌های ذوب الکتریکی ۶/۳ و۱۲ تنی صنعت فولاد پرداخته و درنهایت با مقایسهٔ یکدیگر، چگونگی انتخاب آنها در صنعت فولاد مشخص می‌شوند. به این نحو که برای تعیین هزینه سرمایه لازم است ابتدا هزینه‌های مربوط به خرید، نصب و راه‌اندازی مربوط به هر کدام از غبارگیرها را به‌دست آورده و سپس هزینه‌های استهلاک غبارگیرها را بر اساس عمر کارکرد آنها محاسبه کرد و در نهایت با استفاده از نرخ تنزیل و بهرهٔ بانکی، سود سالانهٔ هزینهٔ خرید و نصب دستگاهها را به‌دست آورده، تا از مجموع این هزینه‌ها، هزینهٔ کل سرمایه غبارگیرها مشخص می‌شود. برای تعیین هزینه‌های انرژی در غبارگیرها نیز ابتدا میزان مصرف انرژی آنها را باید بر اساس سیستم‌های مصرف‌کنندهٔ برق که به غبارگیرها متصل شده‌اند مانند هواکش‌ها، ترانسفورماتورها و پمپ‌ها به‌دست آورده وسپس با استفاده از قیمت واقعی برق و کارکرد سالانه غبارگیرها، هنگامی که کوره‌های ذوب، عملیات ذوب را انجام می‌دهند، هزینه مصرف انرژی سالانهٔ آنها محاسبه کرد. در نهایت می‌باید مجموع هزینه‌های سرمایه و انرژی که در دورهٔ عمر کاری غبارگیرها به‌دست آمده است، به مقایسه و انتخاب بهینهٔ غبارگیر پرداخت.

معادلات حاکم بر میزان مصرف انرژی سالانه و سرمایه در غبارگیرهای الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر

برای تعیین میزان مصرف انرژی سالانه در هواکش سانتریفوژ متصل به غبارگیرهای الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر از رابطهٔ (۱) استفاده می‌شود (Mussatti,D.C. .2002).

$$FP = 0.000181\,(Q)(\Delta P)(\theta) \qquad (۱)$$

که درآن FP قدرت الکتروموتور برحسب کیلووات درسال، θ مدت زمان کارکرد سالانه برحسب ساعت در سال است و Q میزان ظرفیت مکش برحسب فوت مکعب در دقیقه که بر اساس استانداردهای کمیتهٔ انجمن بهداشت صنعتی آمریکا[۳] در انواع فرایندها تعیین می‌شود (ACGIH, 2002). ΔP افت فشار سیستم برحسب اینچ آب و میزان آن در غبارگیرهای الکترواستاتیکی معمولا کمتراز ۰/۵ اینچ ستون آب است (Wayne, 2000) و در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر مطابق رابطهٔ (۲) بیان می‌شود.

$$\Delta P = \frac{V^2 \rho_g A^{0.133} \left(\frac{L}{G}\right)^{0.78}}{1270} \qquad (۲)$$

که در آن ΔP افت فشار ونتوری اسکرابر برحسب اینچ آب، ρ_g چگالی گاز برحسب پوند بر فوت مکعب،v سرعت سیال در گلوگاه برحسب فوت در ثانیه، L/G میزان مایع به گاز برحسب گالن در۱,۰۰۰ فوت مکعب، و A سطح مقطع گلوگاه ونتوری اسکرابر برحسب فوت مربع هستند. در رابطهٔ (۶) که به معادلهٔ هسکچ[۴] معروف است، میزان مایع به گاز در حدود ۳ الی ۱۰ گالن به ازای ۱,۰۰۰ فوت مکعب در نظر گرفته می‌شود (Daniel , 2002).

برای تعیین میزان مصرف انرژی سالانهٔ ناشی از ترانسفورماتورها در الکترواستاتیکی‌ها مطابق با رابطهٔ (۳) عمل می‌شود (Daniel, 2002).

$$OP = 1.94 \times 10^{-3} A\theta \qquad (۳)$$

که در آن OP میزان مصرف انرژی برحسب کیلووات ساعت، A مساحت صفحات در غبارگیر الکترواستاتیکی برحسب فوت مربع θ میزان ساعت در سال هستند.

به منظور تعیین مساحت صفحات برای محاسبهٔ مصرف انرژی سالانهٔ ناشی از ترانسفورماتور وسیستم ضربه‌ای در الکترواستاتیکی مطابق با رابطهٔ ۴ عمل می‌شود (EPA, 2002) .

$$\eta = 1 - e^{\left(\frac{-wA}{Q}\right)} \qquad (۴)$$

که درآن η بازده جمع‌آوری ذرات، A مساحت کل صفحات جمع‌آورنده برحسب مترمربع، Q میزان دبی گاز برحسب مترمکعب برثانیه، e عدد نپرین، w سرعت مهاجرت ذرات برحسب متر برثانیه است. برای محاسبه میزان مصرف انرژی سالانهٔ ناشی از الکتروموتورپمپ در ونتوری اسکرابرلازم است ابتدا افت فشار پمپ را که تابع طول ونتوری اسکرابر است (۱۵/۵) برابرقطر گلوگاه ونتوری را مطابق رابطهٔ (۵) به‌دست آورده، سپس میزان انرژی ناشی از الکتروموتور پمپ را مطابق با رابطهٔ ۶ محاسبه کرد:

$$A = \frac{Q}{V} \qquad (۵)$$

که در آن Q میزان دبی گاز برحسب فوت مکعب در دقیقه، V سرعت سیال در گلوگاه برحسب فوت در دقیقه، و A سطح مقطع گلوگاه ونتوری اسکرابر برحسب فوت مربع است.

$$HP_{pump} = \frac{\Delta P_{pump} \times \frac{L}{G} \times \frac{Q}{1000} \times \gamma}{3952.6 \eta_{pump}} \qquad (۶)$$

که در آن HP_{pump} نیروی الکتروموتورپمپ برحسب اسب بخار، η_{pump} بازده پمپ (معمولا برابر با ۰/۷) ΔP افت فشار پمپ برحسب فوت، L/G نسبت مایع به گاز برحسب گالن در ۱,۰۰۰ فوت مکعب، Q میزان دبی گاز برحسب فوت مکعب در دقیقه و γ وزن مخصوص مایع در اسکرابر (۱/۱۲) است.

تعیین هزینه‌های سرمایه و انرژی درغبارگیرهای، ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی

هزینه‌های سرمایه دریک سیستم غبارگیر برابر با مجموع هزینه‌های خرید اولیه، نصب، استهلاک و هزینهٔ سود سالانهٔ سرمایه است. حداقل هزینهٔ خرید در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر به‌طور تقریبی به ازای هرفوت مکعب دردقیقه برابر ۱۰,۰۰۰ ریال و هزینه نصب آن۰/۵۶ هزینهٔ خرید آن است.

در حالی‌که حداقل هزینهٔ خرید درغبارگیرهای الکترواستاتیکی به‌طور تقریبی به ازای هر فوت مکعب در دقیقه ۱۵,۰۰۰ ریال و هزینه نصب آن۰/۶۷ هزینهٔ خریدآن برآورد می‌شود (Baha, 2005).

برای تعیین هزینه استهلاک سالانه در سیستم‌های غبارگیر لازم است ابتدا نرخ تنزیل را که برابر با اختلاف بالاترین سود بانکی از میانگین نرخ تورم است محاسبه کرد سپس با در نظرگرفتن عمر دستگاه، ضریب فاکتور برگشت سرمایه را مطابق رابطه (۷) به‌دست آورده و درنهایت این ضریب را در هزینهٔ سرمایهٔ اولیه مطابق رابطه (۸) ضرب کرد تا هزینهٔ استهلاک سالانه در غبارگیر به دست آید.

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \qquad (۷)$$

$$CRC = C \times CRF \qquad (۸)$$

که در آنCRF ضریب فاکتور برگشت سرمایه، i نرخ تنزیل، n عمر سیستم، CRC هزینهٔ استهلاک و C هزینهٔ سرمایه است. برای به‌دست آوردن هزینهٔ سود سالانهٔ سرمایه لازم است هزینهٔ کل سرمایهٔ اولیه را در نرخ تنزیل مطابق با رابطهٔ (۹) ضرب کرد

$$CB = i \times TC \qquad (۹)$$

که در آن CB هزینهٔ سود سالانهٔ سرمایه، i نرخ تنزیل، TC هزینهٔ کل سرمایهٔ اولیه است. برای محاسبهٔ هزینه‌های انرژی می‌باید پس از هدفمندسازی یارانه‌ها به ازای هرکیلو وات ساعت ۴۰۰ ریال هزینهٔ مصرف برق صنعتی را که در کشور جمهوری اسلامی ایران به‌طور متوسط، درمیزان مصرف انرژی سالانه که در رابطه‌های (۱)، (۳) و (۵) به آن اشاره شد ضرب کرد.

مصرف انرژی سالانه در الکترواستاتیکی و ونتوری اسکرابر متصل به کوره‌های۳، ۶ و۱۲تنی فولاد

برای دستیابی به‌میزان مصرف انرژی در الکترو فیلتر لازم است میزان مصرف انرژی در هواکش و ترانسفورماتور مربوط به غبارگیر الکترواستاتیکی را محاسبه کرد.

با توجه به استانداردهای کمیتهٔ انجمن بهداشت صنعتی آمریکا مربوط به VS شمارهٔ ۱۰۵ ظرفیت مکش به ازای هرتن فولاد برابر با۲۵۰۰ فوت مکعب بر دقیقه است بنابراین میزان مکش برای کوره‌هایی ۳، ۶ و ۱۲ تنی فولاد برابر با ۷,۵۰۰ ، ۱۵,۰۰۰ و۳۰,۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه (ACGIH, 2002).

برای دستیابی به میزان مصرف انرژی در یک غبارگیر الکترواستاتیکی لازم است میزان مصرف انرژی در هواکش و ترانسفورماتور مربوط به غبارگیر الکترواستاتیکی را محاسبه کرد. حال با قرار دادن میزان افت فشار(۰/۵ اینچ آب)، سرعت مهاجرت ذرات در غبارگیر الکترواستاتیکی (۱۲/۱سانتیمتر برثانیه) ، بازده ۹۹ درصد، کارکرد سالانه۲۹۲۰ساعت (روزی ۸ ساعت) و رنج الکتروموتورها در بازار جهانی در روابط شماره‌های (۳) ، (۴) و (۱) میزان مصرف انرژی سالانه در غبارگیر الکترواستاتیکی متصل به کورهٔ ۳، ۶ و ۱۲ تنی فولاد به ترتیب برابر با ۱۰,۴۱۵، ۲۰,۸۶۴ و ۴۱,۷۲۹ کیلو وات ساعت است.

شایان ذکر است که علت انتخاب روزانه ۸ ساعت کارکرد غبارگیرها بر مبنای مرحله عملیات ذوب است. کوره‌های ذوب دائماً در حال کار است، ولی چرخهٔ ذوب که شامل سه مرحله عملیات بارگیری (قراضه و سنگ‌های معدنی)، عملیات ذوب و عملیات تخلیه است، فقط در مرحلهٔ عملیات ذوب که آلودگی وجود داشته و لازم است که غبارگیرها مورد استفاده قرار گیرند، و زمان آن تقریباً ثلث کل زمان سیکل ذوب است، انجام می‌گیرد

برای تعیین میزان انرژی سالانه در سیستم ونتوری اسکرابرلازم است میزان انرژی سالانه ناشی از الکتروموتور هواکش و الکتروموتور پمپ آب با یکدیگرجمع می‌شوند.

حال با توجه به سرعت گاز در گلوگاه ونتوری (۵,۲۹۸ فوت در دقیقه) و قرار دادن آن در روابط (۵)، (۲)، (۱) و (۶) میزان مصرف انرژی سالانه در غبارگیر ونتوری اسکرابر متصل به کوره ۳، ۶ و ۱۲ تنی فولاد به ترتیب برابر با ۴۵,۲۶۰، ۲۲۷,۲۸۸ و۷۴۱,۷۳۸ کیلو وات ساعت است.

هزینه‌های مصرف انرژی سالانه در الکترواستاتیکی و ونتوری متصل به کوره‌های۳،۶و۱۲تنی فولاد

از آنجایی‌که هزینه‌های مصرف برق صنعتی در کشور ایران به ازای هرکیلو وات ساعت ۴۰۰ ریال است. بنابراین باتوجه به میزان مصرف انرژی سالانه در سیستم ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کوره ۳،۶ و۱۲تنی فولاد که محاسبه شد هزینه‌های مصرف انرژی سالانه در الکترواستاتیکی برای کورهٔ۳،۶و۱۲تنی به ترتیب برابر با ۴,۱۶۶,۰۰۰ ، ۸,۳۴۵,۶۰۰ ، ۱۶,۶۹۱,۶۰۰ ریال و در غبارگیر ونتوری اسکرابر به‌ترتیب برابر با ۹,۰۵۲,۰۰۰، ۹۰,۹۱۵,۲۰۰ و۲۹۶,۶۹۵,۲۰۰ ریال است.

هزینه‌های سرمایه درغبارگیرهای ونتوری والکترواستاتیکی درکوره‌های۳ ،۶ و۱۲ تنی صنعت فولاد

حداقل هزینهٔ خرید در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی به‌طور تقریبی به ازای هرفوت مکعب در دقیقه به ترتیب برابر ۱۰,۰۰۰و۱۵,۰۰۰ ریال و هزینه نصب آن ۰/۵۶ و ۰/۶۷ هزینهٔ خرید آن است. بنابراین هزینه‌های سرمایه خرید و نصب در ونتوری به ترتیب برابر با ۱۱۷,۰۰۰,۰۰۰، ۲۳۴,۰۰۰,۰۰۰ ، ۴۶۸,۰۰۰,۰۰۰ و در غبارگیر الکترواستاتیکی برابر با۱۸۷,۸۷۵,۰۰۰، ۳۷۵,۷۵۰,۰۰۰ و ۷۵۱,۵۰۰,۰۰۰ ریال است. درحالی‌که حداقل هزینهٔ خرید درغبارگیرهای الکترواستاتیکی به‌طور تقریبی به ازای هر فوت مکعب در دقیقه ۱۵,۰۰۰ ریال وهزینه نصب آن ۰/۶۷ هزینهٔ خرید آن برآورد می‌شود. حال با توجه به هزینه‌های سرمایه اولیه طول عمر غبارگیرها که در حدود ۲۰ سال است (Bhasker,2011). همچنین نرخ تنزیل واقعی معادل ۰/۰۱۱ (برابر با اختلاف بالاترین سود بانکی از میانگین نرخ تورم است که در کشور ایران در سال ۱۳۸۹ به ترتیب برابر با ۲۱/۰۵ و ۱۹/۹ درصد بود)، هزینه‌های استهلاک در غبارگیرهای ونتوری برای کوره‌های ۳،۶ و۱۲ تنی مطابق با روابط شماره (۶) و (۷) به ترتیب برابر با ۵,۸۵۰,۰۰۰،۱۱,۷۰۰,۰۰۰ و ۲۳,۴۰۰,۰۰۰ ریال و درغبارگیرهای الکترواستاتیکی به ترتیب برابر با ۹,۳۹۳,۷۵۰ ، ۱۸,۷۸۷,۵۰۰ و۳۷,۵۷,۵۰۰۰ ریال است. با قراردادن نرخ تنزیل و هزینهٔ کل سرمایه اولیه در رابطهٔ (۸)، هزینهٔ سود سالانهٔ سرمایه درغبارگیرهای ونتوری برابر با ۱۲۸۷,۰۰۰ ، ۲,۵۷۴,۰۰۰ و۵,۱۴۸,۰۰۰ ریال و در غبارگیرهای الکترواستاتیکی برابر با ۲,۰۶۶,۶۲۰ ، ۴,۱۳۳,۲۵۰ و۸,۲۶۶,۵۰۰ ریال است.

نتایج

نتایج به دست آمده از محاسبات مربوط به هزینه‌های سرمایه کل سالانه، شامل خرید، نصب، راه‌اندازی، استهلاک و سود سالانه در غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی متصل به کوره‌های ۳،۶ و۱۲ تنی صنعت فولاد در جدول شمارهٔ (۱) نشان داده شده است و مبین این است که هزینه غبارگیرهای الکترواستاتیکی ۱/۶ برابر غبارگیرهای ونتوری است.

نتایج به‌دست آمده از محاسبات مربوط به مصرف و هزینه‌های انرژی سالانه در غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی متصل به کوره‌های ۳/۶ و۱۲ تنی صنعت فولاد در جداول شمارهٔ (۲ و۴) آورده شده است و نشان‌دهندهٔ مصرف و هزینه چشمگیر انرژی سالانه غبارگیرهای ونتوری نسبت به غبارگیر الکترواستاتیکی است. همچنین میزان هزینهٔ سالانه انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی در جدول شمارهٔ (۳) ذکر شده است و نشانگر این است که هزینهٔ کل انرژی و سرمایه در غبارگیر ونتوری اسکرابر متصل به کوره‌های ۳ بسیار کمتر از غبارگیر الکترواستاتیکی است. در حالی‌که در کوره ۱۲ تنی این نسبت کاهش پیدا می‌کند. مقایسهٔ هزینهٔ انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کورهٔ ۳ تنی در ۲۰ سال (عمر کاری دستگاهها) کارکرد غبارگیرها در نمودار شمارهٔ (۱) نشان داده شده و مبین این است که میزان هزینهٔ کل انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی متصل به کوره ۳ تنی پس از گذشت ۵ سال با یکدیگر برابر می‌شود و پس از آن بتدریج هزینهٔ کل غبارگیر ونتوری اسکرابر افزایش پیدا می‌کند.

در نمودار شمارهٔ (۲) نیز مقایسهٔ هزینهٔ انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کوره ۶ تنی نشان داده شده و نشان‌دهندهٔ این است که هزینهٔ کل در دو غبارگیر پس از گذشت ۲ سال با یکدیگر تقریباً برابر می‌شود. در نمودار شمارهٔ (۳) نیز این هرینه در همان ابتدای سال اوّل تقریباً برابر می‌شود.

جدول شمارهٔ (۱): میزان هزینهٔ سرمایه سالانهٔ غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی (ریال)

ردیف	نوع غبارگیر	کورهٔ ۳ تنی	کورهٔ ۶ تنی	کورهٔ ۱۲ تنی
۱	ونتوری اسکرابر	۱۲،۴۱۳،۷۰۰۰	۲۴۸،۲۷۴،۰۰۰	۴۹۶،۵۴۸،۰۰۰
۲	الکترواستاتیکی	۱۹۹،۳۳۵،۳۷۰	۳۹۸،۶۷۰،۷۵۰	۷۹،۷۳۴۱،۵۰۰

جدول شمارهٔ (۲): میزان هزینهٔ انرژی سالانهٔ غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی (ریال)

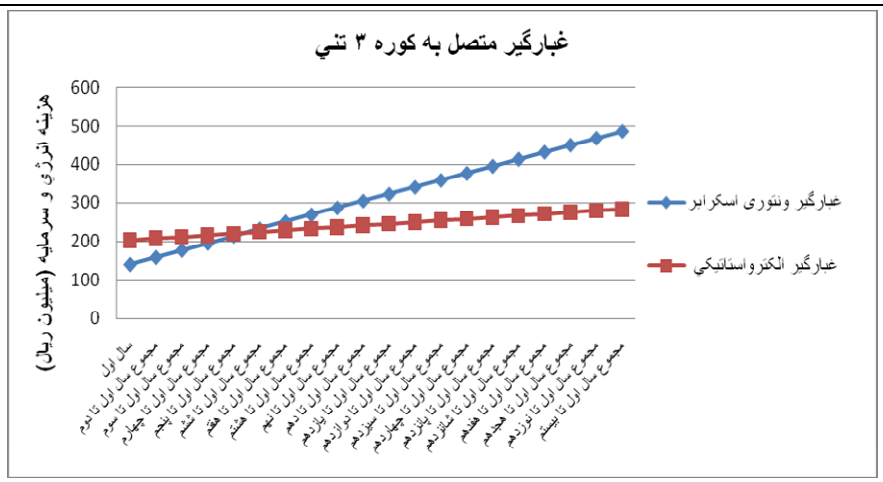
ردیف	نوع غبارگیر	کورهٔ ۳ تنی	کورهٔ ۶ تنی	کورهٔ ۱۲ تنی
۱	ونتوری اسکرابر	۱۸,۱۰۴,۰۰۰	۹۰،۹۱۵،۲۰۰	۲۹۶،۶۹۵،۲۰۰
۲	الکترواستاتیکی	۴،۱۶۶،۰۰۰	۸،۳۴۵،۶۰۰	۱۶،۶۹۱،۶۰۰

جدول شمارهٔ (۳): میزان هزینهٔ سالانهٔ انرژی و سرمایه درغبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی (ریال)

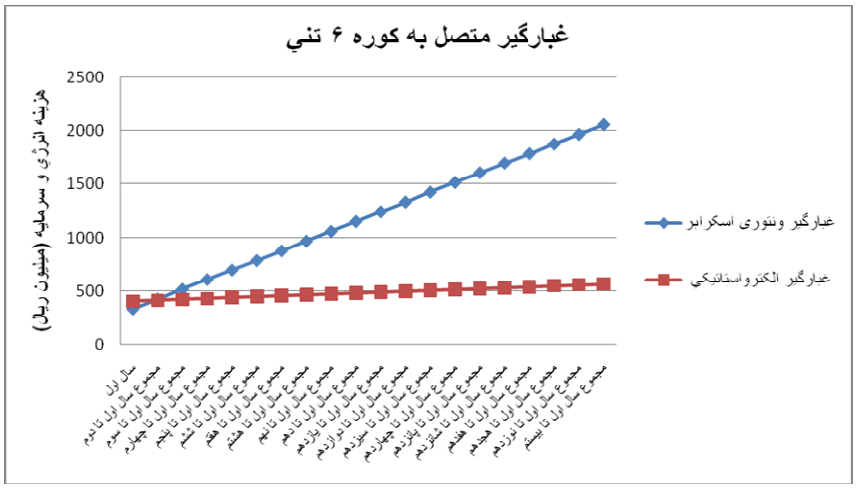
ردیف	نوع غبارگیر	کورهٔ ۳ تنی	کورهٔ ۶ تنی	کورهٔ ۱۲ تنی
۱	ونتوری اسکرابر	۱۴۲،۲۴۱،۰۰۰	۳۳۹،۱۸۹،۲۰۰	۷۹۳،۲۴۳،۲۰۰
۲	الکترواستاتیکی	۲۰،۳۵۰،۱۳۷۰	۴۰۷،۰۱۶،۳۵۰	۸۱۴،۰۳۳،۱۰۰

جدول شماره (۴): میزان مصرف انرژی سالانهٔ غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی (کیلو وات ساعت)

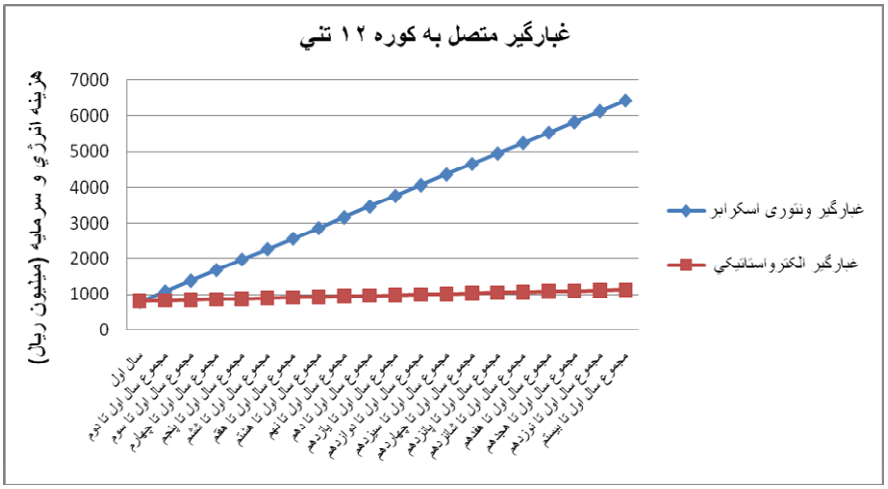
ردیف	نوع غبارگیر	کورهٔ ۳ تنی	کوره ۶ تنی	کوره ۱۲ تنی
۱	ونتوری اسکرابر	۴۵،۲۶۰	۲۲۷،۲۸۸	۷۴۱،۷۳۸
۲	الکترواستاتیکی	۱۰،۴۱۵	۲۰،۸۶۴	۴۱،۷۲۹



نمودار شمارهٔ (۱): مقایسهٔ هرینهٔ انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کوره ۳ تنی در ۲۰ سال (عمر کاری دستگاهها)



نمودار شمارهٔ (۲): مقایسهٔ هرینه انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کورهٔ ۶ تنی در ۲۰ سال (عمر کاری دستگاهها)



نمودار شمارهٔ (۳): مقایسهٔ هرینهٔ انرژی و سرمایه در غبارگیرهای ونتوری اسکرابر و الکترواستاتیکی متصل به کوره۱۲ تنی در ۲۰ سال (عمر کاری دستگاهها)

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از محاسبات و اهداف اکولوژی صنعتی به‌منظور کاهش مصرف انرژی، سرمایه، و بالطبع کاهش خسارت‌های محیط زیستی، درصورتی‌که نیاز صنعت فولاد، کورهٔ ۶ تن باشد و تصمیم به استفاده از غبارگیر ونتوری شده باشد، ترجیحاً از دو کورهٔ ۳ تنی استفاده می‌شود، زیرا اگرچه در هزینه سرمایه اولیه تغییر معناداری پیدا نمی‌شود ولی میزان مصرف برق در دو کورهٔ ۳ تنی مجموعاً سالانه در حدود ۹۰,۰۰۰ کیلو وات، در حالی‌که در یک کورهٔ شش تنی در حدود ۱۲۷,۰۰۰ کیلو وات است.

در نتیجه در حدود ۱/۵ برابر در مصرف برق صرفه‌جویی خواهیم داشت. همچنین خروجی آلاینده‌ها از نیروگاهها ۱/۵ برابر کاهش یافته و در نهایت خسارت‌های محیط زیستی نیز حداقل ۱/۵ برابر کاهش خواهد یافت، زیرا به دلیل عوارض تجمعی آلاینده‌ها، با کاهش خروجی آلاینده‌ها خسارت‌های زیست‌محیطی به‌صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. در صورتی‌که نیازصنعت فولاد، کوره ۶ تن باشد و تصمیم به‌استفاده از غبارگیر الکترواستاتیکی شده باشد، استفاده از دو کورهٔ ۳ تنی ضروری به‌نظر نمی‌رسد، زیرا در کلیه هزینه‌ها و مصرف برق تغییری حاصل نمی‌شود. با افزایش تناژ کوره‌های الکتریکی صنایع فولاد، تأثیر هزینهٔ اولیه، هزینهٔ مصرف انرژی سالانه، هزینهٔ کل (مصرف انرژی سالانه و هزینهٔ اولیه) همچنین میزان مصرف انرژی در غبارگیرهای ونتوری و الکترواستاتیکی به این شرح است.

۱) میزان هزینهٔ سرمایهٔ اولیه در غبارگیرهای الکترواستاتیکی نسبت به غبارگیرهای ونتوری در حدود ۱/۶ است.

۲) میزان هزینهٔ مصرف انرژی غبارگیرهای ونتوری نسبت به غبارگیرهای الکترواستاتیکی با سپری شدن زمان، افزایش می‌یابد.

۳) با افزایش ظرفیت کوره‌ها میزان مصرف برق در سیستم غبارگیر ونتوری بشدت افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال میزان مصرف برق سالانه در غبارگیر ونتوری اسکرابر متصل به کوره ۳ تنی ۴/۵ برابر غبارگیر الکترواستاتیکی است. در حالی‌که با دو برابر شدن ظرفیت یعنی کورهٔ ۶ تنی این عدد به یازده برابر و در کورهٔ ۱۲ تنی سالانه تقریباً به هجده برابر غبارگیر الکترواستاتیکی می‌رسد.

۴) مجموع کل هزینه‌های غبارگیر ونتوری اسکرابر در کورهٔ الکتریکی ۳ تنی صنعت فولاد در سال اول تقریبا ۴۰ درصد کمتر از مجموع کل هزینه‌های غبارگیر الکترواستاتیکی است در صورتی‌که در پایان دورهٔ عمر کاری غبارگیرها (۲۰ سال) هزینه کل غبارگیر ونتوری به بیش از دو برابر غبارگیر الکترواستاتیکی می‌رسد. در حالی که مجموع کل هزینه‌های غبارگیر ونتوری اسکرابر در یک کوره الکتریکی ۶ تنی صنعت فولاد در پایان دورهٔ عمر کاری غبارگیرها (۲۰ سال) چهار برابر غبارگیر الکترواستاتیکی می‌رسد، در کوره ۱۲ تنی به بیش از شش برابر خواهد رسید. در نتیجه با افزایش ظرفیت کوره‌ها مجموع کل هزینه‌های غبارگیر ونتوری اسکرابر نسبت به مجموع کل هزینه‌های غبارگیر الکترواستاتیکی افزایش می‌یابد.

استفاده از غبارگیرهای ونتوری اسکرابر به لحاظ مصرف انرژی زیاد که منجر به تولید انواع گازها ازجمله دی اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، مونواکسید کربن، ترکیبات آلی و ذرات از نیروگاهها می‌شود که باعث آثار زیان‌بار بر روی انسان‌ها، گیاهان و محیط زیست می‌شود و از طرف دیگر (علیرغم مصرف انرژی کم) به‌دلیل افزایش ولتاژ، منجر به تولید ازن تروپوسفری می‌شود (Sillanpaa, 2008).

همچنین این گاز نیز باعث آثار زیانبار بر روی انسان، گیاهان و محیط زیست می‌شود، بنابراین اندازه‌گیری این گاز تأثیر بسزایی در انتخاب غبارگیرهای الکترواستاتیکی و غبارگیرهای ونتوری در تناژهای بیش از ۳ تن دارد. از طرفی توجه به نفوذ آبهای آلوده ناشی از ونتوری اسکرابر به سفره‌های آبهای زیرزمینی و تصفیهٔ آن، حایز اهمیت است.

یادداشت‌ها

1- Electro static precipitator (ESP)
2- Venturi Scrubber
3- American Conferences Governmental Industrial Hygiene (ACGIH)
4- Hesketh

منابع مورد استفاده

اعزازی،ع. ۱۳۸۸ . راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور. مجموعهٔ مقالات سمپوزیوم فولاد ۸۸ . ۱۱و۱۲ اسفند ص ۸۳۲ و۸۳۱

کرباسی،ع. ۱۳۸۴. مدیریت زیست محیطی نیروگاهها. سازمان بهره‌وری انرژی ایران. وزارت نیرو.

ACGIH .2002. Industrial ventilation, Amanual of recommended practice, Michigan, U.S.A

Agranovski,J.E and Whitcombe,J.M. 2000. Optimisation of venturi scrubber for the removal of aerosol particle. J. Aerosol Sci Vol 31:164-165

Baha,S. 2005. How Can We Reduce the Energy Consumption of Pulse-jet dust Collectors in order to Reap Economic, Ecological, and Social Benefits. Royal roads university ACGIH,2002. Industrial ventilation, Michigan. USA

Berwick,G. 2005. New Technology can drastically reduce Global Warming" Canada. www.qamanage.com/Files/GlobalWarming.pdf

Bhasker,C. 2011. Flow simulation in Electro Static Precipitator (ESP) ducts with turning vanes. Advances in Engineering Software.doi:1016/j.advengsoft.2011.04.002

Cheremisinoff,N.P. 2002. Handbook of Air Pollution Prevention and Control. Elsevier Science (U.S.A).

Harley,P. 2002. Safety and Health in the Iron and Steel Industry. Geneva , International Labour office, pp:236

Hautanen,J. 1986. Optimization of filtration efficiency and ozone production of the electrostatic precipitator. Pergamon journals, vol 17, pp: 622-626

Jakober,C.2008. Evolution of ozone emission from portable indoor air cleaners electrostatic precipitators and ionizers, staff technical report.

Linmao,l., et al. 2000. The effect of wire heating and configuration on ozone emission in a negative ion generator. Journal of electrostatics, vol. 48, pp: 81-99

Manahan,S.E. 1999. Industrial Ecology. Environmental chemistry and hazardous waste. cleaner production. Publisher: Taylor & Francis, Inc.

Mussatti,D.C. .2002. EPA Air pollution control cost manual " Sixth Edition

Islamov,R. 2011. A peculiarity of silver-base wire heating on ozone generation. Journal of electrostatic. Doi:10.1016/J.elstat.2011.03.015

Schmatloch,V.2005. Design and characterization of an electrostatic precipitator for small heating appliancs. Journal of electrostatics , vol 63, pp:85-100

Sillanpaa,M. 2008. High collection efficiency electro static Precipitator for in vitro cell exposure to concentrated am bient particulate matter. Journal of Aerosol science, vol 39, pp: 335-347

Wayne,T. 2000. Air pollution Engineering Manual: second edition. John Wiley and sons, INC