

مدلسازی نفوذ و انتشار مواد رادیواکتیو در پسمانگورهای نزدیک سطح در حالت لرزه‌ای

رضا صابری^{1*}، سهیل آزاد²1- عضو هیأت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، saberinuc@gmail.com2- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-زلزله، soheil.azad89@gmail.com

خلاصه

بررسی نفوذ و انتشار مواد رادیواکتیو در پسمانگورها به دلیل ملاحظات ایمنی بسیار با اهمیت است. به دلیل اهمیت بسیار بالای مواد رادیواکتیو از لحاظ ایمنی و مخاطرات احتمالی، لازم است قبل از استفاده و به کار بردن و کار کردن با این مواد به مطالعه پیرامون نحوه عملکرد آن‌ها در محیط‌های مختلف پرداخت. پسمانگورهای هسته‌ای نیز به دلیل اینکه محل انباشت مواد رادیواکتیو می‌باشند از لحاظ ایمنی و مخاطرات احتمالی برای انسان و محیط زیست، باید مورد مطالعه دقیق و کارشناسی قرار گیرند. میزان نفوذ و انتشار مواد رادیواکتیو در پسمانگورهای نزدیک سطح یکی از پارامترهایی است که از لحاظ ایمنی در طراحی مورد توجه قرار دارد. برای اطمینان یابی ایمنی و بررسی عملکرد صحیح پسمانگورها می‌توان از مدل سازی بهره جست. در این مسئله سعی شده با مدل سازی انتشار مواد رادیواکتیو در محیط‌های خاکی، به بررسی و تحلیل رفتار این مواد در محیط‌های بستر پسمانگورها در حالت لرزه‌ای و مشاهده نتایج آن‌ها و انطباق این نتایج با الزامات آیین‌نامه‌های موجود پرداخته شود. روش مورد استفاده، روش عددی بر پایه معادلات کلی حاکم بر شرایط مسئله در محیط کامپیوتری است. دستاورد این تحقیق منجر به ارائه روش مدل سازی مطالعه انتشار مواد رادیواکتیو در پسمانگورها شد که می‌تواند راه‌گشای مطالعات آتی در این زمینه قرار گیرد. همچنین به کمک داده‌های حاصل از این پژوهش می‌توان به اعتبار سنجی علمی عملکردهای پسمانگورهای طراحی شده در شرایط عادی و اضطراری پرداخت و عملکرد پسمانگورهای طراحی شده را در شرایط مختلف بررسی و پیش بینی نمود.

کلمات کلیدی: نفوذ و انتشار، مواد رادیواکتیو، نزدیک سطح، ایمنی

* Corresponding author: Reza Saberi
Email: saberinuc@gmail.com

1. مقدمه

تمدن کنونی و استانداردهای زندگی ما به منبع انرژی وابسته است. بدون انرژی گرم شدن خانه ها، آشپزی و مسافرت های راه دور و ارتباطات امکان پذیر نیست و کارخانه ها بدون آن از کار می افتند. یک قرن پیش انرژی جوامع کاملاً از ذغالسنگ و منابع سنتی مانند چوب، بقایای محصولات کشاورزی و فضلہ حیوانات تهیه می شد. این منابع هنوز هم در کشورهای در حال رشد منابع عمده انرژی هستند. چوب و فضلہ حیوانی تقریباً انرژی معادل یک بیلیون تن نفت را در سال فراهم می سازند و این ۱/۶ برابر انرژی است که در جهان به وسیله نیروگاه های هسته ای و برابر با انرژی است که در اروپا و آمریکا از ذغال سنگ تهیه می شود.

طبق بررسی های انجام شده از طرف سازمان ملل در صد سال آینده دمای کره زمین چند درجه افزایش یافته و سطح دریا ۵۰-۱۰۰ سانتی متر بالا خواهد آمد و بنابراین باید شاهد تغییرات آب و هوایی فاحش باشیم. بیشتر آسیب محیطی ناشی از تولید دی اکسید کربن حاصل از سوخت های سنگواره ای است. درحالی که ناخالصی سوخت های سنگواره ای ایجاد باران اسیدی می کند و بر جنگل ها و رودخانه ها و دریاها اثر می گذارد. بنابراین لازم است که تعداد نیروگاه های با سوخت سنگواره ای کاهش یابد. باد و انرژی خورشیدی ۱۵ دهم درصد انرژی جهان را در سال ۲۰۰۰ تولید کرده اند و این نوع انرژی تولیدی نسبتاً گران بوده و پنج بار خطرناک تر از انرژی هسته ای به علت مرگ و میر و دیگر سانحه های ضمن تولید آنها است.

مواد رادیو اکتیو یکی از انواع آلاینده های محیط زیست بشری هستند که با توجه به استفاده روز افزون از مواد اتمی در تولید انرژی، امروزه مورد توجه قرار گرفته است. آلودگی ناشی از این مواد ممکن است در اثر استفاده صلح آمیز از انرژی اتمی باشد مانند: دفع زایعات هسته ای، نیروگاه های هسته ای، یا در نتیجه جنگ های هسته ای و بمب های اتمی ایجاد شود. بر اساس مقررات عرفی و نیز طبق مفاد معاهدات مربوط به آن، وارد کردن خسارت غیر لازم، و قابل اجتناب به محیط زیست به طور مستقیم و غیر مستقیم ممنوع است. کنوانسیون های چهارگانه ژنو در سال 1949 که تقریباً کلیه کشورها در آن عضویت دارند، در مواد 35، 53 و 147 کنوانسیون چهارم خود، به حمایت از محیط زیست پرداخته اند.

با توجه به برنامه راهبردی کشور مبنی بر استفاده از انرژی صلح آمیز هسته ای در تمام جنبه های پزشکی، کشاورزی و صنعتی در میان مدت و بلند مدت، لزوم مطالعه پیامد های پسماند های هسته ای و مراکز دفع این ضایعات پیش از پیش احساس می شود. در این میان مطالعه و تحقیق در مورد عملکرد پسماندهای هسته ای، به ویژه پسماندهای نزدیک سطح، به عنوان یکی از راه های مطمئن دفع این ضایعات باید مورد توجه مجامع مطالعاتی برای پاسخگویی مناسب به این نیاز اساسی کشور قرار گیرد. بررسی نفوذ و انتشار مواد رادیواکتیو در پسماندها به دلیل ملاحظات ایمنی بسیار با اهمیت است. با توجه به برنامه راهبردی کشور مبنی بر استفاده از انرژی صلح آمیز هسته ای در تمام جنبه های پزشکی، کشاورزی و صنعتی در میان مدت و بلند مدت، لزوم مطالعه پیامد های پسماند هسته ای و مراکز دفع این ضایعات پیش از پیش احساس می شود.

به دلیل اهمیت بسیار بالای مواد رادیواکتیو از لحاظ ایمنی و مخاطرات احتمالی، لازم است قبل از استفاده و به کار بردن و کارکردن با این مواد به مطالعه پیرامون نحوه عملکرد آن ها در محیط های مختلف پرداخت. پسماندهای هسته ای نیز به دلیل اینکه محل انباشت مواد رادیواکتیو می باشند از لحاظ ایمنی و مخاطرات احتمالی برای انسان و محیط زیست، باید مورد مطالعه دقیق و کارشناسی قرار گیرند. میزان نفوذ و انتشار مواد رادیواکتیو در پسماندهای نزدیک سطح یکی از پارامترهایی است که از لحاظ ایمنی در طراحی مورد توجه قرار دارد. برای اطمینان یابی ایمنی و بررسی عملکرد صحیح پسماندها می توان از مدل سازی بهره جست. مدل سازی یکی از راه کارهای مدرن جهت شبیه سازی پروژه های

مختلف و مشاهده نتایج و کاستی های طرح می باشد. امروزه با کمک رایانه می توان مدل سازی را در محیط های آزمایشگاهی مجازی و بدون مقیاس های خارجی انجام داد و نتایج را به صورت کامل مشاهده و تحلیل کرد. در این پژوهش سعی می شود با مدل سازی انتشار مواد رادیواکتیو در محیط های خاکی، به بررسی و تحلیل رفتار این مواد در محیط های بستر پسمانگورها و مشاهده نتایج آن ها و انطباق این نتایج با الزامات آیین نامه های موجود پرداخت. همچنین با کمک این مدل سازی می توان به ارائه طرحی بومی برای طراحی پسمانگورها پرداخت که علاوه بر کاهش وابستگی به آیین نامه های خارجی، پیش زمینه ای برای طراحی بر اساس اقلیم بومی، مقدمات تدوین آیین نامه های داخلی مبتنی بر نیاز داخلی را نیز فراهم آورد.

مورونی و تورنر¹ [1] در دانشگاه کوپینزلند² به پژوهش در مورد روش حجم محدود سه بعدی بر اساس توابع پایه شعاعی برای مدل سازی دقیق محاسباتی معادلات نفوذ گرمای غیر خطی پرداختند. آنها اثربخشی یک روش حجم محدود در ترکیب با توابع پایه شعاعی برای شبیه سازی فرایندهای انتشار غیرخطی را بررسی کردند. بر اساس این مقاله یک روش جدید سه بعدی حجم گسسته محدود ارائه شد که با ترکیب توابع پایه شعاعی به عنوان یک معادله الحاقی، همراه با توابع گاوسی به عنوان ابزاری برای یکپارچه سازی هر RBF شامل تنها یک مجموعه از گره محلی، ارائه شد که در نتیجه حصول اطمینان، می توان آن را کارآمدتر پردازش، و از بکاربردن ماتریس ژاکوبین اجتناب کرد.

گارویه³ [2] برای طرح های تفاضل محدود برای معادلات واکنش انتشار مدلسازی در MATLAB انجام داد. او دو الگوریتم اختلاف محدود برای مطالعه پویایی در فضا انجام داد. در این مقاله به مورد بررسی مدل به عنوان نمایش طیف گسترده ای از رفتار محیط زیست مربوطه، از جمله هرج و مرج انتشار پرداخت. علاوه بر این، مزایای پیاده سازی این روش، به عنوان مثال، با توجه به ساختار سیستم های خطی، حل به وسیله استاندارد مستقیم، و تکرار شونده را به صورت همگرا تضمین می کند. او همچنین نتایج حاصل از آزمایش های عددی ارائه در یک و دو بعد فضا به سادگی و با استفاده از روش های عددی با برنامه های کوتاه در MATLAB به بررسی خواص کلیدی دینامیکی از فعل و انفعالات انتشارفضایی پرداخت.

در مقاله دیگری هونگ و همکاران⁴ [3] در مورد تقریب عددی معادلات همرفت انتشار در یک دایره پرداختند. آنها در این مقاله به بررسی راه حل عددی مسائل همرفت انتشار در یک دامنه دایره و ارائه طرح و همچنین تقریب، برآورد خطا و شبیه سازی عددی مدل سازی پرداختند. برای حل و فصل نوسانات از راه حل های کلاسیک عددی با توجه به سختی مشکل، از طریق تجزیه و تحلیل لایه مرزی، به اصطلاح عناصر لایه مرزی که تکین لایه مرزی را جذب می کنند و با استفاده از یک P1 کلاسیک فضای المان محدود غنی شده با عناصر لایه مرزی، یک طرح دقیق عددی در یک مش شبه یکنواخت به دست آوردند.

¹ T.J. Moroney & I.W. Turner

² Queensland University of Technology

³ Marcus R. Garvie

⁴ Youngjoon Hong et al.

در پژوهش دیگری پترکا¹ [4] به تفسیر وضعی مدل کنترل از تجزیه و تحلیل stabilogram انتشار پرداختند. در این مقاله نشان داده شده که یک مدل کنترل حلقه بسته بسیار ساده از موضع راست می تواند $SDFs^2$ واقعی تولید کند. این تجزیه و تحلیل مدل اجازه می دهد تا یک رکورد به تفسیر experiment- تغییرات در $SDFs$ از نظر تغییرات در پارامترهای کنترل و تاخیر زمانی در شرایط استفاده از حلقه باز در مقابل رفتار حلقه بسته مشاهده شود.

در تحقیقی که دوعا³ و هان⁴ [5] اقدام به بازسازی یک میدان سرعت برای یک معادله فرارفت انتشار 3-D کردند. آنها با بازسازی یک منطقه سرعت ثابت برای یک معادله فرارفت انتشار 3-D فهمیدند که میدان سرعت غالباً نقش مهمی را در درک شکل گیری و تکامل توپوگرافی کوهزایی ایفا می کند. به منظور تقلیل خطاهای اندازه گیری و شناسایی ویژگی های تیز، همچنین یک تنظیم جدید یکپارچه سازی راحت تر و کاربر پسندتر ارائه کردند. برای آزمایش عملکرد روش پیشنهادی شان، آنها به مقایسه چهار روش مختلف تنظیم پرداختند. از آزمایش های عددی، می توان نتیجه گرفت:

- 1- راحت و کاربر پسند بودن می توانید خطاهای اندازه گیری از جمله نویز گوسی و نویز گوسی غیر سرکوب را تا حد زیاد پدیدر مدل سازی کاهش دهد.
- 2- این روش با یک متغیر نهایی قادر به شناسایی ویژگی های تیز را داراست.

پژوهش دیگری توسط هدف هانگ و همکاران⁵ [6] در دانشگاه ایندیانا ایالات متحده به مطالعه معادلات واکنش انتشار فوق العاده مزاحمت در یک دایره با برنامه های کاربردی عددی پرداختند. در این مقاله، به مطالعه لایه های مرزی از معادلات واکنش انتشار در یک دایره و ارائه برخی از برنامه های کاربردی عددی که به اصطلاح عناصر لایه مرزی استفاده شده است. از طریق تجزیه و تحلیل لایه مرزی، به دست آوردن بسط مجانبی معتبر در هر منظور و تعیین عناصر لایه مرزی، به راحتی در طرح های المان محدود استفاده کردند. با استفاده از عناصر لایه مرزی ثبت شده در فضای المان محدود، آنها با به دست آوردن راه حل های دقیق عددی در شکل های شبه یکنواخت مش با همگرایی مناسبی به دست آوردند.

مدلهای زیادی جهت بررسی مقدار آلودگی انتشار یافته در محیطهای غیر اشباع ارائه شده است. سالیوان⁶ مدلی برای مدل انتشار آلودگی از یک منبع را ارائه کرد. آگری⁷ مدلی برای تعیین میزان آلودگی در محیطهای با حد اشباع متغیر ارائه نمود. یو و همکاران⁸ مدل مشابهی ارائه نمودند که غلظت ماده آلاینده را در لایه های خاکی با زمان محاسبه می کرد. این مدلها اغلب برای آلودگیهای غیر هسته ای بودند. معمولاً برای صحت سنجی و کالیبراسیون چنین مدلهایی اطلاعات کافی وجود ندارد همچنین ارزیابی آنها ممکن است سالهای زیادی طول بکشد. بنابراین تهیه مدلهایی از این نظیر نیازمند ساده سازیها و فرضیاتی می باشد که با آن بتوان نتایج قابل قبولی بدست آورد. مدلی که در اینجا بحث می شود، برای بررسی میزان غلظت آلاینده و انتقال آن با گذشت زمان بر بالای سطح آبخوان و در محیط غیر اشباع بکار رفته است. در این مرحله بستر خاکی مورد مطالعه قرار گردید بدین صورت که مقالاتی که در زمینه

¹ Robert J. Peterka

² Stabilogram Diffusion Function

³ Yi-Xin Dou

⁴ Bo Han

⁵ Youngjoon Hong et al.

⁶ Sullivan 1996

⁷ Acri 1996

⁸ Yu et.al 2000

انتشار مواد زاید در محیط هایی خاکی، جمع آوری و نحوه مدل سازی آنها برای ارضای معادلات انتشار در شرایط مرزی دلخواه با استفاده از روش های عددی رایج استخراج گردید.

در یک مقاله جالب بوندارنکو¹ و ایوانچنکو² [7] در انستیتو ریاضی شوروی اقدام به مطالعه روش اجزاء محدود در مشکلات غیر عادی انتشار پرداختند. آنها با تحت نظر گرفتن برخی از جنبه های استفاده از روش المان محدود به حل عددی مسائل مقدار مرزی اولیه برای یک معادله زمان در کسری از زمان بعد از انتشار پرداختند. بررسی نتایج، ارائه الگوریتم ساخت مش، و چند مثال عددی مرتبط را در بر داشته است.

تحقیق دیگری که ماتینگاد و همکاران³ [8] در مورد انتشار پرتوزا در بتن و خاک پرداختند یکی از روش ها که برای افزایش امنیت دفع زباله های رادیو اکتیو سطح پایین در نظر گرفته (LLW) است مربوط به قفس یا جعبه گذاردن زباله در بتن می باشد. چنین قفسه بتن باعث جداسازی بسته های زائد رادیواکتیو از محیط زیست هیدرولوژیکی و به عنوان یک مانع نفوذ عمل می کند. برنامه فعلی برای جداسازی زباله شامل انباشته بسته ضایعات سطح پایین بر روی یک کف سنگر، در اطراف پشته با فولاد تقویت شده، و پوشاندن این بسته در بتن می باشد. این پشته ضایعات بتن-روکشی انتظار می رود که در اندازه متفاوت با حداکثر ابعاد 6/4 متر طول، 2/7 متر عرض و 4 متر ارتفاع طراحی و اجرا گردند. پشته زباله باید حداقل ضخامت اطراف 15 سانتی متر از قفسه بتن داشته باشد. این بسته زباله سیمان گیر می تواند به مقاومت در برابر قرار گرفتن در معرض محیط زیست (تابش خورشیدی، تغییرات دما، بارش و) بیانجامد و پوشش خاک موقت و یا پوشش بسته شدن دائمی بر روی آن نصب شود که تا حد زیادی باعث دست نخوردگی ضایعات شود. در این آزمایشات، اثرات مختلف مقدار رسوب رطوبت، کربنات، فلز علاوه بر آهن، و شکست بتن در نفوذ از این هسته نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه گیری از این آزمایش به شرح زیر است:

- 1- صرف نظر از متغیرهای معرفی شده در تجزیه و تحلیل (به عنوان مثال، مقدار آب از رسوب، سطح مواد افزودنی آهن و بتن)، ضرایب نفوذ TC مقداری افزایش را نشان می دهد.
- 2- تخریب بتن از طریق شکستن خواهد بود که به شدت نرخ نفوذ در درجه اول به دلیل رطوبت کم انتظار می رود که خود محیط زباله را نیز تحت تاثیر قرار دهد
- 3- در داخل محدوده اندازه گیری، افزایش رطوبت از رسوب به طور معمول افزایش نرخ نفوذ را به همراه دارد.

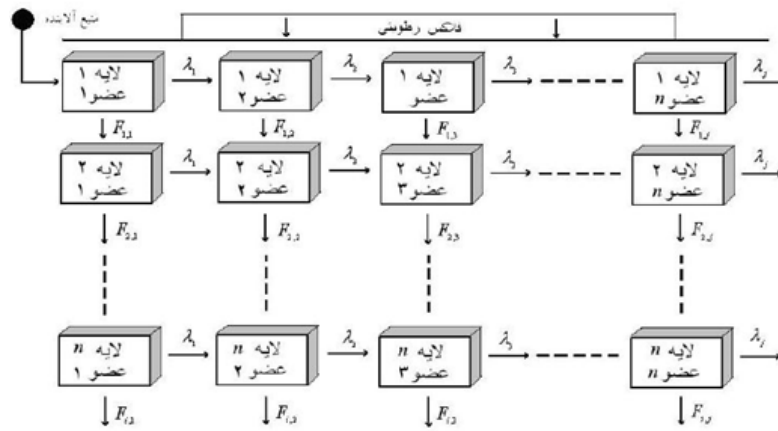
2. معرفی مدل و تحلیل

با توجه به اینکه معادلات حاکم در هر منطقه از لایه های خاک متفاوت می باشد، ابتدا بایستی منطقه مورد مطالعه را به لایه ها اعضای کوچکتر تقسیم کرد. هر کدام از این اعضا و لایه ها دارای شرایط خاص خود می باشد. معادله تعادل جرم بایستی برای هر کدام از این لایه ها نوشته شود بنابراین برای هر عضو در هر لایه یک معادله دیفرانسیل وجود دارد که بایستی حل شود. با حل این معادله دیفرانسیل تغییرات غلظت آلودگی در هر عضو در واحد زمان بدست می آید. هر عضو لایه خاکی خصوصیتی را از لایه ماقبل خود به ارث می برد و یا به عبارت دیگر خصوصیات آلاینده با عبور از اعضای لایه ها تغییر می کند.

¹ A. N. Bondarenko

² D. S. Ivashchenko

³ Shas V. Mattigod et al.



شکل 1- تقسیم بندی منطقه مورد مطالعه به اعضا و لایه های مدل

با نوشتن تعادل جرم برای هر عضو از یک لایه خاکی خواهیم داشت:

$$\frac{dQ_{i,j}}{dt} = F_{i-1,j}(t) - \lambda_j Q_{i,j} + \lambda_{j-1} Q_{i,j-1} - F_{i,j}(t) \quad (1)$$

که در آن:

$Q_{i,j}$: تعداد اتم ها در عضو j ام از لایه i ام (اتم)

$F_{i,j}$: نرخ حذف فلاکس از یک لایه به لایه دیگر (اتم بر سال)

λ_j : نرخ کاهش آلودگی از یک عضو به عضو دیگر (سال/1)

i : اندیس مربوط به لایه خاکی

j : اندیس مربوط به عضو در هر لایه

این انتشار تا زمانی ادامه پیدا می کند که دیگر لایه خاکی قادر به انتقال آلاینده نباشد و یا به عبارتی دیگر خصوصیات آن در گذر از لایه خاکی تغییر نکند. زمانی که غلظت آلاینده در هر عضو از حد حلالیت آن تجاوز کند دیگر لایه خاکی آلاینده را منتقل نخواهد کرد. حذف فلاکس از یک لایه به لایه دیگر از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$F_{i,j} = k_{i,j}(t)Q_{i,j} \quad (2)$$

که در آن:

$k_{i,j}(t)$: نرخ شسته شدن در عضو j ام از لایه i ام (سال/1) و وقتی که در عضو j ام از لایه i ام مقدار آلاینده از حد

حلالیت تجاوز کند، خواهیم داشت:

$$F_{i,j} = S_j q_i(t) L_i W_i \quad (3)$$

که در آن:

S_j : حد حلالیت عضو j ام (اتم بر متر مکعب)

q_i : فلاکس رطوبتی در لایه i ام (متر بر سال)

L : طول لایه i ام (متر)

W : عرض لایه i ام (متر)

و بنابراین با حل معادله دیفرانسیل تعداد اتمهای موجود در هر لایه خاکی بدست می آید و می توان غلظت آلاینده را در آن عضو به صورت زیر محاسبه نمود:

$$C_{i,j}(t) = \frac{Q_{i,j}(t)}{\theta_i(t)L_iW_iT_i(1 + \frac{kd_{i,j}\rho_i}{\theta_i(t)})} \quad (4)$$

که در آن:

$\theta_i(t)$: مقدار رطوبت حجمی در لایه خاکی (بی بعد)

$kd_{i,j}$: ضریب تعادل در عضو j ام از لایه i ام

ρ_i : چگالی لایه i ام (گرم بر میلی لیتر)

T_i : ضخامت لایه i ام (متر)

و نرخ حذف آلاینده نیز در هر عضو به صورت زیر بدست می آید:

$$\lambda_j = \frac{\ln(2)}{TL/2_j} \quad (5)$$

که در آن:

$TL/2_j$: نیمه عمر ماده در عضو j ام می باشد.

نرخ شسته شدن نیز به صورت زیر بدست می آید:

$$K_{i,j}(t) = \frac{q_i(t)}{\theta_i(t)T_i(1 + \frac{kd_{i,j}\rho_i}{\theta_i(t)})} \quad (6)$$

مقدار q/θ نشاندهنده سرعت متوسط آب در لایه خاکی می باشد و بر مبنای مدل گرادیان واحد بیان می شود. مدل گرادیان واحد بر پایه نفوذ رطوبت تحت اثر وزن در لایه خاکی می باشد. قانون دارسی در جهت عمودی به صورت زیر می باشد:

$$q = k(\theta) \left(\frac{\partial H}{\partial z} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) \quad (7)$$

که در آن:

H : هد ارتفاع (متر)

Ψ : هد فشار (متر)

$k(\theta)$: ضریب هدایت هیدرولیکی ستون خاک (سال/متر)

z : طول ستون خاک (متر)

در شرایط گرادیان واحد خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial z} = 1, \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad (8)$$

و بنابراین:

$$q = k(\theta) \quad (9)$$

ضریب هدایت هیدرولیکی تابعی از مقدار رطوبت در نظر گرفته میشود. وقتی یک لایه اشباع میشود، مقدار رطوبت حجمی با مقدار تخلخل موثر برابر می گردد و فرض می شود که شرایط گرادیان واحد در تمام لایه ها برقرار باشد. وقتی آب از لایه ها عبور می کند، مقدار رطوبت در لایه ها نیز تغییر می کند و آن لایه خود را با وجه به نرخ انتقال آلودگی متعادل می سازد. رابطه بین هدایت هیدرولیکی و مقدار رطوبت در محیطهای مختلف با هم متفاوت است و این رابطه نیازمند دانستن اطلاعات کافی از منطقه مورد مطالعه میباشد. از آنجا Q برای تعیین میزان فعالیت مواد رادیواکتیو با واحد *curies* بیان می شود، برای تبدیل Q با واحد اتم از رابطه زیر استفاده شده است:

$$Q_{mass} = \frac{Q_{activity} (3.7 * 10^{10} dpsci^{-1}) (3.1536 * 10^7 sy^{-1}) MW}{\lambda N_A} \quad (10)$$

که در آن:

MW : وزن مولکولی (گرم بر مول)

N_A : عدد آووگادرو ($6/02 * 10^{23}$)

dps : تعداد تجزیه هسته های در ثانیه

Q_{mass} : تعداد اتم های یک ماده هسته ای در یک محل (اتم)

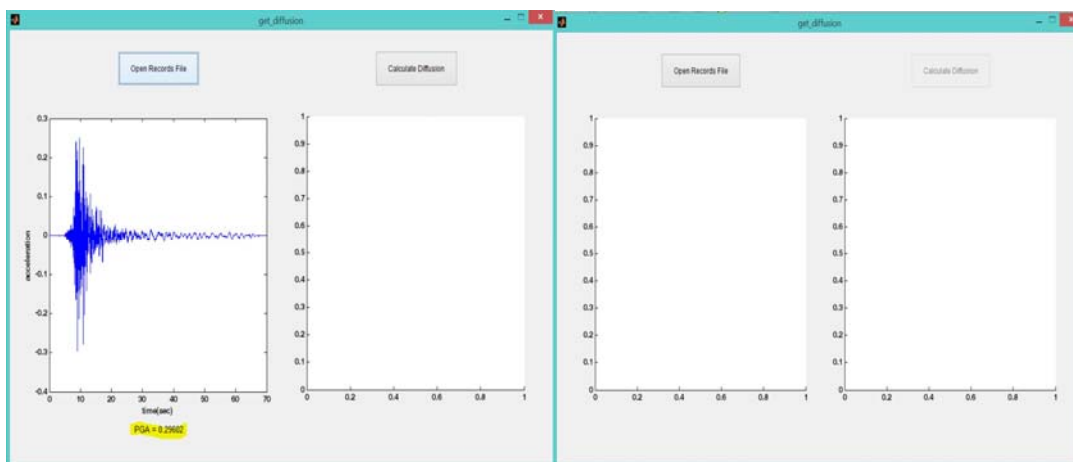
$Q_{activity}$: فعالیت یک ماده هسته ای در یک محل (ci)

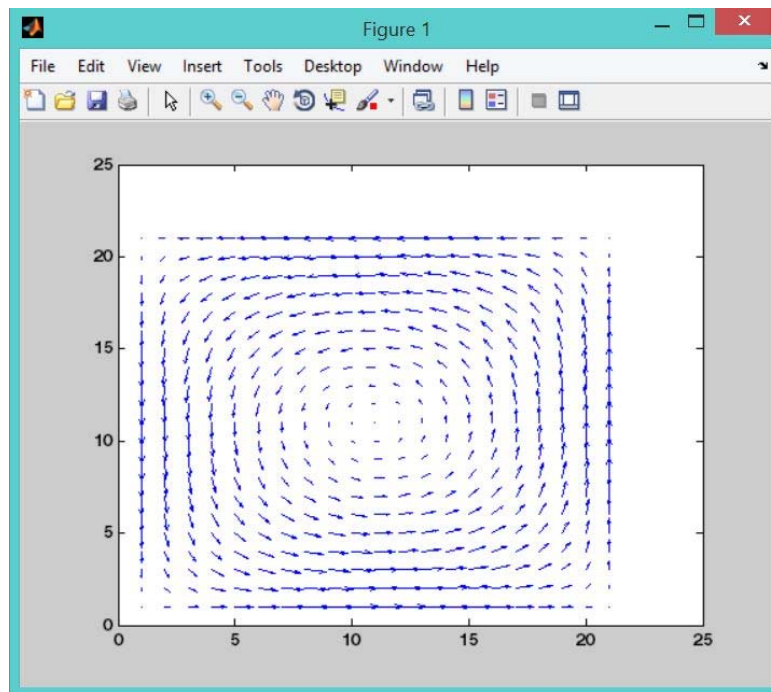
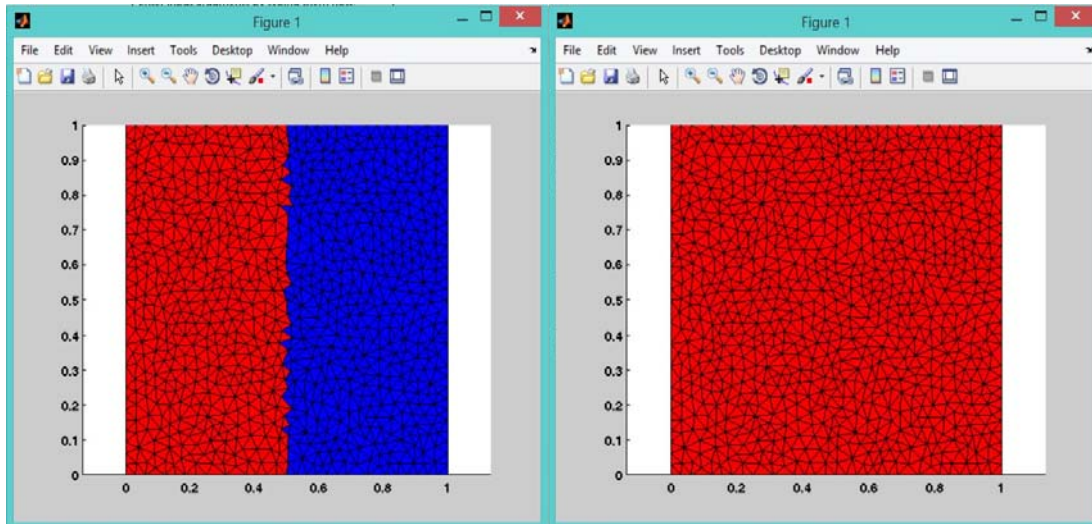
به همین منوال مشخصات خاک نیز ساده در نظر رفته شد که تحلیل روند حل مساله و نتایج راحت تر صورت گیرد. نوع خاک، غلظت نفوذ، میزان مواد رادیواکتیو و شعاع بررسی انتشار با صلاح دید اساتید همه در مثالی ساده ارائه گردید و تمرکز بیشتر بر روند حل مساله متمرکز گردید. به همین دلیل مثالی که به صورت شماتیک مدل را شرح داده و روند را به سادگی مشخص نماید، انتخاب گردید. برای مشاهده نتایج پارامترهای خاک تصمیم بر آن شد که یک بار مدل به صورت تک لایه رسی و یکبار به صورت سه لایه رسی انجام گیرد. در حالت لرزه ای نیز یکبار مدل در نرم افزار Matlab شبیه سازی و سپس در نرم افزار Abaqus مدل شد. در ادامه روند طراحی هریک از مراحل تشریح خواهد شد.

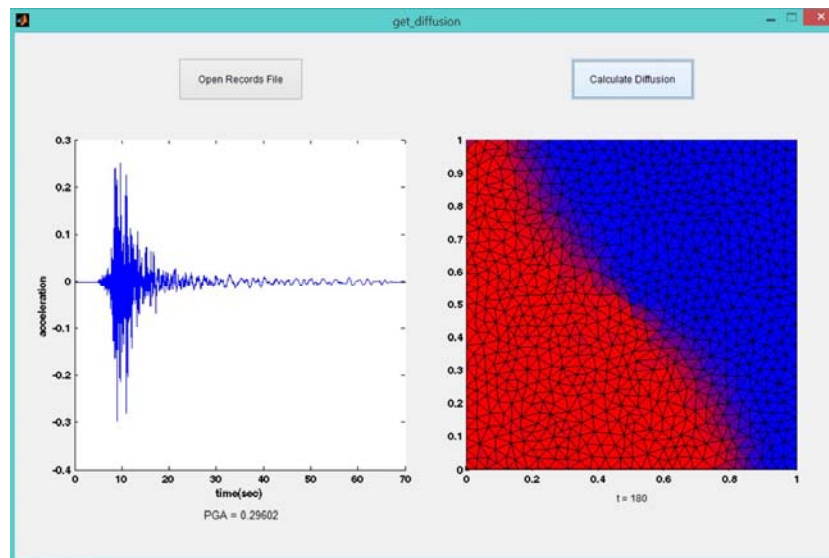
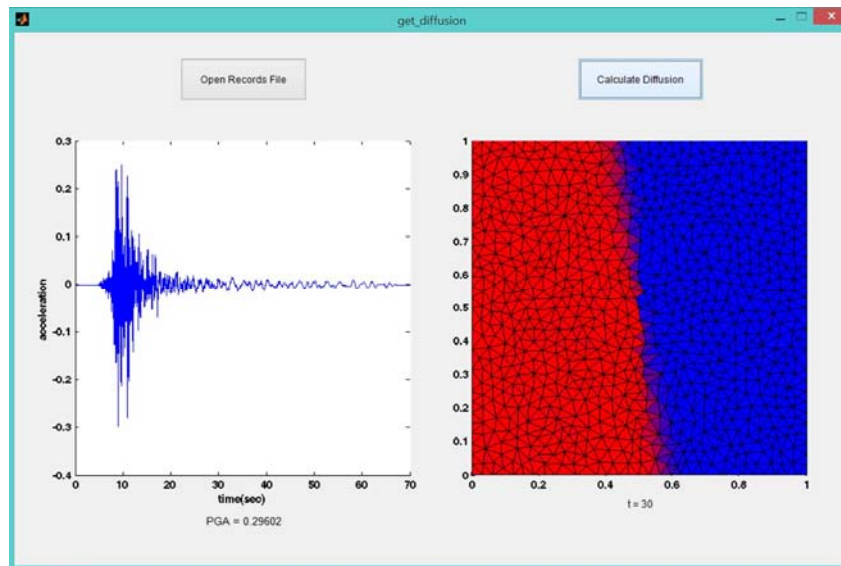
3. نتیجه گیری

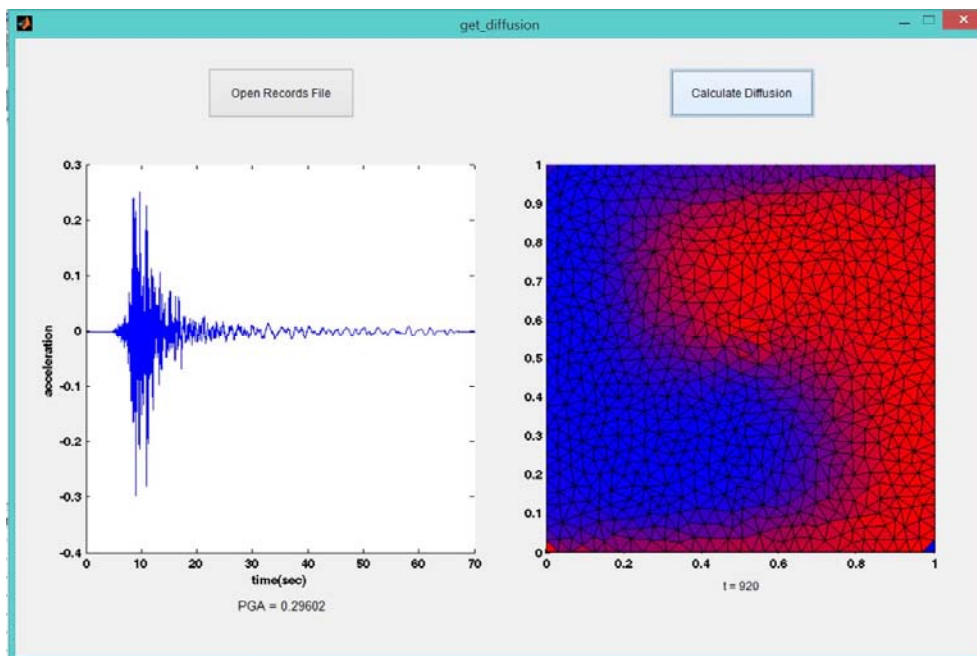
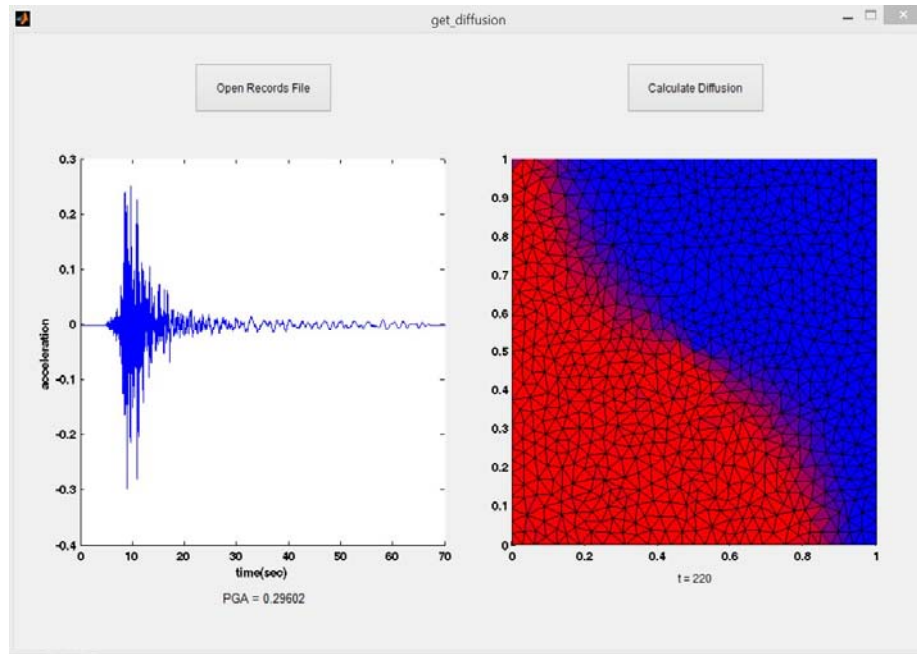
شبیه سازی در نرم افزار Matlab:

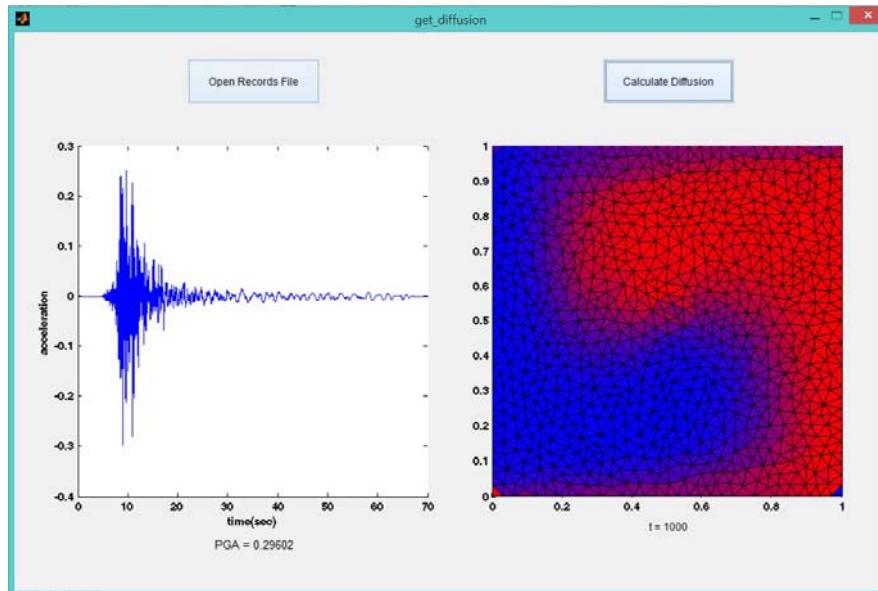
در این نرم افزار به دلیل پایه محاسباتی ماتریسی و برنامه نویسی، ابتدا باید کد های هرمرحله نوشته و سپس اقدام به آزمایش این کد ها می کردیم. سپس این کدها را گردآوری و در مجموعه ای منسجم ارائه می کردیم. بدین ابتدا باید شتاب زلزله به محیط وارد می شد. شتاب های زلزله با توجه به فاصله از گسل، نوع خاک، بزرگای زلزله، عمق زلزله و سایر مشخصات از پایگاه PEER قابل بارگذاری است. برای اینکه روند حل این قمت به پارامترهای خاصی ثابت تعریف نشود و در صورت نیاز بتوان نمودار شتاب دیگری جایگزین کرد سابروتینی برای خواندن و تبدیل نمودار شتاب زلزله مد نظر به ماتریس و همچنین حساب کردن PGA نوشته شد. این سابروتین برای مثال با زلزله لوما ژاپن اقدام به محاسبه حداکثر شتاب زلزله وارد به سازه کرد. سپس با توجه به حداکثر شتاب وارده و معادله حاکم بر تشدید میزان افزایش ضریب انتشار، معادله کلی با کمک سابروتینی دیگر حل و سرعت و غلظت انتشار در محیط در بازه های زمانی مختلف به صورت نموداری نمایش داده شد. برای ارتباط کاربری بهتر، سابروتینی برای رابط گرافیکی کاربر پسند (GUI) نوشته و مجموعه به صورت پک کامل شد. در زیر نتایج حاصل را می توانید مشاهده کنید.





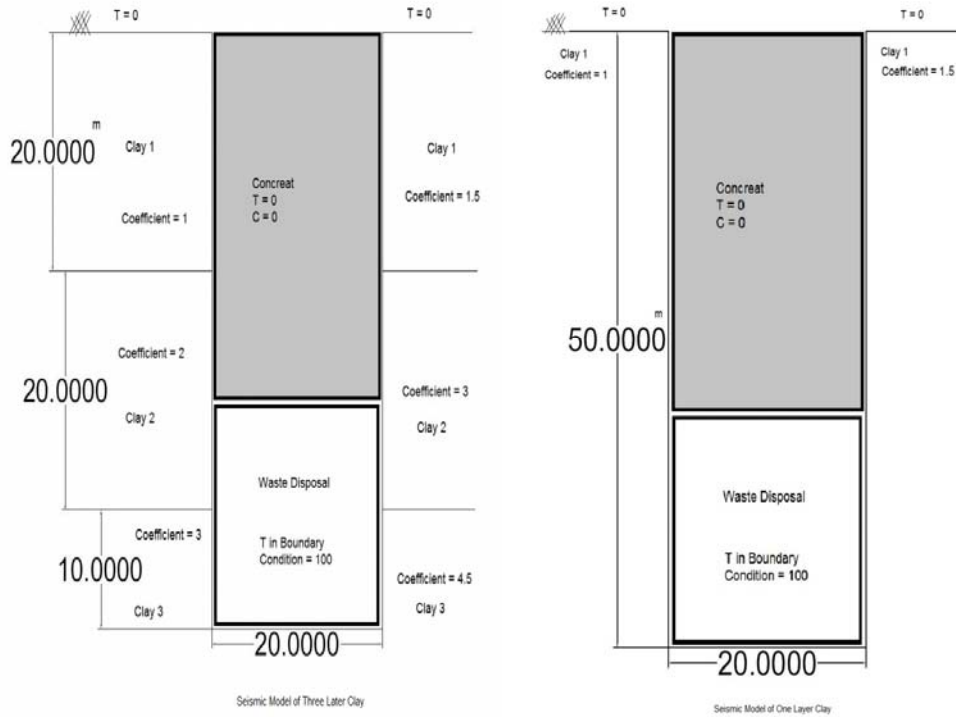






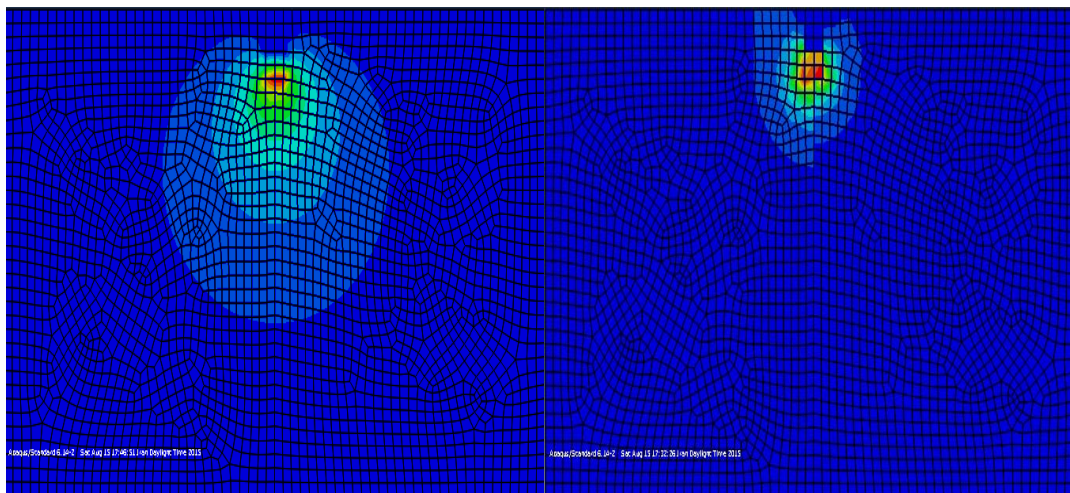
همانگونه که مشخص است اشکال کاملاً روند توزیع مواد رادیو اکتیو را شرح می دهند.

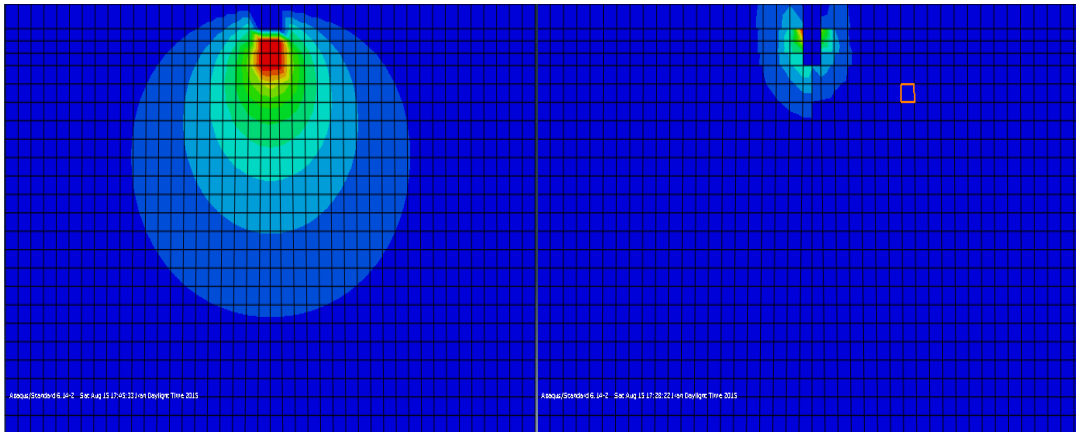
بدین منظور و برای استفاده از امکانات مش بندی و روند حل حل مساله دورن برنامه، باید یکی از گزینه های داخلی برنامه استفاده می شد. به دلیل مشابه بودن ماهیت ترمال و توزیع دما و معادله انتشار تصمیم بر آن شد که انتشار آلودگی با انتشار حرارتی در حالت دو بعدی مدل شود. معادلات کلی نوشته شد و سپس با کمک مشابهت فیزیکی این دو معادله شبیه سازی و پارامترهای نظیر تعریف گردید. سپس مدل کلی در نرم افزار آباکوس هم در حالت تک لایه و هم در حالت سه لایه مدل گردید. این اشکال مشابه اشکال قبلی در قسمت اول می باشد. با توجه به PGA خروجی از متلب و محاسبات، به این نتیجه رسیده شد که در حالت لرزه ای تقارن توزیع انتشار به هم خورده و با یک ضریب انتشار در نیمه شکل با ضریب $1/5$ برابر با توجه به PGA ، $0/3$ تغییر کند. اشکال اصلاحات لرزه ای مدل به شکل زیر است.



شکل 2- مدل لرزه ای تک لایه و سه لایه رسی

نتایج آباکوس نیز در حالت لرزه ای به شرح زیر است:





4. مراجع

1. TJ Moroney, IW Turner - Journal of Computational Physics, 2007 – Elsevier.
2. MR Garvie - Bulletin of mathematical biology, 2007 – Springer.
3. Y Hong, CY Jung, J Laminie - International Journal of Computer and mathematic, 2013 -Taylor & Francis.
4. RJ Peterka - Biological cybernetics, 2000 – Springer.
5. YX Dou, B Han - International Journal of Thermal Sciences, 2011 – Elsevier.
6. Y Hong, CY Jung, R Temam - Numerische Mathematik, 2014 – Springer.
7. AN Bondarenko, DS Ivashchenko - Journal of Applied and Industrial mathematics, 2014 – Springer.
8. Shas V. Mattigod¹, Dawn M. Wellman¹, Chase C. Bovaird¹, Kent E. Parker¹, Kurtis P. Recknagle¹, Libby Clayton² and Marc I. Wood³, Diffusion of Radionuclides in Concrete and Soil , 1Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA , USA , 2012.