



نام درس: روش‌های اندازه‌گیری پیشرفته – ابزارهای اندازه‌گیری دما

جلسه هفتم

نام استاد: علی چائی بخش لنگرودی





اندازه گیری دما

◀ اثر ترموالکتریک (The thermoelectric effect)

◀ اثر تغییر مقاومت (Resistance change)

◀ انبساط حرارتی (Thermal expansion)

◀ تابش حرارتی (Radiative heat emission)

◀ تغییر رنگ (Color change)

◀ ترموگرافی (Thermography)



ترموکوپل ها

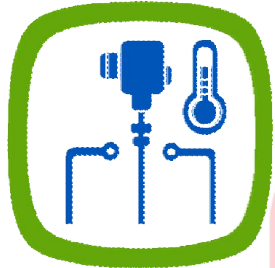
سنسورهای اثر ترموالکتریک

■ از حرارت دادن نقطه تماس دو فلز غیر همنام، یک پتانسیل الکتریکی e.m.f. تولید شده که مقدار آن به صورت تابعی از دما به صورت زیر است.

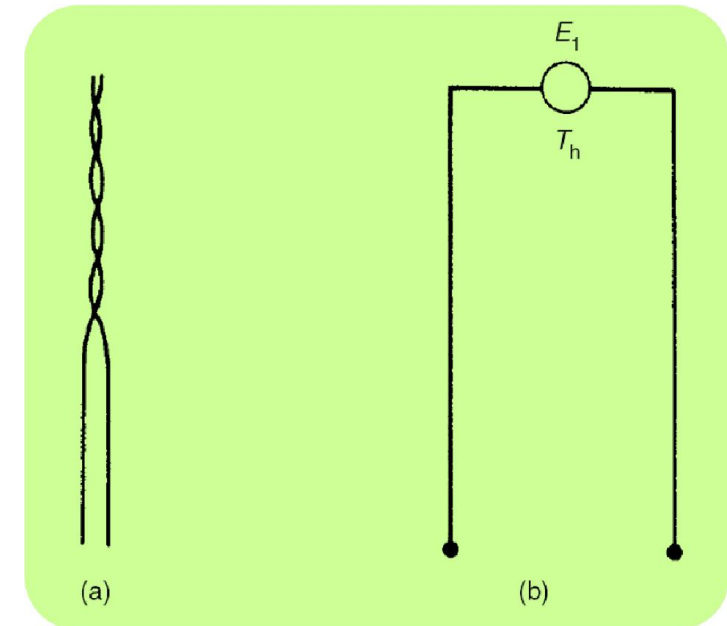
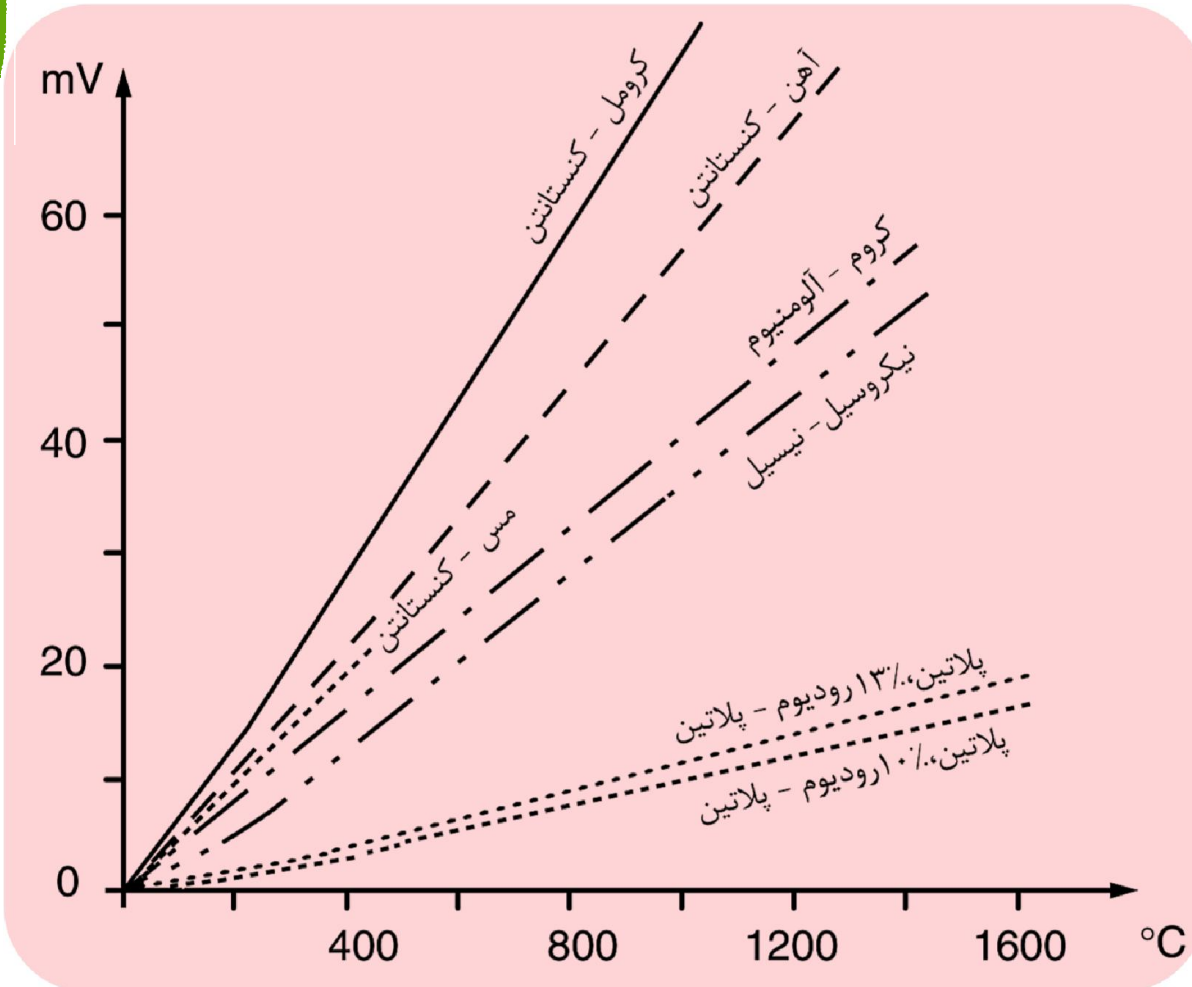
$$e = a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n$$

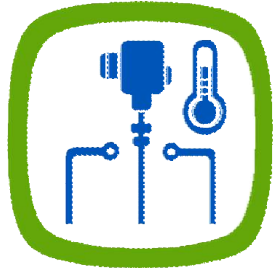
■ به صورت خطی می توان آن را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$e \approx a_1T$$



ترموکوپل ها





انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های آهن - کنستانتن (نوع J)



- ☐ دارای حساسیت $55 \mu V/^{\circ}C$
- ☐ برای کاربردهای اندازه گیری عمومی در محدوده دمایی $^{\circ}C -40$ تا $^{\circ}C 750$
- ☐ عدم صحت اندازه گیری معمول آنها $\pm 0.75\%$ درصد
- ☐ کارایی آنها اندکی تحت تاثیر محیط های اکسید کننده یا کاهنده قرار می گیرد



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های مس - کنستانتن (نوع T)

▼ دارای حساسیت اندازه گیری $43 \mu V/^{\circ}C$

▼ کاربرد اصلی آنها در اندازه گیری دماهای زیر صفر تا زیر $200^{\circ}C$

▼ عدم صحت اندازه گیری $\pm 0.75\%$ درصد

▼ در هر دو محیط اکسیدکننده و کاهنده برای اندازه گیری دماهای بیش از $350^{\circ}C$ می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

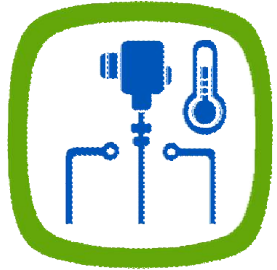


انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های کروم - آلومنیوم (نوع K)

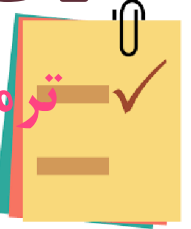


- ❄ به صورت گسترده بکار گرفته می شوند.
- ❄ دارای حساسیت اندازه گیری $41 \mu V/^{\circ}C$
- ❄ مشخصه رفتاری خروجی آنها بخصوص در محدوده دمایی $700^{\circ}C$ تا $1200^{\circ}C$ خطی بوده، که به این دلیل بیشتر کاربرد اصلی آن در این محدوده است.
- ❄ محدوده کامل اندازه گیری آنها در بازه $200^{\circ}C$ - تا $1300^{\circ}C$.
- ❄ برای محیط های اکسیدکننده بسیار مناسب بوده ولی در محیط های کاهنده بدون پوشش محافظ مورد استفاده قرار نمی گیرند.
- ❄ عدم صحت اندازه گیری آنها $\pm 0.75\%$ درصد است.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های نیکروسیل - نیسیل (نوع N)



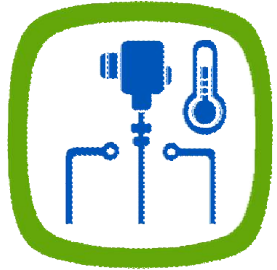
با هدف خاص بهبود پایداری و افزایش عمر ترموکوپل های کروم- آلومنیوم تولید شده اند.

خصوصیات ترموالکتریکی آنها مشابه با ترموکوپل های کروم- آلومنیوم بوده اما پایداری طولانی و عمر آنها حداقل سه برابر است.

در دماهایی بیش از 1300°C عمل می نمایند.

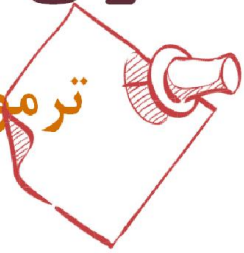
حساسیت اندازه گیری آنها $39 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

نامعینی اندازه گیری معمول آنها $\pm 0.75\%$ درصد.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های نیکل / مولیبدن - نیکل - کبالت (نوع M)



- یکی از سیم های آن از آلیاژ نیکل - مولیبدن شامل ۱۸ درصد مولیبدن و سیم دیگر از آلیاژ نیکل - کبالت با مقدار ۰,۸ درصد کبالت، ساخته شده اند.
- می توانند دماهایی بیش از 1400°C را اندازه گیری نموده، که بیش از تمام ترموکوپل ها با فلزهای پایه است.
- در هر دو محیط اکسیدکننده و کاهنده آسیب می بینند.
- این نوع ترموکوپل به ندرت مورد استفاده قرار گرفته، برای کاربردهای خاص مانند اندازه گیری دمای کوره های خلاء بکار می روند.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های فلزات ناب

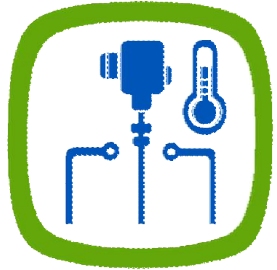
- ✎ اغلب گرانش قیمت بوده، اما می توان از پایداری بالا و عمر طولانی آنها حتی در صورت استفاده در دماهای بالا لذت برد.
- ✎ با این وجود این نوع نیز در محیط های کاهنده نمی توانند استفاده شوند.
- ✎ متاسفانه حساسیت اندازه گیری آنها به نسبت پایین است.
- ✎ به این دلیل و از آنجایی که در به ویژه در کاربردهای دما پایین تغییرات دمای محیط کاری شدید است، استفاده از آنها بیشتر به اندازه گیری دماهای بالا محدود خواهد شد.
- ✎ ترکیبات مختلفی از فلزات پلاتین و تنگستن و فلزات آلیاژی پلاتین- رودیوم ، تنگستن- رنیوم و طلا- آهن برای این منظور استفاده می شوند.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های پلاتین (نوع B)

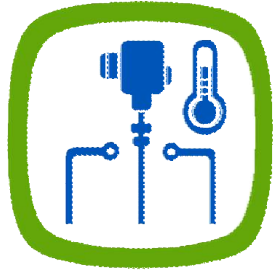
- ❁ یک سیم آن از آلیاژ پلاتین-رودیوم با ۳۰ درصد رودیوم و سیم دیگر از آلیاژ پلاتین-رودیوم با ۶ درصد رودیوم ساخته شده اند.
- ❁ محدوده اندازه گیری تعیین شده بین 50°C تا 1800°C
- ❁ حساسیت اندازه گیری آنها $10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های پلاتین (نوع R)

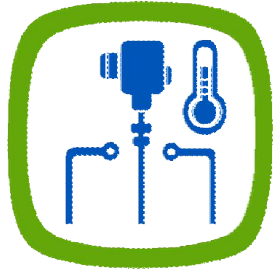
- دارای یک سیم ساخته شده از پلاتین خالص و سیم دیگر از آلیاژ پلاتین-رودیوم با ۱۳ درصد رودیوم است.
- محدوده اندازه گیری آنها بین صفر تا 1700°C
- حساسیت اندازه گیری آنها $10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- عدم صحت اعلام شده برای آنها $\pm 0.5\%$ درصد.



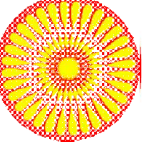
انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های پلاتین (نوع S)

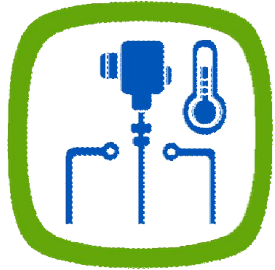
- یک سیم آن ساخته شده از پلاتین خالص و سیم دیگر ساخته شده از آلیاژ پلاتین-رودیوم با ۱۰ درصد رودیوم است.
- این سنسورها دارای خصوصیات مشابه با تجهیزات نوع R بوده، محدوده دمایی اندازه گیری اعلام شده برای آنها بین صفر تا 1750°C می باشد.
- حساسیت اندازه گیری $10 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
- عدم صحت آنها $\pm 0.5\%$ درصد.



انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های تنگستن (نوع C) 

- دارای یک سیم ساخته شده از تنگستن خالص و سیم دیگر از آلیاژ تنگستن / رودیوم است.
- حساسیت اندازه گیری آنها $20 \mu V/^{\circ}C$ بوده که دو برابر مقدار ترموکوپل های پلاتینی است.
- می توانند در دماهایی بیش از $2300^{\circ}C$ کار کنند.
- متاسفانه در هر دو محیط اکسیدکننده و کاهنده آسیب پذیر بوده، بنابراین کاربرد اصلی آنها در اندازه گیری دمای کوره های خلاء است.



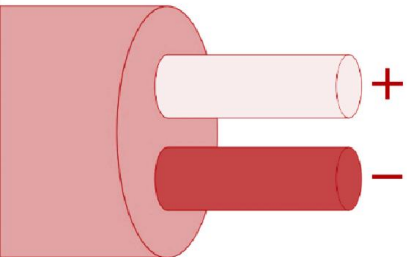
انواع ترموکوپل ها

ترموکوپل های کروم - طلا / آهن

- دارای یک سیم ساخته شده از کروم و دیگری ساخته شده از آلیاژ طلا/ آهن است.
- در حقیقت، این سیم تقریباً طلای خالص بوده که محتوی مقدار اندکی آهن (معمولاً ۰/۱۵ درصد) می باشد.
- این ترموکوپل ها غیرمرسوم با کاربرد خاص، دارای حساسیت اندازه گیری $15 \mu V/^{\circ}C$ طراحی شده برای کاربردهای تبرید (در دماهای بسیار پایین) می باشد. پایین ترین دمای قابل اندازه گیری ۱,۲ K است.
- انواع مختلفی از این نوع سنسور وجود دارد که با توجه به محتوی آهن آن متفاوت و در نتیجه محدوده اندازه گیری و حساسیت آنها نیز متفاوت است.
- با توجه به تفاوت محتوی آهن و همچنین به دلیل غیر مرسوم بودن آن، حرف بین المللی مشخصی برای آن در نظر گرفته نشده است.



روش های اندازه گیری پیشرفته - ابزارهای اندازه گیری دما (جلسه هفتم)



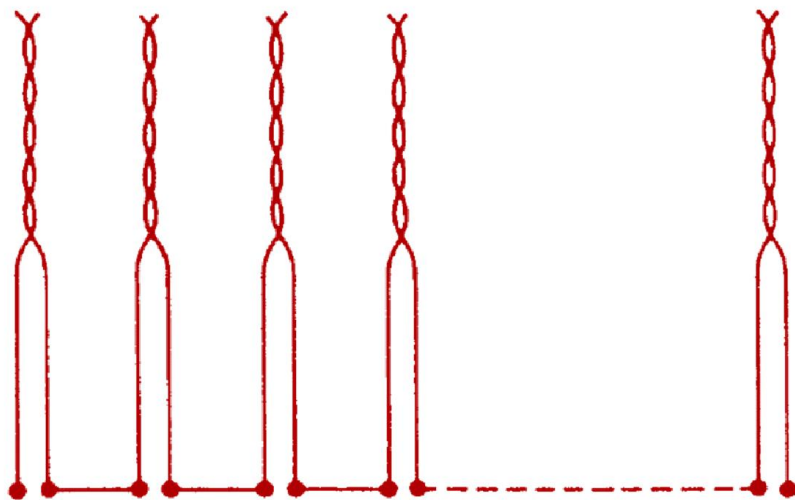
Connectors					Connectors					
ANSI Code	ANSI MC 96.1 Colour Coding		Alloy Combination		Comments Environment Bare Wire	Maximum T/C Grade Temp. Range	EMF (mV) Over Max. Temp. Range	IEC 584-3 Colour Coding		IEC Code
	Thermocouple Grade	Extension Grade	+ Lead	– Lead				Thermocouple Grade	Intrinsically Safe	
J			IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidising at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	–210 to 1200°C –346 to 2193°F	–8.095 to 69.553			J
K			CHROME NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	NICKEL-ALUMINUM Ni-Al (magnetic)	Clean Oxidising and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range. Most Popular Calibration	–270 to 1372°C –454 to 2501°F	–6.458 to 54.886			K
T			COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Mild Oxidising. Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture is Present. Low Temperature & Cryogenic Applications	–270 to 400°C –454 to 752°F	–6.258 to 20.872			T
E			CHROME NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Oxidising or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree	–270 to 1000°C –454 to 1832°F	–9.835 to 76.373			E
N			NICROSIL Ni-Cr-Si	NISIL Ni-Si-Mg	Alternative to Type K. More Stable at High Temps	–270 to 1300°C –450 to 2372°F	–4.345 to 47.513			N
R	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-13% RHODIUM Pt-13% Rh	PLATINUM Pt	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	–50 to 1768°C –58 to 3214°F	–0.226 to 21.101			R
S	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-10% RHODIUM Pt-10% Rh	PLATINUM Pt	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	–50 to 1768°C –58 to 3214°F	–0.236 to 18.693			S
U	NONE ESTABLISHED		COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	Extension Grade Connecting Wire for R & S Thermocouples. Also Known as RX & SX Extension Wire.					U
B	NONE ESTABLISHED		PLATINUM-30% RHODIUM Pt-30% Rh	PLATINUM-6% RHODIUM Pt-6% Rh	Oxidising or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temp. Common Use in Glass Industry	0 to 1820°C 32 to 3308°F	0 to 13.820			B
G* (W)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN W	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 38.564	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		G (W)
C* (W5)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN-5% RHENIUM W-5% Re	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 37.066	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		C (W5)
D* (W3)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN-3% RHENIUM W-3% Re	TUNGSTEN-25% RHENIUM W-25% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidising Atmosphere	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 39.506	NO STANDARD USE ANSI COLOUR CODE		D (W3)

ترموپیل

یک وسیله اندازه گیری دما شامل مجموعه ای از ترموکوپل های سری متصل به هم بوده به صورتی که تمامی اتصالات مرجع آنها در یک دمای سرد یکسان و تمامی اتصالات گرم آنها در معرض دمای اندازه گیری باشند.

برای عیب یابی تجهیزات مورد استفاده قرار می گیرد.

دمای عملکرد (آستانه) آن بین ۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد بالای دمای محیط است.

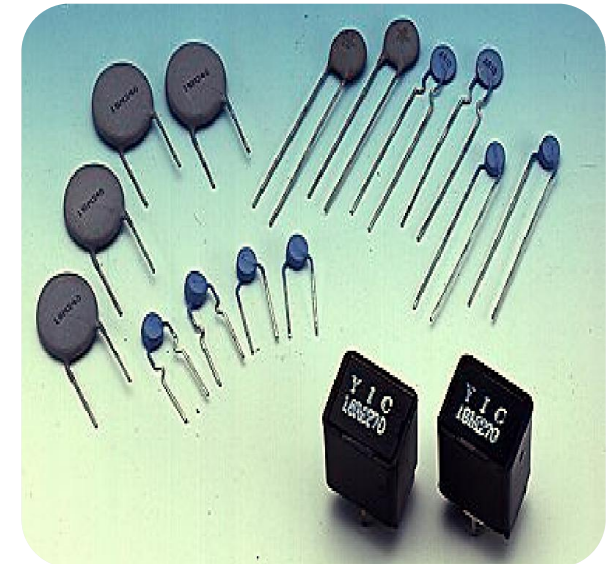


دماسنج های مقاومتي (RTD)

تجهیزاتی هستند که بر اثر تغییر دما مقاومت آنها تغییر خواهد کرد. این تغییرات به صورت یک رابطه غیرخطی به صورت زیر است:

$$R = R_0(1 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n)$$

$$R \approx R_0(1 + a_1T)$$



دماسنج های مقاومتی (RTD)

محدوده دمایی کاری چهار نوع مرسوم از دماسنج های مقاومتی RTD به صورت زیر است:

Platinum: -270°C to $+1000^{\circ}\text{C}$ (though use above 650°C is uncommon)

Copper: -200°C to $+260^{\circ}\text{C}$

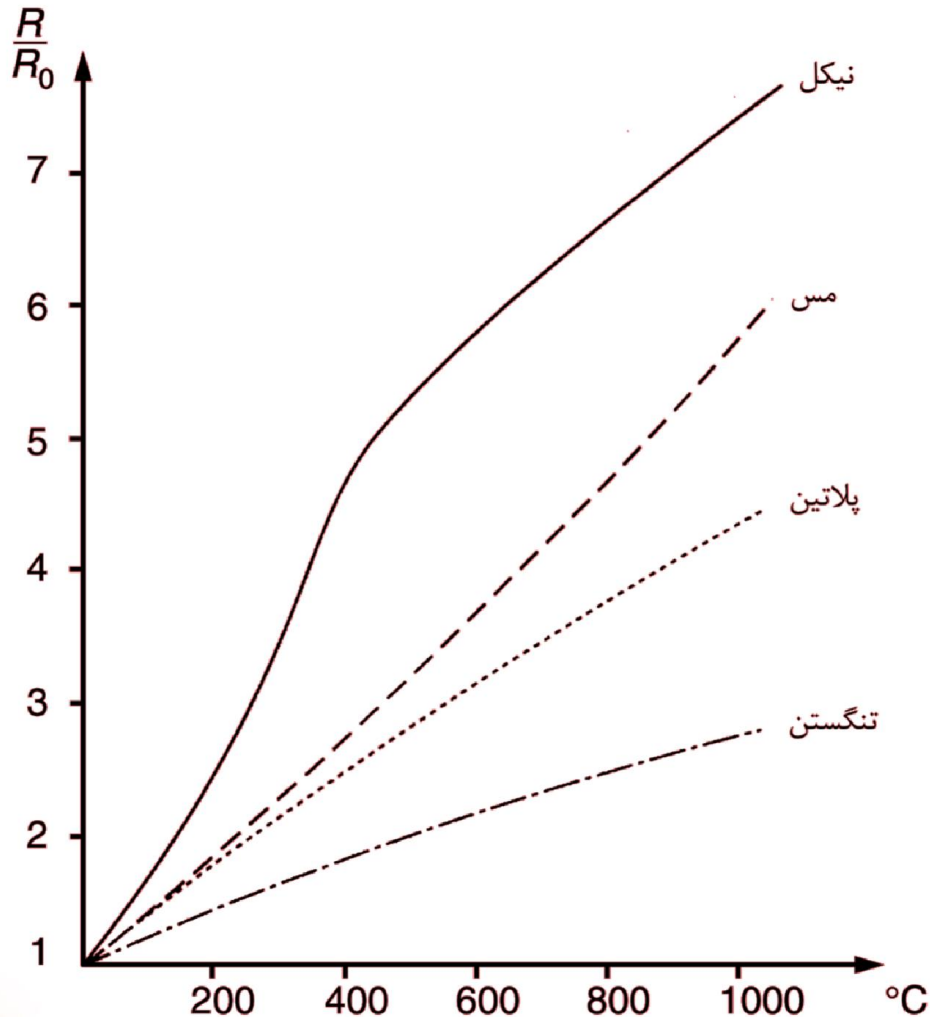
Nickel: -200°C to $+430^{\circ}\text{C}$

Tungsten: -270°C to $+1100^{\circ}\text{C}$

دماسنج‌های مقاومتی (RTD)

تغییرات غیرخطی مقاومت بر حسب تغییرات دما

نیکل رفتار غیرخطی بسیار زیادی دارد

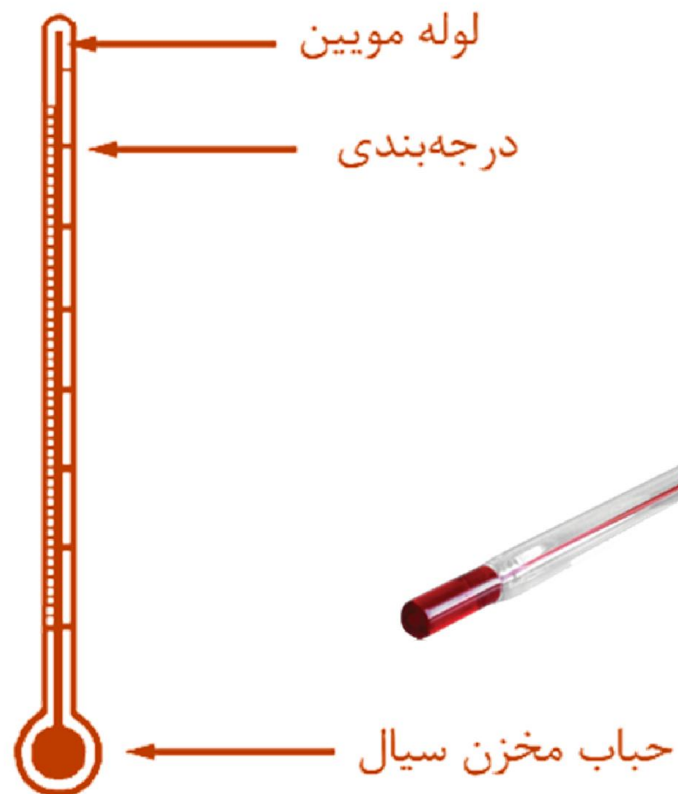


روش انبساط حرارتی

❄ مرسوم ترین نوع دماسنجهای شیشه ای هستند

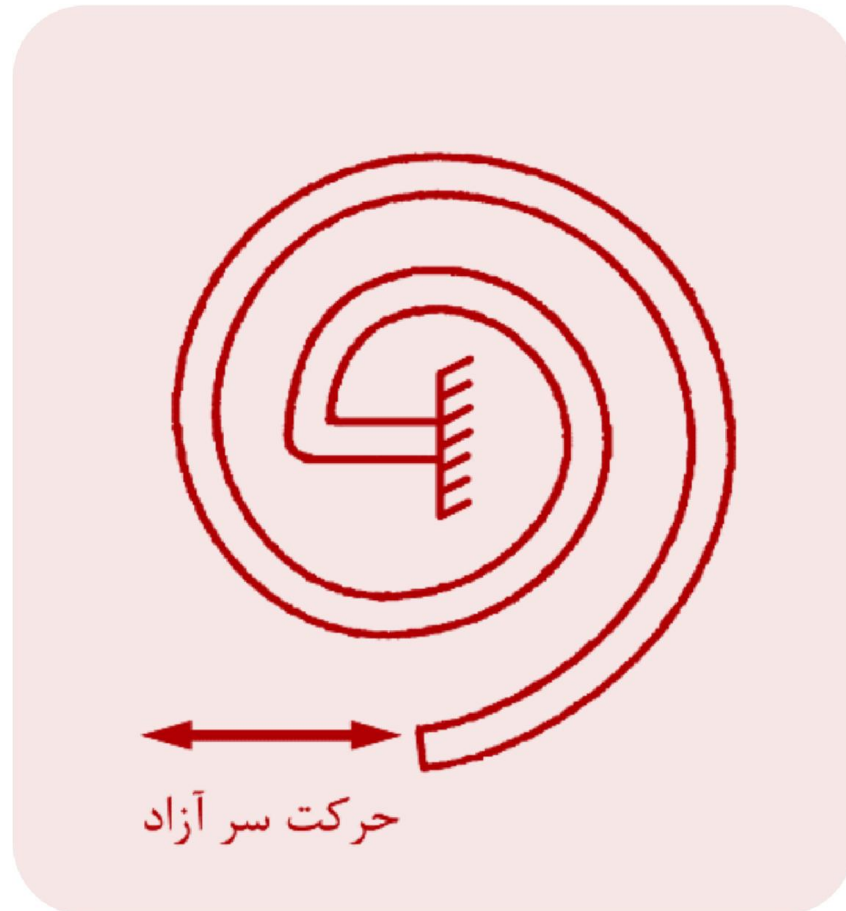
❄ بازه عملکرد $^{\circ}\text{C}$ -۲۰۰ تا $^{\circ}\text{C}$ +۱۰۰۰

❄ عدم صحت: ± 1 درصد



روش انبساط حرارتی

دماسنج های دوفلزی



مس / اینور (Invar) (آلیاژ نیکل و استیل)

محدوده دمایی: -75°C تا $+1500^{\circ}\text{C}$

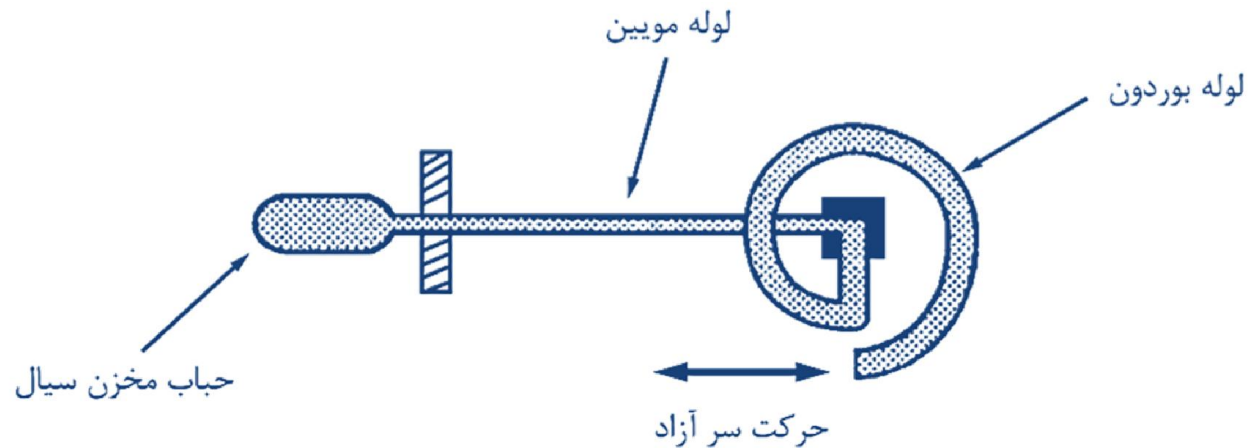
عدم صحت: $\pm 0.5\%$

نیازمند وسیله الکتریکی LVDT برای اندازه

گیری جابجایی سر انتهایی است

روش انبساط حرارتی

استفاده از لوله بردن



- محدوده دمایی: $^{\circ}\text{C} - 250$ تا $^{\circ}\text{C} + 2000$
- عدم صحت: $\pm 0.5\%$
- تاخیر زمانی نسبتاً طولانی
- برای دمای کوره های بلند استفاده می شود.

پرومترهای (آذر سنج) نوری

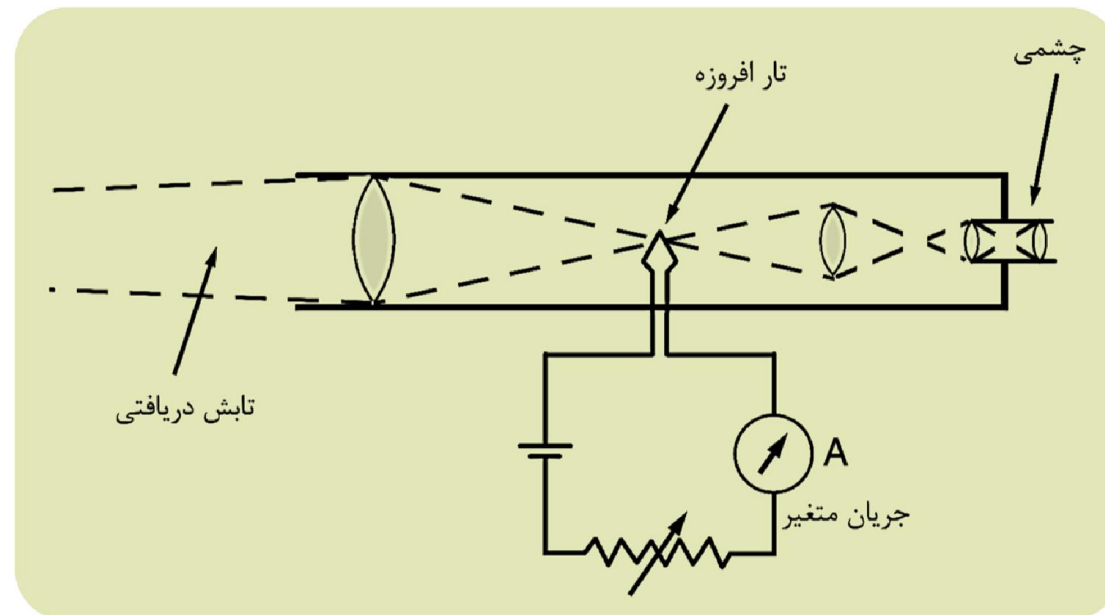
برای اندازه گیری دماهای بسیار بالا

عدم صحت: $\pm 5^{\circ}\text{C}$

برای دماهای تا 10000°C

شامل یک المان حرارتی است که با تغییر جریان رنگ آن عوض می شود

با تغییر جریان نور رنگ این المان باید با رنگ نور دریافتی از جسم گرم یکی شود.



پیرومترهای (آذر سنج) نوری



پیرومترهای تشعشی

این نوع پیرومترها بر دو نوع مختلف هستند

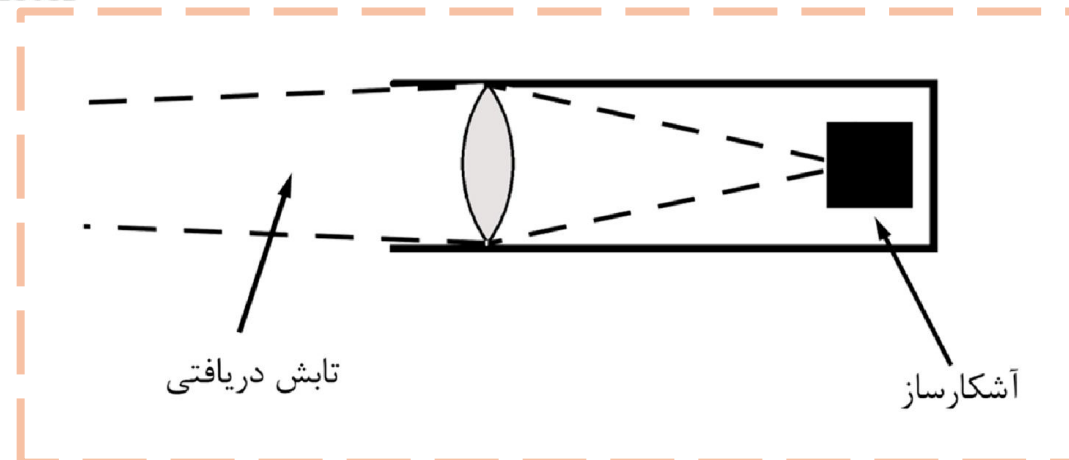
۱. آشکارساز حرارتی

۲. آشکارساز فوتونی

محدوده عملکرد آن 100°C تا 3600°C



Radiation prometer





پیرومترهای تشعشعی باند گسترده



Broad-band Radiation Pyrometers



این نوع پیرومترها شامل آشکارسازهای حرارتی می باشند

○ ترموپیل های کنستانتن - مانگاین (Manganin–Constantan)

○ محدوده عملکرد $^{\circ}\text{C}$ ۲۰- تا $^{\circ}\text{C}$ ۱۸۰۰+

○ عدم صحت : $\pm 0.5\%$ درصد در بازه کامل

○ به صورت معمول دچار خطایی به میزان $^{\circ}\text{C}$ ۱۰ در طی زمان ۱ تا ۲ سال خواهند شد.



Narrow-band Radiation Pyrometers

این نوع پیرومیترها شامل آشکارساز از نوع سلولهای فوتوولتاییک (فوتوسل) هستند



- ✿ بازه طول موج محدود $0.5 \mu\text{m}$ تا $1.2 \mu\text{m}$
- ✿ دچار انحرافی به میزان 1°C در هر ۱۰ سال می‌باشند.
- ✿ بیشتر برای اندازه‌گیری دماهای داخلی کوره‌ها



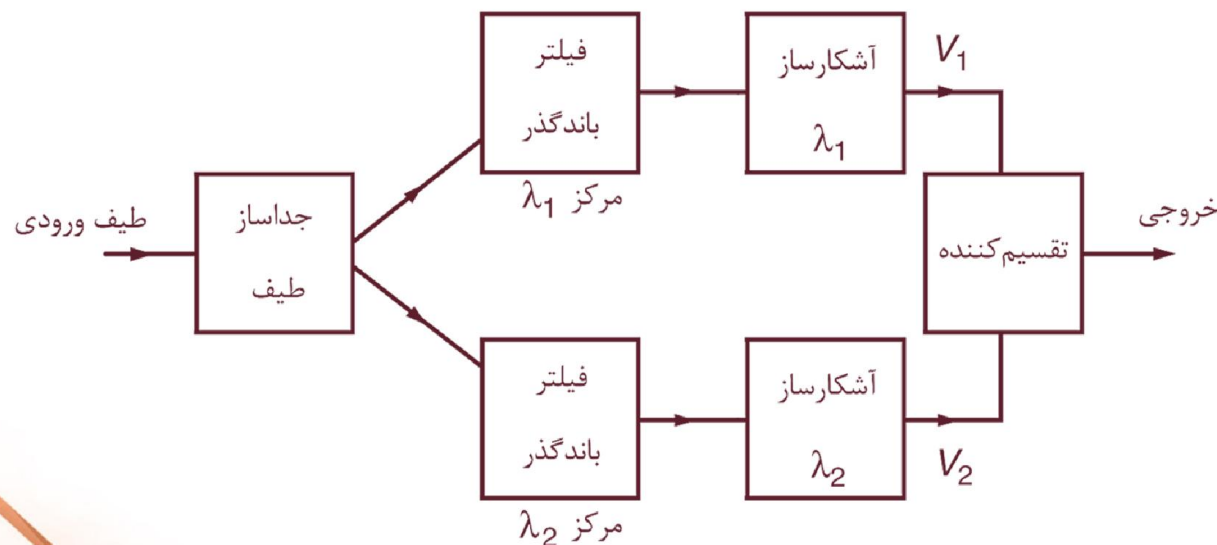
Two-colour Pyrometer (Ratio Pyrometer)

پیرومترهای دو رنگی (تناسبی)

نور دریافتی که توسط جداساز به موج λ_1 و λ_2 تقسیم می شود.

نور فیلتر شده سبب ایجاد ولتاژهای متفاوت بر روی آشکازها می شود.

تغییر در نسبت ولتاژها متناسب با حرارت جسم است.

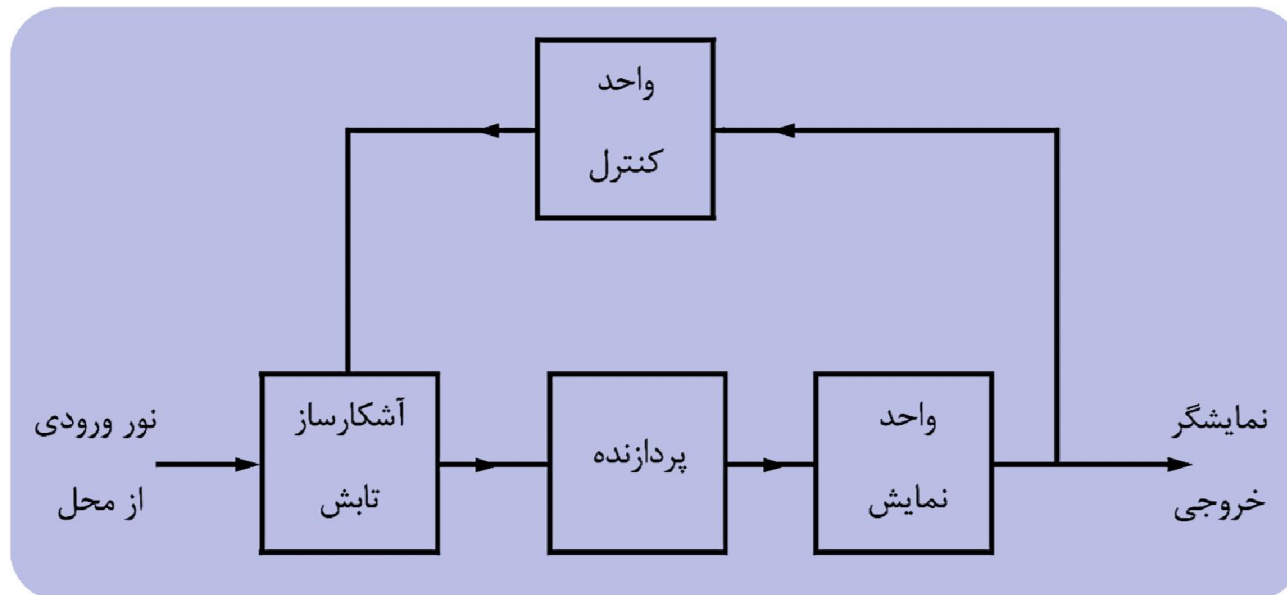


ترموگرافی

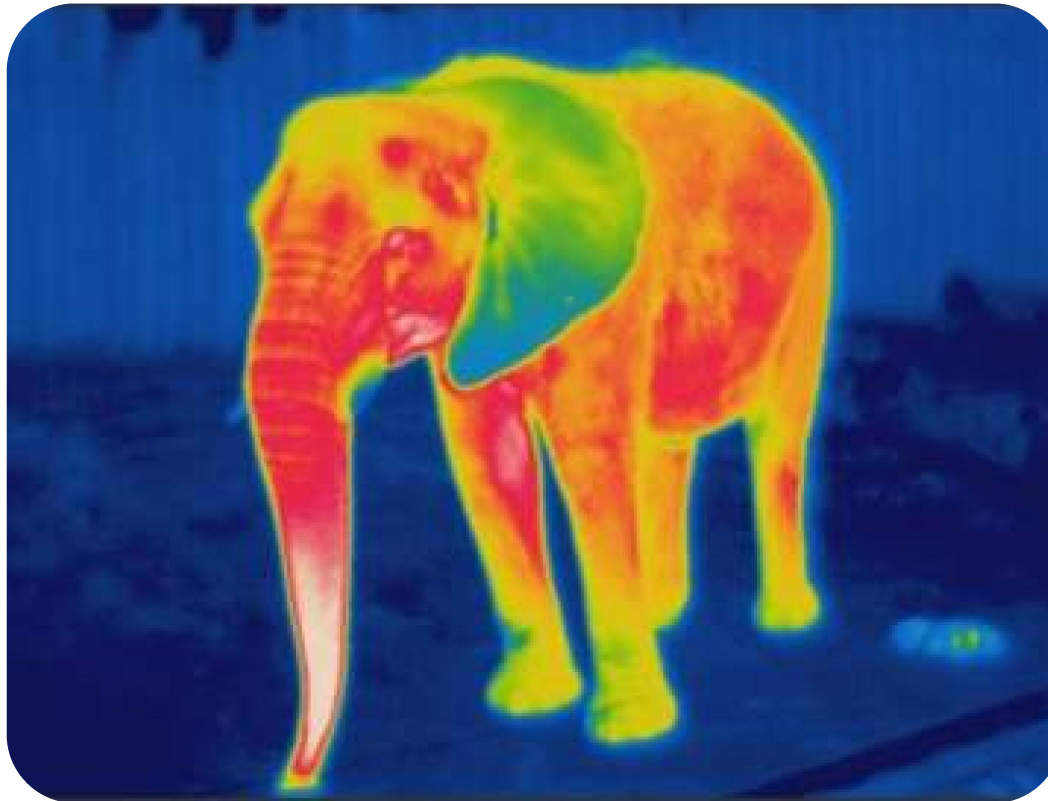
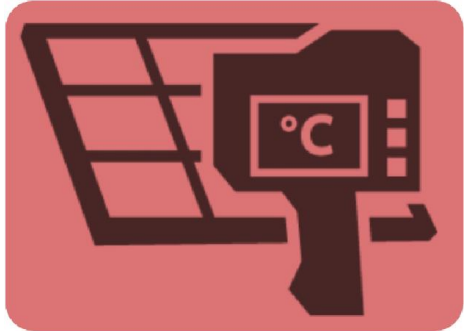
Thermal Imaging:

عکس برداری حرارتی بر اساس آشکارسازی طیف تابش مادون قرمز ارسالی از یک جسم می‌باشد.

برای دماهای 20°C تا 1500°C

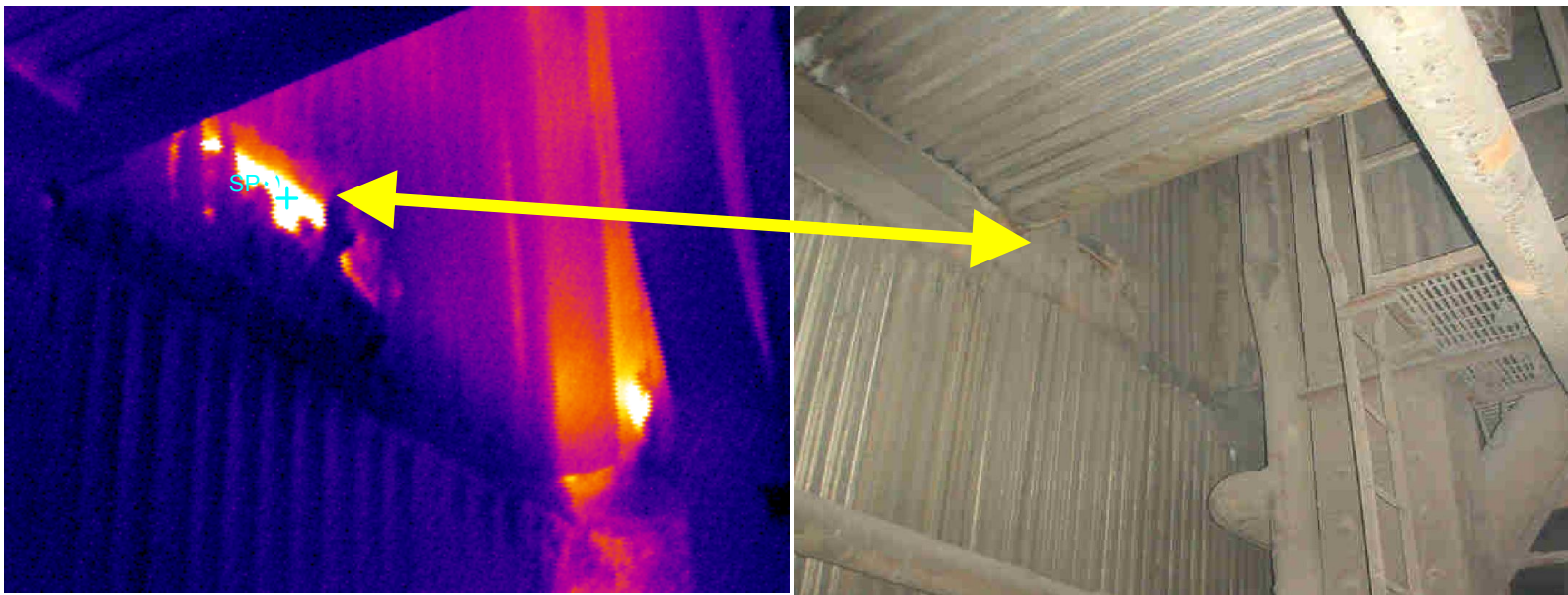


ترموگرافی



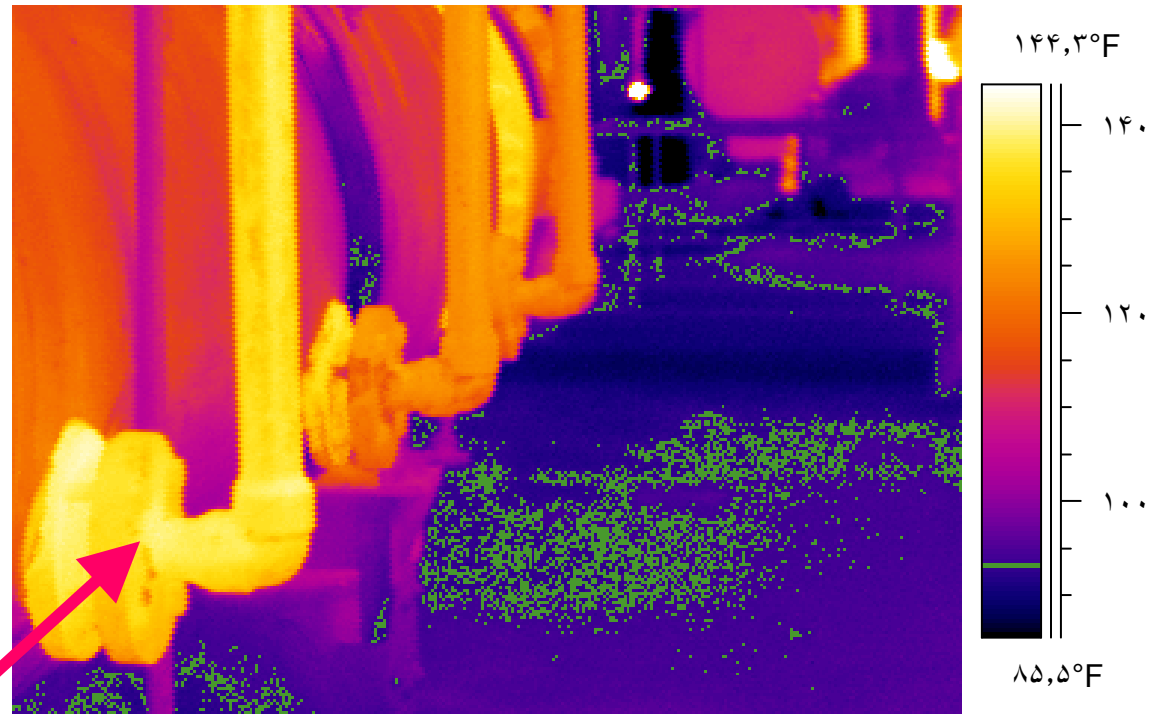
ترموگرافی

یکی از کاربردهای مرسوم از ترموگرافی شناسایی نشت در بویلرهای نیروگاهی است. نقطه نشت بخار در شکل با روش ترموگرافی مشخص شده در صورتی که فاقد هرگونه تظاهرات در شکل سمت راست است.



ترموگرافی

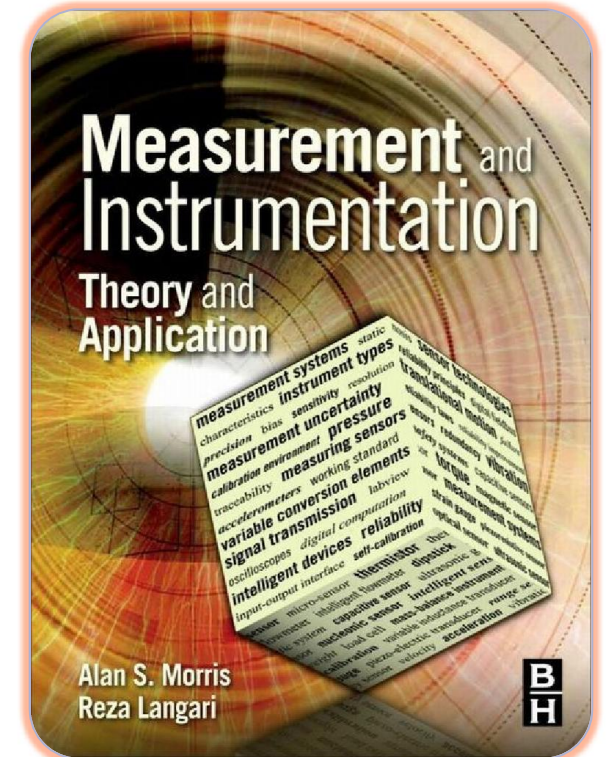
دمای نقاط مختلف توسط روش ترموگرافی به سادگی مشخص می‌شود.



توجه به تغییر دمای فلنچ‌ها

منابع

- Measurement and Instrumentation: Theory and Application, A. S. Morris, R. Langari, 2013
- Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition, Butterworth-Heinemann, (Alan S. Morris),
- Condensed Handbook of Measurement and Control (3rd Edition), ISA publication, (N. E. Battikha)
- Measurement Systems : Application and Design, McGraw-Hill, (E. Doebelin)





پایان جلسه هفتم