اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵

بسم الله الرحمن الرحیم

صرفه‌جویی انرژی حاصل از بازآرایی شبکه مبدل‌های حرارتی در کارخانه تولید پودر شیر با استفاده از روش HSDT

آذین قائدرحمتی[۱]، فاطمه جدا[۲].

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، تهران،
azin.ghaedrahmat@gmail.com
۲- استادیار دانشگاه شهید بهشتی، تهران،
f_joda@sbu.ac.ir

کدمقاله: EFAB01583179

چکیده

❖ ضرورت استفاده از بازآرایی سیستم‌های مبدل حرارتی
- کمیابی انرژی
- تامین امنیت انرژی
- وجود اتلاف در صنایع لبنی (بخش تبخیر و خشک کن)

❖ پیشینه تحقیق

۱-کاهش تقاضای انرژی:
- در صنایع غذایی← برگامینی و همکاران [۱]
- در صنایع شیمیایی و پتروشیمی← تنگ و همکاران [۲]
- در صنعت خمیر کاغذ← بونهویرز و همکاران [۳]

۲- معرفی نمودارهای گرافیکی انتقال انرژی (ETD) ← بونهویرز و همکاران [۵]

۳-نمودار اصلاح شده انتقال انرژی (METD)← ولمزلی و همکاران [۷]

❖ روش تحقیق
- استفاده از روش‌های یکپارچه‌سازی فرایند برای شناسایی فرصت‌های افزایش بهره‌وری انرژی
- استفاده از جدول مازاد-کمبود حرارت (HSDT)
- استفاده از گرید دیاگرام برای نمایش گرافیکی مبدل‌های حرارتی

❖ نتایج
- کاهش ۷۹ درصد(۴۰۶۲kw) تولید بخار با استفاده از جدولHSDT و روش پل
- ۱۰۰۰۳۱۳یورو درآمد سالانه ناشی صرفه جویی انرژی

کلمات کلیدی: بازآرایی(Retrofit)، شبکه مبدل‌های حرارتی، پودر شیر، صرفه‌جویی انرژی، پل(Bridge)

مقدمه

❖ دلیل انگیزه بهبود یکپارچه سازی حرارتی در واحدهای صنعتی
- کاهش منابع انرژی
- افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی
- افزایش هزینه انرژی

- واحد تولید پودرشیر ← امکان بهبود قابل‌توجه در مصرف انرژی
- اتلاف حرارت زیاد ← در بخش‌های تبخیرکننده و خشک‌کن
- با کاهش تلفات ← بازیابی و استفاده مجدد از انرژی در فرآیندهای تولید ← کاهش مصرف انرژی (گاز طبیعی و برق)

❖ رویکرد تصمیم گیری بازآرایی (retrofit) شبکه مبدل حرارتی ← به صورت روش‌های گرافیکی و عددی
❖ روش پل ← اتصالات حرارتی بین جریان‌های گرم و سرد ← کاهش یوتیلیتی گرم

✓ این مقاله ← طرح پیشنهادی یک کارخانه صنعتی تولید پودر شیر ← ارائه جدول کمبود-مازاد (HSDT) ← کاهش مقدار یوتیلیتی‌های گرم ← افزایش درآمد ناشی از صرفه جویی انرژی ← ارزیابی دوباره برق مصرفی کارخانه

روش شناسی

- لال و همکاران ← معرفی جدول HSDT ← ابزار شناسایی و کمی سازی پل‌های بازآرایی در شبکه مبدل حرارتی
- هدف این رویکرد ← کاهش بار یوتیلیتی‌های گرم و سرد ← بهبود کارایی انرژی شبکه مبدل‌های حرارتی

T*(°C)	$\Delta H_{(C)}$(KW)	...	$\Delta H_{(R)}$(KW)	...	$\Delta H_{(H)}$(KW)
T1					
	$\Delta H_{1\text{-}2(C)}$	...	$\Delta H_{1\text{-}2(R)}$	...	$\Delta H_{1\text{-}2(H)}$
T2					
	$\Delta H_{2\text{-}3(C)}$	...	$\Delta H_{2\text{-}3(R)}$	...	$\Delta H_{2\text{-}3(H)}$
⋮	⋮		⋮		⋮
T_n	$\Delta H_{[n-1]\text{-}n(C)}$	...	$\Delta H_{[n-1]\text{-}n(R)}$	...	$\Delta H_{[n-1]\text{-}n(H)}$

جدول مازاد–کسری حرارت

- معیارهای اقتصادی
- سرمایه‌گذاری ثابت

$$FCI = \sum_{i=1}^{N} f_i C_i$$

- هزینه تحویل را شامل هزینه اتصالات جوشی، تکیه‌گاه‌ها، فلنج‌ها و حمل ونقل

$$C_i = 227.97\left(\frac{UA_i}{0.239}\right)^{0.68}$$

- درآمد ناشی از صرفه جویی یوتیلیتی از اعمال پل

$$R = \dot{E}_{savings} \cdot f_{operation} \cdot c_{HU}$$

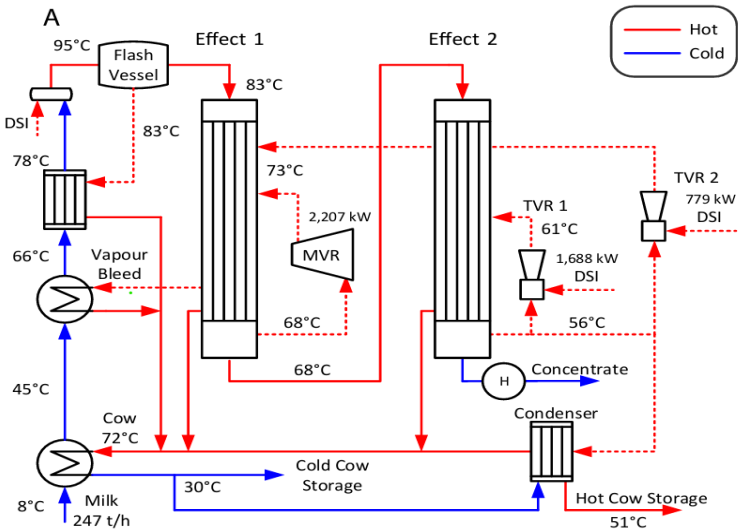
مورد مطالعاتی

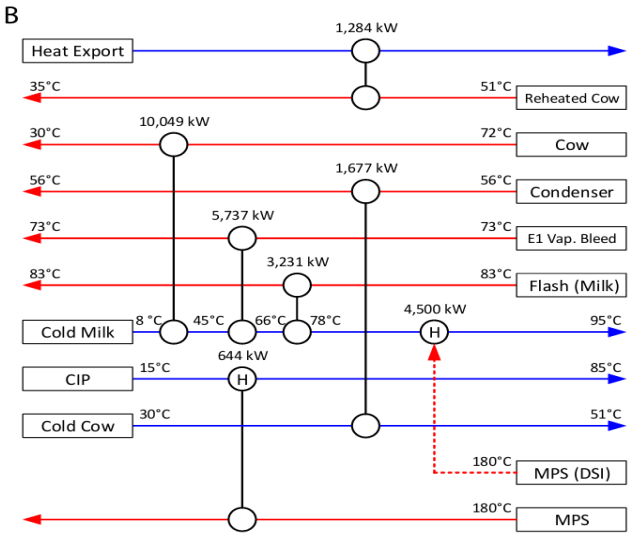
- کارخانه صنعتی تولید پودر شیر با سیستم تبخیر دواثره
- مجهز بازتراکم بخار
  - برای جریان‌های مایع و بخار

$$\Delta T_{min}=2.5℃$$

  - برای جریان‌های گازی

$$\Delta T_{min}=12.5℃$$





- ضریب انتقال حرارت برای جریان‌های مایع و بخار ۲ تا ۸ $kw/m^{2}\cdot°C$
- برای جریان‌های گازی حدود $0.1 kW/m^{2}\cdot°C$

HEN	Stream	Type	T_s (°C)	T_t (°C)	C_p	H (kW)
1	heat Export (L)	cold	6	6	–	1284
2	cold milk (L)	cold	8	45	272	10049
3	cold milk (L)	cold	45	66	272	5737
4	cold milk (L)	cold	66	78	272	3231
5	cold cow (L)	cold	30	51	79.85	1677
6	cold milk (L)	cold	78	95	272	4500
7	CIP (L)	cold	15	85	9	644
2	cow (L)	hot	72	30	239.2619	-10049
1	reheated cow (L)	hot	51	35	80.25	-1284
7	MPS (S)	hot	180	180	–	-644
5	condensor (S)	hot	56	56	–	-1677
3	E1 vap (S)	hot	73	73	–	-5737
4	flash (S)	hot	83	83	–	-3231
6	MPS (S)	hot	180	180	–	-4500

HSDT

		1	2	3	4	5	6	7
T*i(°C)	ΔT(°C)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)
MPS(DSI)							4500	644
Electricity								
upgraded Vap								
97.5								
87.5	10						-2720	
80.5	7						-1904	-63
80.5	0				3231			0
70.5	10				2720			-90
70.5	0			5737	0			0
69.5	1				-272			-9
68.5	1		239.3		-272			-9
53.5	15		3589	-4080				-135
53.5	0		0	0		1677		0
48.5	5		1196	-1360		-399.25		-45
47.5	1	80.25	239.3	-272		-79.85		-9
32.5	15	1204	-491			-1197.75		-135
27.5	5		-164					-45
17.5	10		-2720					-90
10.5	7		-1904					
8.5	2							
8.5	0	-1284						

248KW

N2=477kw

HSDT

		2	3	4	5	6	7
T*i(°C)	ΔT(°C)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)	H(KW)
MPS						928.4	153
Electricity						255.6	
upgraded Vap						2812	
97.5							
87.5	10					-2720	
80.5	7					-1904	-63
80.5	0			3231			0
70.5	10			2720			-90
70.5	0		2448	0			0
69.5	1			-272			
68.5	1			-272			
53.5	15	1914	-4080				
53.5	0	0	0		1677		
48.5	5	-360	-1360		-399.3		
47.5	1	-32.7	-272		-79.85		
32.5	15	-491			-1198		
27.5	5	-164					
17.5	10	-327					
10.5	7	-229					
8.5	2						
8.5	0						

یافته های تحقیق

- شناسایی مازاد-کمبود حرارت با استفاده از جدول
- توانایی استفاده بخار از اوپراتور به عنوان منبع حرارت دهنده
- استفاده از یک کمپرسور برای جایگزینی بخار اپراتور DSI با سوخت فسیلی

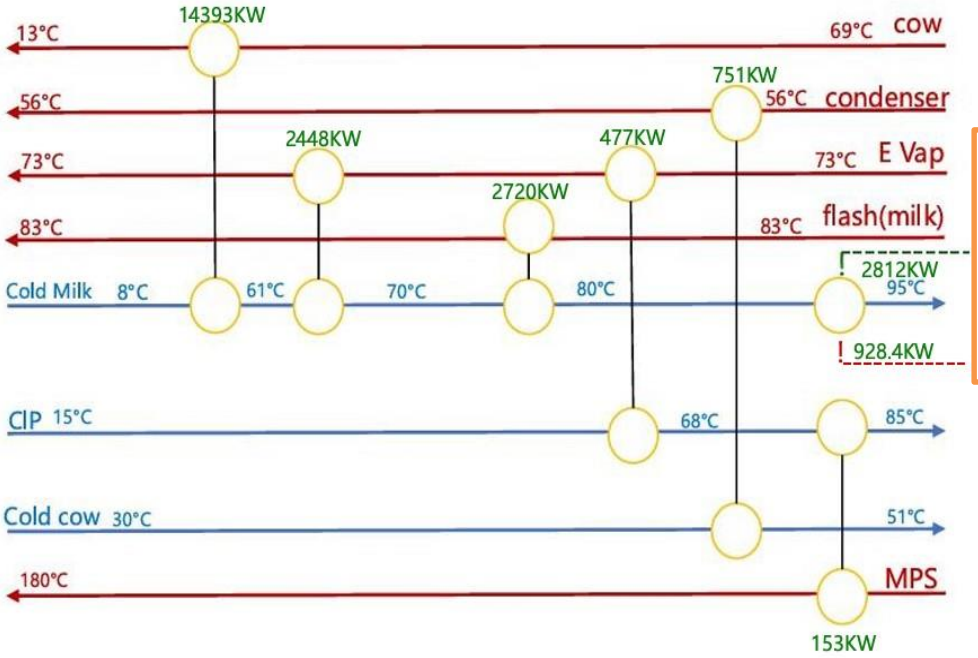
❖ تاثیر اعمال پل

- استفاده ۲۸۱۲kw از بخار اواپراتور طریق یک MVR
- برق مورد نیاز کمپرسور برای تامین این بخار ۲۵۵.۶kw
- تاثیر پل N2 ← مقدار ۴۷۷KW مقدار یوتیلیتی گرم را به ۱۵۳ KW برساند.
- هزینه اعمال طرح ۳۷۲۴۳۲یورو
- مقدار سرمایه گذاری ثابت ۱۳۰۳۵۲۸ یورو

- مقدار بخار صرفه جویی شده در این طرح ← ۴۰۶۲.۶kw
- مقدار کل حرارت لازم قبل از بازآرایی سیستم ← ۵۱۴۴kw
- مقدار کل حرارت لازم بعد از بازآرایی سیستم ← ۱۰۸۱.۴kw

❖ بحث و نتیجه گیری

- استفاده از روش عددی و ساختار یافته HSDTو الگوریتمE-PTA
- ارزیابی دقیق تر پل‌های بازآرایی
- برطرف کردن ضعف‌های گرافیکی
- کاهش مصرف یوتیلیتی‌های گرم تا ۷۹ درصد
- افزایش درآمد سالانه ۱۰۰۰۳۱۳.۶۸۵یورو ناشی از صرفه جویی انرژی



❖ طرح‌های آتی

- استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر برای تامین برق شبکه
- بررسی طرح از نظر محیط زیستی و اقتصادی و اگزرژی

منابع و ماخذ

[1] R. Bergamini *et al.*, “Analysis of energy integration opportunities in the retrofit of a milk powder production plant using the Bridge framework,” *J. Clean. Prod.*, vol. 328, no. January, p. 129402, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129402.
[2] S. Y. Teng, Á. Orosz, B. S. How, J. J. Jansen, and F. Friedler, “Retrofit heat exchanger network optimization via graph-theoretical approach: Pinch-bounded N-best solutions allows positional swapping,” *Energy*, vol. 283, no. January, 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.129029.
[3] J.-C. Bonhivers, E. Svensson, M. V Sorin, T. S. Berntsson, and P. R. Stuart, “Energy transfer diagram for site-wide analysis and application to a kraft pulp mill,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 75, pp. 547–560, 2015, doi: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.09.045.
[4] F. Sadeghian Jahromi and M. Beheshti, “An extended energy saving method for modification of MTP process heat exchanger network,” *Energy*, vol. 140, pp. 1059–1073, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.09.032.
[5] J. C. Bonhivers, M. Korbel, M. Sorin, L. Savulescu, and P. R. Stuart, “Energy transfer diagram for improving integration of industrial systems,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 63, no. 1, pp. 468–479, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.10.046.
[6] A. Mosadeghkhah and M. Beheshti, “Heat flow diagram as an extension of bridge retrofit method to save energy in heat exchanger networks,” *Appl. Energy*, vol. 267, no. October 2019, p. 114971, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114971.
[7] N. S. Lal, T. G. Walmsley, M. R. W. Walmsley, M. J. Atkins, and J. R. Neale, “A novel Heat Exchanger Network Bridge Retrofit method using the Modified Energy Transfer Diagram,” *Energy*, vol. 155, pp. 190–204, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.019.
[8] T. G. Walmsley, M. J. Atkins, M. R. W. Walmsley, and J. R. Neale, “Appropriate placement of vapour recompression in ultra-low energy industrial milk evaporation systems using Pinch Analysis,” *Energy*, vol. 116, pp. 1269–1281, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.026.

تشکر وقدردانی
پایان