ارتقاء آسایش حرارتی کلاه ایمنی با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده- مطالعه پارامتری

محمد ربیعی فرادنبه ، محمد نبی اسمنی، محمد امین رضاییان کوچی ، غلامرضا کریمی[1] *،

دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه شیراز؛

[1] دانشیار دانشکده ی مهندسی شیمی، نفت و گاز ، دانشگاه شیراز؛ ghkarimi@shirazu.ac.ir

چکیده:

در این تحقیق سیستم سرمایشی کلاه ایمنی موتور سیکلت سوار با استفاده از مواد تغییر فاز دهنده مورد مطالعه قرار گرفته است. میزان تبادل حرارتی بین ناحیه سر راکب و محیط اطراف و انباشتگی انرژی در سر و در شرایط ناپایا و در طی زمان دو ساعت با استفاده از شبکه مقاومت حرارتی و روش اجزا محدود مدل سازی شده و اثر پارامترهای مختلف مانند سرعت نسبی هوا ودرجه حرارت محیط بر روی آسایش حرارتی راکب بررسی گردیده است. مدل حاضر می تواند در طراحی بهینه کلاه ایمنی موتور سیکلت سوار در شرایط متنوع جوی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: PCM، روش اجزا محدود ،شبکه مقاومت گرمایی، هدایت گرمایی، جابه جایی اجباری،کلاه ایمنی،آسایش حرارتی

۱- مقدمه

کلاه ایمنی موتورسیکلت تا حد زیادی جراحات و میزان مرگ و میر ناشی از حوادث ترافیکی را کاهش می دهد. به همین دلیل، در بسیاری از کشورها قوانین خاصی برای استفاده اجباری از کلاههای ایمنی وضع گردیده و اجرا می شود. در حال حاضر، کلاههای ایمنی از مواد پلاستیکی، مسلح شده با فیبرهای کربن ساخته می شوند. عموماً، کلاه ایمنی از دو عضو حفاظتی اصلی تشکیل شده است: یک پوسته ی مقاوم از جنس پلاستیک ABS (و یا فایبرگلاس) و یک لایه ضخیم تر و نرم که معمولاً از نوعی فوم تهیه می شود. لایه مقاوم خارجی محافظ بسیار

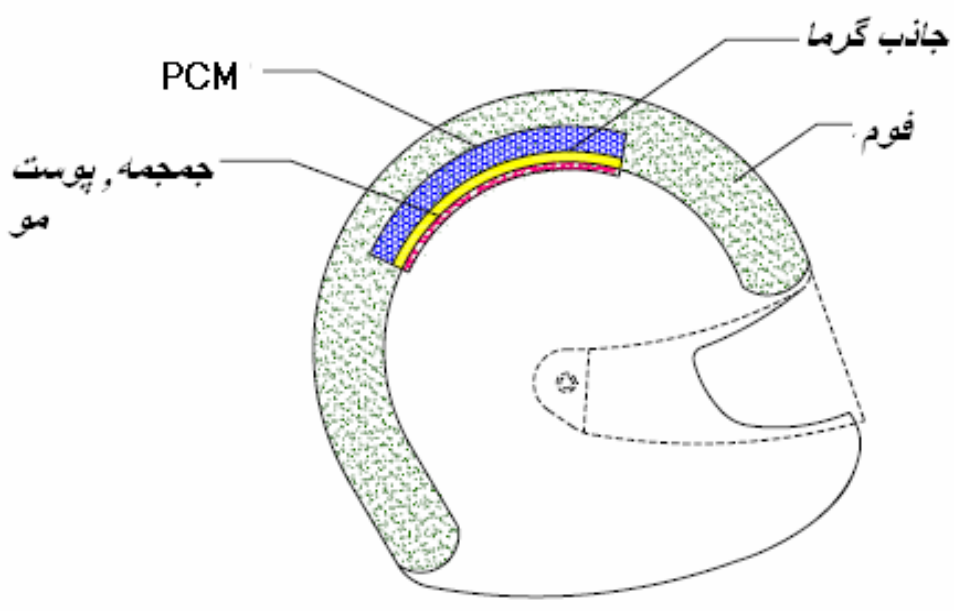
Archive of SID

www.SID.ir

خوبی در مقابل ورود اجسام تیز و برنده و قالب مناسبی برای لایه فوم داخلی است. لایه ضخیم داخلی برای جذب ضربات ناسی از سوانح ترافیکی طراحی شده است. لایه ضخیم داخلی کلاه ایمنی، در عین حال، یک عایق حرارتی است که مانع انتقال گرمای تولیدی در ناحیه سر به محیط اطراف می گردد. این امر موجب می شود تا شرایط نامطلوب دمایی برای موتورسیکلت سوار به وجود آید که می تواند وضعیت خطرناکی را ایجاد نماید. تحت این شرایط، درجه ی حرارت داخلی کلاه ایمنی به سرعت تا حد ^{o}C ۳۸ -۳۷ افزایش یافته، شرایط فیزیولوژیکی و روانی موتورسیکلت سوار متزلزل ورانندگی موتورسیکلت در وضعیت خطرناک قرار می گیرد. بنابراین، خنک کردن سر، امری غیر قابل اجتناب است که می تواند شرایط مطلوب رانندکی را فراهم کند. در سالهای اخیر راه حل های عملی متنوعی برای خنک کردن سر ابداع و به مورد اجرا گذاشته شده است. شاید متداولترین آنها استفاده از سیستم فن هوا و خنک کردن هوا با استفاده از آب باشد که معمولاً برای رانندگان اتومبیل های مسابقه ای طراحی و استفاده می شود. هر چند که این طراحی را می توان برای موتورسیکلت سوارها هم استفاده کرد اما شرایط متفاوت موتورسیکلت و همچنین وضعیت آب و هوایی گرم و مرطوب در بسیاری از مناطق کشور، میزان کارایی این سیستم ها را زیر سؤال می برد. بنابراین باید در جستجوی روشهای دیگر متناسب با شرایط کشور بود. یکی از روشهایی که اخیراً ابداع گردیده است استفاده از" کولرهای ترموالکتریک" برای جذب گرمای تولیدی در داخل کلاه و انتقال آن به محیط اطراف از طریق پره های حرارتی است. مهمترین عیب این روش آنست که یک اتصال الکتریکی بین کلاه(کولر) و برق DC (باتری موتورسیکلت و یا یک باتری مجزا) لازم است. درصورتیکه از باتری جداگانه برای تأمین انرژی الکتریکی کولر استفاده شود کلاه سنگین می شود و اتصال به باتری موتورسیکلت نیز خطراتی بالقوه برای موتورسیکلت سوار ایجاد می کند. روشی که در این طرح پیشنهاد می گردد استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در کلاه ایمنی برای جذب گرمای تولیدی در سر است طرح کلی کلاه در شکل(۱) نشان داده شده است[۱, ۲, ۳].

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۱) طرح کلی از کلاه موتورسواری همراه باPCM

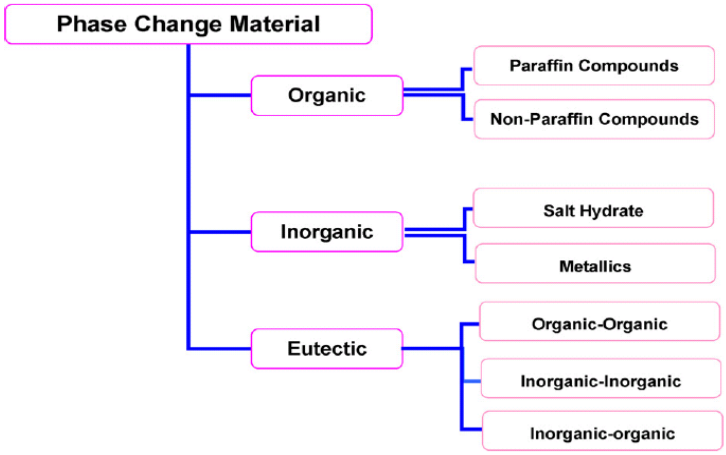
Archive of SID

۲- خصوصیات مواد تغییر فاز

ماده تغییر فاز [۱](PCM)جسمی است با گرمای ذوب بالا که با ذوب شدن و انجماد در دمای مشخصی قادر به ذخیره‌سازی و آزادسازی مقادیر زیاد انرژی می‌باشد. گرما زمانی جذب یا آزاد می‌شود که تغییرات ماده از جامد به مایع و یا بر عکس رخ دهد، بنابراین PCM ها به عنوان واحدهای ذخیره‌ی گرمای نهان [۲](LHS) دسته‌بندی می‌شوند.ذخیره‌سازی گرمای نهان PCM ها می‌تواند از طریق تغییر فازی جامد–جامد، جامد–گاز، جامد–مایع و مایع–گاز حاصل شود. اما تنها تغییر فازی که برای PCM ها استفاده می گردد تغییر جامد–مایع است. تغییرات فازی مایع–گاز جهت استفاده برای ذخیره‌سازی گرمایی با توجه به حجم‌های بزرگ یا فشارهای بالا که نیاز به ذخیره‌سازی مواد در حالت گازی دارد عملی نیست،گرچه PCM ها انواع مختلفی دارند اما به سه دسته کلی تقسیم بندی می شوند که در شکل (۲) آمده است[۳, ۴].

۱ Phase Change Material
۲ Latent Heat Storage

www.SID.ir



شکل(۲) دسته بندی PCM

۳- ملاک های انتخاب

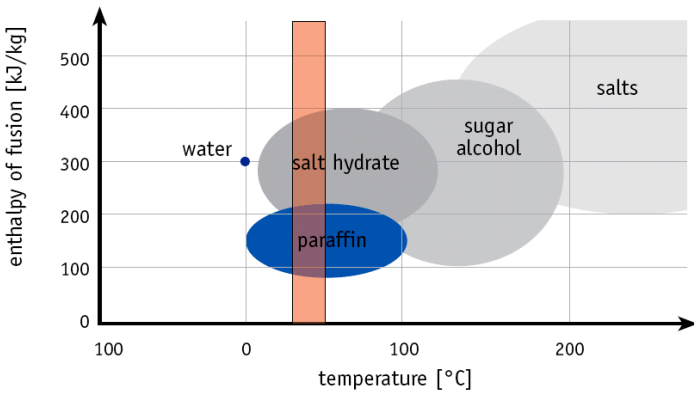
از لحاظ ترمودینامیکی PCM می بایست دمای ذوبی در بازه‌ی دمایی عملیاتی مورد نظر داشته باشد (شکل ۳). همچنین مطلوب است که PCM در واحد حجم دارای گرمای نهان ذوب ،گرمای مخصوص، چگالی و هدایت گرمایی بالایی باشد. تغییرات حجمی کم در هنگام تغییر فاز و فشار بخار کم در دماهای عملیاتی و نیز ذوب متجانس از دیگر خواص ترمودینامیکی مهم برای مواد تغییر فاز می باشد. سرعت هسته‌سازی بالا جهت اجتناب از فوق سرمایش فاز مایع و نیز سرعت رشد کریستال بالا با توجه به نیاز سیستم به بازیافت گرمایی از سیستم ذخیره-سازی از جمله خواص سینتیکی مهم PCM ها است. مواد تغییر فاز می بایست از لحاظ شیمیایی پایدار بوده و بازگشت پذیری کاملی در فرآیند ذوب داشته باشند. این مواد نباید پس از تعداد زیاد سیکل انجماد-ذوب تجزیه شوند. عدم خورندگی، غیر سمی بودن، غیراشتعال‌پذیری و غیرانفجاری بودن از دیگر خواص شیمیایی مطلوب PCM هاست. البته نباید فراموش کرد که یکی از مهمترین معیار های انتخاب این مواد جنبه های اقتصادی آن ها است. بنابراین هزینه‌ی کم و دسترسی مناسب در مقیاس بزرگ بسیار ضروریست [۶, ۷, ۸]. از آنجایی که دمای پوست سر فرد موتورسوار، باید در ۳۰ درجه سانتیگراد بماند، از [۳] RT۲۷، که یک نوع PCM پارافینی بوده و دمای ذوب آن ۲۸ درجه ی سانتیگراد می باشد، استفاده شده است. نکته ی قابل توجهی که در این طراحی وجود دارد

[۳] Rubitherm

www.SID.ir

PCM باقی می ماند

و هیچگاه کمتر از آن نخواهد شد. سرمایش اضافی پدیده ای است که در طراحی به روش کولرهای ترموالکتریک (TEC) وجود دارد، یعنی ممکن است پمپ گرمایی بیش از اندازه ی مورد نیاز کار کند، در این صورت فرد احساس سرما خواهد کرد. هدف از ارائه ی این طرح، کاربردی کردن استفاده از PCM در کلاه ایمنی موتورسیکلت به منظور ارتقاء کیفیت رانندگی است.به همین منظور، انتخاب مناسب ترین نوع PCM، اندازه و ابعاد، محل قرار گرفتن در کلاه، به گونه ای که شرایط مطلوب دمایی برای عموم موتورسوارها در مدت زمان ۱ ساعت فراهم گردد هدف اصلی است[۹, ۱۰].



شکل(۳) حوزه های کاربرد PCM های مختلف

٤- طراحی کلاه ایمنی با سیستم خنک کننده ی PCM

مهمترین قسمت، طراحی محفظه ی PCM است، که PCM درون آن قرار می گیرد. جاذب گرما [٤] یک ورقه مسی است که در کنار محفظه ی PCM قرار می گیرد و مسیر مناسبی برای هدایت گرما به وجود می آورد. برای انجام مدل سازی، کلاه ایمنی به لایه های مختلفی تقسیم شده است. در شکل ۲۱ ، لایه های مختلف کلاه ایمنی نشان داده شده است. همچنین در این مدل سازی فرضیات زیر لحاظ شده است:

[٤] Heat Collector

www.SID.ir

۱-شرایط ناپایا.

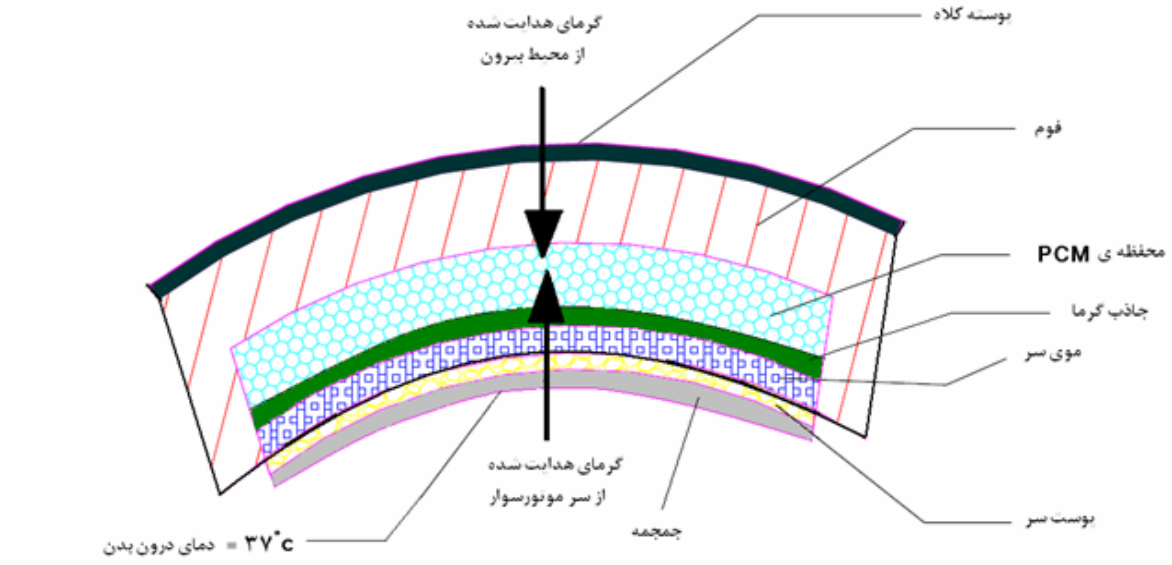
۲- رسانش شعاعی یک بعدی.

۳ -مقاومت تماسی ناچیز بین لایه ها.

۴-خواص ترموفیزیکی ثابت.

۵-ناچیز بودن تبادل تشعشع با اطراف.

همان طور که در شکل(۴) نشان داده شده است، از یک طرف گرمای هوای محیط اطراف از طریق جابه جایی اجباری [۵] به کلاه و سپس از طریق هدایت گرمایی به PCM وارد می شود، و از طرف دیگر نیز از درون بدن ،که دمای آن ۳۷ درجه ی سانتیگراد در نظر گرفته شده است، گرما به درون PCM هدایت می شود؛ در واقع این گرما، همان گرمایی است که به دلیل متابولیسم بدن، در درون سر تولید می شود، تا دمای درون آن را ۳۷ درجه ی سانتیگراد نگه دارد.



شکل (۴) برش عرضی از لایه های مختلف کلاه

ابعاد لایه های در نظر گرفته شده و برخی خصوصیات آنها در جدول(۱) آورده شده است.

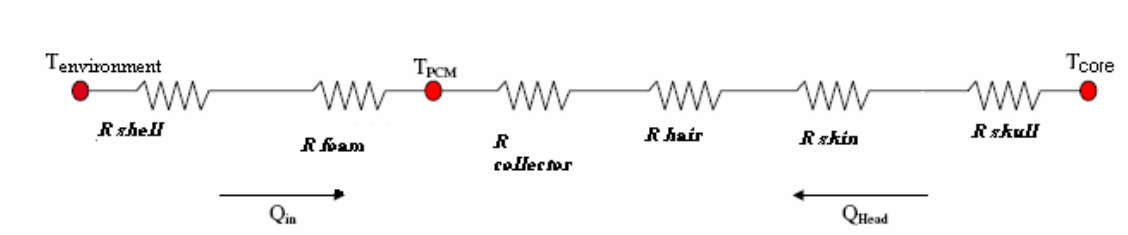
[۵] Forced Convection

www.SID.ir

شماره لایه	جنس	شعاع(r) (cm)	ضخامت(t) (mm)	K (W /m. k)
۱	جمجمه	۱۳	۱۰	۰,۱
۲	پوست	۱۴	۱	۰,۳۷
۳	مو	۱۴,۱	۱۰	۰,۰۶
۴	مس	۱۴,۳۵	۰,۵	۳۸۵
۵	PCM	۱,۴۸۵	۱	۰,۶
۶	فوم	۱۶,۲۵	۳۰	۰,۰۱
۷	آلومینیوم	۱۶,۴۰	۳	۵۰

جدول(۱) ابعاد و خواص لایه ها

در این تحقیق مدل مطرح شده توسط دو روش بصورت موازی، یکی به روش شبکه ی مقاومتی و دیگری بـه روش Finite difference method حل شده است. با اعمال فرضیات یاد شده و با توجه به لایه هـای مختلـف کـلاه، مـی توان شبکه ی مقاومت های گرمایی را رسم کرد، که در شکل(۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) شبکه مقاومت های گرمایی

فرض دیگری را نیز لحاظ می کنیم که موتورسوار از حالت سکون با یک شتاب ثابت شروع به حرکت می کند و پس از مدتی سرعت آن ثابت شده و تا پایان با آن سرعت ثابت حرکت می کند.

www.SID.ir

۵- مدل سازی و حل به روش شبکه ی مقاومتی

با توجه به شبکه ی مقاومت ها، و ابعاد و خواص داده شده، مقدار مقاومت گرمایی هر لایه به صورت زیر محاسبه می شود[۱۱]:

$$R_i = \frac{r_{i+1} - r_i}{4 \times k_i \times \pi \times r_{i+1} \times r_i} \qquad (۱)$$

$$R_{shell} = \frac{1}{h \times 4 \times \pi \times r_{shell}^{\ 2}} \qquad (۲)$$

در رابطه ی (۲)، h ، ضریب انتقال گرما[۶] به صورت جابه جایی اجباری است و از رابطه ی (۴) به دست می آید. این رابطه، مربوط به انتقال حرارت به صورت جابه جایی اجباری بر روی یک کره به شعاع r می باشد[۱۲].

$$\overline{Nu}_D = 2 + (0.4\,\mathrm{Re}_D^{\frac{1}{2}} + 0.06\,\mathrm{Re}_D^{\frac{2}{3}})\,\mathrm{Pr}^{0.4}(\frac{\mu}{\mu_s})^{\frac{1}{2}} \qquad (۳)$$

$$\begin{bmatrix} 0.71 < \mathrm{Pr} < 380 \\ 3.5 < \mathrm{Re}_D < 7.6 \times 10^4 \end{bmatrix}$$

$$\bar{h} = \overline{Nu}_D \frac{k}{D} \qquad (۴)$$

مقدار گرمای ورودی به PCM نیز از رابطه ی زیر محاسبه می شود:

$$Q_{in} = \frac{T_{surface} - T_{PCM}}{R_{shell} + R_{foam}} \qquad (۵)$$

$$Q_{Head} = \frac{T_{skin} - T_{PCM}}{R_{collectors} + R_{hair}} \qquad (۶)$$

روابط(۵) و(۶)، مربوط به گرمایی است که در یک لحظه ی خاص به PCM وارد می شود. با گذشت زمان، دمای لایه ها ودر نتیجه مقدار گرمای وارد شده به PCM تغییر می کند. به همین دلیل باید توزیع دما را رسم کرده و با استفاده از آن، کل گرمای وارد شده به PCM را در مدت ۲ ساعت به دست آورد.

[۶] Heat Transfer Coefficient

Archive of SID

www.SID.ir

٦- مدل سازی و حل به روش Finite difference

در این روش حل ،معادله بیلان انرژی برای هر لایه به صورت زیر نوشته می شود:

$$q_{in} - q_{out} = Mc_p(\frac{dT}{dt}) \quad (۷)$$

سپس هر لایه به چندین زیر لایه تقسیم می شود ، و با حل این معادلات به صورت همزمان توسط نرم افزار مطلب توزیع دمای هر لایه به دست می آید.برای لایه اول کلاه ایمنی که با محیط اطراف تبادل مستقیم دارد معادله بیلان انرژی به صورت زیر است:

$$Mc_p(\frac{dT_1}{dt}) = hA(T_0 - T_1) - KA(\frac{T_2 - T_1}{\Delta r_1}) \quad (۸)$$

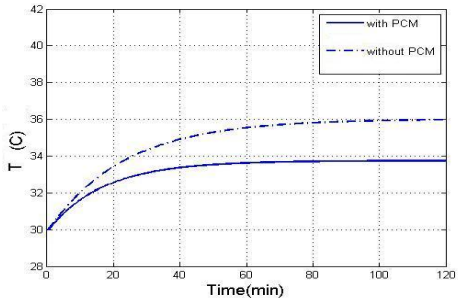
برای سایر لایه های داخلی کلاه ایمنی معادله بیلان انرژی به صورت زیر است:

$$Mc_p(\frac{dT_2}{dt}) = KA(\frac{T_2 - T_1}{\Delta r_1}) - KA(\frac{T_2 - T_1}{\Delta r_2}) \quad (۹)$$

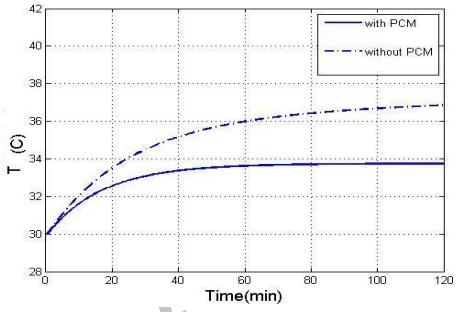
۷- بررسی پارامتری اثر دمای محیط

برای بررسی تأثیر دمای محیط بر روی دمای پوست سر، توزیع دمای آن بر حسب زمان، به ترتیب برای دماهای محیط ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه ی سانتیگراد برای هر دو روش رسم شده است.

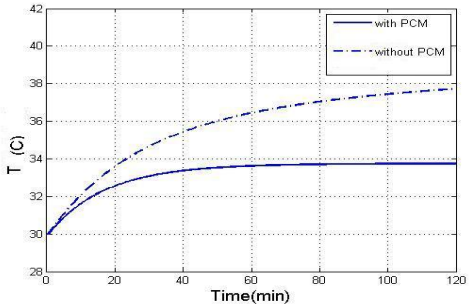
(۷-۱) روش شبکه ی مقاومتی:



نمودار (۱) : دمای محیط ۳۰ °C



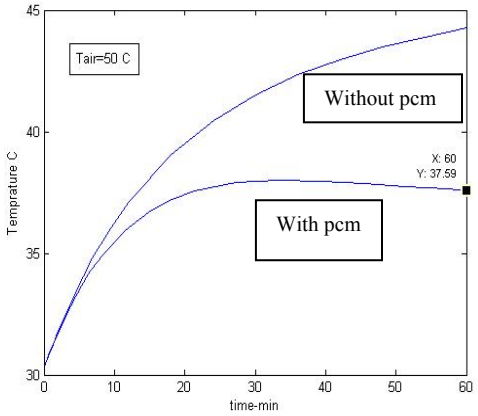
نمودار (۲) : دمای محیط ۴۰ °C



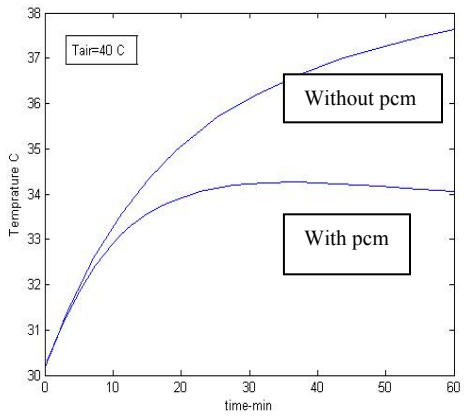
نمودار (۳) : دمای محیط ۵۰ °C

www.SID.ir

(۱-۷) روش Finite difference :

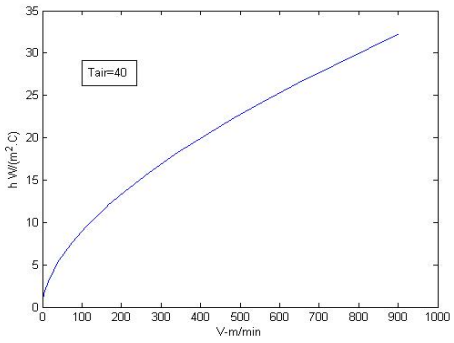


نمودار (۴) : نمودار مقایسه دمای پوست سر در دمای ۵۰ درجه در دو حالت با PCM و بدون آن

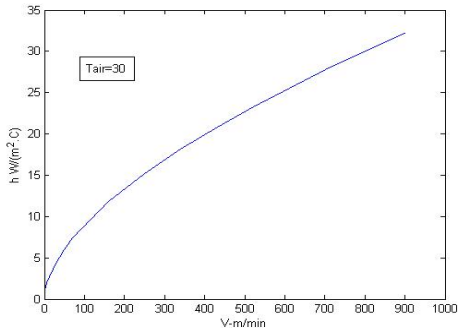


نمودار(۵) : نمودار مقایسه دمای پوست سر در دمای ۴۰ درجه در دو حالت با PCM و بدون آن

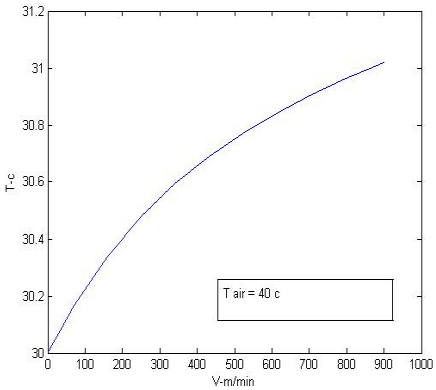
۸- بررسی پارامتری اثر تغییرات سرعت موتور سوار بر دمای پوست سر و ضریب انتقال حرارت ، برای دماهای محیط ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه ی سانتیگراد برای روش Finite difference method:



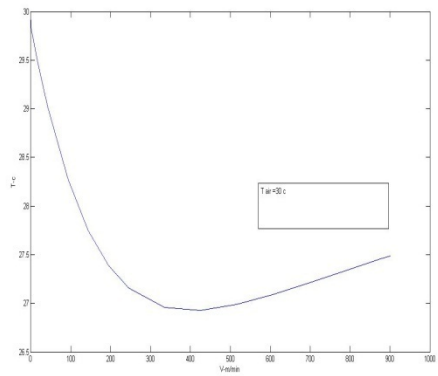
نمودار (۶) : نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت با سرعت موتور سوار در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد



نمودار (۷) : نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت با سرعت موتور سوار در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد



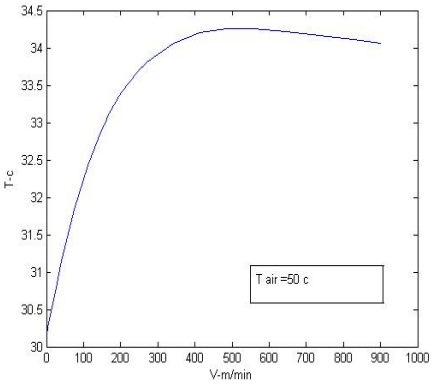
نمودار (۸) : نمودار تغییرات دمای پوست سر با سرعت موتور سوار در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد



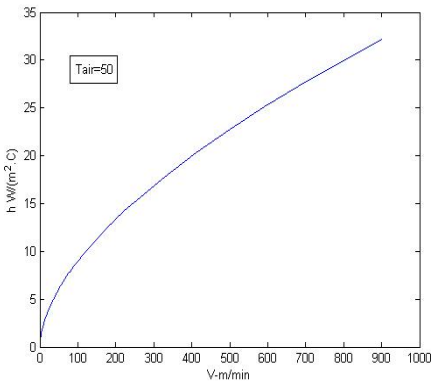
نمودار (۹) : نمودار تغییرات دمای پوست سر با سرعت موتور سوار در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۱۱) : نمودار تغییرات دمای پوست سر با سرعت موتور سوار در دمای ۵۰ درجه



نمودار (۱۰) : نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت با سرعت موتور سوار در دمای ۵۰ درجه

۹- نتیجه گیری

میزان تبادل حرارتی بین ناحیه سر راکب و محیط اطراف و انباشتگی انرژی در سر و در شرایط ناپایا و در طی زمان با استفاده از مدل سازی شده و اثر پارامترهای مختلف مانند سرعت نسبی هوا ودرجه حرارت محیط بر روی آسایش حرارتی راکب بررسی گردیده است همان طور که از اشکال داده شده پیداست PCM می تواند اثر قابل ملاحظه ای بر جلو گیری از افزایش دمای سر موتورسوار داشته باشد. و با چندین آزمایش تجربی و مطمئن شدن از این نتایج تئوری می توان به صنعتی و تجاری شدن این تحقیق امید داشت.این کلاه طراحی با تشکیل شبکه های گرمایی و مدل کردن آن، شده است تا بدون استفاده از منبع برق سر را خنک نگه دارد. از مقایسه ی نمودار ها می توان دریافت که نتایج حاصل از دو روش هم پوشانی مناسبی دارند. نکته ی مهمی که در این طراحی باید مد نظر قرار گیرد، میزان آسایش حرارتی[۷] فرد است که از روی آزمایشهای ارگونومیک تعیین می شود. تنها محدودیت استفاده از PCM برای این منظور، این است که گرمای ذخیره شده در آن، قبل از استفاده ی مجدد باید تخلیه شود. بهره گیری از این نوع کلاهها می تواند با استفاده از PCM با ظرفیت بیشتر ذخیره ی گرما گسترش یابد.

[۷] Thermal Comfort

Archive of SID
www.SID.ir

۱۰- فهرست مراجع

[۱] Baylin F. Low temperature thermal energy storage: a state of the art survey. Report no. SERI/RR/-٥٤-١٦٤. Golden, Colorado, USA: Solar Energy Research Institute; ١٩٧٩.

[۲] Sharma A, Tyagi V, Chen C, Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews ١٣ (٢٠٠٩) ٣١٨–٣٤٥.

[۳] Garg HP, Mullick AC, Bhargava AK. Solar thermal energy storage. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company; ١٩٨٥ [p. ٢٤١–٢٤٢][Title TJ٨١٠.G٣٤٩].

[٤] Hawlader MNA, Uddin MS, Khin Mya Mya. Microencapsulated PCM thermal energy storage system. Appl Energy ٢٠٠٣;٧٤:١٩٥–٢٠٢.

[٥] Lane GA. Low temperature heat storage with phase change materials. Int J Ambient Energy ١٩٨٠;١:١٥٥–٦٨.

[٦] Stark P. PCM-impregnated polymer microcomposites for thermal energy storage. SAE (Soc Automotive Eng) Trans ١٩٩٠;٩٩:٥٧١–٨٨.

[٧] Royon L, Guiffant G, Flaud P. Investigation of heat transfer in a polymeric phase change material for low level heat. Energy Convers ١٩٩٧;٣٨:٥١٧–٢٤.

[٨] Goswami DY, Jotshi CK. Thermal storage in ammonium alum/ammonium nitrate eutectic for solar space heating. In: Proceedings of Solar Energy Annual Conference, ١٩٩٥. p. ٣٣٦–٤١.

[٩] Alkan C, Sari A, Karaipekli A, Uzun O. Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated phase change material for thermal energy storage. Solar Energy Materials & Solar Cells ٩٣ (٢٠٠٩) ١٤٣–١٤٧.

[١٠] Liang C, Lingling X, Hongbo S, Zhibin Z. Microencapsulation of butyl stearate as a phase change material by interfacial polycondensation in a polyurea system. Energy Conversion and Management ٥٠ (٢٠٠٩) ٧٢٣–٧٢٩.

[١١]-holman,j. p, *Heat transfer,*edition ٩, McGraw Hill. ٢٠٠٢

[١٢]-Incropera,F.P,dewitt,D.P ,*Introduction to heat transfer,* john wiley and sons, ١٩٨٥

Archive of SID

www.SID.ir

Improving thermal comfort of motorcycle helmet by using phase change materials- a parametric study

M. Rabeee Fardaneh, M. N. Asmani, M.Rezaeian Kouchi, G. Karimi[1] *,

School of chemical and petroleum engineering

[1]Associate professor of chemical engineering; ghkarimi@shirazu.ac.ir

Abstract:

This paper examines a novel design of helmet cooling system using phase change material (PCM) which absorbs and store the heat produced by the rider. No electrical power supply is needed for the cooling system. During wearing helmet the temperature on the rider head is maintained just above the PCM temperature and create comfortable environment so the rider would not suffer from an uncomfortable and dangerous hot environment on the head which will affect the rider alertness. The upgraded helmet were modeled and solved by a thermal resistance network and finite difference method under unsteady state conditions; the effect of environmental conditions such as air velocity and ambient temperature had been studied on the thermal comfort of the rider. This paper concludes that designed helmet is very effective and practical in various ambient conditions in Iran.

Keywords: PCM, thermal resistance network, finite difference method, heat conduction, forced convection, Thermal comfort, helmet

Archive of SID

www.SID.ir