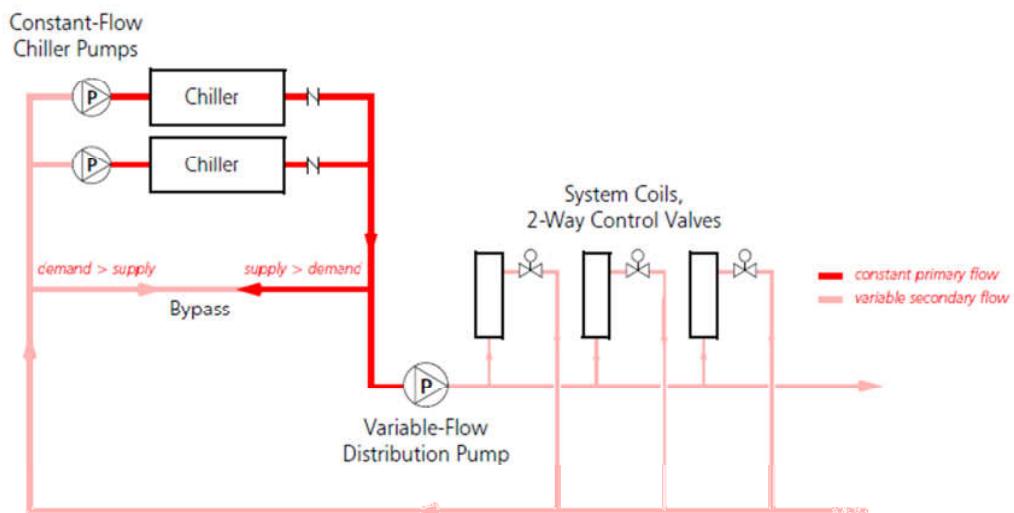


با سلام خدمت همکاران عزیز،

مبحث سیستم لوله کشی چیلر و بویلر را پی میگیریم با سیستم سوم که در این سیستم برخلاف ۲ سیستم قبلی، جریان کاملاً متغیر است.

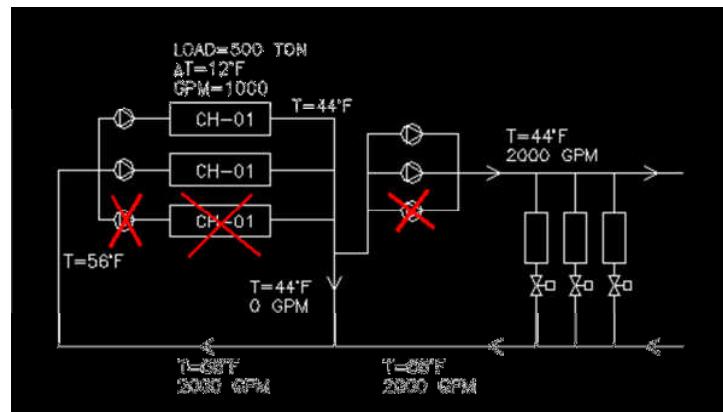
قبل از شروع بحث، خلاصه ای گذرا داشته باشیم از سیستم اولیه-ثانویه :

همانطورکه قبلاً عنوان شد سیستمهای اولیه ثانویه دارای ۲ بخش اصلی هستند. بخش اول، سمتی که نزدیک به موتورخانه است (یا مدار تولید) که در این بخش دبی کاملاً ثابتی از اوپراتور چیلر و پمپهای مربوطه آن در گذرا است. و دوم، بخشی که سمت مصرف کننده یا ساختمان است که دبی و پمپهای مربوطه نیز در این بخش دبی متغیر هستند و مقدار دبی این مدار براساس تغییرات بار ساختمان در تغییر است. برای مدار دوم نیز از شیرهای کنترلی ۲ راهه استفاده میشود. شکل زیر:



همچنین قرار بود که برای مثال آخری که هفته پیش صحبت کردیم حالت بهینه سیکل چیلر را نیز بررسی کنیم.

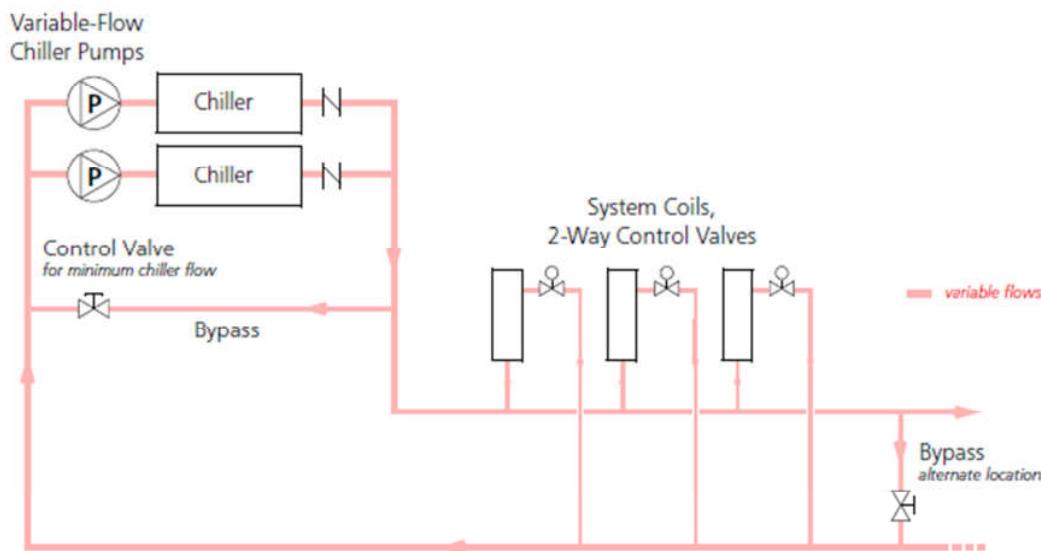
مثال: ۳ عدد چیلر 500 تن با دلتا تی طراحی 12 درجه فارنهایت داریم. در زیر اثبات میشود که در 67٪ بار، حالت بهینه برای این سیکل ایجاد میشود. زمانیکه 3 چیلر 100٪ زیر بار باشند مقدار 3000 GPM کل را خواهیم داشت. پس ساختمان در 67٪ بار به 2000 GPM نیاز دارد. یعنی 1000 GPM برای هر چیلر. لذا 2 چیلر 100٪ در مدار خواهند بود و یک چیلرو یک پمپ از مدار خارج میشوند. حالت بهینه اتفاق میافتد زیرا دبی مدار اولیه با مدار ثانویه برابر شده و دبی گذرا از لوله مشترک صفر است. و براساس آن دلتا تی در هر دو مدار اولیه و ثانویه برابر 12 درجه فارنهایت حفظ میشود. شکل زیر:



حال میپردازیم به سیستم سوم:

لوله کشی اولیه ثانویه هم با تمام مزیتها بی کار نیز بهمراه داشت که از جمله آنها میتوان به سندروم دلتا تی پایین در حالات میانباری اشاره کرد. برای رفع این معضل و نیز افزایش راندمان سیستم از لوله کشی‌های دبی متغیر استفاده میکنیم.

در این نوع لوله کشی تمام دبی گذرا از سیستم متغیر است و سیستم از جهاتی مشابه نوع لوله کشی با دبی ثابت در نوع سنتی است. با توجه به جدید بودن این سیستم به کلیاتی از طراحی آن میپردازیم. و سپس مثالی را بررسی میکنیم.



- این سیستم نیز به مانند سیستم اولیه ثانویه که دارای لوله مشترک است دارای یک مدار BYPASS است که جهت برگشت دادن حداقل دبی گذرا از یک چیلر سایز میشود. البته روش دیگری نیز وجود دارد که میتوان دبی سنج را حذف نمود که در انتهای توضیح خواهد داد.

2- روی لوله BYPASS از یک شیر کنترلی 2 راهه استفاده میشود که NC یعنی در حالت نرمال بسته است. وظیفه این شیر برگشت دادن مینیمم دبی چیلر به خط برگشت چیلر است و در زمانی که حس شود که این مقدار مینیمم احتیاج است (توسط دبی سنج در مدار) شیر کنترلی در مدار BYPASS باز شده و اجازه عبور سیال را میدهد. برای سایز کردن این لوله، از مینیمم دبی گذرا از یک چیلر در حالت کار استفاده میشود. در صورتیکه از چیلرهای متفاوتی در مدار استفاده میشود مثلاً یک 200 تن و یک 500 تن، سایز BYPASS بايستی براساس دبی مینیمم چیلر بزرگتر باشد. شیر کنترلی روی خط BYPASS از نوع اکچوئٹر سریع باید باشد و رنج کنترلی ولو 100 به یک در نظر گرفته میشود.

3- برای دبی سنج مربوطه از نرخ دقت %5/-+ برای دبی مینیمم اوپراتور چیلر استفاده میشود و معمولاً مدار BYPASS براساس شرایط زیر بايستی باز شود که جریان عبوری برابر باشد با مقدار مینیمم جریان بعلاوه 2 برابر جریان مینیمم ضربدر مقدار دقت دبی سنج. برای مثال اگر GPM 120 مقدار دبی مینیمم است داریم:

$$Q=120+(120 \times 10\%)=132 \text{ GPM}$$

این مقدار دبی میشود که شیر کنترلی بايستی براساس آن مدار BYPASS را باز کند.



4- پمپهای دبی متغیر در سمت چیلرها بهمراه دستگاه های VFD کار میشوند که وظیفه آنها تغییر دور یا سرعت پمپ براساس تغییرات بار ساختمان است. سنسور مربوط نیز (DP) معمولاً در دو-سوم از مسیر لوله کشی نصب میشود.

حال به تفاوت ها، مزایا و معایب 3 سیستم مطرح شده میپردازیم:

1- لوله کشی دبی ثابت

2- لوله کشی اولیه ثانویه

3- لوله کشی دبی متغیر

در نوع اول با اینکه هزینه نصب اولیه بسیار کم است اما این سیستم کاملاً تلف کردن انرژی است. چراکه با تغییرات بار ساختمان، دبی سیستم تغییر نمیکند و در میانباریها به دلتا تی های پایین میرسیم که خوب نخواهد بود.

در سیستم دوم، با اضافه شدن لوله کشی های اولیه ثانویه به فضای بیشتری نسبت به سیستمهای اول و سوم نیاز داریم که این مسئله معضلی است برای پروژه هایی که فضای کافی نداریم. این سیستم دارای 40٪ انرژی سیوینگ نسبت به حالت اول است اما باز هم مشکل دلتا تی پایین در میانباری برای چیلرها دیده میشود.

امروزه استفاده از سیستم سوم برای سیکل چیلر برای ساختمان های بزرگ بعنوان یک اصل محسوب میشود با توجه به انرژی سیوینگ بالایی که دارد حدود 64.5٪ نسبت به سیستم اول. (بخاطر تغییرات دبی براساس تغییرات بار).

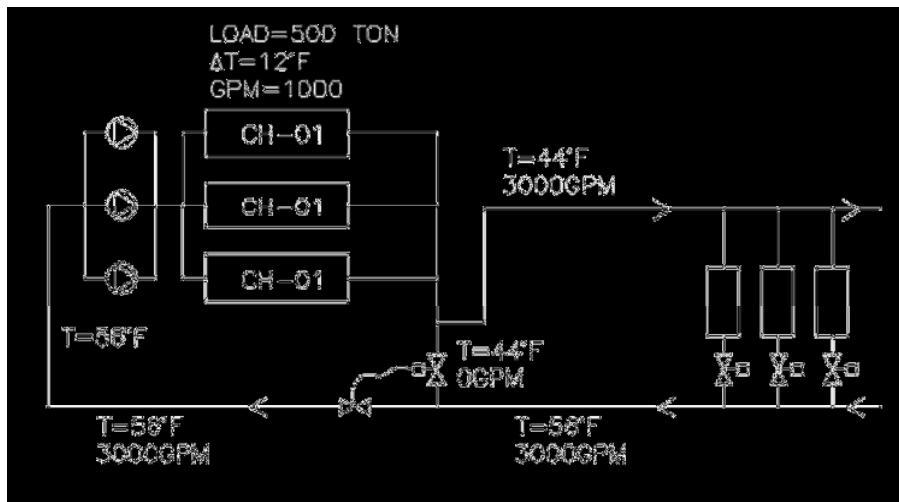
مثال:

همان مثالی را که برای سیستم اولیه ثانویه صحبت کردیم در اینجا بازگو میکیم:

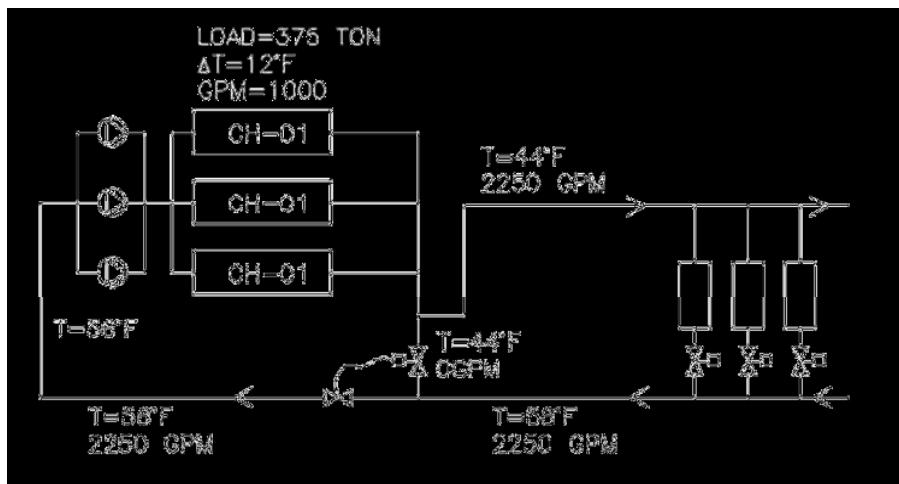
3 عدد چیلر داریم به ظرفیت هر کدام 500 تن با دلتا تی طراحی 12 درجه فارنهایت. در ضمن در اینحالت چون سیستم دبی متغیر است میتوان از نوع لوله کشی منیفولد برای پمپهای چیلر استفاده کرد. در ساختمان هم کویلها را داریم با شیرکنترل دو راهه. درجه حرارت طراحی 44 رفت و 56 برگشت برای چیلر در نظر گرفته شده است (درجه فارنهایت).

حالت 100 زیر بار:

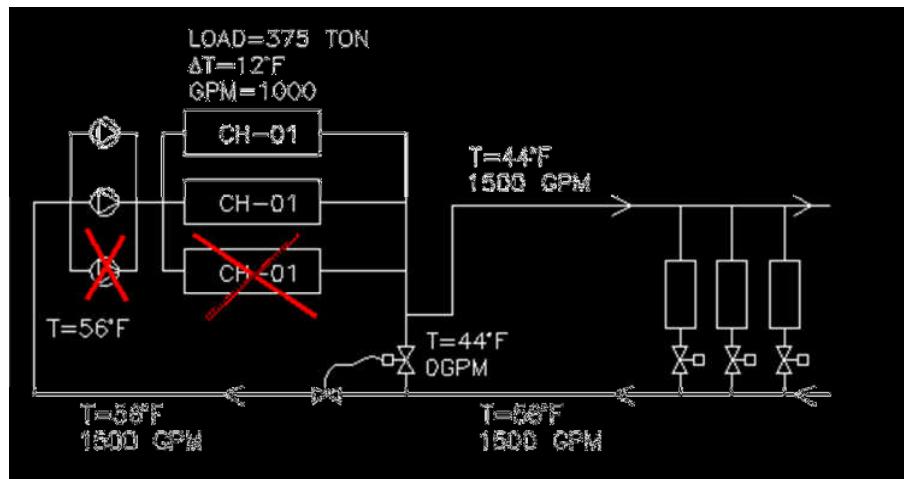
در اینحالت براساس دلتا تی 12 درجه فارنهایت GPM 3000 در مدار خواهیم داشت و هر 3 پمپ و هر 3 چیلر در کار کرد همزمان هستند. دلتا تی برگشتی به چیلرها نیز همان 12 درجه باقی مانده است (مقدار دبی گذرا در لوله با پس برابر صفر است).

**حالت 75٪ زیر بار:**

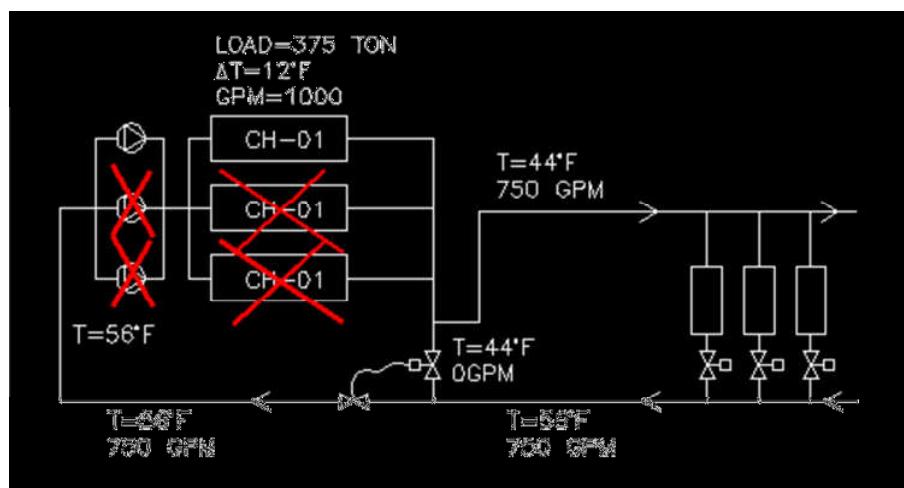
در اینحالت چیلرها براساس 75٪ ظرفیت خود زیر بار هستند یعنی 375 تن سرمایشی و 2250 GPM. اگر این حالت را با ثانویه مقایسه کنیم دیده میشود که بدلیل مقدار GPM صفر در مدار BYPASS مقدار دلتا تی همان 12 درجه در چیلر حفظ شده است (در اولیه ثانویه در اینحالت دلتا تی 9 درجه فارنهایت داریم).

**حالت 50٪ زیر بار:**

در اینحالت چیلرها براساس 75٪ ظرفیت خود زیر بار هستند اما یکی از چیلرها از مدار خارج میشود. یکی از پمپها نیز از مدار خارج میشود چراکه مورد نیاز براساس بار 50٪ ساختمان توسط 2 پمپ دبی متغیر تامین میشود. یعنی 2 چیلر 375 تن در مدار هستند با 1500 GPM. اگر باز هم این حالت را با اولیه ثانویه مقایسه کنیم دیده میشود که بدلیل مقدار GPM صفر در مدار BYPASS مقدار دلتا تی همان 12 درجه در چیلر حفظ شده است (در اولیه ثانویه در اینحالت دلتا تی 9 درجه فارنهایت داریم).

**حالت چهارم - چیلرها 25٪ زیر بار:**

در اینحالت تنها یک چیلر براساس 75٪ ظرفیت خود زیر بارهست. لذا یک چیلر و یک پمپ دیگر نیز از مدار خارج میشوند. چراکه دبی مورد نیاز براساس بار 25٪ ساختمان توسط 1 پمپ دبی متغیر تامین میشود. پس 750 GPM در مدار خواهیم داشت. اگر باز هم این حالت را با اولیه ثانویه مقایسه کنیم دیده میشود که بدلیل مقدار GPM صفر در مدار BYPASS داشت. همان 12 درجه در چیلر حفظ شده است (در اولیه ثانویه در اینحالت دلتا تی 9 درجه فارنهایت داریم).



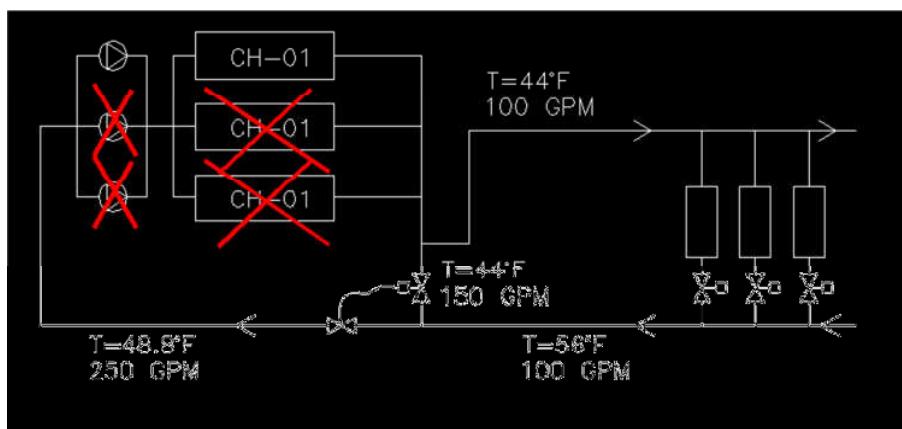
خلاصه :

شرایط کارکرد	هر چیلر (تن)	تعداد چیلر در مدار	دلتا تی چیلر - اولیه ثانویه	دلتا تی چیلر - دبی متغیر
100%	500	3	12	12
75%	375	3	9	12
50%	375	2	9	12
25%	375	1	9	12

بنابراین میتوان دید که تا زمانیکه مقدار دبی گذرا به دبی مینیمم طراحی چیلر نرسیده باشد، دلتا تی طراحی برابر همان 12 درجه فارنهایت حفظ خواهد شد.

حال فرض کنیم که مقدار دبی مورد نیاز برای ساختمان تنها 100 GPM است (معادل 50 تن سرمایشی). یعنی دبی مورد نیاز ساختمان از مینیمم دبی چیلر کمتر است. چه اتفاقی میافتد؟

براساس کاتالوگ مثلا دبی مینیمم چیلر برابر 25٪ ظرفیت کل درنظر گرفته شده است یعنی 250 جی پی ام. پس ما باید مقداری را از طریق مسیر BYPASS به چیلر برگشت دهیم. بنابراین حالت زیر ایجاد میشود و دلتا تی کاهش می یابد. یعنی برای حفظ مینیمم دبی چیلر سنج فرمان به کنترل ولو در مسیر بای پس داده و مقدار 150 GPM را برگشت داده که با 100 GPM برگشتی از ساختمان میکس شده و دلتا تی را تا 5 درجه فارنهایت کاهش میدهد. البته طبق رابطه ای که در بالا اشاره شد این مقدار باید حدود 275 GPM در نظر گرفته شود.



مزایای مهم این سیستم عبارتند از:

1- هزینه پایین تر سیستم نسبت به اولیه ثانویه (به دلیل کم کردن پمپها، موتورها، سیستمهای کنترلی، برق کشیها و هزینه نصب)

2- به فضای کمتری در موتورخانه نیاز است.

- 3- طراحی بسیار ساده تر نسبت به اولیه ثانویه.
- 4- کنترل ساده تر سیستم نسبت به اولیه ثانویه.
- 5- سیستم نسبت به اولیه ثانویه راحت تر بالانس میشود.
- 6- کارکرد چیلر در میان باریها بهتر از حالات قبل است که در بالا توضیح داده شد.
- 7- براساس تغییرات بار ساختمان، بار چیلر و دور پمپها تغییر میکند (انرژی سیونینگ بالا). نمودار مصرف انرژی زیر از یکی از مجلات ASHRAE در این زمینه برداشته شده است.

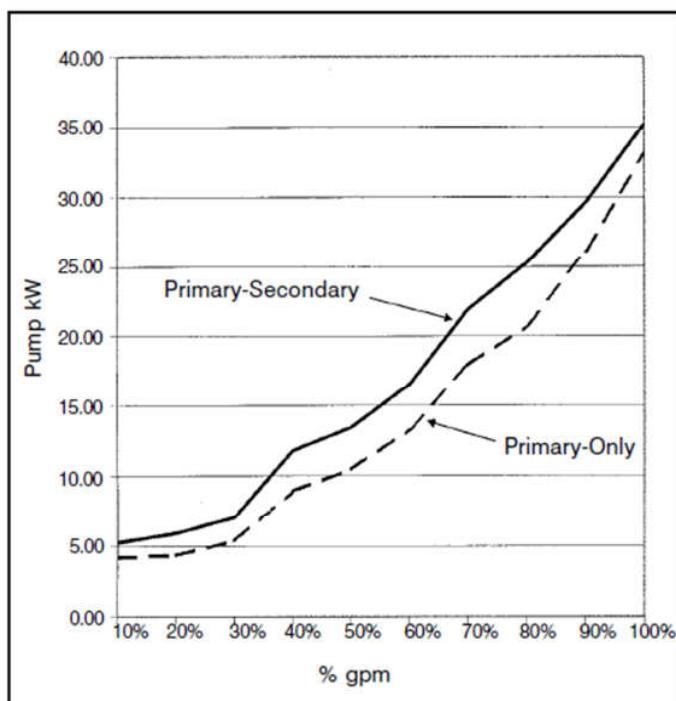


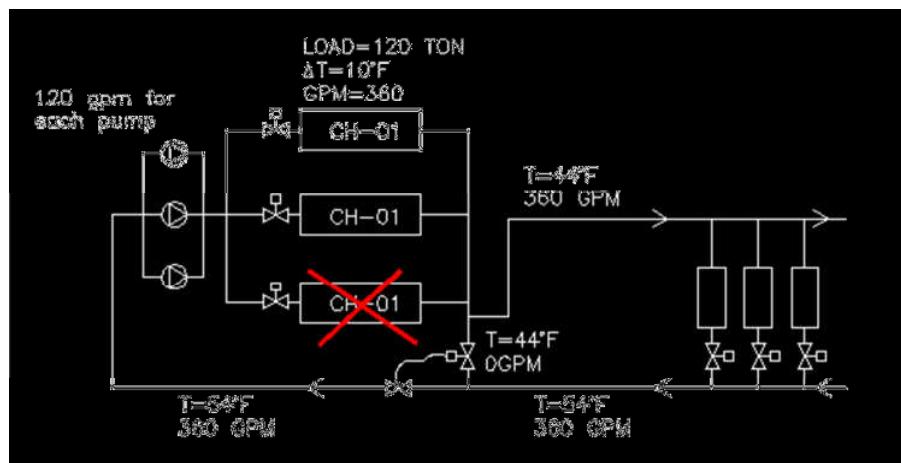
Figure 3: Pump energy for primary-only and primary-secondary systems in three chiller plants.[†]

معایب:

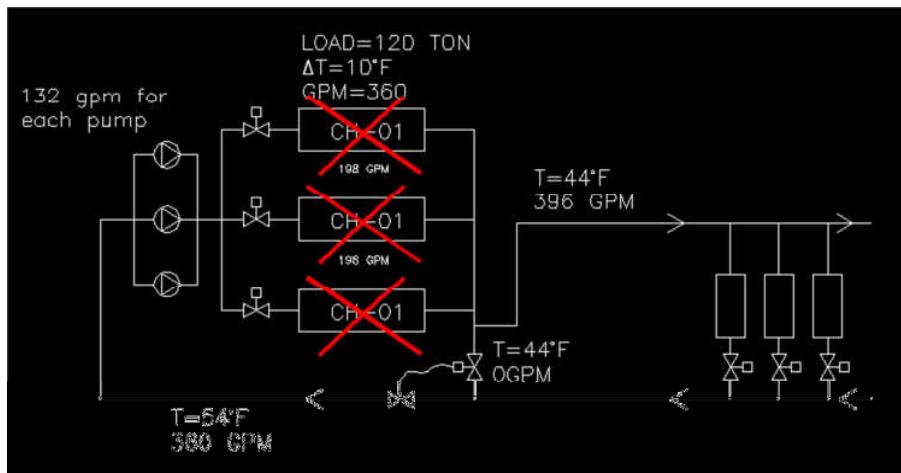
- 1- بمانند سیستم اولیه ثانویه همچنان به لوله BYPASS نیاز داریم. البته این عیب محسوب نمیشود و میتوان سیستم را تغییراتی داد.
- 2- بمانند سیستم اولیه ثانویه به ISOLATION VALVE ها در خروجی چیلر و نیز دبی سنج در خط برگشت چیلرها نیاز است.

حال به یکی از مشکلات رایج این سیستمهای میپردازیم. این مشکل زمانی ایجاد میشود که یک چیلر 100% زیر بار است و چیلر دوم براساس نیاز ساختمان باید وارد مدارشود. برای فهم بهتر این حالت را با مثالی بررسی میکنیم:

3 عدد چیلر 150 تن با دلتا تی طراحی 10 درجه فارنهایت داریم. یعنی 360 GPM برای هر چیلر. بار مورد نیاز ساختمان نیز 150 تن است. لذا 2 چیلر در مدار نیستند و تنها یک چیلر 100% زیر بار است و مقدار دبی گذرا از سیستم نیز همان 360gpm 3 خواهد بود. در ضمن مینیمم دبی چیلر که باید تامین شود هم 33% ظرفیت کل یعنی 120gpm است. در اینحالت (شکل زیر) مینیمم دبی چیلر تامین شده و مقدار دبی لوله bypass برابر صفر است. بنابراین دلتا تی 10 درجه فارنهایت حفظ میشود.

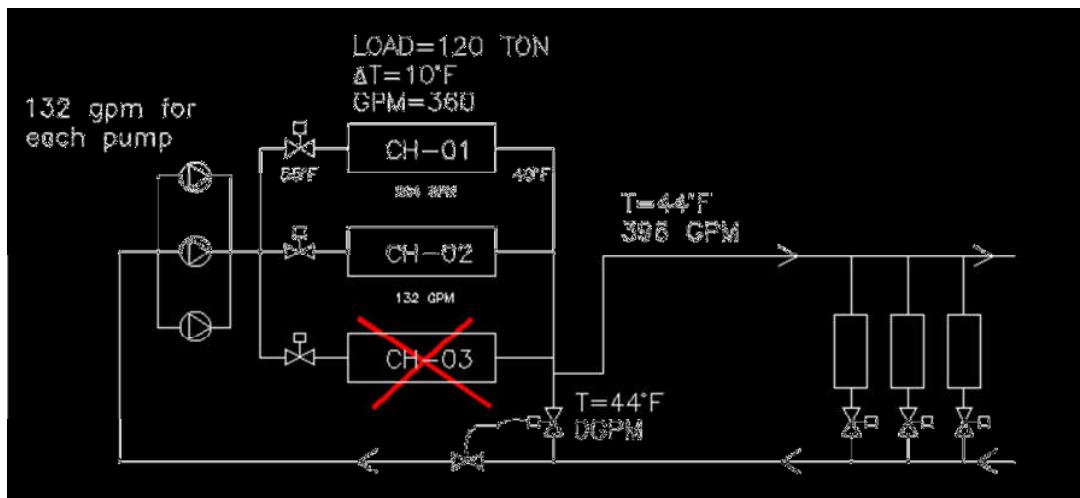


حال فرض کنید با توجه به افزایش بار ساختمان، نیاز ساختمان از 360GPM به 396GPM رسیده است. در این حالت برای آوردن چیلر دوم به مدار، ISOLATION VALVE چیلر دوم باز شده و لذا مقدار دبی 369 به 2 دبی یعنی 198 GPM برای هر چیلر تقسیم میشود (هر چیلر 55% زیر بار). مشکلی بوجود آمده اینست که در اینحالت با توجه به افت شدید دبی در اوپراتور چیلر اول (از 360 به 198)، چیلر اول تریپ خواهد کرد و هیچ شکی در این قضیه نیست. البته این مهم در سیستمهای اولیه ثانویه نیز میتواند ایجاد شود.

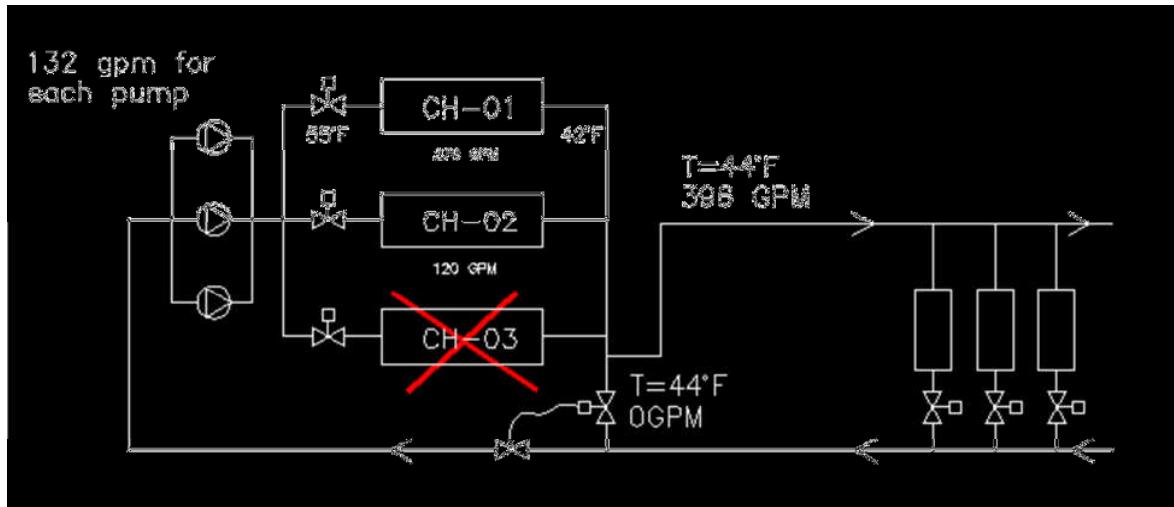


راه حل:

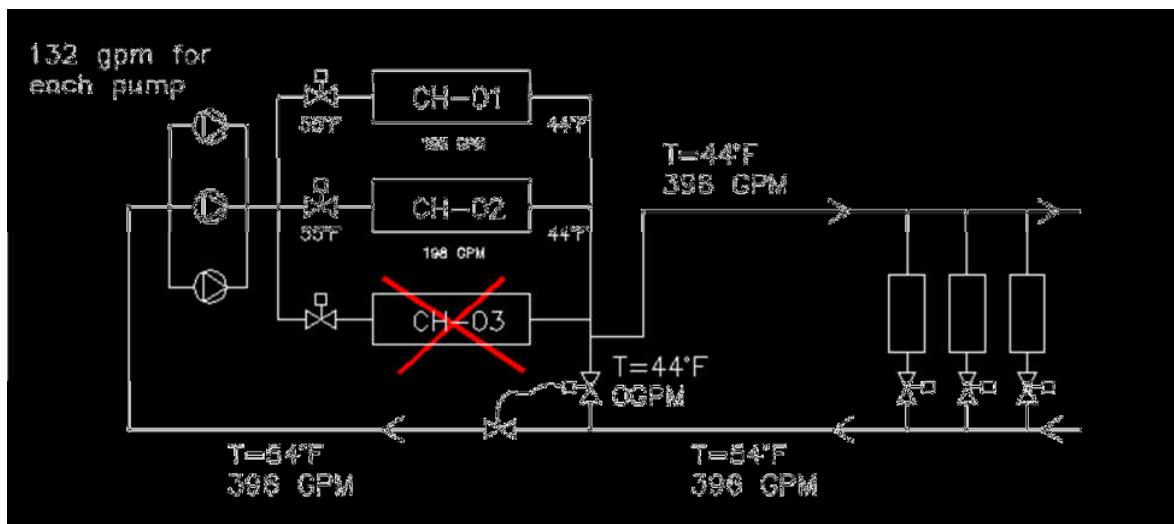
برای حل این مشکل باید از ISOLATION VALVE‌هایی استفاده نمود که بصورت تدریجی باز و بسته می‌شوند و مقدار دبی را بصورت تدریجی برای چیلر زیاد می‌کنند. یعنی کاری که می‌کنیم اینست که دبی در چیلر دوم را کمی بالاتر از دبی مینیمم یعنی 120GPM تنظیم می‌کنیم مثلاً 132GPM که براساس آن چیلر دوم وارد مدار شود. در اینحالت دبی در چیلر اول به 264GPM تغییر می‌کند و دلتا تی برابر 15 می‌شود. لذا چیلر اول از زیر بار خارج می‌شود (اصطلاحاً UNLOAD می‌شود) تا بتواند به مقدار SET POINT برسد.



سپس مقدار دبی چیلر دوم را با باز کردن ISOLATION VALVE مربوطه به مقدار 10% دبی کل چیلر (در اینجا 36GPM) به مقدار مینیمم دبی یعنی 120GPM میرسانیم. لذا دبی چیلر اول نیز تغییر کرده و به 276 GPM میرسد و با دلتا تی 13 درجه مجدداً 100% زیر بار خواهد بود. شکل زیر:



حال با توجه به رسیدن چیلر دوم به مینیمم مقدار دبی، میتوان دبی در 2 چیلر را به اندازه مساوی تقسیم کرد لذا مقدار 198GPM را برای هر 2 چیلر خواهیم داشت.



در شکل های زیر 2 دیاگرام نشان داده شده است که ما معمولاً در پروژه ها کار میکنیم :

1- لوله کشی اولیه ثانویه برای سیکل بویلر

2- لوله کشی دبی متغیر برای سیکل چیلر

توجه: سیکل دبی متغیر چیلر به نحوه دیگری هم طراحی میشود و آن اینست که لوله بای پس در موتورخانه در نظر نمیگیریم و در عوض از شیرهای 3 راهه کنترلی در بعضی از مصرف کننده ها برای برگشت دادن دبی مینیم چیلر استفاده میکنیم که سیکل بالا بدین شکل است. تصاویر زیر هم مدار کنترلی دو سیستم است. چگونگی کنترل سیستم برای هر دو مدار در فایل اخر نیز توضیح داده شده است که ما در نقشه ها اضافه میکنیم.