

# گر مکن ها و حسگرهای حرارتی

- ❖ مقدمه
- ❖ انواع گرمکن‌ها
- ❖ انواع اتصال گرمکن‌ها به سطح
- ❖ انتخاب گرمکن مناسب
- ❖ حسگرهای حرارتی
- ❖ سیستم‌های کنترل گرمکن‌ها

## گر مکن ها و حسگرها

## مقدمه

- ❖ تعریف گرمکن: هر وسیله‌ای که با هدف حفظ یا افزایش دما تولید حرارت می‌نماید
- ❖ علل استفاده از گرمکن‌ها

○ محافظت از قطعات مختلف در شرایط سرد محیطی

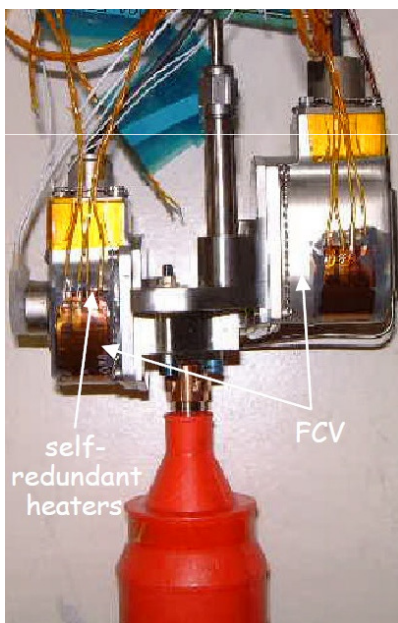
- شرایط محیطی پیش‌بینی نشده
- تغییر در ماموریت ماهواره
- استفاده از گرمکن‌ها تنها برای بقای ماهواره و اجزاء آن (عدم استفاده در ماموریت عادی ماهواره)

○ کنترل دقیق دمای یک قطعه با استفاده از گرمکن‌ها

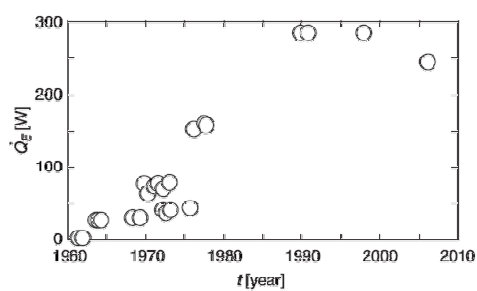
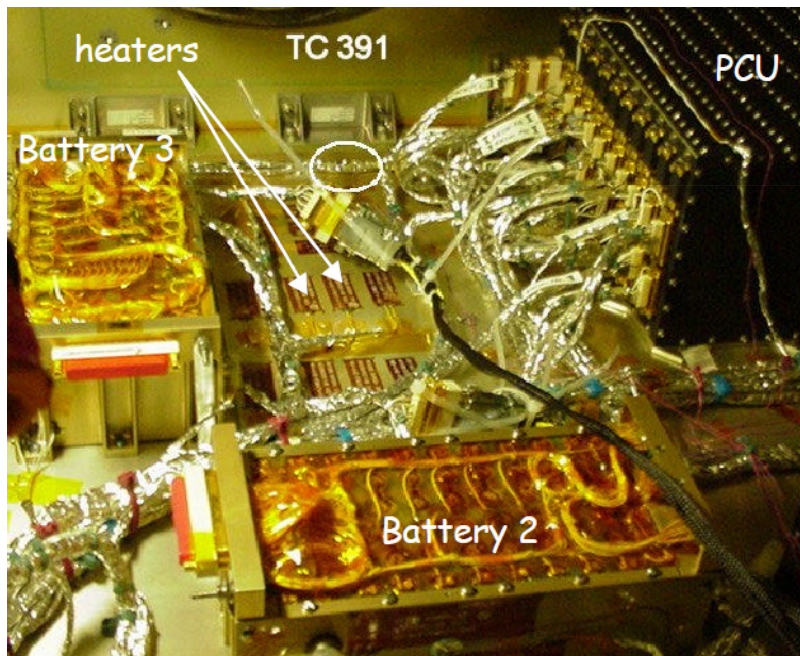
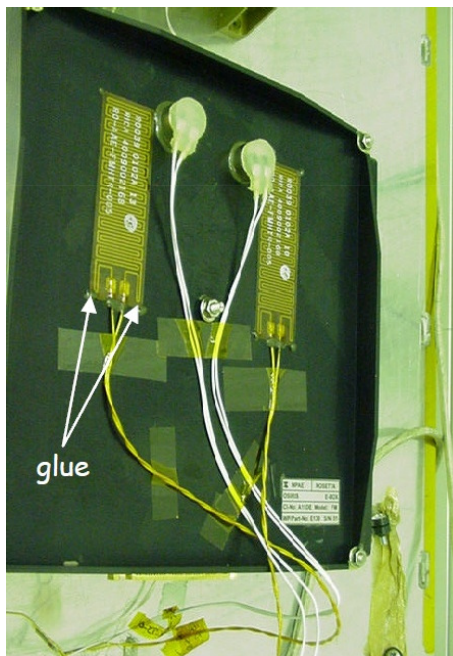
○ کنترل گرادیان‌های دمایی در قطعات

○ گرم کردن قطعات برای رسیدن به حداقل دمای عملیاتی خود قبل از روشن نمودن

- به عنوان مثال؛ موتورهای سوخت جامد و یا سوخت هیدرازین (دماهای بالاتر از ۱۵ درجه سانتیگراد برای روشن کردن)



❖ نمونه‌هایی از کاربردهای گرگن‌ها در ماهواره‌ها



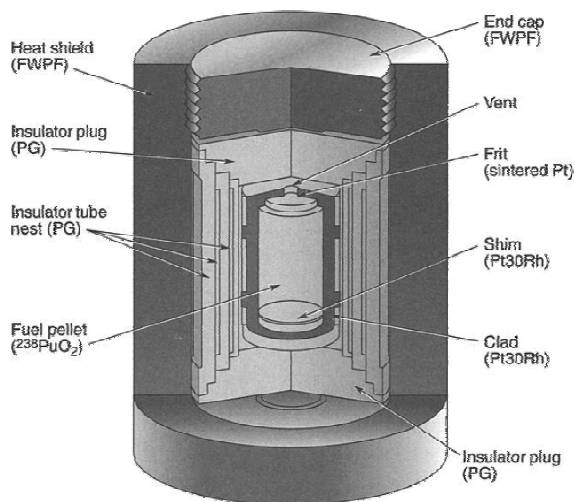
❖ انواع گرگن‌های مورد استفاده در ماهواره‌ها و فضاپیماها

○ گرگن‌های رادیویزوتوپ (radioisotope heater)

- تولید گرما با استفاده از واپاشی خودبخودی هسته مواد رادیویزوتوپ
- مورد استفاده در فضاپیماهایی با مأموریت‌های بین سیاره‌ای و دراز مدت با توجه به انرژی خورشیدی محدودتر در مسافت‌های بین سیاره‌ای
- عمر عملکردی بسیار طولانی
- عدم نیاز به استفاده از باتری

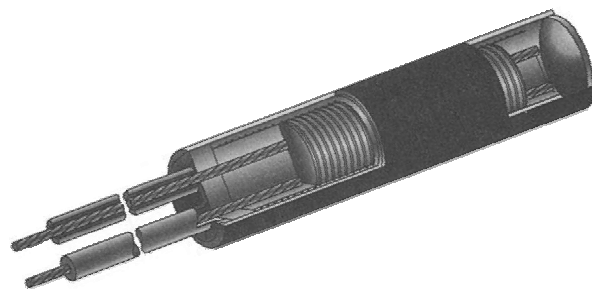
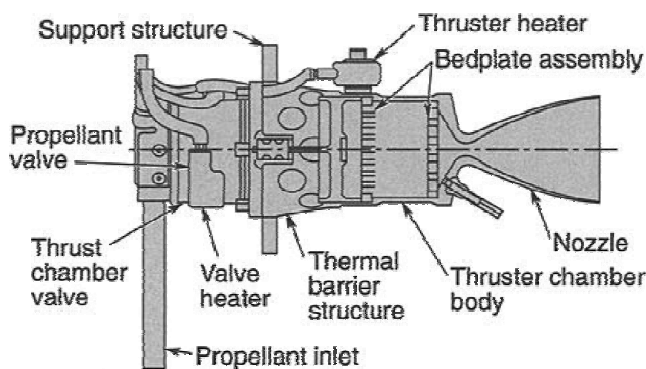
○ گرگن‌های الکتریکی

- گرگن‌های صفحه‌ای (patch heater)
- گرگن‌های فشنگی (cartridge heater)



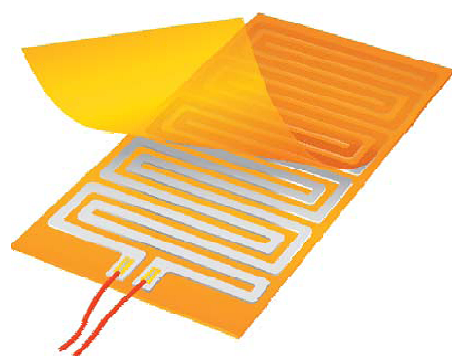
### ❖ گرمکن های فشنگی (cartridge heater)

- تولید حرارت با استفاده از جریان الکتریکی
- متشکل از مقاومت الکتریکی با غلاف فلزی در اطراف آن
- قرارگیری گرمکن در شیار تعبیه شده در جسم
- کاربرد محدود این نوع گرمکن ها و استفاده در مواردی که به دماهای بالا نیاز است
- مثال: گرم کردن موتورهای تغییر مانور در ماهواره ها (بستر کاتالیزوری موتور)

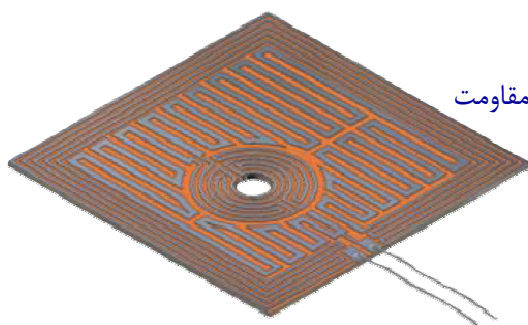


### ❖ گرمکن صفحه ای انعطاف پذیر (Flexible Patch Heater)

- مقاومت الکتریکی در میان دو صفحه عایق و انعطاف پذیر
- صفحات عایق الکتریکی با خاصیت هدایت حرارتی مناسب
- وزن بسیار کم به نسبت توان تولیدی بالا
- مناسب برای کاربردهای فضایی
- قابلیت شکل پذیری، با توجه به انعطاف پذیری و ضخامت کم
- امکان استفاده بر روی انواع سطوح تخت و منحنی



- سرعت گرم و سرد شدن بالا (اینرسی حرارتی پایین) انتقال حرارت سریع با توجه به نازک بودن لایه عایق
- امکان کنترل دقیق دمای قطعات خاص

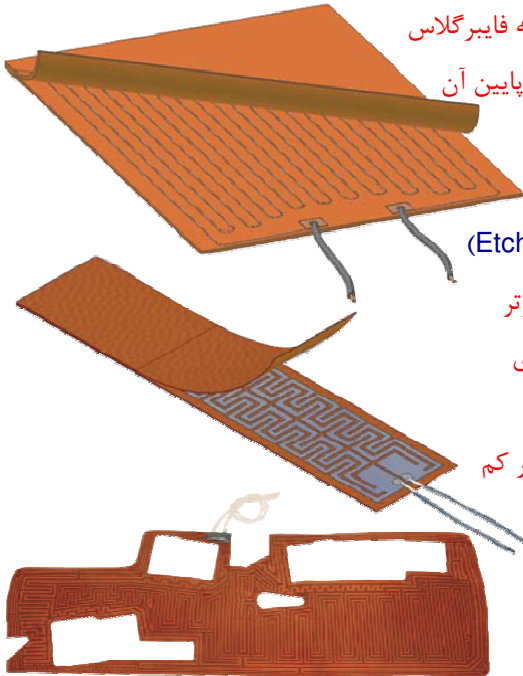


- توزیع یکنواخت یا منطقه ای حرارت، با توجه به امکان توزیع مقاومت الکتریکی در سطح، با تعیین نقشه و شکل مقاومت الکتریکی
- برای گرم کردن لنز دوربین و قطعات خواص

## ❖ تقسیم بندی گرمکن های صفحه ای انعطاف پذیر بر اساس ساختار مقاومت الکتریکی

○ استفاده از سیم به عنوان مقاومت الکتریکی بین دو صفحه نازک عایق (Wire Wounded)

- افزایش استحکام گرمکن با پیچیدن سیم به دور یک هسته فایبرگلاس
- کاربرد گرمکن به عنوان مدل پروتوتایپ با توجه به قیمت پایین آن



○ استفاده از مقاومت الکتریکی مشابه مدارهای چاپی (Etched Foil)

- امکان طراحی نقشه مقاومت الکتریکی با استفاده از کامپیوتر
- ایجاد نقشه دلخواه مقاومت الکتریکی بر روی صفحات فلزی
- مانند مدارهای چاپی با دستگاه های اتوماتیک
- استفاده از صفحات فلزی مانند آلیاژ نیکل با ضخامت بسیار کم (حدود ۰.۰۱/۰ اینچ)
- هزینه بالا و طول عمر بالا

## ❖ تقسیم بندی گرمکن های صفحه ای بر اساس جنس و شکل لایه های عایق الکتریکی

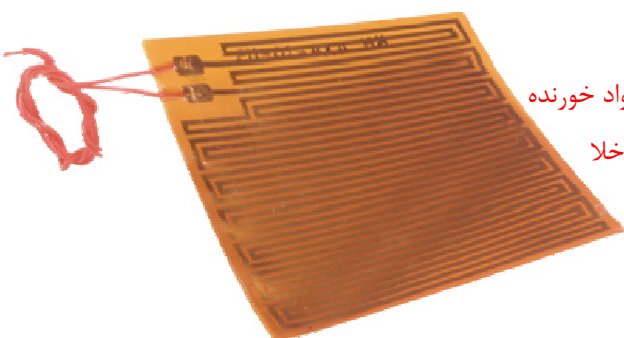
○ گرمکن های سیلیکونی (Silicon Rubber Heater)

- جنس صفحات عایق از مواد سیلیکونی
- استفاده از اپوکسی گلاس جهت عایق الکتریکی
- دارای سرعت انتقال حرارت بالاتر نسبت به سایر انواع گرمکن های صفحه ای انعطاف پذیر
- محدوده دمایی  $-45$  to  $235^{\circ}\text{C}$



○ گرمکن های کپتونی (Kapton Insulated Flexible Heater)

- جنس صفحات عایق الکتریکی از کپتون
- مقاومت گرمکن (عایق کپتونی) در برابر انواع مواد خورنده
- مزیت اصلی این گرمکن، توانایی تحمل شرایط خلا
- کاربرد گسترده در صنایع فضایی
- محدوده دمایی  $-200$  to  $260^{\circ}\text{C}$



## گر مکن های صفحه‌ای

گر مکن باو سکرنا

❖ تقسیم‌بندی گرمکن‌های صفحه‌ای بر اساس جنس و شکل لایه‌های عایق الکتریکی

○ گرمکن‌های نواری (Tape Heater)

- بصورت چسب نواری
- امکان اتصال مستقیم گرمکن به سطوح مختلف



○ گرمکن‌های ریسمانی (Rope Heater)

- امکان پیچیدن گرمکن به دور جسم
- مورد استفاده در گرم کردن سطوح استوانه‌ای با عرض کم



## گر مکن های صفحه‌ای

گر مکن باو سکرنا

❖ نحوه اتصال گرمکن‌های صفحه‌ای انعطاف پذیر

○ اهمیت اتصال کامل گرمکن به سطح

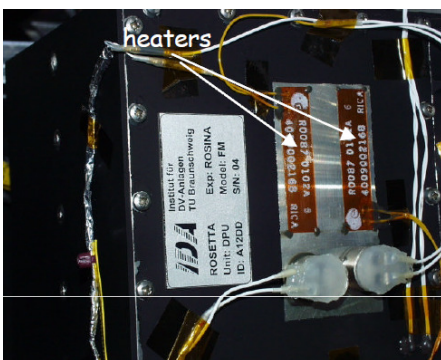
- توزیع مناسب و مطابق انتظار حرارت بر روی سطح
- جلوگیری از خرابی و سوختن گرمکن با توجه به تمرکز حرارت

○ اتصال کامل گرمکن به سطح با مقاومت حرارتی حداقل

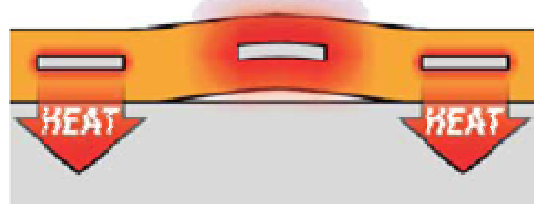
○ جلوگیری از تشکیل حباب در محل اتصال گرمکن به سطح

❖ انواع سطوح محل اتصال گرمکن

○ سطوح تخت، سطوح استوانه‌ای، سطوح پیچیده



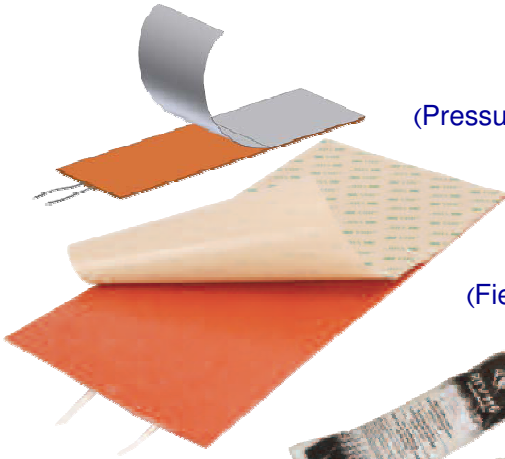
Proper installation ensures good heat flow from the heater to the heat sink



Voids or bubbles beneath the heater cause localized hot spots which can result in premature heater failure

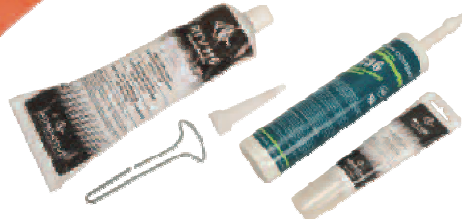
## ❖ اتصال گرگن های صفحه ای بر روی سطوح تخت

○ از طریق چسب (Pressure Sensitive Adhesive (PSA) Backing)

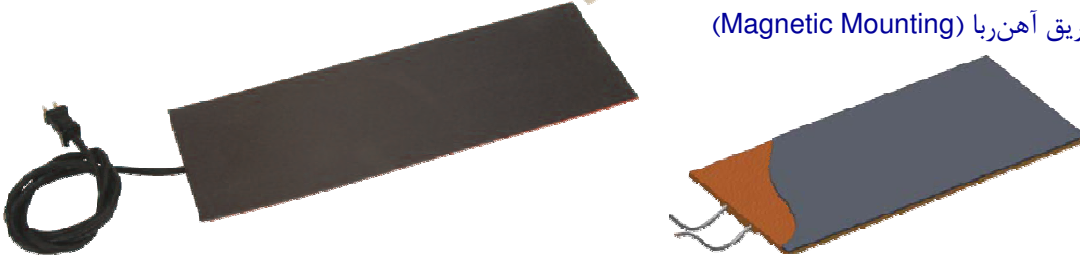


○ استفاده از طریق چسب های موضعی (Field Applied Adhesive)

• قابل استفاده در سطوح غیر تخت



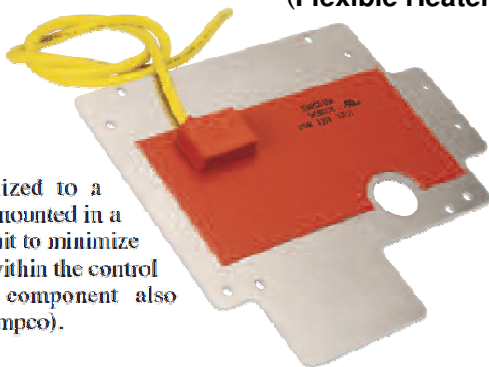
○ از طریق آهنربا (Magnetic Mounting)



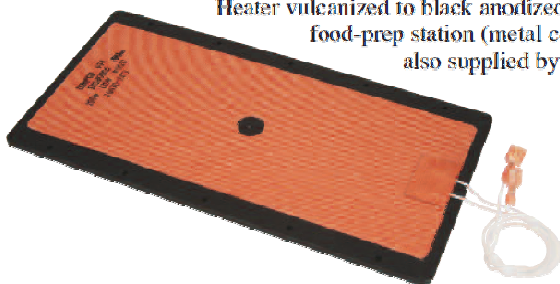
## ❖ اتصال گرگن های صفحه ای به سطوح فلزی

(Flexible Heater Factory Vulcanizing to Metal Component)

Heater vulcanized to a metal plate is mounted in a refrigeration unit to minimize condensation within the control panel (metal component also supplied by Tempeo).



Heater vulcanized to black anodized aluminum for food-prep station (metal component also supplied by Tempeo).



گرهکن باو سکرنا

## اتصال گرهکن های صفحه ای

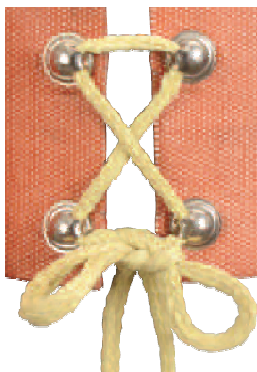
❖ اتصال ثابت گرهکن های صفحه ای



گرهکن باو سکرنا

## اتصال گرهکن های صفحه ای

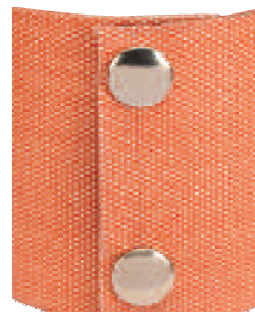
❖ اتصال مکانیکی گرهکن های صفحه ای انعطاف پذیر (Flexible Heater Mechanical Fasteners)



**Boot Hooks & Lacing Cord**



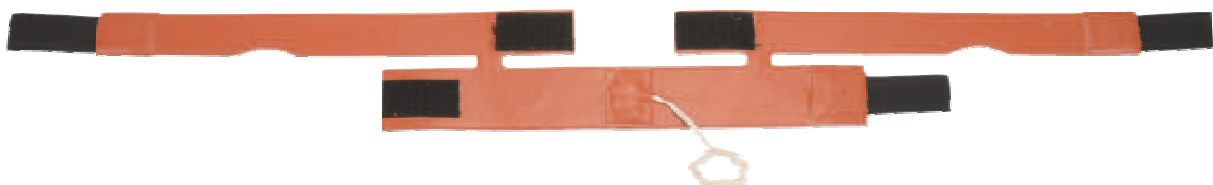
**Grommets & Lacing Cord**



**Snaps**

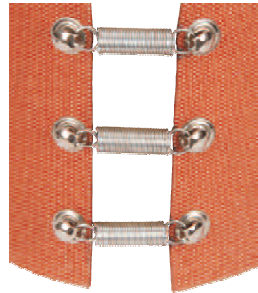


**Velcro® Straps**

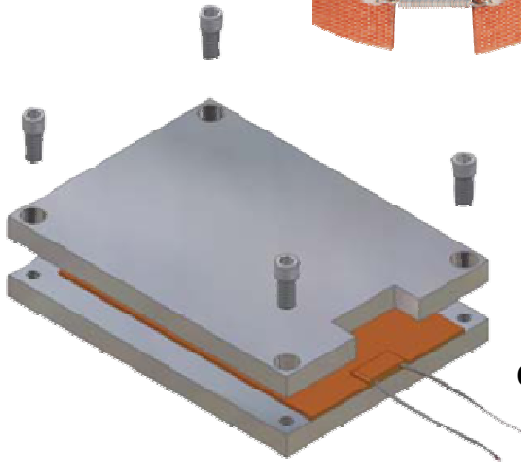


❖ اتصال مکانیکی گرمکن های صفحه ای انعطاف پذیر (Flexible Heater Mechanical Fasteners)

Boot Hooks & Springs



D-Rings & 2-Layer Straps



Clamping

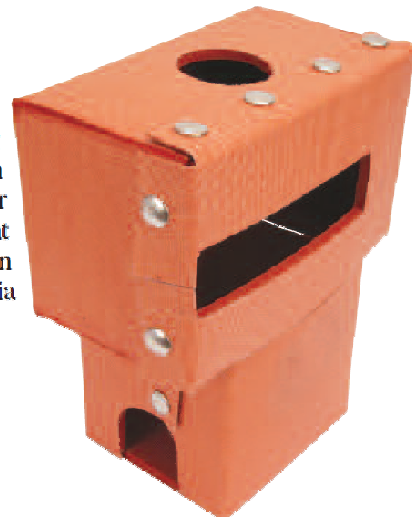


❖ نمونه هایی از اتصال گرمکن های صفحه ای انعطاف پذیر

Heater used to remove condensation on a vacuum canister



An insulating heater used on a compressor pump to prevent freezing in Siberia



Cone heater used on a soup dispenser kettle.





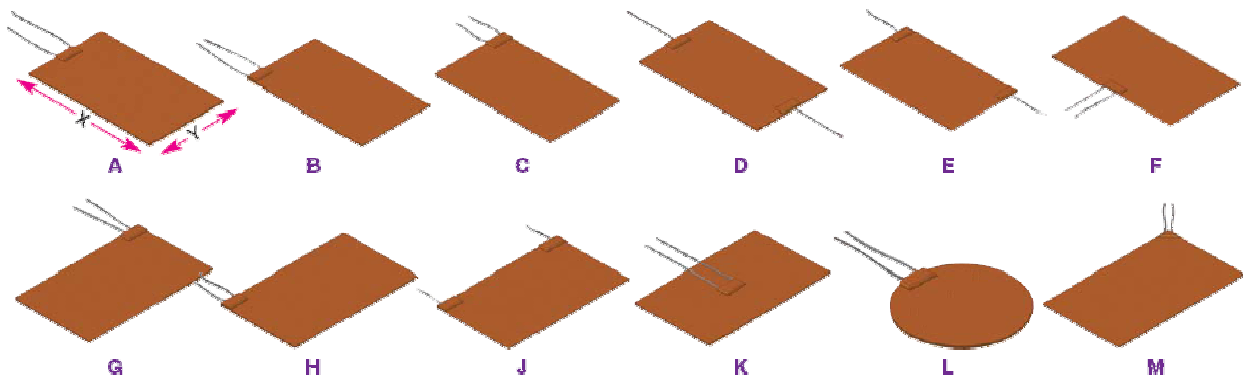
## ❖ انواع خروجی سیم گرمکن های صفحه ای



○ انتخاب خروجی سیم های گرمکن با توجه به

- نحوه سیم کشی
- چگونگی فرآیند مونتاژ
- ملاحظات نصب و دسترسی

○ تعیین خروجی سیم های گرمکن در هنگام سفارش



## ❖ انتخاب گرمکن صفحه ای مناسب

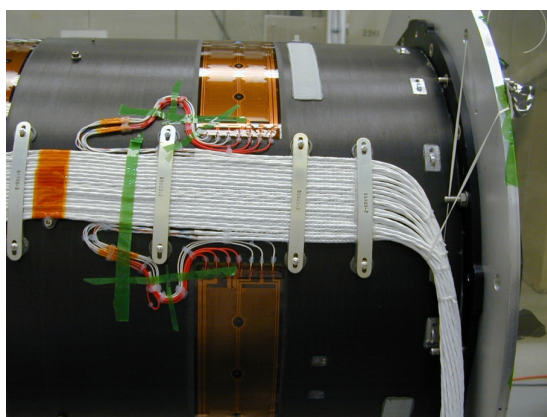
○ پارامترهای مؤثر

- جرم قطعه (m)
- ظرفیت حرارتی قطعه (Cp)
- دمای اولیه قطعه (T1)
- دمای نهایی قطعه (T2)
- زمان رسیدن به دمای نهایی (t)
- میزان انرژی حرارتی (Wd) هدر رفته

$$W_i = \frac{mC_p(T_2 - T_1)}{t} + W_d$$

○ توان تولیدی گرمکن انتخابی ۲۰٪ و یا ۲۵٪ بیش از میزان توان مورد نیاز

$$W_H = 1.25W_i$$



### ❖ انتخاب گر مکن صفحه ای مناسب

○ تعیین مقاومت گر مکن بر اساس جریان و ولتاژ در دسترس

$$W_E = VI$$

$$W_E = \frac{V^2}{R} = IR^2$$

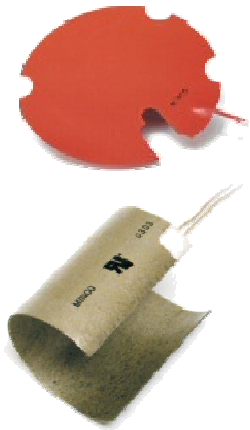
○ محاسبه حداکثر توان مورد نیاز در واحد سطح

$$\text{Watt Density} = \frac{W_H}{\text{Area of Heater}}$$

$$\text{Max Resistance Density} = \frac{V^2}{\text{Watt Density}}$$



حداکثر مقاومت الکتریکی در واحد سطح ( $\Omega/\text{cm}^2$ )	حداکثر محدوده دمایی ( $^{\circ}\text{C}$ )	جنس لایه عایق
70	-200 to +200	کاپتون
31	-45 to +235	سیلیکون
3.9	-150 to +600	میکا



### ❖ انواع حسگرهای حرارتی (Temperature Sensor)

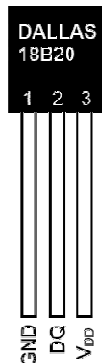
- حسگرهای ترموکوپلی (Thermocouples)
- حسگرهای (Resistance Temperature Detectors) RTD
- حسگرهای مقاومت گرمایی (Thermistors)
- حسگرهای مدارات مجتمع یا IC (Integrated Circuit temperature sensors)

### ❖ پارامترهای مؤثر در انتخاب نوع حسگر دمایی

- محیط و محل مورد نظر برای اندازه گیری دما
- بازه دمایی تحت پوشش
- عمر و قابلیت اطمینان
- قابلیت بکارگیری حسگر در شرایط محیطی فضا
- دقت اندازه گیری

• رزولوشن

• صحت



(BOTTOM VIEW)

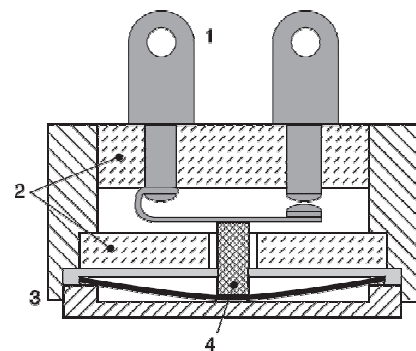
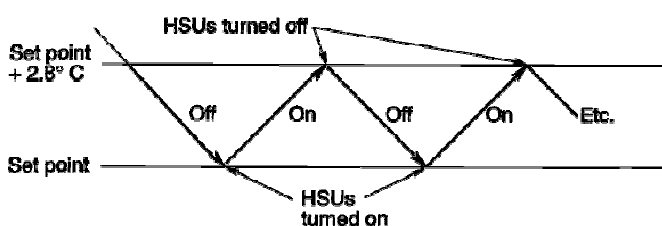


❖ مزایا و معایب هر یک از انواع سنسورها با توجه به محیط مورد استفاده

Measurement Target	Best Sensor Types	Advantages	Disadvantages
PC board	IC (analog)	Cost, linearity	
	IC (digital)	Cost, digital output, linearity	
	Thermistor	Cost	Nonlinearity
	RTD	Repeatability	Cost
Air	Thermistor	Cost, low thermal mass	Nonlinearity
	Thermocouple	Cost, low thermal mass	Signal conditioning (increases cost)
	RTD	Repeatability	Cost
	IC (analog or digital)	Cost, linearity	Difficult to isolate from PC board temperature
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (measured under or near device)	IC (analog)	Cost, linearity	
	IC (digital)	Cost, digital output, linearity	
	Thermistor	Cost	Nonlinearity
	RTD	Repeatability	Cost
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (contact)	Thermistor	Cost, low thermal mass	Nonlinearity
	Thermocouple	Cost, low thermal mass	Signal conditioning (increases cost)
	RTD	Repeatability	Cost
CPU, FPGA, Power Device, Module, etc. (with thermal diode)	IC (remote digital temperature sensor)	Linearity, digital output, response time, accuracy	

❖ سیستم های کنترل گرمکن ها

- فیوز (fuse) برای حفاظت در برابر اتصال کوتاه
- رله (relay) برای قطع و وصل جریان با قابلیت دریافت فرمان از زمین
- ترموستات (thermostat) برای قطع و وصل جریان بر اساس دمای از پیش تعیین شده
- کنترلر نیمه هادی (solid-state controller)
- کامپیوتر برای رصد دمای قطعه و کنترل گرمکن ها با استفاده از رله



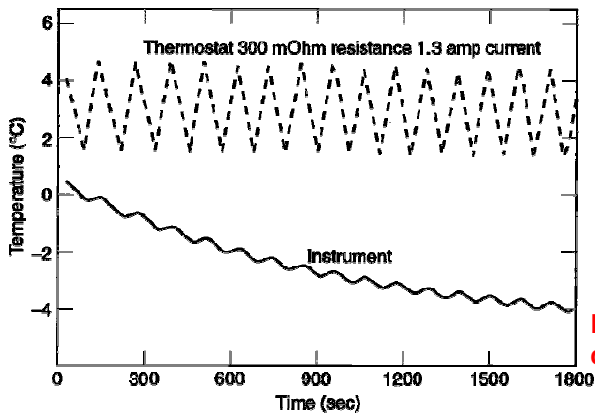
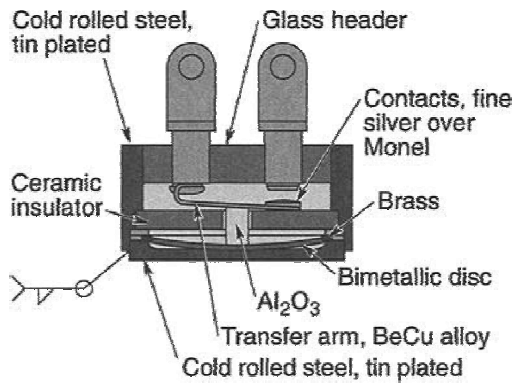
Elmwood thermostat

Temperature at which thermostat is turned on is called : set point

Difference between temperatures at which thermostat turns on and off : dead band

# سیتم های کنترل دما

گرماکن با دما سنج



Effect of thermostat dithering on component temperature control

## ❖ ترموستات (thermostat)

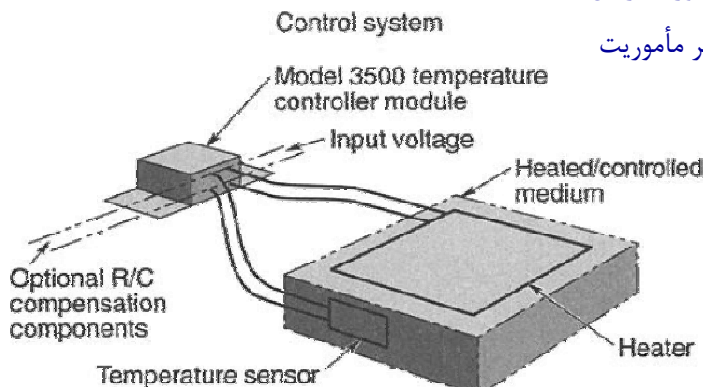
- قطع و وصل جریان گرماکن در دمای تعیین شده
- احتمال خرابی ترموستات در اثر قطع و وصل شدن زیاد و سریع (dithering)
- استفاده از محدوده دمایی بزرگتر (dead band) برای کاهش دفعات قطع و وصل (حداقل ۴ درجه)
- افت توان گرماکن در اثر تعدد دفعات قطع و وصل جریان
- گرم شدن ترموستات در اثر مقاومت حرارتی اتصالات و افت کارکرد و افزایش احتمال خرابی
- استفاده از یک سوئیچ الکتریکی به جای مکانیکی (کنترلرهای نیمه هادی)

# سیتم های کنترل دما

گرماکن با دما سنج

## ❖ کنترلر نیمه هادی (solid-state controller)

- محدوده دمایی کوچکتر ( $<0.1\text{ C}$ )
- قابلیت اطمینان بالاتر
- ❖ کامپیوتر برای رصد دمای قطعه و کنترل گرماکنها با استفاده از رله
- امکان کنترل دقیقتر
- امکان کنترل دمای متفاوت چند قطعه به طور همزمان
- امکان تغییر بازه‌های دمایی متناسب با تغییر مأموریت
- صرفه جویی در توان مصرفی گرماکنها



Tayco solid-state controller