



# راهنمای سریع محاسبه و انتخاب خنک کن آبی (مبدل حرارتی آب و روغن) برای سیستم های هیدرولیک

تهیه و تدوین

مهندس محمدرضا آذرنیایی

مدرس دانشگاه

**مقدمه:** در طول زمان کار یک سیستم هیدرولیک، وجود اصطکاک بین روغن و جداره های اطراف روغن و وجود اصطکاک داخلی روغن، دمای روغن افزایش می یابد. همچنین تغییر قطر و سطح مقطع عبور جریان روغن و آشفستگی خطوط جریان روغن نیز دلیلی بر افزایش دمای روغن می باشند. اگر دمای روغن به مقادیر بالاتر و غیر مجاز افزایش یابد، روغن دچار اکسیداسیون شده و علاوه از ایجاد اختلال در عملکرد سیستم هیدرولیک، سبب کاهش عمر مفید روغن نیز می شود. هر چند در جدول زیر دمای مجاز حداکثر روغن ذکر شده است ولی عموماً در محاسبات مهندسی و طراحی اکثر سیستمهای هیدرولیک، بیشترین دمای مجاز روغن های معدنی را برای رسیدن به حداکثر عمر بهینه آن، مقدار ۵۰ درجه سانتیگراد در نظر میگیرند.

| نوع سیستم هیدرولیک                        | دمای متوسط حداکثر روغن<br>(درجه سانتیگراد) | محدوده دمای مجاز روغن<br>(درجه سانتیگراد) |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| عموم سیستمهای هیدرولیک صنعتی              | ۵۰                                         | ۴۵ - ۵۵                                   |
| سیستمهای هیدرولیک خودرویی                 | ۶۰                                         | ۵۵ - ۶۵                                   |
| سیستمهای انتقال توان هیدرواستاتیک خودرویی | ۷۰                                         | ۶۵ - ۷۵                                   |

#### تعاریف و اطلاعات عمومی اولیه:

- ۱- دمای محیط: هر چند از نظر علمی تعاریف دمای محیط و دمای اتاق، دقیقاً باهم برابر نیستند ولی می توان آنها را با دقت بالایی برابر دانست. دمای محیط مقداری بین ۲۰ الی ۲۵ درجه سانتیگراد است که عموماً مقدار میانگین آن یعنی ۲۳ درجه سانتیگراد را در نظر میگیرند ولی در اکثر محاسبات مهندسی دمای محیط را ۲۰ درجه سانتیگراد یا همان ۶۸ درجه فارنهایت بکار می برند.
- ۲- آب چیلر: عموماً دمای آب خروجی از چیلر را ۴۰ الی ۵۰ درجه فارنهایت در نظر می گیرند. همچنین در محاسبات، اختلاف دمای بین آب گرم ورودی و آب سرد خروجی را نیز ۱۰ درجه فارنهایت فرض می کنند.

۳- اگر دمای روغن هیدرولیک از نوع معدنی، در یک سیستم هیدرولیک برای مدت طولانی (بصورت دائمی) به مقدار ۱۲۰ درجه فارنهایت و یا بالاتر از آن برسد، الزاما باید از خنک کن روغن در آن سیستم هیدرولیک استفاده شود. دمای ۱۲۰ درجه فارنهایت برابر ۴۸/۸ درجه سانتیگراد یا بصورت تقریبی همان ۵۰ درجه سانتیگراد است.

۴- عموما از دو نوع خنک کن روغن در سیستمهای هیدرولیک استفاده می گردد. خنک کن هوایی که دارای یک دمنده هوای خنک بوده و با دمیدن هوای سرد، روغن را خنک می کند و خنک کن آبی و یا همان مبدل حرارتی نیز روغن را توسط آب سرد، خنک کاری می نماید. هر چند در جدول زیر این دو خنک کن از نظر کاربرد مقایسه شده اند ولی عموما خنک کن آبی در اکثر سیستمهای هیدرولیک استفاده می گردد. اکثر مواقع از خنک کن هوایی در مواقعی استفاده می شود که آب سرد در دسترس نبوده و همچنین دمای محیط نصب خنک کن حداقل ۱۰ درجه فارنهایت خنک تر از دمای روغن باشد.

| نوع خنک کن | مزایا                                                                                        | معایب                                                                                                   | حداکثر اختلاف دمای قابل ایجاد (درجه سانتیگراد) |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| هوائی      | نصب آسان - هزینه راه اندازی پائین - عدم نیاز به آب سرد و لوله کشی آب                         | کارکرد با صدا - فقط در محیطهای تمیز و با امکان جریان هوای تمیز قابل استفاده است                         | ۲۵                                             |
| آبی        | کارکرد آرام و بدون صدا - قدرت خنک کنندگی بالا - تجهیزات فشرده و متمرکز و با کار سنگین و شدید | هزینه راه اندازی بالا - حساس بودن به آلودگی و خوردگی مواد خنک کننده - بالا بودن هزینه خنک کردن آب ورودی | ۳۵                                             |

۵- انرژی گرمایی: هر جسم در حال حرکت دارای انرژی جنبشی است. ذره های تشکیل دهنده یک ماده (یعنی اتم ها، مولکول ها یا یون ها) جنبش های متفاوتی دارند و پیوسته در حال حرکتند، به عبارتی

همه آن ها دارای انرژی جنبشی هستند. به مجموع انرژی های جنبشی ذره های سازنده یک نمونه ماده، انرژی گرمایی آن می گویند. واحد اندازه گیری انرژی گرمایی در سیستم SI همانند سایر انرژیها، ژول (Joule) است و در سیستم انگلیسی، انرژی را با واحد BTU که مخفف British Thermal Unit است می سنجند. یک BTU میزان گرمای لازم برای افزایش دمای آبی به وزن یک پوند به اندازه یک درجه فارنهایت است.

#### ۶- جدول تبدیل واحدهای فیزیکی پرمصرف در این بحث

| عنوان              | واحد SI           | واحد انگلیسی | نحوه تبدیل                                  |
|--------------------|-------------------|--------------|---------------------------------------------|
| فشار               | مگاپاسکال MPa     | Psi          | MPa = 145 Psi                               |
| دبی                | لیتر بر دقیقه LPM | GPM(USA)     | GPM = 3.7854 LPM                            |
| طول                | میلیمتر mm        | اینچ in      | In = 25.4 mm                                |
| دما                | سانتیگراد C       | فارنهایت F   | $C = 5(F - 32)/9$                           |
| انرژی گرمایی       | ژول Joule         | BTU          | BTU = 1055.06 Joule                         |
| توان - توان گرمایی | کیلووات Kw        | BTU/hr       | BTU/hr = 0.000293 Kw<br>Kw = 3412.14 BTU/hr |

|                    |                      |                |                       |
|--------------------|----------------------|----------------|-----------------------|
| فشار               | بار Bar              | PSI            | Bar = 14.5 PSI        |
| طول                | فوت ft               | اینچ in        | ft = 12 in            |
| انرژی گرمایی       | ژول Joule            | کیلوکالری Kcal | Kcal = 4184 Joule     |
| توان - توان گرمایی | کیلووات Kw           | اسب بخار HP    | HP = 1.341 Kw         |
| توان - توان گرمایی | ژول بر ساعت Joule/hr | اسب بخار HP    | HP = 2685600 Joule/hr |
| توان - توان گرمایی | BTU/hr               | اسب بخار HP    | HP = 2544 BTU/hr      |

۷- مقادیر گرمای ویژه متوسط (C) برای مواد پرمصرف در این بحث (با واحد سنجش  $BTU/F. hr. ft^2$ )

|    |            |             |            |            |           |          |            |
|----|------------|-------------|------------|------------|-----------|----------|------------|
| مس | $c = 0.09$ | فولاد (آهن) | $c = 0.11$ | روغن معدنی | $c = 0.4$ | آلومنیوم | $c = 0.17$ |
|----|------------|-------------|------------|------------|-----------|----------|------------|

۸- ضرایب انتقال گرمای کلی (K) برای شرایط مختلف (با واحد سنجش  $BTU/F.hr.ft^2$ )

| K        | شرایط کاری                                                                                                    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 – 5    | مخزن فولادی در محیطهای بسته و فشرده نظیر مکان های شلوغ و یا داخل ماشین                                        |
| 5 – 10   | مخزن فولادی در هوای آزاد                                                                                      |
| 10 – 13  | مخزن فولادی که گردش هوای آزاد در اطراف آن بخوبی برقرار باشد                                                   |
| 25 – 60  | مخزن فولادی که جریان اجباری هوا در اطراف آن بخوبی برقرار باشد (وجود خنک کن هوایی یا وجود دمنده در مقابل مخزن) |
| 80 - 100 | مخزن فولادی با مبدل حرارتی آب و روغن                                                                          |

۹- طراحی سیستم خنک کاری برای یک سیستم هیدرولیک باید در حالت تعادل دمایی (حالت پایدار) صورت گیرد. منظور از حالت تعادل دمایی آنست که میزان گرمای ایجاد شده در سیستم هیدرولیک و میزان گرمای دفع شده از آن باهم برابر باشند. اگر میزان گرمای ایجاد شده در سیستم هیدرولیک و بیش از میزان گرمای دفع شده از آن باشد به این مفهوم خواهد بود که روغن به تدریج داغتر شده و این حالت اصلاً قابل قبول نیست و بر عکس اگر میزان گرمای ایجاد شده در سیستم هیدرولیک کمتر از میزان گرمای دفع شده از آن باشد به این مفهوم خواهد بود که خنک کاری سیستم هیدرولیک خوب است. به هر حال همواره توصیه میشود که طراحی سیستم خنک کاری برای یک سیستم هیدرولیک باید در حالت تعادل دمایی (حالت پایدار) صورت گیرد.

۱۰- اختلاف بین دمای روغن هیدرولیک داخل سیستم و دمای هوای محیط اطراف سیستم (مخزن)

$$T_D = T_{oil} - T_{air}$$

در حالت تعادل دمائی (همان حالت پایدار که در زمان بی نهایت روی میدهد) مقدار دمای روغن ثابت مانده و مقدار  $T_D$  به مقدار بیشینه خود می رسد. مقدار بیشینه  $T_D$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Max(T_D) = \frac{E_L}{\sum K.A}$$

باید توجه نمود که اگر مقدار  $T_D$  از اندازه معینی تجاوز نموده و توسط مخزن و یا سایر اجزای سیستم هیدرولیک به حد لازم ۱۲۰ درجه فارنهایت و یا کمتر از آن کاهش نیابد، لزوم بکارگیری خنک کن روغن هیدرولیک وجود دارد.

۱۱- در حالت کلی تعادل انرژی در یک سیستم هیدرولیک به شرح زیر است

$$E_L = E_A + E_D$$

|       |                                                                                       |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_L$ | کل انرژی گرمایی ایجاد شده در سیستم هیدرولیک                                           |
| $E_A$ | گرمای دفع شده از سیستم توسط جداره های مخزن و سایر سطوح و اجزا که امکان دفع گرما دارند |
| $E_D$ | گرمای دفع شده از سیستم توسط خنک کن                                                    |

۱۲- انرژی گرمایی ایجاد شده در سیستم هیدرولیک (انرژی گرمایی ورودی به سیستم هیدرولیک) ( $E_L$ )

(توان مفید خروجی از سیستم - توان ورودی به سیستم) × زمان کارکرد = انرژی گرمایی

$$E_L = 1.48 Q . P . (1 - \mu)$$

|                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| $E_L$ بر حسب $\frac{BTU}{hr}$  | Q دبی پمپ بر حسب GPM        |
| $\mu$ بازده کلی سیستم هیدرولیک | P فشار خروجی پمپ بر حسب Psi |

- بررسی این مساله که سیستم هیدرولیک می تواند دمای خود را توسط مخزن و یا سایر اجزای سیستم کاهش دهد و یا اینکه الزاماً به یک خنک کن روغن نیاز دارد؟

$$T_D = \frac{E_L}{\sum K.A} \rightarrow T_D = \frac{E_L}{K.A} \rightarrow A = \frac{E_L}{K.T_D}$$

اگر  $A \leq A_T$  باشد یعنی آنکه به خنک کن نیاز است و اگر  $A > A_T$  باشد یعنی نیازی به خنک کن نیست.

برای محاسبه مقدار  $T_D$  از اصول ذکر شده در بند ۱۰ این کتابچه استفاده می گردد که در آن  $T_{air}$  دمای محیط بوده و  $T_{oil}$  مقدار مجاز حداکثر روغن است که برای روغن معدنی ۱۲۰ درجه فارنهایت در نظر گرفته میشود.

منظور از  $A$  کل سطح مورد نیاز برای خنک شدن سیستم هیدرولیک است و منظور از  $A_T$  کل مساحت موجود مخزن و سایر اجزای خنک کننده موجود سیستم می باشد.

- محاسبات طراحی و انتخاب مبدل حرارتی آب و روغن (خنک کن آبی) برای یک سیستم هیدرولیک

ابتدا باید بیشترین و کمترین اختلاف دمای ممکن را توسط روابط زیر حساب نماییم

$$T_{M2} = T_2 - T_{2W}$$

$$T_{M1} = T_1 - T_{1W}$$

پس از محاسبه مقادیر  $T_{M1}$  و  $T_{M2}$  هر کدام مقدار عددی بزرگتری داشته باشد بعنوان  $T_{Max}$  و هر کدام مقدار عددی کمتری داشته باشد بعنوان  $T_{Min}$  محسوب شده و در فرمول  $T_{mean}$  قرار می گیرد.

حال مقدار اختلاف دمای لگاریتمی ( $T_{mean}$ ) را براساس دما برحسب فارنهایت از نمودار مربوطه که در ضمیمه ارائه شده است حساب می نماییم. برای محاسبه مقدار  $T_{mean}$  می توان از رابطه زیر نیز که براساس لگاریتم بر مبنای طبیعی (لگاریتم نپرین) است استفاده کرد:

$$T_{mean} = \frac{T_{Max} - T_{Min}}{\ln(T_{Max}/T_{Min})}$$

لازم بذکر است که نمودار مذکور برای کلیه انواع مبدل های حرارتی جریان موازی و جریان مخالف و همچنین هر نوع سیال خنک کننده و خنک شونده معتبر است.

برای محاسبه مقدار سطح انتقال حرارت لازم در مبدل حرارتی در رابطه زیر استفاده می گردد

$$E_{HE} = A_c \cdot K \cdot T_{mean}$$

برای برقرای تعادل و بالانس حرارتی در یک سیستم هیدرولیک دارای مبدل حرارتی می توان از رابطه زیر بهره گرفت

$$E_{HE} = 210 \times T \times Q = 500 \times T_W \times Q_W$$

از این رابطه نیز علاوه بر استفاده های دیگر، می توان برای محاسبه مقدار دبی آب خنک کاری مورد نیاز سیستم استفاده کرد.

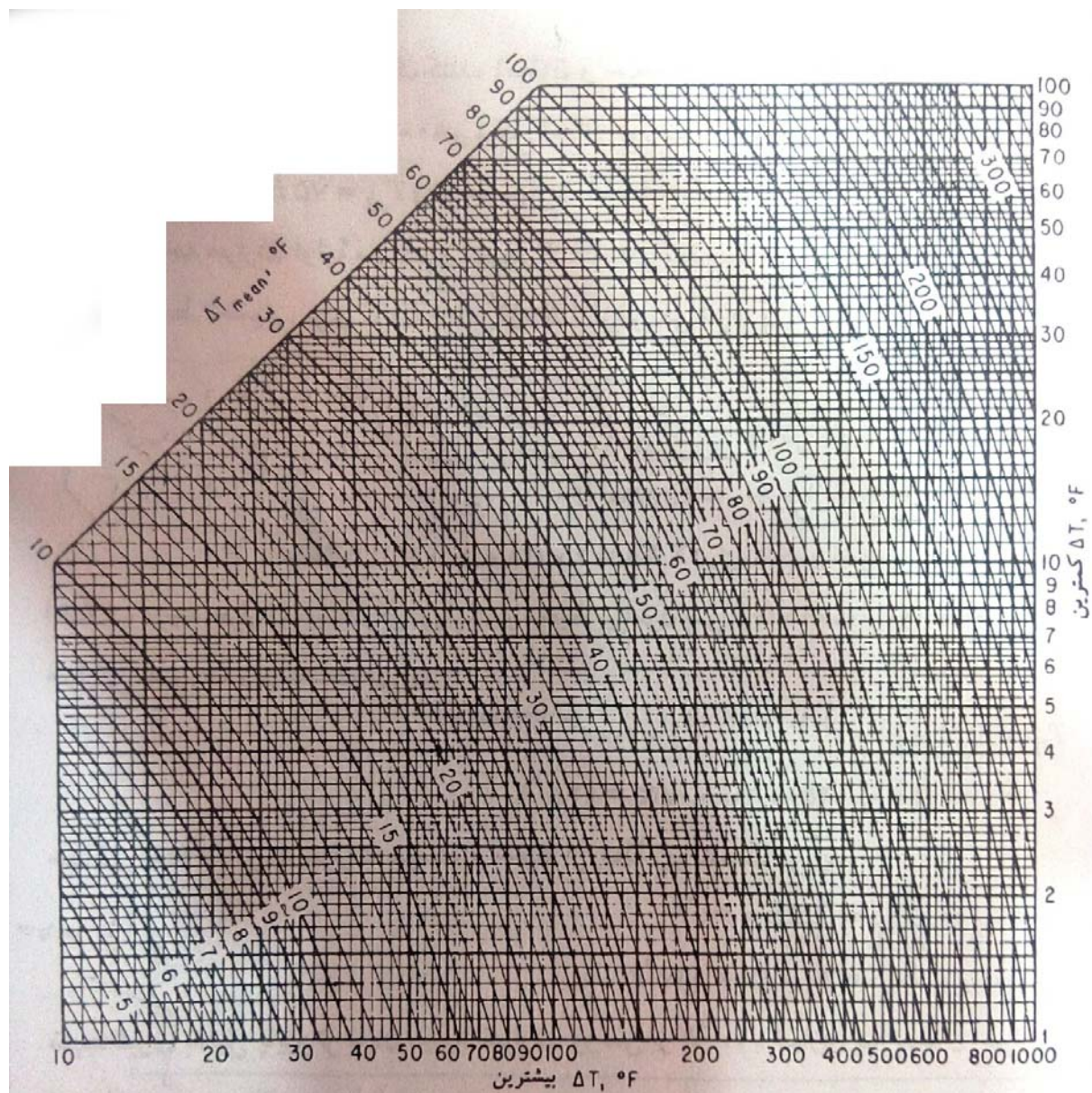
$$T = T_2 - T_1$$

$$T_W = T_{2W} - T_{1W}$$

|                                                       |            |                                                     |           |
|-------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|-----------|
| اختلاف دمای لگاریتمی بر حسب فارنهایت                  | $T_{mean}$ | بیشترین اختلاف دمای ممکن                            | $T_{Max}$ |
| بار حرارتی مبدل برحسب BTU/hr                          | $E_{HE}$   | دمای آب گرم خروجی از مبدل حرارتی بر حسب فارنهایت    | $T_{2W}$  |
| حداقل مقدار سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی برحسب $ft^2$ | $A_c$      | دمای آب سرد ورودی به مبدل حرارتی بر حسب فارنهایت    | $T_{1W}$  |
| دبی آب مبدل حرارتی برحسب GPM                          | $Q_W$      | کمترین اختلاف دمای ممکن                             | $T_{Min}$ |
| دبی روغن در مبدل حرارتی برحسب GPM                     | $Q$        | دمای روغن در خط برگشت قبل از خنک شدن برحسب فارنهایت | $T_2$     |
| اختلاف دمای روغن ورودی و خروجی برحسب فارنهایت         | $T$        | دمای روغن در خط برگشت پس از خنک شدن برحسب فارنهایت  | $T_1$     |
| اختلاف دمای آب ورودی و خروجی برحسب فارنهایت           | $T_W$      |                                                     |           |

\* در بحث طراحی و انتخاب مبدل حرارتی آب و روغن (خنک کن آبی) برای یک سیستم هیدرولیک محاسبه مقادیر حداقل مقدار سطح انتقال حرارت مبدل حرارتی و دبی آب مبدل حرارتی کاملاً ضروری است.

نمودار تعیین مقدار اختلاف دمای لگاریتمی ( $T_{mean}$ ) براساس دما برحسب فارنهایت



اختلاف درجه حرارت متوسط لگاریتمی برای مبدل حرارتی

با جریانهای موازی<sup>۱</sup> یا مخالف<sup>۲</sup> یکدیگر