نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد 11، مرداد - شهریور 1396، ص. 495-484

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 11, Agu.-Sept. 2017, p. 484-495

شبیه‌سازی تجربی وعددی انتقال کوپل حرارت و آب در محیط متخلخل خاک

علی اصغرمیرزایی[1*]، امیرحسین ناظمی[2]، سیدعلی اشرف صدرالدینی[3]، رضا دلیرحسن‌نیا[4]

تاریخ دریافت: 1395/9/7 تاریخ پذیرش: 1395/10/29

چکیده

علم انتقال حرارت یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین علوم مهندسی است. محیط متخلخل به خاطر ساختار خود، سطح انتقال حرارت بزرگی را در یک حجم مشخص فراهم می‌کند ازاین‌رو بررسی انتقال حرارت در محیط متخلخل خاک به خاطر اهمیت در لایه‌های زیرین خاک و جذب آب و ریشه در سال‌های اخیر مورد توجه قرارگرفته است. در این مطالعه، انتقال کوپل حرارت و آب در محیط متخلخل خاک که انتقال حرارت به طریق همرفت با استفاده از ترموگراف (IRT) و در شرایط آزمایشگاهی بررسی‌شد، آزمایش‌ها در مدل فیزیکی ساخته‌شده در گروه فنی و مهندسی دانشگاه شهر پادوا[5] در کشور ایتالیا انجام‌گرفت. آنالیز عددی بر اساس تفاضلات محدود و معادله انتقال حرارت در محیط متخلخل و با استفاده از مدل کومسول صورت گرفت. اندازه‌گیری درجه حرارت در محیط متخلخل اشباع‌شده از شن با استفاده از ترموکوپل و در نقاط تعیین‌شده محیط و در کوپل‌های مختلف حرارت و دبی جریان آب ($q_1,q_2,T_1,T_2,T_3,T_4,T_5$) انجام شد. مقایسه نتایج تجربی و عددی نشان می‌دهد که مدل کامسول با دقت زیادی انتقال کوپل حرارت و آب و نیز پخشیدگی سطحی حرارت را در محیط متخلل خاک شبیه‌سازی می‌کند. در انتقال کوپل حرارت و آب در محیط متخلخل در مقدار جریان آب بیش‌تر، زمان کم‌تری برای رسیدن به حالت پایدار سپری می‌شود. نتایج تجربی نشان داد که در انتقال کوپل حرارت و آب، دیفیوژن طولی پروفیل حرارت در محیط متخلخل با افزایش حرارت بیش‌تر خواهد شد. هرچه مقدار دبی جریان آب بیش‌تر باشد دیفیوژن طولی پروفیل حرارت در طول محیط نیز کم‌تر خواهد بود (دیفیوژن طولی پروفیل حرارت کوپل q_2T_4 بیش‌تر از کوپل q_1T_4 نشان داده شد). هرچه درجه حرارت بیش‌تر شود زمان توسعه‌یافتگی پروفیل حرارت و رسیدن به حالت پایدار در محیط متخلخل افزایش می‌یابد. با ثابت ماندن مقدار جریان و افزایش دما، زمان توسعه‌یافتگی پروفیل حرارت برای رسیدن به حالت پایدار در طول محیط متخلخل و در فواصل طولی تعیین‌شده کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی: انتقال حرارت، کوپل انتقال آب و حرارت، محیط متخلخل، همرفت-مدل کمسول

مقدمه

علم انتقال حرارت[6] به تحلیل فرایند انتقال حرارت در سیستم می‌پردازد. انتقال انرژی از طریق شار حرارت را نمی‌توان مستقیما اندازه‌گیری کرد، ولی این انتقال چون به یک کمیت قابل‌اندازه‌گیری به نام دما ارتباط دارد، دارای مفهوم فیزیکی است. انتقال حرارت در خاک در جذب آب و املاح توسط ریشه نقش دارد ولی اندازه‌گیری پارامترهای حرارت در محیط خاک و در شرایط مزرعه مشکل است. انتقال حرارت در واقع، گذر انرژی براثر اختلاف دما است. به‌طورکلی روش‌های مختلفی برای افزایش انتقال حرارت وجود دارد، از آن جمله می‌توان به تغییر رژیم جریان از حالت آرام به حالت مغشوش و افزایش ضریب هدایتی[7] سیال عبوری و افزایش سطح عبوری حرارت و رطوبت که باعث افزایش انتقال حرارت جابجایی می‌شود اشاره نمود (چالکش امیری،1387). محیط متخلخل به‌عنوان محیطی پیوسته که باعث افزایش سطح انتقال و همچنین افزایش‌دهنده پدیده هدایت به طریق همرفت در محیط جریان است و به‌طور گسترده برای افزایش انتقال حرارت به کار می‌رود. برای مطالعه رفتار حرکت و انتقال کوپل جریان و حرارت، دو رویکرد کلی وجود دارد .یکی، آن‌که محیط متخلخل را متشکل از ذرات بسیار کوچک یعنی مولکول‌ها می‌پندارد و دیگری، آن‌که محیط متخلخل را یک محیط پیوسته فرض می‌کنند. ازآن‌جا که در حقیقت محیط متخلخل متشکل از ذرات است، رویکرد اول منطبق بر واقعیت است و رویکرد دوم صرفا یک تقریب از رفتار محیط متخلخل است، اما تقریبی که در اکثر موارد جواب‌های بسیار دقیق می‌دهد (خشنودی،1381). جریان رطوبت در محیط متخلخل با

1- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه تبریز
2و3- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
4- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
(* - نویسنده مسول: Email: amirzaiee@yahoo.com)

5 -university padova
6 - Heat Transfer
7 - Conductivity coefficient

سه مقیاس طولی مختلف، منفذی میکروسکوپی ماکروسکوپ و میدانی مرتبط می‌باشد. به‌طورکلی برای انتقال بین سطح و سیالی متحرک که دمای آن‌ها باهم متفاوت است، از واژه‌ی جابجایی استفاده می‌شود. انتقال حرارت توسط جابجایی از دو مکانیزم تشکیل می‌شود . یکی انتقال انرژی ناشی از حرکت تصادفی مولکول‌ها و دیگری انتقال انرژی بر اثر حرکت توده‌ای سیال می‌باشد .وقتی‌که جریان توسط اعمال نیروی وسایل خارجی از قبیل فن و یا پمپ به وجود بیاید، فرآیند جابجایی اجباری به وجود می‌آید .در مقابل در جابجایی آزاد، جریان بر اثر نیروهای شناوری به وجود می‌آید (نظری،1392). با توجه به اهمیت بررسی کوپل انتقال جریان و حرارت در خاک و تحقیقات بسیار که در این زمینه انجام‌گرفته است این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی کوپل جریان و حرارت در محیط متخلخل می‌پردازد. رفتار جریان و انتقال حرارت عبوری از درون محیط متخلخل به علت ساختار منحصر به‌فرد و اهمیت کاربرد آن در زمینه‌های گوناگون مهندسی مکانیک، عمران و آب‌شناسی، به‌منظور بهبود عملکرد سیستم‌های انتقال حرارت، برای مهندسین و دانشمندان بسیار قابل‌توجه است به همین علت تاکنون تحقیقات تحلیلی، عددی و تجربی، در بررسی این پدیده پیچیده انجام‌گرفته است. بررسی جریان سیال در محیط متخلخل توسط ارگان را می‌توان جز اولین مطالعات انجام‌گرفته بر روی جریان سیال در محیط متخلخل دانست (Organ.,1952)در این بررسی یک رابطه کاربردی برای محاسبه افت فشار در کانال متخلخل ارایه شده است. پاتنگر با روش عددی جریان سیال و حرارت و تاثیر اعداد رینولدز مختلف بر روی جریان همرفت را انجام داد (Patenker.,1980). اویلی و همکاران به معرفی مدل کومسول به‌عنوان روش جدیدی برای مدل‌سازی آب زیرزمینی پرداختند آن‌ها ویژگی‌های عمومی کامسول ازجمله ماژول علوم زمین و برنامه مدل‌سازی المان محدود مورد استفاده برای حل طیف گسترده‌ای از معادلات دیفرانسیل جزیی با برنامه‌های کاربردی به جریان سیال را معرفی کردند و انعطاف‌پذیری یک دامنه مدل (متغیر اشباع جریان آب زمین با انتقال حرارت) در حوزه مدل مجاور (جریان آب زمین همراه با جریان آب سطحی در یک کانال) به یکدیگر تعمیم دادند که در بررسی دو بخش با دو مجموعه متفاوت می‌تواند مفید باشد. (Oili et al., 2009). ارسان بهینه‌سازی انتقال حرارت و سیالات سیستم‌های جریان با روش همراه حرکت مجانب بهینه‌ساز در اسکریپت COMSOL / MATLAB و فرآیندهایی ازجمله انتقال و پخشیدگی و جریان ناویه استوکس در نظر گرفته شد که به بررسی یک استاندارد انتقال حرارت خالص در دو بعد و سپس در فیزیک پیچیده فرآیند انتقال حرارت در سه بعد را در بهینه‌سازی به کاربرد (Ersan., 2009). تارکیو و همکاران مدلی برای انتقال همزمان حرارت و رطوبت و هوا در محیط متخلخل چندلایه مواد ساختمانی با استفاده از آزمون تحلیلی، عددی و تجربی منتشرشده ارایه کرد که از آن می‌توان برای شبیه‌سازی جذب رطوبت پویا و انتشار مواد بافر رطوبت استفاده کرد(Tarikua et al., 2010) . جهانشاهی به‌بررسی شبیه‌سازی همزمان رطوبت و انتقال حرارت دوبعدی در محیط متخلخل با استفاده از روش شبکه بولتزمن (روش حل عددی) پرداخت در مطالعه آن‌ها یک سیستم با جریان دمای بالا در نظر گرفته شد که فاز گازی با دمای بالای حرارتی از داخل یک محیط متخلخل عبور می‌نمود (Jahanshai., 2010) . درزمینه‌ی بررسی جریان هم‌زمان رطوبت و حرارت بین دو صفحه موازی، تحقیقاتی توسط شکوهمند و همکاران صورت گرفت. آن‌ها انتقال حرارت را در محیط متخلخل، قرار داده شده بین دو صفحه موازی بررسی کردند و تاثیر پارامترهای مختلف هم‌چون عدد دارسی، ضخامت محیط متخلخل و غیره در انتقال حرارت مورد بحث قرار دادند تحقیقات آن‌ها نشان داد که تمام پارامترهای ذکرشده تاثیر قابل‌توجهی در عملکرد حرارتی کانال دارند (Shokouhmand et al., 2008). کیهانی و محبی (1392) بررسی عددی هم‌زمان آب و حرارت در محیط متخلخل بین دو صفحه موازی را انجام دادند در شبیه‌سازی انجام‌گرفته، میدان جریان و دما با حل هم‌زمان توابع توزیع چگالی و دما (تابع پخش چگالی و دما در محیط متخلخل)، محاسبه شد و نتایج به‌دست‌آمده به‌خوبی حرکت جریان سیال و توزیع دمای داخل محیط متخلخل را نشان داد. نظری و همکاران (1392) تحلیل عددی انتقال حرارت سیال غیر نیوتنی را در محیط متخلخل بررسی کردند و تاثیر اعداد رینولدز مختلف بر روی پروفیل‌های سرعت و دما و همچنین عدد ناسلت بررسی گردید آن‌ها به این نتیجه رسیدند که وجود موانع در محیط متخلخل باعث افزایش عدد ناسلت متوسط گشته و انتقال حرارت را تسریع می‌نماید. نظری و همکاران در سال (1394) بررسی تجربی انتقال حرارت توسط جابجایی در کانال محیط متخلخل با تولید حرارت داخلی را بررسی کردند و پارامترهای مختلف ناشی از تغییرات قطر دانه‌ها، سرعت سیال و مقدار حرارت تولیدی بر روی انتقال حرارت جابجایی اجباری در کانال متخلخل را مطالعه کردند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش عدد رینولدز، ضریب انتقال حرارت توسط جابجایی افزایش می‌یابد. سالویا و همکاران مدل‌سازی ریاضی جریان هوا و انتقال حرارت در خنک کننده همرفت اجباری از محصولات با توجه مناطق مختلف بسته دریچه را با استفاده از مدل کومسول انجام دادند که نتایج آن‌ها نشان داد که مدل برای شبیه‌سازی پروفایل حرارت در سیال نیوتنی و غیر نیوتنی در طول مداوم حرارت جریان مایکروویو با جفت تکراری الکترومغناطیس، جریان سیال و انتقال حرارت را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند(Salvia et al., 2011) . منگ و همکاران به‌صورت تجربی پارامترهای انتقال حرارت توسط جابجایی اجباری تک فاز سیال آب را در کانال متخلخل با بستر دانه‌ای و تولید حرارت داخلی بررسی کردند آن‌ها با روش القایی در محیط متخلخل با دانه‌بندی ذرات باعث افزایش انتقال حرارت شدند و همچنین از آب

به‌عنوان سیال خنک‌کننده استفاده کردند در تحقیقات آن‌ها محیط متخلخل ابتدا از سیال آب اشباع شده و سپس حرارت در آن تولید شده است در گزارش آن‌ها به توزیع گرما به‌صورت طولی و شعاعی در محیط متخلخل اشاره شده است (Meng et al., 2013).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق انتقال کوپل حرارت و آب در محیط متخلخل پرشده از شن، در شرایط آزمایشگاهی شبیه‌سازی شد. آزمایشات در آزمایشگاه دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه پادوا در کشور ایتالیا (جهت انجام فرصت مطالعاتی) و در یک محیط متخلخل مربعی شکل به ابعاد 1×20×33 سانتی‌متر و با یک ورودی و خروجی جریان که در سمت چپ و راست محیط قرار دارد، انجام شد. محیط متخلخل با شن به قطر 0/84 میلی‌متر پرشده است و جنس این محیط پلگسی گلاس است. آب به‌صورت قطره‌ای از 20 پیزومتر (به قطر 1,2 و عرض 0/86 میلی‌متر) که در سمت چپ محیط متخلخل قرار دارد با دبی‌های متفاوت به داخل محیط وارد شد. یک فیلتر مناسب نیز در ابتدا و انتهای محیط برای جلوگیری از ورود ذرات شن قرار داده شد. جریان آب از طریق سه پمپ که قابلیت تغییر مقدار جریان ورودی را دارد وارد محیط شد. دوربین ترموگراف به‌صورت عمود بر صفحه محیط متخلخل برای ثبت ترمال گرمایی قرار داده شد (شکل 1). برای انتقال حرارت به محیط متخلخل یک المنت حرارتی که توسط سیم عایق به منبع تغذیه حرارتی با ولتاژ قابل تغییر وصل می‌باشد در سمت چپ محیط متخلخل قرار داده شد ولتاژ ولتمر تا حدی که حرارت به محیط انتقال یابد تنظیم شد و حرارت‌های متغیر توسط این صفحه فلزی تولید شد تا به سرتاسر محیط متخلخل انتقال یابد و انتقال حرارت به طریق همرفت در محیط متخلخل صورت گیرد. اندازه‌گیری دما توسط ترموکوپل‌هایی به قطر 0/7 میلی‌متر انجام شد. پس از تکمیل سیستم آزمایشگاهی، آب در مخزن ریخته و پمپ با دبی مشخص روشن شد تا جریان سیال در محیط متخلخل خاک برقرار گردد . سپس می‌بایست المنت مربوط به برقراری شار حرارتی را روشن کرد تا محیط متخلخل آزمایش شروع به گرم شدن کند .برای شروع آزمایش در هر مرحله باید ابتدا دبی جریان آب توسط پمپ را تعیین کرد و سپس دمای ترموکوپل‌های کار گذاشته شده در محیط متخلخل

خاک را در زمان و مکان‌های متفاوت محیط متخلخل توسط دیتالاگر متصل به کامپیوتر ثبت شد که این کار برای دبی و شارهای حرارتی متفاوت انجام شد.

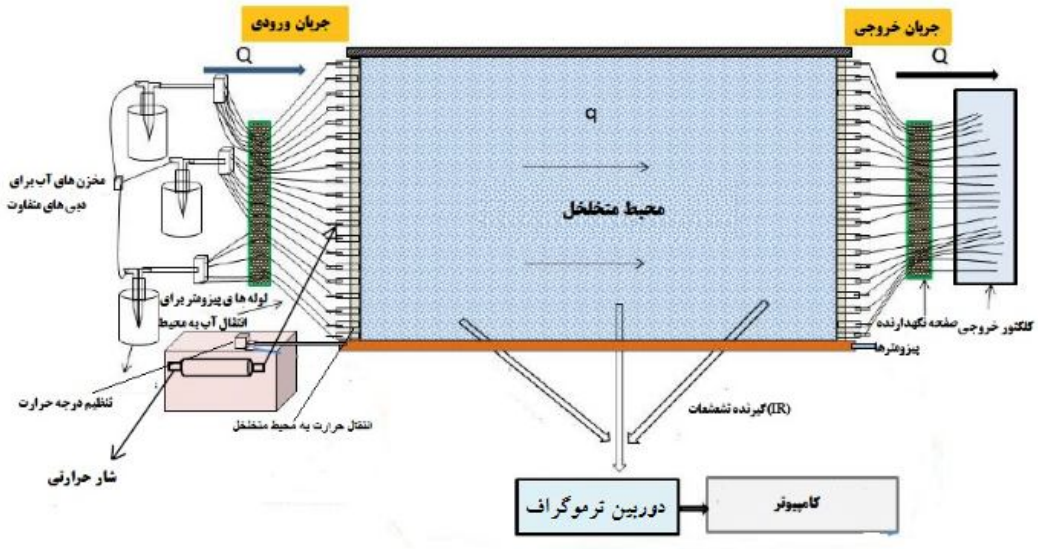
مشخصات فیزیکی شن و آب بکار رفته در آزمایش در جداول 1و2 آورده شده است.

آزمایشات برای کوپل‌های جریان آب و دماهای متفاوت انجام شد که مقادیر آن‌ها در جدول 2 آورده شده است.

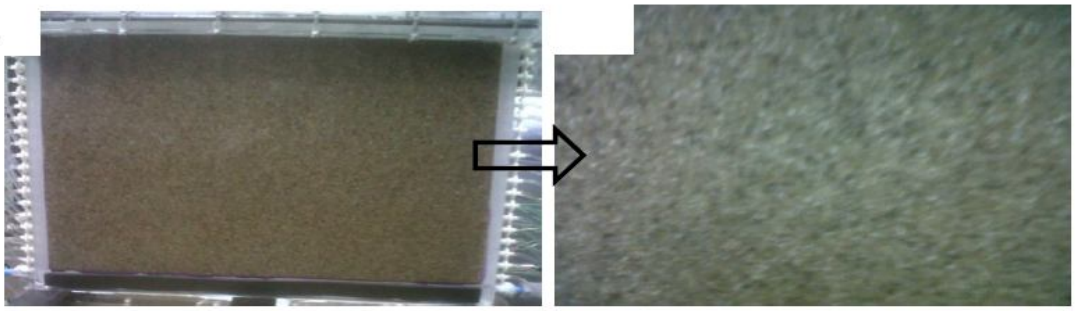
کالیبراسیون ترموکوپل‌ها (IR)

برای انجام کالیبراسیون، ترموکوپل‌ها را در 15 نقطه مشخص شده در محیط متخلخل قرار داده و دمای نقاط را که به دیتالاگر متصل است در زمان‌های مختلف ثبت شد. کالیبراسیون برای کوپل‌های مقدار جریان و دمای متفاوت انجام شده است که در نمودارهای 1 و 2

آورده شده است. همان‌گونه که در نمودارها مشاهده می‌شود همبستگی خوبی بین نقاط مشاهده‌شده و خوانده‌شده توسط ترموکوپل‌ها وجود دارد و می‌توان گفت ترموکوپل‌ها کالیبره است.



شکل 1-شماتیک فیزیکی محیط آزمایش



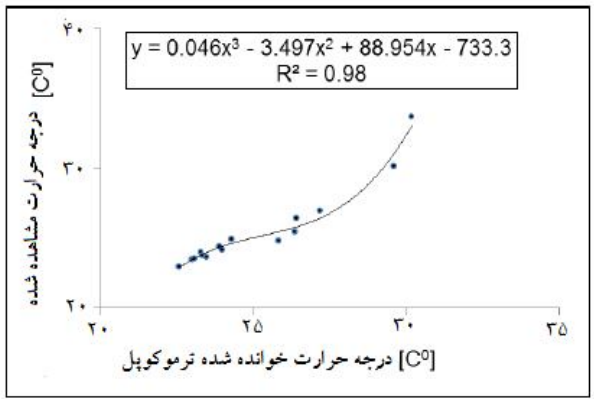
شکل 2-محیط متخلخل اشباع‌شده با شن

جدول 1- مشخصات فیزیکی شن و آب بکار رفته در آزمایش

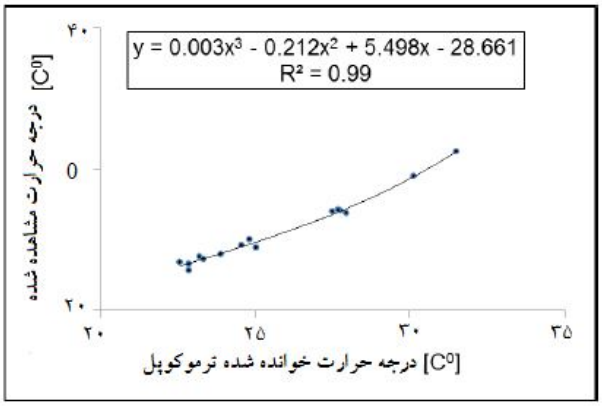
مشخصات فیزیکی	شن	آب
رسانایی گرمایی $[Wm^{-1}K^{-1}]$	3/5	0/6
چگالی$[kgm^{-3}]$	2000	1000
ظرفیت گرمایی $[Jkg^{-1}.K^{-1}]$	900	4184
نفوذپذیری ذاتی $[m^2]$	$3/3\times10^{-10}$	
ویسکوزیته [Pa.s]	-	1×10^{-3}
تخلخل	0/35	
ضریب انبساط حرارتی [1/K]	-	$2/5\times10^{-4}$

جدول 2- مقادیر متفاوت کوپل درجه حرارت ومقدارجریان آب استفاده شده در آزمایش

مقدار جریان آب در واحد سطح q) (m/s)		درجه حرارت (T) (C)	
q1	110^{-4}	T1	35
q2	$0/510^{-4}$	T2	45
q3	$0/110^{-4}$	T3	2
		T4	50
		T5	70



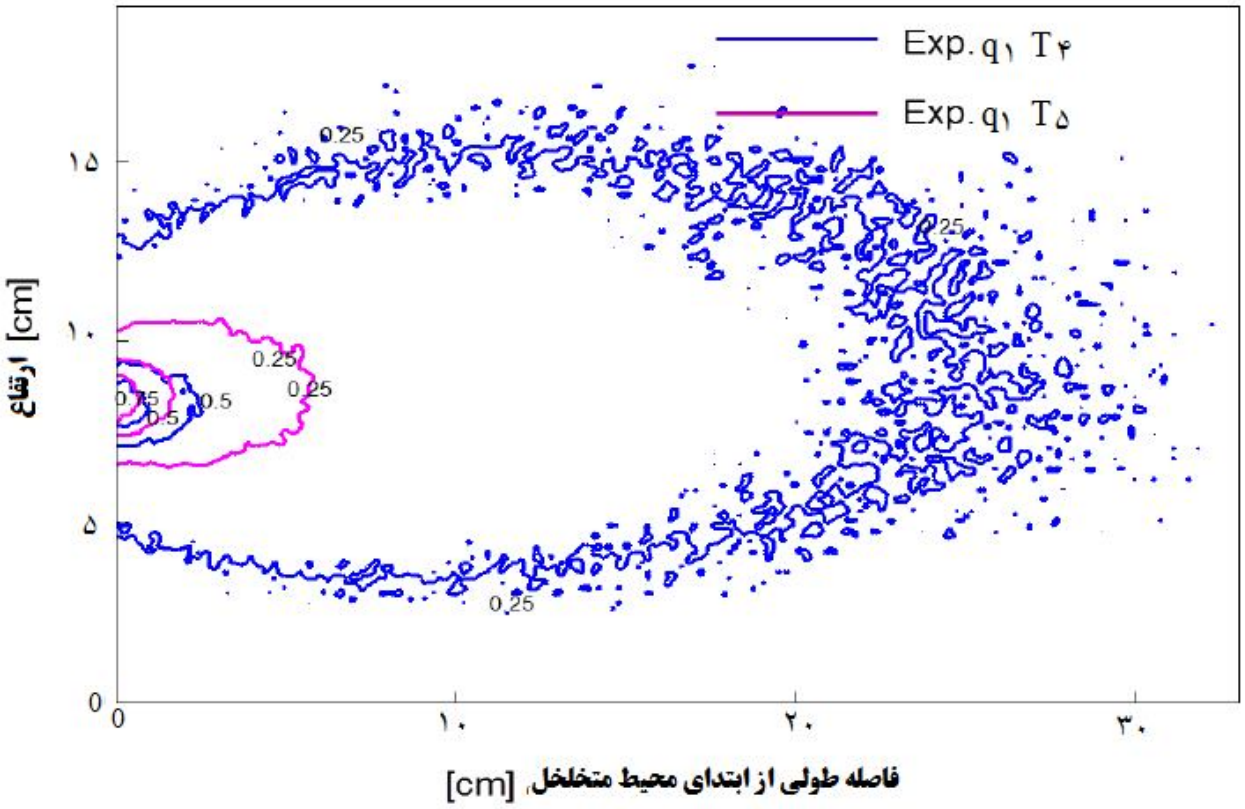
نمودار 1- منحنی کالیبراسیون ترموکوپل برای حالت کوپل q1T1



نمودار 2- منحنی کالیبراسیون ترموکوپل برای حالت کوپل q2T2

نتایج وبحث

نتایج خروجی ثبت شده دوربین ترموگراف در شکل 3 آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دیفیوژن طولی حرارت در کوپل انتقال آب وحرارت در 3 گرادیان و برای 2 جریان آب و دما (q_1,q_2,T_4,T_5) برای فواصل طولی از ابتدای محیط متخلخل خاک آورده شده است.



شکل 3-مقایسه پیش‌روی پروفیل‌های دیفیوژن حرارتی در طول محیط متخلخل خاک در حالت‌های کوپلq1 T4 وq2T5

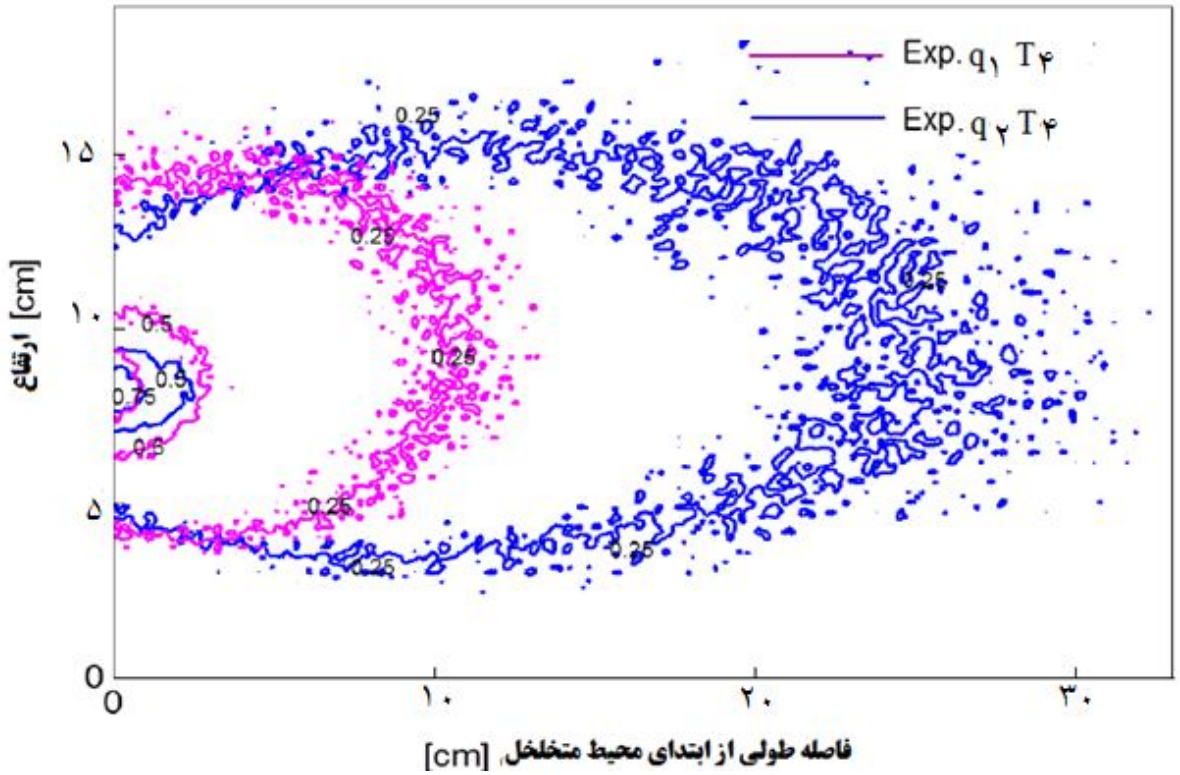
همان‌گونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود در گرادیان‌های 0/75 و 0/5 پروفیل‌های حرارتی اختلاف چندانی بین دو کوپل ملاحظه نمی‌شود اما در گرادیان 0/25 پروفیل دیفیوژن طولی وعرضی حرارت در مقدار جریان آب یکسان برای دمای 50 درجه سانتی‌گراد در طول محیط متخلخل بیش‌تر از دمای 70 درجه است. همان‌گونه که در فرمول 1 مشخص است با توجه به تعریف عدد پیکلت، در جریان ثابت طول انتقال حرارت به ظرفیت گرمایی ویژه بستگی دارد که هرچه دما بیش‌تر باشد ظرفیت گرمایی بیش‌تر می‌شود و طول انتقال کاهش می یابد و به همین دلیل درشکل 3 انتشار پروفیل دیفیوژن طولی حرارت در کوپل آب و حرارت در دمای 70 درجه کم‌تر از دمای 50 درجه شده مشاهده شده است. در روابط زیر p_{el} عدد پیکلت، L طول مشخصه جریان، V سرعت برداری و α ضریب نفوذ حرارتی در این رابطه k ضریب نفوذ رسانشی حرارت، ρ چگالی , C_p ظرفیت گرمایی می‌باشد

$$L=\frac{Pe L\alpha}{V} \quad (1)$$

$$\alpha=\frac{K}{\rho C P} \quad (2)$$

$$L=\frac{Pe L K}{V \rho C P} \quad (3)$$

با توجه به دمای یکسان در شکل 4 انتشار طولی کوپل حرارت و آب به مقدار جریان بستگی دارد که طبق رابطه 3 بدست آمده از عدد پیکلت هرچه مقدار جریان بیش‌تر باشد دیفیوژن طولی نیز کم‌تر خواهد بود وهمان‌گونه که درشکل مشخص است پروفیل دیفیوژن طولی حرارت درحالت کوپل q_2T_4 بیش‌تر از حالت کوپل q_1T_4 و دیفیوژن عرضی آن در طول محیط متخلخل خاک کم‌تر می‌باشد.



شکل 4- مقایسه پیش‌روی پروفیل‌های دیفیوژن حرارتی در طول محیط متخلخل در حالت‌های کوپل q1 T 4 وq2T4

مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

برای تحلیل نتایج به‌صورت عددی از نرم‌افزار کومسول[1] که نرم‌افزاری با کاربری عمومی و با پایه‌ی الگوهای عددی پیشرفته، برای استفاده در مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسایل مبتنی بر فیزیک می‌باشد. با استفاده از این نرم‌افزار، می‌توانیم رفتار مدل‌های فیزیکی متفاوت یا به‌هم‌پیوسته را محاسبه کنید. کومسول با دارا بودن بیش از 30 بخش افزوده شده به نرم‌افزار، امکان این را دارا هست که فضای شبیه‌سازی را با انواع ارتباط‌های فیزیکی و ابزارهای مختلف برای انجام پروژه‌های الکتریکی، مکانیکی، جریان سیالات و حرارتی به کاربست. همچنین، رابطه طراحی شده در نرم‌افزار، توانایی متصل کردن شبیه‌سازی‌های کومسول به نرم‌افزارهای محاسبات فنی از قبیل CAD و matlab را نیز فراهم می‌آورد. محیط کار نرم‌افزار کومسول به‌صورت یکپارچه می‌باشد که سبب سهولت در انجام شبیه‌سازی‌های ما بین رشته‌ای می‌شود. ماژول‌های افزودنی به نرم‌افزار نیز این یکپارچگی را حفظ نموده و نحوه تعامل با نرم‌افزار حتی در حضور این ماژول‌ها به‌هیچ‌عنوان تغییر نمی‌کند. با استفاده از این نرم‌افزار به‌راحتی می‌توانید با قابلیت اطمینان بالایی مدل‌هایی از یک نوع فیزیک را در محیط و بسترهایی با چند فیزیک توسعه دهید تا چندین پدیده به‌صورت هم‌زمان در حل مسئله لحاظ شوند؛ و در این مقاله چون هدف انتقال کوپل حرارت و آب بوده است این نرم‌افزار قادر خواهد بود این دو رفتار را باهم شبیه‌سازی کند. در کومسول می‌توانیم معادلات دلخواه را که می‌تواند شامل خواص ماده، مرزها، ترم‌های مربوط به منبع و چاه و یا یک جفت معادلات دیفرانسیل جزیی باشد را وارد مسئله کنیم تا حل عددی به‌صورت هم‌زمان برای یک یا چند پدیده فیزیکی انجام بگیرید. برای شبیه‌سازی در ورودی شرط مرزی جریان یکنواخت و دمای ثابت و در خروجی از شرط جریان خروجی استفاده شده است و در صفحه بالا پایین محیط متخلخل از شرط مرزی عدم لغزش و دمای ثابت استفاده گردیده است. در این مقاله کومسول بر پایه معادله 4 از معادله نهایی 5 برای شبیه‌سازی کوپل حرارت و جریان آب استفاده کرده است. که در این معادلات q مقدار جریان D_{Th} پخشیدگی مکانیکی حرارت،k_{ef} هدایت حرارتی موثر pc_p, ظرفیت گرمایی، α_T پخشیدگی عرضی حرارت، α_L پخشیدگی طولی حرارت، f نیز بیانگر فاز جریان (مایع یا گاز) می‌باشد.

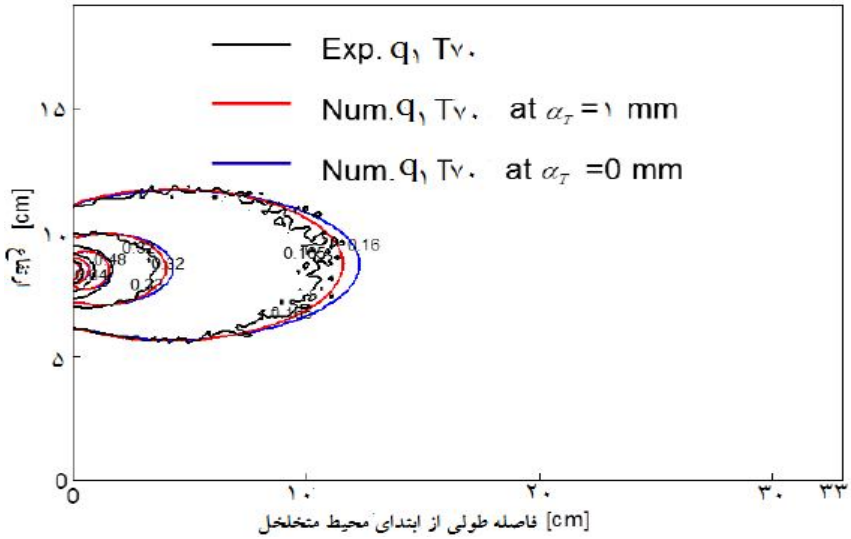
$$\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=0 \qquad (4)$$

$$D_{Th}=\left(\frac{k_{eff}}{(\rho c_p)_{eff}}+\alpha_T q\frac{(\rho c_p)_f}{(\rho c_p)_{eff}}\right)I+(\alpha_L-\alpha_T)\frac{qq}{|q|}\cdot\left(\frac{(\rho c_p)_f}{(\rho c_p)_{eff}}\right) \qquad (5)$$

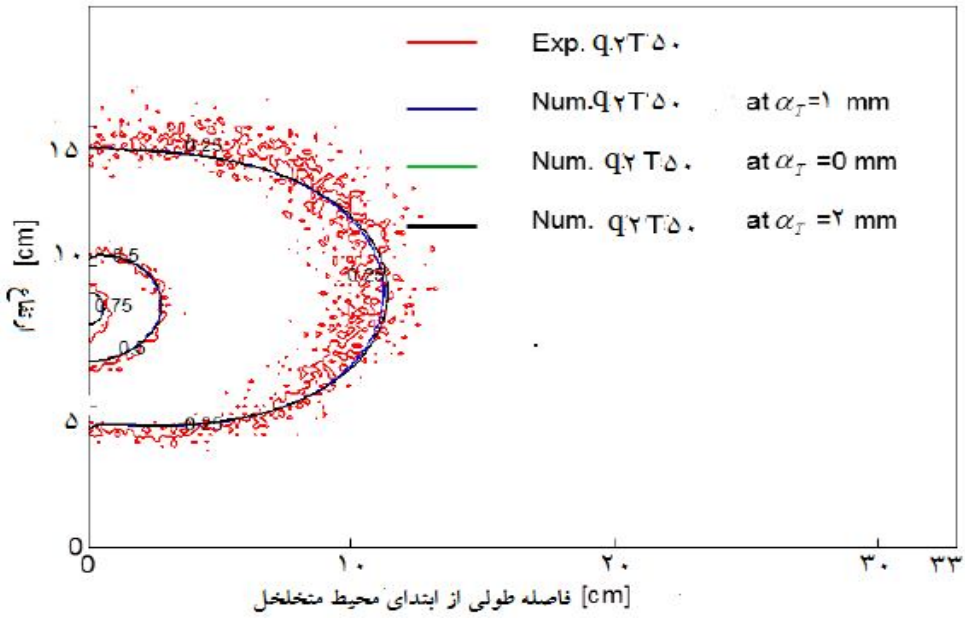
1 - COMSOL Multiphysics

مقایسه پروفیل‌های طولی حرارتی در حالت انتقال کوپل حرارت و آب در نتایج آزمایشگاهی و عددی

نتایج مدل عددی با و بدون تاثیر پخشیدگی عرضی حرارت $(\alpha)_T$ در شکل 5 آورده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است اختلاف کمی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که این اختلاف می‌تواند به دلیل این باشد که محیط متخلخل را در مدل عددی همسان فرض نمودیم درحالی‌که در محیط آزمایش این‌گونه نبوده است. در نمودار شکل 6 برای کوپل جریان q_2T_4 همان‌گونه که مشاهده می‌شود همبستگی نزدیکی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی با پخشیدگی عرضی حرارتی 1 و 2 میلی‌متر و بدون پخشیدگی عرضی حرارت مشاهده می‌شود.



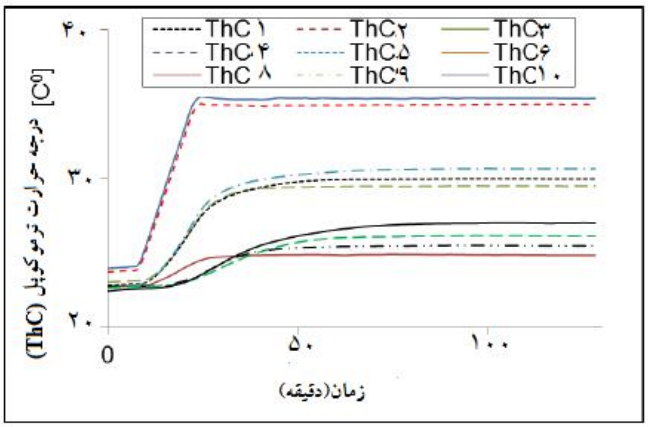
شکل 5- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی پروفیل‌های طولی حرارتی در حالت کوپلq1T5



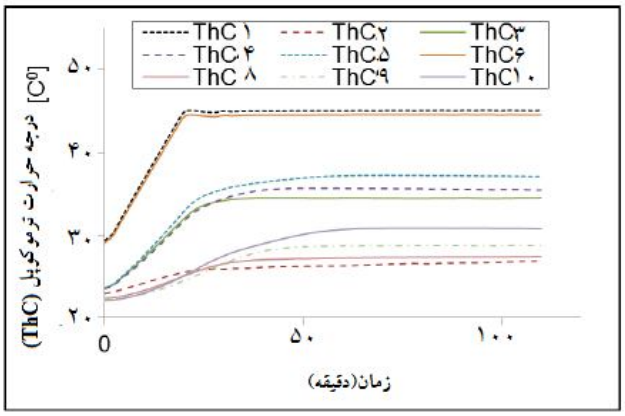
شکل 6-مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی پروفیل‌های طولی حرارتی درکوپلq2T4

با استفاده از مدل کومسول، منحنی‌های درجه حرارت در حالت‌های کوپل با گذشت زمان در محیط متخلخل در نمودارهای 3 تا 6 آورده شده است.

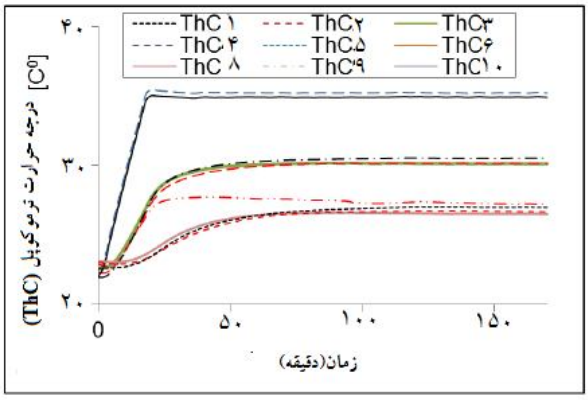
برای ترسیم نمودار کوپل تاثیر حرارت و آب از ترموکوپل‌های (ThC) کنار یکدیگر و با فواصل کم‌تر که نتایج تقریبا یکسانی را نشان می‌دهد صرف‌نظر شده است



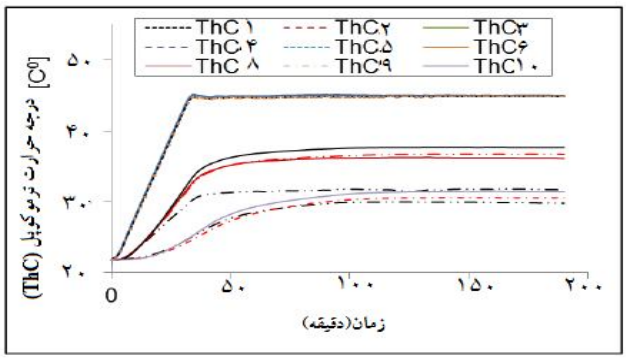
نمودار 3- منحنی درجه حرارت نسبت به زمان در محیط متخلخل در حالت کوپل q1 T1



نمودار 4-منحنی درجه حرارت نسبت به زمان در محیط متخلخل در حالت کوپلq1 T2



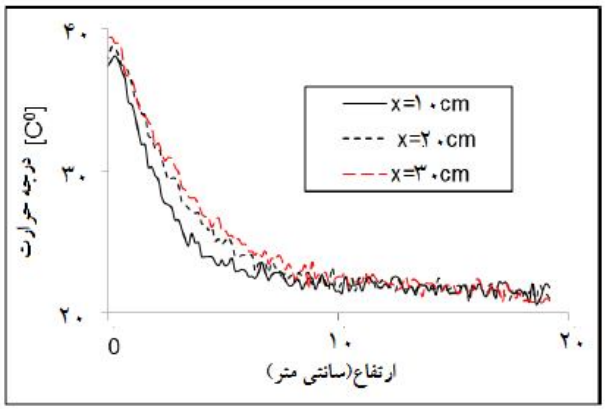
نمودار 5-منحنی درجه حرارت نسبت به زمان در محیط متخلخل در حالت کوپلq2 T1



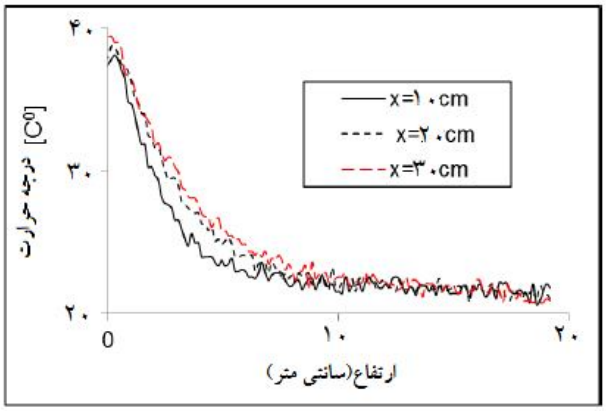
نمودار 6- منحنی درجه حرارت نسبت به زمان در محیط متخلخل در حالت کوپلq2 T2

در نمودارهای 3 و 4 مشاهده می‌شود که با ثابت ماندن جریان آب در دو حالت کوپل هرچه درجه حرارت بیش‌تر شود زمان رسیدن به حالت پایدار و توسعه یافته در محیط متخلخل افزایش می‌یابد در نمودارهای 5 و 6 با جریان یکسان در حالت کوپل مشاهده می‌شود که با افزایش دما، زمان رسیدن به حالت پایدار در محیط متخلخل افزایش می‌یابد. با مقایسه نمودارهای 3 و 5 که دو منحنی با درجه حرارت ثابت در حالت کوپل است به این نتیجه می‌رسیم که با کاهش جریان، زمان رسیدن به حالت پایدار و توسعه‌یافته در محیط متخلخل کاهش می‌یابد. با استفاده از مدل کومسول، منحنی‌های درجه حرارت نسبت به ارتفاع محیط متخلخل خاک در حالت کوپل جریان و در فواصل طولی از محیط متخلخل بدست می‌آید که در نمودارهای 7 تا10 مشاهده می‌کنید

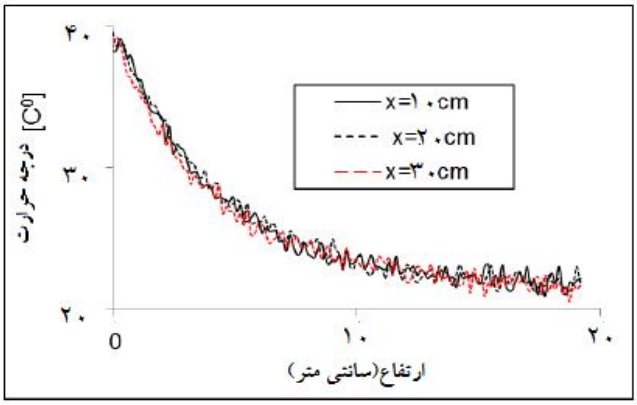
با مشاهده منحنی‌های نمودار 7 و 8 نتیجه می‌شود که با ثابت ماندن جریان آب و افزایش دما در حالت کوپل، زمان رسیدن پروفیل حرارتی به حالت پایدار و توسعه‌یافته در طول محیط متخلخل و در فواصل طولی تعیین‌شده کاهش می‌یابد. با مقایسه منحنی‌های نمودار 9 و 10 نتیجه می‌شود که با ثابت ماندن دما و کاهش جریان آب در حالت کوپل، زمان رسیدن پروفیل حرارتی به حالت پایدار در طول محیط متخلخل و در فواصل طولی تعیین‌شده کاهش می‌یابد. با اتصال مدل کومسول به برنامه کاربردی مطلب پخشیدگی سطحی درجه حرارت در حالت کوپل حرارت و آب در طول محیط متخلخل خاک را بدست می‌آوریم که در شکل‌های 7 تا 9 مشاهده می‌کنید و با توجه به این‌که T3> T2>T1 است نتیجه می‌شود که افزایش دما باعث شده پخشیدگی سطحی حرارت در طول محیط متخلخل افزایش یابد که مدل کومسول این افزایش را به‌خوبی نشان داده است.



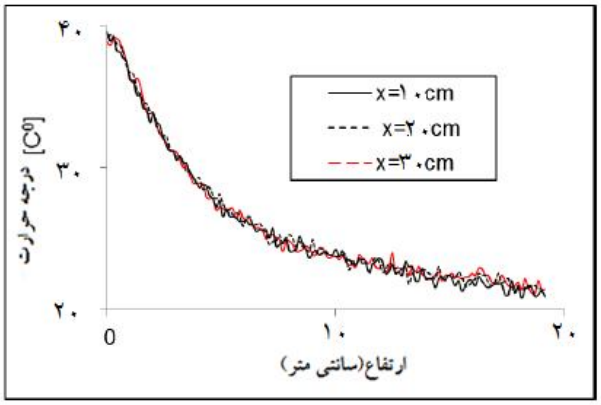
نمودار 7- منحنی درجه حرارت نسبت به ارتفاع محیط متخلخل در فواصل طولی مشخص از محیط در حالت کوپل q1 T1



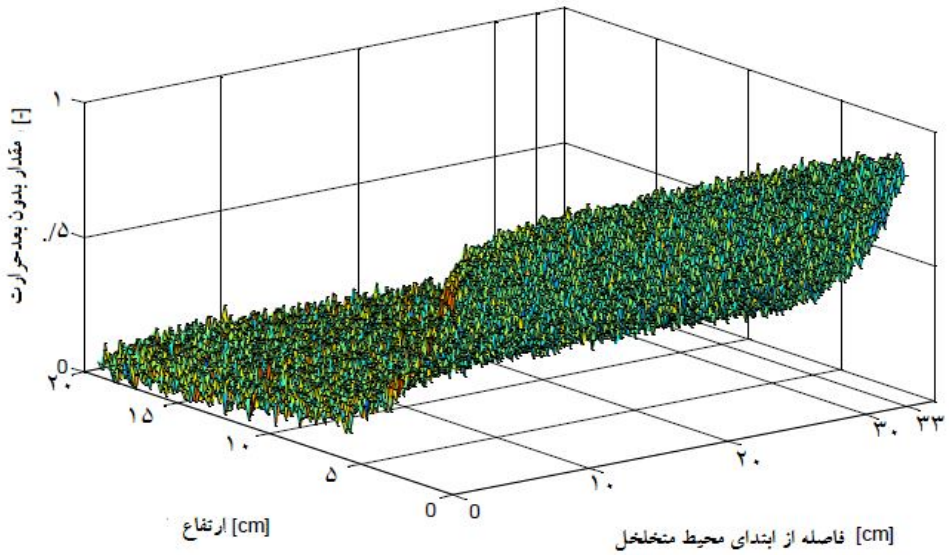
نمودار8- منحنی درجه حرارت نسبت به ارتفاع محیط متخلخل درفواصل طولی مشخص ازمحیط در حالت‌های کوپل q1 T2



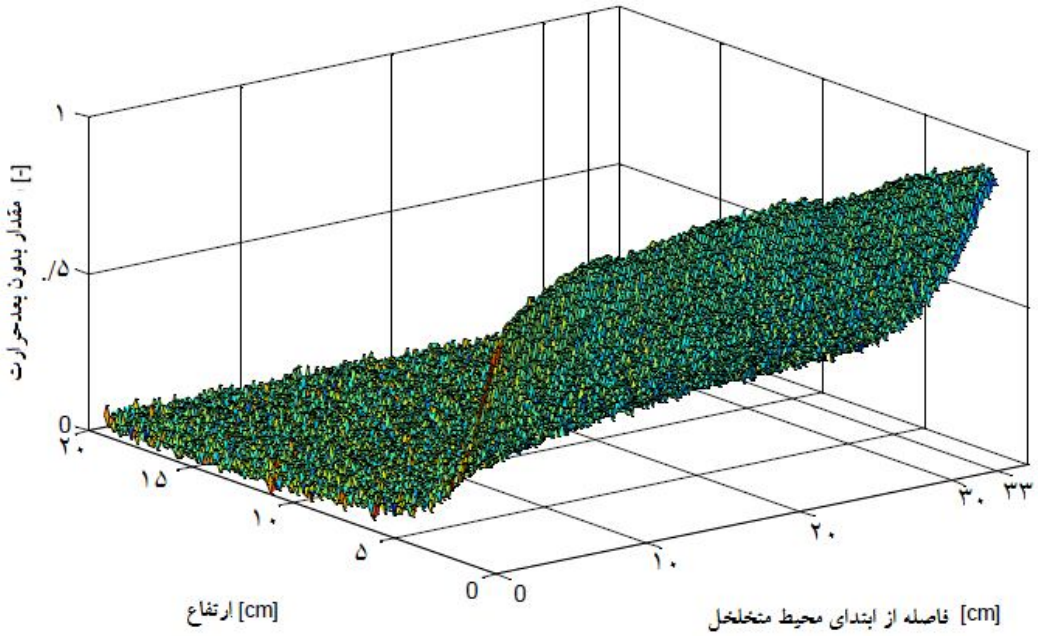
نمودار 9- منحنی درجه حرارت نسبت به ارتفاع محیط متخلخل در فواصل طولی مشخص از محیط در حالت کوپلq1 T3



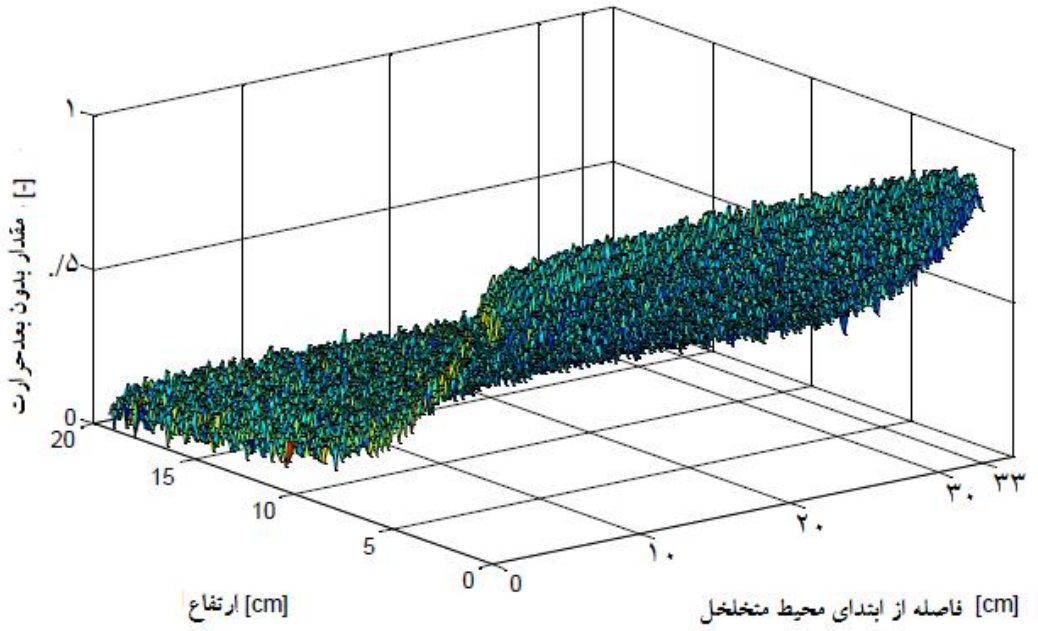
نمودار 10- منحنی درجه حرارت نسبت به ارتفاع محیط متخلخل در فواصل طولی مشخص از محیط در حالت کوپلq2 T3



شکل 7- پخشیدگی سطحی درجه حرارت در طول محیط متخلخل خاک برای حالت کوپل q1T1



شکل 8- پخشیدگی سطحی درجه حرارت در طول محیط متخلخل خاک برای حالت کوپل q2T2



شکل 9- پخشیدگی سطحی درجه حرارت در طول محیط متخلخل خاک برای حالت کوپل q3T1

نتیجه‌گیری

در این مقاله انتقال کوپل حرارت و آب در محیط متخلخل خاک و در شرایط آزمایشگاهی و تحت کوپل دو جریان و پنج درجه حرارت و با استفاده از دوربین ترموگراف و ترموکوپل بررسی شد. آنالیز عددی بر اساس تفاضلات محدود و معادله انتقال حرارت در محیط متخلخل و با استفاده از مدل کومسول صورت گرفت مقایسه نتایج تجربی و عددی، کارایی مدل کومسول در شبیه‌سازی انتقال کوپل حرارت و آب را در محیط متخلف خاک و پخشیدگی سطحی حرارت نمایان می‌سازد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در کوپل آب وحرارت با مقدار جریان آب بیش‌تر، دیفیوژن عرضی حرارت بیش‌تر و دیفیوژن طولی کم‌تری در مقایسه با مقدار جریان کم‌تر اتفاق می‌افتد زیرا

حرارت زمان بیش‌تری برای هدایت همرفت در جهات مختلف دارد. در دبی‌های بیش‌تر انتقال حرارت به ترکیبی از پخشیدگی و پراکندگی مکانیکی حرارت بستگی دارد درحالی‌که که در جریان‌های کم‌تر بیش‌تر تحت تاثیر شرایط مرزی قرار دارد. همچنین در جریان‌های بیش‌تر، زمان کم‌تری برای رسیدن به حالت پایدار سپری می‌شود. مقایسه نتایج عددی با کوپل مقدار جریان‌های مختلف آب نشان داد که در آنالیز انتقال حرارت و آب در محیط متخلخل خاک، دیفیوژن نباید نادیده گرفته شود حضور محیط متخلخل بر روی رفتار حرارتی تاثیر می‌گزارد.

منابع

چالکش امیری،م.، رحیمی،ا. 1387. مفاهیم انتقال حرارت، چاپ دوم، انتشارت ارکان دانش

خشنودی،م.، باغبان،ح. 1381. اصول و کاربرد انتقال حرارت، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

کیهانی،م.ح.، محبی،ر. 1392. فصل‌نامه مکانیک هوافضا (انتقال حرارت و پیش‌رانش). 9. 1: 63 – 76.

نظری،م.، محبی،ر و کیهانی،م.ح. 1392. مکانیک سازه‌ها و شارها. 1: 105-119.

نظری،م.، جلالی وحید،د.، خانجانی،س. 1394. مجله مهندسی مکانیک مدرس. 1.15: 203-216

Ercan,M. 2009. Multiphysics Topology Optimization of Heat Transfer and Fluid Flow SystemsExcerpt from the Proceedings of the COMSOL Conference Boston

Jahanshai Javaran,E., Gandjalikhan Nassab,S.A., Jafari,S. 2010 Thermal analysis of a 2-D heat recovery system using porous media including lattice Boltzmann simulation of fluid flow. Internation Journal Thermal Science. 49.6: 1031–1041

Meng,X,Z and Sun,X. 2013. Single-phase convection heat transfer characteristics of pebble-bed channels with internal heat generation, Nuclear Engineering and Design.252:.121- 127.

Organ,A.E. 1952. The Physics of Flow Through Porous Media" Principles of Heat Transfer in Porous Media, Springer. 51.11:. 2211-5526.

QiLi,N., Kazumasa,I., Zhishen,W., Christopher,S., Steven,P. 2009. Loheide IICOMSOL Multiphysics: A Novel Approach to Ground Water Modeling. ISI Journal Groundwater. 47. 4: 480-487

Patankar,S.V. 1980. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation, Washington

Salvia,D., Boldora,B., Aitab,G.M., Sabliova,C.M. 2011.COMSOL Multiphysics model for continuous flow microwave heating of liquids. Journal of Food Engineering. 104.3:422-429.

Shokouhmand,H., Jam,F., Salimpour,M.R. 2009. Simulation of Laminar Flow and Convective Heat Transfer in Conduits Filled With Porous Media Using Lattice Boltzmann Method", In. J Communications in Heat and Mass Transfer. 36. 4: 378-384.

Tarikua,F., Kumar,K., Fazioc,P. 2010. Transient model for coupled heat, air and moisture transfer through multilayered porous media. International Journal of Heat and Mass Transfer. 53.15-16:3035-3044.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 11, Agu.-Sept. 2017, p. 484-495

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره3، جلد 11، مرداد - شهریور 1396، ص. 495-484

Simulation Numerical and Experimental Coupled Transfer Heat and Water in Porous Media Soil

A.A. Mirzaiee[1]*, A.H. Nazemi[2] ,S. A. Ashraf Sadrdini[3],R. Dalir Hasanniya[4]
Recived: Nov.27, 2016 Accepted: Jan.18, 2017

Abstract

Science of heat transfer is one of the most and widely used engineering sciences. porous media Because of their structure provides large heat transfer surface in a given volume Therefore study heat transfer in porous media soil have been considered because of the importance of the underlying soil and bsorb water and roots in recent years. In this study is surveyed coupled transfer heat and water in porous media soil that heat transfer by convection using Thermography (IRT) and is laboratory conditions. Experiment is conducted in the physical model made in the ofdepartment Engineering and Technology University of City padva in Italy (for the sabbatical). Numerical analysis based on the finite difference and equation heat transfer in porous media and Using Comsol model. measurement Temperature Done in porous media saturated sand using thermocouples and at designated points and at coupling of different temperature and water flow rate (q_1, q_2, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5) Compare experimental and numerical results show that the Comsol model simulates with great accuracy coupled transfer heat and water Also surface heat diffusion in porous media soil. In Coupled transfer heat and water in porous media at flow further, is spent less time to achieve steady state. Experimental results showed that in coupled transfer heat and water, longitudinal profiles heat will be increased With higher temperatures in porous media. Higher the value, the greater the flow rate of water will be less diffusion longitudinal profiles heat(diffusion longitudinal profiles heat coupled q_2T_4 shown greater than coupled q_1T_4). As the temperature increases development time and achieve a steady state temperature profiles increases in porous media. With the constant flow and rise of temperature decline time development to reach steady state temperature profiles in the length and longitudinal distances determined porous Media.

Keywords: Comsol model, Convection, Coupled transfer heat and water, Heat transfer, Porous Media

1- phd student Irrigation and Drainage Department of Water Engineering University of tabriz
2,3- Professor, Department of Water Engineering University of Tabriz
4-Assistant Professor, Department of Water Engineering University of Tabriz
(*- Corresponding Author Email: amirzaiee@yahoo.com)