نوآوران صنعت سیلک

آنالیز حرارتی و دمایی مخزن کامپوزیتی

ویرایش ۱,۰
دی‌ماه ۱۳۹۷

این گزارش یکی از اسناد شرکت نوآوران صنعت سیلک و متعلق به این شرکت می‌باشد. استفاده از این جزوه و نقل از آن با ذکر ماخذ و شماره ویرایش آن مجاز می‌باشد.

این گزارش به‌طور مستمر در حال تکمیل و ویرایش است. بخش تحقیق و توسعه شرکت نوآوران صنعت سیلک این گزارش را بر اساس بهترین آگاهی، دانش و تجربه خود تهیه و تنظیم نموده است و مانند هر سند مشابه دیگری ادعا ندارد که کامل و بدون نقص می‌باشد. لذا از هرگونه نظرات اصلاحی استقبال کرده و ارج می‌نهد.

www.sialk-co.ir

به‌نام خدا

ویرایش ۱،۰
دی‌ماه ۱۳۹۷

آنالیز حرارتی و دمایی مخزن کامپوزیتی

***مقدمه:* صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی بافته شده با نخ شیشه**

صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه سه‌بعدی شیشه ای، ماحصل بافت سه‌بعدی نخ شیشه با مقاومت کششی بسیار زیاد، و سپس تبدیل آن با کمک رزین به پانل‌های سبک، مقاوم، عایق صدا، حرارت و رطوبت، در ابعاد و ضخامت‌های مختلف جهت مصارف سقف و دیوار ساختمانی و برخی مصارف دیگر می‌باشد.

پارچه‌های سه‌بُعدی در هر سه راستای x و y وz ، مُد تخریب تورق (Delamination) در آن‌ها منتفی و هم‌چنین امکان دور کردن حداکثری جرم از مرکز و تحمل حداکثری مُمان خمشی و هم‌چنین امکان افزایش حداکثری نسبت استحکام به وزن در آن‌ها وجود دارد.

۱- آنالیز حرارتی و دمایی مخزن کامپوزیتی

الف) آزمون تجربی

در این آزمایش ساده اما واقعی، مخزن استوانه ای شکل ساخته شده از کامپوزیت شرکت دانش بنیان نوآوران صنعت سیلک (صفحات کامپوزیتی تقویت شده با پارچه تاری – پودی بافته شده از نخ شیشه) پر از آب شد. این مخزن داخل اتاقکی کوچک قرار گرفت تا بالا بردن دمای محیط اطراف آن به سادگی صورت پذیرد. ضمناً کف و درب مخزن نیز از همین مواد کامپوزیتی ساخته شده بود. شکل (۱) مخزن مورد استفاده را نشان می‌دهد.

زمان (دقیقه)	دمای محیط	دمای آب مخزن
۰	۲۰	۲۰
۳۰	۲۵	۲۰
۶۰	۲۷	۲۰
۹۰	۲۹	۲۰
۱۲۰	۲۹	۲۰
۱۵۰	۲۹	۲۰
۱۸۰	۳۰	۲۰
۲۱۰	۳۴	۲۰
۲۴۰	۳۸	۲۰
۲۷۰	۴۰	۲۰_۳
۳۰۰	۴۰	۲۰_۳
۳۳۰	۴۱	۲۰_۳
۳۶۰	۴۲	۲۰_۵
۳۹۰	۴۳	۲۰_۵
۴۲۰	۴۳	۲۰_۷
۴۵۰	۴۳	۲۰_۷
۴۸۰	۴۳	۲۰_۹
۵۱۰	۴۳	۲۰_۹
۵۴۰	۴۳	۲۱
۵۷۰	۴۳	۲۱
۶۰۰	۴۳	۲۱_۱

جدول (۱). تغییرات دمای محیط و آب درون مخزن

شکل (۱). مخزن کامپوزیتی مورد استفاده

در شروع آزمون، دمای آب درون مخزن ۲۰ درجه سلسیوس و دمای محیط، ۹ درجه سلسیوس بود. با استفاده از سه بخاری برقی و بدون تابش مستقیم، دمای محیط به ۲۰ درجه سلسیوس رسانده شده و از آن پس رشد دمای محیط و آب درون مخزن با پریود زمانی ۳۰ دقیقه، اندازه‌گیری شد. جدول (۱) اعداد به دست آمده را در طی ۱۰ ساعت نشان می‌دهد.

همان گونه که مشاهده می‌شود، نرخ افزایش دمای آب درون مخزن بسیار کندتر از دمای اطراف مخزن است. دمای ۲۰ درجه محیط و آب را می‌توان معادل دمای صبحگاه در یک منطقه گرمسیر دانست و افزایش دمای محیط به ۴۳ درجه سانتی‌گراد را معادل گرم شدن دمای محیط، پس از طلوع خورشید.

کل تغییر دمای مشاهده شده برای آب درون مخزن در طی ۱۰ ساعت، ۱,۱ درجه سانتی‌گراد بود و حال آن‌که دمای محیط اطراف مخزن در طی ۴ ساعت در ۴۳ درجه سانتی‌گراد، ثابت نگه داشته شده است. لازم به ذکر است که دمای آب در مناطق نزدیک به جداره اندازه‌گیری شده و نه مرکز مخزن که همواره دمایی پایین‌تر را داشت. ضمناً

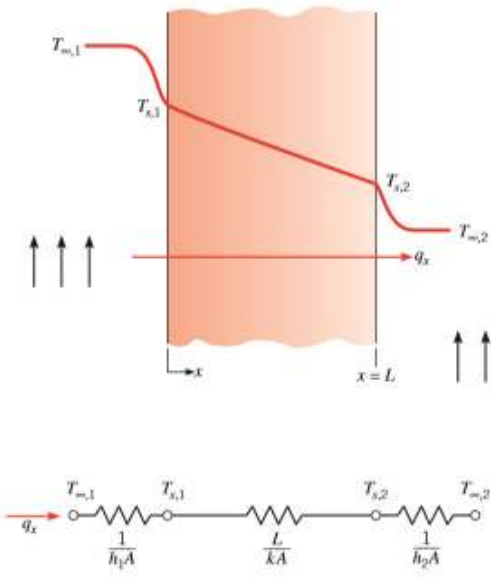
تغییرات فوق و نرخ رشد دمای محیط، با توجه به امکانات و شرایط موجود ایجاد شده است تا تنها بتوان حدود رفتار حرارتی مخزن و توان برآورد صحت محاسبات تئوری را به دست آورد.

ب) برآورد تئوری

ب۱- فرضیات مسئله:(Assumptions)

- دمای اطراف مخزن ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در طول آزمایش ثابت است.
- داخل مخزن ۱۰۰۰ لیتر آب با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد موجود است.
- ضخامت جداره ۲۲ میلی متر بوده و ضریب هدایتی آن، 0.08 w/m.k می‌باشد.
- کل سطح دیواره‌های مخزن به همراه درب روی آن که در تماس با هوا می باشند، ۵ متر مربع در نظر گرفته شده است.
- در طول مسئله با احتساب فرضیات از 1/h1A و 1/h2A نسبت به L/kA صرف نظر می‌شود. چرا که این اعداد برای هوا و آب، بسیار کوچک‌تر از این مقدار برای لایه کامپوزیتی جداره می باشند.

در این روابط h1 و h2 به ترتیب ضریب هدایت حرارتی جابه‌جایی (Convection) هوا و آب بوده و k ضریب هدایت حرارتی تماسی (Conduction) صفحه کامپوزیتی می‌باشد. هم‌چنین A سطح تماس جداره مخزن با هوا و L ضخامت صفحه کامپوزیتی می‌باشد. به این ترتیب 1/h1A و 1/h2A به ترتیب بیانگر مقاومت حرارتی هوا و آب بوده و L/kA مقاومت حرارتی صفحه کامپوزیتی را بیان می دارد. لازم به ذکر است که ضریب هدایت حرارتی جابه‌جایی هوا در این دما، حدود ۲۶ w/m.k و این مقدار برای آب درون مخزن، ۶۰۰ w/m.k می‌باشد. شکل (۲) مدل مقاومت حرارتی در نظر گرفته شده برای این مسئله را در سه ناحیه هوا، لایه کامپوزیتی و آب نشان می‌دهد.



شکل(۲). شماتیک سه عایق حرارتی مدل

ب۲- حل مسئله:

با توجه به معادلات انتقال حرارت و فرمول تغییر انرژی آب داخل مخزن و سپس با ساده سازی این روابط، معادله زیر حاصل می‌شود.

$$T_{i+1} = \frac{5 \times 3.64 \times (T_{\infty} - T_{in}) \times \Delta t}{4180000} + T_i$$

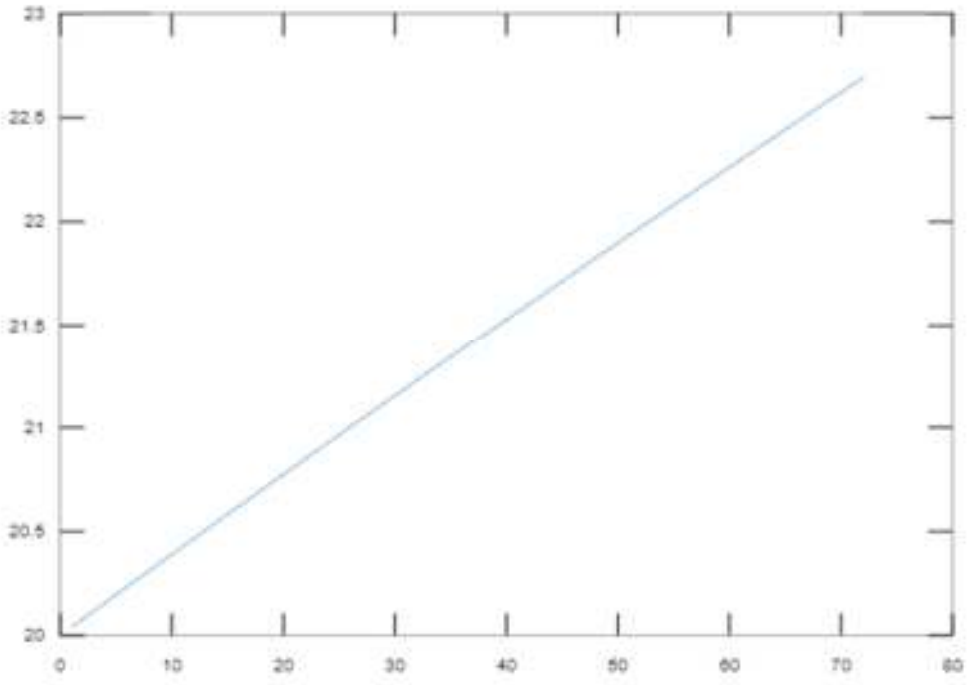
در این معادله (۵ ×۳,۶۴) از KA/L به دست آمده و عدد ۴,۱۸۰,۰۰۰ از حاصل ضرب جرم آب درون مخزن در حرارت ویژه آب به دست می آید. (حرارت ویژه آب برابر ۴۱۸۰ J/kg.K می‌باشد)

چنان‌چه گام‌های زمانی Δt جهت برآورد تغییرات دمای آب درون مخزن، ۳۰۰ ثانیه یا ۵ دقیقه در نظر گرفته شود، تغییرات دمای آب درون مخزن را می‌توان برای زمان‌های مختلف با توجه به رابطه فوق به دست آورد. اما از آن جا که خروجی هر مرحله برای مرحله بعد، یک ورودی محسوب می‌شود، بایستی معادله را به صورت پیش رونده و یا Progressive حل نمود. به این منظور معادله فوق با احتساب Δt در برنامه matlab کد نویسی شد.

```
Clear
s=0;
Ti=20;
while s<360
t=60;
a=((3.64*(50-Ti)*t)/4180000)+Ti;
Ti=a;
s=s+1;
x(s) =[a];
End
Plot(x)
```

ب۳- نتایج:

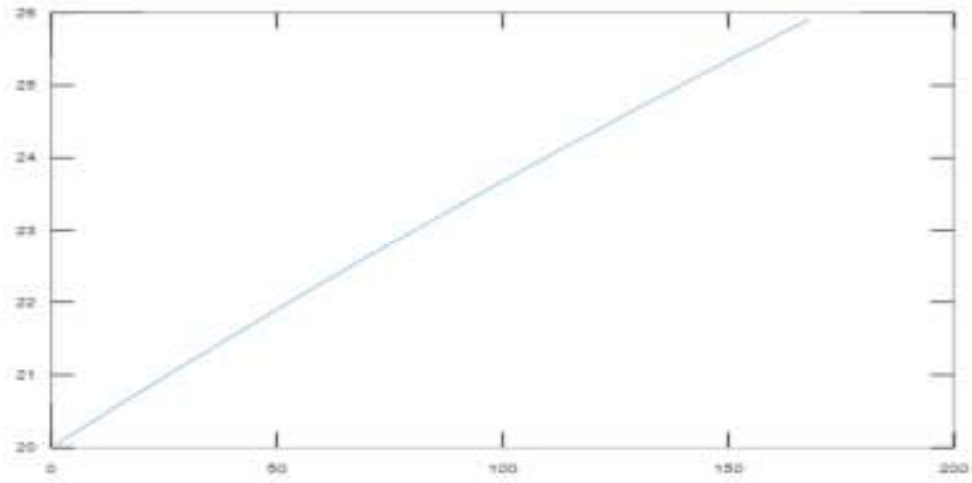
شکل (۳) تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن را در طی ۶ ساعت و یا ۷۲ دوره زمانی با طول ۳۰۰ ثانیه، نشان می‌دهد.



شکل(۳). تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن کامپوزیتی در طی ۶ ساعت

بر اساس این نمودار، چنان‌چه دمای محیط برای ۶ ساعت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بماند، دمای آب درون مخزن تنها ۲,۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۲,۷ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید).

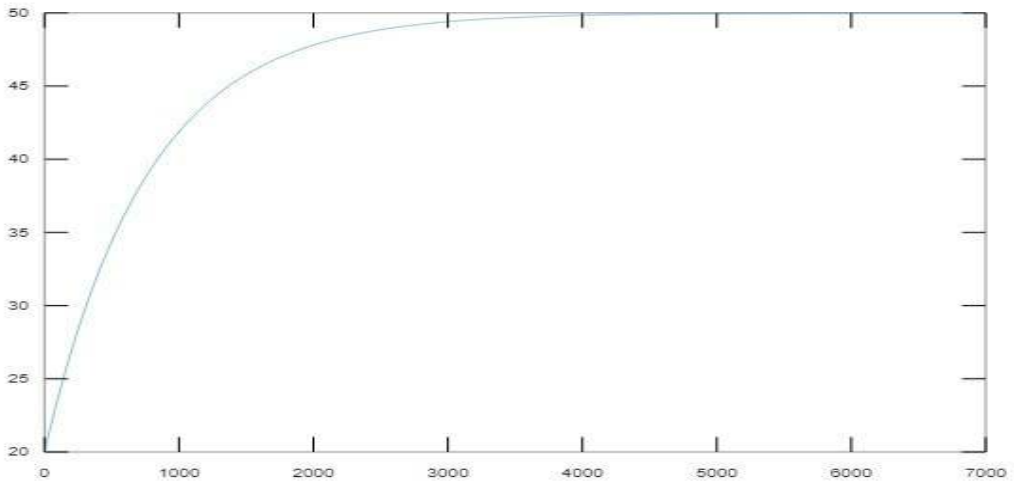
شکل (۴) نیز تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن را در طی ۱۴ ساعت و یا ۱۶۸ دوره زمانی ۳۰۰ ثانیه‌ای، نشان می‌دهد.



شکل(۴). تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن کامپوزیتی در طی ۱۴ ساعت

بر اساس این نمودار، چنان‌چه دمای محیط برای ۱۴ ساعت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بماند، دمای آب درون مخزن، حدود ۵,۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد، به حدود ۲۵,۹ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید).

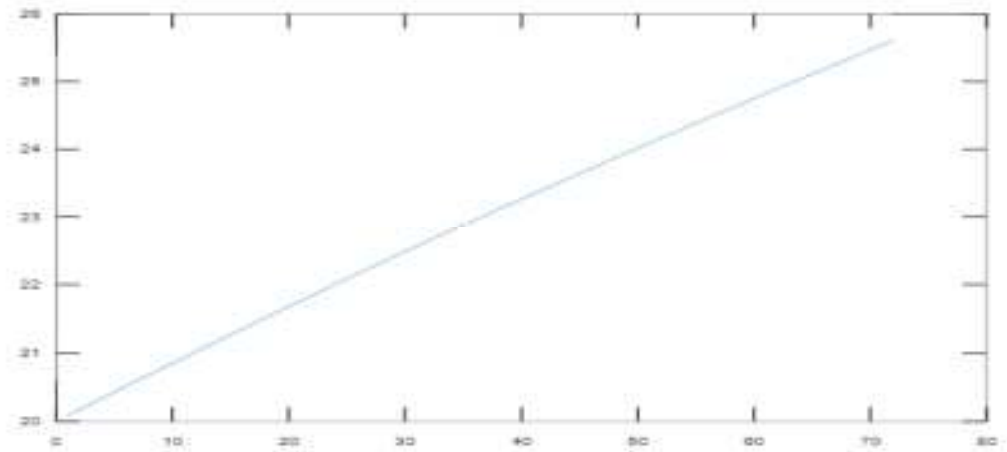
شایان ذکر است که بر اساس این محاسبات، دمای آب درون مخزن بعد از حدود ۱۴ شبانه روز که دمای هوا در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بماند، به تعادل می‌رسد. (دمای آب درون مخزن نیز به ۵۰ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید). شکل (۵) روند این تغییرات را در طی این ۳۳۶ ساعت نشان می‌دهد.



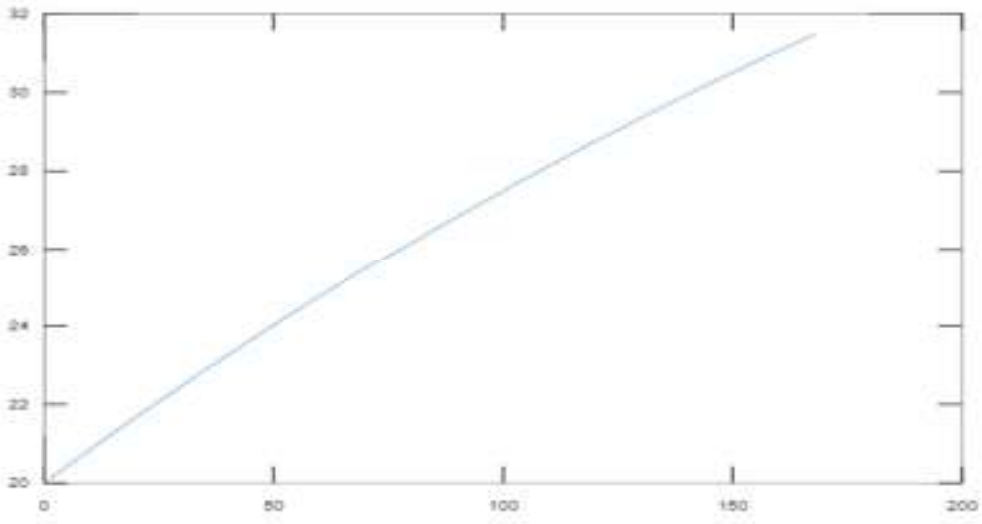
شکل(۵). روند تغییرات دمای آب درون مخزن کامپوزیتی در طی مدت زمان هم‌دمایی

۲- آنالیز حرارتی و دمایی مخزن پلی‌اتیلنی

اما چنان‌چه همین مسئله را با همین مفروضات در مورد یک مخزن پلی‌اتیلنی با ضخامت ۵ سانتیمتر و ضریب هدایت حرارتی ۰,۴ W/m.k حل کنیم، تغییرات دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی را پس از ۶ و ۱۴ ساعت، می‌توان به‌وسیله اشکال (۶) و (۷)، نشان داد.



شکل(۶). تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی در طی ۶ ساعت

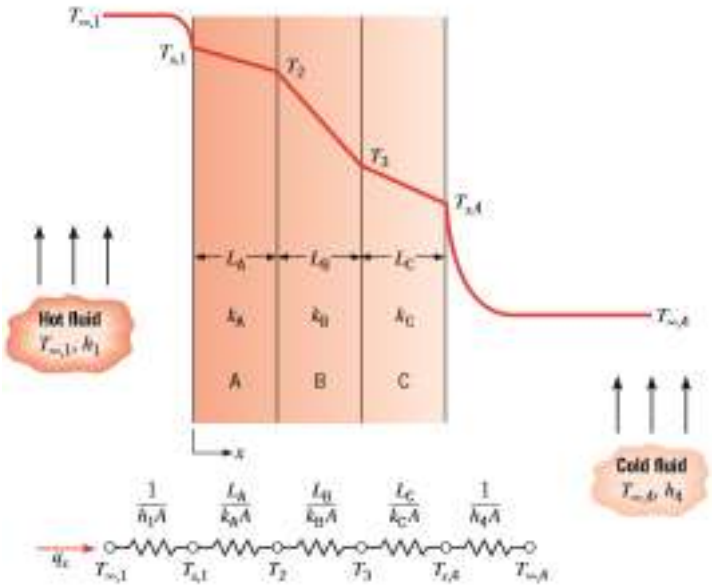


شکل(۷). تغییرات متوسط دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی در طی ۱۴ ساعت

بر اساس این نمودارها، برای مخزن پلی‌اتیلنی چنان‌چه دمای محیط برای ۶ ساعت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بماند، دمای آب درون مخزن ۵,۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۵,۷ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید). بر همین اساس، برای ۱۴ ساعت، دمای آب درون مخزن ۱۱,۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۳۱,۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید)

۳- آنالیز حرارتی و دمایی مخزن پلی‌اتیلنی پوشیده شده با کامپوزیت سه‌بعدی

حال چنان‌چه برای مخازن پلی‌اتیلنی و با فاصله ۲,۵ سانتیمتر از جداره بیرونی آن ها، از یک لایه کامپوزیت سه‌بعدی جهت عایق کردن مخزن استفاده شود، می‌توان شکل (۸) را برای مدل انتقال حرارت به درون مخزن پلی‌اتیلنی در نظر گرفت:



شکل(۸). مدل انتقال حرارت به درون مخزن پلی‌اتیلنی عایق شده با کامپوزیت سه‌بعدی

در این مدل با توجه به ساکن بودن هوای بین جداره مخزن پلی‌اتیلنی و لایه عایق سه‌بعدی، نمی‌توان از مقاومت حرارتی هوای ساکن بین دو لایه، چشم پوشی کرد. لذا در مدل در نظر گرفته شده، سه لایه به عنوان عایق عمل می کنند و از مقاومت حرارتی هوای آزاد و آب درون مخزن، صرفه نظر می‌شود. در مدل نشان داده شده، لایه عایق کامپوزیت سه‌بعدی، هوای بین این لایه و مخزن پلی‌اتیلنی و هم‌چنین جداره پلی‌اتیلنی مخزن، به ترتیب با A، B و C نشان داده شده است. به این ترتیب مقاومت حرارتی هریک نیز از رابطه L/kA به دست آمده است. در این رابطه، مقادیر زیر برای هر لایه عایق در نظر گرفته شده است:

L_{3D}=22 (mm) K_{3d}=0.08 (W/mK)

L_{air}=25 (mm) K_{air}=1.4 (W/mK)

Lpe=50 (mm) K_{pe}=0.4 (W/mK)

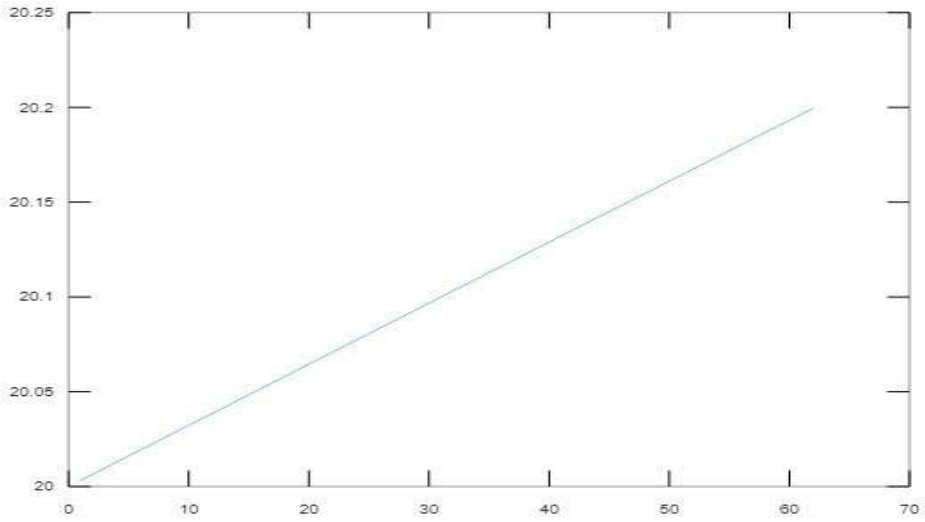
اکنون می‌توان رابطه زیر را برای این مدل سه جزئی در نظر گرفت:

$$q = \frac{5 \times (T_\infty - T_{in})}{\frac{0.022}{0.08} + \frac{0.025}{1.4} + \frac{0.05}{0.4}}$$

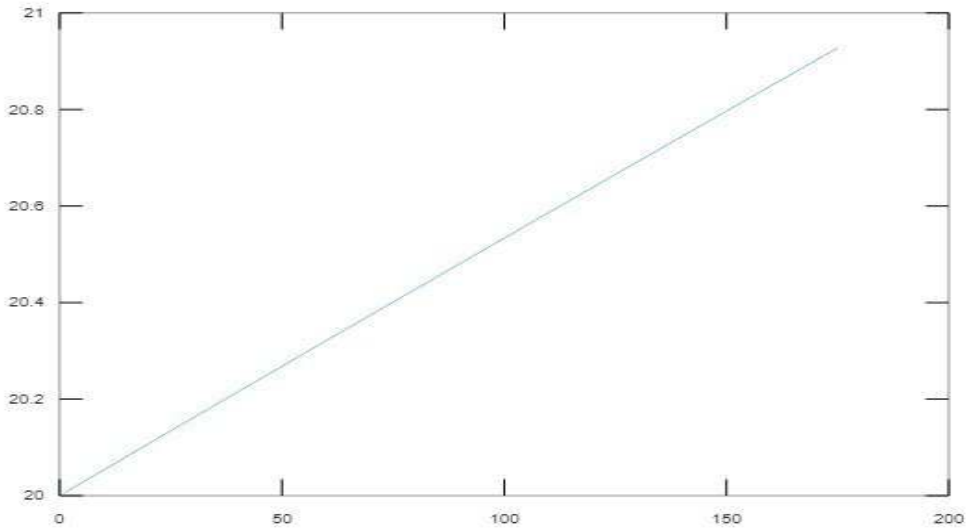
و سپس می‌توان به معادله تفاضل محدود زیر دست یافت:

$$T_{i+1} = \frac{12 \times (T_\infty - T_{in}) \times \Delta t}{4180000} + T_i$$

اکنون می‌توان مجددا از کد قبلی در فضای matlab استفاده نمود. اشکال (۹) و (۱۰)، تغییرات دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی عایق شده با کامپوزیت سه‌بعدی را پس از ۶ و ۱۴ ساعت نشان می‌دهند:



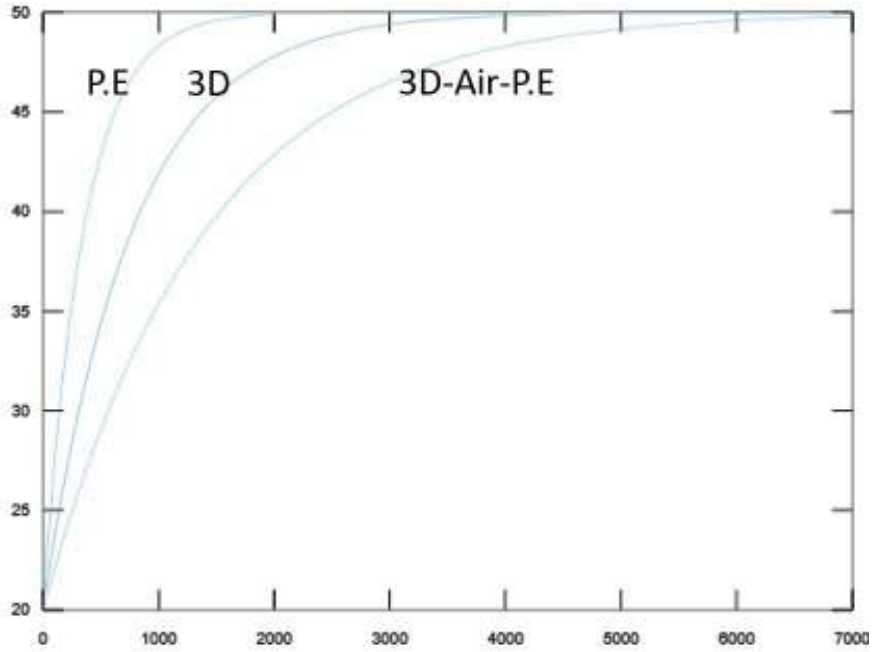
شکل(۹). تغییرات دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی عایق شده با کامپوزیت سه‌بعدی، در طی ۶ ساعت



شکل(۱۰). تغییرات دمای آب درون مخزن پلی‌اتیلنی عایق شده با کامپوزیت سه‌بعدی در طی ۱۴ ساعت

بر اساس این نمودارها، برای لایه‌های عایق سه گانه، چنان‌چه دمای محیط برای ۶ ساعت در ۵۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بماند، دمای آب درون مخزن ۰,۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۰,۲ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید). بر همین اساس، برای ۱۴ ساعت، دمای آب درون مخزن ۰,۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (یعنی از ۲۰ درجه سانتی‌گراد به ۲۰,۹ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید)

شکل (۱۱) به مقایسه روند هم‌دمایی در این سه حالت پرداخته است.



شکل(۱۱). مقایسه روند هم‌دمایی آب درون مخزن در سه حالت

۴- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، رفتار عایق حرارتی مخازن کامپوزیتی، بهتر از مخازن پلی‌اتیلنی و ضعیف تر از مخازن پلی‌اتیلنی عایق شده با کامپوزیت سه‌بعدی می‌باشد.

در پایان لازم است از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های جنابان آقایان دکتر احمد فخار و دکتر یاسر ملایی که از اساتید دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان می باشند و هم‌چنین از آقای مهندس امیر مهندس، تشکر وافر نماییم.

بخش تحقیق و توسعه

شرکت نوآوران صنعت سیَلک