به کارگیری تکنولوژی پینچ برای بهینه سازی مصرف انرژی در کارخانه قند چهارمحال

محمد حجت الاسلامی* [۱]، رضا شکرانی [۲]، حسن فاطمی [۳]

۱- دانشجوی دکترای رشته مهندسی کشاورزی- علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ، جاده تهران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، خیابان انقلاب، دانشگاه تهران

چکیده

تکنولوژی پینچ ابزاری برای محاسبات انرژی و هدف‌گذاری بمنظور بهینه سازی مصرف آن است. در سال ۲۰۰٤، بعد از انجام آنالیزهای انتالپی و اکسرژی د رمورد کارخانه قند چهارمحال و اعمال برخی تغییرات در سیستم انتقال حرارت آن، درصد بخار مصرفی به چغندر نسبت به سال قبل ۳٤ درصد کاهش یافت. جهت دستیابی به صرفه‌جویی بیشتر در مصرف انرژی، وضعیت انرژی در سال ۲۰۰٤ با استفاده از آنالیز پینچ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بر مبنای اطلاعات بدست آمده سه دستگاه مبدل حرارتی در مناسب‌ترین محل به سیستم انتقال حرارت اضافه گردید. نتایج حاصل از این تغییرات نشان داد که مصرف بخار بر مبنای وزن چغندر از ٥٤ درصد در سال ۲۰۰٤ به ٤٦ درصد در سال ۲۰۰٥ کاهش یافته است.

کلیدواژگان: آنالیز پینچ، تکنولوژی پینچ، بهینه سازی انرژی، مصرف بخار، کارخانه قند

۱- مقدمه

کشف تکنولوژی پینچ[1] توسط پروفسور لینهوف[2] به سال -۱۹۷۹ ۸۰برمیگردد.این تکنولوژی ابزاری برای طراحی شبکه مبدل های حرارتی HEN [3] است.ازآنجا که هدف اصلی بررسی سیستمهای حرارتی است بهتر است به آن آنالیز پینچ[4] گفته میشود.این روش گفته شود. این روش راه حلی ساده برای تعیین اهداف مصرف انرژی است.با این روش می توان بهترین ارایه را برای مبدل‌های حرارتی بدست آورد.حرکت انرژی از جریان های گرم به جریان های سرد توسط اختلاف دما ایجاد می شود، هر چه اختلاف دما بیشتر باشد، انتقال حرارت از جریان های گرم به سرد با سهولت بیشتری انجام می‌شود.این درحالیست که بالابودن اختلاف دمادر سیستم، ضایعات ترمودینامیک را بالا می برد[۱].پس مهارت یک مهندس فرایند آن است که بتواند با درنظرگرفتن مسایل اقتصادی بهترین اختلاف دمارابا بیشترین قابلیت بازیافت حرارت بین انواع جریان های مختلف پیدا کند.با ترسیم گرمای دردسترس فرآیند به

* مسئول مکاتبات : mo_hojjat@yahoo.com

1. Pinch Technology
2. Linhoff
3. Heat Exchanger Network
4. Pinch Analysis

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

عنوان "جریان مرکب گرم" و گرمای مورد نیاز "جریان مرکب سرد" ابزاری به دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان مقدار کل انرژی و اختلاف دمای مورد نیاز را تعیین کرد. در این سیستم حداقل اختلاف دمای مجاز ΔT_{min} تنها در یک نقطه اتفاق می‌افتد که اصطلاحا" آن را نقطه پینچ[1] می گویند. این نقطه بیانگر حداقل نیروی محرک از جریان مرکب گرم به سرد است [۲]. جونز[2] و اسمیت[3] در سال ۱۹۹۰ آنالیز پینچ را با استفاده از مولفه‌های انتالپی و دما برای ارزیابی سیستم تبخیرکننده‌ها به کاربردند [۲]. با استفاده از آنالیز پینچ مشخص شد که می‌توان با تبدیل سیستم‌های تبخیرکننده ٤ بدنه ای رایج در کارخانجات قند، به انواع ۵ بدنه ای، مصرف بخار را ۳۰ درصد کاهش داد. در سیستم ۵ بدنه ای جدید بخارات مورد نیاز طباخی از بدنه ۳ تامین می شد و بخارات خروجی از آخرین بدنه به جای ورود به کندانسور بارومتریک، صرف گرم‌کردن شربت خام می‌شد. برای استفاده از این سیستم نیاز است تا تبخیر کننده های نوع روبرت[4] با انواع لایه نازک جایگزین شوند. استفاده از این روش همراه با بهره‌گیری از مباحث مهندسی انرژی در فرآیند توانست مصرف انرژی را در کارخانجات چغندری ۳۰ درصد کاهش دهد [۳]. کریستادولو در سال ۱۹۹۳، با استفاده از آنالیز پینچ تغییراتی را در شبکه مبدل‌های حرارتی کارخانه ۷۲۰۰ تنی لاریسا[5] به عمل آورد که در نهایت منجر به کاهش مقدار سوخت نسبت به چغندر مصرفی به میزان ۳۵ درصد شد [٤]. در خلال سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۷ با بکارگیری تکنولوژی پینچ در کشور لهستان ، امکان ۲٦ درصد صرفه‌جویی در انرژی مصرفی کارخانه‌ها پدید آمد[٦و۵].در کشور ایران نیز در سال ۱۳۷۹ شمسی، عظیمی و همکارانش با استفاده از نرم‌افزار تارگت‌ادینس[6] توانستند هدف‌گذاری هایی را برای کاهش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه قند کرج انجام داده و راهکارهای تئوریک را برای این امر ارائه دهند. آنها عنوان نمودند که با افزودن ۲۰۹/۷۸ متر مربع به سطح مبدل‌های حرارتی می‌توان ΔT_{min} را تا ٤°C کاهش داد که این امر موجب ٪۲۸ کاهش انرژی مصرفی خواهد شد ضمن اینکه ظرفیت کارخانه ١٤ درصد افزایش خواهد داشت [۷]. این تحقیقات بدون بررسی اثر این تغییرات بر سایر بخش‌های کارخانه انجام شد و عملا به مرحله اجرا درنیامد. هدف در این تحقیق، بررسی امکان صرفه‌جویی مصرف انرژی در کارخانه قند چهارمحال با استفاده از امکانات موجود در کارخانه در خلال سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸٤ با استفاده از تکنولوژی پینچ است.

۲- مواد و روش ها

در سال ۱۳۸۲، با افزایش ظرفیت کارخانه قند چهارمحال از ۱۰۰۰ تن چغندر در رو به ۱۵۰۰ تن و گاز سوز شدن سیستم تامین بخار در این کارخانه، مصرف بخار در کارخانه قند چهارمحال درحد بسیار بالایی افزایش یافته و مصرف سوخت (گاز طبیعی) به چغندر مصرفی به ۱۲ درصد رسید. در سال ۱۳۸۳ با انجام بررسی‌های بهینه سازی انرژی "آنالیز توزیع انرژی حرارتی[7] و اکسرژی[8]" در کارخانه قند چهارمحال مصرف سوخت در این کارخانه به میزان ۳۰ درصد نسبت به سال قبل کاهش یافت. در این مدت، آبان ماه ۱۳۸۳ به علت توزیع مناسب تر بخار خروجی از بدنه‌های تبخیرکننده‌ها در نقاط مختلف کارخانه که با توجه به آنالیزهای انتالپی و اکسرژی بدست آمده بود دارای حداقل مصرف انرژی در بین ماه‌های پاییز آن سال بود. با انجام این تغییرات و افزایش فشار بخار ورودی به بدنه اول از ۱/۷۵ (بار نسبی) به ۲/۲۵ (بار نسبی) راندمان تبخیرکننده‌ها به نحو چشمگیری افزایش یافت. لذا با ثابت نگهداشتن کلیه عوامل مانند فشار بخار ورودی به تبخیرکننده‌ها، عدم تغییر مسیرهای انتقال بخار و بکارگیری محاسبات آنالیز پینچ در سال بعد از حداکثر پتانسیل صرفه‌جویی در این کارخانه بهره‌برداری شد. برای بررسی پینچ شبکه مبدل‌های حرارتی در سال ۱۳۸۳ ترسیم شده و با ترسیم نقطه پینچ حداقل آمده است، اختلاف دمای ٣٤°C محاسبه می‌شود.

در کارخانه قند چهارمحال ۳ دستگاه مبدل حرارتی[9] با سطوح انتقال حرارت ۱۲۰، ۸۰ و ۸۰ متر مربع موجود بود که از آنها به عنوان جایگزین برای سایر مبدل‌ها استفاده می‌شد و در حالت عادی نقشی در امر تولید نداشتند. لذا برای بررسی امکان به کارگیری این مبدل‌ها و نحوه به کارگیری آنها مجددا" محاسبات انتقال حرارت و ترمودینامیک با توجه به میانگین ضریب انتقال حرارت شربت که در

1. Pinch Point
2. Jones
3. Smith
4. Robert Type Eevaporator
5. Larissa
6. Target Addins

7.Enthalpy Analysis
8. Exergy Analysis
1. Shell and TubeHeat Exchanger

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

کتاب راهنمای مهندسان صنایع قند[٨] و سطح تبادل حرارت مبدلهای موجود انجام شد. با این محاسبات بهترین مکان قرارگیری برای این مبدل‌ها یکی پس از آهک‌خور دوم، دومی در مسیر شربت سیرکولاسیون دیفوزیون RT2 موجود در کارخانه و سومی در مسیر شربت ورودی به تبخیر کننده‌ها تشخیص داده شد. سپس شبکه مبدل‌های حرارتی با در نظر گرفتن این تغییرات ترسیم شد و با ترسیم و محاسبه حداقل اختلاف دما در این شبکه مجددا آنالیز انرژی انجام شده و آنالیز اکسرژی برای امکانپذیری ترمودینامیکی آن صورت گرفت. پس از کلیه این تجزیه و تحلیل‌ها برنامه‌ریزی برای ایجاد آن در سال ١٣٨٤ انجام شد. برای انجام محاسبات انتالپی و اکسرژی از معادلات و نمودارهای ارائه شده توسط بالو[1] [١٠و٩] استفاده شد. برای محاسبه دمای آب کندانس خروجی از مبدل‌ها معادله ١ مورد استفاده قرار گرفت [٨].

معادله ١- محاسبه دمای آب کندانس خروجی از مبدل‌های انتقال حرارت

$$T_C = \frac{6T_V + T_i + T_o}{8}$$

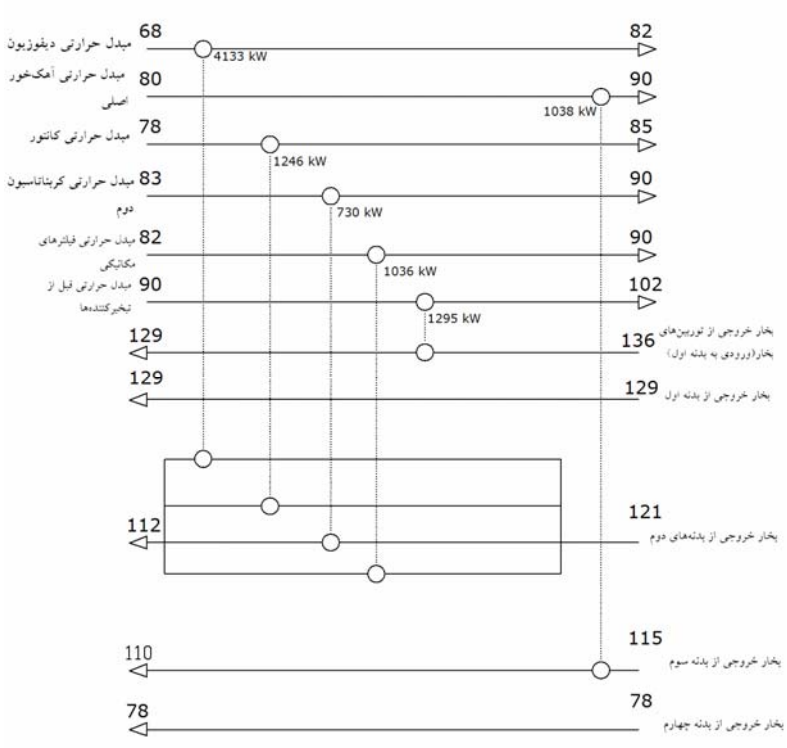
(T_cدمای آب کندانس خروجی از مبدل، T_V دمای بخار ورودی، T_i دمای شربت ورودی و T_o دمـای شـربت خروجی)

٣- نتایج و بحث

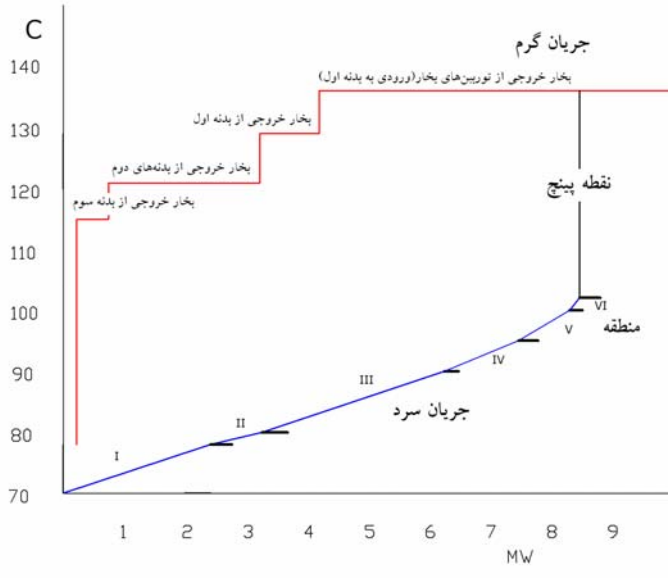
در شکل ١ آرایش مبدل‌های حرارتی در کارخانه قند چهارمحال در آبان ماه سال ١٣٨٣ ارائه شده‌است، همان گونه که در این شکل پیداست کارخانه قند چهارمحال از ٦ مبدل حرارتی استفاده می‌کند که با ترسیم جریان‌های مرکب سرد و گرم در مقطع زمانی که در شکل ٢ شرح هر مقطع جریان سرد مندرج در شکل ٢، در جدول ١ نشان داده شده است. در دو شکل ١ و ٢ نحوه انتقال حرارت در مبدل‌ها در سال ١٣٨٣ شرح داده شده‌است. در شکل ٢ ملاحظه می‌شود که بیشترین اختلاف دماها در مبدل حرارتی مبدل حرارتی دیفوزیون قرار دارد. با استفاده از این اطلاعات، نتایج حاصل از آنالیز انتالپی و ضرایب انتقال حرارت مندرج در کتب راهنمای صنایع قند[١٠] در این خصوص برای کاهش اختلاف دما در این بخش و استفاده از بخارات خروجی از بدنه سوم تبخیرکننده‌ها علاوه‌بر بخارات بدنه دوم و با عنایت به اختلاف دمای کمتر شربت دیفوزیون و بخارات خروجی از بدنه سوم، تصمیم گرفته شد تا بیشترین سطح انتقال حرارت بین مبدل‌های موجود که ١٢٠ متر مربع بود به این بخش اختصاص یابد. از آنجا که انتالپی بخار خروجی از بدنه سوم برای رساندن دمای شربت دیفوزیون به میزان مورد نظر (٨٠°C) به تنهایی کافی نبود اختلاف انرژی مورد نیاز همانگونه که در شکل ٣ ملاحظه می‌شود از بخار خروجی بدنه دوم تامین شد. کمترین اختلاف دمای موجود در سال ١٣٨٣، مربوط به مبدل حرارتی قبل از تبخیرکننده‌ها است. در این خصوص نیز برای استفاده از بخار خروجی از بدنه اول مبدلی با سطح انتقال حرارت ٨٠ متر مربع به این بخش افزوده شد. در این بخش نیز همان گونه که در شکل ٣ مشخص است، علاوه بر مبدل حرارتی مورد استفاده در سال ١٣٨٣ که از بخار خروجی از توربین‌های بخار استفاده می‌کرد مبدلی برای استفاده از بخار خروجی از بدنه اول بصورت سری افزوده شده‌است. این تغییر علاوه بر کاهش نقطه پینچ از ٣٤°C به ٤°C موجب شد تا با افزایش دمای شربت ورودی به تبخیرکننده‌ها از ١٠٢°C به ١٣٢°C و نیازی به انجام این امر در بدنه اول تبخیرکننده‌ها نباشد و بتوان از سطح انتقال حرارت تبخیرکننده‌ها بنحو موثرتری در جهت تبخیر استفاده نمود. شربت خروجی از آهک خور اصلی بعلت دارا بودن آهک املاح آهکی ظرف مدت زمان کوتاهی موجب تشکیل رسوب برروی لوله‌های مبدل حرارتی مربوطه شده و باعث می‌شود برای تنظیم درجه حرارت در مقدار مطلوب (٩٠°C-٨٥) به تغییر مسیر بخار و استفاده از بخار خروجی از بدنه دوم برای این امر نیاز باشد که در اینصورت سیستم توزیع بخار و تقسیم بار حرارتی با مشکل مواجه می‌شود. برای رفع این مشکل یکی از مبدل‌ها با سطح ٨٠ متر مربع به این بخش افزوده و با مبدل قبلی به صورت سری قرار گرفت تا بتوان در هر شرایطی از بخار بدنه سوم برای گرم‌کردن شربت خروجی از آهک‌زنی اصلی استفاده کرد.

2. Baloh

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]



شکل ۱ شمای شبکه مبدل‌های حرارتی در آبان ماه سال ۱۳۸۳ با در نظر گرفتن درجه حرارت ورودی و خروجی ایستگاه های کارخانه و انرژی مصرفی محاسباتی هر مبدل



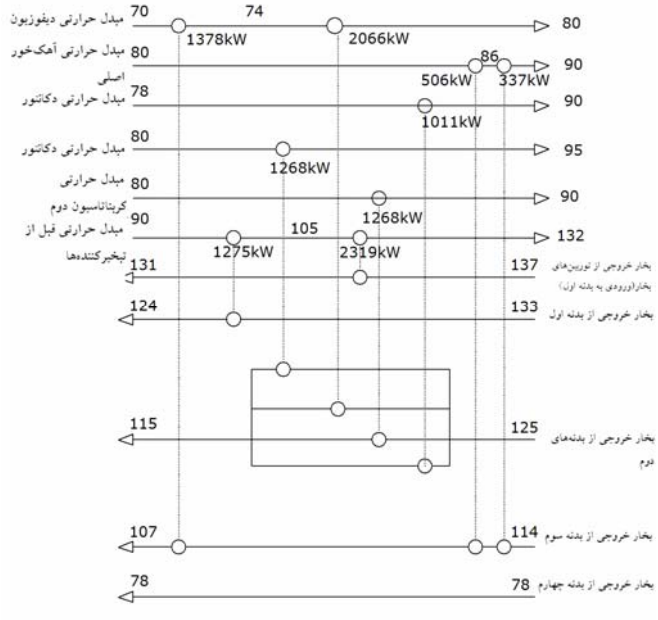
شکل ۲ نمایش جریان‌های مرکب سرد و گرم در آبان ماه سال ۱۳۸۳

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

جدول ١ شرح مناطق مندرج در شکل ١ مربوط به آبان ماه سال ١٣٨٣

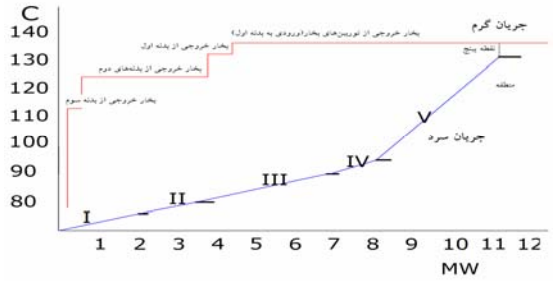
منطقه ١ (Zone I)	مبدل دیفوزیون
منطقه ٢ (Zone II)	مبدل دیفوزیون+مبدل دکانتور
منطقه ٣ (Zone III)	مبدل آهک‌خور دوم+ مبدل کربناتاسیون دوم+مبدل دکانتور+ مبدل فیلترهای مکانیکی(شربت رقیق)
منطقه ٤ (Zone IV)	مبدل فیلترهای مکانیکی(شربت رقیق)+ مبدل کربناتاسیون دوم+مبدل تبخیرکننده‌ها
منطقه ٥ (Zone V)	مبدل فیلترهای مکانیکی(شربت رقیق) +مبدل تبخیرکننده‌ها
منطقه ٦ (Zone VI)	مبدل تبخیرکننده‌ها

در مقطع زمانی آبان ماه ١٣٨٣، مصرف بخار با فشار نسبی ٢/٢٥ بار ٥٤ درصد چغندر مصرفی بود(در ازای مصرف ٦٥ تن چغندر در ساعت، ٣٥ تن در ساعت بخار مصرف می‌شد). پس از اجرای بهینه سازی در فرآیند شبکه مبدل‌های حرارتی مطابق شکل ٣ تنظیم شد. در این سیستم از هر ٣ مبدل استفاده شده و مبدل با سطح ١٢٠ متر مربع به عنوان مبدل دوم در مسیر شربت سیرکوله دیفوزیون و دو مبدل دیگر نیز به عنوان مبدل‌های دوم در مسیرهای شربت آهک‌خور اول و شربت ورودی به تبخیرکننده‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. با انجام این اصلاحات نمودار جریان‌های گرم سرد در کارخانه قند چهارمحال مطابق شکل ٤ می‌باشد.



شکل ٣ شمای شبکه مبدل‌های حرارتی پس از انجام اصلاحات در سال ١٣٨٤ با در نظر گرفتن درجه حرارت ورودی و خروجی ایستگاه های کارخانه و انرژی مصرفی محاسباتی هر مبدل

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]



شکل ٤ نمایش جریان‌های مرکب سرد و گرم از انجام اصلاحات در سال ١٣٨٤

مطابق شکل ٤ پس از انجام اصلاحات طول نقطه پینچ به شدت کاهش یافته و به ٤ درجه سانتیگراد رسیده است در این سال مصرف بخار نسبت به چغندر مصرفی ٤٦ درصد بود که نسبت به دوره قبل ٨ درصد کاهش یافته است (٣٠ تن بخار در ساعت در ازای مصرف ٦٥ تن چغندر در ساعت). شرح مقاطع مختلف مندرج در شکل ٤، در جدول ٢ آمده است. همان گونه که در شکل ٣ قابل ملاحظه است از مجموع ٣٤٤٤ کیلووات انرژی انتقال یافته در مبدل‌های حرارتی دیفوزیون ١٣٧٨ کیلووات آن به وسیله مبدل جدیدی که در سال ١٣٨٤ وارد مدار شده است از بخار خروجی از بدنه سوم تامین شده‌است. در خصوص شربت ورودی به تبخیرکننده‌ها نیز از مجموع ٣٥٩٤ کیلووات انرژی مبادله شده در مبدل‌های حرارتی ١٢٧٥ کیلووات آن از طریق بخارات خروجی از بدنه اول تبخیرکننده‌ها به کمک مبدلی که در این سال نصب شده‌است تامین گردیده است. سومین مبدل حرارتی نیز که در مسیر شربت آهک‌خور دوم نصب شده‌است موجب شده است تا روال تامین دمای شربت آهک‌خور دوم به کمک بخار خروجی از بدنه سوم که بعضا" در سال قبل با مشکل مواجه بود و گاهی بالاجبار از بخار بدنه دوم استفاده می‌شد، تصحیح شده و به راحتی این بخش قادر باشد از بخارات بدنه سوم استفاده کند. در مجموع همان گونه که گفته شد با احتساب ٤ درصد صرفه جویی در سال ١٣٨٤ و ٣٠ درصد صرفه‌جویی انجام شده در سال ١٣٨٣، جمعا" حدود ٣٤ درصد در مصرف انرژی در کارخانه قندچهارمحال صرفه‌جویی به عمل آمده که این مطلب موید نظر ایبارا[1] و همکارانش [٣] کریستادولو [٤ج و اوربانیک[2] [٦و٥] است.

منطقه ١ (Zone I)	مبدل دیفوزیون
منطقه ٢ (Zone II)	مبدل دیفوزیون+مبدل دکانتور
منطقه ٣ (Zone III)	مبدل آهک‌خور دوم+ مبدل کربناتاسیون دوم+مبدل دکانتور+ مبدل فیلترهای مکانیکی(شربت رقیق)
منطقه ٤ (Zone IV)	مبدل کربناتاسیون دوم+مبدل تبخیرکننده‌ها
منطقه ٥ (Zone V)	مبدل تبخیرکننده‌ها

جدول ٢ شرح مناطق مندرج در شکل ٤ مربوط به سال ١٣٨٤

٤- نتیجه‌گیری

از آنجا که سهم هزینه سوخت در مخارج کارخانه‌های قند بسیار بالا است و با توجه به انرژی بر بودن فرآیند تولید شکر، چندسالی است که لزوم ارائه راه کارهایی جهت کاهش مصرف انرژی در این صنعت به شدت احساس می‌شود و در بین راه های محاسبه انرژی، تکنولوژی پینچ می‌تواند نقش موثری در شاخص‌گذاری و ارائه راه کار در این جهت داشته باشد. در این مقاله نشان داده شد که می‌توان بدون سرمایه‌گذاری پرداخت هزینه زیاد به صرفه‌جویی نسبتا قابل ملاحظه‌ای رسید. در صورتی که کارخانه‌ها تولیدی مایل به سرمایه‌گذاری برای خرید دستگاه‌های جدید و پرداخت هزینه‌های مربوطه باشد می‌توان با آنالیز فوق برای به حداقل رسانیدن سوخت مصرفی نیز اقدام نمود که در آن صورت بهترین استفاده از مواد و دستگاهها به عمل خواهد آمد.

٥- سپاسگزاری

در پایان مراتب سپاسگزاری خود را از مدیریت و پرسنل محترم کارخانه قند چهارمحال که با مساعدت خود امکان انجام این تحقیق را فراهم آوردند ابراز می‌دارم.

1. Ibara

2. Urbaniec

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

٦- منابع

[1]Manohan Rao PJ. Energy conservation and alternative sources of energy in sugar factories and distilleries 2001; ISPCK Pub. New Dehli. Pp. 437-439.

[2]Westfalen DL, Wolf Marciel MR. Pinch analysis of evaporation system. Brazilian journal of chemical engineering 200; 17: 1-17.

[3]Ibarra LF, Medellin AA. Energy analysis of sugar production process using techniques of process integration. Zuckerind 2001; 126(9): 707-713.

[4]Christodoulou P. Energy saving by small changes in the network of condensate-heated juice preheaters. Zuickerind 1994; 119(4): 264-266.

[5]Urbaniec K. Energy reduction in Polish sugar factories. Zuckerind 1996; (11): 871-875.

[6]Urbaniec K, Zalewski P, Zhu XX. A decomposition approach for retrofit design of energy systems in the sugar industry. App. Thermal engineering 2000; 20: 1431-1442.

[٧]عمیدپور م، عظیمی ع، ذوقی ع ت، احمدپناه ج، حاجی تارودی م ص، دادخواه ح. بررسی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در صنعت قند و ارائه راه کارهای کاهش آن با استفاده از فن‌آوری پینچ. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران. ١٣٧٩ ؛ (١و٢): ٥٩-٥٣.

[٨]بوبنیک، کادلک، اوربان، برونز. راهنمای مهندسان صنایع قند. ترجمه محمد حجت الاسلامی. نشر علوم کشاورزی. تهران. ١٣٨٣.

[9]Baloh T. Energy wirtschaft in der zuckerindustrie. Barten`s Pub Berlin 1991;158-231.

[10]Baloh T, Wittwer E. Energy manual for sugar factories, Barten`s Pub. Berlin 1995;70-128.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]

Pinch Analysis for Energy Optimization in Chahar Mahal Sugar Factory

Hojjatoleslamy, M.[1*], Shokrani, R.[2], Fatemi, H.[3]

1- Ph. D. Research Student of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University.

2- Assistant Professor of Colledge of Agriculture, Isfahan University of Technology.

3- Associate Professor of , Collage of engineering, Tehran university.

Pinch technology used as a tool for energy calculation and target design in context of energy optimization. In 2004, After enthalpy-exergy analysis for Chahar mahal beet sugar factory and applying some changes in heat transfer system, the steam consumption per beet decreased by 34% compared previous year. To enhance the efficiency of energy utilization, pinch analysis was employed to get a better insight into the energy situation in 2004. Based on the results obtained, three tubular heat exchangers were added to the heat exchanging system at a position which by exergy analysis was founded tobe the best, The results showed that the steam consumption per unit weight of beet sugar decreased from 54% in 2004 to 46% in 2005.

Keywords: Pinch analysis, Pinch technolog, Energy optimization, Steam consumption, Beet sugar factory.

* Corresponding author E-mail address: mo_hojjat@yahoo.com

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-04-20]