

## کاهش انتقال حرارت بین دو استوانه هم محور، ضخیم و طویل به کمک سپرهای تشعشعی ضخیم همراه با ضریب صدور وابسته به دما

سیفا... سعدالدین<sup>۱</sup> و فاطمه جباری<sup>۲\*</sup>

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در این مطالعه، میزان انتقال حرارت بین دو استوانه هم‌محور، ضخیم و طویل با استفاده از روش‌های تحلیلی و با توجه به مفاهیم انتقال حرارت تشعشعی و انتقال حرارت هدایت و معادله تعادل انرژی در مرزها، بررسی شده است. همچنین با توجه به اهمیت کاربرد سپرهای تشعشعی در شرایط مختلف، میزان انتقال حرارت، درصد کاهش انتقال حرارت، دما و ضریب صدور مربوط به هر یک از سطوح در حضور یک، دو و سه سپر تشعشعی ضخیم با ضریب صدور وابسته به دما محاسبه شده است. از محاسبات انجام شده ملاحظه می‌شود که به کار بردن یک سپر تشعشعی با ضریب صدور کمتر (تنگستن) می‌تواند بهتر از دو سپر و حتی سه سپر تشعشعی با ضریب صدور بیشتر (سیلیکون کاربید) سبب کاهش انتقال حرارت شود. همچنین حالت بهینه برای ترکیب چند سپر تشعشعی با جنس‌های متفاوت به دست آمده است.</p>	<p><b>واژگان کلیدی:</b> سپر تشعشعی حرارتی، انتقال حرارت تشعشعی، انتقال حرارت هدایت، ضریب صدور وابسته به دما، استوانه‌های هم مرکز.</p>

### ۱- مقدمه

وسیله خلأ به وجود بیاید تا سبب ایجاد یک سری تشعشعات متوالی شده و مانع فرایند انتقال حرارت هدایت شود. در واقع سپرها، همانند مقاومتهای حرارتی، در مسیر انتقال حرارت تشعشعی بین سطوح قرار گرفته و سبب کاهش انتقال حرارت می‌شوند. حال اگر این سپرها ضخیم باشند، همانند آنچه که در این مقاله بررسی شده است، انتقال حرارت هدایت نیز به عنوان مقاومت حرارتی اضافی در مسیر انتقال گرما ظاهر شده و سبب کاهش بیشتر انتقال گرما می‌شود. یکی از کاربردهای مهم عایق‌های چند لایه در کاربردهای دما پایین مانند عایق‌های مخازن برودتی می‌باشد [۲].

ضریب صدور مربوط به هر یک از طرفین سپرها ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند، زیرا هر یک از طرفین سپرها دمای مجزایی دارند [۳]. در مطالعات قبلی انجام شده، انتقال حرارت تشعشعی بین دو استوانه هم‌محور [۴] و دو نیم استوانه هم‌محور [۵] و کاهش حرارت انتقال یافته در حضور سپرهای تشعشعی استوانه‌ای با ضریب

با توجه به کاربردهای وسیعی که سپرهای تشعشعی در زمینه‌های مختلف دارند، انتقال حرارت تشعشعی نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راه‌های کاهش انتقال حرارت بین سطوحی که با یکدیگر تبادل تشعشعی دارند این است که آن سطوح از مواد با ضریب انعکاس زیاد انتخاب شوند. علاوه بر این، با قرار دادن سپرهای تشعشعی با ضریب صدور کم (ضریب انعکاس زیاد) نیز انتقال حرارت کاهش می‌یابد [۱].

سپرهای تشعشعی صفحات نازک، موازی با درجه انعکاس بالا هستند که بین صفحات تشعشعی قرار داده می‌شوند تا انتقال انرژی بین آنها را کم کنند. یک عایق با تأثیر بسیار زیاد می‌تواند با استفاده از تعدادی صفحات جدا شده به

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: fj\_jabbari@yahoo.com

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

۲. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان

## ۲- مدل ریاضی

در این مدل، دو استوانه هم‌محور، طویل و ضخیم مطابق شکل (۱- الف) در نظر گرفته می‌شود. برای تحلیل و بررسی موضوع، فرضیات ساده‌کننده زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. صفحات همگی دیفیوز و خاکستری هستند.
۲. فضای بین استوانه‌ها خلأ می‌باشد.
۳. مقاومت رسانایی در ضخامت استوانه‌ها و سپرهای تشعشعی محسوس نیست.
۴. اثرات انتهایی استوانه‌ها و سپرهای تشعشعی استوانه‌ای قابل صرف‌نظر کردن است.
۵. دمای صفحات و سپرهای تشعشعی حرارتی در تمام نقاط آنها یکسان است.
۶. ضریب صدور مربوط به سطوح داخلی و خارجی استوانه‌ها و سپرها با هم متفاوتند، زیرا دمای آنها نیز با یکدیگر فرق دارد.

با توجه به مفهوم انتقال حرارت تشعشعی، میزان تشعشع حرارتی ساطع شده از یک سطح سیاه بر واحد زمان و بر واحد سطح بر طبق قانون استفان بولتزمن برابر است با:

$$E_b = \sigma T^4 \quad (1)$$

بنابراین، میزان انتقال حرارت تشعشع بین صفحات  $A_{s1}$  و  $A_{s2}$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$(Q_{rad})_{without-shield} = \frac{E_{bs1} - E_{bs2}}{R_{s1-s2}} \quad (2)$$

$$E_{bs1} - E_{bs2} = \sigma(T_{S1}^4 - T_{S2}^4) \quad (3)$$

ضریب صدور بسیاری از صفحات در حالت واقعی تابعی از دمای صفحه و طول موج است و با تغییر این دو پارامتر، تغییر می‌کند؛ یعنی  $\varepsilon = \varepsilon(\lambda, T)$ .

نوع خاصی از صفحات، صفحات خاکستری هستند که در آنها ضریب صدور مستقل از طول موج می‌باشد؛ یعنی  $\varepsilon = \varepsilon(T)$  [۱۰].

صدور وابسته به دما، همچنین کاهش انتقال حرارت بین دو نیمکره هم‌محور [۶،۷] و دو کره هم‌محور [۸] در حضور سپرهای تشعشعی حرارتی کروی با ضریب صدور وابسته به دما با استفاده از روش تشعشع خالص محاسبه شده است. علاوه بر این، در بررسی دیگری، آفونسو و ماتوس [۹] اثرات تشعشعی صفحات کندانسور و کمپرسور را در دمای داخلی یخچال- فریزر با پوشاندن دیواره یخچال نزدیک کندانسور و کمپرسور با ورق آلومینیوم همانند یک سپر تشعشعی کم کردند و به این نتیجه رسیدند که قرار دادن یک ورق آلومینیوم سبب کاهش دمای هوای داخلی تا ۲k می‌شود.

در این بررسی نیز با استفاده از روشی تحلیلی میزان انتقال حرارت بین دو استوانه ضخیم که با هم تبادل تشعشع دارند بررسی شده و سپس کاهش انتقال گرما در حضور یک، دو و سه سپر تشعشعی ضخیم با قرار دادن مواد مشابه و متفاوت محاسبه شده و حالت بهینه برای ترکیب چند سپر تشعشعی با جنس‌های متفاوت به دست آمده است.

## علائم اختصاری

A	مساحت، $m^2$
$E_b$	توان صدور سطح سیاه، $W/m^2$
F	ضریب شکل
K	ضریب هدایت حرارتی، $W/m.K$
l	طول استوانه، m
Q	انتقال گرمای خالص، W
r	شعاع استوانه، m
t	زمان، s
T	دمای مطلق، K
$\dot{q}$	تولید انرژی داخلی بر واحد حجم، $W/m^3$
W	نماد شیمیایی فلز تنگستن
Z	مختصات مکانی ارتفاع، m

## علائم یونانی

$\alpha$	ضریب پخش حرارتی، $m^2/s$
$\varepsilon$	ضریب صدور سطح
$\theta$	زاویه قطبی، rad
$\lambda$	طول موج، m
$\sigma$	ضریب ثابت استفان بولتزمن، $W/m^2.K^4$

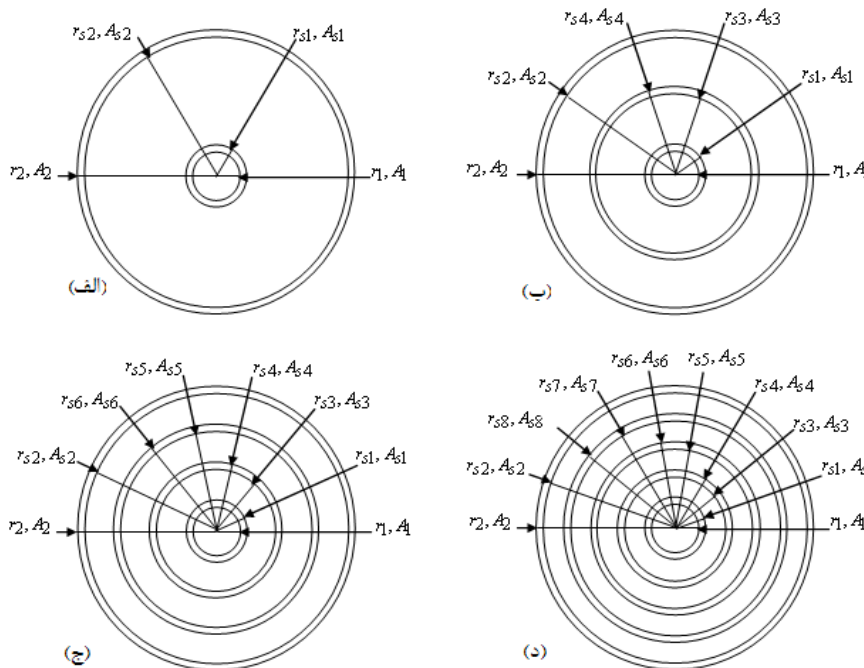
$$(Q_{rad})_{without\ shield} = \frac{E_{bs1} - E_{bs2}}{\frac{1 - \epsilon_{S1}}{\epsilon_{S1} A_{S1}} + \frac{1}{A_{S1} F_{S1-S2}} + \frac{1 - \epsilon_{S2}}{\epsilon_{S2} A_{S2}}} \quad (5)$$

در نتیجه، انتقال حرارت تشعشع بین صفحات  $A_{s1}$  و  $A_{s2}$  قابل محاسبه است. برای استوانه‌های هم‌محور  $F_{S1-S2} = 1$  بوده و دماها و ضرایب صدور سطوح به یکدیگر وابسته‌اند.

در این مطالعه نیز برای سهولت در محاسبات، سطوح، خاکستری و ضریب صدور فقط تابع دما فرض شده است. مقاومت بین سطوح  $A_{s1}$  و  $A_{s2}$  که با هم تبادل تشعشع دارند از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$R_{S1-S2} = \frac{1 - \epsilon_{S1}}{\epsilon_{S1} A_{S1}} + \frac{1}{A_{S1} F_{S1-S2}} + \frac{1 - \epsilon_{S2}}{\epsilon_{S2} A_{S2}} \quad (4)$$

بنابراین برای میزان انتقال حرارت بین سطوح، رابطه (۵) نتیجه می‌شود:



شکل ۱- نمای بالایی دو استوانه هم‌محور و طویل: (الف) بدون سپر تشعشعی، (ب) همراه با یک سپر تشعشعی، (ج) همراه با دو سپر تشعشعی و (د) همراه با سه سپر تشعشعی

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (7)$$

بنابراین پروفیل توزیع دما در هر یک از استوانه‌ها به صورت روابط (۸) و (۹) می‌باشد:

$$T_1(r) = C_1 \ln(r) + C_2 \quad (8)$$

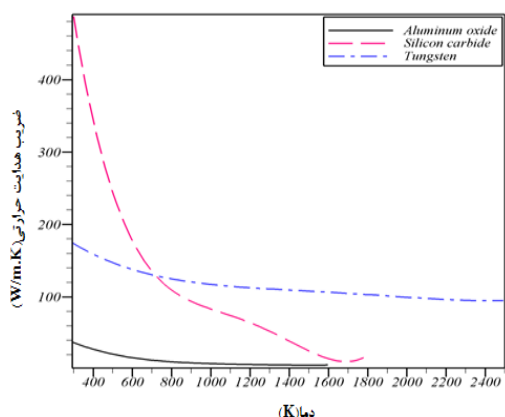
$$T_2(r) = C_3 \ln(r) + C_4 \quad (9)$$

که  $T_1(r)$  پروفیل توزیع دما در استوانه داخلی و  $T_2(r)$  پروفیل توزیع دما در استوانه خارجی می‌باشد. همچنین از قانون فوریه، انتقال حرارت هدایت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  و  $A_{s2}$  به صورت زیر نتیجه می‌شود:

علاوه بر این، نوع دیگری از انتقال حرارت بین سطوح  $A_1$  و  $A_2$  و  $A_{s1}$  و  $A_{s2}$  اتفاق می‌افتد که از نوع انتقال حرارت هدایت می‌باشد. معادله دیفرانسیل کلی انتقال حرارت هدایت در مختصات استوانه‌ای به صورت رابطه (۶) است:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right] + \frac{\dot{q}}{k} \quad (6)$$

با توجه به شرایط مسئله که جریان پایا بوده و انتقال حرارت فقط در راستای شعاع  $r$  اتفاق می‌افتد و تولید انرژی وجود ندارد، رابطه (۷) نتیجه می‌شود:



شکل ۳- ضریب هدایت حرارتی به صورت تابعی از دما [۱۲-۱۴]

با دنبال کردن روندی مشابه آنچه برای وضعیت بدون سپر انجام شد، می‌توان محاسبات را در وضعیت حضور یک و چندین سپر تشعشعی نیز انجام داد. بنابراین، با توجه به مفاهیم انتقال حرارت تشعشعی و هدایت حرارتی و تعادل انرژی در مرزها، دمای هر یک از سطوح و ضریب صدور آنها، میزان انتقال حرارت و درصد کاهش آن در حضور سپرهای تشعشعی قابل محاسبه است. باید توجه داشت که در این مطالعه، محاسبات برای سه ماده موجود برای صفحات و سپرهای تشعشعی در شکل ۲ انجام شده است، که نتایج محاسبات در قالب مطالعات موردی زیر بیان شده است.

**مطالعه موردی ۱:** دو استوانه هم‌محور طویل با ضخامت ۳mm از جنس اکسید آلومینیوم در نظر گرفته می‌شوند (مطابق شکل ۱-الف). صفحه  $A_1$  با دمای ۵۷۳/۱۵K در شعاع ۲۰cm و صفحه  $A_2$  با دمای ۳۰۰/۱۵K در شعاع ۱۱۰/۳cm قرار دارند. اگر یک سپر با ضخامت ۳mm در شعاع ۴۵cm برای کاهش انتقال حرارت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  قرار بگیرد (مطابق شکل ۱-ب)، درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات در سپرهای تشعشعی و استوانه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$Q_{cond,1} = -K_1 A(r) \frac{dT_1(r)}{dr} = -K_1 \times 2\pi l \times \frac{C_1}{r} \quad (10)$$

$$Q_{cond,2} = -K_2 A(r) \frac{dT_2(r)}{dr} = -K_2 \times 2\pi l \times \frac{C_3}{r} \quad (11)$$

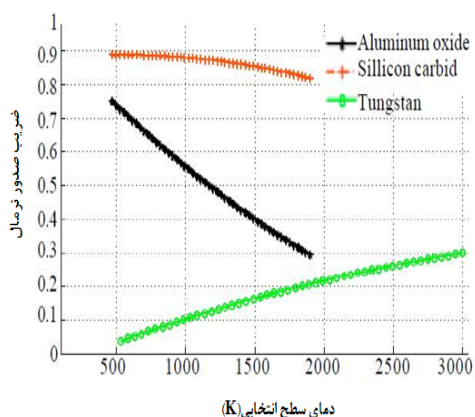
حال با مشخص بودن دمای سطح داخلی استوانه داخلی و دمای سطح خارجی استوانه خارجی در مرزهای  $r=r_1$  و  $r=r_2$  و با برقراری تعادل انرژی در هر یک از مرزهای  $r=r_{s1}$  و  $r=r_{s2}$ ، چهار معادله (۱۲) تا (۱۵) حاصل می‌شود و با توجه به اینکه ضریب صدور و ضریب هدایت حرارتی سطوح تابع دما هستند، از حل همزمان این چهار معادله و با کمک شکل‌های ۲ و ۳، مجهولات  $C_i$  و در نتیجه پروفیل دما در استوانه‌ها و سپس انتقال حرارت هدایت حرارتی و تشعشعی نیز به دست می‌آید.

$$r = r_1 : C_1 \ln(r_1) + C_2 = T_1 \quad (12)$$

$$r = r_{s1} : Q_{cond,1} = (Q_{rad})_{without-shield} \quad (13)$$

$$r = r_{s2} : Q_{cond,2} = (Q_{rad})_{without-shield} \quad (14)$$

$$r = r_2 : C_3 \ln(r_2) + C_4 = T_2 \quad (15)$$



شکل ۲- ضریب صدور نرمال به صورت تابعی از دما [۱۱]

درصد کاهش انتقال گرما نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 3450.2116}{4709.622} \times 100 = 26.74\%$$

نهایتاً، برای سپر تشعشعی از جنس تنگستن:

$$(Q_{rad})_{with-one-shield} = 340.3038 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 573.103K, \varepsilon_{s1} = 0.6784$$

$$T_{S2} = 300.154K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 485.4886K, \varepsilon_{s3} = 0.0447$$

$$T_{S4} = 485.4862K, \varepsilon_{s4} = 0.0447$$

و درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 340.3038}{4709.622} \times 100 = 92.77\%$$

**مطالعه موردی ۲:** دو استوانه هم‌محور مطالعه ۱ در نظر گرفته می‌شوند. چنانچه صفحات  $A_1$  و  $A_2$  همان مشخصات را داشته باشند، اگر دو سپر با ضخامت ۳mm یکی در شعاع ۵۰cm و دیگری در شعاع ۸۰cm برای کاهش انتقال حرارت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  قرار بگیرند (مطابق شکل ۱-ج)، درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات در سپرهای تشعشعی و استوانه-ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$(Q_{rad})_{without-shield} = 4709.622 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.4997K, \varepsilon_{s1} = 0.6786$$

$$T_{S2} = 300.2053K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

برای سپر تشعشعی از جنس اکسید آلومینیوم:

$$(Q_{rad})_{with-two-shield} = 2694.8882 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.778K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

از حل همزمان معادلات (۱۲) تا (۱۵) و با استفاده از شکل‌های ۲ و ۳ مقدار انتقال حرارت بین دو استوانه ضخیم قابل محاسبه است. باید توجه داشت از آنجایی که طول استوانه بی‌نهایت است تمامی مقادیر انتقال حرارت محاسبه شده بر واحد طول استوانه می‌باشد:

$$(Q_{rad})_{without-shield} = 4709.622 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.4997K, \varepsilon_{s1} = 0.6786$$

$$T_{S2} = 300.2053K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

برای سپر تشعشعی از جنس اکسید آلومینیوم:

$$(Q_{rad})_{with-one-shield} = 3115.7894 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.72K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

$$T_{S2} = 300.1866K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 438.1707K, \varepsilon_{s3} = 0.7288$$

$$T_{S4} = 438.038K, \varepsilon_{s4} = 0.7289$$

همچنین درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{(Q_{rad})_{without-shield} - (Q_{rad})_{with-one-shield}}{(Q_{rad})_{without-shield}} \times 100 = 33.84\%$$

به طور مشابه، برای سپر تشعشعی از جنس سیلیکون کاربید:

$$(Q_{rad})_{with-one-shield} = 3450.2116 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.6739K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

$$T_{S2} = 300.1905K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 431.2515K, \varepsilon_{s3} = 0.8901$$

$$T_{S4} = 431.2397K, \varepsilon_{s4} = 0.8901$$

$$T_{S4} = 530.006K, \varepsilon_{s4} = 0.051$$

$$T_{S5} = 420.4804K, \varepsilon_{s5} = 0.0353$$

$$T_{S6} = 420.4795K, \varepsilon_{s6} = 0.0353$$

درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 232.1365}{4709.622} \times 100 = 95.071\%$$

**مطالعه موردی ۳:** دو استوانه هم‌محور مطالعه ۱ در نظر گرفته می‌شوند. چنانچه صفحات  $A_1$  و  $A_2$  همان مشخصات را داشته باشند، و سه سپر با ضخامت ۳mm یکی در شعاع ۴۲/۵cm، دیگری در شعاع ۶۵cm و سومین سپر در شعاع ۸۷/۵cm برای کاهش انتقال حرارت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  قرار بگیرند (مطابق شکل ۱-د)، درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات در سپرهای تشعشعی و استوانه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$(Q_{rad})_{without-shield} = 4709.622 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.4997K, \varepsilon_{s1} = 0.6786$$

$$T_{S2} = 300.2053K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

برای سپر تشعشعی از جنس اکسید آلومینیوم:

$$(Q_{rad})_{with-three-shield} = 2173.7591 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.8499K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

$$T_{S2} = 300.1755K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 489.6881K, \varepsilon_{s3} = 0.7093$$

$$T_{S4} = 489.5748K, \varepsilon_{s4} = 0.7093$$

$$T_{S5} = 429.1476K, \varepsilon_{s5} = 0.7323$$

$$T_{S6} = 429.0851K, \varepsilon_{s6} = 0.7323$$

$$T_{S2} = 300.1816K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 465.0859K, \varepsilon_{s3} = 0.7186$$

$$T_{S4} = 464.9744K, \varepsilon_{s4} = 0.7186$$

$$T_{S5} = 387.8687K, \varepsilon_{s5} = 0.7482$$

$$T_{S6} = 387.8127K, \varepsilon_{s6} = 0.7482$$

و درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{(Q_{rad})_{without-shield} - (Q_{rad})_{with-two-shield}}{(Q_{rad})_{without-shield}} \times 100 = 42.78\%$$

همچنین برای سپر تشعشعی از جنس سیلیکون کاربرد:

$$(Q_{rad})_{with-two-shield} = 3068.9323 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.7264K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

$$T_{S2} = 300.186K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 455.1827K, \varepsilon_{s3} = 0.8902$$

$$T_{S4} = 455.1725K, \varepsilon_{s4} = 0.8902$$

$$T_{S5} = 386.6612K, \varepsilon_{s5} = 0.8898$$

$$T_{S6} = 386.6561K, \varepsilon_{s6} = 0.8898$$

درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 3068.9323}{4709.622} \times 100 = 34.84\%$$

و نهایتاً برای سپر تشعشعی از جنس تنگستن:

$$(Q_{rad})_{with-two-shield} = 232.1365 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 573.1179K, \varepsilon_{s1} = 0.6784$$

$$T_{S2} = 300.1527K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 530.0075K, \varepsilon_{s3} = 0.051$$

$$T_{S3} = 542.7812K, \varepsilon_{s3} = 0.0528$$

$$T_{S4} = 542.78K, \varepsilon_{s4} = 0.0528$$

$$T_{S5} = 481.3743K, \varepsilon_{s5} = 0.0441$$

$$T_{S6} = 481.3735K, \varepsilon_{s6} = 0.0441$$

$$T_{S7} = 392.649K, \varepsilon_{s7} = 0.0313$$

$$T_{S8} = 392.6485K, \varepsilon_{s8} = 0.0313$$

درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر نتیجه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 151.9576}{4709.622} \times 100 = 96.77\%$$

**مطالعه موردی ۴:** دو استوانه هم محور مطالعه ۱ در نظر گرفته می‌شوند. چنانچه صفحات  $A_1$  و  $A_2$  همان مشخصات را داشته باشند، و دو سپر با ضخامت ۳mm و مواد متفاوت یکی در شعاع ۵۰cm و دیگری در شعاع ۸۰cm برای کاهش انتقال حرارت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  قرار بگیرند (مطابق شکل ۱-ج)، درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات در سپرهای تشعشعی و استوانه‌ها می‌توانند توسط روندی مشابه مطالعه موردی ۲ به دست آیند. نتایج تمامی شش حالت ممکن در جدول ۱ نشان داده شده است.

از مقادیر عددی به دست آمده در جدول ۱ و با کمک شکل ۴ می‌توان دریافت که اگر بخواهیم مناسبترین ترکیب برای وضعیت وجود دو سپر تشعشعی از جنس‌های متفاوت را انتخاب کنیم، مدل شماره ۵ بهترین مدل برای کاهش انتقال حرارت تشعشعی بین دو استوانه ضخیم است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که هر چقدر سپر از جنس با ضریب صدور کمتر به صفحه گرمتر (استوانه داخلی) نزدیکتر باشد، مقدار کاهش انتقال حرارت بیشتر اتفاق می‌افتد.

$$T_{S7} = 370.6478K, \varepsilon_{s7} = 0.7549$$

$$T_{S8} = 370.6085K, \varepsilon_{s8} = 0.7549$$

درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{(Q_{rad})_{without-shield} - (Q_{rad})_{with-three-shield}}{(Q_{rad})_{without-shield}} \times 100 = 53.84\%$$

به طور مشابه، برای سپر تشعشعی از جنس سیلیکون کاربید:

$$(Q_{rad})_{with-three-shield} = 2576.6544 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 572.7944K, \varepsilon_{s1} = 0.6785$$

$$T_{S2} = 300.1802K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

$$T_{S3} = 479.8929K, \varepsilon_{s3} = 0.8903$$

$$T_{S4} = 479.8819K, \varepsilon_{s4} = 0.8903$$

$$T_{S5} = 425.1653K, \varepsilon_{s5} = 0.8901$$

$$T_{S6} = 425.1593K, \varepsilon_{s6} = 0.8901$$

$$T_{S7} = 372.2671K, \varepsilon_{s7} = 0.8897$$

$$T_{S8} = 372.2634K, \varepsilon_{s8} = 0.8897$$

درصد کاهش انتقال گرما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{4709.622 - 2576.6544}{4709.622} \times 100 = 45.29\%$$

نهایتاً برای سپر تشعشعی از جنس تنگستن:

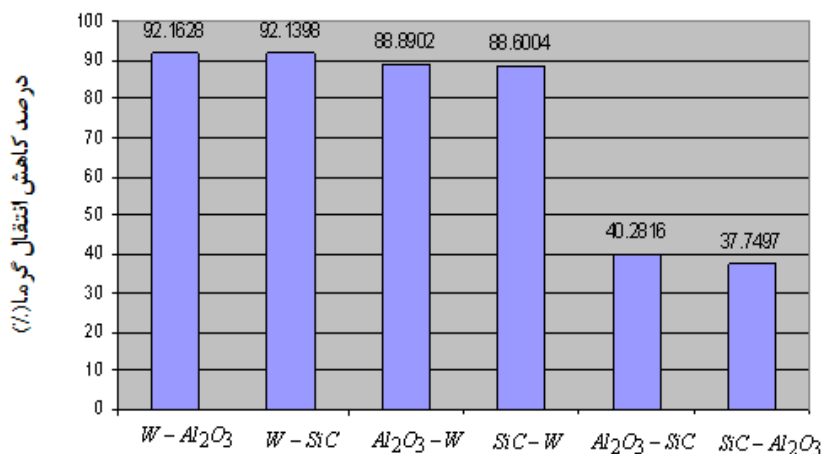
$$(Q_{rad})_{with-three-shield} = 151.9576 \frac{W}{m}$$

$$T_{S1} = 573.129K, \varepsilon_{s1} = 0.6784$$

$$T_{S2} = 300.1518K, \varepsilon_{s2} = 0.7827$$

جدول ۱- درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور در حضور دو سپر تشعشی با مواد مختلف

کاهش انتقال گرما (%)	انتقال حرارت در حضور دو سپر تشعشی (W/m)	$A_{s2}$		$A_{s1}$		سپر در شعاع ۸۰ سانتی متری				سپر در شعاع ۵۰ سانتی متری				شماره
		ضریب صدور	دما (K)	ضریب صدور	دما (K)	ضریب صدور	دما (K)	جنس سپر		ضریب صدور	دما (K)	جنس سپر		
								$A_{s5}$	$A_{s6}$			$A_{s3}$	$A_{s4}$	
۴۰.۲۸۲	۲۸۱۲.۵۰۷	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۸۳	۰.۶۷۹	۵۷۲.۷۶۲	۰.۸۹	۳۸۱.۴۱۴	$A_{s5}$	Sic	۰.۷۲۱	۴۵۸.۵۰۶	$A_{s3}$	$Al_2O_3$	
						۰.۸۹	۳۸۱.۴۰۹	$A_{s6}$		۰.۷۲۱	۴۵۸.۳۹۲	$A_{s4}$		
۸۸.۸۹	۵۲۳.۲۳۱	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۶	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۷۸	۰.۴۳	۴۷۴.۸۹۲	$A_{s5}$	W	۰.۶۸۵	۵۵۶.۳۹۹	$A_{s3}$	$Al_2O_3$	
						۰.۴۳	۴۷۴.۸۹	$A_{s6}$		۰.۶۸۵	۵۵۶.۳۷۲	$A_{s4}$		
۳۷.۷۵	۲۹۳۱.۷۵۲	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۸۴	۰.۶۷۹	۵۷۲.۷۵۴	۰.۷۴۶	۳۹۳.۳۸۸	$A_{s5}$	$Al_2O_3$	۰.۸۹	۴۶۲.۶۹۴	$A_{s3}$	Sic	
						۰.۷۴۶	۳۹۳.۳۲۷	$A_{s6}$		۰.۸۹	۴۶۲.۶۸۴	$A_{s4}$		
۸۸.۶	۵۳۶.۸۸	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۶	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۷۶	۰.۴۳	۴۷۴.۸۳۴	$A_{s5}$	W	۰.۸۹	۵۵۷.۴۱۶	$A_{s3}$	Sic	
						۰.۴۳	۴۷۴.۸۳۲	$A_{s6}$		۰.۸۹	۵۵۷.۴۱۳	$A_{s4}$		
۹۲.۱۶۳	۳۶۹.۱۰۲	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۴	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۹۹	۰.۷۷۶	۳۱۶.۵۵۳	$A_{s5}$	$Al_2O_3$	۰.۴۵	۴۸۷.۰۷۲	$A_{s3}$	W	
						۰.۷۷۶	۳۱۶.۵۴۷	$A_{s6}$		۰.۴۵	۴۸۷.۰۰۷	$A_{s4}$		
۹۲.۱۴	۳۷۰.۱۸۸	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۴	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۹۹	۰.۸۸۹	۳۱۴.۹۱۲	$A_{s5}$	Sic	۰.۴۵	۴۸۶.۶	$A_{s3}$	W	
						۰.۸۸۹	۳۱۴.۹۱۱	$A_{s6}$		۰.۴۵	۴۸۶.۵۹۸	$A_{s4}$		



ترکیب دو سپر تشعشی

شکل ۴- نمودار میله‌ای درصد کاهش انتقال گرما به ازای چیدمان‌های مختلف دو سپر تشعشی حرارتی

توسط روندی مشابه مطالعه موردی ۳ به دست آیند که نتایج تمامی شش حالت ممکن در جدول ۲ نشان داده شده است.

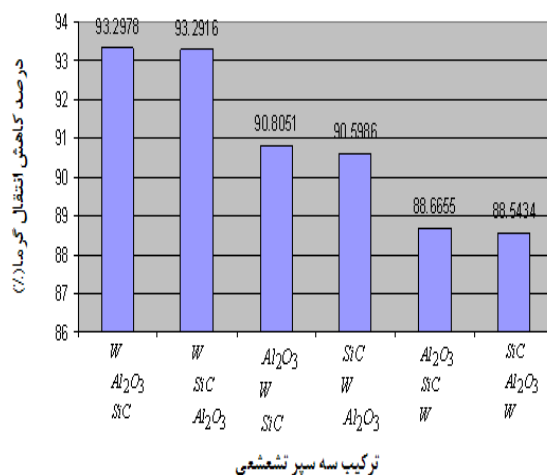
با استفاده از نتایج به دست آمده از جدول ۲ و با کمک شکل ۵ به روشنی می‌توان دریافت که نتایج به دست آمده در مطالعه موردی ۴، عیناً در این مورد نیز صادق است و مناسبترین ترکیب برای وضعیت وجود سه سپر تشعشی، مدل شماره ۵ می‌باشد.

**مطالعه موردی ۵:** دو استوانه هم‌محور مطالعه ۱ در نظر گرفته می‌شوند. چنانچه صفحات  $A_1$  و  $A_2$  همان مشخصات را داشته باشند، و سه سپر با ضخامت ۳mm و مواد متفاوت یکی در شعاع ۴۲/۵cm، دومی در شعاع ۶۵cm و سومین سپر در شعاع ۸۷/۵cm برای کاهش انتقال حرارت بین صفحات  $A_1$  و  $A_2$  قرار بگیرند (مطابق شکل ۱- د)، درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات در سپرهای تشعشی و استوانه‌ها می‌توانند



جدول ۲- درصد کاهش انتقال گرما، دما و ضریب صدور در حضور سه سپر تشعشی با مواد مختلف

کاهش انتقال گرما (%)	انتقال حرارت در حضور سه سپر تشعشی حرارتی (W/m)	$A_{s2}$		$A_{s1}$		سپر در شعاع ۸۷/۵ سانتی متری			سپر در شعاع ۶۵ سانتی متری			سپر در شعاع ۴۲/۵ سانتی متری			شماره			
		ضریب صدور	دما (K)	ضریب صدور	دما (K)	ضریب صدور	دما (K)	جنس سپر	ضریب صدور	دما (K)	جنس سپر	ضریب صدور	دما (K)	جنس سپر				
																$A_{s7}$	$A_{s8}$	$A_{s5}$
۸۸.۶۶۶	۵۳۳.۸۱۲	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۶	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۷۶	۰.۰۴۲	۴۶۹.۷۹۸	$A_{s7}$	W	۰.۸۹	۵۴۷.۶۲۲	$A_{s5}$	Sic	۰.۶۸۵	۵۵۵.۶۹۲	$A_{s3}$	$Al_2O_3$	۱
						۰.۰۴۲	۴۶۹.۷۹۶	$A_{s8}$		۰.۸۹	۵۴۷.۶۲	$A_{s6}$		۰.۶۸۵	۵۵۵.۶۵۹	$A_{s4}$		
۹۰.۸۰۵	۴۳۳.۰۴۵	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۵	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۰۹	۰.۸۸۹	۳۱۶.۰۷۷	$A_{s7}$	Sic	۰.۰۴۴	۴۷۹.۰۹۸	$A_{s5}$	W	۰.۶۸۴	۵۵۹.۱۰۴	$A_{s3}$	$Al_2O_3$	۲
						۰.۸۸۹	۳۱۶.۰۷۷	$A_{s8}$		۰.۰۴۴	۴۷۹.۰۹۶	$A_{s6}$		۰.۶۸۴	۵۵۹.۰۷۷	$A_{s4}$		
۸۸.۵۴۳	۵۳۹.۵۶۴	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۶	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۷۶	۰.۰۴۲	۴۷۰.۵۸۷	$A_{s7}$	W	۰.۶۸۷	۵۴۹.۸۱۱	$A_{s5}$	$Al_2O_3$	۰.۸۹	۵۵۷.۲۳۹	$A_{s3}$	Sic	۳
						۰.۰۴۲	۴۷۰.۵۸۵	$A_{s8}$		۰.۶۸۷	۵۴۹.۷۸۹	$A_{s6}$		۰.۸۹	۵۵۷.۲۳۶	$A_{s4}$		
۹۰.۵۹۹	۴۴۲.۷۷	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۵	۰.۶۷۸	۵۷۳.۰۸۹	۰.۷۷۶	۳۱۸.۳۲۷	$A_{s7}$	$Al_2O_3$	۰.۰۴۴	۴۸۱.۶۱	$A_{s5}$	W	۰.۸۹	۵۶۰.۱۹۴	$A_{s3}$	Sic	۴
						۰.۷۷۶	۳۱۸.۳۳	$A_{s8}$		۰.۰۴۴	۴۸۱.۶۰۷	$A_{s6}$		۰.۸۹	۵۶۰.۱۹۲	$A_{s4}$		
۹۳.۲۹۸	۳۱۵.۶۴۸	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۴	۰.۶۷۸	۵۷۳.۱۰۶	۰.۸۸۹	۳۱۱.۹۹۷	$A_{s7}$	Sic	۰.۷۷۲	۳۲۶.۴۷۱	$A_{s5}$	$Al_2O_3$	۰.۰۴۵	۴۸۹.۶۵۵	$A_{s3}$	W	۵
						۰.۸۸۹	۳۱۱.۹۹۷	$A_{s8}$		۰.۷۷۲	۳۲۶.۴۶۵	$A_{s6}$		۰.۰۴۵	۴۸۹.۶۵۳	$A_{s4}$		
۹۳.۲۹۲	۳۱۵.۹۴	۰.۷۸۳	۳۰۰.۱۵۴	۰.۶۷۸	۵۷۳.۱۰۶	۰.۷۷۷	۳۱۳.۳۴۵	$A_{s7}$	$Al_2O_3$	۰.۸۸۹	۳۲۷.۱۷۳	$A_{s5}$	Sic	۰.۰۴۵	۴۸۹.۵۰۸	$A_{s3}$	W	۶
						۰.۷۷۷	۳۱۳.۳۴	$A_{s8}$		۰.۸۸۹	۳۲۷.۱۷۲	$A_{s6}$		۰.۰۴۵	۴۸۹.۵۰۵	$A_{s4}$		

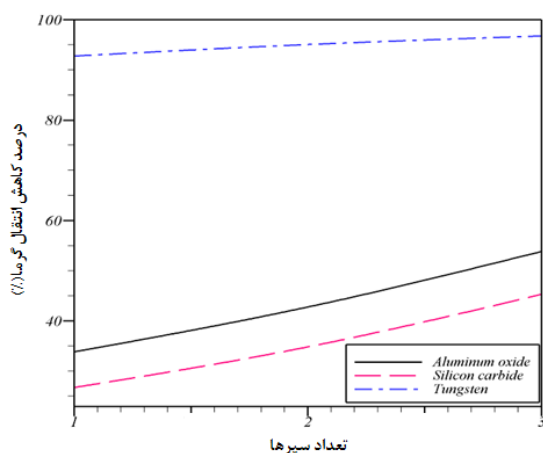


شکل ۵- نمودار میله‌ای درصد کاهش انتقال گرما به ازای چیدمان‌های مختلف سه سپر تشعشی

## ۳- نتیجه‌گیری

کاهش انتقال حرارت در حضور سپرهای تشعشی نازک مورد بررسی قرار گرفته بود [۴] می‌توان پی برد که وجود سپرهای تشعشی ضخیم بیشتر از سپرهای تشعشی نازک سبب کاهش انتقال حرارت می‌شود و این امر به دلیل وارد شدن مقاومت هدایت حرارتی امری طبیعی است. همچنین با توجه به شکل ۶ می‌توان پی برد که به‌کار بردن یک سپر با ضریب صدور کمتر (تنگستن) می‌تواند بهتر از دو سپر و یا حتی سه سپر تشعشی

در مطالعه انجام شده با کمک روشی تحلیلی، میزان انتقال حرارت بین دو استوانه طویل و ضخیم که با یکدیگر تبادل تشعشع دارند محاسبه شده و همچنین میزان درصد کاهش انتقال حرارت در حضور یک، دو و سه سپر تشعشی حرارتی، دما و ضریب صدور هر یک از صفحات نیز بررسی شده است. با استفاده از نتایج به دست آمده در این مطالعه و مقایسه با نتایج مطالعه قبلی که در آن



شکل ۶- درصد کاهش انتقال گرما به ازای تعداد سپرهای مختلف برای سپرهای تشعشعی هم جنس

حرارتی با ضریب صدور بیشتر (سیلیکون کاربید) سبب کاهش انتقال حرارت بین سطوح شود. همچنین در به کارگیری سپرهای تشعشعی از جنس مختلف، حالت بهینه از ترکیب آنها به دست آمد و این نتیجه حاصل شد که هر چقدر سپر با ضریب صدور کمتر به سطح با دمایی بیشتر (استوانه داخلی) نزدیکتر باشد، این کاهش انتقال گرما بیشتر رخ می دهد. محاسبات انجام شده برای سپرهای تشعشعی با جنس سیلیکون کاربید نشان داد که ضریب صدور این سطوح در محدوده دمایی مطرح شده در این بررسی، تقریباً ثابت است و علاوه بر این، ضریب صدور سطح خارجی استوانه داخلی و سطح داخلی استوانه خارجی با وجود هر تعداد سپر تشعشعی و از هر جنسی ثابت باقی می ماند.

#### ۴- مراجع

- [1] Holman, J.P. (2009), "Heat Transfer". 10th Ed., McGraw-Hill, New York.
- [2] Howell, J.R., Siegel, R., Menguc, M.P. (2010), "Thermal Radiation Heat Transfer". 5th Ed., CRC Press, New York.
- [3] Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2007), "Fundamentals of Heat and Mass Transfer". 6th Ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- [4] Saedodin, S., Torabi, M., Maghsoudlou N., Moghimi Kandelousi, J. (2010), "Calculation of reduction heat transfer using cylindrical radiation shields". Intl. Rev. Mech. Eng., Vol. 4, No. 7, pp. 924-928.
- [5] Saedodin, S., Motaghedi Barforoush, M.S., Torabi, M. (2011), "Reduction heat transfer between two concentric semi-cylinders using radiation shields with temperature-dependent emissivity". Frontiers in Heat and Mass Transfer, Vol. 2, pp. 1-4.
- [6] Saedodin, S., Motaghedi Barforoush, M.S., Torabi, M. (2011), "Calculation of reduction radiation heat transfer using hemisphere shields with temperature-dependent emissivity". J. Appl. Sci., Vol. 11, No. 12, pp. 2238-2243.
- [7] Torabi, M., Aziz, A., Saedodin, S. (2012), "Application of hemisphere radiation shields with temperature-dependent emissivity for reducing heat transfer between two concentric hemispheres". Thermophys. Aeromech., Vol. 19, No. 3, pp. 481-488.
- [8] Saedodin, S., Torabi, M., Moghimi Kandelousi J., Maghsoudlou, N. (2010), "Application of net radiation transfer method for optimization and calculation of reduction heat transfer using spherical radiation shields". World Appl. Sci. J., Vol. 11, No. 4, pp. 457-461.
- [9] Afonso, C., Matos, J. (2006), "The effect of radiation shields around the air condenser and compressor of a refrigerator on the temperature distribution inside it". Intl. J. Refrig., Vol. 29, pp. 1144-1151.
- [10] Modest, M.F. (2003), "Radiative Heat Transfer". 2nd Ed., Academic Press, New York.
- [11] [جباری، ف...، سعدالدین، س...، (۱۳۹۰). بررسی کاهش انتقال حرارت بین موتور و بدنه‌ی اتاق خودرو با استفاده از سپرهای تشعشعی حرارتی همراه با ضریب صدور وابسته به دما. مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۹، شماره ۲۵، صص ۱۱-۲۰.
- [12] <http://www.ferp.ucsd.edu/LIB/PROPS/PANOS/al2o3.html>

[13] <http://wwwferp.ucsd.edu/LIB/PROPS/PANOS/sic.html>

[14] <http://wwwferp.ucsd.edu/LIB/PROPS/PANOS/w.html> 3/14/2012

# REDUCTION IN HEAT TRANSFER BETWEEN TWO CONCENTRIC CYLINDERS, THICK AND LONG USING THICK RADIATION SHIELDS WITH TEMPERATURE- DEPENDENT EMISSIVITY

S. Sadodin<sup>1</sup> and F. Jabbari<sup>2,\*</sup>

1. Mechanical Engineering Department, Semnan University, Semnan, Iran

2. Mechanical Engineering Department, Semnan University, Semnan, Iran

\*Corresponding Author: fj\_jabbari@yahoo.com

---

**ARTICLE INFO**

---

Keywords:

Thermal radiation  
Shield,  
Radiation Heat  
Transfer,  
Conduction Heat  
Transfer,  
Temperature-  
Dependent  
Emissivity,  
Concentric Cylinders.

---

**ABSTRACT**

---

In this study, the rate of heat transfer between two concentric cylinders, thick and long in steady state investigated using analytical methods and the concept of net radiation heat transfer and energy balance equation at the boundaries. Also, the net radiation heat transfer, percentage reduction in heat transfer, temperature and emissivity calculated while there are one, two and three radiation shields with temperature-dependent emissivity. The findings reveal that, one radiation shield with lower emissivity (tungsten) can reduce the net heat transfer even better than two and three radiation shields with higher emissivity (silicon carbide). Also, is obtained an optimized for combination of two and three radiation shields with different materials.

---